

Національна академія наук України
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова

Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

АРТЕМЧУК ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК [001.891+519.6+004.42] : 504.064

ДИСЕРТАЦІЯ

**НАУКОВІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ НА
ПРИКЛАДІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Спеціальність: 21.06.01 – екологічна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

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

Науковий консультант: **Попов Олександр Олександрович**,
член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, старший
науковий співробітник

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Артемчук В.О. Наукові основи визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.

Робота виконана в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова Національної академії наук України, м. Київ.

В дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-практичну проблему розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря та розроблення відповідних математичних та програмних засобів.

Ідея роботи полягає у припущенні, що використання інструментарію для визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, дасть змогу здійснювати обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності управлінського рішення для виконання, що сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки регіонів України.

Метою дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України шляхом розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря та розроблення відповідних математичних та програмних засобів.

Об'єктом дослідження є визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря.

Наукова новизна та теоретичне значення отриманих результатів:

1. Вперше розроблено концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що враховує: можливість управлінського рішення одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення надзвичайних ситуацій; часову тривалість дії ефекту від управлінського рішення; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив управлінського рішення на виконання нормативних вимог та зобов'язань.

2. Вперше розроблено систему визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що включає адекватну оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності.

3. Вперше розроблено структурну модель визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу.

4. Вперше розроблено теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, який, на відміну від існуючих, дозволяє визначати маршрути пересувних постів в залежності від техногенних, екологічних, соціально-економічних чинників, рівня та наслідків забруднення атмосфери і актуальних задач моніторингу для конкретної мережі/території.

5. Вперше запропоновано метод уточнення коефіцієнтів для визначення річного виносу золотих частинок золовідвалу, що дозволило із більш високою точністю проводити моделювання та прогнозування впливу

золошлаковідвалів підприємств паливно-енергетичного комплексу на стан забруднення атмосферного повітря прилеглих територій, зокрема при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі.

6. Вдосконалено методи ідентифікації параметрів моделей розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від викидів стаціонарних техногенних джерел, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, алгоритм зниження розмірності задачі та алгоритм розпаралелення обчислень, що дозволило значно скоротити час розв'язання задачі ідентифікації. Здійснено більш точну ідентифікацію параметрів моделей для точкових джерел за різних сценаріїв викидів, що дозволило зменшити похибку моделювання при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

7. Вдосконалено підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок з використанням методики ГКД 34.02.305-2002 за рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо). Обґрунтовано доцільність використання даної методики при врахуванні виконання нормативних вимог та зобов'язань в рамках визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

8. Дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану атмосферного повітря та відповідних ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі.

9. Дістали подальшого розвитку підходи до підготовки висококваліфікованих фахівців та управлінців в галузі екологічної безпеки за рахунок впровадження запропонованих математичних і програмних засобів та імерсивних технологій.

До низки результатів, що мають найбільшу практичну цінність, належать:

1. Розроблена концепція, математичне та програмне забезпечення для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря дозволяє здійснити обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності управлінського рішення для виконання (наприклад, щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих управлінських рішень (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

2. Використання розроблених методів та засобів дозволяє розвивати існуючі та проектувати нові сучасні мережі моніторингу стану атмосферного повітря за рахунок побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. Побудова таких мереж дозволить підвищити ефективність роботи системи моніторингу довкілля України, зокрема для прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень, та зменшити витрати на комплексний аналіз екологічного стану міста або регіону.

3. Отримані в роботі засоби для моделювання та аналізу забруднення атмосферного повітря від різних техногенних джерел (ТЕС, ТЕЦ, золошлаковідвали, радіаційно-небезпечні об'єкти тощо) дають можливість відповідним службам визначати вплив даних об'єктів на довкілля, персонал

та населення прилеглих територій, та здійснювати ефективне управління екологічною безпекою в зонах їх впливу.

Результати роботи використано при: підготовці пропозицій «Деякі проблемні питання моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря в законодавстві України» на Парламентські слухання «Пріоритети екологічної політики Верховної Ради України на наступні п'ять років» від 27 листопада 2019 р.; перегляді «ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» (договір № 802-17 від 10.08.2017 р.); підготовці зауважень та пропозицій до проекту «Методичних рекомендацій з розробки звіту з оцінки впливу на довкілля для теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива» (від 06.08.2020 р.). Результати роботи впроваджено в: Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління (акт впровадження від 19 квітня 2018 р.); ТОВ «Науковий парк Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління «ЧОРНОБИЛЬ» (акт впровадження від 19 квітня 2018 р.); Державній екологічній інспекції України (лист 6152/2.5/7-19 від 27 вересня 2019 р.); Біоенергетичній асоціації України (акт впровадження від 17 грудня 2019 р.); Головному управлінні ДСНС України у Запорізькій області (акт впровадження від 27 листопада 2020 р.); Дарницькому районному управлінні Головного управління ДСНС України у м. Києві (акт впровадження від 3 грудня 2020 р.) та Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (акт впровадження від 15 червня 2021 р.).

Ключові слова: екологічна ефективність, прийняття управлінських рішень, поліпшення стану навколишнього середовища, екологічна безпека, забруднення атмосферного повітря, моніторинг довкілля, математичні та програмні засоби, ідентифікація параметрів, золошлаковідвали, підготовка висококваліфікованих фахівців.

ABSTRACT

Artemchuk V.O. Scientific bases of determining the environmental effectiveness of management decisions acceptance on the example of air protection. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for a Doctor of Technical Sciences degree, specialty 21.06.01 – Environmental Safety. – State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021.

The work was performed at the G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv.

The actual scientific and applied problem of developing the theory of determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance on the example of air protection, and developing corresponding mathematical and software means is formulated and solved in the dissertation.

The idea of the work is to assume that the use of tools to determine the environmental effectiveness of management decisions acceptance will allow to make an informed choice of the best in terms of environmental performance management decision to implement, which will improve the environmental safety of Ukraine. The aim of the study is to increase the level of environmental safety of the regions of Ukraine by developing the theory of determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance on the example of air protection and the development of appropriate mathematical and software tools.

The object of the study is to determine the environmental effectiveness of management decisions acceptance on the example of air protection.

The subject of research - methods and tools for determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance on the example of air protection.

Scientific novelty and theoretical significance of the obtained results:

1. For the first time the concept of determining the environmental effectiveness of management decisions acceptance is developed that considers: the possibility of the administrative decision at the same time to lead to adverse and favorable changes in the environment; its direct and indirect impact on the environment, in particular on changing the risk of emergencies; the duration of the effect of the management decision; area, significance, ecological condition and population of the territory affected. The impact of management decisions on compliance with regulatory requirements and obligations. The definition of the term «environmental effectiveness of management decisions acceptance» is proposed. Necessary terms in this area have been defined and partially supplemented.

2. For the first time, a system for determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance have been developed, which includes an adequate evaluation function; determination of weights; transition from quantitative indicators of pollution to risks to public health; determination of the integrated risk-weighted by the value of the socio-economic value of the territory, taking into account its population.

3. For the first time a structural model for determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance in the context of air protection has been developed, which includes the necessary software blocks for the implementation of the proposed methods of analysis.

4. For the first time a theoretical and methodological approach to building air quality control systems based on public transport rolling stock in the context of information support for determining the environmental effectiveness of management decisions acceptance, which, unlike existing ones, allows to determine routes of mobile posts depending on man-made, environmental, socio-economic factors, level and consequences of air pollution and current monitoring tasks for a specific network/territory.

5. For the first time the method of specification of coefficients for determination of annual removal of ash particles of an ash dump is offered that

allowed to carry out with higher accuracy modeling and forecasting of influence of ash and slag dumps of the enterprises of a fuel and energy complex.

6. The methods of identification of parameters of models of the distribution of pollutants in atmospheric air from emissions of stationary man-caused sources are improved, namely: mathematical means of estimation of influence of error of definition of parameters of models on modeling result, the algorithm of reduction of problem dimension identification problem. More accurate identification of the parameters of a number of relevant models was made, which allowed reducing the modeling error in determining the environmental efficiency of management decisions acceptance in the energy sector in the context of air protection.

7. Improved approach to determining emissions of pollutants into the atmosphere from power plants using the methodology IGD 34.02.305-2002 by including in its relevant items information on non-methane volatile organic compounds and adding to the methodology new data on some fuels (straw, husk) sunflower, buckwheat, wood waste, peat, artificial fuel gases, etc.). The expediency of using this technique is justified taking into account the implementation of regulatory requirements and obligations in determining the environmental effectiveness of management decisions acceptance in the energy sector in the context of air protection.

8. Got further development of the form of presentation of monitoring data on man-made loads and risks by reflecting the dynamics of the environmental situation in the space of informative features, which allowed to quickly visually identify anomalies in the development of environmental processes.

9. Approaches to the training of highly qualified specialists in the field of environmental safety through the introduction of immersive technologies and developed specialized software modules have been further developed.

A number of results that have the greatest practical value include:

1. Developed concept, mathematical and software for determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance in

the context of air protection allows to make an informed choice of the best in terms of the environmental effectiveness management decisions for implementation (e.g. for construction of generating capacity of thermal power plants and other production facilities electricity, steam and hot water with a thermal capacity of 50 megawatts or more using fossil fuels, their modernization, fuel type changes), as well as to verify the feasibility of further implementation of previously adopted management decisions (for example, as a control of environmental impact).

2. On the basis of the developed methods and means it will be possible to optimize existing and to design new modern networks of monitoring of a condition of atmospheric air including and develop them by building air quality control systems based on public transport rolling stock. The emergence of modern networks for monitoring the state of the air will reduce the cost of a comprehensive analysis of the environmental condition of the city or region, increase the efficiency of monitoring systems in Ukraine as a whole.

3. Proposed and improved mathematical and software tools for studying the migration of pollutants within the areas of ash and slag dumps and adjacent areas allow relevant services to determine the impact of waste storage facilities of the fuel and energy sector on the environment and population of adjacent areas, and effectively manage environmental safety areas of influence of ash and slag dumps.

The results of the work were used in: preparation of proposals «Some problematic issues of monitoring in the field of air protection in the legislation of Ukraine» for the Parliamentary hearings «Priorities of environmental policy of the Verkhovna Rada of Ukraine for the next five years» from November 27, 2019; revisions «GKD 34.02.305-2002 Emissions of pollutants into the atmosphere from power plants. Method of determination» (agreement № 802-17 dated August 10, 2017); preparation of comments and proposals for the draft «Guidelines for the development of an environmental impact assessment report for thermal power plants (TPPs, CHPs) and other facilities for the production of electricity, steam and

hot water with a thermal capacity of 50 megawatts or more using fossil fuels» (from August 6, 2020).

The results of the work are implemented in: the State Ecological Inspectorate of Ukraine (letter 6152 / 2.5 / 7-19 dated September 27, 2019); State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management (implementation act of April 19, 2018); Darnytskyi District Department of the Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in Kyiv (implementation act of December 3, 2020); LLC «Science Park of the State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management "CHERNOBYL"» (implementation act of April 19, 2018); Bioenergy Association of Ukraine (implementation act of December 17, 2019); Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in Zaporizhia Oblast (Implementation Act of November 27, 2020) and Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (implementation act of June 15, 2021).

Key words: environmental effectiveness, management decisions, environmental improvement, environmental safety, air pollution, environmental monitoring, mathematical and software tools, parameter identification, ash and slag dumps, training of highly qualified specialists.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. **Артемчук В.О.**, Білан Т.Р., Блінов І.В. та ін. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики: монографія / за ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан. Київ : ТОВ «Наш формат», 2017. 312 с. ISBN 978-966-02-8331-2. *Особистий внесок: розроблення та опис засобів проектування та аналізу даних мереж моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою.*

2. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Математичні та програмні засоби вирішення задач моніторингу атмосферного повітря техногенно-навантажених територій : монографія.

Київ : ФОП Ямчинський, 2018. 116 с. ISBN 978-617-7804-97-9. *Особистий внесок: математична постановка задачі проектування мережі моніторингу стану атмосферного повітря на базі рухомого складу громадського транспорту та методи її вирішення.*

3. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Концептуальні підходи створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. № 3. С. 56–65. doi: 10.32918/nrs.2018.3(79).09 (**Scopus**, ISSN 2073-6231). *Особистий внесок: огляд літературних джерел, участь в розробленні концептуальних схем.*

4. Яцишин А.В., Попов О.О., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Методика навчання майбутніх фахівців у галузі екології методам і засобам екологічного моніторингу приземного шару атмосфери. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. № 4. С. 217–230. doi: 10.33407/itlt.v66i4.2233 (**Web of Science**, ISSN 2076-8184). *Особистий внесок: розроблення основних модулів описаного програмного забезпечення.*

5. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 1. С. 75–80. doi: 10.32918/nrs.2019.1(81).13 (**Scopus**, ISSN 2073-6231). *Особистий внесок: огляд літературних джерел, опис систем попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на АЕС України.*

6. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Зінов'єва І.С. Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. № 4. С. 286–305. doi:10.33407/itlt.v72i4.2 (**Web of Science**, ISSN 2076-8184). *Особистий внесок: аналіз літературних джерел, визначення особливостей підготовки фахівців у галузі екологічної безпеки до застосування автоматизованих систем підтримки прийняття управлінських рішень.*

7. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Фізичні особливості розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за умов надзвичайної ситуації на АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 4. С. 88–98. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).11 (**Scopus**, ISSN 2073-6231). *Особистий внесок: визначення та опис факторів впливу на розподіл концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.*

8. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., **Artemchuk V.** et al. Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*. 2020. Vol. 10(25). 200303. doi: 10.5696/2156-9614-10.25.200303 (**Scopus**, **Web of Science**, ISSN 2156-9614). *Особистий внесок: підготовка даних, побудова карт ризиків.*

9. Iatsyshyn Anna V., Kovach V.O., Romanenko Ye.O., Deinega I.I., Iatsyshyn Andrii V., Popov O.O., Kutsan Yu.G., **Artemchuk V.O.**, Burov O.Yu., Lytvynova S.H. Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of new technological era. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2547. P. 181–200. <http://ceur-ws.org/Vol-2547/paper14.pdf> (**Scopus**, **Web of Science**, ISSN 1613-0073). *Особистий внесок: опис прикладів застосування технологій доповненої реальності.*

10. Iatsyshyn A., **Artemchuk V.**, Zaporozhets A., Popov O., Kovach V. Mathematical Approaches for Determining the Level of Impact of Ash-Slag Dumps of Energy Facilities on the Environment. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. P. 1–13. doi: 10.1007/978-3-030-48583-2_1 (**Scopus**, ISSN 2198-4182). *Особистий внесок: дослідження особливостей застосування різних моделей та методик для визначення впливу золівідвалів на довкілля.*

11. Iatsyshyn Andrii, Iatsyshyn Anna, **Artemchuk V.**, Kameneva I., Kovach V., Popov O. Software tools for tasks of sustainable development of environmental problems: peculiarities of programming and implementation in the specialists' preparation. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202016601001 (**Scopus**, ISSN 2267-1242). *Особистий*

внесок: підготовка даних, розробка програмного забезпечення, побудова карт ризиків.

12. Maevsky O., **Artemchuk V.**, Brodsky Y., Makarenko L., Shpylovyi Y. A Conceptual Approach to the Development of Software Tools for the Analysis and Synthesis of Geophysical Monitoring Systems Models. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. Vol. 346. P. 333–345. doi: 10.1007/978-3-030-69189-9_20 (**Scopus**, ISSN 2198-4182). *Особистий внесок: огляд літературних джерел, визначення мети та задач дослідження.*

13. **Артемчук В.О.** Аналіз архітектур систем моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 66. С. 3–9.

14. **Артемчук В.О.** Врахування характеристик сенсорів в задачі оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 65. С. 11–15.

15. **Артемчук В.О.** Дослідження існуючих безпроводних сенсорних мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 65. С. 3–9.

16. **Артемчук В.О.** Основні проблеми оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 64. С. 7–11.

17. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Використання інформаційних технологій в задачах управління екологічною безпекою. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2013. Вип. 2(41). С. 289–294. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

18. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Побудова шкал для дослідження динаміки техногенних навантажень на атмосферне повітря міста. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 67. С. 11–17. *Особистий внесок: збір*

та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.

19. **Артемчук В.О.** Класифікація задач оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 67. С. 10–15.

20. **Артемчук В.О.** Перспективи використання безпроводних сенсорних мереж. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 68. С. 48–56.

21. Криваковская Р.В., **Артемчук В.А.** Исследование влияния погрешностей отдельных факторов на погрешность моделирования распространения примесей в приземном слое атмосферы. *Электронное моделирование*. 2013. № 3. С. 49–63. *Особистий внесок: збір та оброблення даних*.

22. Каменева И.П., Яцишин А.В., **Артемчук В.А.** Компьютерные средства оценивания экологических рисков с использованием структурного анализа данных мониторинга. *Электронное моделирование*. 2013. № 6. С. 99–114. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення*.

23. **Артемчук В.О.** Використання GPS-орієнтованих сервісів при оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 68. С. 26–30.

24. **Артемчук В.О.** Перспективи використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 69. С. 34–39.

25. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Адаптація програмних засобів аналізу даних до задач дослідження стійкості територіальних систем. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 70. С. 3–10. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення*.

26. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Візуальні засоби моніторингу динаміки техногенних навантажень на приземне повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 71. С. 3–8. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

27. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2014. № 40(1083). С. 130–137. *Особистий внесок: огляд літературних джерел, визначення мети та задач дослідження.*

28. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Кількісний аналіз стану довкілля на техногенно забруднених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 3–16. *Особистий внесок: огляд літературних джерел, визначення мети та задач дослідження.*

29. **Артемчук В.О.** Оптимізація мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 27–35.

30. Яцишин А.В., Каменева І.П., **Артемчук В.О.** Комп'ютерні засоби дослідження динаміки техногенних навантажень на урбанізовані території. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2015. Вип. 9. С. 27–36. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

31. Попов О.О., **Артемчук В.О.** Визначення стійкості геоекосистем регіону досліджень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2015. Вип. 75. С. 9–18. *Особистий внесок: оцінювання екологічних ризиків.*

32. Попов О.О. Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Можливості використання експертних методів та систем для вирішення задач екологічної безпеки в зонах впливу АЕС. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2016. Вип. 25. С. 5–16. *Особистий внесок: опис*

експертних систем.

33. **Артемчук В.А.**, Каменева И.П., Яцишин А.В. Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий. *Электронное моделирование*. 2016. № 2. С. 49–66. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

34. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Алгоритмічні засоби побудови гібридної інтелектуальної системи в галузі екологічної безпеки. *Моделювання та інформаційні технології*. 2016. Вип. 76. С. 60–69. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

35. Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Сучасні методи аналізу ризиків в задачах управління екологічною безпекою на техногенно забруднених територіях. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 10. С. 56–64. *Особистий внесок: огляд методів аналізу ризиків.*

36. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Імовірнісна модель когнітивного аналізу даних моніторингу в задачах екологічної безпеки. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 11. С. 57–66. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

37. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Математичний підхід до визначення ризиків для населення урбанізованих територій від впливу техногенних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 79. С. 49–60. *Особистий внесок: оцінювання екологічних ризиків.*

38. **Артемчук В.А.**, Каменева И.П., Яцишин А.В. Специфика применения когнитивного анализа информации в задачах обеспечения экологической безопасности. *Электронное моделирование*. 2017. № 6. С. 107–124. *Особистий внесок: збір даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

39. Куцан Ю.Г., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Сучасна методика визначення. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 80. С. 11–19. *Особистий внесок: опис та обґрунтування змін до методики*.

40. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Інтелектуальний аналіз даних в системі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 82. С. 48–52. *Особистий внесок: дослідження та використання засобів інтелектуального аналізу даних*.

41. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Яцишин А.В., Яцишин Т.М. Методичні та інформаційні засоби аналізу екологічних ризиків на основі даних моніторингу. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 83. С. 48–62. *Особистий внесок: опис та дослідження інформаційних засобів аналізу екологічних ризиків*.

42. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Краснов Є.Б., Куценко В.О. Проектування та розробка засобів візуалізації для розв’язання задач оцінки впливу нерадіаційних викидів АЕС України на атмосферне повітря та населення прилеглих територій. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 84. С. 55–65. *Особистий внесок: проектування програмного забезпечення*.

43. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О., Яцишин Т.М. Перспективи розробки математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 85. С. 75–80. *Особистий внесок: розроблення та дослідження математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень*.

44. Яцишин А.В., Матвєєва І.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П. Особливості впливу золівідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 2(28). С. 57–68. *Особистий внесок: дослідження особливостей застосування різних*

моделей та методик для визначення впливу золівдвалів на довкілля.

45. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Принципи та методи управління екологічною безпекою на основі інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 4. С. 85–102. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

46. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Засоби інтелектуального аналізу та візуалізації геопросторових даних моніторингу стану атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 5. С. 85–102. *Особистий внесок: збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення.*

47. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Каменева І.П. Аналіз сучасних математичних засобів оцінки впливу місць зберігання золошлакових відходів теплоенергетики на екологічний стан прилеглих територій. *Техногенно-екологічна безпека*. 2019. № 6(2/2019). С. 24–29. *Особистий внесок: дослідження особливостей застосування різних моделей та методик для визначення впливу золівдвалів на довкілля.*

48. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Яцишин А.В. Інформаційні системи та програмні засоби в галузі екологічної безпеки атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 86. С. 20–28. *Особистий внесок: критичний аналіз існуючих програмних засобів в галузі екологічної безпеки атмосферного повітря.*

49. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Розроблення математичної моделі забруднення атмосфери за умов довготривалих викидів потенційно-небезпечних джерел. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 89. С. 50–63. *Особистий внесок: розроблення та використання програмного забезпечення.*

50. Попов О.О. Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Математичні підходи вирішення задачі визначення раціональних місць

розташування стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 88. С. 156–163. *Особистий внесок: огляд підходів до вирішення задач оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря з використанням маршрутних постів*.

51. Кириленко Ю.О., Каменева І.П., Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О. Аналіз засобів моделювання наслідків радіаційних аварій та інцидентів з розливом рідких радіоактивних середовищ. *Електронне моделювання*. 2020. № 4. С. 31–48. *Особистий внесок: огляд літературних джерел та інформаційних ресурсів*.

52. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Ковач В.О., Яцишин Анна В., Туревич А.О., Куценко В.О. Вирішення оптимізаційної задачі розміщення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях України. *Геохімія техногенезу*. 2020. № 4(32)/2020. С. 86–95. *Особистий внесок: математична постановка задачі проектування мережі моніторингу стану атмосферного повітря на базі рухомого складу громадського транспорту та методи її вирішення*.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

53. Каменева І.П., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Комп'ютерний аналіз даних моніторингу атмосферного повітря. *«Зелена» економіка: перспективи впровадження в Україні*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 24–25 квіт. 2012 р. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2012. Т. 1. С. 372–377.

54. Яцишин А.В., Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Попов О.О. Комп'ютерні засоби моделювання техногенних навантажень на урбанізовані території. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 27–31 трав. 2012 р. Херсон : ХНТУ, 2012. Т. 1. С. 239–241.

55. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Експертно-аналітичні технології аналізу ризиків від техногенних навантажень на атмосферне

повітря. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 20–24 трав. 2013 р. Херсон : ХНТУ, 2013. С. 39–41.

56. **Артемчук В.О.** Актуальні питання побудови сучасних мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXII Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 11–12 січ. 2013 р. Київ, 2013. С. 3.

57. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Впровадження європейських стандартів в державну систему моніторингу довкілля *Інформаційні управляючі системи та технології*: зб. матеріалів наук.-практ. конф. 23–25 верес. 2014 р. Одеса : «ВМВ», 2014. С. 299–301.

58. **Артемчук В.О.** Загальна постановка задачі оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXIII Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 15–16 січ. 2014 р. Київ, 2014. С. 33.

59. Попов О.О., **Артемчук В.О.** Вимоги до програмного забезпечення інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу АЕС України. *Екологічна безпека держави*: тези доповідей IX Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, 16 квіт. 2015 р. Київ : НАУ, 2015. С. 58.

60. **Артемчук В.О.** Можливість використання GPS-орієнтованих сервісів при оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря *Інформаційні технології – 2015*: зб. тез доповідей II Української конф. молодих науковців, 28–29 трав. 2015 р., Київ : Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2015. С. 99–101.

61. Яцишин Т.М., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Розробка математичних засобів для вирішення задач екологічного моніторингу техногенних джерел забруднення. *Стратегия качества в промышленности и образовании*: сб. тр. XI междунар. конф., 1–5 июня 2015 г. Болгария, г. Варна : Технический университет-Варна, 2015. Т.1. С. 430–435.

62. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Сметанін К.В. Побудова

комплексних показників для оцінки стану навколишнього природного середовища в зонах впливу потенційно небезпечних об'єктів. *Збірник наукових праць з'їзду «V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю»*, 23–26 верес. 2015 р. Вінниця : ВНТУ, 2015. С. 30.

63. Лисиченко Г.В., Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Розробка комп'ютерної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря в зонах впливу техногенних об'єктів. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи*: зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф., 4–6 лист. 2015 р. Львів : ЛДУБЖД, 2015. С. 211–214.

64. **Артемчук В.О.** Архітектура мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXIV Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 15 січня 2015 р., Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України 2015. С. 15.

65. **Артемчук В.О.** Загальна постановка та класифікація задач оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Наука и образование*: сб. тр. VII междунар. науч. конф., 27 февраля–6 марта 2015 г., г. Дубай (Объединенные Арабские Эмираты). Хмельницкий : ХНУ, 2015. С. 35–37.

66. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Етапи побудови гібридної інтелектуальної системи для задач екологічної безпеки. *МОДЕЛИРОВАНИЕ – 2016*: сб. тр. междунар. науч. конференции. Киев, 2016. С. 135–138.

67. **Артемчук В.О.** Засоби аналізу даних мережі моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою об'єктів енергетики. *Наукова молодь*: зб. матеріалів IV Всеукр. наук. конф. молодих учених / За заг. ред. Спіріна О.М., 15 груд. 2016 р. Київ, 2016. С. 129–138.

68. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О. Спеціалізовані геоінформаційні програмні комплекси для розв'язання задач

моніторингу довкілля на техногенно-навантажених територіях. *Екологічна безпека держави*: зб. матеріалів XI Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, 20 квіт. 2017 р. Київ : НАУ, 2017. С. 72.

69. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О. Інформаційно-аналітичні програмні засоби підтримки прийняття рішень у задачах комплексного екологічного моніторингу забруднених територій. *Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні*: зб. матеріалів I Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів, 6–7 квіт. 2017 р. Київ : ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана», 2017. С. 161–162.

70. Popov O.O., Yatsyshyn A.V., **Artemchuk V.O.**, Kutsenko V.O. Decision Making Support System for Prevention of Emergencies on the Allocation Territory of Chemically Dangerous Objects. *Chemical and Radiation Safety: Problems and Solutions*: Materials of fifth international conference, May 24–26, 2017. Kyiv : SI «IEG of NAS of Ukraine», 2017. P. 42.

71. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Алексєєва О.В. Підвищення рівня інформатизації системи моніторингу стану атмосферного повітря локального рівня України. *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., с. Залізний Порт, 22–26 трав. 2017 р. Херсон : ХНТУ, 2017. С. 212–214.

72. **Артемчук В.О.** Засоби забезпечення моніторингу стану атмосферного повітря на території впливу великих спалювальних установок. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 12–18 березня 2018 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2018. С. 67–69.

73. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Структура системи інтелектуального аналізу даних в системі моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 16 травня

2018 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2018. С. 74–77.

74. **Артемчук В.А.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Проблема моделювання процесу прийняття рішень на основі аналізу та структурування інформації. *МОДЕЛИРОВАНИЕ* – 2018: сб. тр. междунар. науч. конф. Київ, 2018. С. 90–93.

75. Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Законодавче забезпечення розробки інтелектуальної системи підтримки рішень для управління енергетичними об'єктами в контексті екологічної безпеки. *Наукова молодь – 2018*: зб. матеріалів V Всеукр. конф. молодих учених / за ред. Спіріна О.М. та Яцишин А.В., 16 листоп. 2018 р. Київ, 2018. С. 64–67.

76. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О. Доцільність розробки програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічній сферах України: теорія і практика*: зб. матеріалів II Всеукр. наук.-практ. інт.-конф., 27 листоп. 2018 р. Київ : КУБГ, 2018. С. 190–191.

77. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Чинники виникнення та заходи попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря на територіях розміщення потенційно небезпечних об'єктів. *Екологічна безпека держави*: тези доповідей XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, присвяченої пам'яті професора Я.І. Мовчана (з міжнародною участю), 19 квіт. 2018 р., Київ : НАУ, 2018. С. 77–78.

78. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О. Засоби оцінки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті розробки Загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 11–17 берез. 2019 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2019. С. 111–113.

79. **Артемчук В.О.,** Кириленко Ю.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Математичні і програмні засоби оцінки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в рамках створення загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». *Зб. тез XXXVII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 15 трав. 2019 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2019. С. 86–87.

80. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.,** Алексєєва О.В. Спеціалізовані комп'ютерні системи аналізу, моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря на територіях розміщення об'єктів енергетики України. *Стратегія якості в промисловості і освіті: зб. матеріалів XV Міжнар. конф., 3–6 черв. 2019 р. Болгарія, м. Варна : Технічний університет-Варна*, 2019. С. 424–430.

81. **Artemchuk V.,** Kyrylenko Y., Iatsyshyn A., Popov O., Stanytsina V., Zinovieva I. Some issues of environmental effectiveness and monitoring in the field of atmospheric protection in Ukrainian legislation. *Perspectives of world science and education. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. October 30–31, 2019. Osaka, Japan : CPN Publishing Group*, 2019. P. 184–188.

82. **Артемчук В.О.,** Кириленко Ю.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Розробка математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації: зб. матеріалів наук. конф., 20 груд. 2019 р. Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 2019. С. 106–109.

83. **Артемчук В.О.,** Каменева І.П., Кириленко Ю.О., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Рідкі радіоактивні середовища як потенційні джерела викиду. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 16–22 берез. 2020 р. Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького*, 2020. С. 134–137.

84. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Туревич А.О., Куценко В.О. Світовий досвід побудови системи моніторингу стану атмосферного повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. *Зб. тез XXXVIII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 15 трав. 2020 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2020. С. 91–94.

85. Яцишин А., Попов О., **Артемчук В.**, Ковач В., Яцишин Анна, Коваленко В. Перспективи розробки та впровадження математичних та програмних засобів визначення впливу місця зберігання відходів теплоенергетики. *Наукова молодь – 2020: зб. матеріалів VIII Всеукр. наук. конф. молодих учених*, 21 жовт. 2020 р. Київ, 2020. С. 135–138.

86. **Artemchuk V.**, Popov O., Iatsyshyn A. Perspectives Of Development Modern Air Quality Monitoring System on the Basis of Public Transport Rolling Stock. *Modern Problems of Nature Protection and Sustainable Development*. Materials of the international scientific-practical conference, November 16, 2020. Semey, Kazakhstan, 2020. P. 147–150.

87. **Artemchuk V.**, Popov O., Iatsyshyn A. Development Actuality Of Modern Air Quality Monitoring System On The Basis Of Public Transport Rolling Stock. *Prospects Of Territorial Development: Theory And Practice*. Proceedings of the IV All-Ukrainian scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists, November 19–20, 2020, Kharkiv, Ukraine, 2020. P. 282–285.

88. Маєвський О.В., **Артемчук В.О.**, Бродський Ю.Б., Топольницький П.П. Розроблення комп'ютерних моделей керування кліматичними параметрами на локальному рівні. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф.*, 15–21 березня 2021 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2021. С. 132–133.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	30
ВСТУП	31
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ТА НОРМАТИВНИХ АКТІВ В СФЕРІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ	44
1.1. Нормативно-правові засади в сфері перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень	44
1.2. Аналіз сучасних наукових підходів в сфері визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень	47
1.3. Формулювання та обґрунтування проблематики дослідження	95
1.4. Висновки до розділу 1	98
РОЗДІЛ 2 КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ	99
2.1. Категоріально-понятійний апарат визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень	99
2.2. Концепція визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень	103
2.3. Актуальні класи управлінських рішень, що потребують визначення екологічної ефективності в галузі охорони атмосферного повітря	105
2.4. Висновки до розділу 2	108
РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНІ ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ	110
3.1. Побудова оціночної функції	110
3.2. Перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення	111
3.3. Функції бажаності	116

3.4. Моделі забруднення атмосферного повітря.....	118
3.4.1. Моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері від стаціонарних джерел	118
3.4.2. Оцінювання впливу місць зберігання відходів підприємств паливно-енергетичного комплексу на довкілля	138
3.4.3. Моделі забруднення атмосферного повітря внаслідок подій із розливом радіоактивних рідин	183
3.5. Висновки до розділу 3	185
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ НА ПРИКЛАДІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	188
4.1. Дослідження можливостей існуючих програмних засобів	188
4.2. Розроблення програмних засобів визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень	194
4.3. Приклади використання.....	199
4.4. Висновки до розділу 4	207
РОЗДІЛ 5 МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	208
5.1. Розроблення методики побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту	208
5.2. Удосконалення методичного забезпечення оцінювання викидів забруднювальних речовин у атмосферу від техногенних об'єктів. Перегляд ГКД 34.02.305-2002	241
5.3. Висновки до розділу 5	253
РОЗДІЛ 6 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	254
6.1. Варіанти застосування отриманих результатів в галузі екологічної безпеки	254

6.2. Формування висококваліфікованих фахівців як складова підвищення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря	267
6.2.1. Сучасні міжнародні вимоги до управління галуззю енергетики: формування висококваліфікованих фахівців	267
6.2.2. Геоінформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення для підвищення кваліфікації та підготовки фахівців енергетиків	281
6.2.3. Застосування імерсивних технологій в галузі енергетики: фінансові переваги та особливості підвищення кваліфікації й підготовки фахівців	301
6.3. Висновки до розділу 6	313
ВИСНОВКИ	315
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	319
ДОДАТКИ	363
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертації	364
Додаток Б ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» Текст після перегляду	378
Додаток В Акти впровадження	425

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АП	Атмосферне повітря
ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я
ГДВ	Гранично допустимий викид
ГДК	Гранично допустима концентрація
ГКД	Галузевий керівний документ
ДСНС	Державна служба з надзвичайних ситуацій України
ЕЕ	Екологічна ефективність
ЕЕПУР	Екологічна ефективність прийняття управлінських рішень
ЗВ	Золошлакові відходи
ЗР	Забруднювальні (забруднюючі) речовини
КМУ	Кабінет Міністрів України
МЕПР	Міністерство екології та природних ресурсів України
МОЗ	Міністерство охорони здоров'я України
НМЛОС	Неметанові леткі органічні сполуки
ОБРВ	Орієнтовно безпечний рівень впливу
ППЕК	Підприємства паливно-енергетичного комплексу
ПСЗ	Пост спостереження за забрудненням атмосфери
РЗА	Рівень забруднення атмосфери
СППР	Система підтримки прийняття рішень
ТЕС	Теплова електростанція
ТЕЦ	Теплоелектроцентрально
ТУ	Технічні умови
УР	Управлінське(і) рішення
ЦКШ	Циркулюючий киплячий шар
AISEEM	Інформаційно-аналітична система еколого-енергетичного моніторингу
AR	Доповнена реальність
VR	Віртуальна реальність

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В Україні проблема забруднення довкілля є дуже гострою. Так, в 2017 р. Всесвітня організація охорони здоров'я визнала, що в Україні найвищий в світі рівень смертності від забрудненого повітря. Для виправлення даної ситуації в Україні прийнято ряд важливих нормативно-правових актів та інших документів, серед яких за останні роки варто виділити: Закони України «Про оцінку впливу на довкілля» та «Про стратегічну екологічну оцінку», Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок (НПСВ), Стратегію низьковуглецевого розвитку України до 2050 року тощо. Також наша країна приєдналася до світової спільноти стосовно запобігання зміні клімату через скорочення антропогенних викидів і збільшення абсорбції парникових газів та забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку, про що свідчать ратифіковані Україною Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Кіотський протокол, Паризька угода та інші міжнародні нормативні акти. Проте ціла низка проблем в галузі екологічної безпеки нашої країни (починаючи з неефективності системи моніторингу довкілля, відсутності належних інформаційних взаємозв'язків між дозвільними, контролюючими, звітними, моніторинговими та іншими інформаційними ресурсами через традиційно існуюче секторальне державне управління у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів, і закінчуючи наявністю значної кількості несистематизованої та непереведеної у цифровий формат інформації про стан довкілля на паперових носіях) не дозволяє на повну силу запрацювати даним нормативним актам та створює виклики для прийняття ефективних управлінських рішень в цій галузі.

Проблематиці управління в галузі екологічної безпеки присвячено багато досліджень провідних закордонних та українських вчених

(Adamovsky A., An Q., Chu J., Cui Q., Halkos G.E., Liang L., Liu H., Long X., Song M.L., Wang S., Wu J., Андрійчук В.Г., Барабаш О.В., Білявський Г.О., Бондар О.І., Варламов А.О., Ващенко В.М., Галушкіна Т.П., Данилишин Н.В., Дичко А.О., Деревяго І.П., Єрмаков В.М., Завадський Й.С., Захматов В.Д., Князько О.П., Колихаєва Ю.А., Коренюк П.І., Лисиченко Г.В., Лозовська Н.М., Луньова О.В., Машков О.А., Ніколаєнко Т.С., Олексів І.Б., Петренко В.С., Петрук В.Г., Попов О.О., Риженко Н.О., Ришняк І.Н., Рожко З.П., Світин В.А., Степанов Д.В., Тархов П.В., Третяк А.М., Улицький О.А., Фінін Г.С., Фролов В.Ф., Чернюк М.О., Чогут Г.І., Чумаченко С.М., Шелудченко Л.С., Шкіца Л.Є., Шмандій В.М., Шматков Г.Г., Ясінецька І.А., Яцишин А.В. та ін.), проте в їхніх роботах недостатньо приділяється увага визначенню та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

Також, в Україні прийнято ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови», проте даний документ містить лише загальні настанови, і без відповідної теорії, математичного та програмного забезпечення не може використовуватись для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. Крім того, існуючі засоби оцінювання забруднення довкілля (система моніторингу, математичні моделі забруднення навколишнього середовища від функціонування різних техногенних, зокрема енергетичних, об'єктів та відповідні програмні засоби), що є базисом для визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, мають суттєві недоліки та потребують удосконалення.

Таким чином, наразі, фактично відсутній інструментарій (нормативне, методологічне, математичне та програмне забезпечення тощо) для оцінювання управлінських рішень, які безпосередньо чи опосередковано мають вплив на навколишнє середовище, щодо їх екологічної ефективності. Така ситуація створює перешкоди для ефективного управління в галузі екологічної безпеки, що, в свою чергу, стримує нашу країну на шляху

досягнення цілей сталого розвитку. Тому, розвиток теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів є актуальною науково-прикладною проблемою, що потребує вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні, державної екологічної політики України, державної політики з питань національної безпеки та наукових досліджень Національної академії наук України. Робота виконувалась відповідно до плану наукових досліджень Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України в рамках наступних НДР: «Розробка теоретичних основ, алгоритмів та програмних засобів для аналізу даних еколого-енергетичного моніторингу техногенних навантажень на приземний шар атмосфери» (№ держ. реєстрації 0109U006951, 2010–2014 рр.); «Розробка інформаційного та програмного забезпечення для аналізу і прогнозування техногенних ризиків на локальному та регіональному рівнях в задачах планування та управління процесами сталого розвитку» (№ держ. реєстрації 0110U005223, 2010–2014 рр.); «Засоби проектування сучасних мереж моніторингу стану атмосферного повітря в рамках зменшення техногенного впливу об'єктів енергетики на довкілля» (№ держ. реєстрації 0113U002938, 2013–2014 рр.); «Засоби аналізу даних мережі моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою об'єктів енергетики» (№ держ. реєстрації 0115U005149, 2015–2016 рр.); «Розвиток теоретичних основ, методів та засобів проектування локальних та регіональних мереж моніторингу стану атмосферного повітря» (№ держ. реєстрації 0114U006580, 2015–2019 рр.); «Засоби інтелектуального аналізу даних моніторингу стану атмосферного повітря в рамках зменшення техногенного впливу об'єктів енергетики на довкілля» (№ держ. реєстрації 0117U003393, 2017–2018 рр.); «Перегляд ГКД 34.02.305-2002 Викиди

забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» (договір № 802-17 від 10.08.2017 р., 2017 р.); «Розробка математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень» (№ держ. реєстрації 0118U005402, 2018–2019 рр.); «Дослідження моделей інформаційного забезпечення і розробка експериментальної інтелектуальної системи підтримки рішень для управління енергетичними системами» (№ держ. реєстрації 0220U102172, 2018–2019 рр.); «Засоби моделювання та прогнозування впливу місць зберігання відходів теплоенергетики на довкілля» (№ держ. реєстрації 0119U102308, 2019–2020 рр.); «Математичні та комп'ютерні засоби оцінки радіаційного впливу при аваріях із розливом рідких радіоактивних середовищ» (№ держ. реєстрації 0119U101481, 2019–2021 рр.); «Методологія побудови системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. Розділ 1. Математичне забезпечення» (№ держ. реєстрації 0120U100518, 2020 р.); «Розвинення методів створення засобів підтримки управлінських рішень в задачах моніторингу атмосферного повітря», (№ держ. реєстрації 0120U101139, 2020–2022 рр.); «Математичні та програмні засоби підтримки прийняття рішень при аварійних розливах радіоактивних рідин на відкритій місцевості» (№ держ. реєстрації 0121U111797, 2021–2022 рр.), в яких автор брав участь як керівник або відповідальний виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України шляхом розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря та розроблення відповідних математичних та програмних засобів.

Для досягнення вказаної мети були поставлені та вирішені наступні основні наукові **завдання**:

1. Здійснити аналіз сучасних наукових підходів та нормативних актів в сфері визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

2. Розробити концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

3. Розробити математичні засоби визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

4. Розробити програмне забезпечення для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

5. Розробити підхід до побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

6. Запропонувати та удосконалити математичні та програмні засоби оцінювання впливу золовідвалів об'єктів теплоенергетики на атмосферне повітря, що можуть бути використані для визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

7. Запропонувати та удосконалити моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від викидів об'єктів енергетики для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

8. Удосконалити підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок.

9. Дослідити можливості використання сучасних засобів аналізу та візуалізації даних в контексті визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

10. Запропонувати варіанти використання та впровадження отриманих математичних та програмних засобів визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

Об'єкт дослідження – визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі при розв’язанні поставлених наукових завдань комплексно використовувалися методи системного і функціонального аналізу, математичного моделювання, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії ризиків, теорії алгоритмів, теорії баз даних і багатовимірного аналізу даних, методи дослідження операцій, об’єктно-орієнтованого програмування, геоінформаційних технологій, планування наукового експерименту та обробки його результатів тощо.

Наукова новизна отриманих результатів. В дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-прикладну проблему розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів. Основні наукові результати, що характеризують новизну виконаного дослідження, полягають у тому, що:

1. *Вперше розроблено* концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що враховує: можливість управлінського рішення одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення надзвичайних ситуацій; часову тривалість дії ефекту від управлінського рішення; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив управлінського рішення на виконання нормативних вимог та зобов’язань. Запропоновано визначення терміну «екологічна ефективність прийняття управлінських рішень».

2. *Вперше розроблено* систему визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що включає адекватну

оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності.

3. *Вперше розроблено* структурну модель визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу.

4. *Вперше розроблено* теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, який, на відміну від існуючих, дозволяє визначати маршрути пересувних постів в залежності від техногенних, екологічних, соціально-економічних чинників, рівня та наслідків забруднення атмосфери і актуальних задач моніторингу для конкретної мережі/території.

5. *Вперше запропоновано* метод уточнення коефіцієнтів для визначення річного виносу золених частинок золовідвалу, що дозволило із більш високою точністю проводити моделювання та прогнозування впливу золошлаковідвалів підприємств паливно-енергетичного комплексу на стан забруднення атмосферного повітря прилеглих територій, зокрема при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі.

6. *Вдосконалено методи* ідентифікації параметрів моделей розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від викидів стаціонарних техногенних джерел, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, алгоритм зниження розмірності задачі та алгоритм розпаралелення обчислень, що дозволило значно скоротити час розв'язання задачі ідентифікації. Здійснено більш точну ідентифікацію параметрів

моделей для точкових джерел за різних сценаріїв викидів, що дозволило зменшити похибку моделювання при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

7. *Вдосконалено підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок з використанням методики ГКД 34.02.305-2002 за рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо).* Обґрунтовано доцільність використання даної методики при врахуванні виконання нормативних вимог та зобов'язань в рамках визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

8. *Дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану атмосферного повітря та відповідних ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі.*

9. *Дістали подальшого розвитку підходи до підготовки висококваліфікованих фахівців та управлінців в галузі екологічної безпеки за рахунок впровадження запропонованих математичних і програмних засобів та імерсивних технологій.*

Практичне значення отриманих результатів. До результатів, що мають найбільшу практичну цінність, належать:

1. Розроблена концепція, математичне та програмне забезпечення для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря дозволяє здійснити обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності управлінського рішення для виконання (наприклад, щодо будівництва

генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих управлінських рішень (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

2. Використання розроблених методів та засобів дозволяє розвивати існуючі та проектувати нові сучасні мережі моніторингу стану атмосферного повітря за рахунок побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. Побудова таких мереж дозволить підвищити ефективність роботи системи моніторингу довкілля України, зокрема для прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень, та зменшити витрати на комплексний аналіз екологічного стану міста або регіону.

3. Отримані в роботі засоби для моделювання та аналізу забруднення атмосферного повітря від різних техногенних джерел (ТЕС, ТЕЦ, золошлаковідвали, радіаційно-небезпечні об'єкти тощо) дають можливість відповідним службам визначати вплив даних об'єктів на довкілля, персонал та населення прилеглих територій, та здійснювати ефективне управління екологічною безпекою в зонах їх впливу.

Результати роботи використано при: підготовці пропозицій «Деякі проблемні питання моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря в законодавстві України» на Парламентські слухання «Пріоритети екологічної політики Верховної Ради України на наступні п'ять років» від 27 листопада 2019 р.; перегляді «ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» (договір № 802-17 від 10.08.2017 р.); підготовці зауважень та пропозицій до проекту «Методичних рекомендацій з розробки звіту з оцінки впливу на довкілля для теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води

тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива» (від 06.08.2020 р.).

Результати роботи впроваджено в: Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління (акт впровадження від 19 квітня 2018 р.); ТОВ «Науковий парк Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління «ЧОРНОБИЛЬ» (акт впровадження від 19 квітня 2018 р.); Державній екологічній інспекції України (лист 6152/2.5/7-19 від 27 вересня 2019 р.); Біоенергетичній асоціації України (акт впровадження від 17 грудня 2019 р.); Головному управлінні ДСНС України у Запорізькій області (акт впровадження від 27 листопада 2020 р.); Дарницькому районному управлінні Головного управління ДСНС України у м. Києві (акт впровадження від 3 грудня 2020 р.) та Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (акт впровадження від 15 червня 2021 р.).

Особистий внесок здобувача. Праці [13, 14, 15, 16, 19, 20, 23, 24, 29, 56, 58, 60, 64, 65, 67, 72] написані автором одноосібно. У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: розроблення та опис засобів проектування та аналізу даних мереж моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою [1]; математична постановка задачі проектування мережі моніторингу стану атмосферного повітря на базі рухомого складу громадського транспорту та методи її вирішення [2, 52]; огляд літературних джерел, участь в розробленні концептуальних схем [3]; розроблення основних модулів описаного програмного забезпечення [4, 59, 63, 66, 68, 69, 71, 80]; огляд літературних джерел, опис систем попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на АЕС України [5]; аналіз літературних джерел, визначення особливостей підготовки фахівців у галузі екологічної безпеки до застосування автоматизованих систем підтримки прийняття управлінських рішень [6]; визначення та опис факторів впливу на розподіл концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі [7]; підготовка даних, розробка програмного

забезпечення, побудова карт ризиків [8, 11, 62, 74]; опис прикладів застосування технологій доповненої реальності [9]; дослідження особливостей застосування різних моделей та методик для визначення впливу золівдвалів на довкілля [10, 44, 47, 85]; огляд літературних джерел, визначення мети та задач дослідження [12, 27, 28, 77, 88]; збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення [17, 18, 22, 25, 26, 30, 33, 34, 36, 38, 45, 46, 49]; збір та оброблення даних [21]; оцінювання екологічних ризиків [31, 37]; опис експертних систем [32]; огляд методів аналізу ризиків [35]; опис та обґрунтування змін до методики [39]; дослідження та використання засобів інтелектуального аналізу даних [40, 73, 75]; опис та дослідження інформаційних засобів аналізу екологічних ризиків [41, 55]; проектування програмного забезпечення [42]; розроблення та дослідження математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень [43, 76, 78, 79, 81, 82]; критичний аналіз існуючих програмних засобів в галузі екологічної безпеки атмосферного повітря [48, 53, 54]; огляд підходів до вирішення задач оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря з використанням маршрутних постів [50, 84]; огляд літературних джерел та інформаційних ресурсів [51, 57, 61, 70, 83]; опис та дослідження засобів вирішення задачі побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту [86, 87].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на: XXXI–XXXIX щорічних науково-технічних конференціях молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 2012–2021 рр.); Міжнародній науковій конференції «Зелена економіка: перспективи впровадження в Україні» (м. Київ, 2012 р.); Міжнародних наукових конференціях «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (м. Херсон, 2012–2017 рр.); IX–XI Всеукраїнських науково-практичних конференціях молодих учених та

студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2015–2018 рр.); Українських конференціях молодих науковців «Інформаційні технології» (м. Київ, 2015–2019 рр.); XI–XV Міжнародних конференціях «Стратегія якості в промисловості і освіті», (Болгарія, м. Варна, 2015–2019 рр.); V Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю, (м. Вінниця, 2015 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (м. Львів, 2015 р.); Міжнародних наукових конференціях «МОДЕЛЮВАННЯ» (м. Київ, 2016 р. та 2018 р.); IV–XIII Всеукраїнських науково-практичних конференціях молодих учених «Наукова молодь» (м. Київ, 2016–2020 рр.); I Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні», (м. Київ, 2017 р.); V international conference «Chemical and Radiation Safety: Problems and Solutions» (Kyiv, 2017); Всеукраїнських науково-практичних Internet-конференціях «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку» (м. Черкаси, 2015–2021 рр.); II Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічній сферах України: теорія і практика» (м. Київ, 2018 р.); 2nd International scientific and practical conference «Perspectives of World Science and Education» (Osaka, Japan, 2019); Науково-практичних конференціях ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації» (м. Київ, 2019–2020 рр.); «ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer» (Kharkiv, 2020); «Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters» (Kryvyi Rih, 2020–2021); IV All-Ukrainian scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists «Prospects of Territorial Development: Theory and Practice» (Kharkiv, 2020); International scientific-practical conference «Modern Problems of Nature Protection and Sustainable Development» (Semey, Kazakhstan, 2020). Матеріали

і результати дослідження обговорювалися на засіданнях відділів та вченої ради ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (2012–2021 рр.).

Публікації. Результати дослідження опубліковано у 88 наукових працях, серед яких: 2 монографії; 10 статей у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science; 40 статей у наукових фахових виданнях України; 36 тез та матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, переліку умовних скорочень, шести розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел (416 найменування, з них 137 іноземною мовою) та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації – 432 сторінки, з них 288 сторінки основного тексту. Робота містить 19 таблиць та 73 рисунки. Додатки розміщено на 69 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ ТА НОРМАТИВНИХ АКТІВ В СФЕРІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

1.1. Нормативно-правові засади в сфері перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень

В Україні наявна потужна нормативна база в різних сферах, зокрема в контексті предметної області роботи розглядались нормативно-правові акти в сферах управління, збереження довкілля, енергетики тощо, які в сукупності створюють засади в сфері перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. Повний перелік чинних вітчизняних та закордонних (імплементованих Україною) нормативних актів в сфері перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень проаналізованих в рамках виконання даного дисертаційного дослідження вказаний в переліку посилань, зокрема: [177, 194, 195, 196, 197, 201, 202, 211, 212, 215, 230, 236, 237, 254, 263, 264, 265, 266, 270, 271, 320, 321, 323, 324, 326, 335, 342, 345, 346, 352, 354]. Найбільше інформації щодо перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень можна знайти в ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови» [202]. Також варто відзначити, що Україною ратифіковані Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Кіотський протокол, Паризька угода та інші міжнародні нормативні акти; прийнято ряд важливих законів та концепцій, серед яких за останні роки варто виділити: Закони України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 р. [346] та «Про стратегічну екологічну оцінку» від 20.03.2018 р. [352], «Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 р. № 932-р) [231], «Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 796-р.) [271], Стратегію низьковуглецевого розвитку

України до 2050 року [383] тощо.

ДСТУ ISO серії 14000 розпочинається з ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування» [201]. Призначення цього стандарту — «надати організаціям загальну схему діяльності задля охорони довкілля та реагування на зміни умов довкілля в рівноважному поєднанні з соціально-економічними потребами». Системний підхід до екологічного управління може забезпечити найвище керівництво інформацією, яка буде корисною для досягнення довгострокового успіху та набуття можливостей, що сприятимуть сталому розвитку, завдяки [201]:

- збереженню стану довкілля запобіганням або послабленням несприятливих впливів на нього;
- послабленню потенційного несприятливого впливу умов довкілля на організацію;
- сприянню організації у виконанні обов’язкових для дотримання відповідності вимог;
- підвищенню екологічної дієвості;
- контролюванню (або впливанню на них) способів розроблення продукції та послуг організації, їх виготовлення, розподілення, споживання та видалення з урахуванням аспектів передбачуваного життєвого циклу, що сприятиме запобігання впливу на довкілля від непередбачуваного переходу з однієї стадії життєвого циклу в іншу протягом усього життєвого циклу;
- досягненню фінансових переваг і переваг у функціонуванні, що можуть бути наслідком запровадження екологічно обґрунтованих альтернативних підходів, які зміцнюють позиції організації на ринку;
- обмінюванню екологічною інформацією з відповідними зацікавленими сторонами.

Стандарт [202] описує процес, який називають оцінюванням екологічної дієвості, що дозволяє організаціям вимірювати та оцінювати

свою екологічну дієвість та обмінюватися інформацією стосовною екологічної дієвості, використовуючи її основні показники. Оцінювання екологічної дієвості однаково можуть застосовувати малі та великі підприємства. Це може бути використано для підтримування системи екологічного управління, таким чином організація може оцінити екологічну дієвість на відповідність своїй екологічній політиці, цілям, завданням та іншим критеріям щодо екологічної дієвості. Організація може використати дані, отримані за допомогою оцінювання, для запровадження інших засобів і методів екологічного управління послідовним, прозорим і економічно результативним способом, зокрема, з інших стандартів, які стосуються систем екологічного управління (ISO 14001, ISO 14004, ISO 14005, ISO 14006), екологічних декларацій (ISO 14025), екологічного маркування (ISO 14024) та оцінювання життєвого циклу (ISO 14040, ISO 14044). У стандарті [202] подано настанови щодо планування та застосування оцінювання екологічної дієвості в межах організації. Стандарт можуть застосовувати всі організації, незалежно від їх типу, розміру, місця розташування та складності. Цей стандарт не встановлює рівні екологічної дієвості. Наставови цього стандарту можуть бути використані для підтримування власного підходу організації до оцінювання екологічної дієвості, зокрема своїх зобов'язань щодо дотримання правових та інших вимог, запобігання забрудненню та постійного поліпшування. Таким чином, стандарт напряду не оперує терміном «екологічна ефективність», натомість використовуючи термін «екологічна дієвість».

Екологічна дієвість; екологічні характеристики (environmental performance – англ.) – вимірні результати управління організацією своїми екологічними аспектами. У контексті системи екологічного управління результати може бути виміряно щодо екологічної політики організації, її екологічних цілей та екологічних завдань, а також інших вимог до екологічних характеристик [202].

Згідно стандарту [202] організація повинна визначити:

- що потрібно піддавати моніторингу та вимірюванню;
- методи моніторингу, вимірювання, аналізування та оцінювання, залежно від обставин, щоб отримати вірогідні результати;
- критерії, за якими організація буде оцінювати свою екологічну дієвість, і відповідні показники;
- коли треба провадити моніторинг і вимірювання;
- коли треба аналізувати та оцінювати відповідні результати.

Крім того, організація повинна [202]:

- забезпечити, щоб було відкалібровано чи перевірено використовувані засоби моніторингу та вимірювання і щоб їх підтримували в робочому стані належним чином;
- оцінювати свою екологічну дієвість і результативність системи екологічного управління;
- здійснювати внутрішнє та зовнішнє інформування стосовно екологічної дієвості, як це визначено в її процесі(-ах) інформування та відповідно до її обов'язкових для дотримання відповідності вимог.

Пошук по базі даних законодавства України не виявив більше документів, які напряду стосувалися б термінів «екологічна дієвість» та/або «екологічна ефективність».

1.2. Аналіз сучасних наукових підходів в сфері визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень

Проаналізуємо ряд наукових досліджень щодо визначення термінів «ефективність», «екологічна ефективність», «економічна ефективність» «еколого-економічна ефективність», «управлінське рішення» в різних галузях народного господарства.

В роботі [142] під ефективністю розуміють інтегровану економічну категорію, яка відображає виробничі відносини щодо економії сукупних затрат уречевленої та живої праці на отримання кінцевого позитивного результату. Категорія «ефективність» на рівні підприємства характеризує

зв'язок між величиною отриманого результату від його діяльності та кількістю інвестованих або витрачених у виробництві ресурсів. Підвищення ефективності можна досягти шляхом використання меншої кількості ресурсів для створення такого результату або за використання такої самої кількості ресурсів чи більшого випуску з відносно меншою кількістю ресурсів для створення більшого результату. Оскільки підприємство є відкритою системою, що функціонує в умовах ринкової економіки, проблему ефективності його діяльності можна розглядати з позицій різних зацікавлених сторін. Як економічна категорія ефективність має різновиди, зокрема: – економічна ефективність, що відображає відповідність витрат і результатів діяльності підприємства цілям та інтересам його учасників у грошовій формі; – соціальна ефективність, що відображає відповідність витрат і соціальних результатів діяльності підприємства цілям і соціальним інтересам суспільства; – екологічна ефективність, що відображає відповідність витрат і екологічних результатів інтересам держави й суспільства. Розгляд проблеми ефективності під різними кутами зору й оцінювання її для різних цілей і користувачів інформації зумовлюють багатоваріантність підходів до визначення ефективності діяльності підприємства [166].

Для визначення ефективності діяльності підприємства харчової промисловості необхідно врахувати комплекс показників, основними з них, на думку автора [255], є такі, що наведені на рис. 1.1. Економічну ефективність можна характеризувати як результативність діяльності підприємства. Соціальна ефективність – це результат впливу підприємства на потреби соціального характеру. Екологічна ефективність характеризує ощадливе відношення підприємства до навколишнього середовища, що сприяє зменшенню тиску підприємств на довкілля. Економічна, соціальна та екологічна ефективність взаємопов'язані. Використання показників, указаних на рис. 1.1, дасть змогу діагностувати результати діяльності підприємств та виявити багато проблем діяльності підприємств.

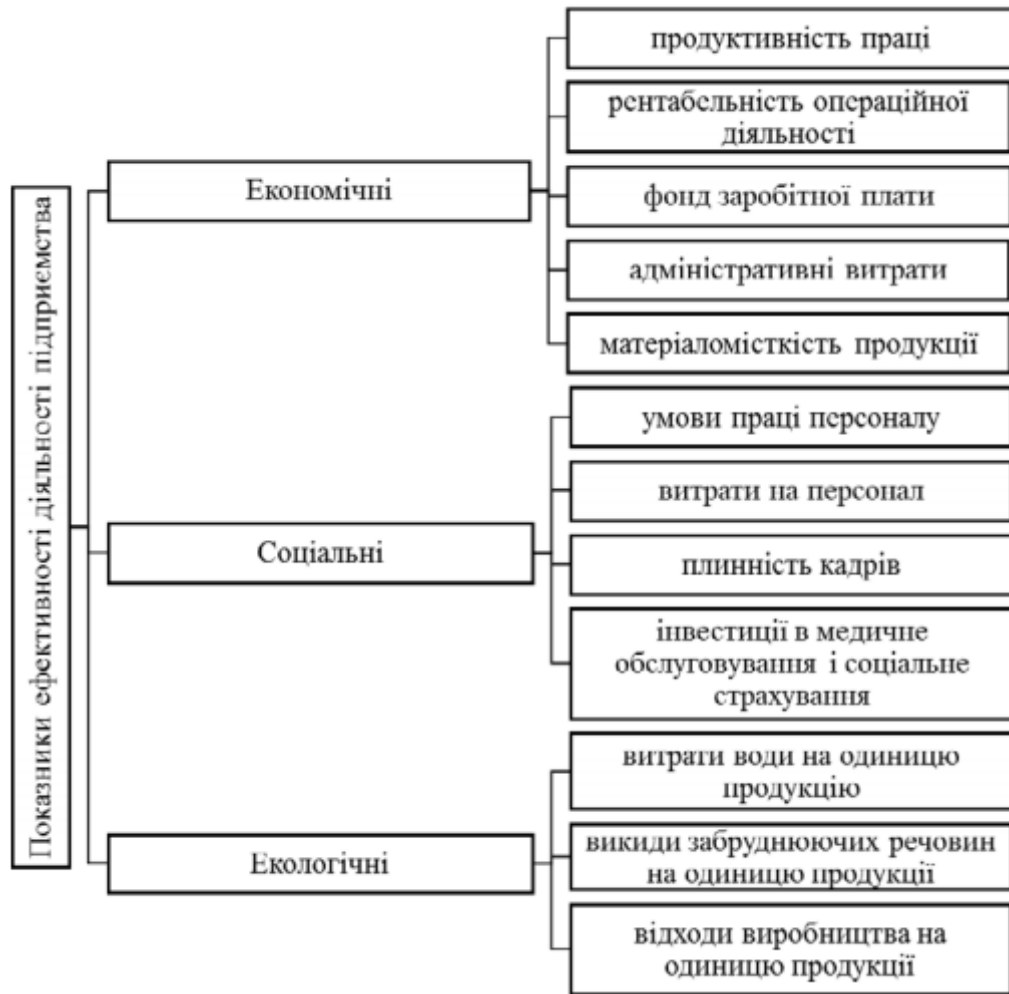


Рис. 1.1. Показники ефективності діяльності підприємства [255]

Ефективність функціонування системи тепlopостачання — це багаторівнева, комплексна категорія. Ю.О. Колихаєва [233] визначає її як сукупність результативних показників, що характеризують ступінь задоволення зовнішніх і внутрішніх потреб суб'єктів і об'єктів управління, що враховують економічні, соціальні, бюджетні, технічні, технологічні, екологічні та інші відносні ефекти. Ефективність функціонування системи тепlopостачання можна класифікувати за видами (табл. 1.1):

Екологічна ефективність виражається у скороченні викидів парникових газів та зменшенні шкідливого впливу продуктів переробки палива у теплову енергію на навколишнє середовище.

Таблиця 1.1 – Основні види ефективності в комунальному комплексі

Вид	Область дії
Бюджетна	Визначається з позиції органів влади як додатковий дохід бюджетів всіх рівнів, або як економія бюджетних коштів
Економічна	Такий спосіб виробництва, при якому вартість ресурсів, що використовуються для випуску даної кількості продукції, є мінімальною
Соціальна	Відбивається в досягненні інтересів суспільства
Технічна	Оцінюється показниками роботи техніки та обладнання, а також станом інфраструктури
Технологічна	Це такий рівень організації виробництва, при якому з заданої кількості ресурсів виробляється максимально можлива кількість готової продукції (товарів, послуг)
Інвестиційна	Кількісна оцінка використання інвестицій при реалізації інвестиційного проекту
Екологічна	Зіставлення витрат на проведення екологічних заходів і можливого збитку (як для організації - потенційного платника штрафу за перевищення рівня забруднень, так і для суспільства в цілому - порушення екологічної рівноваги і його наслідки) в разі ігнорування даних заходів

Екологічну ефективність науковці також пов'язують з необхідністю відтворення і раціонального використання природних ресурсів. Економічна ефективність визначається співвідношенням між економічними результатами і витратами виробництва. У той же час взаємодія між екологічною та економічною системами території обумовлюють необхідність оцінки еколого-економічної ефективності господарювання [187]. В.І. Чогут виділяє дві складові ефективності використання земель: економічну і екологічну. Економічну ефективність сільського господарства науковець визначає як максимальне виробництво продукції, яка необхідна суспільству, при найменших витратах суспільної праці і ресурсів на її одиницю. Екологічну ефективність сільськогосподарського виробництва вчений визначає як збереження природних характеристик і стійке функціонування агросистем, складовою яких є земля [393]. Третьяк А.М. і Другак В.М. пропонують виділяти екологічну, виробничо-економічну, інвестиційну та соціальну ефективність землекористування. Зокрема, екологічну ефективність науковці пов'язують з необхідністю охорони природи, відтворення і раціонального використання природних ресурсів [389]. Будзак О.М. виділяє природно-

виробничу ефективність, яку пропонує визначати за допомогою коефіцієнта природно-виробничої ефективності, що розраховується через співвідношення фактичної та потенційної урожайності сільськогосподарської культури [169]. Коренюк П.І. вказує на необхідність поєднання економічної та екологічної ефективності. Автор зазначає, що економічна ефективність використання, відтворення та охорони земельних ресурсів визначається як кількість отриманих кінцевих результатів від їх експлуатації у розрахунку на одиницю використання земельних ресурсів, сукупних витрат живої та уречевленої праці за умов їх екологічної стабілізації. Екологічна ефективність використання і відтворення земельних ресурсів характеризується досягненням такого стану їх використання, який забезпечує не тільки збереження природної їх родючості, але й подальше їх зростання до оптимального рівня [239]. Економічна ефективність сільського господарства – це у першу чергу ефективність використання земельних ресурсів, а земля, як складова агроecosystem підпорядковується екологічним законам, відповідно до них ефективність розглядається саме з еколого-економічних позицій, тобто з економічним обґрунтуванням екологізації землекористування [261]. Комплексна методика визначення еколого-економічної ефективності повинна включати в себе взаємопов'язані економічні та екологічні показники.

Методика визначення еколого-економічної ефективності використання природного потенціалу земельних ресурсів повинна включати в себе економічні та екологічні складові. Основним завданням еколого-економічних показників є оцінка економічних результатів господарської діяльності з урахуванням антропогенних змін природного середовища в цілому. В умовах значного техногенного навантаження на природне середовище показники еколого-економічної ефективності повинні бути основою для оцінки землекористування і системи землеробства. В умовах гострої екологічної кризи саме екологічна складова є пріоритетною. Екологічна ефективність характеризується можливістю зменшення наслідків інтенсивного

антропогенного впливу і втручання в навколишнє середовище, створення умов для розширеного відтворення природних ресурсів.

Цікавими є результати роботи [231], де в основу визначення економіко-екологічної ефективності досліджуваної системи EWM_{ee}^{tl} (формула 1.1) покладено принципи екологічної сталості та збалансованості, соціальної відповідальності та замкненості економічного циклу виробництва, споживання та утворення відходів.

Отже,

$$EWM_{eeT_0+\tau}^{tl} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n w_{ij}^w (\Delta E_{ij}^w + \Delta C_{ij}^w + \Delta D_{ij}^w + \Delta S_{ij}^w)}{\sum_{i=1}^n (I_g + I_d + I_f)_k \cdot \mu_k \cdot (1+r)^{-\tau}}, \quad (1.1)$$

де:

EWM_{ee}^{tl} – економіко-екологічна ефективність транспортно-логістичної системи поводження з відходами (з індексами: $T_0+\tau$ – у періоді реалізації проекту; T_0 – у базовому періоді);

w_{ij}^w – маса відходів i ($i=1, \dots, n$), що транспортується (використовується) за пунктом призначення (напрямом) j ($j=1, \dots, m$); верхній індекс w – один із чотирьох режимів управління відходами (від a до d) за критеріями транспортування/не транспортування, утилізація/не утилізація;

ΔE_{ij}^w – різниця між можливим ефектом і можливим зниженням ефекту в інших галузях (наприклад, в енергетиці), що виникає внаслідок транспортно-логістичних операцій із відходами i за напрямом j ;

ΔC_{ij}^w – різниця між можливою економією витрат споживача (за умови утилізації відходів i за напрямом j , зокрема, на знешкодження та зберігання відходів, які б утворилися при виробництві замінюваної відходами первинної сировини) та додатковими витратами споживача, зокрема, транспортними витратами, що пов'язані з утилізацією відходів тощо;

ΔD_{ij}^w – різниця між попередженими у результаті транспортно-логістичних операцій із відходами i за напрямом j екологічними збитками, які були б завдані у результаті неутилізації відходів i залишковими збитками,

що завдані невикористаною часткою відходу i за варіантом j ;

ΔS_{ij}^w – різниця між одержаним соціальним (більш широко – соціально-психологічним, естетичним, морально-етичним тощо) ефектом, попередженими соціальними збитками внаслідок упровадження транспортно-логістичних операцій у сфері поводження з відходами та залишковими соціальними збитками (наприклад, естетичні збитки, погіршення ментального здоров'я людей унаслідок споглядання, усвідомлення та переживання деградації ландшафту), завданими невикористаною часткою відходу i , варіант j ;

I_g – сумарні державні інвестиції в сферу поводження з відходами (цільові державні інвестиції; наприклад, кошти, акумульовані внаслідок штрафування у сфері поводження з відходами, «повернені» в цю сферу);

I_d – сумарні внутрішні інвестиції в сферу поводження з відходами, як від юридичних, так і від фізичних осіб;

I_f – сумарні іноземні інвестиції в сферу поводження з відходами (у тому числі гранти міжнародних організацій, інвестування приватного капіталу тощо);

k ($k=1, \dots, v$) – напрями інвестування в сферу поводження з відходами;

μ_k – відсоток інвестицій у транспортно-логістичну систему в сфері поводження з відходами;

τ – кількість років інвестиційного проекту, спрямованого на розвиток транспортно-логістичної системи в галузі поводження з відходами;

r – норма дохідності проекту.

Традиційно поряд з емпіричними та експертними методами додатковий ефект надають економіко-математичні методи, зокрема, з метою розвитку викладеного вище підходу (формула 1.1) – методи лінійного та нелінійного програмування, обґрунтування та прийняття управлінських рішень. Згідно з класичним підходом щодо застосування транспортної задачі до вирішення важливих питань соціально-економічного розвитку, у сфері поводження з відходами вона традиційно полягає в обґрунтуванні найбільш економічного

плану перевезення різнорідних відходів із пунктів їх утворення (знаходження) в пункти призначення (використання, захоронення тощо). Акцентуючи увагу на тому, що розглядається складне економіко-екологічне питання, що може бути відображене лише у відкритій транспортній моделі (на противагу замкненій), формалізація задачі полягає в такому:

- наявні m пунктів утворення відходів ($W_1, \dots, W_m$) і n пунктів їх призначення ($W^D_1, \dots, W^D_n$);
- обсяги утворення відходів за кожним пунктом – W_i (завдання дещо ускладнюється, якщо враховувати за кожним пунктом різновиди відходів), а також обсяги відходів, які приймають пункти призначення – W^D_j ; при цьому одиниці вимірювання (тонни, фури, штуки тощо) мають співпадати;
- обсяги відходів, які транспортуються із пункту W_i в пункт W^D_j – w_{ij} ;
- транспортні витрати в їх широкому (прямому економічному та/чи умовному) розумінні (собівартість, відстань, тариф, час, витрати палива тощо) – c_{ij} , пов'язані з перевезенням відходів із пункту W_i в пункт W^D_j ;
- сумарна пропозиція кількості утворених відходів (певних видів, правильно відсортованих тощо) може не відповідати попиту на них; завдяки правильній організації перевезень можна задовольнити потребу (або необхідність утилізації чи захоронення) у відходах найбільш важливих пунктів їх призначення при мінімізації сумарних транспортних витрат.

Отже, транспортну задачу в сфері поводження з відходами можна записати таким чином:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot w_{ij} + \sum_{i=1}^n d_j^w \cdot w_j^{nt} \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

за умови:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n w_{ij} &\leq w_i \\
\sum_{i=1}^m w_{ij} &\leq w_j^D, \\
w_j^{nt} &= w_j^D - \sum_{i=1}^m w_{ij} \\
0 &\leq w_{ij} \leq w_{ij}^l
\end{aligned}
\tag{1.3}$$

де:

d_j^w – величина збитків, які виникають у результаті незадоволення запитів пункту W_j^D на одну одиницю відходів;

w_j^{nt} – різниця між потребами пункту W_j^D та поставками відходів у цей пункт;

w_{ij} – гранична кількість відходів, яка може бути транспортована за комунікацією $W_i W_j^D$ протягом певного часу.

Виділенню екологічних показників у складі еколого-економічної ефективності використання земельних ресурсів присвячено роботи багатьох українських і зарубіжних вчених. Так, Дорогунцов С.І., Борщевський П.П., Данилишин Б.М. визначають такі показники екологічної ефективності: коефіцієнт екологічної активності (відношення науково обґрунтованих нормативів або показників екологічної ефективності заходів до фактичних); структура і ефективність капіталовкладень та поточних витрат на охорону і відтворення земельних ресурсів; динаміка витрат на збереження гумусу та окремих елементів живлення; динаміка стану і якості земельних ресурсів; динаміка показників негативного антропогенного впливу на земельні ресурси (забруднення, зміна ландшафту); темпи відтворення природного стану якості земель; динаміка впровадження прогресивних технологій [200]. Крім того, в [194, 294] до екологічних показників сільськогосподарського землекористування відносять: площу ґрунтів, яка виходить з сільськогосподарського обороту внаслідок ерозії, засолення, заболочення та інших несприятливих факторів; структуру й ефективність капіталовкладень та поточних витрат на охорону та відтворення земельних ресурсів; динаміку

витрат на збереження гумусу та окремих елементів живлення рослин у ґрунтах; динаміку забруднення земельних ресурсів. Проведений аналіз науково-методичних підходів до оцінки ефективності використання сільськогосподарських земель показав, що увага науковців все більше зосереджується на еколого-економічній ефективності. Узагальнюючи погляди науковців на оцінку ефективності використання природного потенціалу земельних ресурсів можна визначити наступні їх види: економічна, екологічна, еколого-економічна, соціальна та інвестиційна (рис. 1.2) [187].

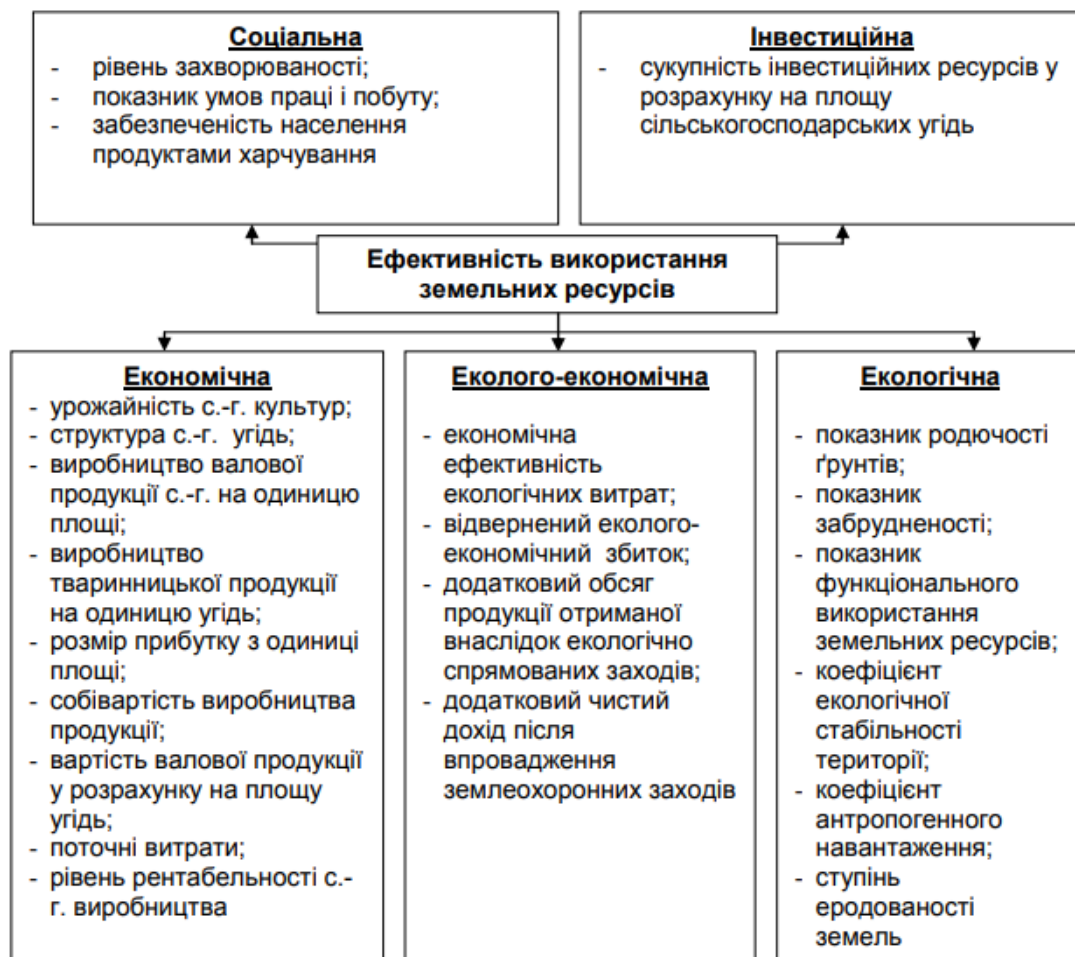


Рис. 1.2. Система показників ефективності використання природного потенціалу земельних ресурсів [187]

Зважаючи на те, що земельні ресурси є природним об'єктом, а також об'єктом земельних відносин, ефективність управління землями

сільськогосподарського призначення пропонується поділити на екологічну та економічну. Екологічна ефективність характеризує створені завдяки управлінню умови збереження земельних ресурсів та інших елементів навколишнього природного середовища та їх поліпшення, відтворення родючості ґрунтів, запобігання процесам деградації земель, водної ерозії, дефляції, погіршення культуртехнічного і меліоративного стану та припинення цих і інших негативних явищ. Економічна ефективність враховує результативність заходів з управління землями сільськогосподарського призначення у вартісному вираженні [404].

Пріоритетність того чи іншого критерію ефективності залежить від конкретних умов господарювання, рівня розвитку продуктивних сил. Застосування критеріїв еколого-економічної ефективності дає можливість надати оцінюванню форм землекористування комплексного змісту (рис. 1.3). Ці критерії створюють обмеження для методів отримання прибутку або доходу від користування землею як природним ресурсом, а також надають змогу сформулювати систему раціонального і одночасно збалансованого землекористування [404].

Як зазначено в [404], для оцінювання ефективності використання земельних ресурсів доцільніше використовувати результативні показники, до складу яких повинні входити: натуральні показники, що характеризують вихід продукції на одиницю земельної площі, а також приріст продукції за певний період на одиницю площі; економічні показники – вартість валової продукції з 1 га землі, на 1 грн основних фондів, собівартість 1 ц продукції, вихід валового і чистого доходу на 1 га сільськогосподарських угідь тощо; якість земельних ресурсів, агроекологічні показники.

З метою отримання об'єктивних даних про ефективність використання величини природно-ресурсного потенціалу території існуючу систему показників пропонується доповнити наступними показниками: еколого-економічний результат використання природного потенціалу земельних ресурсів; екологічно обумовлені втрати рентного доходу від використання

природного потенціалу земельних ресурсів; витрати на забезпечення вимог екологічно сталого природокористування. Величину еколого-економічного результату використання природного потенціалу земельних ресурсів E_{ee} пропонується визначати як економічний результат, зменшений на величину втрат, обумовлених екодеструктивним характером господарювання, за формулою 1.4 [187]:

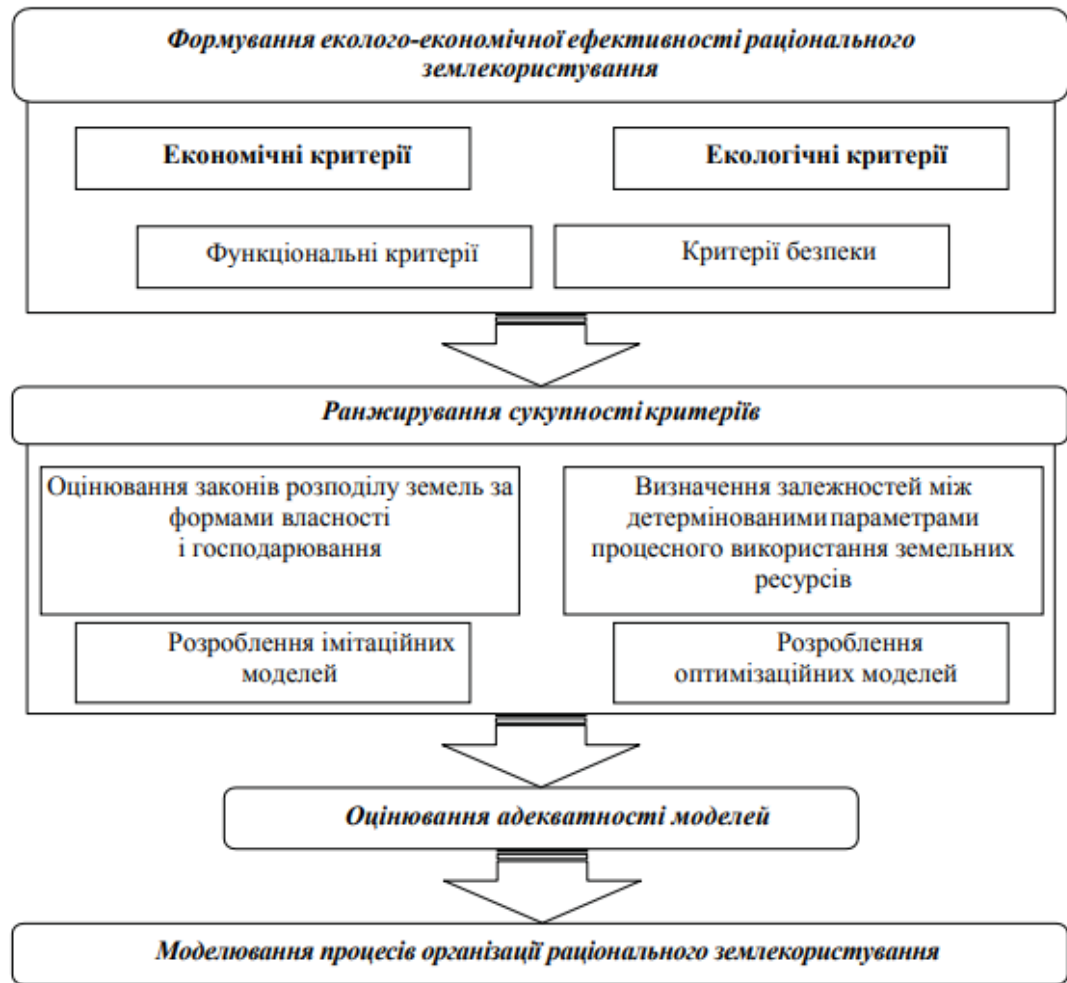


Рис. 1.3. Формування критеріїв еколого-економічної ефективності збалансованого землекористування в сільському господарстві [404]

$$E_{ee} = \left[\sum_{i=1}^n E_{ei}^{nom} \cdot P(E_{ei}) \right] \cdot (1 - k_{ek}), \quad (1.4)$$

де:

E_{ei}^{nom} - потенційно можливий економічний результат використання природного потенціалу земельних ресурсів за i -им сценарієм розвитку подій

за умови забезпечення екологічних вимог;

$P(E_{ei})$ – об'єктивна/суб'єктивна ймовірність реалізації i -го сценарію розвитку подій;

n – кількість сценаріїв розвитку подій (в найпростішому випадку розглядаються песимістичний, оптимістичний та найбільш ймовірний сценарії; при можливості застосування апарату імітаційного моделювання кількість сценаріїв визначається вимогами до точності розрахунків за методом Монте Карло);

k_{ek} – коефіцієнт екологічно обумовлених втрат рентного доходу від використання природного потенціалу земельних ресурсів внаслідок екодеструктивного характеру господарської діяльності. Розраховується за формулою 5:

$$k_{ek} = \frac{Y_{ek}}{E_{ei}^{nom}}, \quad (1.5)$$

де: Y_{ek} – екологічно обумовлені втрати рентного доходу від використання природного потенціалу земельних ресурсів. Їх величина визначається як різниця між вартісними оцінками природно-ресурсного потенціалу без та з урахуванням екодеструктивної дії господарської діяльності.

В [240] зазначено, що економічна оцінка наслідків господарського впливу містить два складники проблеми: можливий збиток економіці від шкоди, завданої довкіллю, і передбачувані економічні ефекти від цих заходів. Для обчислення цих ефектів потрібні більш детальні дані і комплексні показники. Екологічно ефективний режим роботи знижує вплив підприємств на навколишнє природне середовище, одночасно підвищується його рентабельність. Однак екологічна ефективність може бути виміряна лише за допомогою введення екологічного обліку, який передбачає надання точної інформації щодо витрат, заощаджень і впливу виробничо-господарської діяльності на довкілля. Принцип екологічної ефективності з'явився раніше, ніж екологічний менеджмент. Постійне поліпшення — це послідовне

збільшення екологічної ефективності організації. Показник екологічної результативності організації виражається в кількісному впливі на навколишнє природне середовище, що потрібно постійно покращувати [375]. Аналіз екологічної ефективності дає змогу виявити витoki різких змін в екологічній результативності, за яких змінюються фінансові показники підприємства (рис. 1.4). Завдяки цьому не будуть допущені помилки і об'єктивно оцінені показники екологічної результативності. Екологічна ефективність досягається не тільки за допомогою технологічних рішень. Її можна отримати, якщо повністю змінити як цілі, на які орієнтується виробництво, так і підхід до повсякденної роботи та методи її здійснення. Екологічна ефективність, як і економічна ефективність, відображає продуктивність наявних коштів або питомий вплив виробництва на навколишнє природне середовище в розрахунку на прибуток або на одиницю чогось (обсяг енергії на одиницю виробленої продукції, отриманого прибутку на 1 т вуглекислого газу — викиду в атмосферу). Отже, екологічна ефективність — це показник співвідношення екологічної та економічної змінних (рис. 1.5).

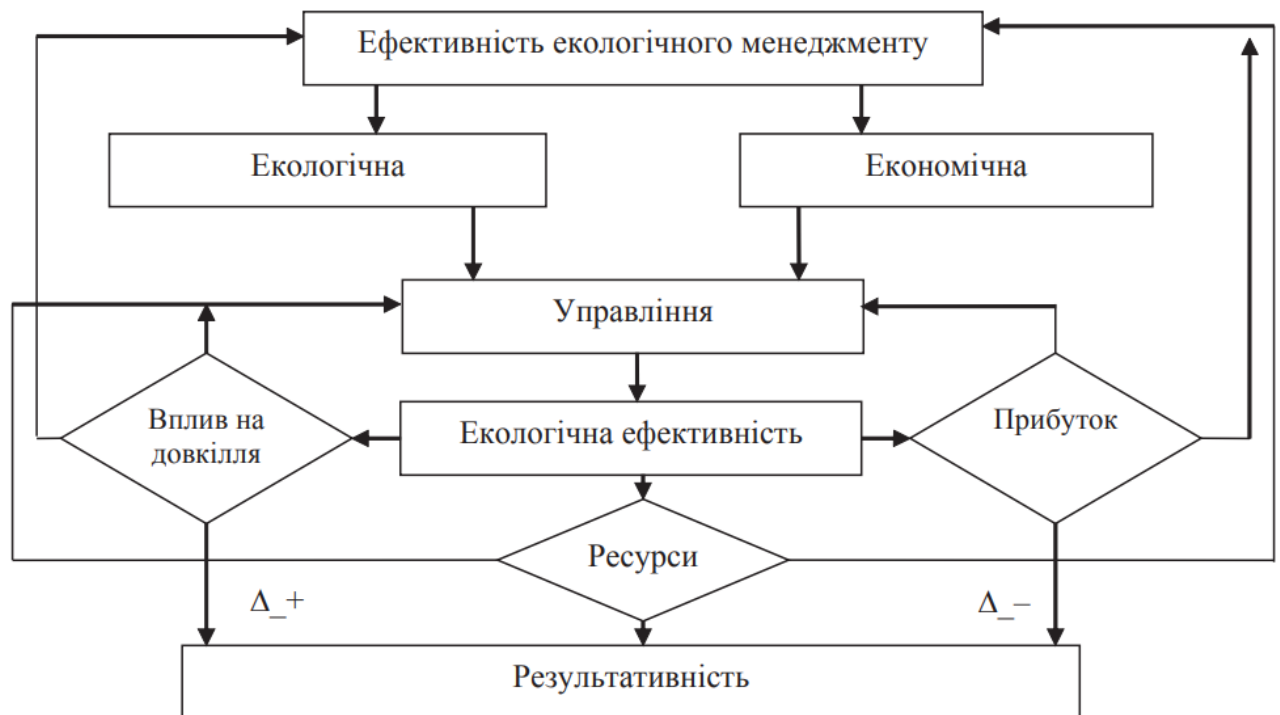


Рис. 1.4. Формування механізму ефективності екологічного менеджменту

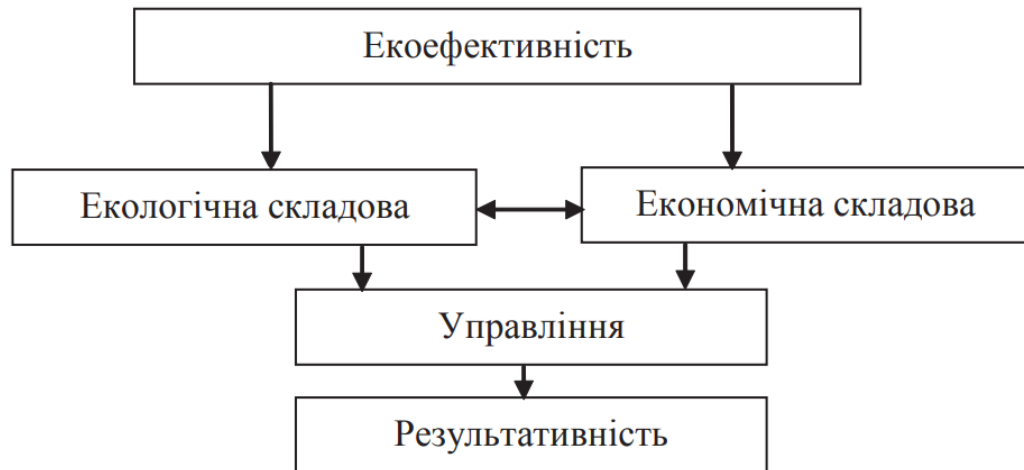


Рис. 1.5. Складові частини екологічної ефективності (екоефективності)

Еколого-економічні показники виступають критерієм діяльності з освоєння екологічного менеджменту, що вимагає комплексного і систематизованого підходу до формування таких показників. Нині ступінь екологічного впливу виробництва визначається за допомогою доволі великого кластера кількісних і якісних показників [182, 367]:

- кількість вживаних сировинних матеріалів та енергії;
- кількість виділених газоподібних забруднень;
- кількість відходів, з розрахунку на одиницю вихідної продукції;
- ефективність використання сировини;
- ефективність використання енергії;
- кількість аварій, зумовлених негативним впливом на навколишнє природне середовище;
- ступінь утилізації відходів виробництва і споживання;
- потенціал упаковки для її подальшої переробки;
- пробіг транспортних засобів, у розрахунку на одиницю готової продукції;
- інвестиції, залучені для охорони навколишнього природного середовища;
- кількість судових позовів, зумовлених порушеннями в екологічній сфері, тощо.

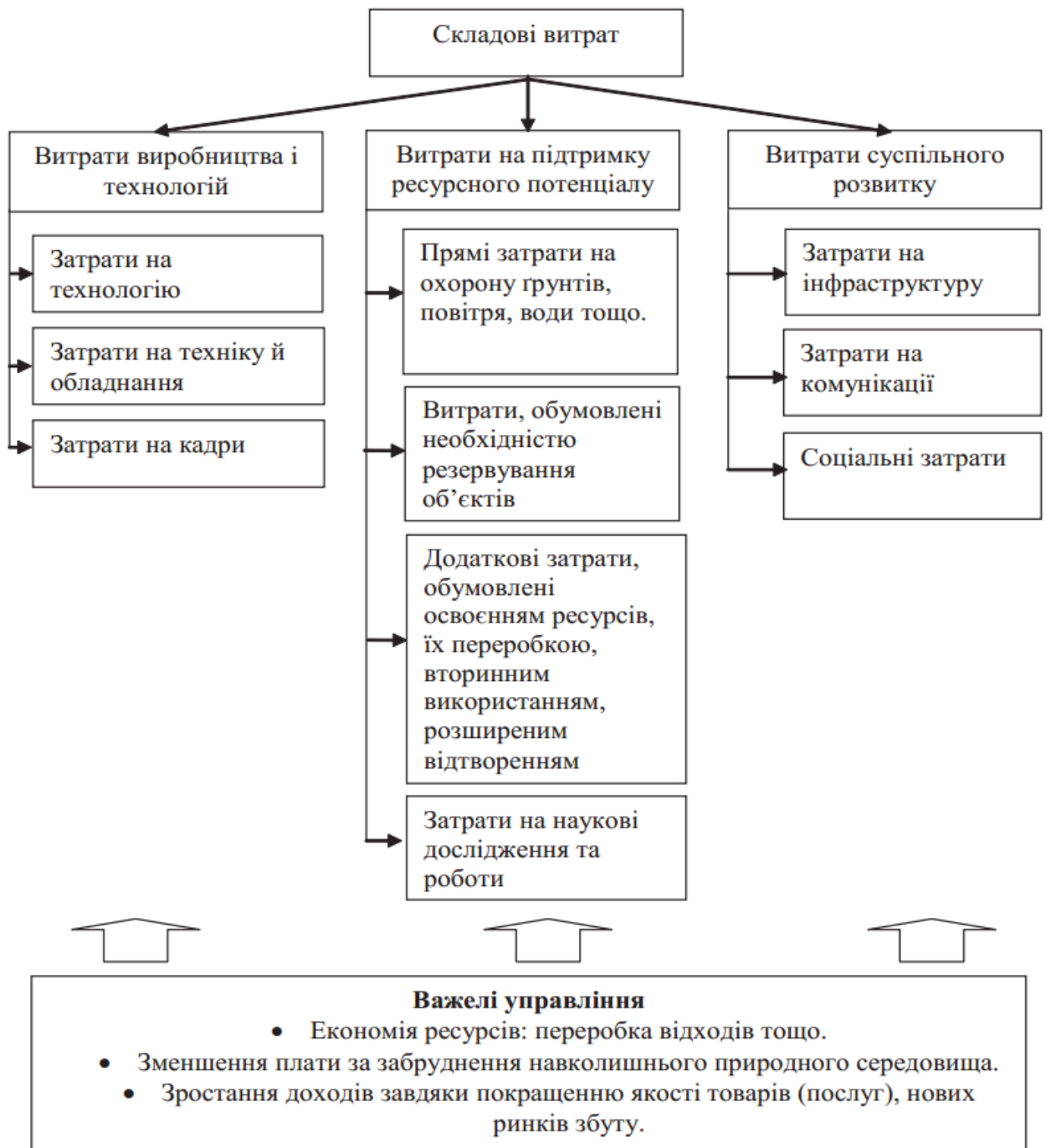


Рис. 1.6 Складові витрат на екологічне управління

Щодо підприємств аграрного сектора економіки — відповідно до чинного в Україні статистичного обліку можна також включити показники, а саме:

- витрати на поточний і капітальний ремонт, утримання споруд, проведення заходів з охорони навколишнього природного середовища;
- капіталовкладення в основні фонди (водоочисні,

газопилоуловлювальні тощо) і на раціональне використання природних ресурсів;

— інші витрати (на науковий супровід, підготовку кадрів і т. п.).

Витрати екологічного управління повинні розглядатися як складові на підтримку якості середовища проживання і природно-ресурсного потенціалу через здійснення господарської діяльності (рис. 1.6). Економічна основа ефективності екологічного менеджменту полягає в тому, що витрати повинні окупатися. Розглядаючи тенденцію зростання витрат, насамперед, необхідно знати, які додаткові витрати визначають таку тенденцію. Збільшення витрат має бути компенсоване вищим ростом продуктивності. Проблема відшкодування витрат може бути розв'язана за допомогою важелів управління (використання досягнень науково-технічного прогресу, позитивна дія якого проявляється в зниженні витрат сировини на одиницю продукції) [375]. Як уже зазначалося раніше, принцип екологічної ефективності базується на прагненні отримання прибутку з обов'язковим зменшенням впливу на навколишнє природне середовище, а також зниженні використання ресурсів. На жаль, цей принцип має один недолік — не завжди можливо точно виміряти кількісний екологічний афект, а отже, і порівняти його з фінансовими результатами. На нашу думку, правильніше враховувати екологічний ефект або, навпаки, екологічний збиток як складову частину показників економічної ефективності будь-якого виробництва і більш правомірніше говорити про показники еколого-економічної ефективності. У науковому світі досі не вироблено єдиного підходу до визначення показників ефективності як у цілому щодо екологічного виробництва, так і окремих заходів. Але в будь-якому разі, повинна дотримуватися одна закономірність: темпи зростання екологічного ефекту мають бути вищими від темпів зростання витрат. На думку А.В. Неверова, еколого-економічну ефективність (E_E) на рівні регіону можна визначити за формулою 1.6 [272]:

$$E_E = \frac{E_{CB} - \Pi_{\Pi}}{C + E_H \cdot K}, \quad (1.6)$$

де:

E_{CB} – екологічна оцінка суспільного виробництва (продукція безвідходного або маловідходного виробництва), грн.;

Π_{II} – продукція, вироблена з порушеннями екологічних норм (соціальний збиток від забруднення навколишнього природного середовища), грн.;

C – поточні витрати на охорону, відновлення та експлуатацію природних ресурсів, грн.;

E_H – нормативний коефіцієнт еколого-економічної ефективності природокористування;

K – одноразові витрати на охорону, відновлення та експлуатацію природних ресурсів, грн.

Однією з головних функцій будь-якої галузі виробництва повинна бути висока екологізація виробництва, яка характеризується рівнем безвідходної (маловідходної) технології. У нашому випадку еколого-економічна оцінка відходів повинна «відніматися» від величини створеної вартості на конкретному підприємстві, вказуючи тим самим на «екологічну чистоту» виробництва. Рівень еколого-економічної ефективності виробництва (E_B) можна виразити за допомогою формули 7:

$$E_B = \frac{Ч - O_{EE} - \Pi_{II}}{\Phi}, \quad (1.7)$$

де:

$Ч$ – чиста продукція забруднюючого виробництва, грн.;

Π_E – продукція, випущена з порушенням екологічних норм, грн.;

O_{EE} – еколого-економічна оцінка відходів виробництва;

Φ – вартість основних виробничих фондів забруднюючого виробництва, грн.

Схема визначення еколого-економічної ефективності надасть можливість об'єктивніше оцінювати кінцеві народногосподарські результати роботи підприємств. Ця величина також може бути отримана за

результативністю певних природоохоронних заходів.

Разом з тим на практиці неможливо відстежити обсяг і відповідно вартість продукції, виробленої з порушенням екологічних норм. Абсолютна ефективність природоохоронних витрат на охорону довкілля визначається для виявлення економічної результативності заходів на різних рівнях господарювання (народне господарство, регіон, галузь, підприємство). Порівняльна ефективність витрат є необхідною для економічного обґрунтування і відбору оптимальних варіантів природо-господарських рішень для впровадження ресурсозберігаючої техніки, технології та організації виробництва, його розміщення тощо.

Показник загальної економічної ефективності природоохоронних витрат може виражатися таким співвідношенням (формула 1.8) виробничо-економічної, еколого-економічної і соціально-економічної ефективності ($E_{ЗАГ}$):

$$E_{ЗАГ} = \frac{\sum_{f1}^n (P_{ЕКОН} + P_{ЕКОЛ} + P_{СОЦ})}{\sum^n 3_{it}}, \quad (1.8)$$

де:

$E_{ЗАГ}$ – ефективність, від проведення заходів, грн.;

$P_{ЕКОН}$ – виробничо-економічна ефективність від заходів, грн.;

$P_{ЕКОЛ}$ – еколого-економічна ефективність від заходів, грн;

$P_{СОЦ}$ – соціально-економічна ефективність від заходів, грн.;

3_{it} – сумарні витрати з реалізації заходів за певний період, грн.

А.О. Варламов вважає, що екологічна ефективність – це створені управлінськими діями умови щодо збереження земельних ресурсів, інших елементів навколишнього природного середовища та їх поліпшення. Її показниками є: покращання ландшафту, зменшення забруднення, зниження антропогенного навантаження на оточуюче середовище тощо. Також він поділяє екологічний ефект на первинний, проміжний і кінцевий. Первинний ефект виражається у зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище і поліпшенні його стану та в зниженні обсягу забруднень і

концентрації шкідливих речовин в ґрунті і воді і повітрі; збільшенні площі придатних до використання земель, скороченні рівня шуму тощо. Проміжний ефект – це зниження забруднення природного та антропогенного середовища до мінімально допустимих норм. Кінцевий ефект полягає у підвищенні тривалості рівня життя населення, зниженні захворюваності людей, ефективності суспільного виробництва і збільшенні валового національного продукту країни [171].

У дослідженні [227] наголошено, що екологічна ефективність – це екологічний стан агроєкосистеми, рівень економічної родючості сільськогосподарських угідь. Екологічна ефективність визначається шляхом співставлення величин екологічних результатів до понесених витрат.

Екологічна ефективність харчової промисловості - спроможність галузі забезпечити раціональне використання та відтворення природно-ресурсного потенціалу, а також нормальне відтворення життєдіяльності і працездатності насамперед завдяки виробництву нешкідливих для здоров'я, екологічно чистих продуктів харчування і продуктів, які підвищують стійкість людського організму до негативних факторів навколишнього середовища. Рівень екологічної ефективності зумовлюється техніко-економічними показниками продуктів, особливостями їх територіальної організації, характером діючих очисних споруд, особливостями технологічного процесу виробництва [186].

Як зазначено в [241], показники ефективності використання мінеральних добрив, повинні розглядатися в трьох напрямках: економічному, екологічному та соціальному. Кожен з напрямків повинен осягати певні проблеми, котрі необхідно вирішувати. Так економічна ефективність використання мінеральних добрив визначає зацікавленість в зменшенні витрат на внесення з одного боку, та збільшення урожайності вирощуваної сільськогосподарської продукції з іншого боку. Екологічна ефективність використання мінеральних добрив, має на меті зменшення шкідливих речовин в ґрунті та можлива нейтралізація таких, що забезпечило б

виращування екологічно чистої сільськогосподарської продукції. Соціальна ефективність використання мінеральних добрив узагальнює перші два показники і визначається зниженням цін на с/г продукцію що споживається, а найголовніше зменшенням рівня захворюваності, в наслідок споживання таких продуктів харчування. Також слід зазначити, що всі ці показники загалом пов'язані між собою, та утворюють єдину систему (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Система формування ефективності використання мінеральних добрив

Екологічний ефект інноваційної діяльності виявляється у зменшенні викидів шкідливих речовин в атмосферу, ґрунт та воду, зменшення відходів виробництва та зростання рівня його ергономічності, підвищення екологічності випущеної продукції. Тобто, для забезпечення умов досягнення екологічного результату необхідно: підвищувати вимоги до якості проектування, виготовлення, експлуатації складних технічних систем та технологічних процесів, їхньої надійності та безпеки; створення таких технічних засобів, які автоматично блокують наслідки недоліків процесів

організації праці, техніки, технології та здатні запобігати аваріям та оперативно й ефективно ліквідовувати їх наслідки.

Цікавим є дослідження [371], яке стосується методичного забезпечення вибору стратегії інноваційного підприємства. Автор пропонує для визначення екологічної ефективності інноваційного підприємства визначати наступні показники: коефіцієнт утилізації відходів виробництва інноваційної продукції на інноваційному підприємстві; коефіцієнт маловідходних і безстічних виробництв та коефіцієнт вірогідності виникнення катастрофічної ситуації в процесі виготовлення інновації.

Коефіцієнт утилізації відходів виробництва інноваційної продукції на інноваційному підприємстві K_{YO} визначається за формулою 1.9:

$$K_{YO} = \frac{Y_o}{\sum_{i=1}^n O_i} \rightarrow 1, \quad (1.9)$$

де:

Y_o - відходи, утилізовані у допоміжному або основному виробництві;

i - види відходів виробництва за певний період часу;

O_i - відходи виробництва за певний період часу.

Коефіцієнт маловідходних і безстічних виробництв K_{MO} визначається за формулою 1.10:

$$K_{MO} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \rightarrow 1, \quad (1.10)$$

де:

O_i - відходи виробництва за певний період часу;

i - види матеріалів і сировини;

M_i - сировина і матеріали, використані для виготовлення інновації за певний період часу.

Коефіцієнт вірогідності виникнення катастрофічної ситуації в процесі виготовлення інновації K_{BK} визначається за формулою 1.11:

$$K_{BK} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{T_{BI}} \rightarrow 1, \quad (1.11)$$

де:

i - види матеріалів і сировини за певний період часу;

K_i - кількість порушень і збоїв технологічного процесу, які спричинили за собою вірогідність виникнення катастрофічної ситуації;

T_{BI} - період випуску інновації.

В монографії [382] виділено наступні критерії ефективності, що впливають на економію паливно-енергетичних ресурсів і експлуатацію котельних установок:

- організаційні (зміна графіка виробництва і розподілення теплової енергії, режимне налагоджування);
- технічні (технічне переобладнання, повна або часткова заміна обладнання, модернізація);
- економічні (визначають доцільність проведення заходів і терміни їх окупності);
- екологічні (направлені на зменшення шкідливих викидів в атмосферу і захисту здоров'я населення);
- експлуатаційні (направлені на підвищення стійкості і стабільності виробництва теплової енергії, продовження терміну служби обладнання).

Для котлів, на думку автора, доцільними є енергетичні та екологічні критерії. Основним показником енергетичної ефективності водогрійні котли малої потужності є коефіцієнт корисної дії, який вказує на ефективність використання палива для досягнення бажаної теплової потужності. Головним критерієм оцінки енергетичної ефективності котлів на природному газі є коефіцієнт корисної дії на рівні 83–87% для котлів з атмосферним пальником потужністю від 10 до 100 кВт і 86–90% для котлів з примусовою тягою. Як зазначає автор, що ним не виділено критерії ефективності, які б максимально

точно відповідали умовам роботи водогрійних котлів малої потужності з інтенсифікованим теплообміном. Також в роботі розроблено систему оцінки екологічної ефективності таких котлів з використанням методології життєвого циклу. Заключною стадією математичного моделювання теплових та аеродинамічних процесів в водогрійних котлах є оцінка екологічності котла. Найбільш перспективною на сьогоднішній день методикою оцінки обладнання є оцінка техногенного навантаження протягом життєвого циклу.

При оцінюванні доцільності прийняття управлінських рішень на державному рівні необхідно враховувати екологічний стан території в цілому та загальний економічний і соціальний стан регіону. Важливим методом попереднього аналізу є думка експерта, який допоможе правильно оцінити можливі наслідки управлінського рішення. Особливо це стосується екологічних наслідків, оскільки, як правило, вони визначаються з певним ступенем ймовірності. Для вартісної оцінки результативності інноваційно-інвестиційного проекту, а також порівняння впливу на навколишнє середовище кількох проектів використовують методи ранжування, бальної оцінки та інші способи експертної оцінки.

Після завершення упровадження інноваційно-інвестиційного проекту або управлінського рішення слід оцінити його еколого-економічну ефективність, під якою розуміємо поєднання економічного, екологічного та соціального результатів від проекту/управлінського рішення. Екологічна ефективність визначається шляхом порівняння показників екологічного стану до здійснення управлінського рішення/інноваційно-інвестиційного проекту і після. Маючи певні, часом суттєві відмінності, методологічні системні дослідження сходяться на тому, що оцінка інноваційно-інвестиційного проекту передбачає виявлення вигод і витрат, пов'язаних з його здійсненням, визначення їх величини та, як результат, порівняння вигод та витрат за певною системою показників, прийнятих як критерії, з урахуванням ризику та невизначеності. Аналіз вигод і витрат передбачає проходження таких етапів: - формування цілі реалізації інноваційно-

інвестиційного проекту; - встановлення позиції, з якої має здійснюватися аналіз вигод і витрат; - виявлення вигод і витрат, що зумовлені здійсненням інноваційно-інвестиційного проекту; - визначення часового горизонту для аналізу вигод і витрат; - представлення вигод і витрат у грошовому вимірі. Оцінити ефективність управлінського рішення / інноваційно-інвестиційного проекту можна за допомогою показника співвідношення вигоди – витрати за формулою 1.12 [398]:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n B_t / (1+k)^t}{\sum_{t=1}^n C_t / (1+k)^t}, \quad (1.12)$$

де:

B_t – вигоди в часовому періоді t ;

C_t – витрати в часовому періоді t ;

k – вартість капіталу за проектом;

t – термін життєвого циклу проекту.

В умовах обмеженості ресурсів вираз 12 набуває наступного вигляду:

$$N_r/R = \frac{\sum_{t=1}^n (B_t - C_{(C-R)_t}) / (1+k)^t}{\sum_{t=1}^n R_t / (1+k)^t}, \quad (1.13)$$

де:

N_r – чистий грошовий потік за проектом, R_t – величина використання обмежених ресурсів у періоді t ;

$C_{(C-R)}$ – витрати в часовому періоді t , що визначаються без урахування використання обмежених ресурсів.

Варто зазначити, що жоден інноваційно-інвестиційний проект/управлінське рішення не повинен прийматися, якщо він не забезпечує значення співвідношення вигоди – витрати, яке є більшим за 1. Якщо інноваційно-інвестиційний проект/управлінське рішення вибирається в умовах фіксованого бюджету або серед інноваційно-інвестиційних проектів,

що є взаємовиключними, то перевага має надаватися тим інноваційно-інвестиційним проектам/управлінським рішенням, які мають найбільше значення співвідношення вигоди – витрати [179].



Рис. 1.8. Алгоритм оцінювання управлінського рішення/інноваційно-інвестиційного проекту в системі еколого-економічного управління

З огляду на це дослідником [398] розроблено алгоритм оцінки прийняття управлінських рішень/інноваційно-інвестиційних проектів у

системі еколого-економічного управління (рис. 1.8). Даний алгоритм передбачає оцінку рішень в еколого-економічному управлінні на всіх етапах – від ідеї прийняття й до визначення ефективності після його здійснення. Такий підхід забезпечує повний контроль інноваційної діяльності сільськогосподарських підприємств і є запорукою ефективності еколого-економічного управління. Автор рекомендує застосовувати його на рівні державного, обласного управління, а також на сільськогосподарських підприємствах, у межах системи еколого-економічного управління.

Робота [398] присвячена питанням економічної ефективності деревообробної діяльності. Під екологічною ефективністю управлінських рішень автор розуміє результат досягнення екологічних цілей підприємства і персоналу за більш короткий час, меншої кількості працівників або з меншими фінансовими витратами. Вона виражається в такому: для людини - забезпечення безпеки, охорони здоров'я, санітарних норм умов праці (рівень шуму, вібрації, радіоактивності); для підприємства - зниження шкідливих впливів на навколишнє середовище, підвищення екологічної безпеки продукції. Екологічна ефективність розглядається окремим видом через необхідність дотримання екологічної безпеки виробничого циклу, оцінки показників утилізації шкідливих відходів, недопущення порушення біологічної рівноваги, водного балансу території. Виділення екологічної ефективності дає змогу оцінити організацію та технологію виробництва з позиції його гармонійного розвитку за умов збереження безпечного для людей тваринного і рослинного світу навколишнього середовища. Екологічна ефективність має бути нормою у досягненні технологічної та економічної ефективності. Її характеризують показники частки екологічно чистої продукції (продукції органічного виробництва) в загальному обсязі виробництва, а також частки чистого прибутку підприємства, що спрямовується на екологічні заходи, та їх динаміка тощо. Практика свідчить, що підприємство працює над досягненням екологічної та соціальної ефективності лише за умови отримання економічного ефекту.

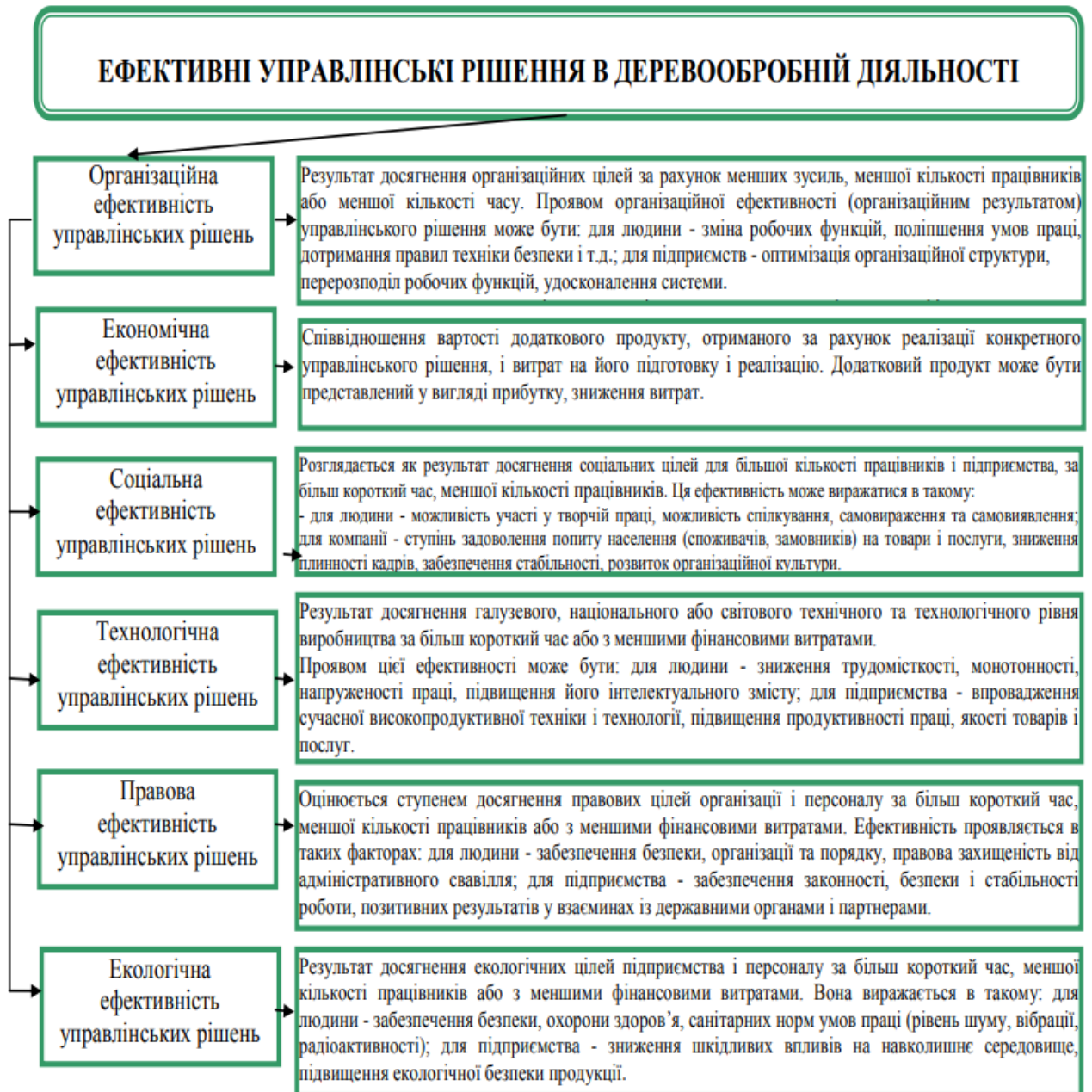


Рис. 1.9. Ефективні управлінські рішення в деревообробній діяльності
(побудовано за джерелом [141])

Управлінські рішення приймаються практично на всіх рівнях діяльності підприємства і вважаємо за необхідне розрізняти різновиди ефективності управлінських рішень (рис. 1.9). Реалізація ефективних управлінських рішень має бути спрямована на досягнення оптимальної збалансованості між витратами і результатами праці, що позитивно впливає на виробничі та фінансові результати діяльності деревообробних

підприємств і підвищення конкурентних позицій у ринковому середовищі [398].

Взаємозв'язок між захистом навколишнього середовища та економічним успіхом має розглядатися більш ретельно, і їх явну інтеграцію слід проводити більш систематично. У цьому сенсі корпоративне управління навколишнім середовищем є концепцією, яка допомагає менеджерам систематично зосереджуватися на підприємницьких заходах, щоб зменшити вплив на навколишнє середовище компанії в найбільш економічно ефективному порядку [293].

На рис. 1.10 показано можливі зв'язки між корпоративним захистом навколишнього середовища та економічною ефективністю. Сучасний рівень корпоративної охорони навколишнього середовища часто суперечить іншим бізнес-цілям, зокрема підвищенню економічного успіху. Це постулатне відношення показано на рис. 1.10 рядком ES0-E-F-D. Починаючи з певного рівня економічного успіху (наприклад, певної вартості акціонера ES0) кожна діяльність із захисту навколишнього середовища зменшить економічний успіх [183]. Тобто, екологічні показники можуть змінюватися на певному рівні економічного успіху. Точка В на рис. 1.10 відображає той же економічний успіх, що і пункт ES0. Різниця в тому, що один рівень економічного успіху відображає екологічну неосвіченість, тоді як інший рівень являє собою високий ступінь екологічної відповідальності. По-друге, економічний ефект корпоративного захисту навколишнього середовища може відрізнятися при певному рівні екологічної ефективності. Наприклад, в EP* економічний успіх може варіювати від А до Е, де А являє собою ситуацію, коли потенційні економічні вигоди від поліпшення стану навколишнього середовища повністю реалізуються, тоді як Е являє собою ситуацію, коли неефективне управління навколишнім середовищем погіршує економічну ефективність порівняно з початковий рівень ES0 та екологічними показниками або, іншими словами, питання про те, коли вона платить бути зеленим, залежить не тільки від зовнішніх змінних компанії, але це істотно

залежить від внутрішніх змінних, на які впливає управління. Управлінські якості, помірковані співвідношенням між екологічними та економічними показниками та перевагою в екологічних показниках, не обов'язково призводять до конкурентних переваг. Екологічний менеджмент, а також питання про те, як досягнуто певний рівень екологічної ефективності, стає додатковою пояснювальною змінною, яка була знехтувана у відповідних дослідженнях кореляцій, які варто вирішити. У результаті стає вирішальним питання: який вид екологічного менеджменту є гарним екологічним менеджментом? Запропонована модель структуризації відносин між економічними та екологічними показниками передбачає два набори наслідків: по-перше, для дослідників, які хочуть здійснити емпіричні дослідження, і, по-друге, для управління компанією. Обидва комплексу наслідків ґрунтуються на тому, що економічний успіх компанії в першу чергу залежить від виду, а не від обсягу природоохоронних заходів. [293]

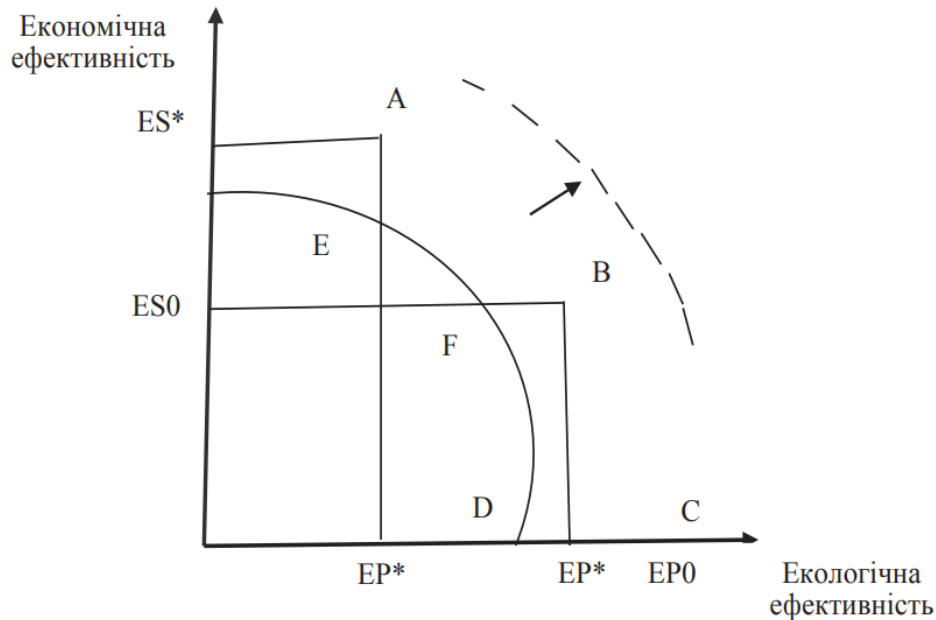


Рис. 1.10. Можливі зв'язки між корпоративним захистом навколишнього середовища та економічною ефективністю

Зважаючи на відсутність цілісного підходу до формування методології та методики оцінки ефективності механізму управління використанням

відновлюваних природних ресурсів у сільському господарстві (МУВВПРСГ), із врахуванням існуючих методичних підходів та досліджень, у роботі [180] сформовано власний підхід до розробки методики оцінки ефективності МУВВПРСГ. Ефективність управління, як наголошує Й.С. Завадський [209], полягає у досягненні найвигіднішого співвідношення між результатами діяльності апарату управління і використаними для одержання цих результатів матеріальними, трудовими і фінансовими ресурсами, передусім за рахунок прийняття більш раціональних рішень з технологічних, економічних, організаційних, соціальних та інших питань, а також прийняття рішень на основі багатоваріантних розрахунків і неухильного впровадження їх у життя. В.М. Колесник обґрунтовує ефективність управління як результативність функціонування системи і процесу управління у взаємодії керуючої і керованої систем, що забезпечує досягнення цілей підприємства, яка визначається співвідношенням ефекту від реалізації різноманітних інвестицій в систему управління підприємством з розміром витрат, необхідних для їх впровадження [180].

Оскільки процес оцінки ефективності МУВВПРСГ є складним, тривалим та динамічним, доцільно його представити у вигляді певного алгоритму дій систематизованими за етапами. Вважаємо, що алгоритм оцінки ефективності механізму управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві слід проводити у п'ять послідовних етапи (рис. 1.11).

Оцінка ефективності механізму управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві пропонується проводити за допомогою таких етапів [180]: I – підготовчий етап, що передбачає вибір мети, завдань і методів оцінки ефективності використання управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві; II – визначення рівня забезпеченості відновлюваними природними ресурсами відповідних територій; III – визначення рівня сталого розвитку відновлюваних природних ресурсів (економічна, екологічна, соціальна

ефективність); IV етап – оцінка ефективності управління (менеджменту) відновлюваними природними ресурсами; V етап – визначення ефективності механізму управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві.

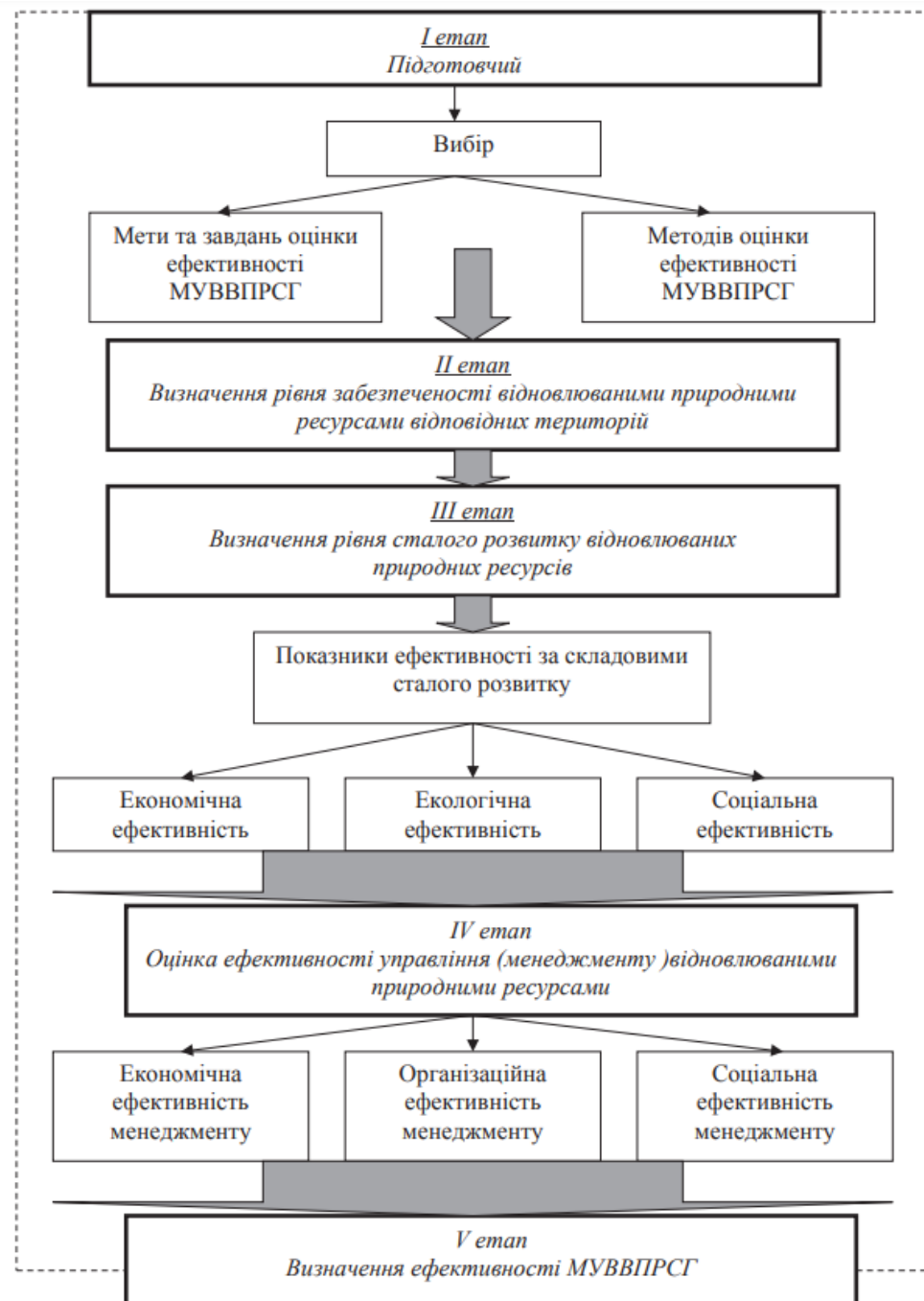


Рис. 1.11. Алгоритм оцінки ефективності механізму управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві

На підготовчому етапі (І етап) здійснюється вибір мети, завдань, об'єкта, предмета та методів оцінки ефективності механізму управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві. Метою оцінки є аналіз кількісних та якісних показників використання відновлюваних природних ресурсів. Об'єктом оцінки виступають процеси та явища, що характеризують процеси управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві. Предметом оцінки є ефективність механізму управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві.

Основними завданнями оцінки ефективності механізму управління використанням відновлюваних природних ресурсів у сільському господарстві є [180]:

- визначення рівня забезпеченості відновлюваних природних ресурсів відповідними територіями держави;
- виявлення та оцінка критеріїв раціонального використання відновлюваних природних ресурсів у сільському господарстві;
- визначення рівня сталого розвитку відновлюваних природних ресурсів у сільському господарстві;
- оцінка показників ефективності за складовими сталого розвитку відновлюваних природних ресурсів у сільському господарстві;
- оцінка ефективності управління (менеджменту) відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві;
- комплексна оцінка ефективності МУВВПРСГ.

Що стосується методів оцінки, то для оцінки ефективності МУВВПРСГ доцільно використати такі [180]:

- метод «оцінка невикористаних резервів», що дасть можливість спрогнозувати майбутній розвиток підприємства за умов підвищення ефективності управління;
- порівняльний метод через порівняння результатів діяльності можна також порівняти ефективність управління окремо взятого підприємства до,

скажімо, середньостатистичного;

– метод інтегральних показників, що дозволить комплексно оцінити ефективність механізму за системою економічних, екологічних та соціальних показників.

На II етапі оцінюється рівень забезпеченості територій відновлюваними природними ресурсами, що сприятиме виявленню особливостей розвитку відновлюваних природних ресурсів, окресленню напрямів їх відтворення, резерви формування. На III етапі оцінюється рівень сталого розвитку відновлюваних природних ресурсів за показниками, що характеризують економічну, екологічну та соціальну ефективність їх використання. Так, економічна ефективність в нашому випадку характеризується системою економічних показників, які відображають кількісний об'єм використання відновлюваних природних ресурсів. До них віднесемо величину витрат на відтворення природних ресурсів, рентабельність діяльності сільськогосподарських підприємств, дохід від використання природних ресурсів та інше. Показники соціальної ефективності вимірюються рівнем задоволення потреб споживачів у тих чи інших відновлюваних ресурсах. Соціальний ефект може виявлятися у покращенні умов праці працівників сільськогосподарських підприємств. Показники екологічної ефективності можна вимірювати розмірами території чи акваторії, яка володіє екологічною стійкістю і не піддається впливу господарської діяльності. Екологічний ефект отримуємо в результаті зменшення нераціональності використання природних ресурсів. На IV етапі оцінюємо ефективність управління (менеджменту) відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві. Таку оцінку необхідно проводити з точки зору оцінки ефективності реалізацій функцій управління, методів управління, стилів керівництва регулюючими та контролюючими органами управління [180].

У дослідженні [69] розкривається механізм оцінки екологічної ефективності управлінських рішень у лісогосподарській діяльності. Автори пропонують екологічну ефективність прийнятих управлінських рішень у

рейтинговій оцінці аналізувати у двох блоках. Блок перший – система показників екологічної ефективності управлінських рішень (мікросередовище), блок другий – система показників оцінки стану природного середовища (макросередовище).

Розглянемо детальніше змістове навантаження двох блоків. Система показників екологічної ефективності управлінських рішень (мікросередовище) повинна включати:

- інтегральний показник ефективності управління, що кількісно висвітлює роль керівництва підприємства у підвищенні екологічної ефективності діяльності;
- інтегральний показник ефективності діяльності підприємства, що кількісно висвітлює результати реалізованих екологічно орієнтованих управлінських рішень.

Система показників оцінки стану природного середовища (макросередовище) кількісно характеризує наслідки реального або можливого впливу на природне середовище результатів господарської діяльності підприємств лісогосподарського комплексу. Виходячи із наведеного вище, пропонується під екологічною ефективністю реалізованих управлінських рішень у лісогосподарській діяльності розуміти сукупність характеристик екологічності (критеріїв), які комплексно характеризують результати управління екологічними аспектами підприємства тобто - це, з одного боку, показник ефективності управління, що кількісно висвітлює роль керівництва підприємства у підвищенні екологічної ефективності діяльності та, з іншого боку, показник ефективності діяльності підприємства, що кількісно висвітлює результати реалізованих екологічно орієнтованих управлінських рішень.

Отже, комплексна характеристика результатів управління екологічними аспектами підприємства - це система показників екологічної ефективності управлінських рішень, яка може бути представлена у вигляді так званої збалансованої системи показників та є важливим інструментом

розвитку лісогосподарського підприємства [274, 282].

В результаті проведеного SWOT-аналізу виявлено, що вітчизняні лісогосподарські підприємства мають такі суттєві слабкі сторони: морально і фізично застаріле обладнання; неповне використання виробничих потужностей, що знижує ефективність виробництва і стримує його розвиток; недосконала кадрова та маркетингова політика; слабкі сторони повинні бути усунені, а також необхідно скористатися наявними можливостями. Саме на це і буде зосереджено увагу та спрямована розробка системи показників екологічної ефективності управлінських рішень у лісокористуванні, що представлена у вигляді збалансованої системи показників [275].

Система показників оцінки екологічної ефективності управлінських рішень ґрунтується на інформації про виконання законодавчих норм та вимог, ефективному використанні ресурсів, регулюванні витрат на ековідновні заходи та повинна відповідати наступним вимогам [278]:

- відображати зміни екологічної ситуації за короткі проміжки часу;
- ідентифікувати тенденції, пов'язані із погіршенням екологічної ситуації;
- відповідати екологічним стратегічним цілям лісогосподарської діяльності.

Лісогосподарське підприємство повинно адаптувати систему показників оцінки екологічної ефективності відповідно до загальноприйнятих засад екологічної політики, а також - до власних можливостей, потреб та інтересів. Особливо важливим етапом процесу оцінки екологічної ефективності управлінських рішень є перевірка точності та достовірності вхідної інформації та порівняння отриманих результатів оцінки (досягнення або перевищення) із встановленими критеріями екологічної ефективності [199].

Зазначені порівняння відображають покращення або погіршення екологічної ефективності та причини таких змін. Такий аналіз передбачає трансформацію зібраних вхідних даних у показники екологічної

ефективності із використанням розрахунків, експертних оцінок, статистичних методів, графічного інструментарію та сприятиме:

- підвищенню ефективності витрат на природоохоронні та природовідновні заходи;
- ідентифікації нових проблем;
- виявленню ефективніших та інформативніших показників;
- розробці та прийняттю рекомендацій та пропозицій щодо покращення існуючого стану.

За результатами оцінки екологічної ефективності управлінських рішень у лісогосподарській діяльності необхідно розробляти плани заходів або програми, які спрямовані на покращення екологічної ситуації в регіоні. Інтеграція комплексного плану заходів з охорони природного середовища у систему забезпечення режиму сталого лісокористування повинна запроваджуватися через такі стадії [69]:

1) ініціювання та реалізація плану забезпечення сталого лісокористування із регулярною його актуалізацією, зокрема:

- відбір, заготівля та первинна обробка лісоматеріалів;
- будівництво, ремонт, утримання лісових доріг, розвантажувальних майданчиків та протипожежних смуг;
- вирощування промислових видів деревини у розсадниках; • захист природного середовища у частині створення регенераційних зон вибіркової вирубки;
- організація заходів щодо охорони лісів від пожеж;
- організація заходів щодо захисту рослин від шкідників, хвороб тощо;

2) ініціювання та реалізація плану збереження біорізноманіття;

3) розробка комплексу заходів щодо отримання сертифікату стосовно лісозаготівлі відповідно до міжнародної програми сертифікації лісозаготівель;

4) активація системи екологічного менеджменту;

5) запровадження системи добровільних регулярних екологічних аудитів підприємств лісогосподарського комплексу.

Надзвичайно важлива роль в регулюванні, координації та ініціалізації основних засад природоохоронної діяльності у лісовому господарстві належить державі, яка повинна:

- своєчасно вдосконалювати системи нормативів негативного впливу на природне середовище;
- розробляти та вдосконалювати систему правових та фінансово-економічних мотиваційних механізмів, які зменшували б негативний екологічний вплив (освоєння та запровадження нових еколого орієнтованих технологій, переробка відходів тощо);
- підвищувати ефективність та інформативність державного екологічного моніторингу;
- удосконалювати механізм державного екологічного нагляду та контролю на регіональному рівні (у випадку порушень – примусове припинення діяльності господарюючого суб'єкта, припинення фінансування та кредитування та інших фінансових операцій);
- інформувати громадян про екологічну результативність підприємств лісогосподарського комплексу тощо.

Отже, можемо зробити висновки, що екологічна ефективність реалізованих управлінських рішень у лісогосподарській діяльності – це багатогранна категорія, яку доцільно поділити на два блоки. Блок перший – система показників екологічної ефективності управлінських рішень (мікросередовище), блок другий – система показників оцінки стану природного середовища (макросередовище). У результаті дослідження [69] запропонована система показників першого блоку (мікросередовище). Предметне поле системи показників розбите на чотири блоки: фінанси, підприємство-клієнт, господарські процеси, персонал. У межах кожного блоку сформульовані цілі, окреслені показники, що прогнозуються на основі експертної оцінки, їхні цільові значення та розроблені рекомендовані заходи

щодо практичної реалізації кожної складової. Запропонована збалансована система показників оцінки екологічної ефективності управлінських рішень у процесі лісокористування дає можливість:

- ідентифікувати та керувати екологічною складовою лісогосподарської діяльності;
- здійснити оцінку адекватності вибраних критеріїв екологічної ефективності;
- побудувати систему показників оцінки ефективності управління та функціонування виробничої системи у лісогосподарській діяльності;
- здійснити оцінку фактичного стану природного середовища з огляду на реалізацію екологічної програми;
- розробити перспективний план подальших дій.

Отже, оцінка екологічної ефективності реалізованих управлінських рішень у лісогосподарській діяльності сприятиме:

- вчасному виявленню тенденцій зміни екологічної ефективності реалізованих управлінських рішень;
- ідентифікації невикористаних стратегічних резервів ефективності;
- комплексній оцінці пріоритетних екологічних аспектів ефективності;
- окресленню порогових значень критеріїв екологічної ефективності.

Підсумовуючи вище сказане, до показників екологічної ефективності відносять:

- коефіцієнт екологічної ефективності (відношення фактичних показників екологічної ефективності природоохоронних заходів до науково обґрунтованих нормативів);
- структурою і ефективністю капіталовкладень на відтворення природних ресурсів;
- динамікою стану і якості природних ресурсів;
- динамікою збереження окремих видів рослин і тварин;
- динамікою впровадження прогресивних технологій;

- динамікою показників негативного антропогенного впливу (забруднення, зміна ландшафту, радіоактивність тощо);
- темпами відтворення природного стану природних ресурсів (рекультивация, система землеробства, створення заповідників тощо);
- структурою капіталовкладень і поточних витрат на природоохоронні заходи.

Окремим етапом аналізу сучасних наукових підходів в сфері визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень став патентний пошук. Патентний пошук здійснювався за допомогою інформаційно-пошукових систем. В даній роботі будуть використані наступні ресурси, перелік та опис яких можна знайти в [290]:

1) USPTO [122] - повнотекстова база даних патентного відомства США, що налічує декілька мільйонів патентів з 1776 р., які зберігаються у текстовому форматі HTML та графічному форматі TIFF. Патенти з 1790 р. до 1776 р. зберігаються тільки у графічному форматі.

2) Google Patent Search [128] - база даних Google складається з патентів, що містяться в базі USPTO (United States Patent and Trademark Office). Розширений пошук дозволяє здійснювати пошук по таких критеріях як автор, назва, номер патенту, дата. Є зручна можливість збільшення тексту (zoom) та ілюстрацій патентів. Пошукова система використовує спеціальну технологію розпізнавання тексту на фотографіях, яка дозволяє здійснювати пошук навіть по тексту на відсканованих патентах.

3) Canadian Patents Database [139] - пошукова система патентної служби Канади, призначена для пошуку в базі даних канадських патентів. Простий і зручний пошук. Можливе відображення графічних ілюстрацій до патентів. У базі даних понад 1.9 млн. патентів, починаючи з 1869 року.

4) Esp@cenet [36] - Європейське патентне відомство (European Patent Office). На даний час база містить більше 60 млн. патентних заявок і патентів. Через сайт Європейської патентної організації можна провести пошук

патентів по БД: «Worldwide», Європейської патентної організації (ЕРО), Всесвітньої організації інтелектуальної власності (WIPO). База даних «Worldwide» дозволяє шукати інформацію про опубліковані патентні документи з більш ніж 80 країн і регіонів. Це найбільше зібрання документів в Espacenet. В базах даних «EP - esp@cenet» та «WIPO - esp@cenet» можна знайти патенти опубліковані лише за останні два роки. Старіші документи знаходяться в БД «Worldwide». На головній сторінці сайту відображається список останніх опублікованих патентів. Пошук в базах даних проводиться англійською мовою, але для гарантії доцільно повторити процедуру пошуку на мові країни, яка реєструвала патент, тому що не у всіх патентах присутній англійський переклад назви та реферату.

5) УКРПАТЕНТ [390] – база даних патентів України. На сайті створено пошуковик в БД 'Винаходи зарубіжних країн', що містить інформацію, яка надходить від 42 патентних відомств різних держав і 2 регіональних організацій.

6) РОСПАТЕНТ [366] - Російське патентне відомство - федеральна служба по інтелектуальній власності, патентам і товарним знакам. У інформаційній пошуковій системі можливий пошук по винаходах, рефератах патентних документів на російській і англійській мовах, перспективних винаходах, корисних моделях.

7) ЕАПВ [204] - Євразійське патентне відомство. Має більше 30 локальних патентних баз даних, в яких міститься більше 35 млн. патентних документів. У локальних БД представлені патентні документи ЕАПВ, ВОІВ, Європейського патентного відомства, патентного відомства США, Росії (з 1924 р.), а також патентні документи країн СНД і національних патентних відомств країн-членів ЕАПО. У системі реалізовані засоби пошуку в зовнішніх патентних БД цифрових бібліотек інтелектуальної власності (IPDL) та в інформаційних системах: ESP@CENET, EPOLINE, JOPAL та ін.

8) SIPO / CNIPA [112] – державне відомство інтелектуальної власності Китайської Народної Республіки. Надає вільний доступ до документів на

китайській та англійській мовах, починаючи з 1985 р. Є можливість перекладу окремих документів за допомогою технології машинного перекладу CPMT.

9) Patent Abstracts of Japan (PAJ) [92] - бази даних Патентного відомства Японії. Пропонує доступ до БД патентів та товарних знаків Японії з 1993 року англійською мовою. На даний момент в БД знаходиться понад 4.7 млн. документів.

10) WIPO (World Intellectual Property Organization) [129] - Всесвітня Організація Інтелектуальної Власності. Патентний пошук у БД WIPO здійснюється за допомогою пошукової служби PATENTSCOPE®, яка забезпечує безкоштовний доступ до Міжнародних патентних заявок та національним/регіональним патентним документам. Патентна база даних BOIV містить інформацію про більш ніж 1.8 млн. опублікованих міжнародних патентах. На сайті з'явився новий пошуковий інструмент, який дозволяє шукати не тільки у колекції міжнародних патентних заявок, але і в патентних колекціях Африканської Регіональної Організації Інтелектуальної Власності (ARIPO), Аргентини, Бразилії, Куби, Ізраїлю, Марокко, Мексики, Республіки Корея, Сінгапура, Південної Африки, Іспанії і В'єтнаму.

З даного патентного пошуку в сфері визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень виділено ряд патентів.

1) Патент US20150100274 [289], в описі якого зазначається, що метод оцінки екологічних показників включає: отримання, обробним пристроєм, вхідних даних, пов'язаних з аспектами роботи енергетичної галузі; оцінка першого впливу операції на навколишнє середовище на основі вхідних даних; вибір альтернативної реалізації операції; оцінка другого впливу альтернативного впровадження на навколишнє середовище; порівняння першого впливу на навколишнє середовище та другого впливу на навколишнє середовище; і генерування результатів на основі порівняння, вихід, що вказує на зміну впливу на навколишнє середовище, пов'язаний із заміною операції альтернативною реалізацією.



US 20150100274A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**
Daulton et al.

(10) **Pub. No.: US 2015/0100274 A1**

(43) **Pub. Date: Apr. 9, 2015**

(54) **ENVIRONMENTAL PERFORMANCE ESTIMATION**

(22) Filed: **Oct. 4, 2013**

Publication Classification

(71) Applicants: **Daniel J. Daulton**, The Woodlands, TX (US); **Randy Kuzawa**, Katy, TX (US); **James G. Wilke**, The Woodlands, TX (US); **Bridget Marie Todd**, Cypress, TX (US); **Daryl D. McCracken**, Houston, TX (US)

(51) **Int. Cl.**
G06Q 10/06 (2006.01)
(52) **U.S. Cl.**
CPC **G06Q 10/0639** (2013.01)

(72) Inventors: **Daniel J. Daulton**, The Woodlands, TX (US); **Randy Kuzawa**, Katy, TX (US); **James G. Wilke**, The Woodlands, TX (US); **Bridget Marie Todd**, Cypress, TX (US); **Daryl D. McCracken**, Houston, TX (US)

(57) **ABSTRACT**
A method of assessing environmental performance includes: receiving, by a processing device, input data related to aspects of an energy industry operation; estimating a first environmental impact of the operation based on the input data; selecting an alternative implementation of the operation; estimating a second environmental impact of the alternative implementation; comparing the first environmental impact and the second environmental impact; and generating an output based on the comparison, the output indicating a change in environmental impact associated with replacing the operation with the alternative implementation.

(73) Assignee: **BAKER HUGHES INCORPORATED**, Houston, TX (US)

(21) Appl. No.: **14/046,584**

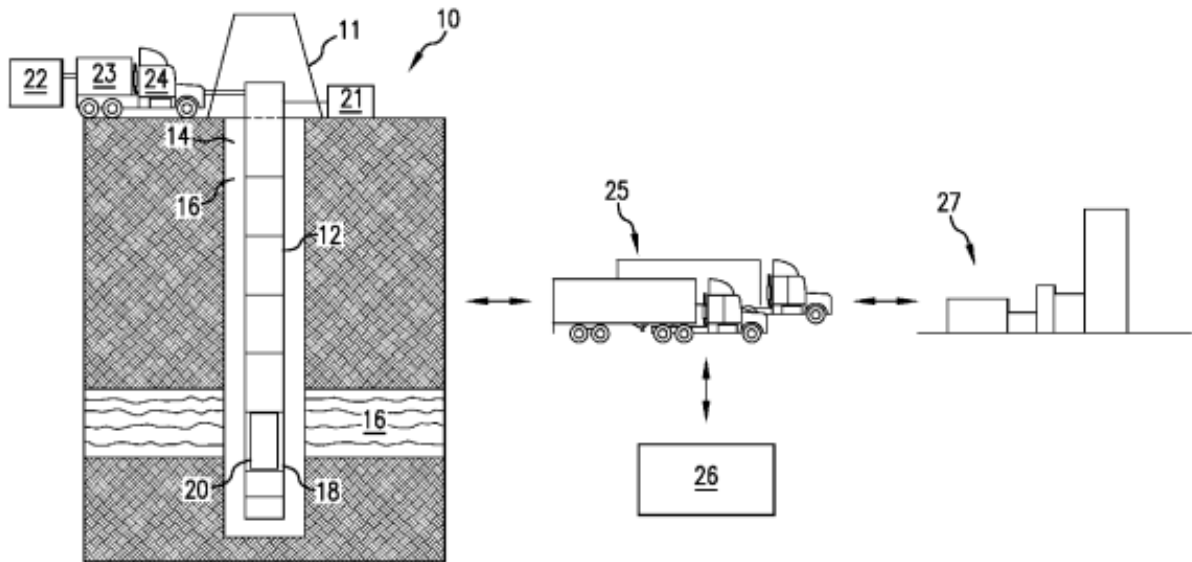


Рис. 1.12. Результаты патентного поиска в USPTO. Патент US 20150100274



US 20110141117A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication**
Barba et al.(10) **Pub. No.: US 2011/0141117 A1**(43) **Pub. Date: Jun. 16, 2011**(54) **SYSTEM AND METHOD FOR DETERMINING
THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF A
PROCESS**(52) **U.S. CL. 345/440; 715/772; 715/771; 702/61;
702/2**(75) **Inventors:** **Diego Barba**, Roma (IT);
Alessandro Di Gregorio, Teramo
(IT); **Rolando Luberti**, Chieti (IT)(73) **Assignee:** **Tredegar Film Products
Corporation**, Richmond, VA (US)(21) **Appl. No.: 12/653,470**(22) **Filed: Dec. 15, 2009****Publication Classification**(51) **Int. Cl.**
G06F 3/048 (2006.01)
G06T 11/20 (2006.01)(57) **ABSTRACT**

A system and method for determining the environmental impact of a process is disclosed in which resources are categorized into distinct Environmental Performance Indicators ("EPI's"), some of which are value EPIs that are derived based on the amount of the resource used per Finished Product Volume (FPV), which is representative of the amount of product that is produced by the process; and others are percentage EPIs that represent a measure of efficiency, and are derived from the amount of renewable resources used as a percentage of total resources used. A graphical representation of the EPIs allows a quick visual interpretation of the environmental friendliness of a particular process or group of processes, and allows a visual comparison between two different processes.

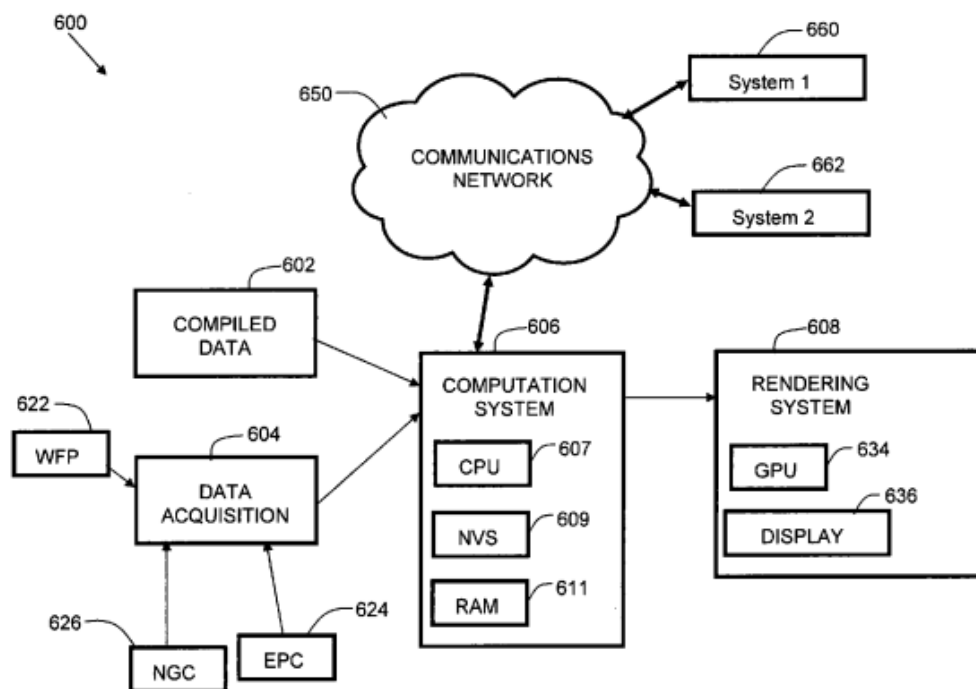


Рис. 1.13. Результати патентного пошуку в USPTO. Патент US 20110141117

2) Патент US 20110141117 [288], в описі якого зазначається, що в ньому розкрито систему та метод визначення впливу на довкілля процесу, в якому ресурси класифікуються на окремі показники екологічної ефективності (ПЕЕ), деякі з яких - значення ПЕЕ, які отримуються виходячи з кількості використаного ресурсу на об'єм готового продукту, що є

репрезентативним кількістю продукту, який виробляється процесом; та інші - це відсоткові ПЕЕ, які представляють собою показник ефективності, і отримуються від кількості відновлюваних ресурсів, що використовуються у відсотках від загально використаних ресурсів. Графічне зображення ПЕЕ дозволяє швидко візуально інтерпретувати екологічність певного процесу чи групи процесів та дозволяє візуально порівнювати два різні процеси.



US 2002/0133302A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication**

Matsui et al.

(10) **Pub. No.: US 2002/0133302 A1**(43) **Pub. Date: Sep. 19, 2002**

(54) **ENVIRONMENTAL PERFORMANCE
IMPROVEMENT SUPPORT SYSTEM AND
ENVIRONMENTAL PERFORMANCE
IMPROVEMENT SUPPORT METHOD**

(75) Inventors: **Tetsuya Matsui**, Hitachi (JP); **Kiyomi Funabashi**, Hitachinaka (JP); **Yoshiaki Ichikawa**, Naka-gun (JP); **Takako Oono**, Hitachinaka (JP); **Akira Sekine**, Hitachiohta (JP)

Correspondence Address:
Crowell & Moring LLP
The Evenson, McKeown, Edwards & Lenahan
Intellectual Property Law Gr.
1001 Pennsylvania Avenue, N.W.
Washington, DC 20004-2595 (US)

(73) Assignee: **Hitachi, Ltd.**(21) Appl. No.: **10/053,697**(22) Filed: **Jan. 24, 2002**(30) **Foreign Application Priority Data**

Mar. 15, 2001 (JP) 2001-73349

Publication Classification(51) **Int. CL⁷ G06F 17/60**(52) **U.S. CL 702/30; 700/266; 705/1**(57) **ABSTRACT**

The problem is providing an environmental performance improvement support system and an environmental performance improvement support method that support to improve effects on the environment due to release of chemical substances.

Environmental performance improvement support system 1 that sets the release amounts to each release-transfer destination of chemical substances that make up these materials based on the types and input amounts of the materials that are input in a certain process, and also sets information for improving the environmental performance according to information on these chemical substances that are released, wherein release rate-related information is set, based on release information that prescribes the relationship of the release amounts to each release-transfer destination of the chemical substances with respect to the input amounts of the materials that are input into an equipment that is used in a certain process, and environmental performance information that evaluates environmental effects due to discharging the chemical substances in the release amounts that correspond to the input amounts of the materials that are input, and/or investment effectiveness information related to the costs for reducing the chemical substances that are released are set.

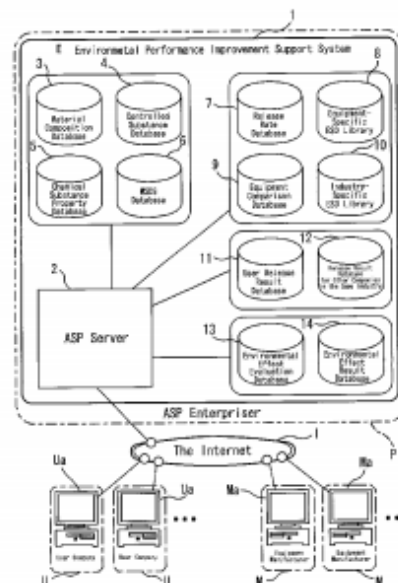


Рис. 1.14. Результати патентного пошуку в USPTO. Патент US 20020133302



US 20070265897A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication**
McMorris, III et al.(10) **Pub. No.: US 2007/0265897 A1**(43) **Pub. Date: Nov. 15, 2007**(54) **SYSTEM AND METHOD OF CREATING,
AGGREGATING, AND TRANSFERRING
ENVIRONMENTAL EMISSION REDUCTIONS****Related U.S. Application Data**

(63) Continuation of application No. 10/720,797, filed on Nov. 24, 2003.

(60) Provisional application No. 60/429,267, filed on Nov. 26, 2002. Provisional application No. 60/440,069, filed on Jan. 13, 2003. Provisional application No. 60/513,498, filed on Oct. 22, 2003. Provisional application No. 60/498,992, filed on Aug. 29, 2003.

(76) Inventors: **John A. McMorris III**, Indialantic, FL (US); **George D. Bolton**, Melbourne, FL (US); **Alan R. Tank**, Bethesda, MD (US); **Everett E. (Tracy) Howard**, Fellsmere, FL (US); **Lewis C. Smyrniotis**, Satellite Beach, FL (US)**Publication Classification**(51) **Int. Cl.**
G06F 17/30 (2006.01)(52) **U.S. Cl.** **705/7**(57) **ABSTRACT**

An integrated, holistic methodology for enabling a systematic creation, aggregation, verification, registration, storage, transfer/sale, and retirement of environmental emission removal units provides a control and management system complementing the use of sound foundational science to qualify and quantify environmental emission reductions and removals, and provides the framework for accurate data collection, storage, and processing.

Correspondence Address:

CARL M. NAPOLITANO, PH.D.
**ALLEN, DYER, DOPPELT, MILBRATH &
GILCHRIST, P.A.**
255 SOUTH ORANGE AVE., SUITE 1401
P.O. BOX 3791
ORLANDO, FL 32802-3791 (US)

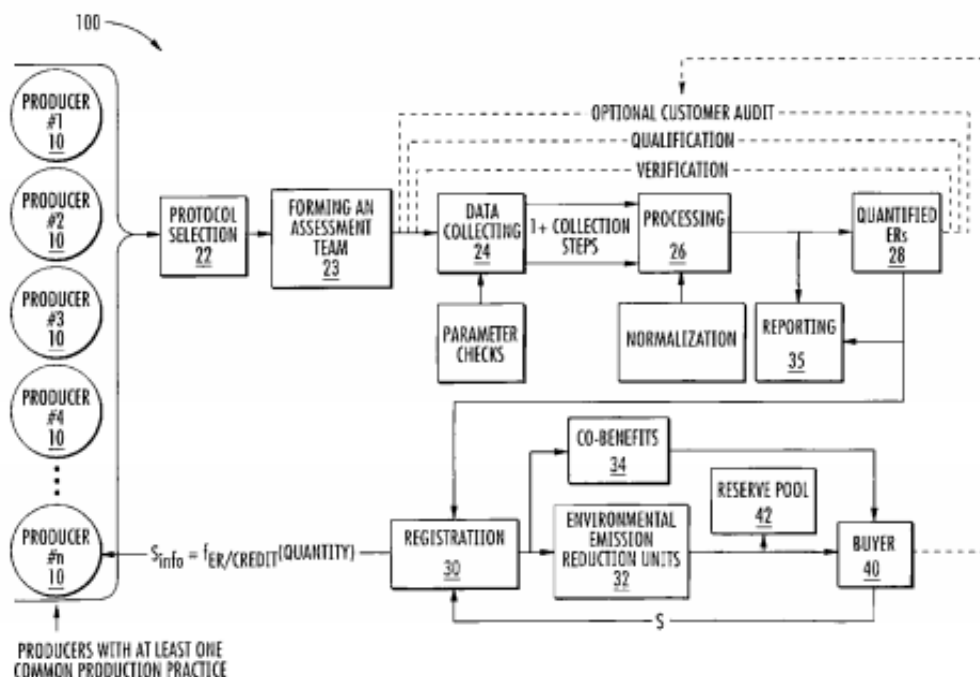
(21) Appl. No.: **11/770,968**(22) Filed: **Jun. 29, 2007**

Рис. 1.15. Результаты патентного поиска в Google Patent Search.

Патент US 20070265897

3) Патент US 20020133302 [286], в описі якого зазначається, що проблема полягає у наданні системи підтримки покращення екологічних показників та методу підтримки покращення екологічної ефективності, що сприяє покращенню впливу на навколишнє середовище за рахунок викиду хімічних речовин. Система підтримки покращення екологічних показників, яка встановлює обсяги випуску для кожного призначення викиду-перенесення хімічних речовин, які складають ці матеріали, виходячи з типів та вхідних кількостей матеріалів, що вводяться в певний процес, а також встановлює інформацію для покращення екологічні показники відповідно до інформації про ці хімічні речовини, які вивільняються, де інформація, що стосується швидкості вивільнення, встановлюється на основі інформації про вивільнення, яка прописує співвідношення кількості вивільнення до кожного пункту призначення викиду хімічних речовин відносно вхідних кількостей матеріалів, які вводяться в обладнання, яке використовується в певному процесі, та інформація про екологічні показники, яка оцінює вплив на навколишнє середовище за рахунок викиду хімічних речовин у кількості викидів, що відповідають вхідній кількості матеріалів, що вводяться, та / або інформація про ефективність інвестицій, пов'язана з с встановлюються ости для зменшення хімічних речовин, що виділяються.

4) Патент US 20070265897 [287], в описі якого зазначається, що комплексна цілісна методологія, що дозволяє систематично створювати, агрегувати, перевіряти, реєструвати, зберігати, передавати / продавати та вибувати з підрозділів з викиду навколишнього середовища, забезпечує систему управління та управління, що доповнює використання надійної фундаментальної науки для кваліфікації та кількісної оцінки скорочення викидів у навколишнє середовище. та видалення та забезпечує основу для точного збору, зберігання та обробки даних.



Innovation, Sciences et
Développement économique Canada
Office de la Propriété Intellectuelle du Canada

Innovation, Science and
Economic Development Canada
Canadian Intellectual Property Office

CA 2863555 C 2018/07/10

(11)(21) **2 863 555**

(12) **BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT**

(13) **C**

(22) **Date de dépôt/Filing Date:** 2014/09/10
(41) **Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.:** 2015/04/04
(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2018/07/10
(30) **Priorité/Priority:** 2013/10/04 (US14/046,584)

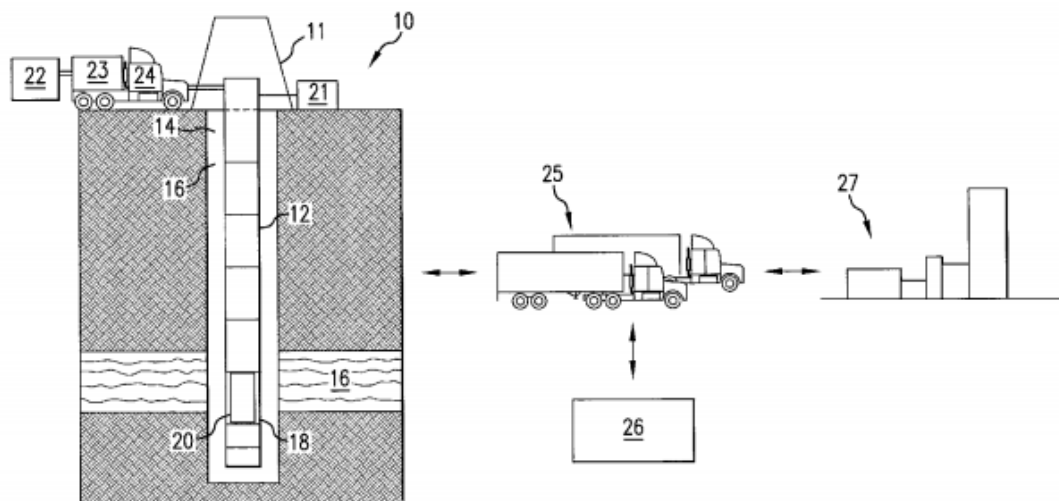
(51) **Cl.Int./Int.Cl.** *G06Q 10/06* (2012.01),
G06Q 50/00 (2012.01)

(72) **Inventeurs/Inventors:**
DAULTON, DANIEL J., US;
KUZAWA, RANDY, US;
WILKE, JAMES G., US;
TODD, BRIDGET MARIE, US;
MCCRACKEN, DARYL D., US

(73) **Propriétaire/Owner:**
BAKER HUGHES INCORPORATED, US

(74) **Agent:** MARKS & CLERK

(54) **Titre : ESTIMATION DE RENDEMENT ENVIRONNEMENTAL**
(54) **Title: ENVIRONMENTAL PERFORMANCE ESTIMATION**



(57) **Abrégé/Abstract:**

A method of assessing environmental performance includes: receiving, by a processing device, input data related to aspects of an energy industry operation; estimating a first environmental impact of the operation based on the input data; selecting an alternative implementation of the operation; estimating a second environmental impact of the alternative implementation; comparing the first environmental impact and the second environmental impact; and generating an output based on the comparison, the output indicating a change in environmental impact associated with replacing the operation with the alternative implementation.

Рис. 1.16. Результати патентного пошуку в Canadian Patents Database.

Патент CA 2863555

5) Патент CA 2863555 [285] (фактично є оновленим варіантом патенту US 20150100274 [289]), в описі якого зазначається, що метод оцінки

екологічних показників включає: отримання, обробним пристроєм, вхідних даних, пов'язаних з аспектами роботи енергетичної галузі; оцінка першого впливу операції на навколишнє середовище на основі вхідних даних; вибір альтернативної реалізації операції; оцінка другого впливу альтернативного впровадження на навколишнє середовище; порівняння першого впливу на навколишнє середовище та другого впливу на навколишнє середовище; і генерування результатів на основі порівняння, вихід, що вказує на зміну впливу на навколишнє середовище, пов'язаний із заміною операції альтернативною реалізацією.

1.3. Формулювання та обґрунтування проблематики дослідження

На основі аналізу з пункту 1.2, встановлено, що існують різні визначення терміну «екологічна ефективність» (табл. 1.2), які, по-перше, значно відрізняються за суттю та змістом між собою, а, по-друге, мають абстрактний характер, що, фактично, не дозволяє математично формалізувати визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень (ЕЕПУР). Визначено, що в наукових публікаціях більшість авторів розглядає екологічну ефективність без зазначення методів та засобів для її чисельного розрахунку. В небагатьох підходах, де пропонуються математичні засоби визначення екологічної ефективності, зокрема ЕЕПУР, можна виділити ряд недоліків, оскільки вони не враховують наступні аспекти:

1) УР може одночасно призводити до сприятливих та несприятливих змін в довкіллі (наприклад, викиди одних забруднюючих речовин (ЗР) буде зменшено, а інших навпаки – збільшено);

2) УР може становити не лише прямий, а й опосередкований вплив на екологічний стан довкілля;

3) УР щодо підвищення безпеки техногенних об'єктів зменшують ризик аварій та надзвичайних ситуацій (НС) на них, які, як правило, призводять до

несприятливих змін в довкіллі, тому ЕЕ таких УР не можна вважати нульовою;

Таблиця 1.2 – Основні існуючі визначення терміну «екологічна ефективність» та близьких до нього

Термін	Визначення	Джерело/автор(и)
Екологічна дієвість; екологічні характеристики (environmental performance – англ.)	Вимірні результати управління організацією своїми екологічними аспектами. У контексті системи екологічного управління результати може бути виміряно щодо екологічної політики організації, її екологічних цілей та екологічних завдань, а також інших вимог до екологічних характеристик.	ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови»
Екологічна ефективність	Відображає відповідність витрат і екологічних результатів інтересам держави й суспільства.	Ярославський А.О.
Екологічна ефективність	Характеризує ощадливе відношення підприємства до навколишнього середовища, що сприяє зменшенню тиску підприємств на довкілля.	Лозовська Н.М., Рожко З.П.
Екологічна ефективність	Зіставлення витрат на проведення екологічних заходів і можливого збитку (як для організації – потенційного платника штрафу за перевищення рівня забруднень, так і для суспільства в цілому – порушення екологічної рівноваги і його наслідки) в разі ігнорування даних заходів.	Колихаєв Ю.О.
Екологічна ефективність	Зменшення витрат на ліквідацію наслідків інтенсивного антропогенного впливу та втручання в навколишнє середовище, створення умов для розширеного відтворення природних ресурсів. Повинна відображати ступінь раціональної діяльності людини, результативність екологічних заходів щодо запобігання збитків, що завдаються виробництвом.	Скорупська О.П., Жак І.Б.
Екологічна ефективність	Створені управлінськими діями умови щодо збереження земельних ресурсів, інших елементів навколишнього природного середовища та їх поліпшення.	Варламов А.О.

4) врахування лише прямих кількісних показників, що призводять до несприятливих чи сприятливих змін в довкіллі (наприклад, кількості чи потужності викидів ЗР), не дозволяє адекватно оцінити ЕЕПУР, наприклад, зменшення викидів SO₂ від ідентичних підприємств на 10 тис. т. за рік матиме різні наслідки для населення/територій, де немає перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) SO₂ і де такі є;

5) аналогічно до аспекту з п. 4 необхідно враховувати також часову тривалість дії ефекту від УР, площу, значимість та кількість населення території, на яку воно впливає;

6) окремим аспектом слід виділити вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань, наприклад, щодо виконання НПСВ.

На основі здійсненого дослідження чинних вітчизняних та імплементованих Україною закордонних нормативних актів в сфері екологічної безпеки та управління (пункт 1.1). Серед них варто виділити виданий в Україні стандарт ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови», в якому описано процес оцінювання екологічної дієвості. Проте даний документ містить лише загальні настанови, і без відповідної теорії, математичного та програмного забезпечення не може використовуватись для визначення та аналізу ЕЕПУР. Пошук по базі даних законодавства України не виявив більше документів, які напряду стосувалися б термінів «екологічна дієвість» та/або «екологічна ефективність».

Таким чином, зважаючи на вищезазначені недоліки та обмеженість існуючих підходів та нормативних актів, можна стверджувати, що, розвиток теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів є актуальною науково-прикладною проблемою, що потребує вирішення.

1.4. Висновки до розділу 1

1. Здійсненого дослідження чинних вітчизняних та імплементованих Україною закордонних нормативних актів в сфері екологічної безпеки та управління. Серед них варто виділити виданий в Україні стандарт ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови», в якому описано процес оцінювання екологічної дієвості. Проте даний документ містить лише загальні настанови, і без відповідної теорії, математичного та програмного забезпечення не може використовуватись для визначення та аналізу ЕЕПУР. Пошук по базі даних законодавства України не виявив більше документів, які напряду стосувалися б термінів «екологічна дієвість» та/або «екологічна ефективність»

2. Аналіз сучасних наукових підходів щодо визначення екологічної ефективності показав, що, по-перше, існують різні тлумачення терміну «екологічна ефективність», які значно відрізняються за суттю та змістом між собою та мають абстрактний характер, що, фактично, не дозволяє математично формалізувати визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. А, по-друге, мають низку недоліків, оскільки вони не враховують ряд важливих аспектів управлінських рішень: часову тривалість, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; можливість одночасно призводити до сприятливих та несприятливих змін в довкіллі, становити не лише прямий, а й опосередкований вплив тощо.

3. Отже, зважаючи на вищезазначені недоліки та обмеженість існуючих підходів та нормативних актів, можна стверджувати, що, розвиток теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів є актуальною науково-прикладною проблемою, що потребує вирішення.

РОЗДІЛ 2

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

2.1. Категоріально-понятійний апарат визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень

Аналіз чинних вітчизняних та закордонних (імплементованих Україною) нормативних актів в сфері перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, зокрема: [177, 194, 195, 196, 197, 201, 202, 211, 212, 215, 230, 236, 237, 254, 263, 264, 265, 266, 270, 271, 320, 321, 323, 324, 326, 335, 342, 345, 346, 352, 354] дозволяє побудувати категоріально-понятійний апарат визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. Перш за все розглянемо, що в законодавстві України мається на увазі під «управлінським рішенням».

Згідно «Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті» *управлінське рішення* – це директивний акт цілеспрямованого впливу на об'єкт управління, який характеризує конкретну управлінську ситуацію і містить заходи, програму досягнення мети [298].

В «Положенні про систему управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті» зазначено, що *управлінське рішення* визначається як «процес цілеспрямованого впливу на об'єкт управління, викликаний конкретною ситуацією, який містить заходи та спосіб досягнення мети» [300];

В «Положенні про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України» наголошено, що *управлінське рішення* – це акт цілеспрямованого впливу на об'єкт управління, що характеризує конкретну управлінську ситуацію і містить заходи, програму досягнення мети [299].

Згідно «Деяких питань документування управлінської діяльності», *управлінське рішення* – це будь-яке завдання, визначне посадовою особою або колегіальним органом в межах повноважень та спрямоване на досягнення

поставлених цілей [195].

Також важливими для нашого дослідження є визначення наступних понять: екологічний аспект, екологічний аудит, екологічні критерії, екологічний профіль, екологічні характеристики.

Екологічний аспект – елемент або функція продукту, які можуть впливати на навколишнє природне середовище протягом життєвого циклу такого продукту («Технічний регламент щодо встановлення системи для визначення вимог з екодизайну енергоспоживчих продуктів» [343]).

Екологічний аудит – це документально оформлений системний незалежний процес оцінювання об'єкта екологічного аудиту, що включає збирання і об'єктивне оцінювання доказів для встановлення відповідності визначених видів діяльності, заходів, умов, системи екологічного управління та інформації з цих питань вимогам законодавства України про охорону навколишнього природного середовища та іншим критеріям екологічного аудиту [320].

Основними завданнями екологічного аудиту є [320]:

- збір достовірної інформації про екологічні аспекти виробничої діяльності об'єкта екологічного аудиту та формування на її основі висновку екологічного аудиту;
- встановлення відповідності об'єктів екологічного аудиту вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища та іншим критеріям екологічного аудиту;
- оцінка впливу діяльності об'єкта екологічного аудиту на стан навколишнього природного середовища;
- *оцінка ефективності*, повноти і обґрунтованості заходів, що вживаються для охорони навколишнього природного середовища на об'єкті екологічного аудиту.

Конкретні завдання екологічного аудиту в кожному окремому випадку визначаються замовником, виходячи з його потреб, відповідно до цього Закону та інших актів законодавства України, характеру діяльності об'єкта

екологічного аудиту.

Згідно «Технічного регламенту з екологічного маркування» [342] *екологічні критерії* для продукції (далі – екологічні критерії) – це екологічні вимоги, яким повинна відповідати продукція при позначенні її екологічним маркуванням, а *екологічні характеристики* - результати вимірювання впливу продукції на навколишнє природне середовище та здоров'я людини.

Також були розглянуті наступні терміни: екологічний аспект, екологічний аудит, екологічні критерії, екологічний профіль, екологічні характеристики, екомережа, екологічна інформація, «еко-інновація», екологічні нормативи, екологічні стандарти, моніторинг, моніторинг довкілля, моніторинг лісів, моніторинг вод, моніторинг атмосферного повітря, моніторинг повітряного середовища, моніторинг земель, моніторинг стану навколишнього природного середовища та його забруднення, моніторинг стану екологічної мережі, моніторинг інноваційної діяльності, моніторинг стану розроблення (реалізації) державного інвестиційного проекту, моніторинг надзвичайних ситуацій, економічні збитки від надзвичайних ситуацій, післяпроектний моніторинг, стратегічна екологічна оцінка, оцінка впливу на довкілля, енергоефективність, ефективність, ефективне використання енергетичних ресурсів, показник енергоефективності, перевірка, перевірка даних, перевірки, оцінка впливу на навколишнє середовище, оцінка, оцінка відповідності, оцінка динамічної стійкості, оцінка витрат і вигод проектів, оцінка кризової ситуації, оцінка ризику, аналіз ризику, оцінка технічного стану, оцінювання, критерії прийнятності [177, 194, 195, 196, 197, 201, 202, 211, 212, 215, 230, 236, 237, 254, 263, 264, 265, 266, 270, 271, 320, 321, 323, 324, 326, 335, 342, 345, 346, 352, 354], які в подальшому будуть використовуватись в значеннях, що є нормативно закріпленими в законодавстві України. Крім того, варто відзначити, що виконаний для побудови категоріально-понятійного апарату визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень аналіз нормативних документів показав, що найбільш актуальними для перевірки

екологічної ефективності є управлінські рішення (УР) в енергетичному секторі щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива (див. п.2.2 статті 3 Закону [346] та п. 3 Плану [271]). Детальніше дане питання буде розглянуто в п. 2.3.

На основі побудованого категоріально-понятійного апарату визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень та недоліків існуючих підходів, описаних в п. 1.3, в роботі запропоновано наступне визначення терміну «екологічна ефективність прийняття управлінських рішень» (ЕЕПУР).

Під екологічною ефективністю прийняття управлінських рішень будемо розуміти узагальнений показник, що характеризує наслідки для довкілля (у тому числі для здоров'я населення) УР та враховує: можливість УР одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі, його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС); часову тривалість дії ефекту від УР, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань.

В даному визначенні використано наступні терміни визначенні в чинному законодавстві України, та частково доповнені:

Управлінське рішення – це будь-яке завдання, визначне посадовою особою або колегіальним органом в межах повноважень та спрямоване на досягнення поставлених цілей [195].

Наслідки для довкілля, у тому числі для здоров'я населення - будь-які ймовірні наслідки для флори, фауни, біорізноманіття, ґрунту, надр, клімату, повітря, води, ландшафту, природних територій та об'єктів, безпеки життєдіяльності населення та його здоров'я, матеріальних активів, об'єктів

культурної спадщини та взаємодія цих факторів [352].

Забруднююча речовина – речовина хімічного або біологічного походження, що присутня або надходить в довкілля, зокрема атмосферне повітря, і може прямо або опосередковано справляти негативний вплив на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища (основа з [271]).

Ризик для здоров'я - імовірність розвитку негативних наслідків для здоров'я у окремих індивідів або групи осіб, які зазнали певного впливу хімічної речовини. Характеризується величиною, що лежить в інтервалі (0..1), де 0 означає відсутність ефекту, а 1 - обов'язковий його прояв. (Наказ МОЗ України Про затвердження методичних рекомендацій «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря»).

Екологічний аспект – характеристика УР, елемент діяльності організації або її продукції чи послуг, який взаємодіє чи може взаємодіяти з довкіллям (основа з [202]).

2.2. Концепція визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень

Як відомо, концепція — це система поглядів, те або інше розуміння явищ і процесів; єдиний, визначальний задум. Для усунення недоліків існуючих підходів в роботі розроблено концепцію визначення ЕЕПУР (рис. 2.1), що враховує: можливість УР одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення НС; часову тривалість дії ефекту від УР; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань.

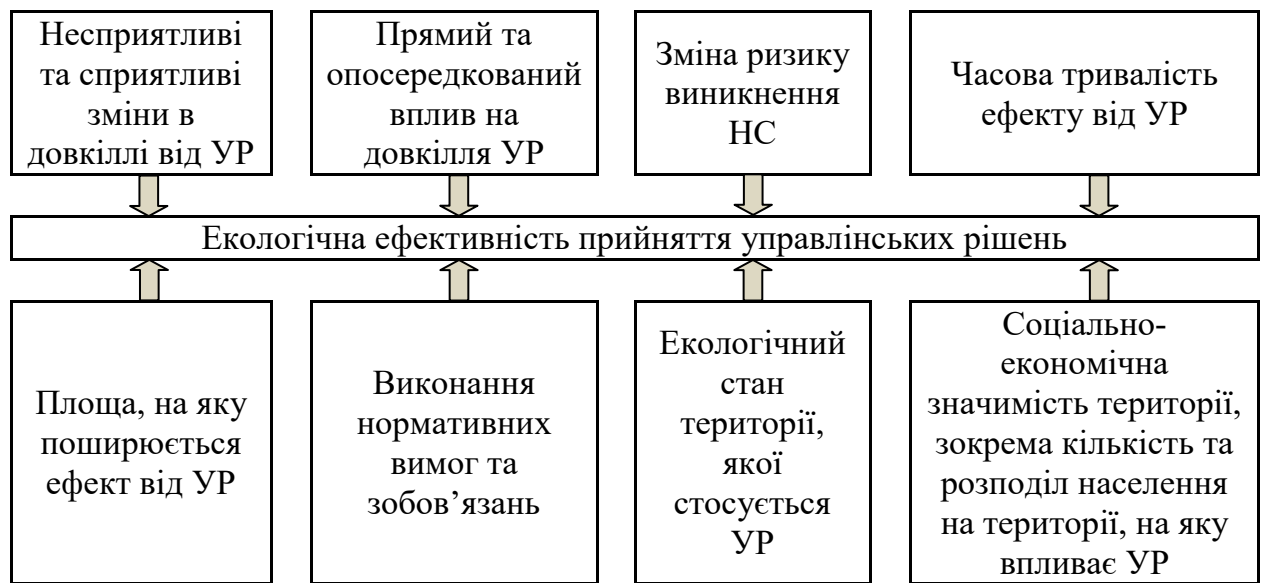


Рис. 2.1. Концепція визначення ЕЕПУР

В рамках розробленої концепції запропоновано наступний підхід до визначення ЕЕПУР. Для кожного УР із заданої наперед множини:

1. Визначити перелік екологічних аспектів, які характеризують УР.
2. Визначити з даного переліку екологічних аспектів такі, які необхідно враховувати при визначенні ЕЕПУР, зважаючи на можливість УР одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі, його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення НС; часову тривалість дії ефекту від УР, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань.
3. Для кожного екологічного аспекту визначити його стан (рівень, значення тощо) до реалізації УР та після.
4. Побудувати адекватну оціночну функцію для даної сфери та класу управлінських рішень.
5. Визначити ЕЕПУР для кожного УР із заданої наперед множини з використанням побудованої оціночної функції.

2.3. Актуальні класи управлінських рішень, що потребують визначення екологічної ефективності в галузі охорони атмосферного повітря

За даними Державної екологічної інспекції України головним джерелом забруднення атмосферного повітря є промислові підприємства. Спалювання, наприклад, вугілля на теплових електростанціях супроводжується викидами диму, який містить двоокис сірки та окис азоту. Двоокис сірки може викликати звужування дихальних шляхів та загострює різні хвороби. Щоб зменшити викиди в атмосферу у розвинених країнах повсякчас встановлюються системи контролю викидів продуктів згорання. Дає результати і встановлення очисних споруд на електростанціях та інших промислових підприємствах. Введення технології десульфуризації димового газу на ТЕС, які працюють на вугіллі, дозволяють значно скоротити вміст двоокису сірки у димі. Комбіноване використання тепла та енергії на промислових підприємствах означає, що тепло, замість того, щоб «йти на вітер» і розсіюватися в атмосфері, буде обігрівати приміщення. При цьому, аналіз поточної ситуації з приведення вітчизняних природоохоронних практик із захисту атмосферного повітря у відповідність до стандартів Євросоюзу засвідчує, що комплексність проблематики і відсутність напрацьованих механізмів регулювання екологічного стану атмосферного повітря, які б забезпечували його прогнозовану якість і дотримання природоохоронних стандартів, створює перешкоди перспективі гармонізації природоохоронного законодавства, та встановлює невідповідність вимогам Європейського природоохоронного права [140].

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [262] серед промислових підприємств, що є головним джерелом забруднення атмосферного повітря, значний внесок створюються саме підприємствами паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), зокрема Відокремлений підрозділ «Бурштинська ТЕЦ» ПАТ «ДТЕК Західенерго», ВП «Курахівська ТЕС» ТОВ «ДТЕК Східенерго», Вуглегірська ТЕС ПАТ «Центренерго», Відокремлений

підрозділ «Ладизинська ТЕС» ПАТ «ДТЕК Західенерго» та інші підприємства ПЕК входять до переліку суб'єктів господарювання, які є найбільшими забруднювачами довкілля по викидах в атмосферне повітря за 2019 рік (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Перелік суб'єктів господарювання, які є найбільшими забруднювачами довкілля по викидах в атмосферне повітря за 2019 рік [262] (без урахування суб'єктів господарювання, розташованих на тимчасово окупованій території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частині території Донецької та Луганської областей)

№ з/п	Назва об'єкта	обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, тис. тонн 2019 рік	обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, тис. тонн 2018 рік	Прогрес
1.	ПрАТ «ММК ім. Ілліча»	247,322	226,608	↑
2.	ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	230,760	208,233	↑
3.	Відокремлений підрозділ «Бурштинська ТЕЦ» ПАТ «ДТЕК Західенерго»	169,888	182,922	↓
4.	ВП «Курахівська ТЕС» ТОВ «ДТЕК Східенерго»	131,392	139,148	↓
5.	ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»	120,595	121,235	↓
6.	ВП Запорізька ТЕС ПАТ ДТЕК «Дніпроенерго»	98,651	98,059	↑
7.	ПрАТ «МК «Азовсталь»	81,405	88,769	↓
8.	ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»	78,091	99,010	↓
9.	Вуглегірська ТЕС ПАТ «Центренерго»	77,590	99,985	↓
10.	Відокремлений підрозділ «Ладизинська ТЕС» ПАТ «ДТЕК Західенерго»	70,844	72,288	↓
11.	АТ «Укртрансгаз»	61,253	*	
12.	Структурна одиниця ПАТ «Донбасенерго» «Слов'янська ТЕС»	61,239	44,682	↑
13.	Зміївська ТЕС ПАТ «Центренерго»	57,303	10,482	↑
14.	Трипільська ТЕС ПАТ «Центренерго»	56,230	53,742	↑
15.	ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське»	53,286	*	
16.	ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь»	51,831	52,294	↓
17.	ВП Добротвірська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго»	32,214	43,692	↓

№ з/п	Назва об'єкта	обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, тис. тонн 2019 рік	обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, тис. тонн 2018 рік	Прогрес
18.	ВП Придніпровська ТЕС АТ «ДТЕК Дніпроенерго»	24,425	26,592	↓
19.	АТ «Нікопольський завод феросплавів»	24,202	25,427	↓
20.	ПАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»	23,276	42,171	↓
21.	ВП Криворізька ТЕС ПАТ ДТЕК «Дніпроенерго»	20,364	28,537	↓
22.	ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля»	20,214	*	
23.	Державне підприємство «Шахта ім. М.С. Сургуя»	19,911	*	
24.	ВП «Луганська ТЕС» ТОВ «ДТЕК Східенерго»	17,452	26,244	↓
25.	АТ «Одесагаз»	17,214	*	
26.	Державне підприємство «Вугільна компанія «Краснолиманська»	16,417	*	
27.	ПАТ «Черкаське хімволокно»	16,124	19,922	↓
28.	ДП «Калуська теплоелектроцентрально-Нова»	13,685	18,677	↓
29.	ВП Шахта «Степова» ДП «Львіввугілля»	12,307	12,825	↓
30.	ПАТ «Транснаціональна фінансово-промислова нафтова компанія «УкрТатНафта»	11,751	11,015	↑
31.	ПАТ «Авдіївський коксохімічний завод»	10,478	12,469	↓
32.	ТОВ «Євро - реконструкція»	9,597	10,239	↓
33.	КЕП «Чернігівська ТЕЦ» ТОВ фірми «ТехНова»	9,488	11,256	↓
Всього		1 946,799	1 836,024	↑

* - суб'єкт господарювання був відсутній у ТОП – 100 забруднювачів довкілля за 2018 рік

При цьому, п. 2.2 статті 3 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [211] зазначає, що: «Перша категорія видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля і підлягають оцінці впливу на довкілля, включає: ... 2) теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ) та інші потужності для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою

потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, атомні електростанції та інші ядерні реактори, включаючи будівництво, виведення (зняття) з експлуатації таких електростанцій або реакторів (крім дослідницьких установок для виробництва і конверсії ядерного палива та сировини для одержання вторинного ядерного палива, матеріалів, що діляться та відтворюються, потужність яких не перевищує 1 кіловат постійного теплового навантаження);...».

Разом з тим, Метою Національного плану скорочення викидів (НПСВ) є поступове скорочення викидів діоксиду сірки (далі – SO_2), оксидів азоту (далі – NO_x) та речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом, (далі – пил) від існуючих великих спалювальних установок, номінальна теплова потужність яких становить 50 МВт і більше, а перший дозвіл на викиди або дозвіл на проектування установки видано до 01 липня 1992 року. [271]

Таким чином, аналіз нормативних документів та статистичних даних щодо викидів від різних джерел забруднення АП показав, що найбільш актуальними для перевірки екологічної ефективності є УР в енергетичному секторі щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива. Тому, в подальшому акцент в роботі здійснювався саме на даний клас та сферу УР.

2.4. Висновки до розділу 2

1. Екологічна ефективність прийняття управлінських рішень – це узагальнений показник, що характеризує наслідки для довкілля (у тому числі для здоров'я населення) УР та враховує: можливість УР одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі, його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення

надзвичайних ситуацій; часову тривалість дії ефекту від УР, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань.

2. Розроблено концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що враховує: можливість управлінського рішення одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення надзвичайних ситуацій; часову тривалість дії ефекту від управлінського рішення; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив управлінського рішення на виконання нормативних вимог та зобов'язань. В рамках розробленої концепції запропоновано підхід до визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

3. На основі аналізу нормативних документів та статистичних даних щодо викидів від різних джерел забруднення АП визначено, що найбільш актуальними для перевірки екологічної ефективності є УР в енергетичному секторі щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива. Це, зокрема, підтверджується п. 2.2 статті 3 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» та п. 3 НПСВ. Тому, в подальшому акцент в роботі здійснювався саме на даний клас та сферу УР.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНІ ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

3.1. Побудова оціночної функції

Згідно розробленої концепції та запропонованого в п. 2.2 підходу до визначення ЕЕПУР необхідною є побудова адекватної оціночної функції для даної сфери та класу управлінських рішень.

Оскільки УР, що призводять до наслідків для довкілля, у тому числі для здоров'я населення, характеризуються значною кількістю екологічних аспектів, які, як правило, складно порівнювати між собою, то в рамках даної задачі багатокритеріального аналізу виникає математична задача побудови відповідної адекватної оціночної функції ЕЕПУР.

Побудова адекватної *оціночної функції* здійснюється наступним чином. Позначимо через W_i ЕЕ прийняття i -го УР серед m наявних альтернатив (варіантів).

Використовуючи введені поняття ЕЕПУР актуальними з точки зору нормативних документів та практики є вирішення таких задач:

1) вибір найкращого з точки зору ЕЕ УР для виконання, тобто визначення i для якого:

$$W_i = \max_i(W_i), i = \overline{1, m}; \quad (3.1)$$

2) перевірка доцільності виконання m_b раніше прийнятих УР (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту):

$$W_i > 0, i = \overline{1, m_b}. \quad (3.2)$$

Загалом, існують різні підходи до побудови різних оціночних функцій. Одним з таких підходів є оціночна функція з роботи [193], яку автори пропонують використовувати для багатокритеріального аналізу екологічної безпеки об'єктів із радіаційно-ядерними технологіями. Загальний вигляд даної функції було взято за основу в подальшому дослідженні.

Позначимо через n – кількість екологічних аспектів для заданої множини з m УР, тоді:

$$W_i = \sum_{j=1}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (3.3)$$

де: $u_j(x_{ji})$ – функції бажаності (складова ЕЕ) для i -го УР серед m наявних альтернатив (варіантів) за j -им екологічним аспектом (критерієм) з n наявних для даної множини УР; k_j – вагові коефіцієнти, які необхідно обирати так, щоб:

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1, j = \overline{1, n}. \quad (3.4)$$

Для невеликих значень n визначення вагових коефіцієнтів можна здійснювати з використанням адаптованої системи експертних оцінок методом безпосереднього оцінювання на основі універсальної 9-бальної шкали Томаса Сааті [116].

В найпростішому випадку (наприклад, для рівнозначних функцій $u_j(x_{ji})$) можна прийняти:

$$k_1 = k_2 = \dots = k_n \Rightarrow k_j = \frac{1}{n}, j = \overline{1, n}. \quad (3.5)$$

3.2. Перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення

Якщо число n буде великим, то визначення вагових коефіцієнтів k_j стає задачею з дуже великою розмірністю. Розглянемо наступний приклад. Нехай для заданої множини УР необхідно врахувати $Z=33$ ЗР (сумарна кількість ЗР списку А та Б «Порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» [196]), вплив яких може мати синергетичний ефект. Тоді, стан визначеної точки (комірки) досліджуваної

території з координатами (X_i, Y_j) , значенням соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності e_{ij} та концентрацією k -ої ЗР q_{ijk} буде визначатись поєднанням факторів:

$$\begin{aligned} & e_{ij}q_{ij1}; e_{ij}q_{ij2}; \dots; e_{ij}q_{ijZ}; \\ & e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}; e_{ij}q_{ij1}q_{ij3}; \dots; e_{ij}q_{ij1}q_{ijZ}; \dots \\ & e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ij3}; e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ij4}; \dots; e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ijZ}; \dots; \\ & e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ij3}q_{ij4}\dots q_{ijZ-1}q_{ijZ}. \end{aligned}$$

Згідно «Порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» [196] до основних ЗР можна віднести:

Список А

1. Діоксид сірки
2. Діоксид азоту та оксиди азоту
3. Бензол
4. Оксид вуглецю
5. Свинець
6. Тверді частки $(\text{ТЧ}_{10})^{-1}$
7. Тверді частки $(\text{ТЧ}_{2,5})^{-2}$
8. Арсен
9. Кадмій
10. Ртуть
11. Нікель
12. Бенз(а)пірен. Для оцінки концентрації бенз(а)пірену на деяких пунктах спостережень, визначених у програмі державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря для кожної зони та агломерації проводиться оцінювання щодо інших поліциклічних ароматичних вуглеводнів, перелік яких включає бенз(а)трацен, бензо(б)флуорантен, індено(1,2,3-сd)пірен, дибенз(а,h)антрацен.
13. Озон

Список Б

1. Аміак
2. Анілін
3. Водень хлористий
4. Водень ціаністий
5. Залізо та його сполуки (у перерахунку на залізо)
6. Кислота азотна
7. Кислота сірчана
8. Ксилол
9. Леткі органічні сполуки (1-бутен; 1-пентен; 1,2,3-триметилбензол; 1,2,4-триметилбензол; 1,3-бутадієн; 1,3,5-триметилбензол; 2-пентен; ацетилен; бензол; етан; етилбензол; етилен; загальна кількість вуглеводнів, які не належать до гомологічного ряду метану; і-бутан; і-гексан; ізопрен; і-октан; і-пентан; м+п-ксилол; н-бутан; н-гексан; н-гептан; н-октан; н-пентан; о-ксилол; пропан; пропен; толуол; транс-2-бутен; формальдегід; цис-2-бутен
10. Марганець та його сполуки (у перерахунку на діоксид марганцю)
11. Мідь та її сполуки (у перерахунку на мідь)
12. Сажа
13. Сірководень
14. Сірковуглець
15. Фенол
16. Фтористий водень
17. Хлор
18. Хлоранілін
19. Хром та його сполуки (у перерахунку на хром)
20. Цинк та його сполуки (у перерахунку на цинк)

Таким чином, необхідно враховувати 2^Z показників, для прикладу при $Z=33$ це буде $2^{33} \approx 8,6 \cdot 10^9$. При цьому, навіть якщо не розглядати синергетичний ефект, значення n все одно буде великим.

Розглянемо наступний приклад. Якщо для множини УР в енергетичному секторі щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива тощо розглядати тільки вплив УР в контексті наслідків для АП, у тому числі для здоров'я населення, то отримуємо, що таке УР для стаціонарного точкового джерела викидів (труба ТЕС, ТЕЦ) буде мати *наступні екологічні аспекти:*

(1–33) – потужність викидів для кожної з 33 ЗР до початку реалізації УР, $г/с$;
 (34–66) – концентрації (розподіли на території реалізації УР – розміщення стаціонарного точкового джерела викидів) для кожної з 33 ЗР до початку реалізації УР, $мг/м^3$; (67–99) – потужність викидів для кожної з 33 ЗР після реалізації УР, $г/с$; (100–104) – параметри стаціонарного точкового джерела викидів (висота та діаметр труби, $м$; швидкість виходу ЗР, $м/с$; температура ЗР, що викидаються, $^{\circ}C$; географічні координати) до початку реалізації УР; (105–109) – параметри стаціонарного точкового джерела викидів (висота та діаметр труби, $м$; швидкість виходу ЗР, $м/с$; температура ЗР, що викидаються, $^{\circ}C$; географічні координати) після реалізації УР; (110) – кількість (розподіл на території реалізації УР – розміщення стаціонарного точкового джерела викидів) населення; (111+) – специфічні показники, наприклад, щодо зміни загальних викидів SO_2 , NO_x і пилу з метою реалізації НПСВ. Маємо, що навіть для УР щодо зміни типу палива для одного стаціонарного точкового джерела викидів (труба ТЕС, ТЕЦ) маємо більше ста екологічних аспектів, які необхідно врахувати.

Така ситуація значно ускладнює експертне визначення вагових коефіцієнтів k_j з формули $W_i = \sum_{j=1}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$, оскільки n в даному випадку хоч і не буде більше мати значення більше ста, проте гарантовано більше кількості ЗР, що розглядаються (у нашому випадку 33). Тому, необхідно зменшити число n так, щоб при цьому функція визначення ЕЕПУР залишалася адекватною. Для цього в роботі пропонується використати зміну інтегрального ризику IRE_i від забруднення, значення якої буде основою при визначенні W_i , в найпростішому випадку оцінювання можна робити на основі формули: $W_i = \frac{IRE_i}{\max_i(|IRE_i|)}$. Крім того, згідно перерахованих екологічних аспектів, запропонованого визначення ЕЕПУР та для подолання недоліку щодо врахування в багатьох існуючих підходах лише

прямих кількісних показників несприятливих чи сприятливих змін в довкіллі, що не дозволяє адекватно оцінити ЕЕПУР, доцільно від кількісних показників забруднення переходити до ризиків для здоров'я населення. Такий перехід дозволить значно зменшити значення n при побудові адекватної оціночної функції ЕЕПУР.

Одним з таких видів ризику, що пропонується в роботі для визначення ЕЕПУР, що мають довготривалі ефекти, є ризик хронічної інтоксикації. Він розраховується для певного проміжку часу (місяць, рік тощо) за формулою:

$$Rc = 1 - \exp \left[-0,174 \left(\frac{q}{ГДК_{сд} \cdot K_3} \right)^{\beta} \cdot t \right], \quad (3.6)$$

де: β – коефіцієнт, що враховує особливості токсичних властивостей речовини; K_3 – параметр, який залежить від класу небезпеки ЗР (табл. 3.1); q – концентрація ЗР в АП, яка впливає на населення протягом часу t , $мг/м^3$; $ГДК_{сд}$ – гранично допустима концентрація ЗР (середньодобова), $мг/м^3$.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів a , b , β і K_3

Клас небезпеки речовини	Характеристика речовини	a	b	β	K_3
1-й	Надзвичайно небезпечні	-9,15	11,66	2,40	7,5
2-й	Дуже небезпечні	-5,51	7,49	1,31	6,0
3-й	Помірно небезпечні	-2,35	3,73	1,00	4,5
4-й	Малонебезпечні	-1,41	2,33	0,86	3,0

Таким чином, для кожної точки (комірки) досліджуваної території з координатами (X_i, Y_j) , значенням соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності e_{ij} та концентрацією k -ої із Z ЗР q_{ijk} (до прийняття УР та прогноз після його реалізації) обчислюється зміна інтегрального ризику хронічної інтоксикації $IREc$ для всіх альтернатив з множини УР на основі виразів (3.7)–(3.9):

$$Rc_{ijk} = 1 - \exp \left[-0,174 \left(\frac{q_{ijk}}{\Gamma DK_{CD.k} \cdot K_3} \right)^\beta \cdot t \right], \quad (3.7)$$

$$\overline{Rc_{ij}} = \prod_{k=1}^Z (1 - Rc_{ijk}), \quad (3.8)$$

$$Rc_{ij} = 1 - \overline{Rc_{ij}} = 1 - \prod_{k=1}^Z (1 - Rc_{ijk}), \quad (3.9)$$

$$IREC_l = \sum_i \sum_j e_{ij} (Rc_{ij \text{ before}} - Rc_{ij \text{ after}}), \quad l = \overline{1, m}. \quad (3.10)$$

Нормоване значення зміни інтегрального ризику хронічної інтоксикації $IREC_l$ пропонується використати в якості першої функції бажаності $u_1(x_{li})$:

$$\begin{aligned} W_i &= k_1 u_1(x_{li}) + \sum_{j=2}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}) = \\ &= k_1 \frac{IREC_i}{\max_i(|IREC_i|)} + \sum_{j=2}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

3.3. Функції бажаності

В залежності від конкретної множини УР кількість функцій бажаності при визначенні ЕЕПУР може відрізнятись та, за необхідності, включати наступні функції бажаності:

1) Функцію бажаності, що розраховується на основі формул (3.8)–(3.10), але із застосуванням ризику миттєвих токсичних ефектів на основі моделі індивідуальних порогів дії, який визначається за наступною формулою:

$$Ri_{ijk} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b \lg(q_{ijk}/\Gamma DK_{MP.k})} \exp(-\tau^2 / 2) d\tau, \quad (3.12)$$

де: a і b – параметри, що залежать від токсикологічних особливостей ЗР; $\Gamma DK_{MP.k}$ – гранично допустима концентрація (максимально-разова) k -ої ЗР, $мг/м^3$.

Тоді зміна інтегрального ризику миттєвих токсичних ефектів $IREi$ для

всіх альтернатив з множини УР буде визначатися як:

$$IREi_l = \sum_i \sum_j e_{ij} (Ri_{ij \text{ before}} - Ri_{ij \text{ after}}), l = \overline{1, m}. \quad (3.13)$$

Використання функції бажаності на основі ризику миттєвих токсичних ефектів є доцільним для УР щодо діяльності техногенних об'єктів, які можуть як в штатному, так і в аварійному режимах здійснювати значні залпові викиди ЗР в атмосферне повітря.

2) Функцію бажаності, що розраховується на основі (3.8)–(3.10) з використанням або ризику хронічної інтоксикації або ризику миттєвих токсичних ефектів, але зважена на зміну ризику виникнення НС Δp :

$$IREp_l = \Delta p_l \sum_i \sum_j e_{ij} (Rp_{ij \text{ before}} - Rp_{ij \text{ after}}), l = \overline{1, m}, \quad (3.14)$$

де: $Rp_{ij \text{ before}}, Rp_{ij \text{ after}}$ – інтегральні ризики хронічної інтоксикації (або ризики миттєвих токсичних ефектів) від потенційної НС до та після реалізації УР щодо зменшення ризику p виникнення такої НС ($\Delta p = p_{\text{before}} - p_{\text{after}}$).

3) Функції бажаності UQ , що враховують зміни загальних викидів певних ЗР чи їх граничних концентрацій з метою реалізації (виконання) нормативних вимог та обмежень (наприклад, зміни загальних викидів SO_2 , NO_x , пилу з метою реалізації НПСВ). При цьому, в залежності від конкретної множини УР і нормативних вимог та обмежень, можливі різні підходи до визначення такої функції бажаності:

а) невиконання вимог враховується як нульове значення відповідної частини функції, а виконання – як одиничне значення:

$$UQ_{iz} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } Q_{iz \text{ after}} \leq Q_{iz \text{ max}} \\ 0, \text{ якщо } Q_{iz \text{ after}} > Q_{iz \text{ max}} \end{cases}, \quad i = \overline{1, m}, z = \overline{1, Z_l}; \quad (3.15)$$

б) невиконання вимог (як і перевиконання) враховується пропорційно до планових значень:

$$UQ_{iz} = \frac{Q_{iz\ before} - Q_{iz\ after}}{\max_i(|Q_{iz\ before} - Q_{iz\ after}|)}, \quad i = \overline{1, m}, z = \overline{1, Z_l}, \quad (3.16)$$

де: Q_{before} , Q_{after} , Q_{max} – обсяг викидів певної ЗР (до та після реалізації УР) та їх максимальне значення згідно вимог відповідно, кг; Z_l – кількість ЗР, для яких встановлено нормативні вимоги чи обмеження для заданої множини УР.

4) Функції бажаності UT , що враховують часові та фінансові витрати на виконання проекту та інші важливі аспекти для даної множини УР. При цьому вирази для визначення UT , як правило, будуються аналогічно до (3.15)–(3.16).

З врахуванням (3.13)–(3.16) формула визначення ЕЕПУР прийме вигляд:

$$W_i = k_1 \frac{IREc_i}{\max_i(|IREc_i|)} + k_2 \frac{IREi_i}{\max_i(|IREi_i|)} + k_3 \frac{IREp_i}{\max_i(|IREp_i|)} + \sum_{j=4}^{3+Z_l} k_j \cdot UQ_{iz} + \sum_{j=4+Z_l}^n k_j UT_{iz}, \quad i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (3.17)$$

3.4. Моделі забруднення атмосферного повітря

3.4.1. Моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері від стаціонарних джерел

Для визначення ЕЕПУР на прикладі охорони АП необхідно мати інформацію про розподіл концентрацій кожної k -ої ЗР на досліджуваній території до та після реалізації відповідного УР. При цьому прогнозні значення концентрацій можна визначити лише за допомогою моделювання, тому для визначення та аналізу ЕЕПУР в енергетичному секторі в контексті охорони АП необхідно використовувати різні моделі розповсюдження ЗР в АП від викидів об'єктів енергетики. На основі аналізу різних сучасних моделей забруднення АП [155, 157, 302 та ін.] та запропоновано використання комплексу моделей Попова О.О. [155, 157, 302 та ін.], що забезпечують високу точність моделювання для різних типів об'єктів та

сценаріїв викидів. Наприклад, для визначення зміни інтегрального ризику хронічної інтоксикації IRE_{C_i} запропоновано використовувати стохастичну модель розповсюдження в АП домішок від стаціонарних джерел забруднень (ДЗ), що дає можливість визначати рівень техногенного впливу на територію від дії одного або декількох ДЗ за тривалий період часу (місяць, рік тощо).

Розглянемо детальніше комплекс моделей Попова О.О., що пропонуються використовувати для визначення ЕЕПУР. Аналітичні залежності, що утворюють математичну модель забруднення АП за нестационарних та стаціонарних умов викидів від підприємств, після всіх спрощень мають вигляд:

– для джерела миттєвого викиду [157]:

$$q(t, x, y, z) = \frac{Me}{8\pi\sqrt{\pi K^2 K_z} t^3} \cdot \left(e^{-\frac{(x \cos \alpha + y \sin \alpha - u_{H_{ef}} t)^2 + (-x \sin \alpha + y \cos \alpha)^2}{4K_z t}} + e^{-\frac{(z - H_{ef} - w_g t)^2}{4K_z t}} + e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g t)^2}{4K_z t}} \right) + \frac{w_g}{K_z} \cdot \int_0^\infty e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g t + \xi)^2}{4K_z t}} d\xi \cdot e^{-\frac{\lambda(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}{u_{H_{ef}}}}; \quad (3.18)$$

– для джерела короткочасного викиду тривалістю t_1 [157]:

$$q(t, x, y, z) = \frac{Me}{8\pi\sqrt{\pi K^2 K_z}} \cdot \int_0^{t_1} \frac{e^{-\frac{\lambda(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}{u_{H_{ef}}}} \cdot e^{-\frac{(x \cos \alpha + y \sin \alpha - u_{H_{ef}}(t-\tau))^2 + (-x \sin \alpha + y \cos \alpha)^2}{4K(t-\tau)}}}{\sqrt{(t-\tau)^3}} \times \left(e^{-\frac{(z - H_{ef} - w_g(t-\tau))^2}{4K_z(t-\tau)}} + e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g(t-\tau))^2}{4K_z(t-\tau)}} + e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g(t-\tau) + \xi)^2}{4K_z(t-\tau)}} \right) d\xi d\tau; \quad (3.19)$$

– для джерела неперервного викиду [157]:

$$q(x, y, z) = \frac{Qe^{\frac{u_{Hef}(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}{2K} + \frac{w_g(z - H_{ef})}{2K_z}}}{4\pi K \sqrt{K_z}} \times \left(\frac{e^{-\frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{K} + \frac{(z - H_{ef})^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u_{Hef}^2}{K} + \frac{w_g^2}{K_z}}}}{\sqrt{\frac{x^2 + y^2}{K} + \frac{(z - H_{ef})^2}{K_z}}} + \right. \\ \left. + \frac{e^{-\frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{K} + \frac{(z + H_{ef} - 2z_0)^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u_{Hef}^2}{K} + \frac{w_g^2}{K_z}}}}{\sqrt{\frac{x^2 + y^2}{K} + \frac{(z + H_{ef} - 2z_0)^2}{K_z}}} + \frac{w_g}{K_z} \cdot \int_0^\infty \frac{e^{\frac{w_g}{2K_z} \xi - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2 + y^2}{K} + \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - \xi)^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u_{Hef}^2}{K} + \frac{w_g^2}{K_z}}}}{\sqrt{\frac{x^2 + y^2}{K} + \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - \xi)^2}{K_z}}} d\xi \right) \times \\ \times e^{\frac{\lambda(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}{u_{Hef}}}, \quad (3.20)$$

де: u_{Hef} – швидкість вітру на ефективній висоті джерела викидів, [м/с];
 w_g – швидкість гравітаційного осадження для важких домішок, [м/с]. При побудові моделі приймалось, що $K_x = K_y = K$.

Також пропонується для визначення ЕЕПУР використовувати математичні моделі розповсюдження ЗР в АП від викидів лінійного (рис. 3.1, а) та площадкового (рис. 3.1, б) ДЗ.

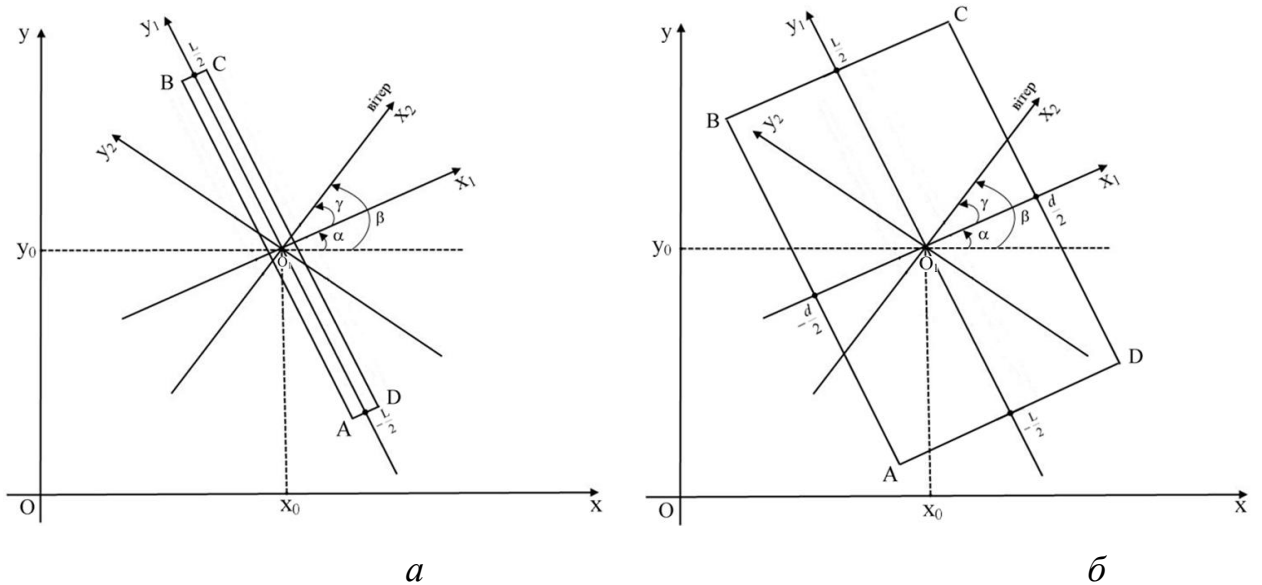


Рис. 3.1. Загальний випадок розташування наземного лінійного джерела – а,
та наземного площадкового джерела викидів – б

Для побудови даних математичних моделей був використаний принцип суперпозиції полів концентрацій точкових джерел, на які розбивались відповідно лінійне та площадкове джерела. Отримані моделі мають вигляд [157, 399]:

– для лінійного джерела викидів довжиною L [157]:

$$C_{\text{л}}(x, y, z) = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} C_{\text{т}}(x_2 - \eta \sin(\beta - \alpha), y_2 - \eta \cos(\beta - \alpha), z) d\eta \quad (3.21)$$

– для площадкового джерела довжиною L та шириною d [157]:

$$\begin{aligned} C_{\text{п}}(x, y, z) &= \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} C_{\text{л}}(x, y, z) d\xi = \\ &= \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} C_{\text{т}}(x_2 - \eta \sin(\beta - \alpha), y_2 - \eta \cos(\beta - \alpha), z) d\eta d\xi \end{aligned} \quad (3.22)$$

де: $C_{\text{п}}$ – функція концентрації для площадкового джерела; $C_{\text{л}}$ – функція концентрації для лінійного джерела; $C_{\text{т}}$ – функція концентрації для точкового джерела; η – відрізок змінної довжини в інтервалі $(-L/2, L/2)$; α – кут нахилу горизонтальної осі симетрії джерела до осі Ox ; β – кут, що складає напрям вітру з віссю Ox .

В залежності від умов викиду в якості математичної моделі для точкового джерела $C_{\text{т}}(x, y, z)$ при визначенні ЕЕПУР може бути використана будь-яка з моделей (3.18)-(3.20).

Математичні моделі (3.21) та (3.22) дозволяють визначати рівень концентрації ЗР від лінійного та площадкового джерел довільного розташування на земній поверхні при довільних метеорологічних умовах.

В роботі для визначення ЕЕПУР також пропонується використовувати побудовану на основі статистичного підходу Г.І. Марчука [258] стохастичну модель розповсюдження в атмосфері домішок від стаціонарних ДЗ, що дає можливість визначати рівень техногенного впливу на місто або регіон від дії

одного або декількох ДЗ за тривалий період часу (місяць, рік тощо). Дана модель має вигляд [157]:

$$C_{сер} = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} C(x, y, z) + C_{шт} P_{шт}, \quad (3.23)$$

де: P_{mj} – ймовірність m -го напрямку вітру при j -ій швидкості вітру; p_{ji} – ймовірність i -го стану атмосфери при j -ій швидкості вітру; $C_{шт}$ – функція концентрації ЗР за умов штилю; $P_{шт}$ – ймовірність штилю.

В якості функції концентрації $C(x, y, z)$ може бути використана будь яка з моделей (3.18)–(3.22) в залежності від умов і форми ДЗ.

Крім того, на рівень концентрації ЗР в АП за умов довготривалих викидів (місяць, рік) суттєво впливає вторинний вітровий підйом домішки з поверхні ґрунту. На характер перенесення домішки на межі розділення «земля-повітря» впливає вторинне підняття (дефляція) домішки, що випала на поверхню землі, пов'язане в основному з пилоутворенням, обумовленим дією вітру або діяльністю людини – рухом транспорту, будівельними і сільськогосподарськими роботами і т.д. Вторинний підйом ЗР в повітря оцінюють за допомогою коефіцієнтів дефляції k_α (м^{-1}), які визначаються у вигляді відношення концентрації домішки, піднятої в повітря, в мг/м^3 , до відкладеної на поверхні землі в мг/м^2 . Цей коефіцієнт зменшується від $10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ м}^{-1}$ незабаром після осадження до $10^{-6} \dots 10^{-10} \text{ м}^{-1}$ по закінченні ряду років. Значення коефіцієнта дефляції в результаті вітрового підйому можна оцінити за формулою [157]:

$$k_\alpha(t) = k_{\alpha 1} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{xim})t} + k_{\alpha 2} e^{-(\lambda_2 + \lambda_{xim})t}. \quad (3.24)$$

де: λ_1 – константа зменшення коефіцієнту дефляції для швидкої фази, с^{-1} ; λ_2 – константа його більш тривалого, с^{-1} . Значення констант λ_1 та λ_2 залежать від типу ґрунту, з якого відбувається вітровий підйом. Що стосується констант $k_{\alpha 1}$ та $k_{\alpha 2}$, то в практичних розрахунках їх значення приймаються відповідно 10^{-5} м^{-1} та 10^{-9} м^{-1} [157]. Приземна концентрація ЗР в повітрі з урахуванням вторинного пилоутворення в умовах рівноваги між

накопиченням і виведенням домішки з поверхні землі визначається за допомогою наступної рівності [157, 188]:

$$C' = C \left(1 + (w_g + \lambda_{on} H_z^{\max}) \left(\frac{k_{\alpha 1}}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{xim}} + \frac{k_{\alpha 2}}{\lambda_2 + \lambda_{xim}} \right) \right), \quad (3.25)$$

де: C' , C – концентрація ЗР в ПША відповідно при вторинному вітровому підйомі та без нього, мг/м^3 ; $H_z^{\max}$ – висота шару перемішування, м.

Для отримання мінімальної похибки при використанні запропонованих моделей для конкретного типу ДЗ та території необхідно здійснювати ідентифікацію їх параметрів, що, з однієї сторони, потребує даних натурних експериментів, а, з іншої, – застосування відповідних математичних методів та значних часових затрат.

В даному випадку задача ідентифікації зводиться до знаходження мінімуму функції багатьох змінних. Для вирішення такої задачі відомо багато методів, зокрема градієнтні. Але перед програмною реалізацією таких методів необхідно досліджувати можливість їх використання для кожної окремої функції, що вимагає складних математичних викладок та доведень. Щоб уникнути зайвих труднощів, при вирішенні даної задачі в роботі застосовано універсальний метод, можливість використання якого не вимагає окремого дослідження – метод перебору, основним недоліком якого є більші витрати часу для отримання кінцевого результату в порівнянні з іншими методами. Суть методу повного перебору в даному випадку полягає в тому, що для кожного параметру моделі s_i визначається множина його значень для перебору в межах $[s_{i,MIN}; s_{i,MAX}]$ з кроком $d_i = \frac{s_{i,MAX} - s_{i,MIN}}{n_i}$ (рис. 3.2).

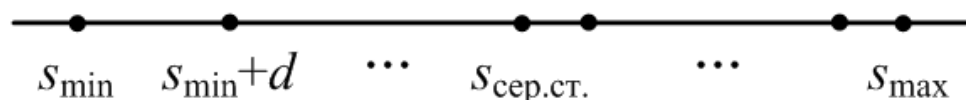


Рис. 3.2. Схематичне представлення сітки значень одного параметру моделі

Для зменшення часу відповідних обчислень в роботі вдосконалено методи ідентифікації параметрів моделей розповсюдження ЗР в АП від викидів об'єктів енергетики, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, розроблено алгоритм зниження розмірності задачі (рис. 3.3) та алгоритм розпаралелення обчислень (рис. 3.4).

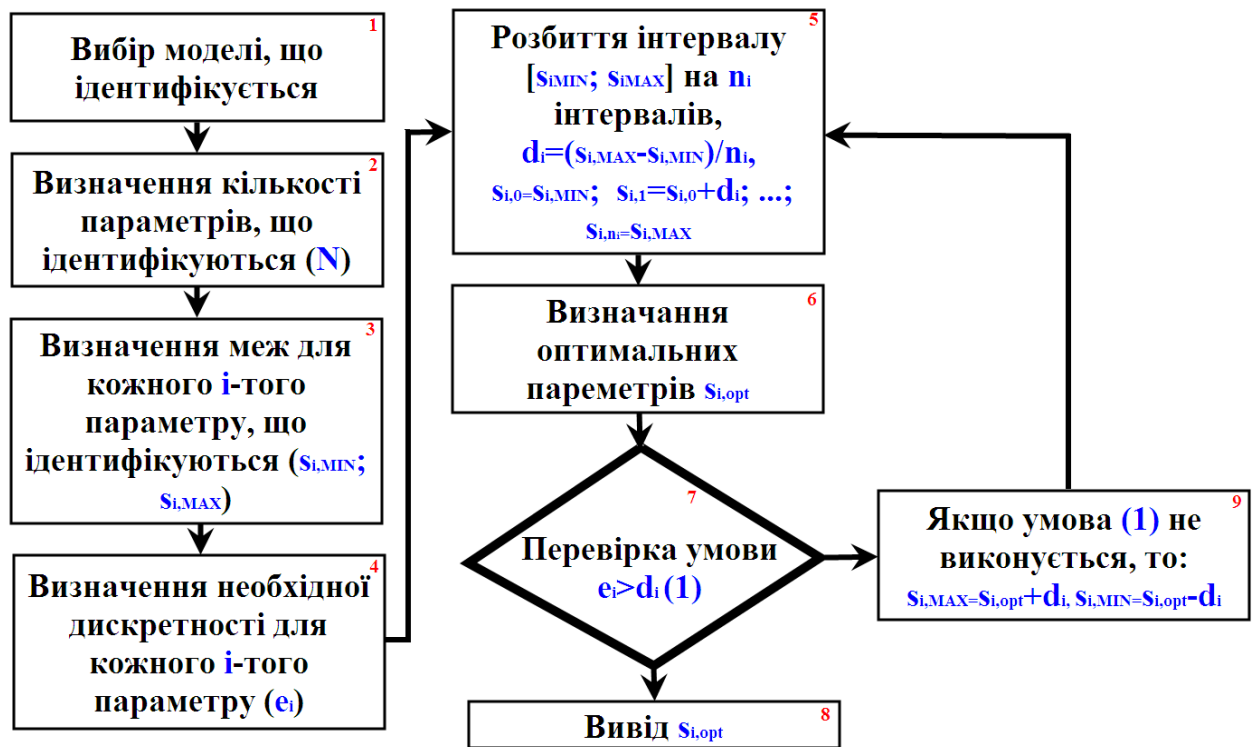


Рис. 3.3. Алгоритм зниження розмірності задачі ідентифікації

Запропоновані в роботі математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання дозволили встановити, що найбільш вагомими параметрами використовуваних моделей є коефіцієнти турбулентної дифузії, хімічної трансформації, поглинання підстилаючою поверхнею та вимивання опадами. Розглянемо це питання більш докладно.

Одним з евристичних підходів до вирішення задачі ідентифікації параметрів математичних моделей є вибір обґрунтованого значення d_i . Для цього авторами запропоновано здійснити оцінку впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання.

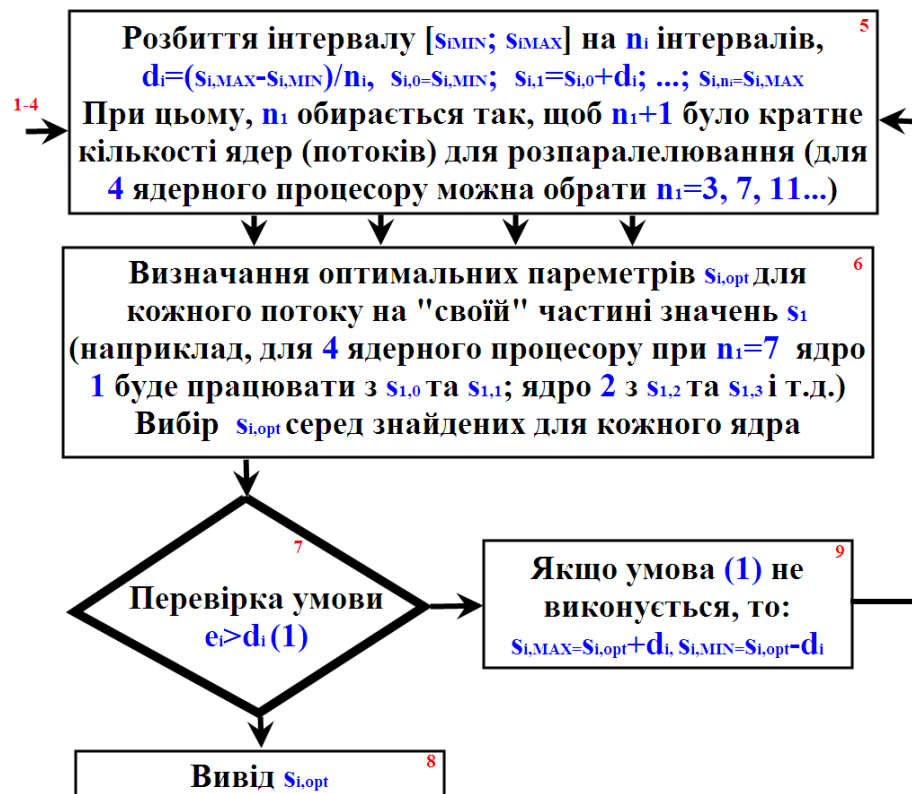


Рис. 3.4. Алгоритм розпаралелення обчислень

Неточність вхідних даних істотно впливає на точність моделювання. Тому видається актуальним проведення досліджень запропонованих в роботі математичних моделей для отримання залежності зміни величин похибок при зміні похибки вхідних параметрів. Результати пропонується отримувати у вигляді аналітичних виразів.

Для вирішення задачі отримання виразу для похибки при відомій похибці вхідних параметрів моделі скористаємося алгебраїчним методом, запропонованим в [284].

Суть методу полягає в тому, що функція, для якої шукається похибка, розписується у вигляді комбінації елементарних функцій. Для обчислення функції похибки покроково знаходяться похибки елементарних функцій і, врешті-решт, знаходиться похибка всієї функції. Вирази для відносних похибок деяких з елементарних функцій, отримані в роботі [284], наведені в табл. 3.2.

Перевагою алгебраїчного методу є його простота. Наведемо результат застосування даного методу для отримання виразів похибок статистичних модифікацій моделей (3.18) та (3.20) на основі моделі (3.23), який більш детально розкрито в роботі [242].

Таблиця 3.2 – Похибки елементарних функцій [284]

Функція	Вираз для визначення відносної похибки
$\frac{x}{y}$	$\frac{\delta x - \delta y}{1 + \delta y}$
$\prod_{i=1}^n x_i$	$\sum_{i=1}^n C_n^i (\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_n)$, C_n^i – кількість сполучень добутоків відносних похибок
$\sum_{i=1}^n x_i$	$\sum_{i=1}^n \frac{x_{i0}}{F_0} \delta x_i$, F_0 – значення функції при номінальних значеннях аргументів
x^n	$\sum_{i=1}^n C_n^i (\delta x)^i$
$+ax$	δx
$\sqrt[n]{x}$	$\sqrt[n]{1 + \delta x} - 1$
a^x	$\bar{F}_0^{\delta x} - 1, \bar{F} = a^{x_0}, x_0 = \bar{x}$

Рішення задачі обчислення відносної похибки для статистичної модифікації моделі (3.18). Аналітичний вираз для статистичної модифікації моделі (3.18) представляється наступною залежністю [157, 242]:

$$\begin{aligned}
 C_{сер}(x, y) = & \frac{Q}{\pi} \left(\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{u_{ji} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{H_{efj}^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] \times \right. \\
 & \times \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}} \right] + P_{шт} \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{u_{ji(H_{ef}-L)} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_i}^2} \right] \times \\
 & \left. \times \exp \left[-\frac{(H_{efj} - L)^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji(H_{ef}-L)}} \right] \right),
 \end{aligned} \quad (3.26)$$

де: $C_{сер}$ – середня концентрація забруднення; Q – кількість викидів в одиницю часу (г/с), p_{ji} – ймовірність i -го стану атмосфери при j -ій швидкості вітру; P_{mj} – ймовірність m -го напрямку вітру при j -ій швидкості вітру; $P_{шт}$ –

ймовірність штилю; u_{ji} – швидкість вітру на ефективній висоті факела викидів при швидкості вітру на висоті флюгера u_j [м/с] для i -го стану атмосфери; H_{efj} – ефективна висота підйому факела викидів при j -ій швидкості вітру, [м], $u_{ji(H_{ef}-L)}$ – швидкість вітру на висоті $H_{ef} - L$ при швидкості вітру на висоті флюгера u_j [м/с] для i -го стану атмосфери; $H_{ef} - L$ – висота підйому факела викидів при штилі; σ_{y_i} , σ_{z_j} – відповідно горизонтальна та вертикальна дисперсії i -ої стратифікації атмосфери; $x_m(x, y, \varphi_m) = x \cos \varphi_m + y \sin \varphi_m$, $y_m(x, y, \varphi_m) = -x \sin \varphi_m + y \cos \varphi_m$ – формули переходу до іншої системи координат, пов'язаної з поворотом напрямку розповсюдження ЗР на кут φ_m по відношенню до східного напрямку; L – висота штильового шару, [м]; α – коефіцієнт, який характеризує взаємодію викинутих ЗР з навколишнім середовищем.

Ймовірності p_{ji} обчислюються з рисунку, наведеного в роботі [94]. P_{mj} обчислюється як добуток ймовірностей швидкості вітру та його напрямку, u_{ji} обчислюється за формулою Ірвіна [157, 242]:

$$u(z) = u(10)(z/10)^p,$$

де: $u(10)$ – це швидкість вітру на висоті флюгера (10 м), коефіцієнт p обчислюється по відповідній таблиці в залежності від стану атмосфери та параметра шорсткості z_0 .

H_{ef} обчислюється по формулі $H_{ef} = H_{дж} + \Delta H$, де

$$\Delta H = \frac{1,5W_0R_0}{u} \left(2,5 + \frac{3,3gR_0\Delta T}{T_{\pi}u^2} \right),$$

де: $H_{дж}$ – геометрична висота джерела викиду, [м]; W_0 – середня швидкість виходу ЗР з димової труби, [м/с]; R_0 – радіус гирла труби, [м]; u – швидкість вітру на висоті флюгера ($H_{\phi} = 10$ м), [м/с]; ΔT – перегрів газів; T_{π} – температура оточуючого повітря в абсолютній шкалі; $g = 9,8$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Параметр α обчислюється за формулою:

$$\alpha = \begin{cases} I^{0,9} e^{-2I}, I \leq 0,2 \\ (I - 0,1)^{0,575}, I > 0,2 \end{cases}$$

В моделі (3.26) змінними є p_{ji} , P_{mj} , u_j , x_m , y_m , Q , α , I , константами є H_{ef} , σ_{y_i} , σ_{z_i} . Будемо аналізувати модель (3.26) по частинам. Виконаємо заміну змінних $C_{sep}=QA$ [242]:

$$\begin{aligned} A = & \frac{1}{\pi} \left(\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{u_{ji} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{H_{ef_j}^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] \times \right. \\ & \times \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}} \right] + P_{\text{ш}} \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{u_{ji(H_{ef}-L)} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_i}^2} \right] \times \\ & \left. \times \exp \left[-\frac{(H_{ef_j} - L)^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji(H_{ef}-L)}} \right] \right). \end{aligned}$$

Позначимо $A=A_1+A_2$. Розпишемо A_1 у вигляді:

$$\begin{aligned} A_1 &= \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{u_{ji} \sigma_{y_1} \sigma_{z_1}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_1}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{H_{ef_j}^2}{2\sigma_{z_1}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}} \right] = \\ &= \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_1 e^{(B+C+D)}, \end{aligned}$$

де введено наступні зміни:

$$G_1 = \frac{1}{\sigma_{y_1} \sigma_{z_1}} \cdot \frac{p_{ji}}{u_{ji}}; E_1 = B + C + D; B = -\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_1}^2}; C = -\frac{H_{ef_j}^2}{2\sigma_{z_1}^2}; D = -\frac{\alpha x_m}{u_{ji}}.$$

Для наступного обчислення введемо позначення:

$$\begin{aligned} A_1 &= \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_1 e^{E_1} = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 A_{e1} = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} G_a = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k G_{e1} = \sum_{m=1}^n A_{s1} \\ A_{e1} &= G_1 e^{(B+C+D)} = G_1 e^{E_1}; G_a = \sum_{i=1}^6 A_{e1}; G_{e1} = P_{mj} G_a; A_{s1} = \sum_{j=1}^k G_{e1}. \end{aligned}$$

Також розпишемо A_2 :

$$\begin{aligned}
A_2 &= P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{u_{ji(H_{ef}-L)} \sigma_{y_1} \sigma_{z_1}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_1}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{(H_{ef_j} - L)^2}{2\sigma_{z_1}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji(H_{ef}-L)}} \right] = \\
&= P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{u_{ji(H_{ef}-L)} \sigma_{y_1} \sigma_{z_1}} e^{(B+E+F)} = P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_2 e^{(B+E+F)} \\
G_2 &= p_{ji} \frac{1}{u_{ji(H_{ef}-L)} \sigma_{y_1} \sigma_{z_1}}; E = -\frac{(H_{ef_1} - L)^2}{2\sigma_{z_1}^2}; F = -\frac{\alpha x_m}{u_{ji(H_{ef}-L)}}.
\end{aligned}$$

З врахуванням того, що для функції $f(x) = ax$ $\delta f = \Delta f(x)/f(x) = a\Delta x/ax = \Delta x/x = \delta x$, у виразах для G_1 , G_2 можна виключити константи σ_{z1} , σ_{z2} . Також можна виключити константи $2 \cdot \sigma_{z2}$ з обчислення δC і δE (але не з обчислення значення експоненціальної функції).

Тоді отримаємо наступні вирази для похибок:

$$\begin{aligned}
\delta u_{ji} &= \delta u; \delta P_{ji} = \delta P_i + \delta u + \delta P_i \delta u \\
\delta H_{\ddot{a}\ddot{o}} &= \frac{1}{H_{\ddot{a}\ddot{o}0} + \Delta H_0} (H_{\ddot{a}\ddot{o}0} \delta H_{\ddot{a}\ddot{o}} + \Delta H_0 \delta(\Delta H)) \\
\delta(\Delta H) &= \frac{\delta W_0 + \delta R_0 + \delta W_0 \delta R_0 - \delta u}{1 + \delta u} + \\
&+ \frac{\delta R_0 + \delta(\Delta T) + \delta R_0 \delta(\Delta T) + \delta T_i + 2\delta u + \delta^2 u + \delta T_i (2\delta u + \delta^2 u)}{1 + \delta T_i + 2\delta u + \delta^2 u + \delta T_i (2\delta u + \delta^2 u)} + \\
&+ \frac{\delta W_0 + \delta R_0 + \delta W_0 \delta R_0 - \delta u}{1 + \delta u} \cdot \frac{\delta R_0 + \delta(\Delta T) + \delta R_0 \delta(\Delta T) + \delta T_i + 2\delta u + \delta^2 u + \delta T_i (2\delta u + \delta^2 u)}{1 + \delta T_i + 2\delta u + \delta^2 u + \delta T_i (2\delta u + \delta^2 u)} \\
\delta A &= \frac{1}{(A_{10} + A_{20})} (A_{10} \delta A_1 + A_{20} \delta A_2),
\end{aligned}$$

де: A_{10} , A_{20} – номінальні значення параметрів A_1 , A_2 ;

$$\delta A_1 = \frac{1}{A_{s10}} \sum_{m=1}^n A_{s10m} \cdot \delta A_{s1m},$$

де: A_{s10m} – значення виразів A_{s1} при номінальних значеннях вхідних параметрів;

$$\delta G_1 = \frac{\delta p_{ji} - \delta u_{ji}}{\delta u_{ji} + 1}; \delta A_{e1} = \delta G_1 + \delta e^{E_1} + \delta G_1 \delta e^{E_1}; \delta e^{E_1} = (e^{E_{1av}})^{\delta E_1} - 1,$$

де: E_{1av} – середнє значення E_1 ;

$$\delta E_1 = \frac{1}{B_0 + C_0 + D_0} (C_0 \delta C + D_0 \delta D),$$

де: B_0, C_0, D_0 – номінальні значення виразів B, C, D , $\delta B=0$, оскільки B – константа;

$$\delta C = 2\delta(H_{ef_j} - L) + \delta^2(H_{ef_j} - L); \delta D = \frac{\delta\alpha - \delta u_{ji}}{\delta u_{ji} + 1}; \delta F = \frac{\delta\alpha - \delta u_{ji(H_{ef}-L)}}{\delta u_{ji(H_{ef}-L)} + 1}$$

$$\delta E = \delta H_{\hat{\alpha}\hat{\delta}}; \delta G_a = \frac{1}{\sum_{i=1}^6 A_{e10i}} \sum_{i=1}^6 A_{e10i} \delta A_{e1i},$$

де: A_{e10i} – значення виразу A_{e1i} при номінальних значеннях вхідних параметрів;

$$\delta G_{e1} = \delta P_{mj} + \delta G_a + \delta P_{mj} \delta G_a; \delta A_{s1} = \frac{1}{\sum_{j=1}^k G_{e10j}} \sum_{j=1}^k G_{e10j} \delta G_{e1j},$$

де: G_{e0j} – значення виразу G_{e1j} при номінальних значеннях вхідних параметрів.

Окремо для обчислення похибки вхідного параметру α була отримана наступна формула [242]:

$$\delta\alpha = \begin{cases} \delta I^{0,9} + \delta e^{-2I} + \delta I^{0,9} \delta e^{-2I}, I \leq 0,2 \\ (I - 0,1)^{0,575}, I > 0,2 \end{cases}$$

яку потрібно використовувати для кожного режиму окремо, так як даний метод не дозволяє проводити оцінку при зміні режимів.

Аналогічним чином розписується вираз A_2 :

$$G_2 = \frac{p_{ji} - u_{ji(H_{ef}-L)}}{u_{ji(H_{ef}-L)} + 1}; \delta C_{av} = \delta Q + \delta A + \delta Q \delta A.$$

Отримані вирази представляють собою повний аналітичний вираз відносної похибки для моделі (3.26).

Обчислення відносної похибки для статистичної модифікації моделі (3.20). Статистична модифікація моделі (3.20) має наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
C_{cep}(x, y) = & \frac{Q}{2\pi} \left(\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{x_m \sqrt{k_{y_{ji}} k_{z_i}}} \exp \left[-\frac{u_j y_m^2}{4k_{y_{ji}} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{u_j H_{ef_j}^2}{4k_{z_i} x_m} \right] \times \right. \\
& \times \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}} \right] + P_{\square} \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{x_m \sqrt{k_{y_{ji}} k_{z_i}}} \exp \left[-\frac{u_j y_m^2}{4k_{y_{ji}} x_m} \right] \times \\
& \times \exp \left[-\frac{u_j (H_{ef_j} - L)^2}{4k_{z_i} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}(H_{ef_j} - L)} \right] \Bigg), \quad (3.27)
\end{aligned}$$

де: k_{yi} , k_{zi} – горизонтальний та вертикальний коефіцієнти турбулентної дифузії для i -го класу стійкості атмосфери, $[m^2/c]$. Інші позначення відповідають позначенням для моделі (3.20).

Будемо аналізувати (3.27) по частинам. Виконаємо заміну змінних.

Позначимо: $C_{cep}=QA$, де $A=A_1+A_2$. Запишемо A_1 у вигляді [242]:

$$\begin{aligned}
A_1 &= \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 p_{ji} \frac{1}{x_m \sqrt{k_{y_i} k_{z_i}}} \exp \left[-\frac{u_j y_m^2}{4k_{y_i} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{H_{ef_j}^2}{4k_{z_i} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}} \right] = \\
&= \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_1 e^{(B+C+D)}
\end{aligned}$$

де введені наступні параметри:

$$G_1 = \frac{1}{x_m \sqrt{k_{y_i} k_{z_i}}} \cdot \frac{p_{ji}}{u_{ji}}; E_1 = B+C+D; B = -\frac{u_j y_m^2}{4k_{y_i} x_m}; C = -\frac{H_{ef_j}^2}{4k_{z_i} x_m}; D = -\frac{\alpha x_m}{u_{ji}}.$$

Для подальшого обчислення введемо наступні позначення:

$$\begin{aligned}
A_1 &= \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_1 e^{E_1} = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_1 A_{e1} = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_{s1} = \\
&= \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} G'_{s1} = \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k G_{p1} = \sum_{m=1}^n G'_{p1}
\end{aligned}$$

$$\text{де: } A_{e1} = e^{E_1}; G_{s1} = G_1 e^{E_1}; G'_{s1} = \sum_{i=1}^6 G_{s1}; G_{p1} = P_{mj} G'_{s1}; G'_{p1} = \sum_{j=1}^k G_{p1}.$$

Для A_2 запишемо наступний вираз:

$$A_2 = P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 P_{ji} \frac{1}{x_m \sqrt{k_{y_1} k_{z_1}}} \exp \left[-\frac{u_j y_m^2}{4k_y x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{u_j (H_{ef} - L)^2}{4k_z x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji(H_{ef} - L)}} \right] =$$

$$= P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_2 e^{(B+E+F)}$$

де G_1 , B – параметри, які відповідають параметрам з тим же позначенням для A_1 ;

$$E = -\frac{u_j^2 (H_{ef} - L)}{4k_z x_m}; F = -\frac{\alpha x_m}{u_{ji(H_{ef} - L)}}.$$

Для подальшого обчислення введемо наступні позначення:

$$A_2 = P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_1 e^{(B+E+F)} = P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_1 A_{e2} = P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 G_{s2} =$$

$$= P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} G'_{s2} = P_s \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k G_{p2} = P_s \sum_{m=1}^n G'_{p2} = P_s G''_{p2}$$

$$\text{де: } A_{e2} = e^{(B+E+F)}; G_{s1} = G_1 A_{e2}; G'_{s2} = \sum_{i=1}^6 G_{s2}; G_{p2} = P_{mj} G'_{s2}; G'_{p2} = \sum_{j=1}^k G_{p2}.$$

З врахуванням цього отримаємо наступні значення похибок:

$$\delta C_{av} = \delta Q + \delta A + \delta Q \delta A; \delta A = \frac{1}{(A_{10} + A_{20})} (A_{10} \delta A_1 + A_{20} \delta A_2);$$

де: A_{10} , A_{20} – номінальні значення параметрів A_1 , A_2 ;

$$\delta B = \delta u_j; \delta D = \delta F = \frac{\delta \alpha - u_{ji}}{u_{ji} + 1};$$

$$\delta C = \delta E = \delta u_j + 2\delta u_j \delta H_{ef1} + 2\delta H_{ef1} + \delta^2 H_{ef1} + \delta u_j \delta^2 H_{ef1};$$

$$\delta G_1 = \delta p_{ji}; \delta G_{s1} = \delta G_1 + \delta A_{e1} + \delta G_1 \delta A_{e1}; \delta G_{p1} = \delta P_{mj} + \delta G'_{s1} + \delta P_{mj} \delta G'_{s1};$$

$$\delta G'_{s1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^6 G_{e10i}} \sum_{i=1}^6 G_{s10i} \delta G_{s1i},$$

де: G_{s10i} – значення G_{s1i} при номінальних значеннях вхідних параметрів;

$$\delta G'_{p1} = \frac{1}{\sum_{j=1}^k G_{p10j}} \sum_{j=1}^k G_{p10j} \delta G_{p1j},$$

де: G_{p10j} – значення G_{p1j} при номінальних значеннях вхідних параметрів;

$$\delta A_1 = \frac{1}{\sum_{m=1}^n G'_{p10m}} \sum_{m=1}^n G'_{p10m} \delta G'_{p1m},$$

де: G'_{p10} – значення G'_{p1} при номінальних значеннях вхідних параметрів;

$$\delta A_{e1} = \left(e^{B'} \right)^{\delta B'} - 1; \delta A_{e2} = \left(e^{B''} \right)^{\delta B''} - 1;$$

$$\delta B' = \frac{1}{(B_0 + C_0 + D_0)} (B_0 \delta B + C_0 \delta C + D_0 \delta D);$$

$$\delta B'' = \frac{1}{(B_0 + E_0 + F_0)} (B_0 \delta B + E_0 \delta E + F_0 \delta F); \delta G_{s2} = \delta G_1 + \delta A_{e2} + \delta G_1 \delta A_{e2};$$

$$\delta G_{p2} = \delta P_{mj} + \delta G'_{s2} + \delta P_{mj} \delta G'_{s2}; \delta G'_{s2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^6 G_{s20i}} \sum_{i=1}^6 G_{s20i} \delta G_{s2i},$$

де: G_{s20} – значення G_{s2} при номінальних значеннях вхідних параметрів;

$$\delta G'_{p2} = \frac{1}{G_{p20j}} \sum_{j=1}^k G_{p20j} \delta G_{p2},$$

де: G_{p20} – значення G_{p2} при номінальних значеннях вхідних параметрів;

$$\delta G''_{p2} = \frac{1}{\sum_{m=1}^n G'_{p20m}} \sum_{m=1}^n G'_{p20m} \delta G'_{p2m},$$

G'_{p20m} – значення G'_{p2m} при номінальних значеннях вхідних параметрів.

$$\delta A_2 = \delta P_{ш} + \delta G''_{s2} + \delta P_{ш} \delta G''_{s2}.$$

Результати чисельного експерименту для визначення ступеня впливу похибок одного з вхідних параметрів на похибку моделювання.

Однією з цілей дослідження похибок було знаходження впливу похибок окремих параметрів на загальну похибку моделі. Для цього були проведені чисельні експерименти на використаних моделях. Для обчислень використовували середовище MathCAD 13 [242]. В якості тестових даних були використані дані експериментів. Вони наведені в табл. 3.3-3.5.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані – Дані викиду

Назва параметру	Значення
Розміри викидів, г/с (Q)	3190
Висота труби, м (H)	180
Діаметр труби, м (D)	7,2
Швидкість виходу ЗР, м/с (W_0)	11
Температура ЗР, що викидаються, °C	88
Температура повітря, °C	21,3
Інтенсивність опадів, мм/час (I)	0,1183

Таблиця 3.4 – Вихідні дані – Розподіл ймовірностей швидкості вітру

Швидкість, м/с	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	>7
Ймовірність	17	20	27	19	8	6	2	1

Таблиця 3.5 – Вихідні дані – Розподіл ймовірностей напрямку вітру

Напрямок	З	Пд-З	Пд	Пд-С	С	Пн-С	Пн	Пн-З
Ймовірність	9	8	23	20	15	10	10	5

На кожному кроці змінювались величини похибок одного параметру, значення похибок інших параметрів приймалися рівними 5%. Результати експериментів представлені в табл. 3.6, 3.7 та на рис. 3.5, 3.6 (по осі абсцис показано похибку параметрів у %, а по осі ординат – похибку результату у %).

Таблиця 3.6 – Похибки формул для моделей (3.26) та (3.27)

Параметр	Розмір похибки вхідних параметрів					
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
$u(10)$	<u>0,073</u> 0,099	<u>0,075</u> 0,099	<u>0,076</u> 0,066	<u>0,078</u> 0,098	<u>0,079</u> 0,099	<u>0,081</u> 0,077
α	<u>0,075</u> 0,072	<u>0,075</u> 0,067	<u>0,075</u> 0,094	<u>0,075</u> 0,085	<u>0,075</u> 0,099	<u>0,075</u> 0,051
p_{ji}	<u>0,068</u> 0,087	<u>0,075</u> 0,073	<u>0,081</u> 0,111	<u>0,12</u> 0,123	<u>0,094</u> 0,135	<u>0,1</u> 0,147
H_{ef}	<u>0,075</u> 0,074	<u>0,075</u> 0,099	<u>0,075</u> 0,059	<u>0,095</u> 0,091	<u>0,075</u> 0,062	<u>0,075</u> 0,089
p	<u>0,068</u> 0,062	<u>0,075</u> 0,054	<u>0,081</u> 0,112	<u>0,088</u> 0,125	<u>0,094</u> 0,102	<u>0,161</u> 0,151
Q	<u>0,023</u> 0,03	<u>0,075</u> 0,066	<u>0,126</u> 0,152	<u>0,177</u> 0,204	<u>0,278</u> 0,256	<u>0,279</u> 0,309
P	<u>0,063</u> 0,058	<u>0,075</u> 0,099	<u>0,086</u> 0,115	<u>0,098</u> 0,131	<u>0,15</u> 0,147	<u>0,123</u> 0,163
k_y	<u>0,083</u> 0,094	<u>0,084</u> 0,09	<u>0,115</u> 0,104	<u>0,09</u> 0,112	<u>0,095</u> 0,114	<u>0,121</u> 0,118
k_z	<u>0,083</u> 0,081	<u>0,081</u> 0,072	<u>0,092</u> 0,1	<u>0,111</u> 0,109	<u>0,095</u> 0,087	<u>0,137</u> 0,118

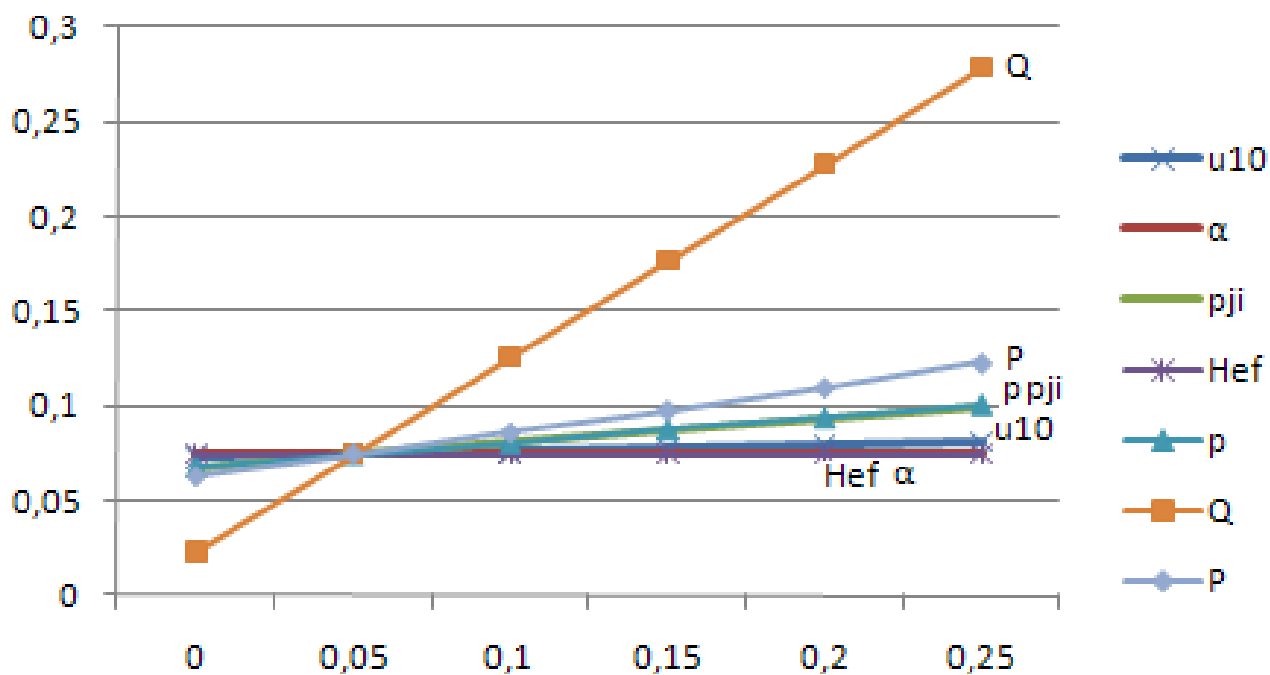


Рис. 3.5. Графіки похибок для моделі (3.26) [242]

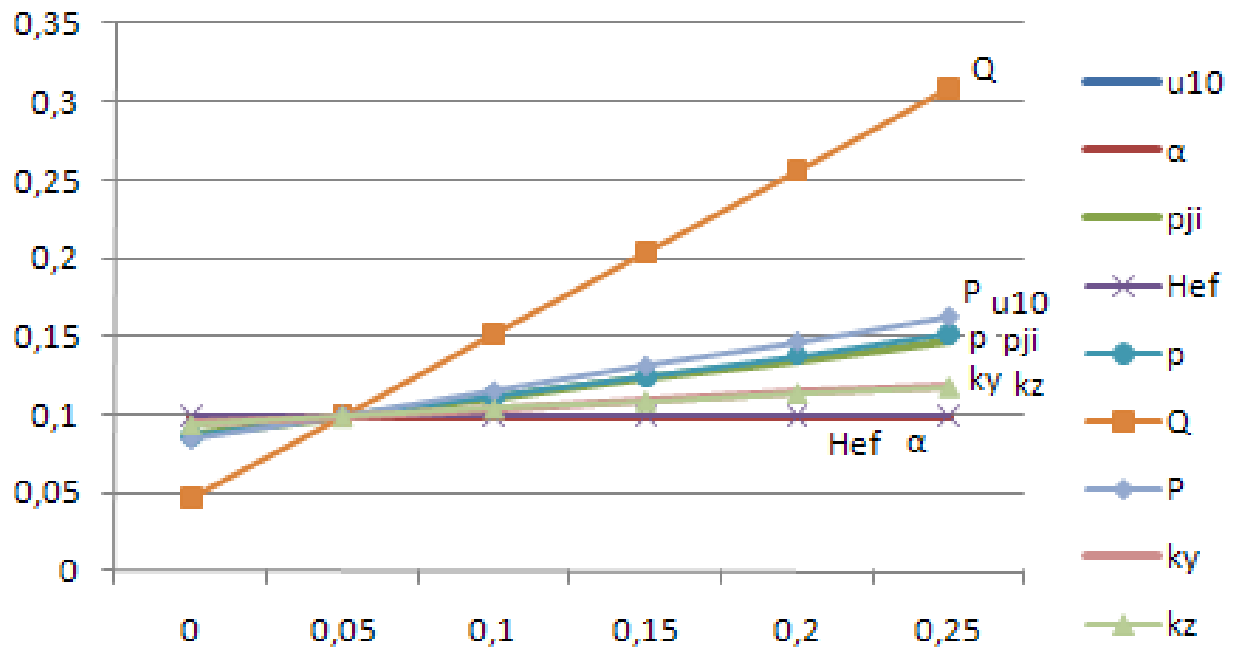


Рис. 3.6. Графіки похибок для моделі (3.27) [242]

За результатами проведених експериментів встановлена наступна вагомість параметрів досліджуваних моделей:

Найбільш вагомі параметри:

1. Коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії K_x .
2. Коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії K_y .
3. Коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії K_z .

Точність визначення: до $0,01 \text{ м}^2/\text{с}$.

4. Коефіцієнт, який характеризує взаємодію домішок з краплями дощу $\alpha_{оп}$.

5. Коефіцієнт хімічної трансформації $\alpha_{хім}$.

6. Коефіцієнт поглинання підстилаючою поверхнею $\alpha_{поз}$.

Точність визначення: до $0,01 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.

Менш вагомі параметри:

7. Шорсткість підстилаючої поверхні z_0 .
8. Висота шару перемішування $H_{ш.п}$.
9. Висота штильового шару L .
10. Швидкість гравітаційного осадження w_g .

Точність визначення: $\pm 10\%$ від середньостатистичного значення параметра, крок ідентифікації – 10% .

В рамках дисертаційного дослідження проведено ряд натурних експериментів щодо визначення концентрацій основних ЗР в приземному шарі атмосфери (ПША) від викидів декількох підприємств (що є точковими, лінійними та площадковими ДЗ) за різних сценаріїв забруднення. Форма представлення результатів експериментів (на прикладі точкового джерела) показана на рис. 3.7

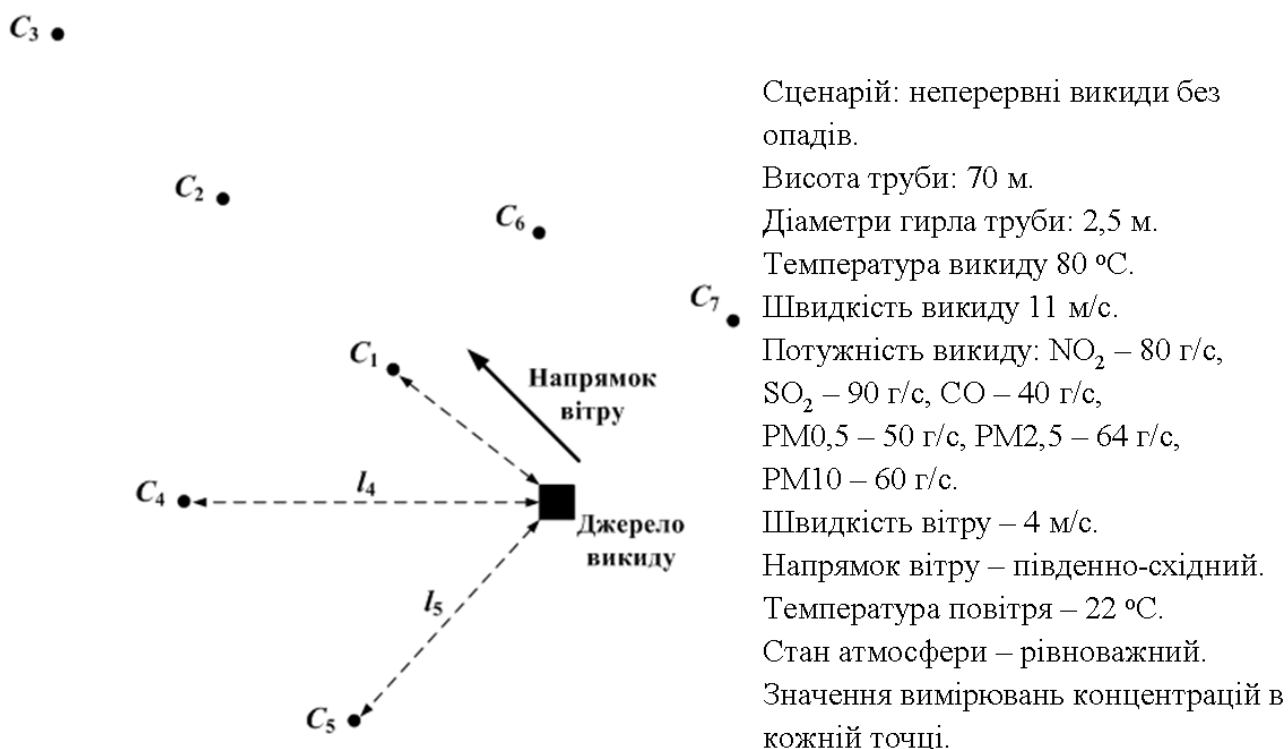


Рис. 3.7. Форма представлення результатів експериментів (на прикладі точкового джерела)

На основі отриманих результатів експериментів з використанням вдосконалених методів ідентифікації більш точно визначено параметри математичних моделей розповсюдження ЗР в АП (на прикладі основних ДЗ АП м. Києва), що дозволило зменшити середню похибку моделювання з 15% до 5%. Приклад отриманих результатів показано в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Приклад результатів рішення задачі ідентифікації математичної моделі (3.20) згідно даних проведених експериментів

Параметр	Середньостатистичне значення параметру	Значення параметру після ідентифікації
K_x	0,16 м ² /с	0,32 м ² /с
K_y	0,22 м ² /с	0,47 м ² /с
K_z	0,34 м ² /с	0,21 м ² /с
α_{on}	$1,44 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$	$1,86 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$
α_{xim}	$12,02 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$	$14,55 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$
α_{noz}	$3,39 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$	$2,79 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$
z_0	2,5 см	3 см
$H_{ш.н}$	250 м	250 м
L	75 м	75 м
w_g	1,17 м/с	1,3 м/с

3.4.2. Оцінювання впливу місць зберігання відходів підприємств паливно-енергетичного комплексу на довкілля

Одним з найбільших джерел забруднення атмосферного повітря в Україні є підприємства паливно-енергетичного комплексу (ППЕК), зокрема великі спалювальні установки, в результаті роботи яких утворюється велика кількість золошлакових відходів (ЗВ). В нашій державі питома вага переробки ЗВ є значно меншою в порівнянні з США та країнами Європи. Це призводить до постійного накопичення цих відходів і на даний час більшість золошлаковідвалів українських теплових електростанцій (ТЕС), теплоелектроцентралей (ТЕЦ) вже майже заповнені, і немає можливості їх розширювати. В свою чергу, зберігання золошлаку супроводжується низкою вкрай негативних наслідків для довкілля та здоров'я людини. Зокрема в суху погоду в результаті впливу вітру відбувається сильне пиління золошлаковідвалу, при цьому частинки пилу різних фракцій переносяться на значні території і можуть досягати населених пунктів, створюючи значний ризик для здоров'я населення. В Україні було прийнято Національний план

скорочення викидів від великих спалювальних установок (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 796-р.), проте в ньому нічого не сказано про місця зберігання відходів теплоенергетики, зокрема золошлаків, які утворюються в результаті роботи великих спалювальних установок, та їх вплив на довкілля. Крім того, не зважаючи на різні резонансні справи щодо забруднення атмосферного повітря від місць зберігання золошлаків, в Україні відсутня затверджена методика визначення впливу місця зберігання золошлаків на забруднення атмосферного повітря, а спеціалізовані програмні продукти (перелік яких наведено на сайті Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України) також не вирішують дану проблему. Тому розробка та впровадження засобів оцінювання та прогнозування впливу місць зберігання золошлаків на стан атмосферного повітря та населення прилеглих територій є актуальною та доцільною, зокрема для визначення ЕЕПУР щодо золовідвалів ТЕС.

Золовідвали ТЕС – це спеціальні, призначені для ЗВ, гідротехнічні споруди, територія яких обмежена огорожувальними дамбами і рельєфом місцевості. Для транспортування ЗВ з території електростанцій в золовідвали, як правило, застосовуються системи гідрозоловидалення. У таких системах змішані з водою золошлаки у вигляді пульпи по трубопроводу надходять в золовідвали. Пульпа, відстоюючись в ставках-відстійниках на території золовідвалу, розділяється на освітлену воду і осаджені тверді дрібні частинки. У золовідвалі постійно протікають два процеси. Перший з них - це випаровування води з формуванням на території золовідвалу так званих «пляжів» - сухих ділянок із пиловими частинками ЗВ під дією вітру. Другий процес - інфільтрація води (освітленої або навіть частково неочищеної) і попадання розчинених форм токсичних компонентів золошлаків в ґрунтові води і водойми, що знаходяться за межами золовідвалів.

Таким чином, золовідвали ТЕС, незважаючи на огорожену територію,

є відкритими системами. Шкідливі речовини, що входять до складу золошлаків можуть мігрувати з поверхні золовідвалу через повітряне і водне середовища та забруднювати приземний шар атмосфери, ґрунт, підземні і поверхневі води районів, що розташовані на відстані до декількох кілометрів від накопичувача відходів. Поширюючись в подальшому за різними трофічними ланцюгами, токсичні речовини, що містяться в ЗВ, можуть викликати деградацію біосистеми (рослинного і тваринного світу, гідробіонтів) та негативно впливати на здоров'я людини (через воду, повітря, їжу). На рис. 3.8 наведено схему взаємодії золошлаконакопичувачів із навколишнім природним середовищем [256, 407].

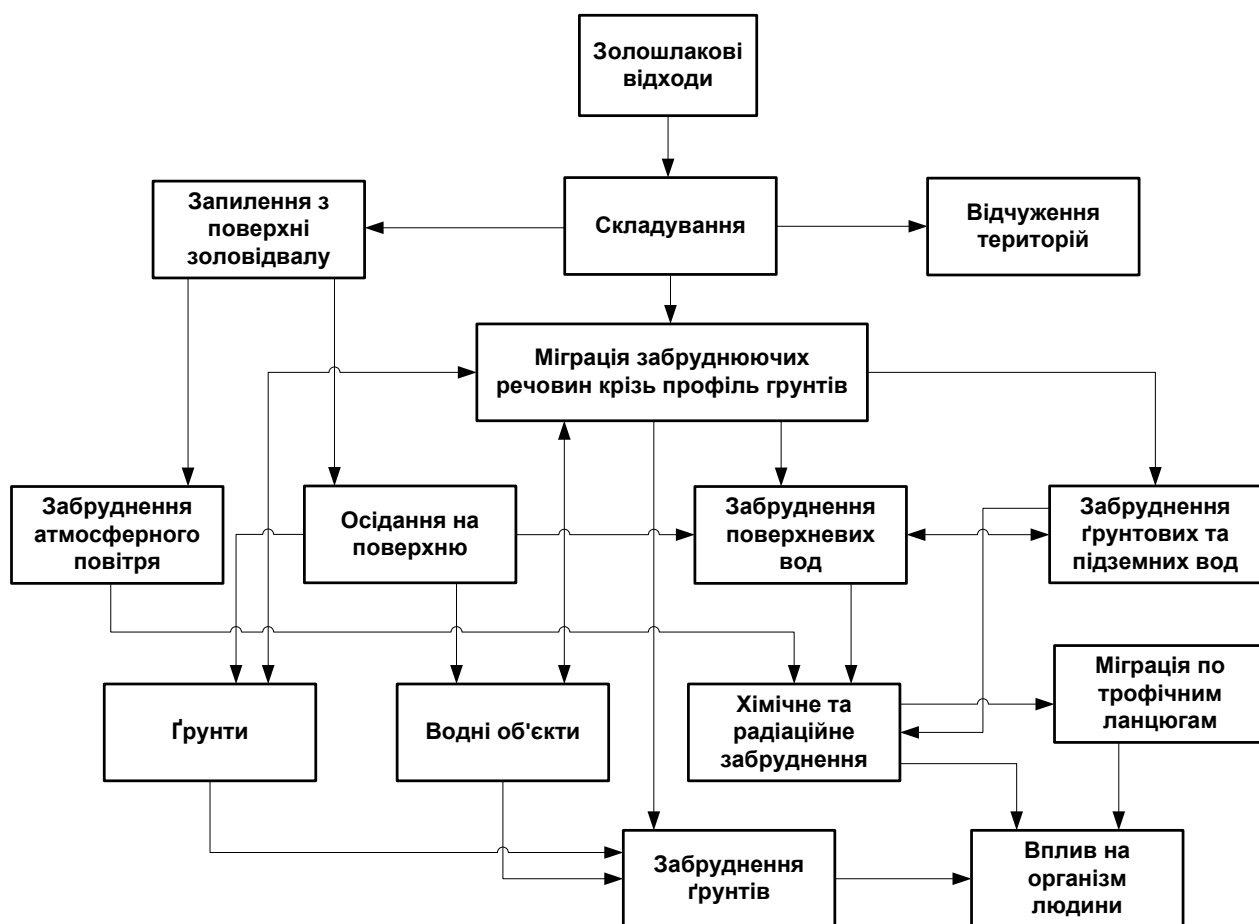


Рис. 3.8. Схема впливу місць зберігання золошлакових відходів на довкілля

Склад золошлакових відходів. Технології спалювання вугілля на ТЕС України в більшості випадків передбачають видалення золи та шлаків гідравлічним способом та складування їх у золовідвалах.

Для того, щоб точно знати властивості ЗВ, необхідно дослідити мінералогічний, елементний, оксидний і радіонуклідний склад відходів, структуру їх поверхні, сорбційну і гідравлічну активності, поведінку мінералів при нагріванні.

Шлаки та зола доволі токсичні, їх токсичність складається з токсичності поліароматичних вуглеводнів (в основному бенз(а)пірену), важких металів і неопізнаних органічних токсикантів [256].

За хімічним складом ЗВ представляють собою складну суміш різних, переважно мінеральних, речовин. Вміст різних хімічних сполук в ЗВ залежить від складу палива. Для об'єктів ПЕК України, що експлуатували та експлуатують вугільне паливо різних марок, концентрації компонентів у ЗВ варіюються в певних межах, але у всіх випадках основними золошлакоутворюючими компонентами є кисневі сполуки кремнію, алюмінію, заліза, кальцію, магнію. Незначна частка елементів присутня в ЗВ у вигляді сульфатів CaSO_4 , MgSO_4 та FeSO_4 . У таблиці 3.8 показано усереднений хімічний склад мінеральної частини ЗВ деяких твердопаливних ТЕС України та Росії [192, 214, 243]. Згідно [316] основну масу (96-98%) ЗВ в середньому складає оксид кремнію – 45-60%, оксид кальцію – 2,5-9,6%, оксид магнію – 0,5-4,8%, оксид заліза – 4,1-10,6%, оксид алюмінію – 10,1-21,8% і триоксид сірки – 0,03-2,7%.

Якісний хімічний склад ЗВ близький до складу осадових порід, і, на перший погляд, золошлаки не представляють екологічної небезпеки. Однак це не так. Вміст ряду компонентів в ЗВ може значно перевершувати значення їх концентрацій в земній корі. Так, вміст CaO в ЗВ може бути вище кларкового значення в 4-12 разів, Al_2O_3 в 2 рази, Fe_2O_3 - в 1,5-3 рази, MgO - в 2-3 рази, тому зберігання таких відходів в природних умовах може призвести до порушення сформованого екологічного балансу. Крім того, золошлаки

сильно відрізняються від осадових порід по фазово-мінералогічному складу: вони складаються з аморфно-склоподібної речовини (утвореної силікатами, алюмосилікатами, фєроалюмосилікатів, ряду вільних оксидів, в основному CaO) і ряду кристалічних сполук (кварцу, мулітами, гематиту, феритів, магнезитів та інших мінералів). Серед компонентів обох мінеральних фаз є речовини, які представляють реальну загрозу для здоров'я людини і тварин (передусім при їх попаданні в повітря). Відомо, що скляно-силікатний пил негативно впливає на легенево-дихальну систему, оксид кальцію у вигляді пилу подразнює слизові оболонки, а при попаданні в воду робить її агресивною, змінюючи рН середовища [192].

Таблиця 3.8 – Усереднений хімічний склад мінеральної частини золошлакових відходів деяких твердопаливних ТЕС України та Росії

Підприємство теплоенергетики	Мінеральні золошлакоутворюючі компоненти, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Старобешівська ТЕС	44-50	24-30	8-6	2,5-4,6		-		1,2
Миронівська ТЕС	67,8	19,8	10,9	5,5		2,8		2,1-7
Вуглегірська ТЕС	16,7	40,6	23,0	8,4		-		0,02
Краматорська ТЕЦ	49,4	22,5	17,1	10,05		-		
Бурштинська ТЕС	48,6	23,3	15,3	4,4	2,2	0,5	1,6	0,47
Красноярська ТЕЦ-1 (Росія)	48,6	8,0	10,3	29,7	5,7	0,3	0,3	1,5
Владивостоцька ТЕЦ-2 (Росія)	10-58	10-30	2-20	2-60	0-10	0-5	0-5	-
<i>Кларковий вміст в земній корі</i>	55,3	14,3	6,7	4,8	3,3	3,2	3,1	-

Серед кристалів найбільш небезпечні кварц і муліт, що викликають фіброзні зміни в легеневій тканині. Так, неорганічний пил, що містить кварц, санітарними нормативами віднесено до шкідливих речовин III класу небезпеки; для нього значення середньодобової гранично допустимої концентрації (ГДК) в атмосферному повітрі становить 0,05-0,15 мг/м³ (в залежності від вмісту SiO₂ в пилу). Практично всі небезпечні мінеральні макрокомпоненти ЗВ (силікати, кварц, муліт) погано виводяться з організму людини, а їх негативний вплив з часом (при тривалому контакті з золошлаковим пилом) підсилюється.

Крім перерахованого ряду шкідливих речовин-макрокомпонентів ЗВ в золошлаках також міститься велика кількість мікроелементів, що відносяться до I-III класів небезпеки. Але концентрація окремих токсичних мікроелементів в ЗВ може істотно перевищувати їх кларкове значення в земній корі і перевершувати встановлений для них санітарними нормативами рівень ГДК в ґрунті.

Такі елементи-домішки отримали назву потенційно токсичних мікроелементів. Їх спектр, в основному, представлений важкими металами, серед яких є і радіоактивні елементи (торій, уран тощо). Найбільш часто в складі ЗВ вугільних ТЕС України присутні такі потенційно токсичні мікроелементи, як свинець, мідь, цинк, кадмій, хром, нікель та ін. В таблиці 3.9 показано деякі токсичні мікроелементи в складі золошлакових відходів, що утворюються при спалюванні вугілля на деяких ТЕС України [192, 214, 243]. Вміст цих небезпечних компонентів в золошлаках може перевищувати рівень ГДК (в ґрунті). Оскільки дані мікроелементи потрапляють в ЗВ з твердого палива, концентруючись при його спалюванні, їх зміст в золошлаках безпосередньо визначається маркою вугілля, що використовується електростанцією.

Вміст радіонуклідів в золі та шлаках ТЕС також потребує визначення, оскільки цей показник залежить від особливостей вугілля та технології спалювання. Як відомо, технологія спалювання вугілля в циркулюючому

киплячому шарі (ЦКШ) дозволяє істотно поліпшити економічні і екологічні показники котлоагрегатів.

Таблиця 3.9 – Деякі токсичні мікроелементи в складі золошлакових відходів, що утворюються при спалюванні вугілля на деяких ТЕС України

Хімічний елемент	ГДК у ґрунті, мг/кг	Кларк, мг/кг	Вміст в золошлакових відходах, мг/кг				Клас небезпеки. Токсична дія
			Трипільська ТЕС	Дарницька ТЕС	Черкаська ТЕС	Бурштинська ТЕС	
Свинець	32,0	10	6,7	2,1	0,28	23,1	I клас. Діє на нервову систему
Мідь	55,0	20	28,6	22,7	45,44	19,8	II клас. Викликає захворювання органів дихання, нервової системи, шлунково-кишкового тракту та печінки
Цинк	100,0	50	229,0	70,4	18,02	36,6	I клас. Токсичний важкий метал з високою летючістю
Кадмій	Н.в.	0,5	0,2	0,2	Н.в.	0,9	I клас. Токсичний важкий метал, діє на органи дихання та внутрішні органи (печінка, нирки)
Хром	Н.в.	200	40,9	30,7	0,54	Н.в.	II клас. Впливає на органи дихання, серцево-судинну систему і внутрішні органи (печінка, нирки)
Нікель	85	40	5,1	54,41	2,32	27,3	II клас. Впливає на органи дихання, має властивості канцерогену та алергену
Алюміній	Н.в.	71300	1088,61	Н.в.	Н.в.	Н.в.	III клас.
Залізо	Н.в.	38000	1014,65	Н.в.	Н.в.	Н.в.	III клас.
Марганець	1500	850	Н.в.	106,1	Н.в.	27,3	III клас.

Примітка. Н.в.- не визначено або не визначався

В таблиці 3.10 показано вміст природних радіонуклідів в золошлаковій суміші ТЕС, що утворюються при різних способах спалювання енергоносіїв [214]. Як видно з таблиці 3.9, концентрація радіонуклідів в золі котлів ЦКШ значно вище, ніж при інших технологіях спалювання вугілля. Дослідження [392] щодо хімічного складу ЗВ Зміївської ТЕС показали наявність ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , але рівень радіоактивності золи був в 4-5 разів нижче гранично допустимої концентрації для ґрунту.

Однак в ЗВ нерідко містяться і рідкісноземельні елементи: Sr, Cr, Ga, Be, Co, Bi, Ag і As [392].

Таблиця 3.10 – Вміст природних радіонуклідів в золошлаковій суміші ТЕС, що утворюються при різних способах спалювання енергоносіїв.

Номер проби	Питома активність радіонуклідів, Бк/кг			Сумарна питома активність, Бк/кг
	Ra-226	Th-232	K-40	
Золошлаки	65±13	28±6	468±94	142±28
Зола ЦКШ	101±20	55±11	646±129	228±46

Слід зазначити, що токсичні мікроелементи, що входять до складу золошлаків, можуть забруднювати ґрунт, атмосферне повітря і воду. У повітря вони можуть потрапляти внаслідок високої дисперсності золошлакового пилу. У воду можуть переходити мікроелементи, що знаходяться в рухливих (водорозчинних) формах. Зауважимо, що встановлені санітарними нормами рівні ГДК токсичних мікроелементів в атмосферному повітрі та воді жорсткіші, ніж значення ГДК в ґрунті. Це пов'язано з тим, що забруднення повітря і води представляє в екологічному відношенні найбільшу небезпеку, оскільки призводить до швидкого залучення токсичних мікроелементів в природні обмінні процеси. Дуже небезпечним є забруднення водойм, оскільки в цьому випадку найбільш швидко може відбутися включення токсичних компонентів в біосферу, наприклад, по трофічному ланцюжку: вода → водорості → безхребетні → риби → тварини

→ людина. При цьому вміст небезпечних мікроелементів в водоростях, безхребетних і рибі може перевищувати їх концентрацію у вихідній воді в 10-100 разів, тобто, при попаданні в біосферу токсичні компоненти акумулюються і їх дія посилюється [411].

Фізична картина перенесення забруднюючих речовин у зоні впливу підприємств наливно-енергетичного комплексу. Перенесення ЗР у підземні води відбувається із зони аерації ППЕК, території проммайданчика та ділянки золошлаковідвалу. Тому дослідження міграції ЗР відрізняється при описі процесу в зоні аерації та в зоні впливу золошлаковідвалу.

У зоні аерації теплових електростанцій відбувається інфільтрація ЗР, які, осідаючи з відхідних газів на поверхню ґрунту, переносяться вниз по профілю з опадами та талою водою. Швидкість перенесення ЗР буде залежати від кількості опадів, що впливатиме на водонасичення ґрунту, та температури навколишнього середовища, що впливатиме на випаровування вологи з поверхневих шарів ґрунту. З тіла золошлаковідвалу перенесення ЗР буде здійснюватись у водонасиченому ґрунті за рахунок фільтрації. Під час перенесення розчинених речовин у ґрунті виявлено ряд особливостей [256]:

- немає чіткої межі між розчином, який потрапляє у ґрунт та ґрунтовою вологою, тому відбувається «розмив» фронту розчину забруднювача;
- відбувається безперервне перемішування розчину та ґрунтової вологи, у результаті чого утворюється розширена зона дисперсії;
- процес перемішування або «розмиву» фронту розчину забруднених стоків тим сильніше, чим вища швидкість потоку та більші пори ґрунту.

Моделювання поширення забруднення може бути успішним лише в разі правильного розуміння механізмів, які визначають рух розчинених речовин у потоці ґрунтових вод. Виділяють такі процеси, що впливають на перенесення розчинених речовин: дифузія, конвекція, дисперсія, фізико-хімічні та біологічні процеси, такі, як іонний обмін, радіоактивний розпад, сорбція, розкладання бактеріями та ін.

Механізм дифузії визначає перенесення розчинених речовин при відсутності потоку ґрунтових вод. У ґрунтах з низькою провідністю внесок дифузії у транспортування розчинених речовин значно перевершує дію конвекції. У пористому середовищі дифузійні процеси сповільнюються, оскільки збільшується шлях молекул та іонів у рідкій фазі в результаті їх руху по звивистих порових каналах, навколо окремих частинок. Крім того, на зниження швидкості дифузії впливає наявність тупикових пор і защемленого повітря, для врахування яких вводять ефективний коефіцієнт дифузії:

$$D^* = \gamma_i D_m,$$

де: D_m – коефіцієнт молекулярної дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; γ_i – емпіричний коефіцієнт, що об'єднує всі фактори, які зменшують коефіцієнт дифузії.

Іноді ефективний коефіцієнт дифузії визначають як добуток коефіцієнта дифузії і пористості розглянутого ґрунту:

$$D^* = \theta D_m,$$

де: θ – пористість, %.

При конвекції перенесення ЗР відбувається потоком рідини при швидкості, що дорівнює швидкості фільтрації. Швидкість фільтрації визначається за законом Дарсі.

Коли забруднені води просочуються через пористе середовище, вони змішуються з чистими ґрунтовими водами. Розведення забруднених вод в зоні фільтрації відбувається за рахунок дисперсії. При цьому розповсюдження ЗР проходить в середовищі нерівномірно. Розрізняють поздовжню і поперечну дисперсії. Поздовжня дисперсія відбувається в напрямку фільтраційного потоку, поперечна – в напрямку перпендикулярному до напрямку фільтраційного потоку. Розширення області забруднення у ґрунті викликано двома причинами. Перша визначається тим, що молекули або іони розчиненої речовини в пористому середовищі проходять шляхи різної довжини внаслідок будови структури порового

простору. Цей процес називають механічною дисперсією. Іншою причиною є молекулярна дифузія в напрямку зменшення концентрації розчиненої речовини. Комбінацію цих двох процесів називають гідродинамічною дисперсією [256].

Причинами дисперсії служать такі фактори:

- швидкість течії рідини в широких порових каналах вища, ніж у вузьких;
- у поровому каналі швидкість течії рідини в середині вища, ніж біля стінок капіляра, що пояснюється силами тертя;
- молекули та іони розчиненої речовини проходять у поровому просторі різні шляхи;
- перетини і повороти порових каналів викликають локальні потоки, які можуть відхилитися від напрямку потоку ґрунтових вод на кут до 180° .

У результаті гідродинамічної дисперсії контур забруднення в міру віддалення від джерела збільшується, а максимальна концентрація зменшується. При цьому поздовжня дисперсія більша, ніж поперечна, що викликає більше розтягування контуру забруднення в напрямку потоку ґрунтових вод порівняно з перпендикулярним.

Величина кроку гідродинамічної дисперсії залежить від гранулометричного складу ґрунтів і змінюється від 0,01 м до 10 м.

Відношення значень поперечної α_T і поздовжньої α_L дисперсії становить від 1:5 до 1:10.

Забруднені води можуть містити консервативні й неконсервативні речовини. Консервативні субстанції не вступають у реакції з водомісткими породами та іншими розчиненими речовинами, вони також не піддаються біологічному розкладанню та радіоактивному розпаду. Неконсервативні речовини можуть брати участь у фізико-хімічних реакціях, біологічних чи радіоактивних процесах, які змінюють концентрацію речовин у водах, що просочуються. При перенесенні у ґрунтах може відбуватись іонний обмін,

розчинення-осадження, окислювально-відновні реакції, біологічне розкладання, радіоактивний розпад.

Для багатьох речовин, розчинених у ґрунтових водах, сорбційно-десорбційні процеси між рідкою і твердою фазами ґрунту мають важливе значення. Сорбція знижує і уповільнює розповсюдження забруднення у підземних водах. У більшості випадків виходять з того, що існує сорбційна рівновага в системі «рідина – тверда фаза». Це означає, що час, необхідний для конвекційного і дисперсійного масопереносу набагато більший, ніж час, необхідний для сорбційних процесів. При цьому виникає локальна рівновага між сорбованою і розчиненою формами речовини у водоносному горизонті. Концентрацію речовини в сорбованому стані c_s можна виразити як функцію концентрації цієї речовини в розчиненому вигляді:

$$c_s = f(c).$$

Проведений аналіз показав, що на перенесення ЗР у ґрунтах впливає цілий ряд факторів, які складно врахувати при моделюванні. Тому при моделюванні допускається ряд припущень. Для математичного опису процесу фільтрації реальний потік рідини замінюється деяким фіктивним фільтраційним потоком, що безупинно заповнює всі перетини пористого середовища. При цьому приймається, що витрата, зумовлена кількістю рідини, яка протікає через будь-яку одиничну площину розглянутого перетину за одиницю часу у фіктивному потоці, дорівнює витраті реального фільтраційного потоку. Крім того, для фіктивного потоку тиск на обраний майданчик дорівнює тиску реального потоку на ту ж площину, а сили опору, розглянуті як масові (об'ємні) сили, для фіктивного потоку у виділеному обсязі повинні дорівнювати реальним силам для того ж обсягу. Таким чином, замість реального фільтраційного потоку розглядається деяка фізична модель цього потоку, при цьому основні характеристики фіктивного (модельного) потоку або збігаються з відповідними характеристиками реального потоку,

або ж за характеристиками фіктивного потоку можна визначити характеристики реального потоку. Тому для визначення середньої швидкості руху часток рідини в пористому середовищі вводиться статистичне поняття швидкості фільтрації [256].

У сухі періоди року більшість золошлаковідвалів можуть бути джерелом інтенсивного запилення в результаті вітрового впливу. Вітрова ерозія золошлакових полів визначається характером та інтенсивністю впливу вітрового потоку, властивостями складованого матеріалу, технологією складування, а також конструкцією об'єкта. Виділяють три складових процесу вітрової ерозії, а саме: відрив і зліт частинок з поверхні; переміщення частинок в запиленому потоці над поверхнею золошлакового поля та розсіювання золових еродованих частинок за межами золошлаковідвалу після сходу пилової хмари з дамби [234].

Вплив повітряного потоку на кожен окрему частинку на поверхні шару на території золошлаковідвалу пов'язаний з декількома одночасно діючими механізмами. Це і лобовий аеродинамічний тиск, що спонукає до зрушення у напрямку вітру уздовж поверхні, перепад статичного тиску, що виникає при обтіканні частинки і створює підйомну силу, та турбулентна дифузія в вітровому потоці, що створює змінні пульсуючі за розміром і напрямком впливи на частинку й ослаблює гравітаційні і адгезійні зв'язки частинки з поверхнею шару.

На території золошлаковідвалу можна виділити три можливі зони запилення: сухі пляжі на золошлакових полях; дамби, складені з золошлаків (неприсипаних); відкладення пилу в аеродинамічній тіні дамби (вторинне запилення).

Характер поверхні золошлакового поля в значній мірі визначається способом наміву. Скидання золошлакової пульпи з розподільного пульпопроводу по периметру відвалу забезпечує фракціонування матеріалу - осадження найбільш великих фракцій у внутрішнього укусу дамби. Відстійний ставок намівного золовідвалу забезпечує осадження найбільш

дрібних частинок золи. Неоднорідність фракційного складу поверхневого шару золошлакового поля формується також і внаслідок нерівномірного розподілу золошлакового матеріалу по фронту наміву.

У зоні надводних відкладень золошлаковідвалу зволоження намитого матеріалу здійснюється за рахунок капілярного підйому води, періодичної зміни рівня ставка-освітлювача, опадами, застосування спеціальних дощувальних систем поверхневого зволоження. Порушення надходження вологи до поверхні золошлакового поля призводить до утворення сухих пляжів.

Сухий пляж золошлаковідвалу являє собою складне поєднання ділянок інтенсивного, середнього і малого запилення. Інтенсивне запилення відзначається на ділянках, покритих товстим шаром попелу піщаної (незв'язаної) фракції.

Виділяють наступні параметри поверхні, що піддається вітровому впливу:

- гранулометричний склад складованого матеріалу;
- вологість поверхневого шару пилових частинок – технологічна (за рахунок зволоження шляхом зрошення, залишкова вологість при коливанні рівня води в золошлаковідвалах, зволоження поверхневого шару капілярною вологою з підшарового водяного обсягу) і внаслідок атмосферних опадів;
- щільність поверхневого шару, що визначається способом наміву золи (підводний або надводний, розосереджений або зосереджений), використанням механічних засобів ущільнення поверхневого шару;
- сніговий покрив;
- рослинний покрив на відпрацьованих золошлаковідвалах.

Варто також зазначити, що еродованість золошлаковідвалу визначається наступними факторами:

- захищеністю об'єкта від вітрового впливу рельєфом прилеглої місцевості;
- конструкцією об'єкта, тобто наявністю і висотою огорожувальних

конструкцій (дамби, захисні стінки, лісопосадки по периметру золовідвалу);

– експлуатаційними характеристиками – рівнем поверхні шару щодо дамби, навколишньої території, площею сухих пляжів.

Ставок-освітлювач є накопичувачем найбільш дрібних фракцій золи. Тому при зменшенні рівня води від розрахункового рівня, висушені відкладення можуть бути джерелом інтенсивного запилення. Ставок практично повністю поглинає гравітуючі еродовані і, частково, витаючі частинки, що надходять з вітровим потоком на акваторію.

При обтіканні дамби вітровим потоком відбувається часткове знепилювання його - випадання значної частини еродованих золошлакових частинок, переважно сальтуючих.

Рельєф місцевості та висотне профілювання золошлаковідвалу істотно впливають на характер і інтенсивність вітрових потоків уздовж поверхні золошлакового поля. Під час експлуатації золошлаковідвалу в міру заповнення його і наросування огорожуючих споруд висотна характеристика об'єкта по відношенню до сусідньої місцевості може істотно трансформуватися.

Моделювання процесів забруднення підземних вод. Теорія фільтрації була започаткована працями Анрі Дарсі, який встановив лінійну залежність між швидкістю фільтрації води та втратами напору – закон Дарсі. Подальший розвиток теорії фільтрації отримала завдяки працям учених, серед яких слід відмітити роботи К.С. Баснієва [163], В.Л. Данилова [189], В.Н. Ніколаєвського [273], М.Д. Розенберга [357], Є.С. Ромма [365], Д.А. Ефроса [402] та ін. Велике значення для розвитку теорії фільтрації мають фундаментальні роботи закордонних учених: М. Маскета [259], А.Е. Шейдеггера [396], Р. Коллінза [232], Х. Азіза і Е. Сеттарі [139].

У сфері математичного моделювання гідроекологічних досліджень протягом останніх років опубліковано значну кількість наукових праць, зокрема, праці В.І. Лаврика [246, 247], А.П. Олійника [279, 280, 281],

В.М. Шестакова [397] та інші, які присвячені питанням перенесення забруднювачів у підземних водах.

У роботі [138] узагальнена та систематизована інформація щодо геологічних та гідрологічних умов території України та класифікації основних схем геофільтрації. У роботі [102] автор представив математичну модель переміщення забруднень у підземних водах для оцінки екологічного ризику довкілля.

Математичні моделі процесу масопереносу ЗР розвинені в роботі [170]. Вивченням процесів розчинення солей і їх переміщенням під дією молекулярної і конвективної дифузії за допомогою методів математичної фізики займалися багато дослідників, зокрема М.М. Веригин, А.В. Шибанов, Б.С. Шержуков [173, 174], П.Я. Полубаринова – Кочина [301], І.В. Сергієнко [372] та інші.

У названих вище роботах розглядалися процеси вологоперенесення та солеперенесення окремо в областях повного та неповного насичення, відповідно, проведено дослідження вологоперенесення без урахування солеперенесення в цих областях водонасичення.

Важливим питанням при математичному моделюванні процесів перенесення ЗР є врахування неоднорідності ґрунту. Для урахування фізико-хімічних властивостей ґрунтів автори робіт [167, 168] враховують активну пористість середовища, коефіцієнт фільтрації, густину середовища. У роботі [388] Толпаєв В.А. представив модель двомірної фільтрації в анізотропних середовищах.

У роботі [238] наведена феноменологічна математична модель поширення розчинів у неоднорідних водоносних пластах, що містить взаємопов'язані рівняння двофазної фільтрації та дифузійного масопереносу в області з рухомою межею. На конкретних прикладах аналізуються особливості різних сценаріїв забруднення. У роботі [9] розглядається перенесення розчиненої речовини, яке піддається нелінійному гетерогенному впливу і використовується багаторазове збільшення масштабу для

модельовання адвекційно-дифузійного процесу на поверхні розділу фаз «рідина - тверде тіло». У роботі [370] запропоновано метод знаходження асимптотичного руху забруднених підземних вод, який виникає при вирішенні задач щодо стабілізації процесу міграції забруднення. У роботі [377] пропонується метод чисельного рішення нестационарних задач при течії двохкомпонентної рідини в пористому середовищі, що моделюють перенесення солей, розчинених у ґрунтових водах.

Процес багаторазового несистематичного зволоження інфільтраційного шару ґрунту, який супроводжується явищами масопереносу рухомих хімічних компонентів забруднень, досить важко піддається математичній формалізації з прийнятними рішеннями в силу некоректності крайових умов. Але в багатьох практично доцільних випадках можуть бути виправдані інженерні підходи до комп'ютерного прогнозування змін концентраційного фону забруднення на основі мінімальної кількості інтегральних характеристик ґрунтово-водних систем.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел показав, що математичні моделі впливу стічних вод на стан ґрунтів повинні формуватися з урахуванням: типу стічних вод, властивостей домішок, які знаходяться в них і можуть взаємодіяти з частинками ґрунтів; характеристик ґрунтів, тобто породи, структури, форми пор і тріщин ґрунту, а також присутності вологи в його складі; процесів взаємодії між ними. Розроблені моделі адаптовані до конкретних випадків, і не дають повною мірою можливості прогнозування стану об'єктів гідросфери при нестационарних умовах.

При розв'язанні задач масопереносу класичними чисельними методами виникають труднощі, які пов'язані з особливостями математичної моделі. Для того, щоб ці методи могли використовуватись для прогнозування переносу ЗР, вони повинні бути модифіковані.

Математичні моделі міграції забруднюючих речовин у ґрунтах

Математична модель міграції [256], тобто масопереносу розчинених речовин, у фільтраційних потоках неконсервативних ЗР описує взаємодію

між ґрунтами та стічними водами, які фільтруються, за допомогою рівнянь матеріального балансу і рівняння кінетики. Вона складається з системи диференціальних рівнянь у частинних похідних другого порядку зі змінними коефіцієнтами, яка у випадку тривимірної плоско-вертикальної (профільної) сталої фільтрації за умови сталості коефіцієнта конвективної дифузії має такий вигляд:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0; v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \quad (3.28)$$

$$D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - v_z \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (3.29)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \alpha(\sigma c - \beta N), \quad (3.30)$$

де: $v = \{v_x, v_y, v_z\}$ - вектор швидкості фільтрації, м/добу; $\varphi(x, y, z, t)$ - потенціал фільтрації, м³/добу; $c(x, y, z, t)$ і $N(x, y, z, t)$ - концентрація речовини, що дифундує, відповідно в рідкій і твердій фазах, кг/м³; D - коефіцієнт конвективної дифузії, м²/добу; σ - пористість середовища, %; t - час, доба; α - коефіцієнт масообміну, с⁻¹; β - коефіцієнт розподілу речовини між фазами в умовах рівноваги по лінійній ізотермі Генрі, що виражається рівністю $c_p = \beta N$.

Для спрощення системи рівнянь шляхом усереднення тих речовин, які шукаються, (концентрації, швидкості фільтрації та ін.) необхідно зменшувати розмірність системи за однією або декількома просторовими координатами. Вертикальне усереднення за координатою z спрощує рівняння до двовимірної профільної моделі, яка дає можливість оцінити поширення стічних вод вглиб ґрунтового шару.

У випадку вертикальної фільтрації рівняння (3.28-3.30) запишуться у вигляді [167]:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0; v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \varphi = -\chi h; h = \frac{p}{\rho g} - y, \quad (3.31)$$

$$D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}\right) - v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial N}{\partial t} = \sigma \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (3.32)$$

$$c(x, y, t_0) = c_0(x, y); c(x, y, t)|_{x=x_1} = c_0(y, t); \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=L} = 0, \quad (3.33)$$

де: χ - коефіцієнт фільтрації, м/добу; h - напір (вісь Oy спрямована вертикально вниз), м; p - тиск, Па; ρ - щільність, кг/м³; g - прискорення сили тяжіння, м²/с.

У роботі [391] показано аналітичне рішення у випадку двовимірного потоку, коли водоносний горизонт горизонтальний, одношаровий та однорідний. Швидкість руху води вважається постійною і паралельною осі Ox , а коефіцієнти дифузії постійні і пропорційні швидкості. Запускається забруднювач з концентрацією c_0 і витратою Q у джерелі. За період dt маса запущеного забруднювача буде $c_0 Q dt$. Початкова концентрація дорівнює нулю. Область не обмежена, а концентрація на нескінченності дорівнює нулю. Рівняння, що описує цей процес, має вигляд:

$$\alpha_L u \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \alpha_T u \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (3.34)$$

де: α_L та α_T - структурні параметри, що залежать від виду ґрунту, проникності та консолідації.

Для безперервного надходження стічних вод при витраті Q розв'язок цього рівняння для моменту часу t буде мати вигляд:

$$c(x, y, t) = \frac{c_0 Q}{2\pi u \sqrt{\alpha_L \alpha_T}} \int_0^t \exp\left[\frac{(x - u\theta)^2}{4\alpha_L u \theta} - \frac{y^2}{4\alpha_T u \theta}\right] \frac{d\theta}{\theta}. \quad (3.35)$$

У роботі [395] запропонована двовимірна модель міграції розчинних компонентів, що враховує градієнт рельєфу як основну причину руху води в поверхневих шарах ґрунту непромивного або періодично промивного типу:

$$C = C_0 + \frac{C_p - C_0}{Be} [1 - \exp(-Bkt)] \exp\left(-\frac{k}{e_1} \tau\right), \quad (3.36)$$

де: C – усереднена концентрація забруднення в ґрунтовому розчині інфільтраційного шару, мг/м^3 ; C_0 , C_p – початкові концентрації забруднення відповідно в інфільтраційному потоці та застійних зонах ґрунту, мг/м^3 ; $B=1/e+1/e_1$ – структурний параметр ґрунту; e , e_1 – відносні об'єми проточних і застійних зон; k – коефіцієнт масовіддачі, м/с ; t – інтегральний час просування концентраційного фронту забруднення від вододілу до контрольної точки, с ; τ – інтегральний час випадання опадів за контрольний період, с .

Оцінка викидів золових частинок із золошлаковідвалу в атмосферу за межі санітарно-захисної зони. Зсувна або динамічна швидкість потоку U_* – найважливіший параметр, що характеризує умови вітрової ерозії поверхні пилоподібного матеріалу і визначає величину створюваного потоком зусилля відриву частинки від поверхні (або зсуву її по поверхні). Безпосередньо цим параметром характеризується ступінь інтенсивності турбулентного пульсаційного руху в прикордонному шарі. Значення U_* визначається з логарифмічного рівняння Кармана-Прандтля (3.37), що враховує висотний градієнт швидкості незапиленого вітроповітряного потоку, що пов'язаний з гальмуючою дією підстилаючої поверхні:

$$\frac{U_z}{U_*} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{Z}{d_{II}}\right) + 8,5 \quad (3.37)$$

де: U_z – швидкість вітру на висоті флюгера Z , м/с ;

Z – висота встановлення флюгера, м ;

k – постійна Кармана ($\sim 0,4$);

d_{II} – діаметр частки, м ;

U_* – динамічна швидкість потоку, м/с .

Значення U_* для золових частинок з агрегатною щільністю $\rho_a = 2,6 \text{ г/см}^3$ показані на рис. 3.9 [355].

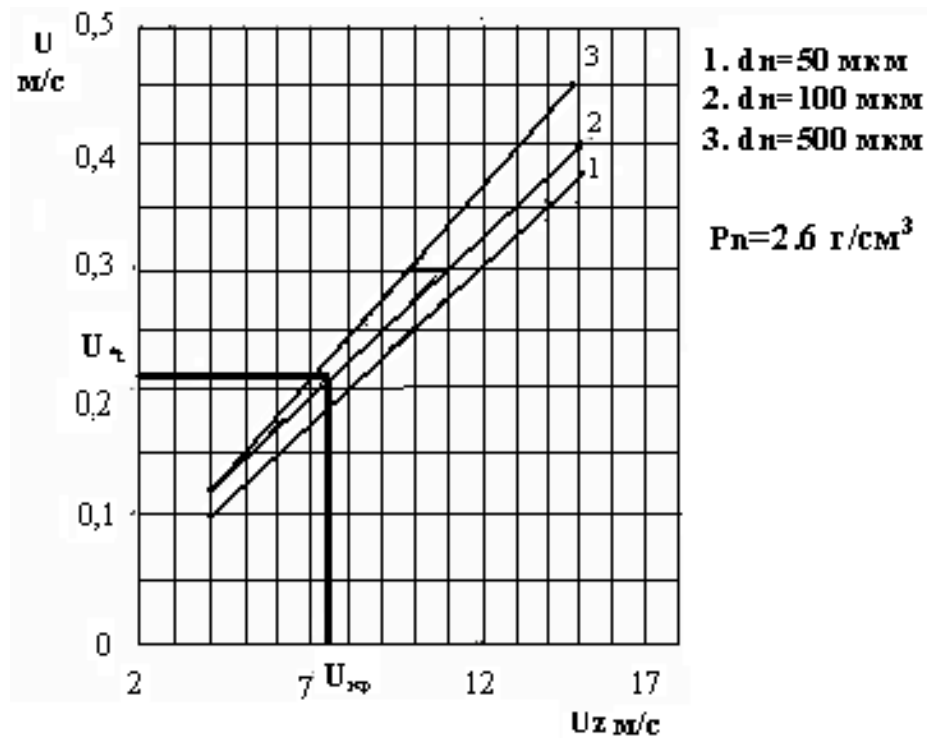


Рис. 3.9. Динамічна швидкість вітроповітряного потоку при різній швидкості вітру на рівні флюгера ($Z = 10\text{м}$)

Мінімальне значення U_{*t} , (м/с), що відповідає початку запилення, визначається за графіком (рис. 3.10) або за формулою (3.38):

$$U_{*t} = A \cdot (\delta \cdot g \cdot d_n)^{0.5} \quad (3.38)$$

де: $\delta = \rho_n / \rho_v$

ρ_v - густина повітря, кг/м^3 ;

ρ_n - агрегатна щільність пилових частинок, кг/м^3 ;

g - прискорення сили тяжіння, м/с^2

d_n - діаметр частинки, м;

A - емпіричний коефіцієнт, що приймається рівним $0,08 \div 0,12$.

Для кожного окремого випадку складування золошлаків рекомендується мінімальна швидкість вітру $U_{кр}$ на рівні флюгера, що відповідає пороговій динамічній швидкості на U_{*t} , при якій починається запилювання поверхні золошлаковідвалу. Визначення цієї величини рекомендується розрахунковим шляхом, виходячи із залежності (3.37) за

формулою (3.39), якій відповідає графік на рисунку 3.10, або спостереженнями по даному об'єкту [164, 216, 355].

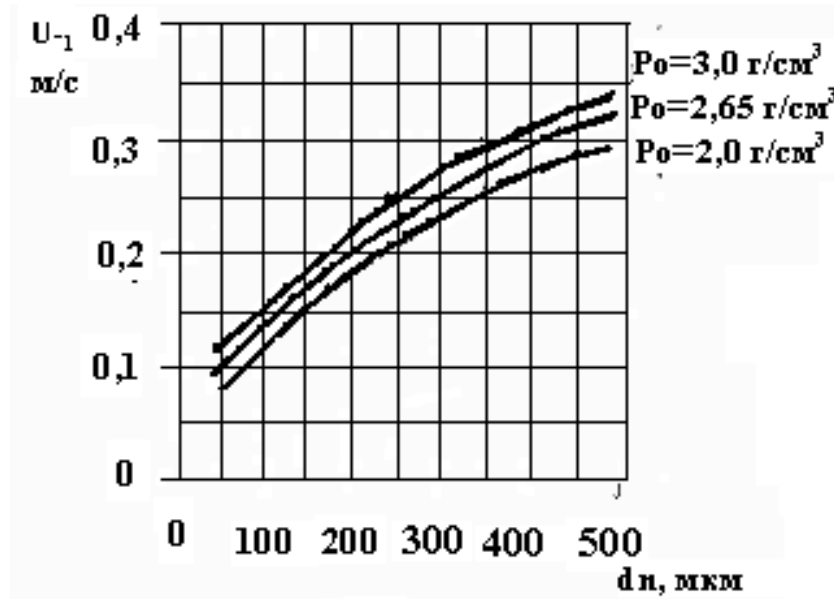


Рис. 3.10. Значення порогової швидкості U_{*t} при $A=0,1$

$$U_{kp} = [2,5 \cdot \ln\left(\frac{z}{d_{II}}\right) + 8,5] \cdot U_{*t} \quad (3.39)$$

де: Z — висота встановлення флюгера, м;

d_{II} — діаметр частинки, м;

U_{*t} — порогова (мінімальна) динамічна швидкість, м/с.

Поведінка золошлакових частинок в шарі при поздовжньому вітровому впливі характеризується фізичними властивостями матеріалу та індивідуальними властивостями кожної частинки (розмір, щільність, конфігурація, парусність), умовами її фізико-хімічного впливу в шарі із суміжними частками (адгезійні властивості, хімічний вплив), а також структурою шару частинок (вологість, гранулометричний склад) і умовами його формування (насипний, наливний).

Вплив гранулометричного складу відкладень на пилящі властивості шару носить екстремальний характер. Найбільша здуваємість характерна для шару з переважанням частинок розміром $0,05 \div 0,2$ мм. Малопилящий характер властивий поверхні золошлакових відкладень, що утворена

частинками $d_{II} < 0,05$ мм, що обумовлено взаємодією між частинками при їх більш щільній упаковці. Зі збільшенням частки частинок розміром понад $0,25 \div 0,3$ мм (за рахунок фракціонування при наміванні шару, або в міру ерозійного виснаження поверхні сухої ділянки) інтенсивність здування золошлаків різко знижується.

Визначальним фактором хімічної взаємодії золових частинок з утворенням різного ступеня стійкості зцементованих конгломератів визначається вмістом оксиду кальцію CaO .

При вмісті $CaO < 10$ % в золошлаковідвалі при наміванні та зберіганні немає структурної перебудови зернового складу поступаючих золошлаків. При вмісті $CaO = 10 \div 25$ % існує часткова структурна перебудова, що приводить до утворення на золошлаковому полі локальних ділянок слабо зцементованих відкладень. Золошлаки з вмістом $CaO > 25$ % самоцементуються в моноліт, що є стійким до атмосферних впливів.

Інтенсивність вітрової ерозії поверхні залежить від способу формування шару - для намитого шару золошлаковідвалу вона на порядок нижче, ніж для насипного і неущільненого шару. Ці відомості свідчать про суттєву різницю умов запилення сухих свіжонамитих ділянок і зон вторинного запилення, поверхня котрих утворена осадженими еродованими частинками.

Капілярне зволоження поверхні шару, застосування зрошування в якості способу боротьби з пилом, опади, талі води змінюють вологість матеріалу та є тими факторами, що впливають на запилювання поверхні золошлаковідвалу. Запилювання характерне для ділянок, де вологість поверхні шару складає $1 \div 3\%$ (повітряно-сухий матеріал), і повністю відсутнє при вологості більше $6 \div 7\%$.

Інтегральна характеристика еродованості частинок представлена питомою здуваємістю матеріалу m_O , яка визначається експериментально шляхом продування в аеродинамічній трубі проб золи, відібраних на

золошлаковідвалі, з моделюванням умов наміву золи. Для наближеної оцінки порядку величини m_o рекомендується емпірична залежність [355]:

$$m_o = c \cdot U_* (U_*^2 - U_{*t}^2) \quad (3.40)$$

де: c – універсальна стала ($c = 100$);

U_* – динамічна швидкість потоку;

U_{*t} – порогова (мінімальна) динамічна швидкість.

Відомі три форми руху еродованих пилових частинок під дією повітряного потоку:

- сальтація (стрибкоподібне переміщення);
- в завислому стані;
- безвідривне переміщення частинок по поверхні (перекочування).

Зола, що здувається з поверхні золошлаковідвалу і виноситься за його межі є полідисперсною з пиловими частинками субмікронних розмірів до 500 мкм (витаючі – розміром до 40 мкм та гравітуючі, які беруть участь в сальтованому русі, - розміром до 500 мкм).

Великі частинки розміром понад 500 мкм переміщуються по поверхні під дією лобового зусилля повітряного потоку безвідривно. Ці частинки практично не виносяться за межі золошлакового поля. Витаючі частинки захоплюються вітровим потоком і розсіюються на значній відстані від золошлаковідвалу.

При сальтації частинка, отримуючи початковий підйомний пульс від повітряного потоку, переміщається вниз під впливом сили тяжіння і сили тертя об повітря. Критерієм поділу процесів сальтації і перенесення суспензії служить відношення динамічної швидкості U_{*t} до швидкості гравітаційного осідання частинок V_t . Граничний розмір пилової частинки d_{GP} (мінімальний розмір сальтуючої частинки), що розділяє витаючі та сальтуючі частинки, відповідає значенню комплексу

$$\frac{U_{*t}}{V_t} = 1,0 \quad (3.41)$$

Рекомендується визначення значення граничного розміру пилових частинок $d_{гр}$ по графіку на рисунку 3.11.

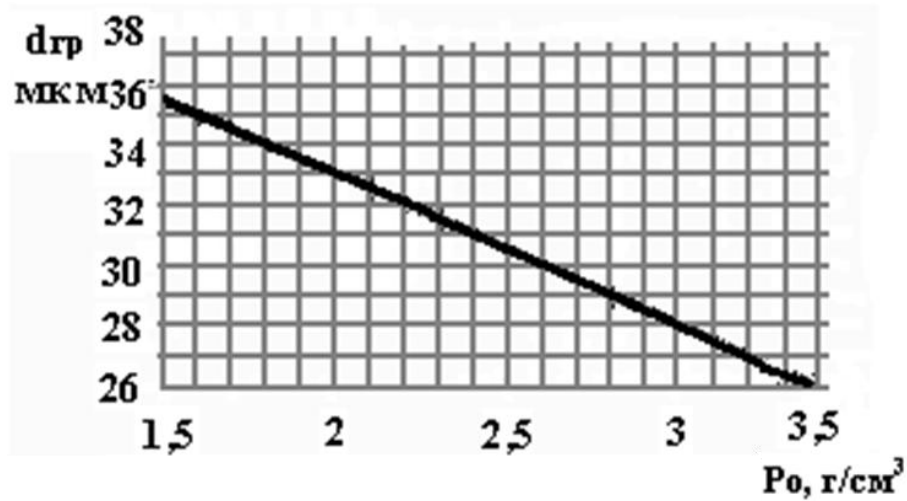


Рис. 3.11. Значення граничного розміру частинок $d_{гр}$ при різній агрегатній щільності золи [355].

Кожному значенню швидкості вітру на висоті флюгера U_z відповідає свій граничний (максимальний) розмір еродованої частинки d_{max} , що визначається із співвідношення U_{*t}/U_t по графіку на Рис. 3.12.

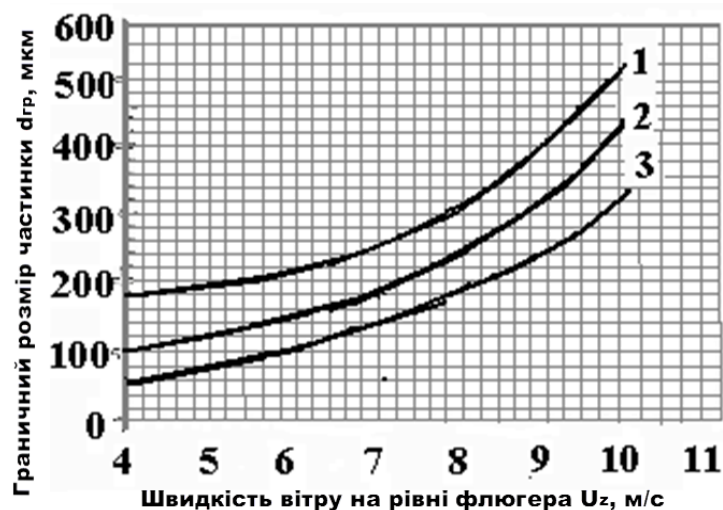


Рис. 3.12. Значення граничного розміру еродованих золових частинок при різних швидкості вітру на рівні флюгера для різної щільності пилових частинок $\rho_{п}$: 1 - $\rho_{п} = 3,0 \text{ г/см}^3$; 2 - $\rho_{п} = 2,65 \text{ г/см}^3$; 3 - $\rho_{п} = 2,0 \text{ г/см}^3$ [355].

Визначення висоти підйому еродованої частинки h (без урахування впливу піднімаючих повітряних потоків і турбулентних вихрових утворень) рекомендується по формулі:

$$h = \frac{U_{E\Phi}^2}{g} \cdot \frac{1}{a} \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{a} \right) \cdot \ln(1 + a) - 1 \right], \text{ м} \quad (3.42)$$

$$a = 0,0383 \cdot \frac{U_* \cdot U_{E\Phi}}{\sigma \cdot d_{\Pi}}$$

де: $U_{E\Phi}$ - швидкість вітру на рівні осі пилової хмари, що дорівнює $0,8 U_z$;
 g - прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;
 d_{Π} - діаметр частинки, м.

Визначення прольоту (м) сальтуючої частинки над золошлаковим полем рекомендується залежністю:

$$L_{\Pi} = \frac{h}{V_t} \cdot U_{E\Phi}, \quad (3.43)$$

де: h - висота підйому еродованої частинки, м;
 V_t - швидкість гравітаційного осідання частинок, м/с ;
 $U_{E\Phi}$ - швидкість вітру на рівні осі пилової хмари, що дорівнює $0,8 U_z$

На довжині перельоту поодинокі пилові частинки від навітряного кордону ділянки пиління L_{np} , відбувається наростання маси еродованих частинок, які переносяться вітроповітряним потоком, де відсутнє осідання відірваних від поверхні частинок.

На наступній ділянці процес видування частинок з шару характеризується переходом еродованих сальтованих частинок з потоку на поверхню, а так само і участю у вторинному запиленні. Умови відриву від шару осаджених еродованих частинок (вторинного запилення) істотно

відрізняються від характеру відриву пилових частинок від намитого шару (первинного запилення). Інтенсивність здуву частинок при вторинному запиленні істотно вища. Тому, весь еродований матеріал первинного здуву, включаючи витаючі та сальтовані частинки (з усієї пилящої неекранованої ставком поверхні золошлаковідвалу) виноситься до межі золошлакового поля (до огорожувальної дамби відвалу). Ділянка безпосередньо перед огорожувальною дамбою, сама дамба, її низовий укіс, дренажні і нагірні канали - це зони знепилювання вітрового потоку. У зоні знепилювання вітрового потоку діють гравітаційні сили і турбулентна дифузія.

Розрахункова оцінка вітрової ерозії золових шлаків ТЕС

При оцінці пилових викидів золошлаковідвалів ТЕС рекомендується прийняття наступних вихідних положень:

- враховуючи виніс всіх еродованих витаючих частинок вітроповітряним потоком за межі золошлаковідвалу, осадження їх на поверхні ставка-освітлювача і дамби є малоімовірним;
- сальтуючі частинки повністю екрануються відстійним ставком, при оцінці пилящих властивостей об'єктів середній розмір частки d_{Π} рекомендується приймати по найбільш характерному (середньозваженому) розміру еродованих частинок в діапазоні від $d_{\max}$ до 0;
- при оцінці забруднення повітряного басейну пилящих золошлаковідвалів рекомендується здійснювати розрахунок як для лінійного джерела, розташованого на кордоні відвалу з підвітряного боку, при цьому висотний розмір даного джерела дорівнює висоті пилящої хмари;
- однорідність гранулометричного складу матеріалу на запиленій поверхні - одна з умов розрахунку;
- оцінка запилення рекомендується для нормальних, характерних для даного регіону метеорологічних умов, не враховуючи можливість аномальних атмосферних явищ (смерч, ураганні вітри), які можуть привести до нерозрахованого катастрофічного здування складованого дрібнозернистого і пилоподібного матеріалу;

- для існуючих золошлаковідвалів рекомендуються наступні параметри: площа і положення пилящих ділянок золошлакового поля; гранулометричний склад на пилящих ділянках; період запилювання (швидкість вітру, що відповідає початку запилення золошлаковідвалу, тривалість періоду, протягом якого можливе запилювання); висота пилової хмари над поверхнею золошлаковідвалу і на гребні дамби.

Для проектуємих золошлаковідвалів рекомендуються:

- площа ставка-освітлювача – по проектних матеріалах (до $70 \div 80\%$ площі золошлаковідвалу)
- площа пилящої ділянки – до 20% поверхні сухих пляжів;
- зосередження пилящих ділянок біля дамби з підвітряної сторони;
- середня вологість пилящих частинок $W_{II} = 2,5 \%$;
- середня швидкість вітроповітряного потоку, що здійснює перенесення еродованих частинок над поверхнею золошлаковідвалу (на осі пилової хмари) – $0,8U_{cp}$;
- висота пилової хмари на гребені дамби - $2h$, тобто подвоєна висота підйому еродованих частинок над золошлаковим полем.

При відсутності окремих характеристик вітрової ерозії для існуючих золошлаковідвалів рекомендується прийняття значень відповідних характеристик для проектованих об'єктів.

Викид золових частинок в атмосферу за межі санітарно-захисної зони золошлаковідвалу визначають за формулою [234], т/рік:

$$M_B = M_E \cdot \left(\frac{1 - [\mu_0 - \mu_{ГР.СЗЗ}]}{\mu_0} \right), \quad (3.44)$$

де: M_E - річний винос золових частинок по кожному напрямку вітру; μ_0 - початкова концентрація пилових частинок на сході з дамби; $\mu_{ГР.СЗЗ}$ - запиленість на зовнішньому кордоні санітарно-захисної зони, що визначається інструментальними вимірами або розраховується за формулою.

Інтенсивність вітрової ерозії поверхні залежить від способу формування шару. Для намитого шару золошлаковідвалу вона є на порядок нижчою, ніж

для насипного та неущільненого шару. Це вказує на істотну відмінність умов запилення сухих свіжонамитих ділянок і зон вторинного запилення, поверхня яких утворюється відкладеними еродованими частинками.

Перенесення золівих частинок, що надходять в атмосферу з відкритої поверхні золошлаковідвалу та підстилаючої поверхні в прилеглій зоні здійснюється згідно з іншим механізмом, ніж процеси розсіювання в атмосфері твердих частинок з димовими газами теплових електростанцій і твердофазних випадінь з димового факела.

Приземна концентрація частинок пилу на відстані X від дамби з урахуванням фоновго забруднення визначається за формулою [355]:

$$\mu_X = \mu_0 \cdot e^{-\alpha \cdot X}, \quad (3.45)$$

де: X - відстань від дамби по осі запилення, м (10, 50, 100, 250, 500, 1000).

Початкова концентрація пилових частинок на сході з дамби (мг/м^3), визначається за формулою:

$$\mu_0 = \frac{M_{EP}}{L_{II} \cdot h_0 \cdot U_{E\Phi}}, \quad (3.46)$$

де: L_{II} - політ сальтованої частинки над золошлаковим полем (ширина пилової хмари), м; h_0 - висота пилової хмари на дамбі, м та знаходиться за формулою:

$$h_0 = 2 \cdot h, \quad (3.47)$$

де: h - висота підйому еродованих частинок (не враховуючи можливого впливу висхідних повітряних потоків і турбулентних великомасштабних вихрових утворень).

Ділянка безпосередньо перед огорожувальною дамбою, сама дамба, її низовий укіс, дренажні та нагірні канали в межах відвалу і санітарно-захисна зона з природними і штучними пилоосаджувальними лісосмугами є зоною знепилювання вітрового потоку, в якій діють гравітаційні сили й турбулентна дифузія.

Швидкість повітряного потоку визначає не тільки інтенсивність

здування золових частинок з поверхні золошлаковідвалу (питома здуваємість з одиниці поверхні), але також протяжність фронту запилення (в результаті залучення в процес вітрової ерозії нових місць запилення, розосереджених по поверхні відвалу) та висоту пилової хмари, що формується над золошлаковим полем.

Облік конструктивних, плануючих і природно-кліматичних факторів рекомендується введенням ряду поправочних коефіцієнтів $K_1 \div K_4$ до розрахункової величини здуву:

K_1 - обезпилення пилового потоку за рахунок осадження золових частинок при обтіканні дамби. Значення K_1 рекомендується в залежності від перевищення гребеня дамби відносно рівня поверхні золошлакового поля за графіком на рисунку 3.13;

K_2 - стан поверхневого шару (кіркоутворення, агрегативання золових частинок в шарі в результаті хімічної взаємодії) в залежності від вмісту окису кальцію в золі:

$$K_2 = 1,0 \text{ при } CaO < 10 \%;$$

$$K_2 = 1 - 1,6129 \cdot 10^{-3} (CaO)^2 \text{ при } CaO = 10 \div 25 \%; K_2 = 0 \text{ при } CaO > 25 \%;$$

K_3 - захищеність об'єкта від вітрового впливу (вплив висотних елементів рельєфу, спеціальних вітрозахисних споруд, лісопосадок) і закріплення поверхні зольного пляжу. Вибір значення коефіцієнта K_3 рекомендується по таблиці 3.11 [355]. При одночасному впливі декількох факторів захищеності величина коефіцієнта K_3 - це добуток відповідних коефіцієнтів.

K_4 - застосування оперативних методів пилеподавлення (зрошення пилящої поверхні водою та ін.). Вибір значення коефіцієнта K_4 рекомендується по таблиці 3.12 [355].

Гранулометричний склад поверхні пилящих ділянок відвалу рекомендується визначати експериментальним шляхом для даного конкретного складованого матеріалу при характерною вологості, або за довідковими даними для заплавної золошлакової зони відвалу [378].

Таблиця 3.11 – Значення поправочного коефіцієнта K_3 , що враховує захищеність золошлаковідвалу від вітрового впливу (вплив висотних елементів рельєфу, спеціальних вітрозахисних споруд, лісопосадок) і закріплення поверхні зольного пляжу [355]

Фактори захищеності відвалу від запилення	K_3
1. Закриття золошлаковідвалу висотними елементами рельєфу: - з одної сторони - з двох сторін - з трьох сторін	 0,6 0,3 0,15
2. Спорудження суцільних бар'єрів по периметру дамб золошлаковідвалу (решітчасті огорожі, прокладка пульпопроводів по гребеню дамби, лісосмуги вздовж кордонів відвалу)	0,7
3. Відносне збільшення висоти дамби, розташованої з підвітряної сторони по відношенню до переважаючих вітрів	0,85
4. Закріплення поверхні зольного пляжу в'язучими речовинами (кіркоутворення)	0,1
5. Закріплення поверхні зольного пляжу шлаком	0,05
6. Закріплення поверхні зольного пляжу захисним шаром із зв'язного ґрунту (суглинок, глина)	0,02

Примітка: При одночасному впливі декількох факторів захищеності коефіцієнт K_3 визначається перемноженням відповідних коефіцієнтів.

При оцінці вітрової ерозії (т/рік) і середньорічного поточного виносу частинок (г/с) з поверхні золошлаковідвалу рекомендується визначення

окремих характеристик еродованого матеріалу і вітрового режиму в такий спосіб:

- середня швидкість вітру на рівні флюгера U_{CP} в зоні розміщення золовідвалу приймається як середньозважене значення в діапазоні від швидкості вітру (початок здуву золових частинок U_{KP}) до максимальної швидкості вітру U_{MAX} з урахуванням повторюваності градацій швидкостей;

- середній розмір еродованих частинок d_{CP} приймається як середньозважена величина в діапазоні від d_{MAX} до 0:

$$d_{CP} = \frac{\sum (d \cdot a) i}{\sum d_i} \quad (3.48)$$

де: d_i – середній розмір частинок i -ої фракції;

a – доля частинок i -ої фракції;

i – число фракцій еродованих частинок.

Таблиця 3.12 – Значення поправочного коефіцієнта K_4 , що враховує захищеність золошлаковідвал при застосуванні оперативних методів боротьби з пилом [355]

Метод оперативного pileподавлення	K_4
1. Підняття рівня води в ставку-освітлювачі вище рівня золового пляжу	0÷0,2
2. Періодичне зрошення сухих пляжів стаціонарними дощувальними пристроями або поливальними машинами	0,1÷0,5
3. Змочування сухих пляжів освітленою водою, яка подається по резервному пульпопроводі розвідної мережі	0,2÷0,3
4. Почастішання перемикування пульповипусків в теплу пору	0,7

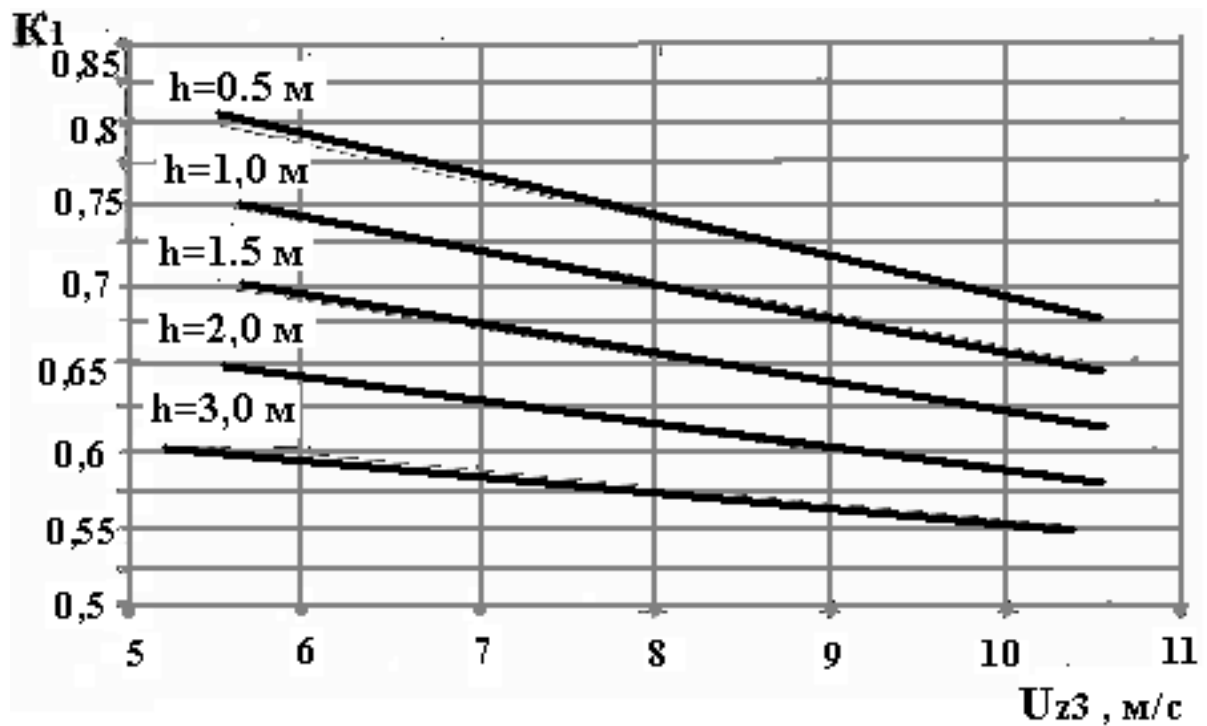


Рис. 3.13. Залежність коефіцієнта перенесення золівих частинок при обтіканні дамби K_1 від швидкості вітру U_z при різних перевищеннях гребеня дамби над зольним пляжем h [355]

Максимальний розмір еродованих частинок d_{MAX} рекомендується визначати по середній швидкості вітру в пиленебезпечний період U'_{CP} , початкове значення якого рекомендується рівним $5 \div 7$ м/с, далі рекомендується послідовне визначення: $d_{MAX} \rightarrow d_{CP} \rightarrow U_{*t} \rightarrow U_{KP} \rightarrow U_{CP}$

При розбіжності значень U'_{CP} и U_{CP} більш ніж на 0,2 м/с рекомендується повторний розрахунок, після коригування значення U'_{CP} .

Розрахунок тривалості періоду можливої вітрової ерозії поверхні золошлаковідвалу τ_{II} рекомендується на основі двох основних тимчасових характеристик:

- відносної тривалості пиленебезпечного вітрового режиму $\tau'_{U_{KP}}$, коли швидкість вітру на флюгері U_z більша швидкості початку запылення U_{KP} (яка визначається по середньозваженому розміру еродованих частинок);

- відносної тривалості періоду можливого запылення $\tau'_{ПОВ}$ по стану поверхні золошлаковідвалу, що виключає з розглянутого періоду τ тривалість

періодів вкриття золових пляжів стійким сніговим покривом, зволоження опадами і талими водами [355]:

$$\tau'_{ПОВ} = 1 - (\tau'_{CH} + \tau'_{OC} + \tau'_T + \tau'_{ШТ}) \quad (3.49)$$

де: τ'_{CH} - відносна тривалість стійкого снігового покриву, год.;

τ'_{OC} - відносна тривалість опадів у вигляді дощу і мокрого снігу, год.;

τ'_T - відносна тривалість зволоження поверхні золошлаковідвалу талими водами, год.;

$\tau'_{ШТ}$ - відносна тривалість штилю, год.

В цілому визначення тривалості періоду (год.) можливої вітрової ерозії (запилення) поверхні золошлаковідвалу рекомендується накладенням двох розглянутих тимчасових характеристик [355]:

$$\tau_{ПИЛ} = \tau \cdot \tau'_{ПОВ} \cdot \tau'_{Ukr} \text{ або}$$

$$\tau_{ПИЛ} = \tau \cdot [1 - (\tau'_{CH} + \tau'_{OC} + \tau'_T + \tau'_{ШТ})] \cdot \tau'_{Ukr}, \quad (3.50)$$

де: τ - тривалість розглянутого періоду, год.

Поточний виніс золових частинок з поверхні золошлаковідвалу (г/с).

При швидкості вітру вище критичної U_{KP} (нижче якої $m_0 = 0$).

$$M_{ВИН} = M_{ВИН ВИТ} + M_{ВИН САЛЬТ}, \quad (3.51)$$

де: $M_{ВИН ВИТ}$ - маса витаючих частинок, що виносяться за межі золошлаковідвалу,

$M_{ВИН САЛЬТ}$ - маса сальтуючих частинок, що виносяться за межі золошлаковідвалу.

$$M_{ВИН} = m_0 \cdot (n_{ВИТ} \cdot S + n_{САЛЬТ} \cdot S_{ЕФ} \cdot K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (3.52)$$

де: m_O – питома здуваємість матеріалу пилящої поверхні при даному значенні швидкості потоку на висоті флюгера, $\text{г/м}^2\text{с}$, що визначається експериментально продувкою проб золи з пилящих ділянок золошлаковідвалу в аеродинамічній трубі з моделюванням умов наміву золи і з приведенням до швидкості потоку на висоті флюгера;

$n_{\text{ВИТ}}$, $n_{\text{САЛЬТ}}$ – частина витаючих і сальтуючих частинок в здуваючій золі;

$S_{\text{ЕФ}}$ – ефективна площа пилящої поверхні (м^2), на якій завершується наростання в потоці маси сальтованих частинок:

$$S_{\text{ЕФ}} = S - S_{\text{ЕК}} \quad (3.53)$$

де: S - повна площа пилящої поверхні золошлаковідвалу, м^2 ;

$S_{\text{ЕК}}$ - частина пилящої ділянки золошлаковідвалу, екранованого відстійним ставком (яка перебуває з навітряного боку відносно ставка), м^2 .

У роботі [355] наводиться питома здуваємість золових відкладень на відвалах деяких електростанцій, що використовують вугілля різних родовищ.

При швидкості вітру на рівні флюгера, близької до $U_{\text{КР}}$ (швидкість вітру, при якій починається здув золових частинок) запилення носить локальний характер. При збільшенні швидкості вітру зберігається осередкований характер запилення, вузькі шлейфи запиленого вітроповітряного потоку переносяться через дамбу. При швидкості вітру, що досягає 6,8 м/с, що відповідає максимальній швидкості вітру U_{max} з повторюваністю 5%, фронт запилення (ширина пилової хмари $L_{\text{П}}$) зростає до 0,5 від протяжності дамби $L_{\text{Д}}$. Орієнтовно ширина пилової хмари може бути визначена за формулою [234, 355]:

$$L_{\text{П}} = 0,5 \cdot L_{\text{Д}} \frac{(U_{\text{З}} - U_{\text{КР}})}{(U_{\text{max}} - U_{\text{КР}})}, \quad (3.54)$$

де: $L_{\text{Д}}$ - довжина дамби, м.

У цьому ж діапазоні значень швидкостей вітру верхня межа пилової

хмари, що переміщується над поверхнею золошлакового поля, змінюється від 0,2 до 3 м.

При $U_z > U_{кр}$ запилення може охопити поверхню всіх потенційно запилених ділянок сухого пляжу (до 20% площі сухого пляжу), а схід пилової хмари відбуватиметься по всій довжині греблі, виключаючи ділянку, що екранована відстійним ставком.

Викиди твердих частинок, що здуваються з поверхні золошлаковідвалу

Розрахунок викидів твердих частинок, що здуваються з поверхні золошлаковідвалу пропонується розраховувати за наступною формулою [234, 355], г/с:

$$M_{зд} = 86,4 \cdot K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot S \cdot W \cdot j \cdot (365 - T), \quad (3.55)$$

де: K_0 - коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу 0,1 - 1,0;

K_1 - коефіцієнт, що враховує швидкість вітру 2 - 0,5;

K_2 - коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок 0,1 - 1,0;

S - площа поверхні, на якій відбувається запилення, м²;

W - питома здуваємість твердих частинок з запиленої поверхні кг/м²;

j - коефіцієнт подрібнення гірської маси 0,1 - 1,0;

T - річна кількість днів з стійким сніговим покривом.

Річний винос золових частинок або еродованість об'єкта (т/рік) рекомендується визначати як суму виносу золових частинок по кожному напрямку вітру:

$$M_{EP} = \sum M_{EPi} \quad (3.56)$$

де: M_{EPi} - річний винос золових частинок по кожному напрямку вітру:

$$M_{EPi} = m_O^{CP} \cdot (n_{ВИТ} \cdot S + n_{САЛЬТ} \cdot S_{ЕФ} \cdot K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \tau_{ПІЛ} \cdot 3,6 \cdot 10^{-6}, \text{ т/рік} \quad (3.57)$$

де: m_O^{CP} - питома здуваємість в г/м²с, що відповідає середній швидкості вітру U_{CP} ;

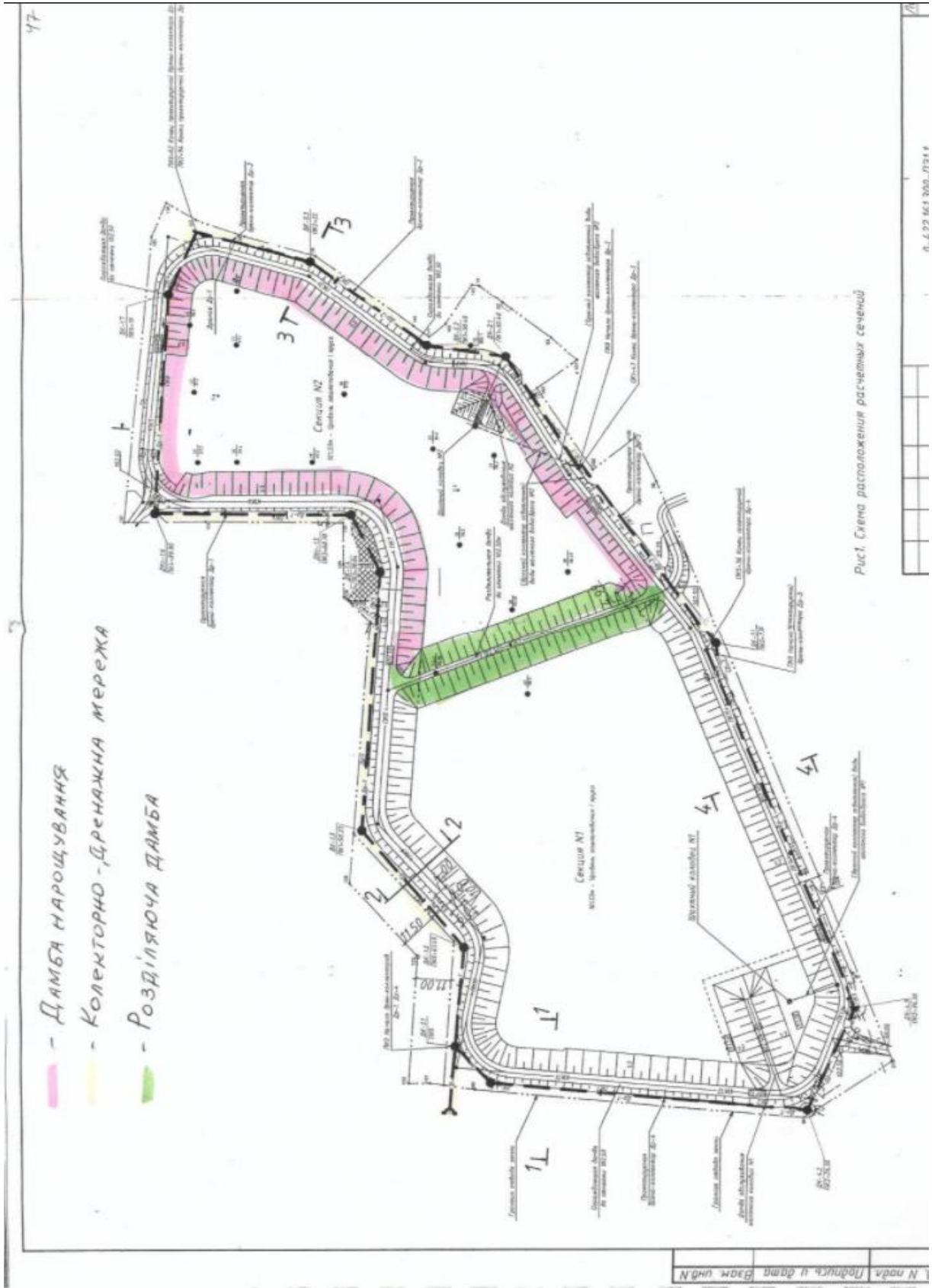
K_1, K_2, K_3, K_4 - поправочні коефіцієнти;

$\tau_{ПІЛ}$ - тривалість періоду запилення, год.

Тобто, можна зробити висновок, що при відсутності спеціальної апаратури запропоновані формули (3.45, 3.54- 2.57), що засновані на певній фізичній моделі процесу вітрової ерозії, дають змогу оцінити вплив золошлаковідвалу на приземний шар повітря.

Перенесення золових частинок, що надходять в атмосферу з відкритої поверхні золошлаковідвалу та підстилаючої поверхні в прилеглий зоні здійснюється по іншому механізму, ніж процеси розсіювання в атмосфері від точкових і площадкових стаціонарних джерел забруднення. Тому всі програмні засоби, що дозволяють здійснювати оцінку техногенного навантаження на приземний шар атмосфери від таких джерел забруднення, а саме AirQUIS, AQMIS, AquisNet, AirWare, SAAQIS, VIAC HC, ЕОЛ-2000[h], Комплекс програм АРМ ЕКО тощо не можуть бути використані для оцінювання впливу золошлаковідвалу на стан атмосферного повітря.

Оцінювання впливу місць зберігання відходів ППЕК на довкілля здійснювалося на майданчику золошлаковідвалу Дарницької ТЕЦ (ТЕЦ-4, ТОВ «Євро-Реконструкція», м. Київ). Його схематичне представлення та ситуаційна схема показані на рис. 3.14 та 3.15. Разові проби АП для дослідження їх на вміст забруднюючих речовин (вуглецю оксид, пил, азоту діоксид, ангідрид сірчистий, сажа) на майданчику цього золошлаковідвалу та поза його межами були відібрані в шести точках 02.08.2018р. та 19.09.2018р. при південно-західному та північно-східному напрямках вітру відповідно. На рис. 3.16. показано схему розташування точок відбору проб атмосферного повітря при північно-східному та південно-західному напрямках вітру. Точки 1 та 2 знаходились на межах золошлаковідвалу, точка 3 на відстані 150м від точки 1, точка 4 на відстані 150м від точки 2, точки 5 та 6 на відстанях 300м та 1000м від точки 2. Дані вимірювання проводила Аналітично-вимірювальна лабораторія ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «ЕКОАЛЬЯНС». При вимірюваннях застосовувались наступні засоби: пробовідбірники «Тайфун» № 297, 308, 301; Психр.МВ – 4М № 6138; УП ЕА 55/11 АМТ № 863; газоаналізатор «Аквілон 1-1».



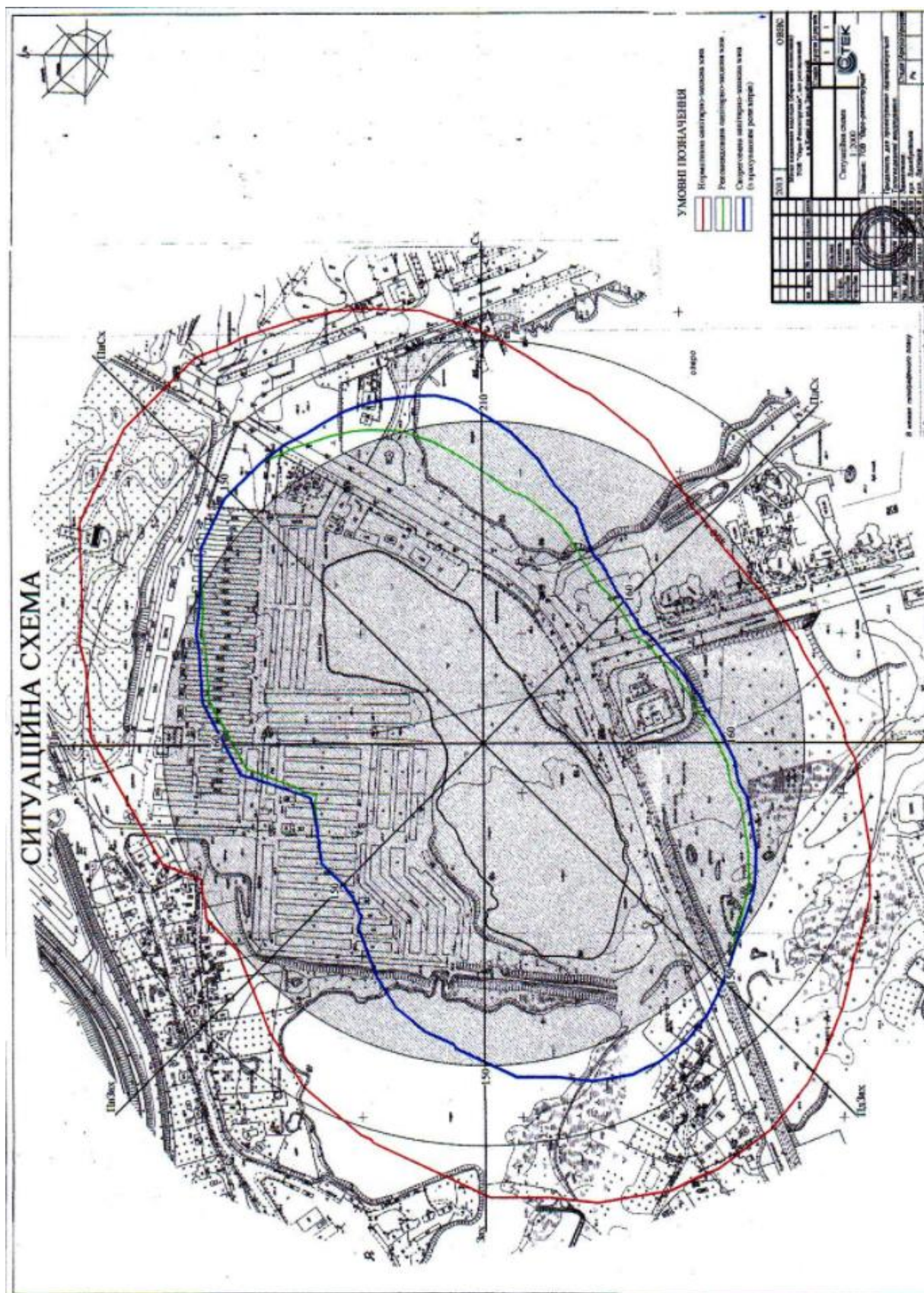


Рис. 3.15. Ситуаційна схема золотшлаковідвалу Дарницької ТЕЦ

Для того щоб оцінити вплив майданчику золошлаковідвалу на прилеглі території необхідно виключити вплив транспорту та інших джерел забруднення. Тому концентрації забруднюючих речовин у точці 1 вважаємо фоном при північно-східному напрямку вітру, у точці 2 – при південно-західному напрямку вітру.



Рис. 3.16. Схема розташування точок відбору проб атмосферного повітря при північно-східному та південно-західному напрямках вітру

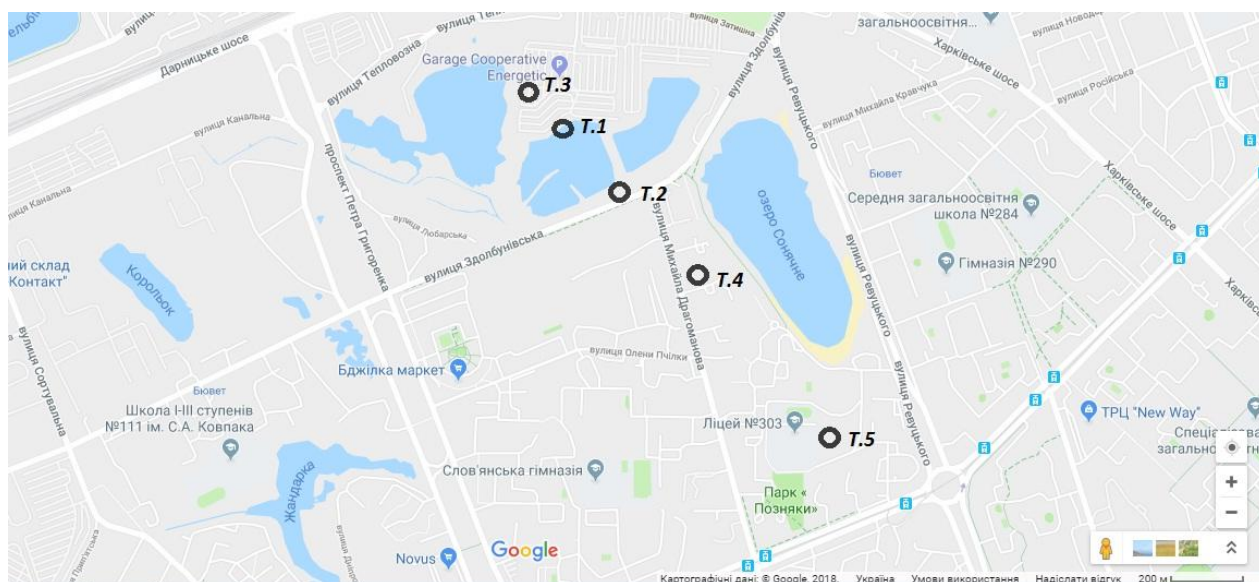


Рис. 3.17. Схема розташування точок відбору проб атмосферного повітря при південно-східному напрямку вітру

Проведені спостереження та їх аналіз показали, що вплив золошлаковідвалу на якість атмосферного повітря як в його межах, так і за ними, не перевищує законодавчо визначеного рівня за всіма досліджуваними речовинами.

Не зафіксовано жодного перевищення максимально разової ГДК по жодній із вимірюваних домішок.

Разом з тим, для визначення можливих перевищень середньо добових ГДК інформації за результатами даних спостережень недостатньо. Проте представлені вимірювання показують, що, найбільш ймовірно, вплив золошлаковідвалу на якість атмосферного повітря як на межах золошлаковідвалу так і поза його межами в контексті середньодобових ГДК також є незначним. Як показують численні дослідження, від таких об'єктів найбільшу загрозу можуть становити забруднення пилом різних фракцій, проте саме щодо даного типу забруднення для всіх вимірів був зафіксований результат *менше* $0,26 \text{ мг/м}^3$. Значення середньодобової ГДК для пилу в Україні встановлено $0,15 \text{ мг/м}^3$. Тому теоретично можна припустити перевищення середньодобової ГДК для пилу на межах золошлаковідвалу так і поза його межами, проте в такому випадку все одно не можна визначити вплив золошлаковідвалу на дане перевищення, яке до того ж є типовим для м. Києва: так за даними ЦГО імені Бориса Срезневського в травні 2018 р. середньомісячні концентрації завислих речовин перевищували рівень ГДКс.д. на Бессарабській площі в 1,3 рази, на проспекті Перемоги – у 1,1 рази, максимальні разові концентрації завислих речовин коливались у межах 0,2-0,4 ГДКм.р.; в жовтні 2018 р. середньомісячні концентрації завислих речовин перевищували рівень ГДКс.д. на Бессарабській площі в 1,3 рази, на проспекті Перемоги – в 1,2 рази; на вулицях Каунаській та Скляренка – були на рівні 1,0 ГДКс.д., максимальні разові концентрації завислих речовин коливались у межах 0,2-0,4 ГДКм.р.

Для моделювання забруднення приземного шару атмосфери пилом від золівідвалу була використана Методика [355], оскільки на території України немає такої затвердженої методики та відсутні відповідні програмні засоби.

Моделювання та прогнозування впливу золошлаковідвалу на довкілля здійснювалося та тестувалося в інформаційно-аналітичній системі еколого-енергетичного моніторингу AISEEM [144, 155, 405], розробником якої є здобувач. Загальна архітектура цієї системи представлена на рис. 3.18. Також було розширено блок «Моделювання» необхідним математичним забезпеченням, яке враховує особливості перенесення золових частинок та процес вітрової ерозії, що в свою чергу дає змогу оцінити вплив золошлаковідвалу на приземний шар повітря.

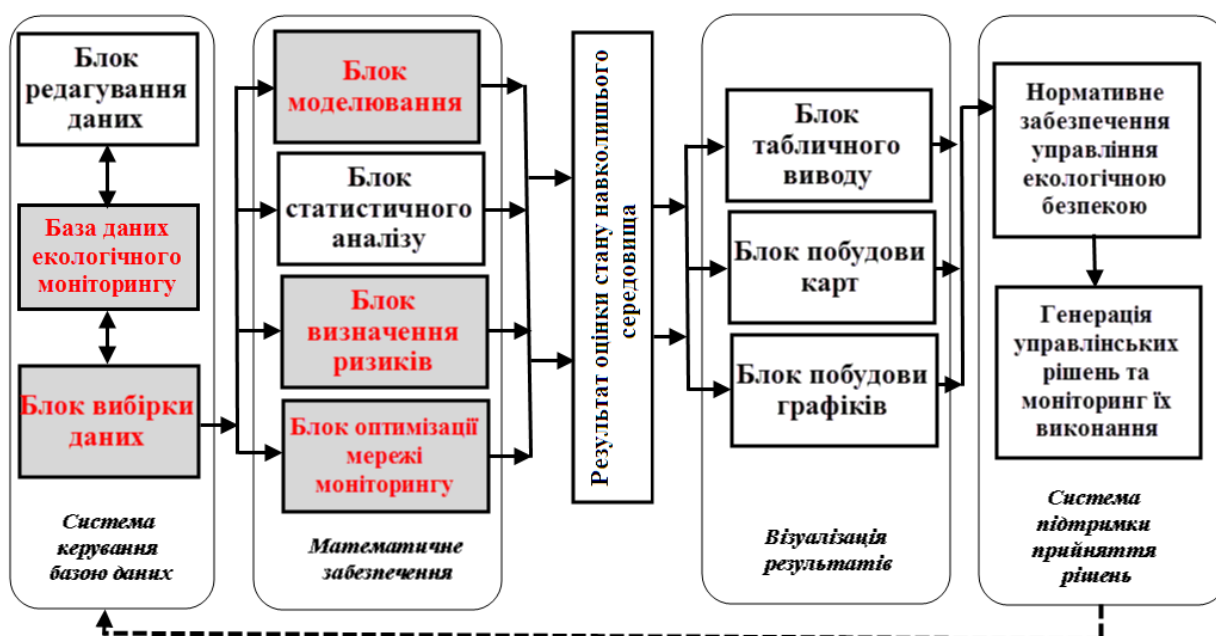


Рис. 3.18. Загальна архітектура програмного забезпечення для моделювання та прогнозування впливу золошлаковідвалів на довкілля

В Методиці [355] є ряд недоліків, основні з яких це нечітке визначення руду коефіцієнтів для визначення річного виносу золових частинок або еродованість об'єкта. До таких коефіцієнтів можна віднести: коефіцієнт α_{cp} ; поправочний коефіцієнт K_4 , що враховує захищеність золошлаковідвалу при застосуванні оперативних методів боротьби з пилом (формули 3.55, 3.57). Для усунення цих неточностей авторами було запропоновано алгоритм

уточнення коефіцієнтів. Для кращого розуміння цього алгоритму на рис. 3.19 схематично представлено золошлаковідвал.

Алгоритм уточнення коефіцієнтів складається з наступних шести кроків:

1. здійснюємо n_α експериментальних вимірів приземної концентрації пилу μ_{xm} (запиленість на відстані X від дамби, мг/м³) при різних напрямках вітру та μ_ϕ (фонове забруднення пилом, мг/м³);
2. коригуємо виміряні значення з урахуванням μ_ϕ :

$$\begin{aligned}\mu_{xa} &= \mu_{xm} - \mu_\phi; \\ \mu_{0a} &= \mu_{0m} - \mu_\phi\end{aligned}$$

3. n разів обчислюємо $\mu_X = \mu_{0a} \cdot e^{-aX}$;
4. із $\sum_{i=1}^{n_\alpha} (\mu_{X_i} - \mu_{X_{a_i}})^2 \rightarrow \min$ знаходимо α – коефіцієнт затухання, 1/м;
5. із $\sum_{i=1}^{n_k} (\mu_{0_i} - \mu_{0_{a_i}})^2 \rightarrow \min$ знаходимо поправочний коефіцієнт K_4 , що враховує захищеність золошлаковідвалу при застосуванні оперативних методів боротьби з пилом;
6. після визначення коефіцієнта K_4 , за необхідності аналогічно знаходимо поправочний коефіцієнт K_3 , що враховує захищеність золошлаковідвалу від вітрового впливу (вплив висотних елементів рельєфу, спеціальних вітрозахисних споруд, лісопосадок) і закріплення поверхні зольного пляжу.

В таблиці 3.13. показано результат уточнення коефіцієнтів α_{cp} , K_4 , для золошлаковідвалу Дарницької ТЕЦ, а також середню похибку моделювання.

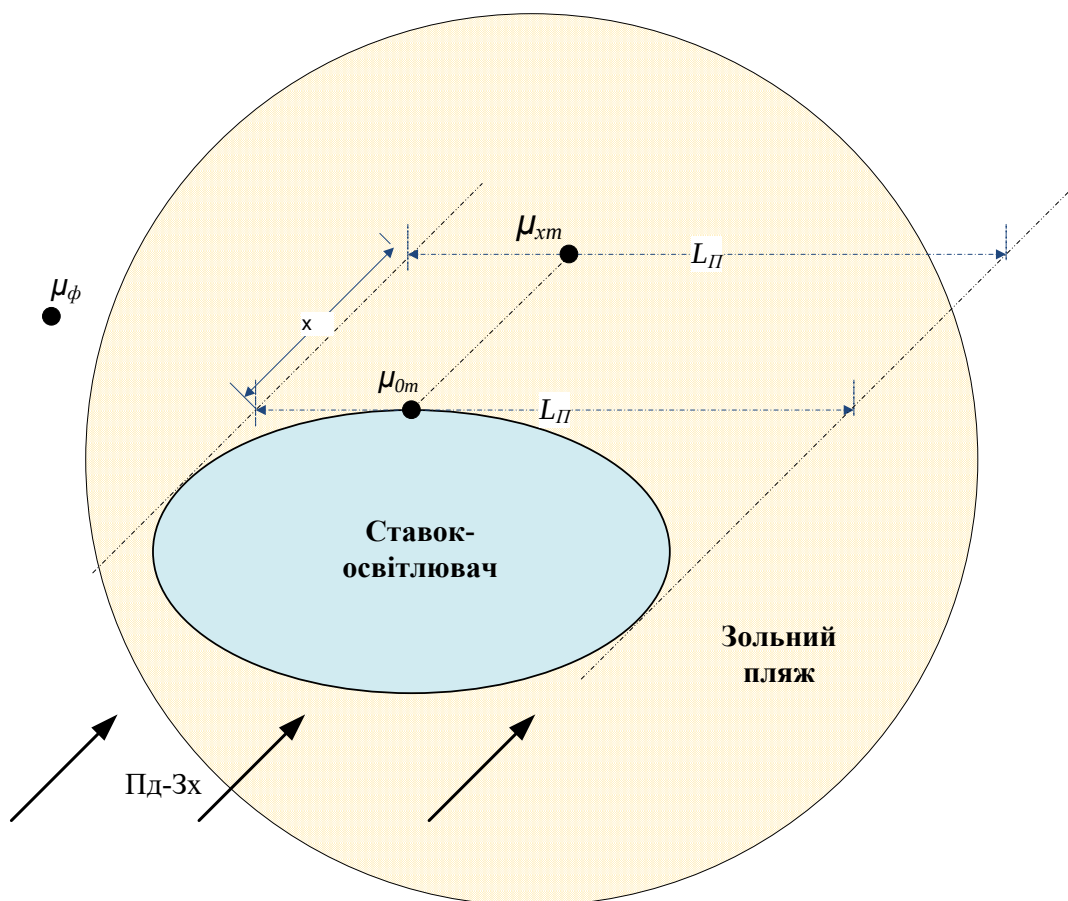


Рис. 3.19. Схематичне представлення золошлаковідвалу

Таблиця 3.13 – Уточнення коефіцієнтів α_{cp} , K_4

Коефіцієнт	Згідно методики	Після уточнення
α	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$
K_4	$0,1 \div 0,5$	0,37
Середня похибка моделювання, %	23	14

Вхідними даними для оцінювання впливу золошлаковідвалу на приземний шар повітря розрахунків були наступні [387]:

1. Вміст СаО (оксид кальцію) в золошлаках 3,4650%.
2. Гранулометричний склад золошлаків на поверхні золошлакової зони сухого пляжу показано в таблиці 3.14.
3. Площа золового поля 138951 м^2

Таблиця 3.14 – Гранулометричний склад золошлаків

Розмір фракції, мкм	%
< 15	33,33
15 - <16	4,67
16 - <30	17,36
30 - <32	1,91
32 - <80	24,52
80 - <90	1,81
<90	16,4

У таблиці 3.15 показано результати розрахунків приземної концентрації пилу до уточнення коефіцієнтів α_{cp} , K_4 [387] та після їх уточнення.

Таблиця 3.15 – Результати розрахунків приземної концентрації пилу (мг/м³)

Відстань від території золовідвалу, м	Приземна концентрація пилу (мг/м ³)			Перевищення ГДК _{мр} для пилу		
	до уточнення [387]	після уточнення	δ	до уточнення [387]	після уточнення	δ
0	2,528	2,705	0,07	5,056	5,41	0,07
100	1,360	1,470	0,07	2,72	2,939	0,07
200	0,732	0,799	0,08	1,463	1,597	0,08
300	0,394	0,434	0,09	0,787	0,868	0,09
400	0,212	0,236	0,10	0,423	0,472	0,10
500	0,114	0,128	0,11	0,228	0,256	0,11
600	0,061	0,070	0,13	0,123	0,139	0,12
700	0,033	0,038	0,13	0,066	0,076	0,13
800	0,018	0,021	0,14	0,035	0,041	0,15
900	0,010	0,011	0,09	0,019	0,022	0,14
1000	0,005	0,006	0,17	0,01	0,012	0,17

Напрям вітру обирався з міркувань найбільш можливого впливу золошлаковідвалу на прилеглі житлові масиви, а швидкість, як потрібна від середньої (2,1 м/с) для місяців (червень-вересень), в які можливе найбільше забруднення повітря від даного об'єкту [387].

Варто зазначити, що проведені розрахунки не показують надмірно шкідливого впливу даного золовідвалу на прилеглі житлові масиви, які розташовані на відстані понад 300 м, що є мінімально допустимим з точки зору п. 8.33 Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів, і це в тому разі, якщо поверхня золошлаковідвалу знаходиться в умовно сухому стані.

3.4.3. Моделі забруднення атмосферного повітря внаслідок подій із розливом радіоактивних рідин

Для визначення ЕЕПУР щодо радіаційно-небезпечних об'єктів запропоновано використовувати математичні засоби моделювання аварійних розливів радіоактивних рідин (автор Кириленко Ю.О. [156, 228]), в результаті випаровування яких здійснюється забруднення АП, що становить загрозу для персоналу та населення прилеглих територій.

Дані моделі, на відміну від аналогів, дозволяють отримати динамічну картину об'ємних концентрацій радіонуклідів в повітрі технологічного приміщення та потужності викиду в навколишнє середовище.

Для розв'язання задачі нестационарного випаровування РРС в роботі пропонується використовувати модель у вигляді системи чотирьох балансових диференціальних рівнянь (3.57) , що пов'язує масові та енергетичні параметри розливів радіоактивних середовищ (РРС) проливу та повітря аварійного приміщення в часі.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dm_w}{dt} = -\beta_{sw}(p_{sw} - p_m)S - G_d \\ \frac{dm_a}{dt} = \beta_{sw}(p_{sw} - p_m)S - G_v \cdot \frac{m_a}{V} \\ \frac{dm_q}{dt} = G_v \frac{m_a}{V} (1 - \psi) \\ \frac{dT_w}{dt} = -\frac{r_w \beta_{sw}(p_{sw} - p_m)S + kF(T_w - T_f)}{c_p m_w} \end{array} \right. \quad (3.57)$$

де m_w – маса пролітої радіоактивної рідини, кг;

$\beta_{sw}(T_{sw}, w)$ – коефіцієнт масовіддачі (нормований для атмосферного тиску) при швидкості набігаючого потоку повітря w , $\text{кг} \cdot \text{Па}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

$p_{sw}(T_{sw})$, $p_m(T_m)$ – тиски насичення РРС при температурі приповерхневого шару випаровування T_{sw} та температурі припливного повітря T_m відповідно, Па;

$T_{sw}(T_w, w)$ – температура приповерхневого шару рідини, К;

S – площа відкритої поверхні випаровування рідини, м^2 ;

F – площа контактної поверхні «рідина – облицювання з температурою T_f », м^2 ;

m_a – маса пароаерозольної складової у повітрі приміщення (за умови ненасичення), кг;

G_d – масова витрата дренажу пролітої рідини, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$;

V – повітряний об'єм приміщення, м^3 ;

G_v – об'ємна витрата вентиляційної системи $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;

k – коефіцієнт тепловіддачі (рідина – облицювання з температурою T_f), $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$

$r_w(T_w)$ – питома теплота пароутворення, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$

$c_p(T_w)$ – питома ізобарна теплоємність рідкої фази, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$

ψ – коефіцієнт фільтрації на фільтрах;

m_q – маса аерозолів, що надійшла до атмосфери, кг

t – час, с.

Кінцевою задачею моделі випаровування РРС є визначення динаміки значень активності ПАРС у повітрі аварійного приміщення та інтегрального викиду радіоактивних речовин в атмосферу для конкретного радіонукліду.

Динаміка активності ПАРС у повітрі аварійного приміщення знаходиться за виразом (3.58).

$$A_{air}(t) = \frac{A_w}{V} H \cdot m_a(t) \quad (3.58)$$

де $A_w(t)$ – масова концентрація радіонукліду у РРС, Бк/кг;

На практиці для як параметр викиду використовують питому величину – масову долю виходу радіонукліда відносно його початкового вмісту в радіоактивній речовини:

$$q = \frac{A_w}{m_0} H \cdot m_q \cdot 100\% \quad (3.59)$$

де: m_0 – початкова маса пролитої радіоактивної рідини, кг

Дана величина виступає в якості вхідного параметру для оцінки приземних концентрацій радіоактивних речовин.

3.5. Висновки до розділу 3

1. Розроблено математичні засоби для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що включають адекватну оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності.

2. Для моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря від викидів об'єктів енергетики при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень запропоновано використовувати комплекс моделей Попова О.О., як такі, що забезпечують високу точність моделювання для різних типів об'єктів та сценаріїв викидів.

Для отримання мінімальної похибки моделювання вдосконалено методи ідентифікації параметрів відповідних моделей, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, розроблено алгоритм зниження розмірності задачі та алгоритм розпаралелення обчислень, що дозволило значно скоротити час розв'язання задачі ідентифікації. Здійснено більш точну ідентифікацію параметрів ряду запропонованих моделей, що дозволило зменшити середню похибку моделювання з 15% до 5% при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

3. Показано, що шкідливі речовини, які входять до складу золошлаків, можуть мігрувати з поверхні золовідвалу через повітряне і водне середовища та забруднювати приземний шар атмосфери, ґрунт, підземні і поверхневі води районів, що розташовані на відстані до декількох кілометрів від накопичувача відходів. Досліджено особливості взаємодії золошлаковідвалів об'єктів паливно-енергетичного комплексу з навколишнім природним середовищем.

4. Показано, що для об'єктів теплоенергетики України, що експлуатували та експлуатують вугільне паливо різних марок, концентрації компонентів у золошлакових відходах варіюються в певних межах, але у всіх випадках основними золошлакоутворюючими компонентами є кисневі сполуки кремнію, алюмінію, заліза, кальцію, магнію та незначна частина елементів у вигляді сульфатів. Також до складу ряду шкідливих речовин-макрокомпонентів в золошлаках входить велика кількість мікроелементів, що відносяться до I-III класів небезпеки. Показано вміст природних радіонуклідів в золошлаковій суміші об'єктів теплоенергетики, що утворюються при різних способах спалювання енергоносіїв. Встановлено особливості впливу токсичних речовин, що містяться у золовідвалах, на довкілля та організм людини.

5. Проведені неодноразові натурні вимірювання концентрацій

забруднюючих речовин в межах золовідвалу ТОВ «Євро-Реконструкція» (ТЕЦ-4) та прилеглих територіях не виявили перевищень ГДК_{мр} для різних забруднюючих речовин, зокрема і для пилу. А, як показують численні дослідження, від таких об'єктів найбільшу загрозу можуть становити саме забруднення пилом різних фракцій.

6. Для оцінки впливу золовідвалів на стан атмосферного повітря запропоновано використовувати закордонну методику розрахунку оцінки вітрової ерозії і пиління золовідвалів теплових електростанцій, для якої розроблено та використано метод уточнення коефіцієнтів, що дозволило зменшити середню похибку моделювання забруднення атмосферного повітря від пиління даних об'єктів з 23% до 14%. На основі удосконалених математичних засобів розроблено відповідне програмне забезпечення, що дає можливість екологічним службам визначати вплив місць зберігання відходів підприємств паливно-енергетичного комплексу на довкілля та населення прилеглих територій при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

7. Проведені розрахунки приземної концентрації пилу (мг/м^3) на різних відстанях від золовідвалу не виявили надмірно шкідливого впливу золовідвалу ТЕЦ-4 на прилеглі житлові масиви, які розташовані на відстані понад 300 м., що є мінімально допустимим з точки зору п. 8.33 Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів. Протестовано та апробовано запропоновані засоби на реальних даних місця зберігання золошлакових відходів ТЕЦ-4. Дані засоби дають можливість відповідним службам визначати вплив місць зберігання відходів ППЕК на довкілля та населення прилеглих територій, та здійснювати ефективне управління екологічною безпекою в зонах впливу золошлаковідвалів.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ ЕНЕРГЕТИКИ НА ПРИКЛАДІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

4.1. Дослідження можливостей існуючих програмних засобів

На сьогоднішній день завдяки стрімкому розвитку інформаційних технологій в усіх промислово розвинутих країнах світу створені і функціонують системи моніторингу довкілля та управління в галузі екологічної безпеки.

Проаналізуємо найпоширеніші [143, 221, 306, 405] сучасні комп'ютерні інформаційно-аналітичні системи в галузі екологічної безпеки та управління, які використовують в розвинутих країнах світу, і в Україні зокрема, для вирішення задач охорони АП, що потенційно можуть бути застосовані при визначенні ЕЕПУР.

Урядова інформаційно-аналітична система з питань надзвичайних ситуацій (УІАС НС). Дана система призначена для інформаційно-аналітичної підтримки процесів підготовки, ухвалення та контролю управлінських рішень стосовно НС. На цей час система діє цілодобово в режимі on-line в усіх територіальних органах управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій. УІАС НС вирішує задачі обробки, аналізу та надання керівництву органів виконавчої влади повної та достовірної інформації щодо при ліквідації наслідків НС, а також прогнозування та моделювання їх виникнення та розвитку [405].

Програмний комплекс ЕОЛ-2000[h]. На сайті Міністерства екології та природних ресурсів України представлено перелік затверджених програмних продуктів, які використовують в галузі охорони АП [291]. Основними програми розрахунку забруднення атмосфери на ЕОМ є «ЕОЛ», «ЕОЛ + FON», «PLENER», «ЕОЛ +», «ЕОЛ –2000[h]», «ЕОЛ (ГАЗ)-2000[h]», «Еколог – Газ». Вони призначені для проведення розрахунків забруднення на

ЕОМ від стаціонарних джерел промислових підприємств у приземних і верхніх шарах атмосфери із застосуванням методики ОНД-86. На території України їх використовують у практичній діяльності підприємства, установи, організації, а також природоохоронні органи, що здійснюють управління у сфері охорони АП.

Комплекс програм АРМ ЕКО розроблений Державним підприємством «ДНДІАСБ», на основі якого була створена вітчизняна система «ЕКОЛОГІЯ».

«ЕКОЛОГІЯ» – це система, здатна значно поліпшити та прискорити процес формування екологічної звітності (документів з інвентаризації джерел викидів та розділу «Оцінки впливу на навколишнє середовище проектної документації»), а також дає змогу проводити розрахунок розсіювання за затвердженими методиками ОНД-86. Автоматизація роботи з даними та зручний графічний інтерфейс виключають розбіжності та відхилення у вихідних формах, а також сприяють ефективнішому використанню робочого часу користувачів [405].

«ЕкоГІС-Київ». Цікавим прикладом реалізації вітчизняної ГІС є київський проект «ЕкоГІС-Київ», який почали створювати з кінця 1996 р. на базі пакету ArcView GIS та пакета розрахунку забруднення ПША «ЕОЛ 2000» української компанії «Софт Фонд». У цій ГІС залучено такі сфери екологічного управління, як економіка, АП, водні ресурси, тверді відходи, біота. У рамках дослідження теми «Атмосферне повітря» виконується комплекс науково-практичних робіт, спрямованих на створення «Реєстру стаціонарних джерел викидів в атмосферне повітря забруднювальних речовин», який дає змогу реалізувати підсистему обліку і разом з тим забезпечить необхідними інформаційними системами аналітичну підсистему оцінювати забруднення атмосферного повітря.

Крім того, серед найбільш відомих вітчизняних інформаційних систем підтримки прийняття рішень для управління станом АП є **програмно-моделюючий комплекс**, розроблений в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України, який є потужним інструментом для

оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України токсичними хімічними речовинами внаслідок аварій на екологічно небезпечних об'єктах або навмисних викидів. Проте він не дозволяє розв'язувати задачі екологічного моніторингу АП, що пов'язані з комплексною оцінкою впливу викидів від стаціонарних джерел забруднення на атмосферу та населення техногенно-навантажених територій локального та регіонального рівня [405].

Донецьким Національним Технічним Університетом при розробці комплексу АКИАМ створену **систему екологічного моніторингу атмосфери**. В даній системі є банк даних, в якому зберігаються метеорологічні параметри і значення концентрацій шкідливих речовин на території міста з 2000 року. Накопичена кількість даних перевищує 1 мільйон спостережень. Зібрані дані дозволяють аналізувати тенденції зміни екологічних параметрів якості атмосферного повітря, здійснювати прогнози і обґрунтовувати природоохоронні заходи.

Системи такого типу здійснюють обробку лише дані з ПСЗ за станом атмосфери, де вимірюється концентрація основних ЗР від дії всіх джерел викидів, але це не вирішує проблеми визначення рівня техногенних навантажень, які здійснюють на атмосферу міста ПНО. Потрібні точні розрахунки, які могли б забезпечити можливість нормування викидів в атмосферу від стаціонарних підприємств.

«Еколог-Місто». Розроблена фірмою «Інтеграл» (Росія) комп'ютерна система розрахункового моніторингу стану якості повітряного басейну міста (регіону) «Еколог-Місто» призначена для автоматизації діяльності територіальних природоохоронних органів, екологічних служб адміністрацій міст (регіонів), проведення зведених розрахунків забруднення атмосфери міст.

Недоліком даної системи є те, що вона робить розрахунок приземних концентрацій шкідливих речовин по методиці ОНД-86, оскільки дана модель дозволяє визначити лише максимальний рівень концентрації за найбільш несприятливих метеорологічних умов, якими є поєднання нестійкого стану

атмосфери та небезпечної швидкості вітру. Даний напрямок моделювання розповсюдження забруднення є досить обмеженим тому, що дозволяє визначити рівень концентрації від викидів техногенних об'єктів лише при нестійкому стані атмосфери. Тобто даний програмний продукт не дозволяє оцінити вплив потенційно-небезпечних об'єктів на АП за інших сценаріїв викидів, що, в свою чергу, значно обмежує його можливості для підтримки прийняття ефективних рішень щодо управління екологічною безпекою АП та ризиком на техногенно навантажених територіях [405].

Програмний комплекс «ЭРА-Воздух» призначений для вирішення широкого кола задач у галузі охорони АП, пов'язаних з розрахунками забруднення атмосфери. Комплекс дає змогу:

- провести розрахунки викидів ЗР в АП від різних виробництв відповідно до діючих методик розрахунку;
- здійснити інвентаризацію викидів на підприємствах;
- підготувати високоякісну карту-схему місцевості з використанням сучасного графічного редактора;
- створити і виготовити повний комплект документації, включаючи ситуаційні карти-схеми місцевості з нанесеними на них ізолініями і полями концентрацій, ДЗ, територією підприємства, межами санітарно-захисних і житлових зон;
- провести автоматичну побудову нормативної та розрахункової санітарно-захисної зони;
- вирішити обернену задачу для знаходження таких значень викидів існуючих джерел, які уможливають досягти нормативний рівень забруднення.

Екологічний програмний комплекс «ЭПК РОСА» – комп'ютерна програма для автоматизованого проектування у сфері промислової екології. Основним призначенням є розробка екологічної документації промислових підприємств та організацій. У програмі реалізовано можливості екологічної ГІС, які, зокрема, дозволяють використовувати як карти відскановане зображення підприємства (ситуаційний план), виконати прив'язку і оцифрувати його, щоб отримати якісну векторну карту.

Уніфікована програма розрахунку забруднення атмосфери «Еколог» розроблена для автоматизації діяльності комітетів охорони навколишнього середовища Державного комітету Російської Федерації з охорони навколишнього середовища і екологічних служб адміністрацій міст (регіонів), для проведення зведених розрахунків забруднення атмосфери міст. Результати цих розрахунків можуть бути використані з метою нормування викидів ЗР і для вирішення інших завдань.

Програмні продукти фірми «Гарант». Розробник програмних продуктів на ЕОМ для екології (охорони НПС), включаючи програми «Гарант», «Универсал», «Нуклид», «Том ПДВ», «Гарант-шум», «Автотранспорт», «Гарант-отходы» для розрахунків забруднення АП викидами хімічних і радіоактивних речовин, проектної документації щодо поводження з відходами, акустичного забруднення і т. п. Програми працюють згідно з методиками ОНД-86, ДВ-98 та іншими нормативними документами для операційних систем DOS, Windows95 (98), NT та дають змогу врахувати забудову територій при розрахунках забруднення атмосфери.

Також в Росії відомим інструментом інформаційної підтримки системи управління якістю АП на території міста є інформаційна система **«Атмосферне повітря»**, що входить до складу інформаційно-аналітичного комплексу «Екологічний паспорт території Санкт-Петербурга». Система інтегрує наявні дані щодо якості АП і проводить їх сумісний аналіз. Вона включає блок збереження первинних даних і інформаційних сервісів, що використовують технологію ESRI ArcIMS, а також авторські програмні додатки і розрахункові модулі. Зазначимо, що недоліком цієї системи є те, що вона інтегрується з продуктами фірми ESRI, які коштують занадто дорого для вітчизняних користувачів [405].

Моделююча система AERMOD. Співробітниками компаній «Lakes Environmental» (Канада) і «BREEZE» (США) було створено систему AERMOD для моделювання поширення ЗР від різних ДЗ (наземних, висотних) в умовах довільного рельєфу місцевості.

AERMOD містить такі модулі: 1) AERMOD – модуль математичного моделювання дисперсії домішки в атмосфері; 2) AERMET – модуль визначення необхідних метеоданих на основі розв’язання системи рівнянь ПША; 3) інструментальний набір AERSURFACE для відтворення рельєфу місцевості; 4) AERMAP – програмні засоби, призначені для прив’язки моделі до тривимірних даних місцевого рельєфу та об’єктів. Крім того, в моделях цього класу містяться засоби, що дають змогу враховувати особливості поширення домішки над трасами, водними перешкодами, лісовим масивом і т.д. Дана комп’ютерна система використовується Environmental Protection Agency (EPA – Агентство захисту навколишнього середовища США) для оцінювання екологічних ризиків від промислових ДЗ.

Загальнодержавна автоматизована система «Відкрите довкілля». Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 листопада 2018 р. № 825-р було схвалено концепцію [237], згідно з якою мета створення загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля» — управління екологічною інформацією у сфері охорони навколишнього природного середовища, зокрема раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів відповідно до європейських стандартів і вимог для забезпечення дотримання екологічних прав громадян і забезпечення надання вільного доступу до екологічної інформації про стан навколишнього природного середовища, екологічні ризики/загрози для безпечної життєдіяльності, екологічну перспективу із застосуванням телекомунікаційних технологій та глобальних інформаційних мереж досягається за такими напрямками [237]:

- впровадження механізму електронного урядування, інформатизації органів державної влади та органів місцевого самоврядування у сфері охорони навколишнього природного середовища, в тому числі раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів;
- модернізація державного управління та цифровізація управлінської діяльності, зокрема процесу надання адміністративних послуг;

- публікація та візуалізація відкритих даних та іншої геопросторової екологічної інформації у форматах, доступних і зручних для користувачів.

Реалізацію Концепції передбачалось здійснити протягом 2018—2020 років. Проте після запуску відповідного ресурсу (<http://openenvironment.org.ua/index.htm>) з його підтримкою та впровадженням виникли певні проблеми [283], і проект не був завершений. Станом на червень 2021 р. в системі наявні лише окремі дані щодо викидів, сплати екологічних податків тощо, найновіші з яких за 2017 рік.

Таким чином, досліджено можливості існуючих програмних засобів щодо їх потенційного використання для визначення та аналізу ЕЕПУР. Встановлено, що всі вони не містять модулю визначення ЕЕПУР та мають ряд недоліків (обмежений функціонал щодо моделювання забруднення АП, оцінювання відповідних ризиків, аналізу та візуалізації даних, є занадто дорогими, не мають можливості інтеграції зі стороннім програмним забезпеченням тощо), а тому їх недоцільно використовувати для вирішення даної задачі.

4.2. Розроблення програмних засобів визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень

В рамках розробленої концепції визначення ЕЕПУР та відповідного запропонованого підходу, які описано в п. 2.2., було розроблено структурну модель визначення та аналізу ЕЕПУР в контексті охорони АП, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу (рис. 4.1):

- 1) модуль введення основних параметрів множини УР;
- 2) модуль вибору додаткових складових ЕЕПУР згідно (3.17), в якому також здійснюється введення необхідних відповідних параметрів УР;

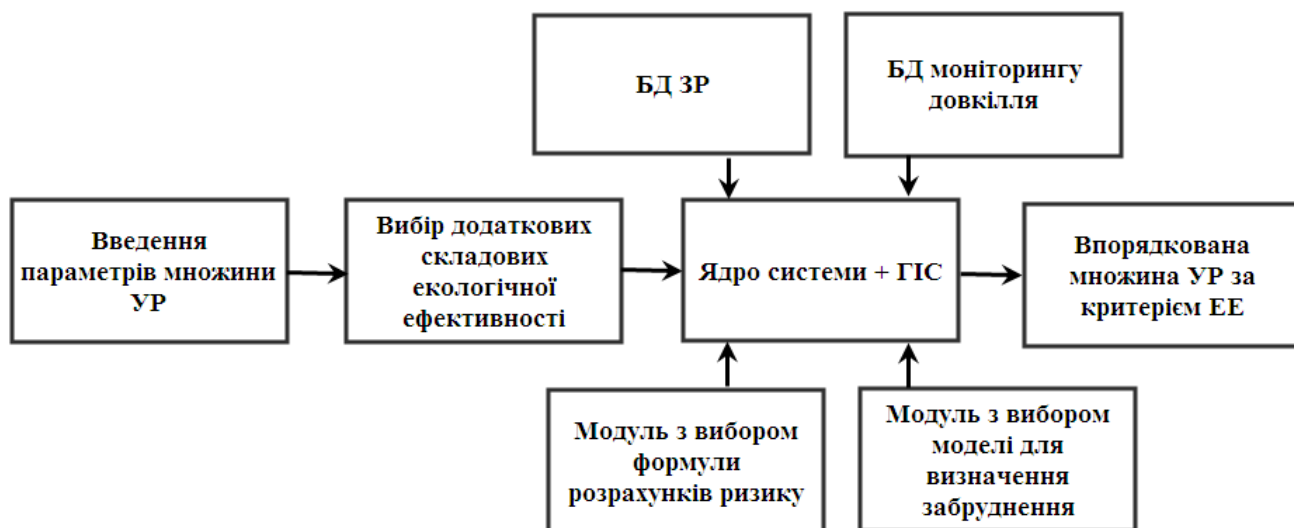


Рис. 4.1. Структурна модель визначення та аналізу ЕЕПУР
в контексті охорони АП

- 3) база даних (БД) ЗР, в якій міститься інформація про основні ЗР АП (назва, $ГДК_{СД}$, $ГДК_{МР}$, коефіцієнти β і K_3 для обчислення ризику хронічної інтоксикації та параметри a і b для ризику миттєвих токсичних ефектів тощо);
- 4) БД моніторингу довкілля, в якій зберігається інформація про проведені спостереження за станом АП (дата, час, пост/координати, ЗР, результат вимірювання концентрації ЗР тощо), дані про існуючі пости спостережень мережі моніторингу стану АП;
- 5) модуль з вибором формули для розрахунків ризику, в якому за основу взято вирази для визначення ризику хронічної інтоксикації (3.6) та ризику миттєвих токсичних ефектів (3.12);
- 6) модуль з вибором математичної моделі для визначення розподілу забруднення АП, в якому для кожної конкретної множини УР та досліджуваного об'єкту обирається відповідна модель забруднення АП;
- 7) модуль ядра системи та ГІС (геоінформаційна система) об'єднує модулі, описані в п. 2–6, і забезпечує визначення ЕЕПУР для кожного

УР із введеної множини з п. 1 та візуалізацію результатів обчислень у вигляді графіків, діаграм, карт забруднення/ризиків тощо;

8) модуль виведення впорядкованої множини УР за критерієм ЕЕ.

Розробку програмних засобів для визначення та аналізу ЕЕПУР в контексті охорони АП вирішено проводити в рамках системи AISEEM [143, 144, 155, 405], розробником якої є здобувач.

Згідно розробленої концепції визначення ЕЕПУР та відповідного запропонованого підходу для визначення та аналізу ЕЕПУР необхідно враховувати багато даних, для проведення швидких маніпуляцій з якими та для їх збереження доцільно використовувати сучасні реляційні системи управління базами даних (СУБД). Саме такою є спеціалізована база даних AISEEM [143, 144, 155, 405], яку було розширено під нові задачі.

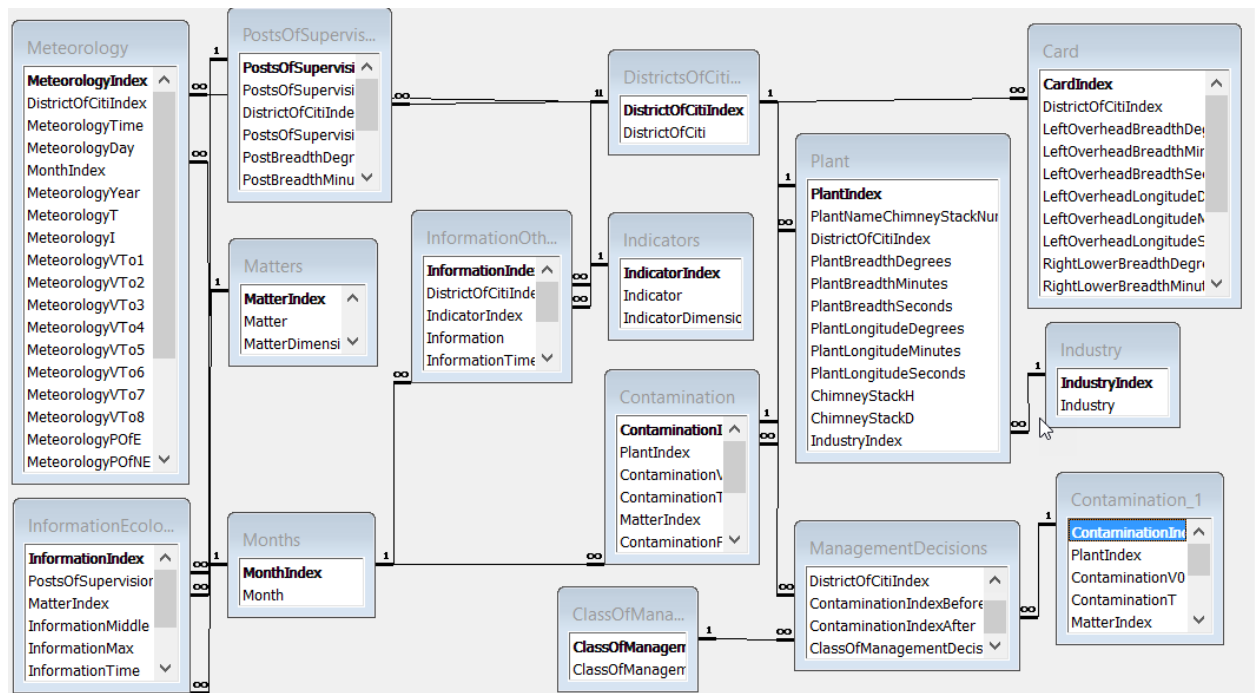
СУБД бази даних AISEEM є Microsoft Access – система управління реляційними базами даних, яка входить в комплект Microsoft Office, встановлений нині майже на кожному ПК, що працює з операційною системою Windows. Вона підходить для зберігання значних об'ємів даних, володіє інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. Має широкий спектр функцій, включаючи зв'язані запити, сортування по різних полях, зв'язок із зовнішніми таблицями і базами даних. Для роботи з базами Microsoft Access також можна створювати додатки на різних мовах програмування, наприклад Borland C++Builder 6 з використанням технології ADO (activex® data objects). Також для користування власне базою СУБД MS Access для простих операцій, наприклад внесення нових даних моніторингу, пересічному користувачу не потрібно знати особливостей її побудови: досить відкрити файл бази даних і у створені форми ввести необхідну інформацію. [143].

До основних даних екологічного моніторингу, необхідних для збереження, з урахуванням [143, 405] віднесемо такі:

- інформація про пости спостереження: номер, місто, адреса, географічні координати;
- перелік міст (районів), в яких проводяться спостереження;

- інформація про речовини-забруднювачі, за якими ведеться спостереження та які необхідно враховувати при визначенні та аналізі ЕЕПУР: номер, назва, одиниці виміру, ГДК_{мр} (гранично допустима концентрація максимальна разова), ГДК_{сд} (гранично допустима концентрація середньодобова) і ОБРВ (орієнтовні безпечні рівні впливу), клас небезпеки;
- інформація про сфери управлінських рішень;
- інформація про класи управлінських рішень;
- інформація про інші показники спостереження: енергетичні, медичні, соціальні тощо, які корелюють з екологічними;
- інші дані: щільність населення, характеристики забудови, розчленованість рельєфу, типи ландшафту;
- інформація про проведені екологічні спостереження: номер запису, пост спостереження, речовина-забруднювач, середнє та максимальне перевищення ГДК, час і дата;
- інформація про енергетичні об'єкти та підприємства: номер, місто, географічні координати, кількість труб та їх параметри;
- інформація про викиди енергетичних об'єктів і підприємств: номер, труба, забруднювальна речовина, кількість викидів та їх параметри;
- інформація про карти: номер, зображення, назва, географічні координати;
- інформація про проведені неекологічні спостереження: номер запису, місто-район, показник, значення;
- метеорологічні дані: характеристики вітру, температура, опади тощо;
- інформація про класи небезпеки речовин-забруднювачів;
- допоміжною інформацією можна вважати перелік місяців року, кварталів, півріч.

Таким чином, до спеціалізованої бази даних AISEEM [143, 144, 155, 405] для задач визначення та аналізу ЕЕПУР було додано три нові таблиці: класи управлінських рішень (ClassOfManagementDecisions), сфери управлінських рішень (Industry) та управлінські рішення (ManagementDecisions). Схему даних створеної бази та зв'язки таблиць показано рис. 4.2а. Приклади їх вигляду в системі показано на рис. 4.2б-в.



а)

Аналітико-інформаційна система еколого-енергетичного моніторингу

Файл Операції Налаштування Допомога

Дані моніторингу | Дані щодо викидів та метеоумов | Допоміжна інформація

	№запису	Пост спостереження	Забруднювач	Середнє перевищення	Максимальне перевищення	Місяць	Рік
▶	9375	ПС3 2	Формальдегі	5,7000	0,9000	Серпень	2019
	9376	ПС3 3	Формальдегі	5,0000	0,9000	Серпень	2019
	9377	ПС3 4	Формальдегі	0,0000	0,0000	Серпень	2019
	9378	ПС3 5	Формальдегі	0,0000	0,0000	Серпень	2019
	9379	ПС3 6	Формальдегі	5,7000	0,9000	Серпень	2019
	9380	ПС3 7	Формальдегі	5,3000	0,8000	Серпень	2019
	9381	ПС3 8	Формальдегі	6,0000	0,8000	Серпень	2019
	9382	ПС3 9	Формальдегі	5,7000	0,8000	Серпень	2019
	9383	ПС3 10	Формальдегі	0,0000	0,0000	Серпень	2019
	9384	ПС3 11	Формальдегі	5,7000	0,8000	Серпень	2019
	9385	ПС3 13	Формальдегі	0,0000	0,0000	Серпень	2019
	9386	ПС3 15	Формальдегі	0,0000	0,0000	Серпень	2019

б)

Аналітико-інформаційна система еколого-енергетичного моніторингу

Файл Операції Налаштування Допомога

Дані моніторингу Дані щодо викидів та метеоумов **Допоміжна інформація**

№ показника	Показник	Одиниця виміру показника
1	Кількість народнених (на 1000 жителів)	од.
2	Кількість померлих (на 1000 жителів)	од.
3	Загальна захворюваність до 18 (на 10000 жителів)	од.
4	Хвороби органів дихання до 18 (на 10000 жителів)	од.

№ міста і району	Місто і район
1	Київ - Шевченківський
2	Київ - Святошинський
3	Київ - Оболонський
4	Київ - Подільський

№ забруднювача	Забруднювач	Розмірність	ГДК _{мр1} , мг/м3	ГДК _{сд2} , мг/м3	ОБРВ
1	Завислі речовини (пил)	мг/м3	0,5000	0,1500	0,0500
2	Діоксид сірки	мг/м3	0,5000	0,0500	0,0800
3	Оксид вуглецю	мг/м3	5,0000	3,0000	2,0000
4	Діоксид азоту	мг/м3	0,0850	0,0400	0,0400

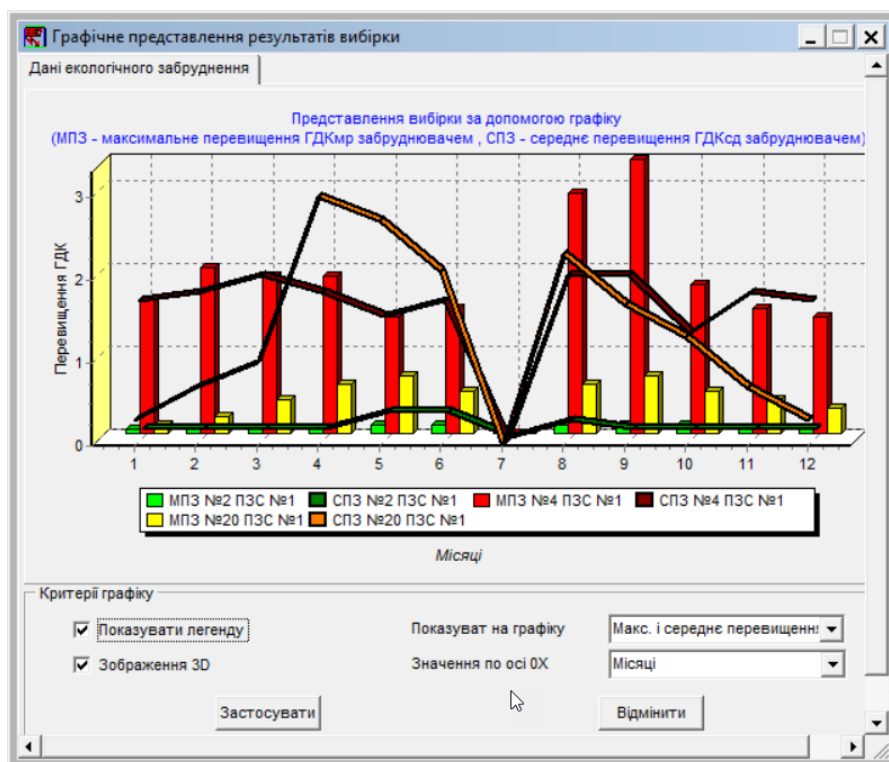
в)

Рис. 4.2. Схема даних створеної бази та зв'язки таблиць (а)
та вигляд таблиць БД в системі (б-в)

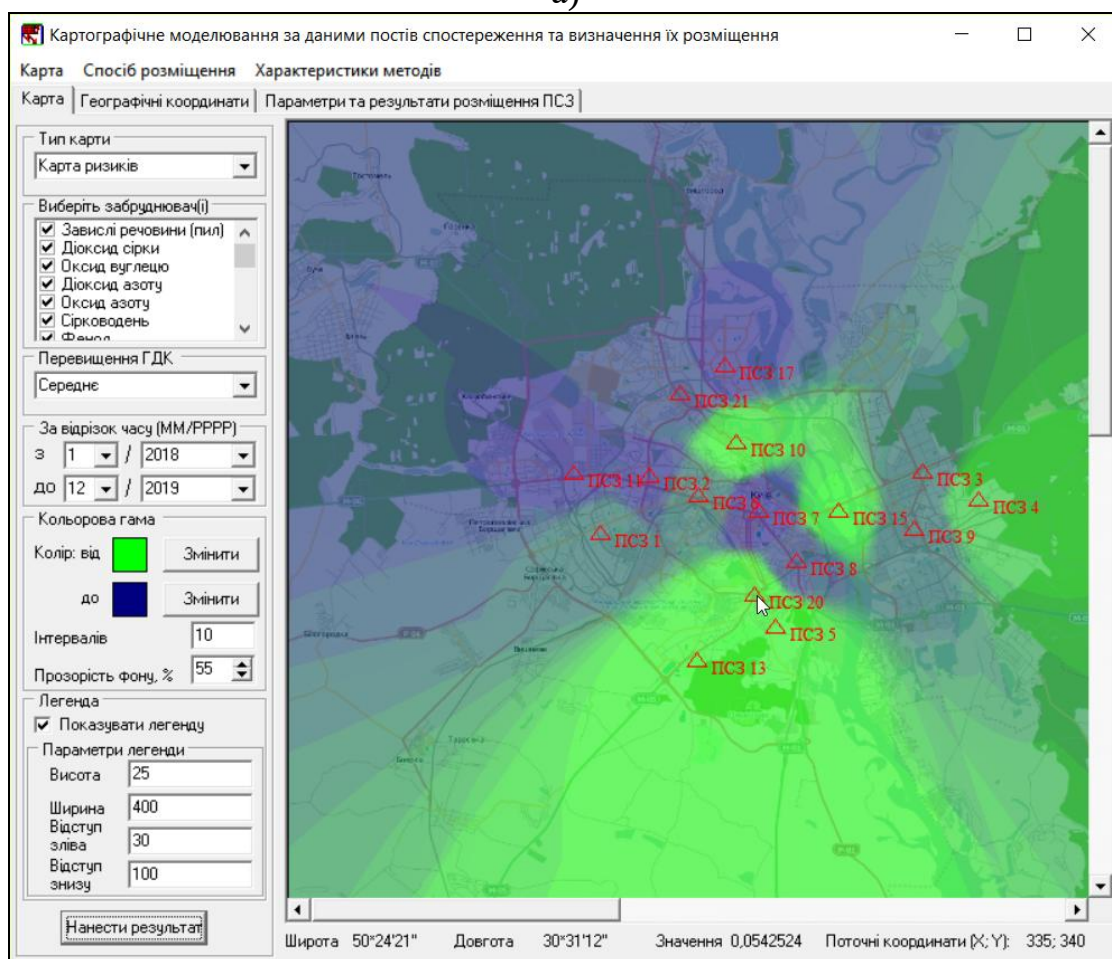
Розробка програмного забезпечення визначення та аналізу ЕЕПУР здійснювалась в середовищі Borland C++ Builder 6.0., оскільки саме воно було використано для розроблення системи AISEEM [143, 144, 155, 405].

4.3. Приклади використання

Розглянемо приклади використання розробленого програмного забезпечення для визначення та аналізу ЕЕПУР в енергетичному секторі в контексті охорони АП. Дані моніторингу стану АП (рис. 4.2б) можна використовувати як при визначенні та аналізі ЕЕПУР, так і окремо їх вводити, робити вибірки, та візуалізувати їх (рис. 4.3).



а)



б)

Рис. 4.3. Приклади візуалізації даних моніторингу при визначенні ЕЕПУР:
графічний (а) та картографічний (б)

Крім того, в розробленому програмному забезпеченні додатково реалізована можливість визначати різні статистичні характеристики вибірок: кількість записів; сума; мінімальне значення; максимальне значення; середнє значення; дисперсія; середнє квадратичне відхилення; розмах варіації; коефіцієнт варіації квадратичний; коефіцієнт варіації лінійний; середнє лінійне відхилення; модальне значення (мода); медіанне значення (медіана); асиметрія; ексцес; коефіцієнт кореляції; коефіцієнт детермінації; рівняння регресії тощо.

Модуль з вибором математичної моделі для визначення розподілу забруднення АП, в якому для кожної конкретної множини УР та досліджуваного об'єкту обирається відповідна модель забруднення АП, містить моделі детально описані в п. 3.4. Приклади роботи модулю показано на рис. 4.4.

Картографічне моделювання за даними викидів підприємств

Файл Вибір моделі Карта

Вхідні дані | Результат моделювання | Картографічне моделювання

Введіть кількість підприємств та їх параметри, щодо забруднюваної речовини (надалі ЗР):

Параметр \ Підприємство	Підприємство 3	Підприємство 4	Підприємство 5
Назва підприємства	ТЕЦ-4(Дарницька)	ККБМ	Енергія
Кількість труб на підприємстві	1	1	1
Координати (пн. широти), градуси	50,4474	50,3621	50,3919
хвилини	0	0	0
секунди	0	0	0
Координати (зх. довготи), градуси	30,6398	30,5564	30,6652
хвилини	0	0	0

Параметр \ Труба	Підприємство 2 Труба 1	Підприємство 3 Труба 1	Підприємство 5 Труба 1
Діаметр гирла, м (D)	13,5	5,1	4
Швидкість виходу ЗР, м/с (W ₀)	7	12	7
Температура викидів, град. С (T)	139	130	70
Потужність викидів ЗР, г/с	3000	4500	50

Введіть метеорологічні дані

Температура повітря, град. С (T_п) Інтенсивність опадів, мм/год (I) Сценарій моделювання

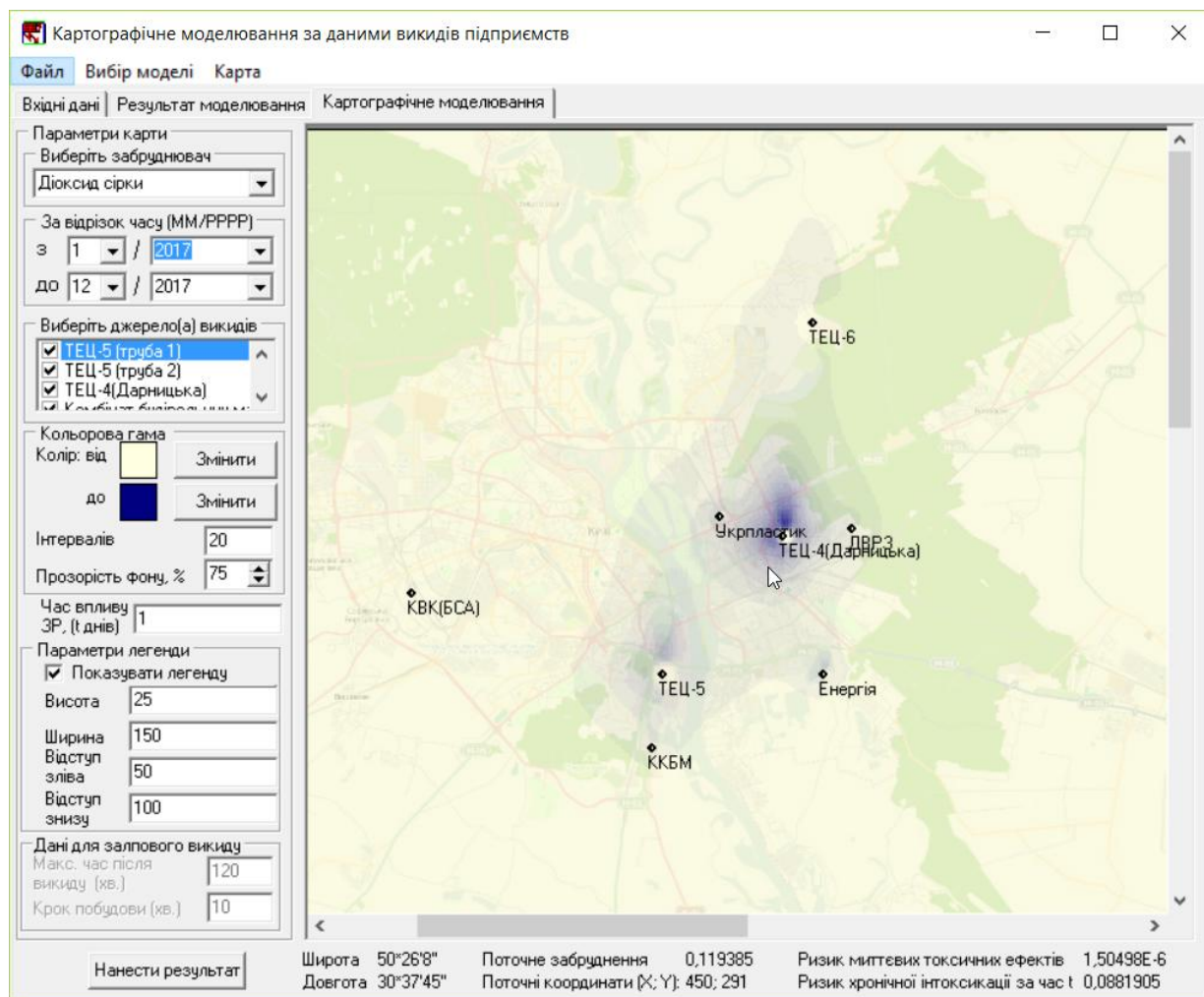
Швидкість вітру

Швидкість, м/с	0-1 (штиль)	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Ймовірність, %	17	20	27	19	8	6	2	1

Роза вітрів

Напрям вітру	Зх.	Пд.-Зх.	Пд.	Пд.-Сх.	Сх.	Пн.-Сх.	Пн.	Пн.-Зх.
Ймовірність, %	9	8	23	20	15	10	10	5

Стратифікація атмосфери (для сценаріїв "Вибіркове забруднення", "Залповий викид" та "Норм. штиль") OK



б)

Рис. 4.4. Приклад введення параметрів для моделювання забруднення АП від декількох підприємств при визначенні ЕЕПУР (а), візуалізація результатів (б)

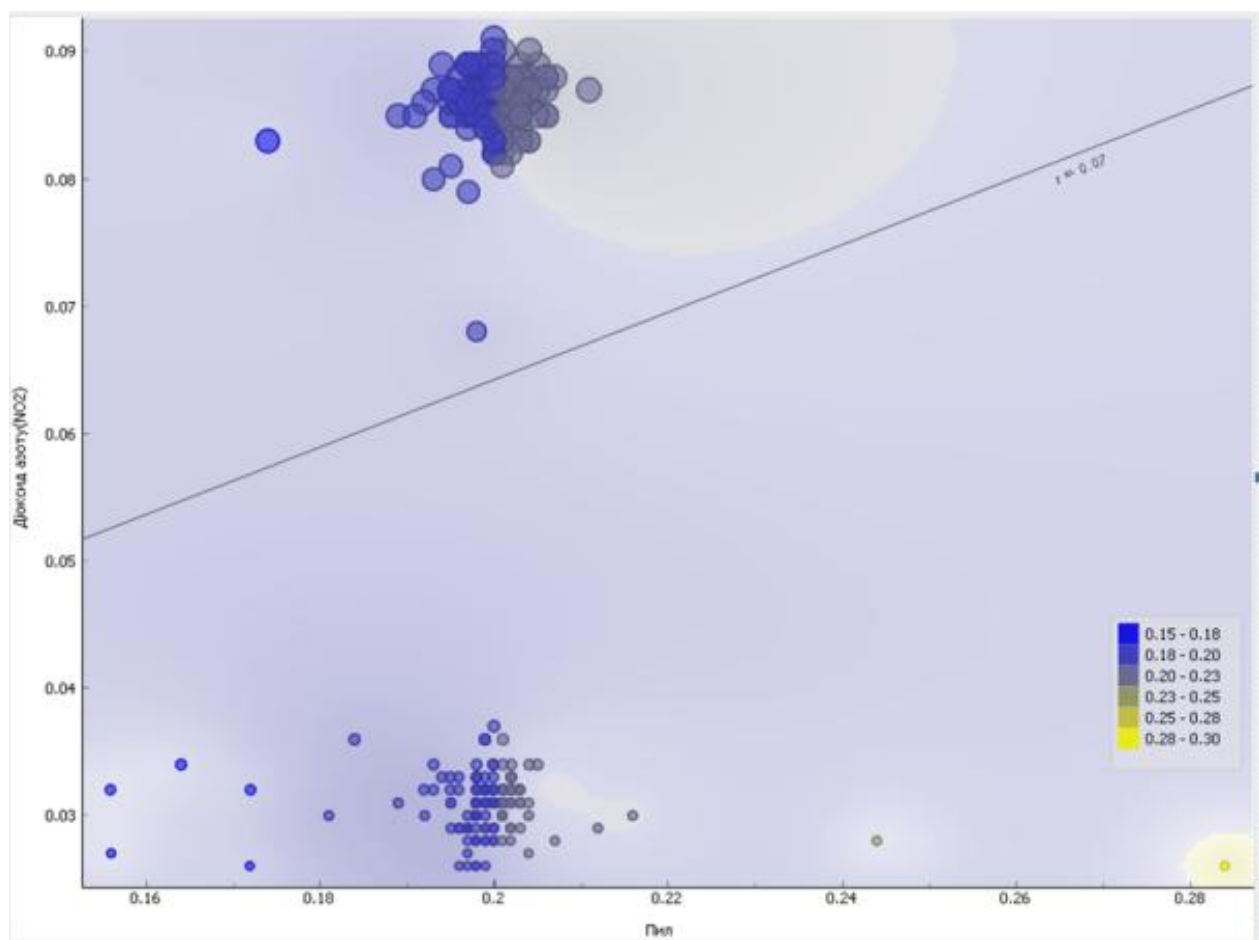
Зокрема, рис. 4.2а показано приклади введення параметрів для моделювання забруднення АП від декількох підприємств при визначенні ЕЕПУР щодо вибору об'єкту відповідних генеруючих потужностей для першочергового встановлення газоочисного устаткування.

Також даний модуль можна використовувати для вирішення іншим задач в галузі екологічної безпеки, що потребують моделювання забруднення АП від одно чи декількох підприємств за різними сценаріями забруднення: вибіркове забруднення (фіксовані метеофактори); аномальна конвекція (наявність над джерелом викиду шару інверсії); штиль (наявність штильового шару до певної висоти та підсилення вітру вище цього шару); аномальний

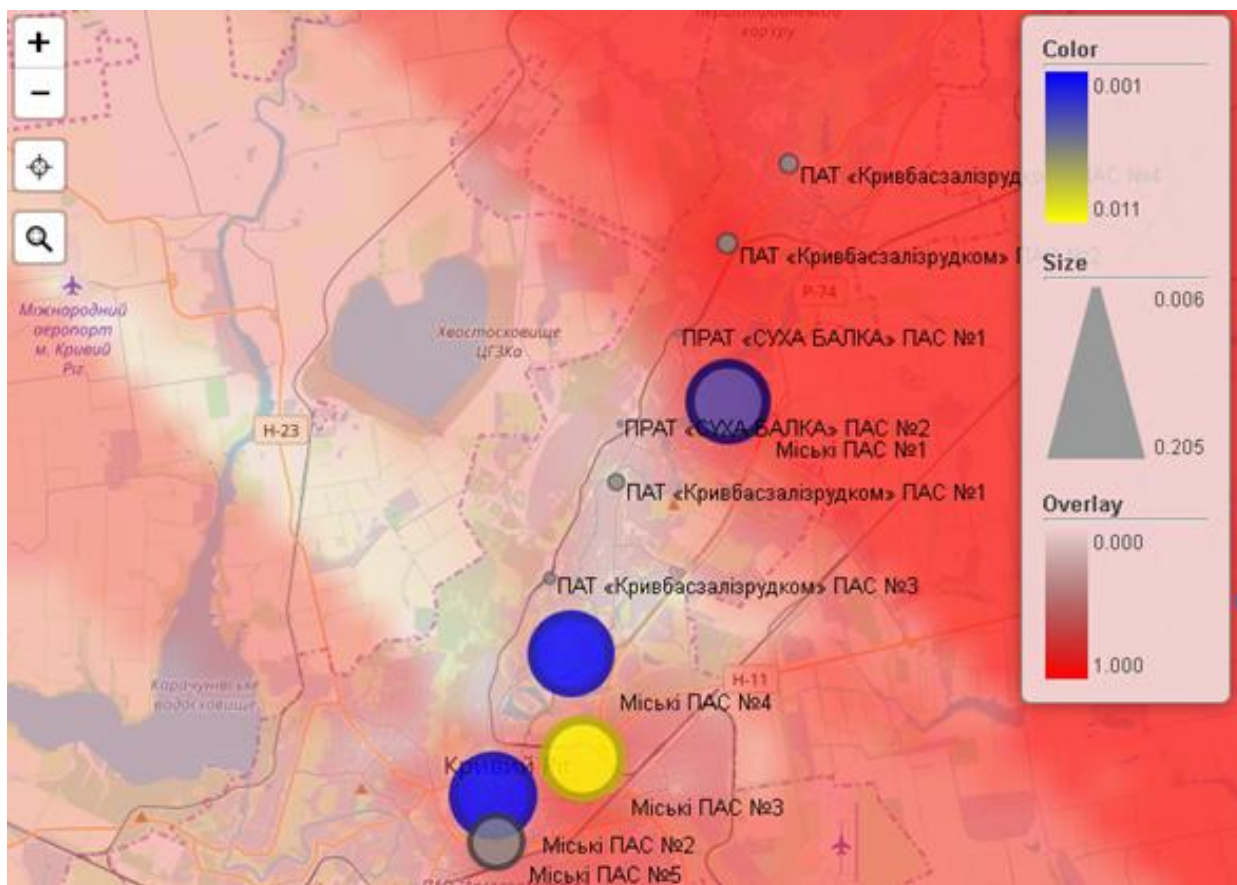
штиль (наявність над джерелом викиду потужного шару інверсії та відсутність вітру під ним); середнє забруднення за період та залповий викид.

При цьому, в якості карти для візуалізації результатів моделювання забруднення АП можна використовувати як будь-який схематичний малюнок, для якого необхідно знати географічні координати його лівого верхнього і правого нижнього кутів, так і імпортовані частини з Google Maps, OpenStreetMap тощо.

Також в розробленій системі реалізовано блок інтелектуального аналізу даних, в якому передбачено використання ряду алгоритмів, таких як C4.5, K-means, метод опорних векторів (SVM), kNN, наївного баєсового класифікатора, алгоритму Apriori тощо з метою виявлення прихованих закономірностей або взаємозв'язків між змінними у великих масивах необроблених даних.



a)



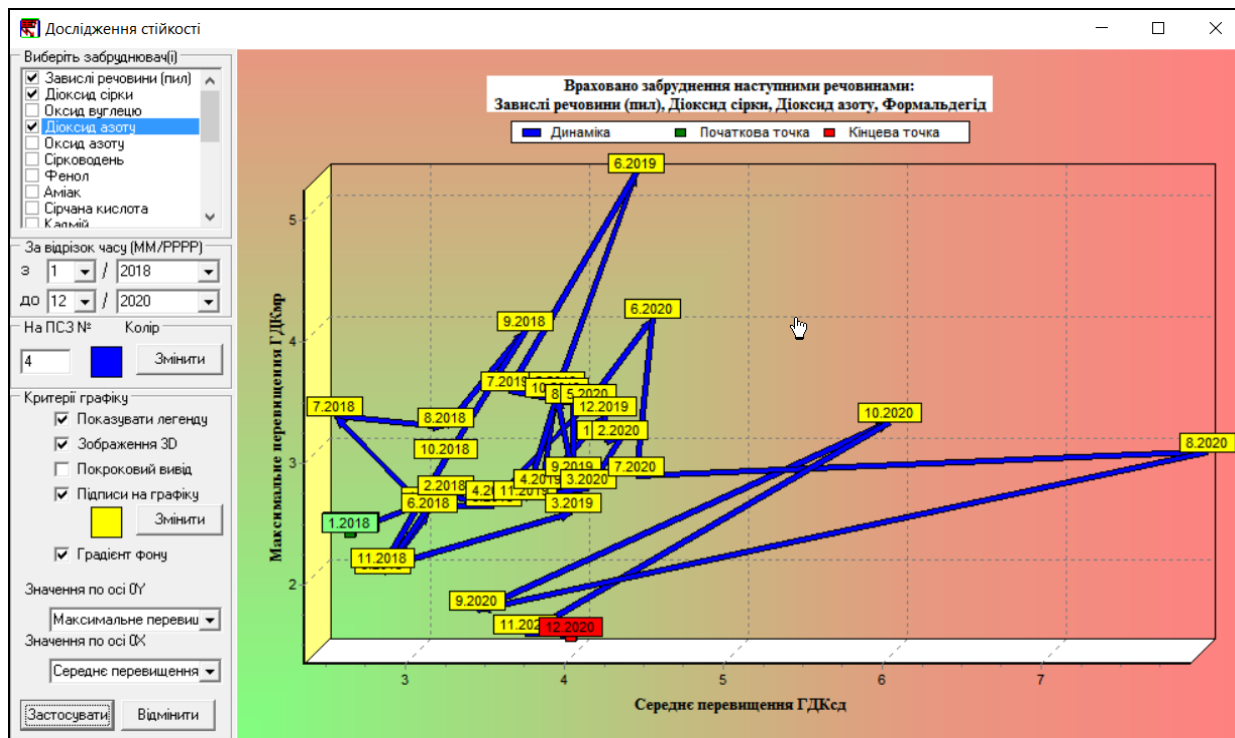
б)

Рис. 4.5. Приклади роботи модулю інтелектуального аналізу за даними моніторингу за станом атмосферного повітря в м. Кривий Ріг: а) діаграма розсіювання концентрацій пилу та діоксиду азоту, мг/м^3 ; б) візуалізація підвищених рівнів забруднення сірчанам ангідридом

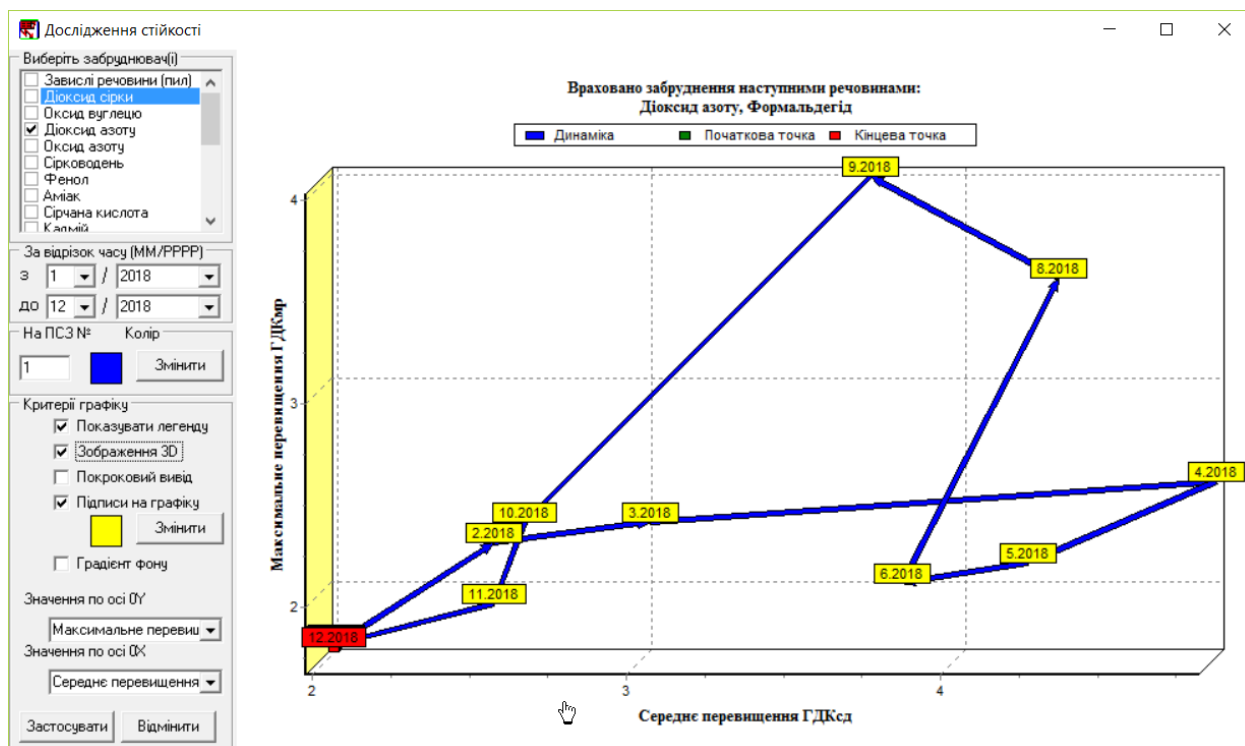
Приклади візуалізації результатів роботи даного модулю за даними моніторингу за станом атмосферного повітря в м. Кривий Ріг показано на рис. 4.5.

Крім того, в результаті розроблення в рамках системи AISEEM [143, 144, 155, 405] програмного забезпечення для визначення та аналізу ЕЕПУР дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану АП та ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі

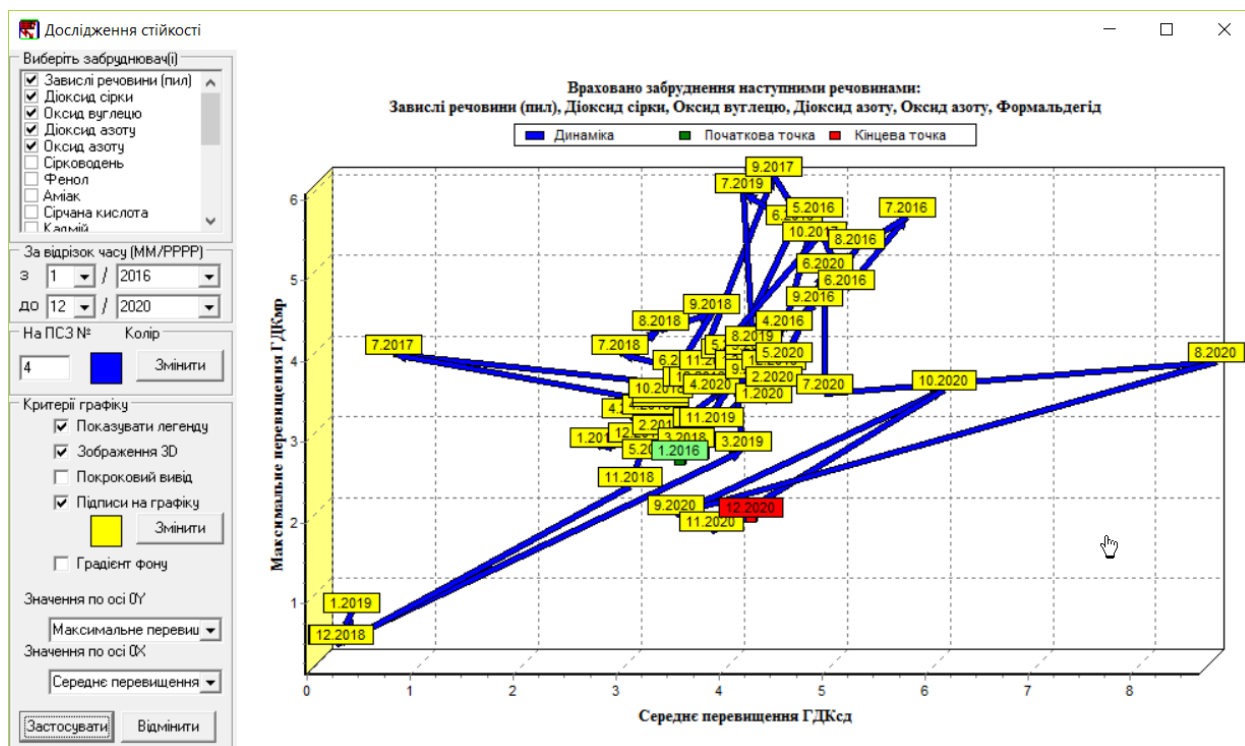
(рис. 4.6). Такий інструментарій в багатьох випадках є необхідним при формуванні множини альтернативних УР (зокрема, для виявлення потенційних НС для їх попередження), а також при попередньому аналізі їх екологічної ефективності.



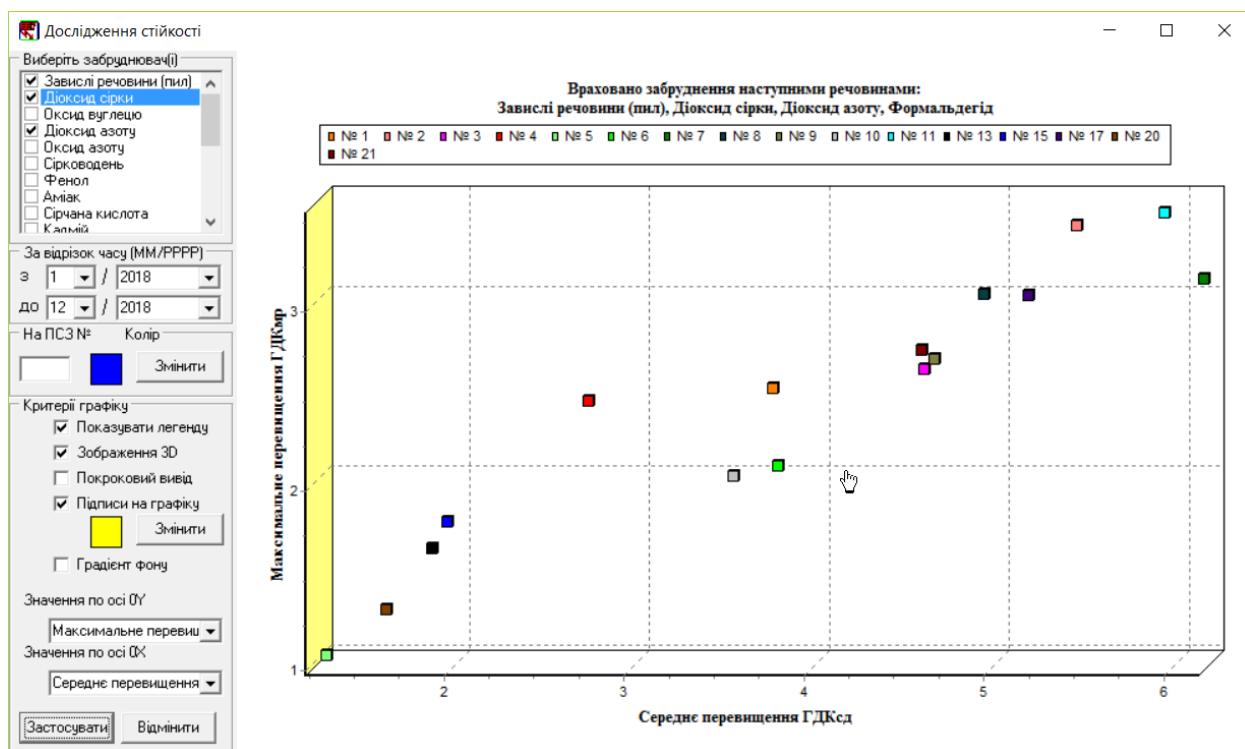
а)



б)



В)



Г)

Рис. 4.6. Форми представлення даних моніторингу стану АП та ризиків

4.4. Висновки до розділу 4

1. Досліджено можливості існуючих програмних засобів щодо їх потенційного використання для визначення та аналізу ЕЕПУР. Встановлено, що всі вони не містять модулю визначення ЕЕПУР та мають ряд недоліків (обмежений функціонал щодо моделювання забруднення АП, оцінювання відповідних ризиків, аналізу та візуалізації даних, є занадто дорогими, не мають можливості інтеграції зі стороннім програмним забезпеченням тощо), а тому їх недоцільно використовувати для вирішення даної задачі.

2. Розроблено структурну модель визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу. На її основі розроблено відповідне програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності управлінського рішення для виконання (наприклад, щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих управлінських рішень (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

3. В результаті дослідження сучасних засобів аналізу та візуалізації даних дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану атмосферного повітря та відповідних ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі, зокрема при формуванні множини альтернативних управлінських рішень, а також при попередньому аналізі їх екологічної ефективності.

РОЗДІЛ 5

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

5.1. Розроблення методики побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту

Існуюча державна система моніторингу стану АП в контексті визначення ЕЕПУР має ряд недоліків (недостатність постів спостереження, їх моральна застарілість, низька частота вимірювань, незадовільний рівень автоматизації тощо), тому однією із задач дисертаційного дослідження було пошук шляхів її вдосконалення.

В межах наявної державної системи моніторингу стану АП (МСАП) оцінка стану атмосферного повітря здійснюється у 53 містах різних областей України на 162 стаціонарних постах спостережень за забрудненням (ПСЗ). Мережа МСАП, яка використовується в Україні на теперішній час, здебільшого встановлена в 1970-их роках відповідно до стандартів колишнього СРСР. Наприклад, наявна стаціонарна мережа моніторингу в м. Києві, теж є застарілою та неефективною (рис. 5.1). Наявні декілька проектів громадського моніторингу якості повітря, наприклад <https://air.kyivsmartcity.com/> (рис. 5.2), проте вони здебільшого вимірюють лише концентрації пилу (PM), тому їх можливостей для визначення ЕЕПУР теж недостатньо. Тому необхідно оптимізувати існуючу мережу МСАП.

Основні проблеми оптимізації мережі МСАП можна умовно розбити на три групи:

- 1) розробка обладнання для мереж, МСАП, зокрема сенсорних;
- 2) забезпечення побудови та функціонування мереж МСАП;
- 3) використання результатів роботи сенсорних мереж МСАП.

Мережа спостережень ЦГО ім. Бориса Срезневського за забрудненням повітря в м. Києві

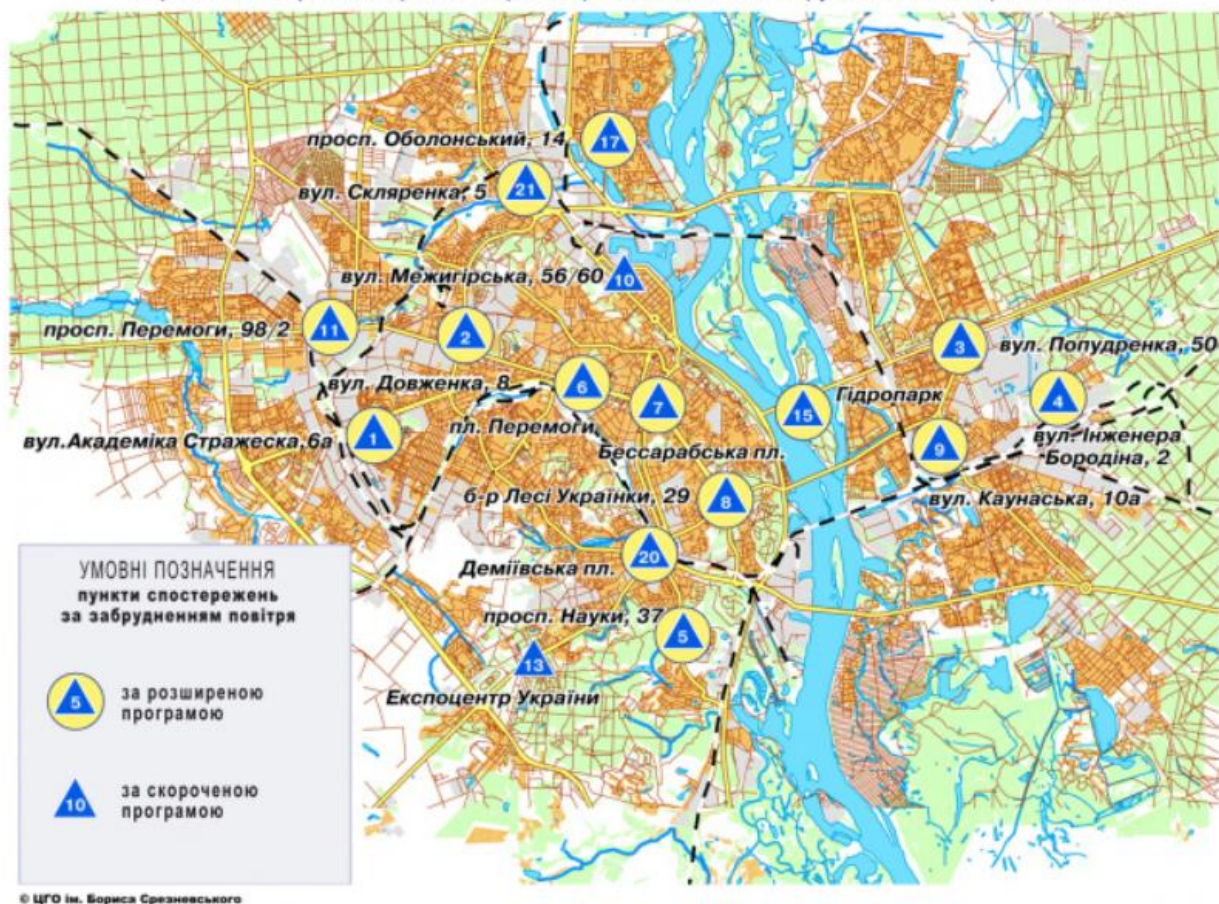


Рис. 5.1. Стационарна мережа моніторингу АП ЦГО

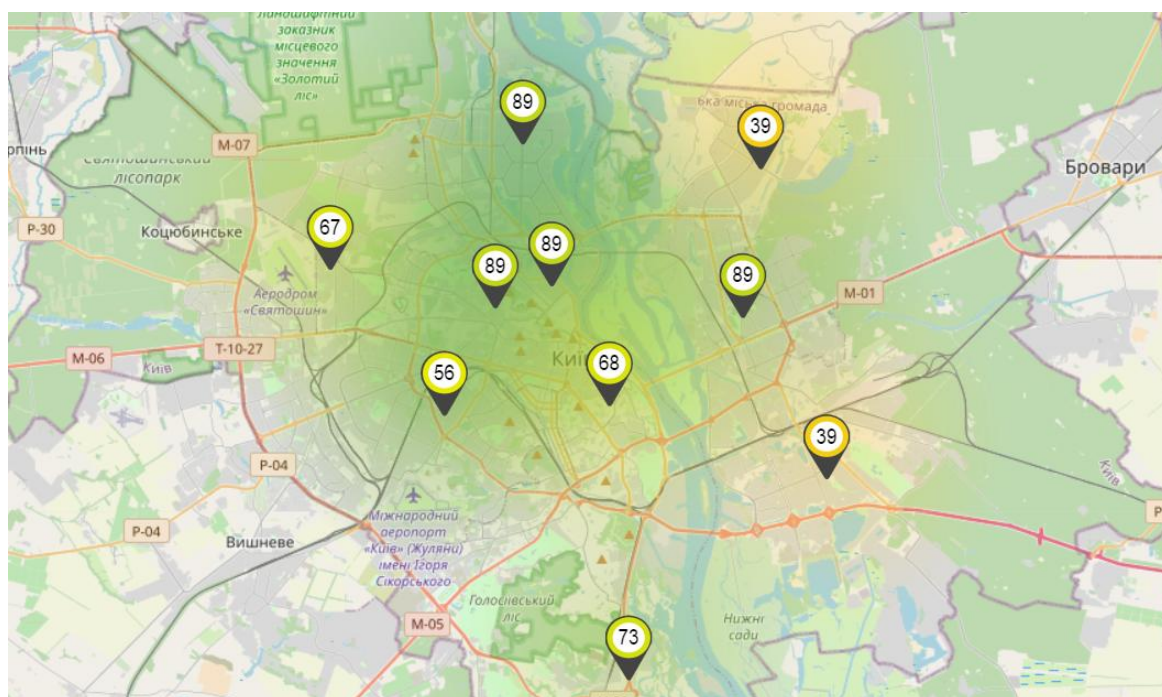


Рис. 5.2. Проект громадського моніторингу якості повітря

<https://air.kyivsmartcity.com/>

При цьому завдання саме другої групи (що відноситься до стику сфер екологічної безпеки та управління, з однієї сторони, та математичного моделювання, обчислювальних методів та інформаційних технологій, з іншої) є одними з найскладніших, оскільки в них необхідно, враховуючи екологічні нормативні вимоги та використовуючи наявні технічні засоби, побудувати оптимальну мережу МСАП.

Сучасні мережі МСАП у розвинених країнах все частіше будують з використання безпроводних технологій, отримуючи таким чином сенсорні мережі МСАП. Розглянемо переваги та недоліки сенсорних мереж МСАП. Здійснення моніторингу за станом атмосферного повітря з використанням бездротових сенсорних мереж має ряд переваг:

- можливість розміщення сенсорів у важкодоступних місцях, куди важко і економічно неефективно прокласти кабельні засоби, або навіть на рухомих об'єктах (наприклад на транспорті);
- порівняно швидке та зручне розгортання і обслуговування мережі;
- здатність мережі МСАП у разі виходу з ладу одного сенсора передавати інформацію через сусідні елементи;
- можливість розгортання мереж різного масштабу за рахунок додавання і виключення будь-якої кількості елементів;
- тривалий час роботи без заміни елементів живлення та можливість використання сонячних батарей через невисокі потреби сенсорів щодо напруги та струму;
- виявлення в режиму он-лайн збоїв в роботі мережі (сенсорів) при адресному опитуванні пристроїв.

Проте бездротові сенсорні мережі МСАП мають і ряд недоліків: чутливість до електромагнітних перешкод в каналі передачі даних (радіоканалі); послаблення сигналу при проходженні через перешкоди (залізобетонні стіни, перекриття тощо); відсутність або недосконалість математичних та програмних інструментів, що дозволяють оптимально розміщувати сенсорні вузли мережі МСАП.

Проте, перші два недоліки не є настільки вагомими (в порівнянні з перевагами) для мереж МСАП, а останній недолік можна виправити, шляхом розробки відповідних засобів для побудови оптимальних мереж МСАП та забезпечення їх функціонування.

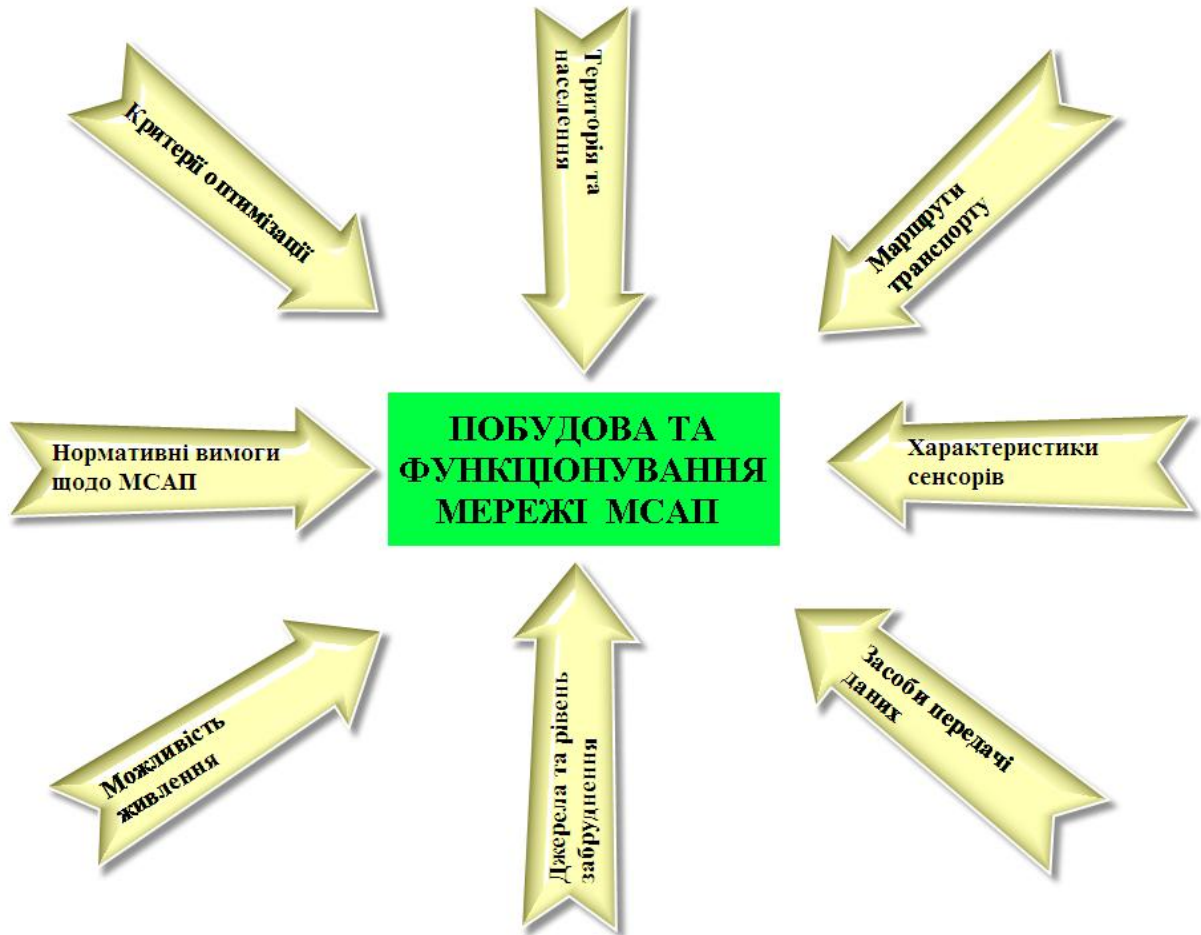


Рис. 5.3. Фактори впливу на побудову та функціонування мереж МСАП

Основні фактори, що впливають на побудову та функціонування мереж МСАП представлено на рис. 5.3. До них можна віднести:

- 1) нормативні вимоги щодо МСАП (законодавство України та міжнародні вимоги щодо переліку речовин, за якими ведеться спостереження, частоти та щільності вимірювань тощо);
- 2) критерії оптимізації (мінімальна вартість, максимально покрита площа та/або населення тощо);
- 3) територія та населення (рельєф, ландшафт, забудова, статичний та динамічний розподіл населення тощо);

- 4) маршрути транспорту (топологія трамвайної, тролейбусної та інших мереж, довжини маршрутів та час на їй подолання, кількість зупинок, перехресть, наявність GPS модулю тощо);
- 5) характеристики сенсорів (речовини, що вимірюються, точність і частота виміру, можливі канали зв'язку, вимоги щодо живлення тощо);
- 6) засоби передачі даних (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, 3G, 4G, 5G, GPRS, EDGE тощо та відповідне обладнання);
- 7) джерела та рівень забруднення (розташування підприємств, конфігурація полів забруднення з врахуванням метеорологічних особливостей території та сезону тощо);
- 8) можливість живлення (сонячні батареї, акумулятори транспорту).

Сенсор (датчик) — конструктивна сукупність одного або декількох первинних вимірювальних перетворювачів величини, що вимірюється і контролюється, у вихідний сигнал для дистанційної передачі та використання в системах управління і має нормовані метрологічні характеристики. Загальна архітектура сенсора представлена на рис. 5.4. Оскільки забруднення повітря може бути в будь-якому середовищі, у тому числі на вулиці, в приміщеннях шкіл, офісів, будинків, станцій метро і т.д. Звичайний підходи моніторингу, засновані на газовій хроматографії і пасивні методи відбору проб обмежені з точки зору їх вартості установки, часу і розмірів.

Таким чином, мережа МСАП повинна бути просторово гнучкою і виконувати всі необхідні функції щодо спостереження за якістю повітря в досліджуваному районі. Тому така мережа повинна працювати з різними джерелами живлення. Крім того, оптимальні місця встановлення сенсорів такої мережі можуть бути визначені для кожної конкретної ситуації (в тому числі і надзвичайної), що дозволяє отримати точну оцінку якості повітря на досліджуваній території. Разом з концентрацією забруднюючих речовин в повітрі, можна (і необхідно) визначати також метеорологічні параметри (приклад такої мобільної метеорологічної установки, яка вимірює температуру, вологість повітря, атмосферний тиск, швидкість та напрям

вітру, кількість опадів, запропонованої в роботах Jen-Hao Liu, Yu-Fan Chen, Tzu-Shiang Lin та інших показано на рис. 5.5).

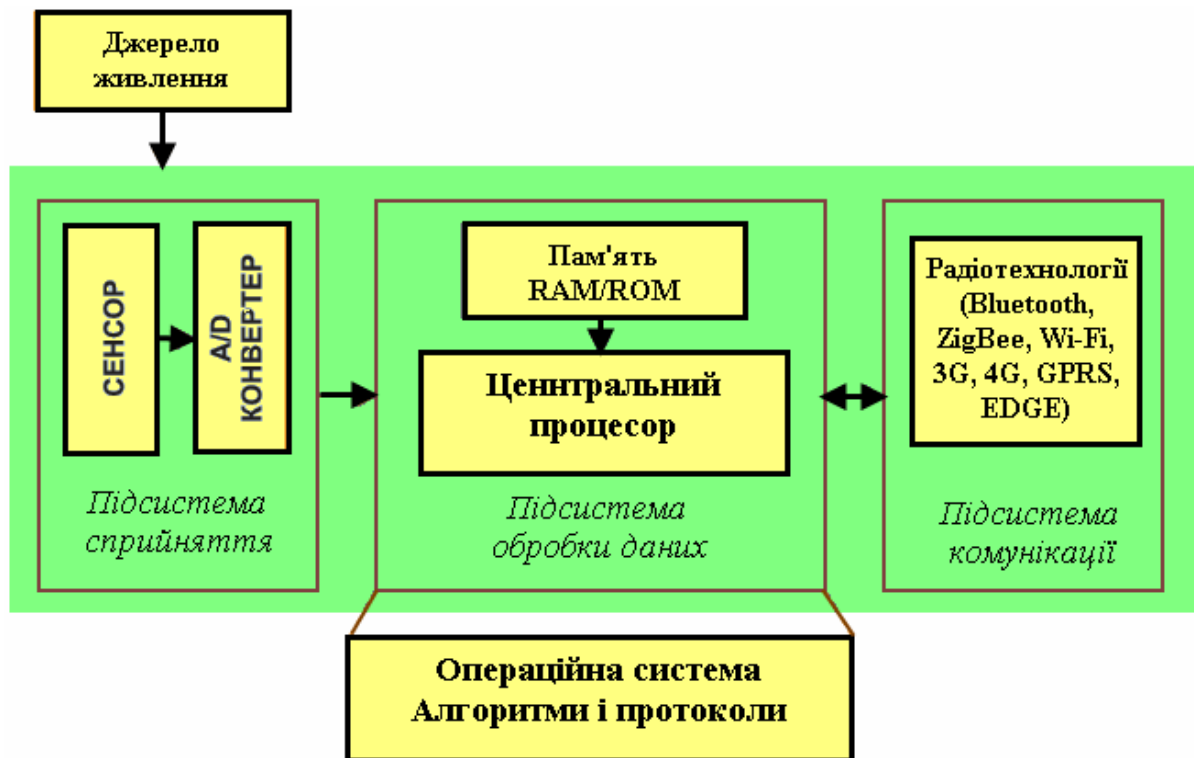


Рис. 5.4. Загальна архітектура сенсора [148]

Розмір, точність і потужність споживання сенсорів залежить від їх типу. Наприклад, сенсор заснований на нагріванні напівпровідників (терморезисторний або термісторний сенсор) оцінює концентрації цільового газу шляхом вимірювання електропровідності чутливого шару, який складається з метало-оксидних матеріалів, таких як діоксид олова (SnO_2) та оксиду цинку (ZnO). Коли токсичні гази досягають поверхні датчика і поглинаються, його електрична провідність змінюється.

Деякі характеристики сучасних сенсорів приведені в [151]. Зокрема варто відзначити невеликі розміри цих пристроїв (в середньому 9,5x9,5x3,9 мм), порівняно невеликі вимоги щодо живлення (3-12 В, 4-90 мА) та прийнятну для даної задачі точність (максимальна похибка в діапазоні вимірювань не перевищує 5%).



Рис. 5.5. Приклад мобільної метеорологічної установки

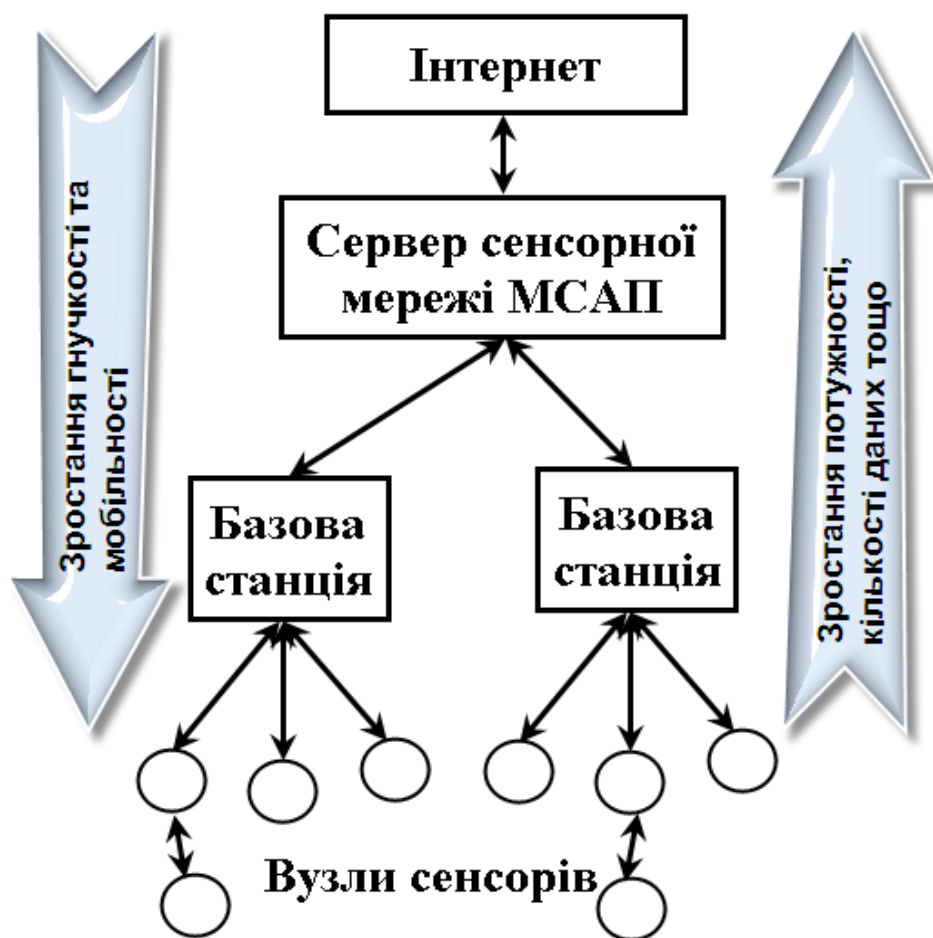


Рис. 5.6. Схематична діаграма, що показує різні частини мережі МСАП

Побудована мережа МСАП на основі сучасних без провідникових сенсорів складається з різних частин: починаючи від власне сенсорів та закінчуючи Інтернетом. При цьому, як зазначено в [61], чим ближче рівень до власне сенсорів – тим більша мобільність та гнучкість такої мережі, і навпаки, рівні віддалені від сенсорів потребують більше живлення, пам'яті тощо (див. рис. 5.6).

Інформаційний обмін між сенсорами і базовими станціями (або безпосередньо з сервером мережі МСАП) здійснюється по радіоканалах. Власне цей інформаційний обмін та безліч вузлів сенсорів, що контролюють концентрації різних забруднюючих речовин в повітрі та метеорологічні параметри середовища, утворюють розгалужену сенсорну мережу.

Таким чином, сенсорна мережа являє собою сукупність взаємодіючих вузлів, пов'язаних із зовнішнім середовищем датчиками (сенсорами). В кожному вузлі є обчислювальний пристрій (процесор) і приймач. Обчислювальний пристрій управляє вузлом, включаючи приймач, а також здійснює первинну обробку даних, що надходять від датчиків. Після первинної обробки інформація передається вузлом за допомогою бездротової комунікаційної мережі в центральний пункт (сервер мережі МСАП), де надходить від всіх вузлів інформація обробляється та аналізується.

Варто відзначити, що саме дослідження в галузі бездротових сенсорних мереж (а саме як забезпечити зв'язок між сенсорами) стали основою для розробки першого адаптованого стандарту бездротового зв'язку IEEE 802.15.4 і його промислової версії ZigBee. Ці вузько смугові бездротові засоби використовують частотні області 868, 915 і 2400 МГц. З метою розширення можливостей застосування персональної бездротового зв'язку, в тому числі для сенсорних мереж, у 2007 р. був прийнятий стандарт IEEE 802.15.4a, що передбачає використання в якості носіїв інформації надширокосмугових електромагнітних сигналів [148].

Виходячи з рис. 5.6, можна зробити висновок, що основною вимогою до сенсорів мережі МСАП, окрім власне проведення точних вимірів, є

забезпечення передачі виміряних даних до базової станції. З врахуванням цього, основними вимогами до таких сенсорів та їх вузлів є наступні:

- 1) точність вимірів (прийнятна абсолютна та відносна похибки);
- 2) вимірювання концентрацій необхідних забруднюючих речовин;
- 3) сприйнятливий діапазон проведення вимірів (мінімальна та максимальна концентрації, що фіксуються сенсором);
- 4) підтримка необхідних каналів передачі даних;
- 5) прийнятний час відгуку сенсору та розширення (крок) вимірів;
- 6) мінімальні габарити та вартість;
- 7) прийнятні вимоги щодо живлення та/або можливість живлення від сонячних батарей;
- 8) максимальний гарантійний термін експлуатації;
- 9) простота та дешевизна калібрування або відсутність необхідності її проведення.

Таким чином, при вирішенні задачі побудови оптимальної безпроводної сенсорної мережі (БСМ) МСАП значне місце відводиться врахуванню вимог щодо сенсорів та їх вузлів. При цьому перші п'ять вимог є критичними щодо можливості застосування певного сенсору (вузлів сенсорів), а останній чотири є допоміжними для вибору оптимального обладнання для побудови та оптимізації БСМ МСАП.

Також, значний інтерес при побудові бездротових сенсорних мереж МСАП становить використання мережі громадського транспорту, рухомий склад якого останнім часом активно оснащується модулями GPS. Наприклад, частина рухомого складу громадського транспорту Києва, Харкова та деяких інших міст уже використовує GPS. Така мережа дозволить забезпечити живлення сенсорів, зменшить її вартість, дозволить покрити моніторингом більшу територію тощо.

Архітектура БСЕМ та мереж МСАП. Останні технологічні розробки в мініатюризації електроніки і бездротових технологій зв'язку привели до появи багатьох БСЕМ, які покликані значно підвищити рівень моніторингу

навколишнього природного середовища. Ці системи полегшують вивчення фундаментальних процесів у навколишньому середовищі, а також надають інформацію щодо різних життєво важливих параметрів, що дозволяє використовувати їх для попередження небезпеки (наприклад, для попередження повеней).

Безпроводна сенсорна екологічна мережа включає в себе безліч сенсорів (датчиків) і їх вузлів та системи зв'язку, яка дозволяє передавати отримані дані до сервера мережі. Розвиток БСЕМ викликаний тим, що прокласти кабелі часто економічно не вигідно і не завжди можливо, до того ж вони можуть порушити навколишнє середовище, де проводиться моніторинг. Різні типи даних збираються за допомогою БСЕМ. Це і конкретні екологічні параметри, а також загальні дані, такі як метеорологічні або дані системи глобального позиціонування (GPS). Ці дані можуть бути в різних формах, цифрові й аналогові, просторові і часові тощо.

Отримані таким чином дані можуть бути переглянуті і проаналізовані за допомогою географічних інформаційних систем (ГІС), що дозволяють поєднати їх з супутниковими зображеннями і/або картами, і опублікувати через Інтернет, щоб надати користувачам простий доступ до інформації. БСЕМ відрізняються за своїми масштабами і функціями.

Проблеми розвитку БСЕМ згідно з [61] включають:

1. Управління живленням. Для того, щоб БСЕМ працювали в автоматичному режимі без постійних заміन батарей, необхідно використовувати складні методи управління живленням.
2. Зручність. Більшість сучасних БСЕМ потребує подальшого розгортання та удосконалення, підвищення юзабіліті доступу даних тощо.
3. Стандартизація. Багато БСЕМ використовують різні апаратні платформи, операційне та програмне забезпечення, тому взаємодія між ними дуже ускладнена. В майбутньому повинно бути можливим розгортання вузлів від різних виробників, але збір, збереження та візуалізації даних в єдиному порядку, що дозволить створити глобальні інформаційні системи.

4. Якість даних. Калібрування сенсора має життєво важливе значення для високої якості отриманих даних. Крім того, важливим є визначення точних просторових (географічних) координат сенсора.

5. Безпека. Деякі БСЕМ вимагають використання систем безпеки з метою запобігання фальсифікації, як на апаратному рівні, так і під час передачі та збереження даних.

6. Аналіз даних і обробка результатів. Продовження зусиль по стандартизації та удосконаленню семантичної розмітки в кінцевому підсумку призведе до доступності даних, що зробить простим для користувачів аналіз даних, а також їх доступність для програмних агентів.

7. Розробка нових сенсорів (датчиків), зокрема біосенсорів.

Архітектури БСЕМ розглядаються в роботах [25, 37, 57, 62, 65, 100 та ін.] та представлені на рис. 5.7-5.8.

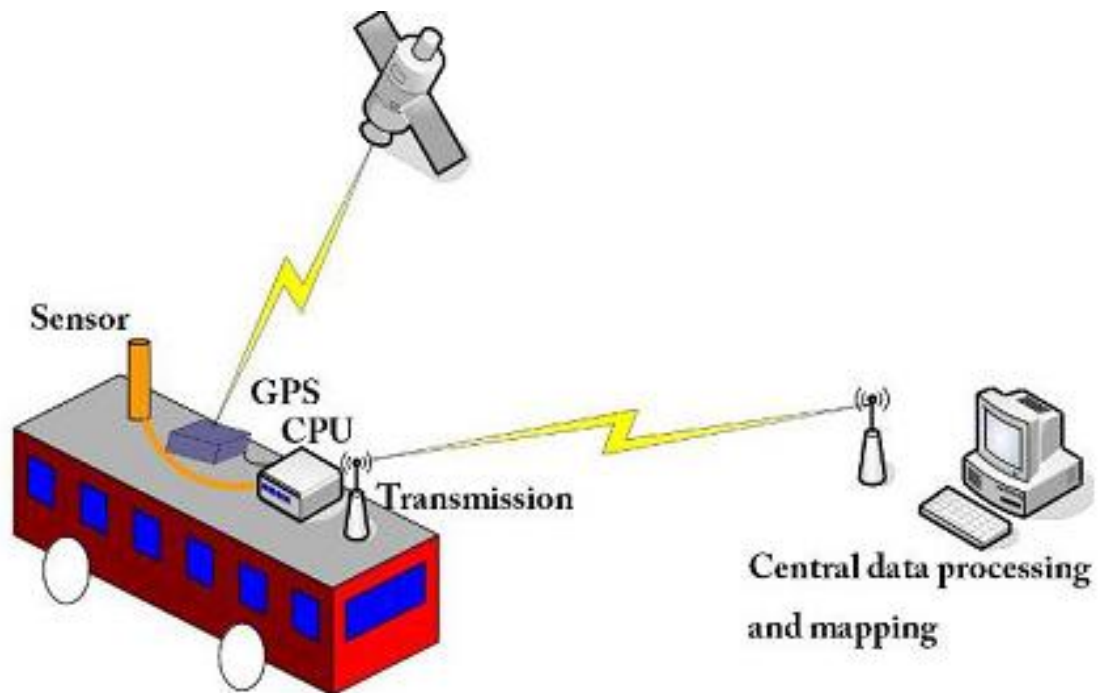


Рис. 5.7. Архітектура системи БСЕМ [37]

Архітектура БСЕМ (рис. 5.7), запропонована в роботі [37], з функціональної точки зору може бути розділена на три основні блоки. Перший функціональний блок відповідає за розробку і впровадження

автономних датчиків і системи зв'язку, які повинні бути розміщені на мобільних платформах. Що стосується підсистеми вимірювання, то вона задумана як модульна конструкція, що забезпечує можливість вимірювання різних типів забруднювачів шляхом додавання відповідних датчиків. Інструментами інтеграції цієї сенсорної системи пропонуються глобальні і локальні системами позиціонування. Така автономна система може бути розгорнута на транспортних засобах, так що вона повинна передавати відповідні дані за допомогою системи зв'язку.

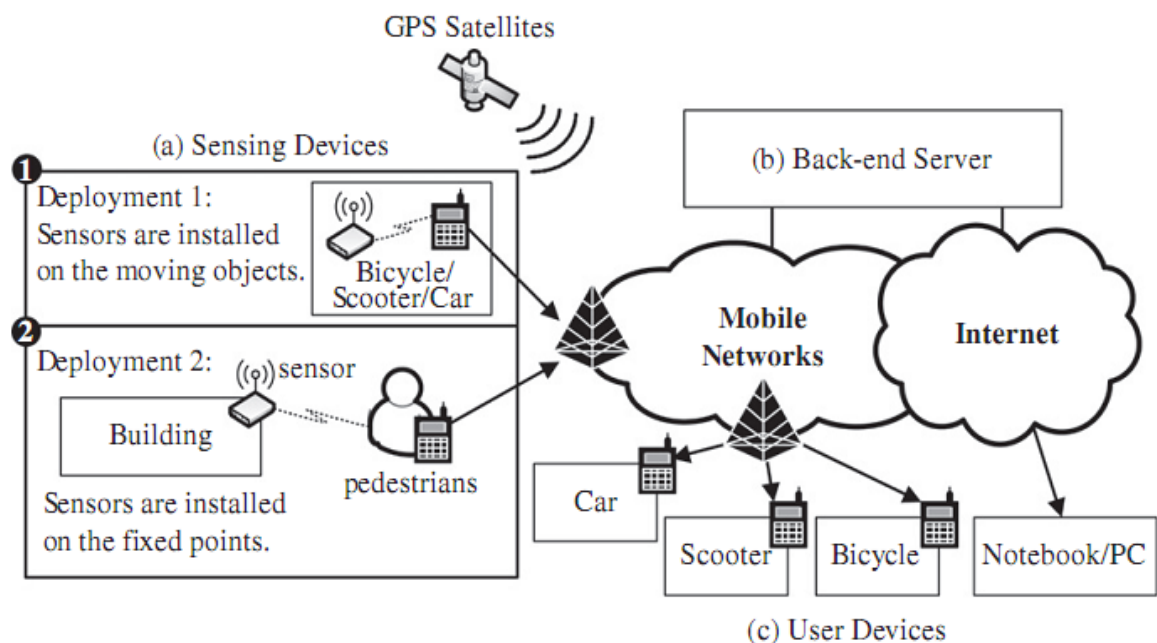


Рис. 5.8. Архітектура системи БСЕМ [57]

Другим є блок комунікацій. В рамках цього функціонального блоку розглядаються всі питання, що стосуються того, яким чином інформація буде передана з мобільних підрозділів до центрального центру обробки даних. Для цього пропонується використовувати мережу стільникового зв'язку, де це можливо і економічно доцільно, та/або бездротові технології малої дальності.

Третім є блок агрегування інформації від різних датчиків і мобільних підрозділів. Для того, щоб побудувати карти рівня забруднення, дані, отримані через мобільні платформи повинні бути оброблені еквівалентно даним, що надходять від стаціонарних постів мережі МСАП, адже міські

автобуси безперервно повторюють той самий шлях. Для відображення даних з географічної прив'язкою доцільно використати сервіс Google Maps, завдяки своїй доступності і низькій вартості.

В архітектурі БСЕМ (рис. 5.8), що запропонована в роботі [57], вимірювальний пристрій теж оснащений датчиком якості повітря, приймачем GPS і бездротовим передавачем. Пропонується два види розгортання сенсорів: датчики, встановлені на мобільних вузлах (наприклад, автомобілях, скутерах тощо) та датчики, встановлені на нерухомих точках в міському середовищі (наприклад, будівлях, деревах тощо). Після збору даних про якість повітря (за допомогою датчика якості повітря) і отримання даних GPS і часу (від приймача GPS), вимірювальний пристрій генерує звіт зондування (містять даних про якість повітря, координати з GPS і час), і передає їх на внутрішній сервер через радіопередавач. Внутрішній сервер даної архітектури оснащений модулями передачі для підтримки передачі даних через Інтернет-протокол (IP) в Інтернет і службу коротких повідомлень (SMS) на мобільні мережі. Основними завданнями внутрішнього сервера є збір та зондування передач від датчиків, та надання послуг для користувачів пристроїв. Схожими є архітектури БСЕМ, що запропоновані в роботах [62 та ін.]. В них відзначаються дві основні частини: інтерфейс автоматичної системи контролю та серверної бази даних.

Всі з розглянутих вище архітектур БСЕМ принципово є схожими та відрізняються лише рівнем їх деталізації. Синтез даних архітектур – основа для розробки архітектури БСЕМ України. Таким чином можна сказати, що основними складовими архітектури такої БСЕМ будуть власне сенсори, їх вузли, зв'язки між ними, GPS, шлюзи та проміжні станції, сховища даних та сервери, Інтернет та користувачі.

Загальна постановка та класифікація задач оптимізації мережі МСАП. В загальному випадку вирішення задачі оптимізації мережі МСАП повинно відповісти на запитання: де і скільки вузлів сенсорів необхідно встановити, щоб отримана мережа МСАП відповідала висунутим до неї

вимогам. Таким чином пропонується наступна загальна постановка задачі оптимізації мережі МСАП: на заданій території B , що розбита на квадрати фіксованого розміру, та заданій множині рухомих об'єктів M (тролейбусів, трамваїв, потягів тощо, на яких можливо встановлення вузлів сенсорів) з їх маршрутами територією B розмістити деяку кількість вузлів сенсорів (N_B та N_M відповідно) з врахуванням різного роду обмежень так, щоб утворена таким чином мережі МСАП відповідала одному (F) чи декільком ($F_1, F_2, \dots$) критеріям оптимальності. Найчастіше, при цьому робляться наступні припущення: всі точки квадратів території B та рухомих об'єктів M є рівноцінними щодо розміщення вузлів сенсорів; їх центри використовується в якості розрахункових точок; вузли сенсорів однієї мережі МСАП вважаються ідентичними.

Територія, яку повинна охопити мережа МСАП, може істотно змінюватись в розмірах. Як відомо, екологічний моніторинг здійснюється на чотирьох рівнях: локальному; регіональному; національному; глобальному. Таким чином задачі оптимізації мереж МСАП можна розділити за відповідними рівнями. Разом з тим, область оптимізації може бути опуклою або не опуклою (крім того, у випадку оптимізації мережі МСАП для декількох міст одночасно, навіть незв'язною).

Загалом описати територію B можна за допомогою прямокутної матриці $\{b_{ij}\}$ де:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо квадрат } (i, j) \text{ належить території } B \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases},$$

де: $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, $m \times n$ – розмірність матриці $\{b_{ij}\}$ після розбиття досліджуваної території на $m \times n$ квадратів.

Після цього вирішення задачі оптимізації мережі МСАП можна привести до знаходження матриць X^B та X^M , таких що:

$$x_{ij}^B = \begin{cases} 1, & \text{якщо в квадрат } (i, j) \text{ встановлюється сенсорний вузол} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (5.1)$$

та

$$x_i^M = \begin{cases} 1, & \text{якщо на } i\text{-тий рухомий об'єкт} \\ & \text{встановлюється сенсорний вузол} \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (5.2)$$

Таким чином отримуємо, що загальна кількість (N_Z) встановлених вузлів сенсорів рівна:

$$N_Z = N_B + N_M = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}^B + \sum_{i=1}^{|M|} x_i^M \quad (5.3)$$

де: $|M|$ – потужність (кількість елементів) множини M .

Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП за характеристиками відповідної території здійснюється за масштабами, опуклістю та зв'язністю області оптимізації.

Критерії оптимальності мережі МСАП можуть бути найрізноманітнішими. Проте найчастіше використовуються: економічні (мінімальна вартість мережі, мінімальна сума збитків від неточності отриманої інформації тощо); статистичні - вимога мінімуму середньої квадратичної помилки відновлення значення концентрації забруднюючої речовини в певній точці простору і в певний момент часу; комплексні (інформаційна корисність, інформативність тощо).

Крім того, задача оптимізації мереж МСАП може бути одно- та багатокритеріальною. Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП за критеріями оптимальності здійснюється за їх кількістю і виглядом.

Кількість вузлів сенсорів (N_Z) мережі МСАП може бути:

- 1) точно задана наперед: $N_Z = N$;
- 2) бути менше-рівне заданого числа: $N_Z \leq N$;
- 3) бути більше-рівне заданого числа: $N_Z \geq N$;
- 4) лежати в певному інтервалі (поєднання випадків 2 і 3);
- 5) невідомою.

де: N – наперед задане число вузлів сенсорів.

У перших чотирьох випадках в математичну постановку задачі просто додаються відповідні обмеження. Щодо п'ятого випадку, коли N є

невідомим, то можливі наступні випадки:

- 1) N визначається до початку вирішення задачі: $N = f(g_1^B, g_2^B, \dots, g_p^B)$
де: g_i^B – деякий параметр (характеристика) території B (наприклад, населення, площа, параметри існуючої мережі, рівень забруднення, метеорологічні параметри тощо); p – кількість таких параметрів; f – деяка функція, що описує залежність між необхідною кількістю (N) вузлів сенсорів та параметрами території B ;
- 2) N визначається під час вирішення задачі оптимізації мережі МСАП за наявності економічних обмежень щодо вартості побудови та/або функціонування мережі;
- 3) N визначається під час вирішення задачі оптимізації мережі МСАП за наявності відповідного критерію (наприклад, подальше збільшення N або майже не призводить, до підвищення ефективності мережі тощо);
- 4) N визначається після вирішення задачі оптимізації мережі МСАП, коли виконуються висунуті критерії оптимальності мережі МСАП.

Крім того, можуть висуватися вимоги щодо кількості вузлів сенсорів, які розміщуються стаціонарно та на рухомих об'єктах (N_B та N_M відповідно).

Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП за заданістю кількості вузлів сенсорів здійснюється за наявністю чи відсутністю таких даних та видом знаходження N в даному випадку.

Тип мережі МСАП, що проектується (оптимізується), визначається наявністю (відсутністю) вузлів сенсорів, які розміщуються стаціонарно та на рухомих об'єктах відповідно:

- 1) стаціонарна мережа МСАП:
$$\begin{cases} N_Z = N_B \\ N_M = 0 \end{cases}$$
- 2) пересувна мережа МСАП:
$$\begin{cases} N_Z = N_M \\ N_B = 0 \end{cases}$$

$$3) \quad \text{змішана (гібридна) мережа МСАП:} \quad \begin{cases} N_Z = N_B + N_M \\ N_M > 0 \\ N_B > 0 \end{cases}$$

Крім того, при розширенні діючої мережі МСАП необхідно враховувати її параметри, можливість перенесення її вузлів тощо.

Таким чином, класифікація задач оптимізації мереж МСАП також здійснюється за типом мережі, наявністю існуючої мережі та її параметрами.

Обмеження в задачі оптимізації мережі МСАП можуть бути відсутніми (тоді маємо задачу безумовної оптимізації), або можуть бути в наявності (тоді маємо задачу умовної оптимізації) наступні обмеження: 1) щодо кількості вузлів сенсорів (про що описано вище); 2) щодо вартості побудови та/або функціонування мережі; 3) щодо мінімально (або максимально) можливої відстані між вузлами; 4) щодо точності даних моніторингу та моделювання на їх основі тощо. Таким чином, задачі оптимізації мереж МСАП за наявністю (відсутністю) обмежень поділяються на задачі умовної та безумовної оптимізації.

Вигляд шуканих величин задач оптимізації мережі МСАП також впливає на їх класифікацію. В даній роботі матриці X^B та X^M (і як наслідок N_Z) пропонується в якості невідомих змінних: тому така задача є детермінованою бінарною. Проте можливі випадки необхідності приведення задач оптимізації мережі МСАП до задач неперервної оптимізації. Таким чином, задачі оптимізації мереж МСАП за виглядом шуканих величин поділяються на задачі детерміновані та неперервної оптимізації тощо.

Функція мети, що описує відповідний критерій оптимальності (або їх набір), та обмеження в задачі можуть бути лінійними чи нелінійними, опуклими чи ні тощо. Таким чином задачі оптимізації мереж МСАП поділяються лінійні та нелінійні тощо.

Найбільш складним для вирішення є випадок, коли задача оптимізації мережі МСАП є: багатокритеріальною; область оптимізації не опукла або

незв'язна; кількість вузлів сенсорів (N_z) мережі МСАП апіорі невідома; оптимізується змішана (гібридна) мережа МСАП за наявності існуючої мережі, частину якої можна перенести, а частину – ні; в задачі присутні декілька обмежень, тобто вона є задачею умовної оптимізації; обмеження або критерії є нелінійними, не опуклими і т.д., тобто вона є задачею нелінійного не опуклого програмування тощо.

Проведені в роботі дослідження показали, що одним з актуальних напрямів удосконалення та оптимізації мереж МСАП (зокрема сенсорних) є використання систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту.

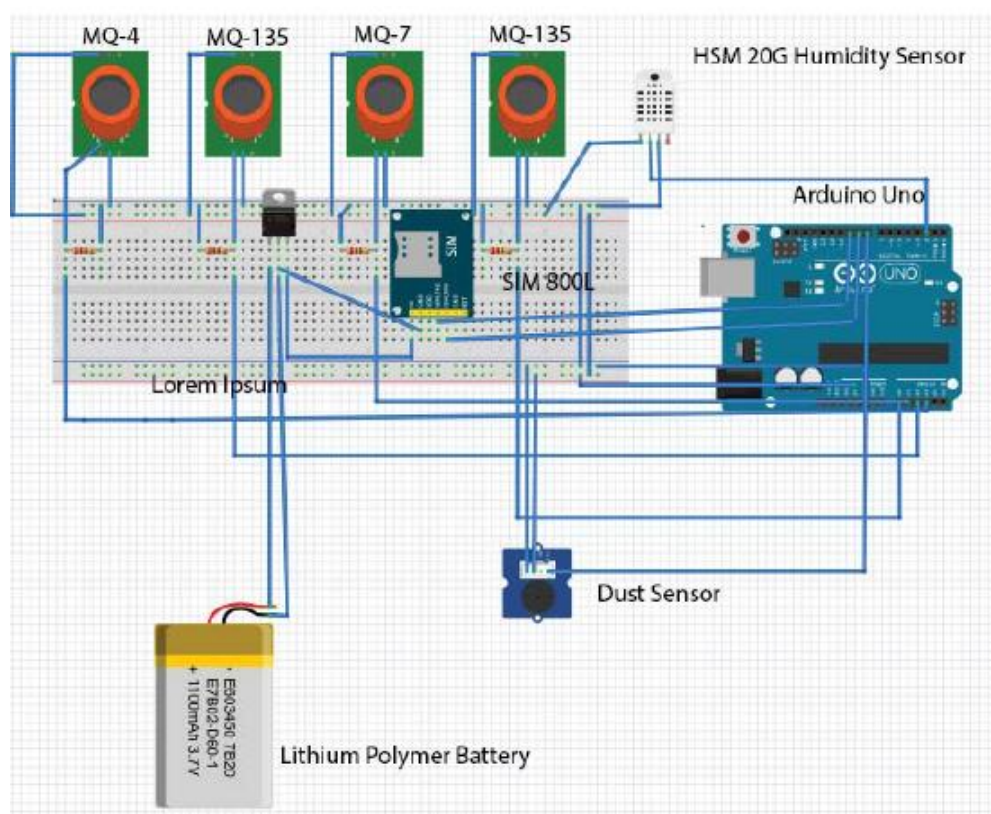
Зарубіжний досвід побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. Динаміка закордонних публікацій показує, що проблема побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту залишається актуальною.

В роботі [26] автори зосередили свою увагу на розробленні недорогого модулю, що може бути використаний для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту (рис. 5.9).

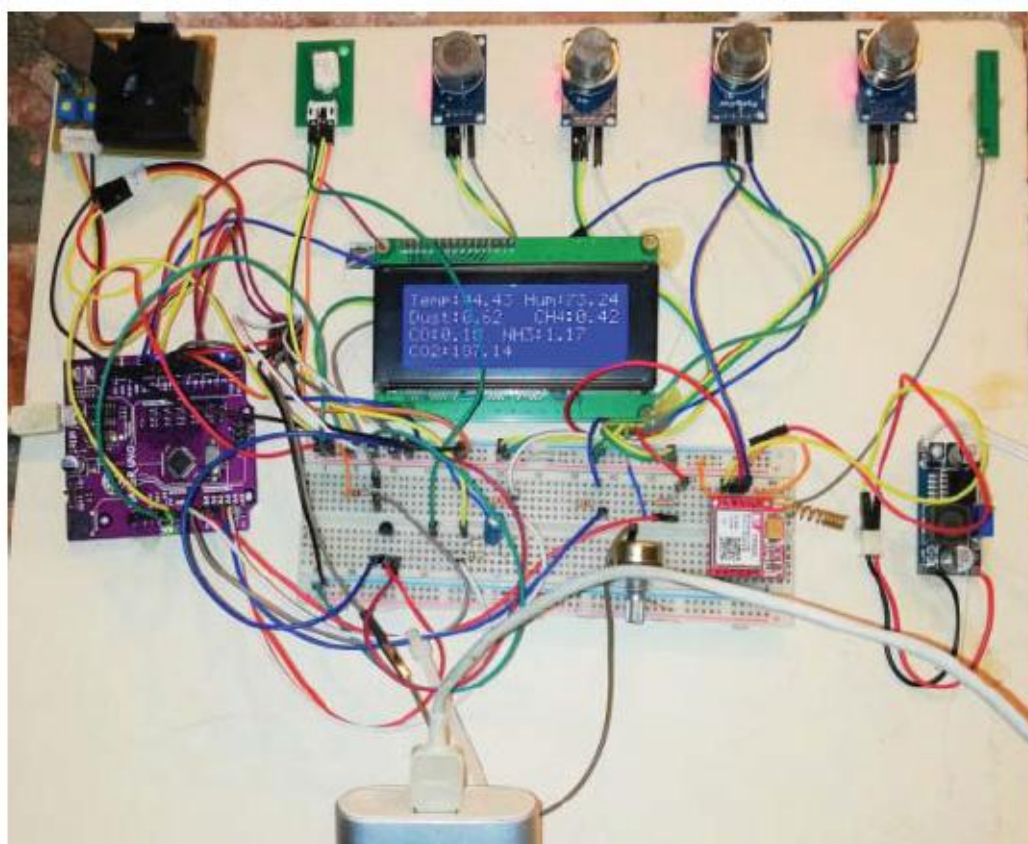
Автори [76] пропонують загальну схему архітектури системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту (рис. 5.10).

В роботі [44] здійснено ґрунтовний аналіз та запропонований власний підхід до розміщення вузлів бездротових сенсорних мереж загального призначення з контролем отриманої топології задля мінімізації споживання енергії.

Авторами роботи [45] описано результати вимірювання концентрацій $PM_{2,5}$, CO та бензолу в маршрутках, автобусах та метро в Мехіко в ранкові та вечірні години пік.



a)



b)

Sl.	Name	Quantity
1	Arduino UNO	1
2	Grove Dust sensor	1
3	MQ-4 Gas sensor	1
4	MQ-135 Gas Sensor	2
5	MQ-7 Gas Sensor	1
6	HSM-20G Humidity Sensor	1
7	SIM 800 SM Module	1
8	20x4 Alphanumeric LCD Display	1
9	LM 35 Temperature Sensor	1
10	Miscellaneous	
	Total	

в)

Рис. 5.9. Модуль, що може бути використаний для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту: а) загальна схема; б) загальний вигляд у розібраному стані; в) складові [26]

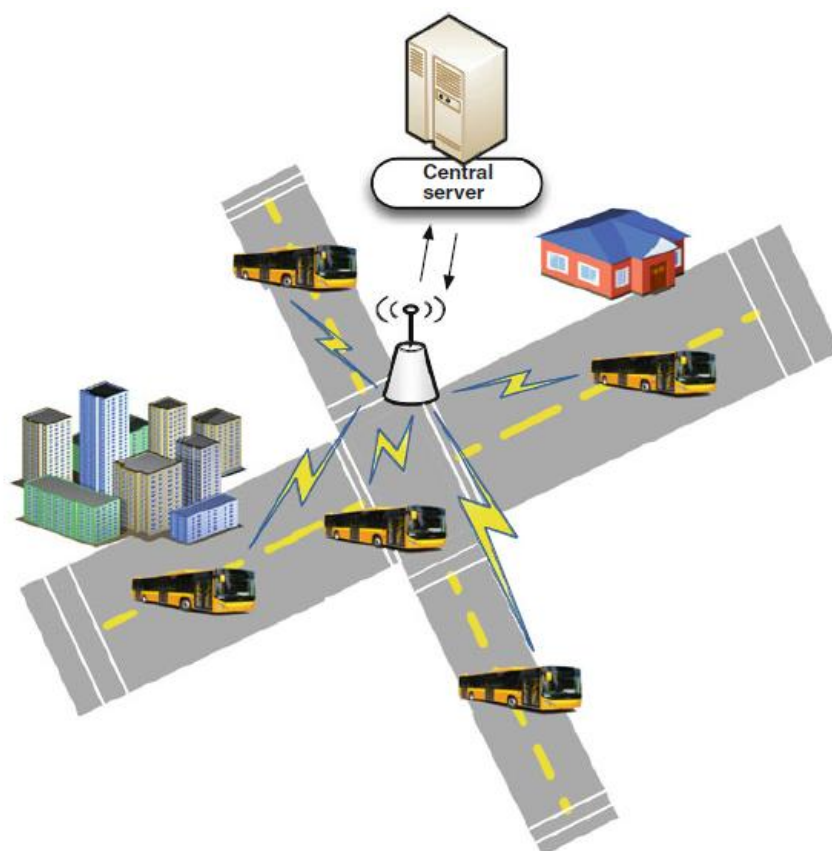


Рис. 5.10. Загальна схема архітектури системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту [76]

В роботі [81] описано деякі з існуючих сенсорів для мережі МСАП з аналізом перспектив їх використання (рис. 5.11).

Device Name	Developer	SensorType ^a	Pollutant(s)	Precision (ppb)	SampleTime	Range (ppb)	Approx. Cost USD	Notable References
Personal Ozone Monitor	2B Technologies	UV	O ₃	2.0	10s	2–10000	\$4900	2B Technologies (2012)
SENS-IT (O ₃ or NO ₂)	Unitec	MOS	O ₃ or NO ₂	10	data logger	10–250	\$2250	Unitec (2016a) Unitec (2016b) Williams et al. (2015)
SENS-IT (CO)	Unitec	MOS	CO	200	datalogger	100–8000	\$2250	Unitec (2016a) Unitec (2016b) Williams et al. (2015)
CairClip	Cairpol	EC	O ₃ /NO ₂ ratio	9.3	1 min	0–250	\$1076	CairPol (2016) Williams et al. (2014b) Duvall (2014)
Series 500 Portable Monitor (O ₃)	Aeroqual	MOS	O ₃	± 5.0 ^{b1} 6.0 ^{b2}	1 min	0–500 0–150	\$460	Aeroqual (2016b) ¹ MacDonald et al. (2014) ² Lin et al. (2015)
Series 500 Portable Monitor (NO ₂)	Aeroqual	EC	NO ₂	± 20	1 min	0–1000	\$460	Aeroqual (2016b)
Series 500 Portable Monitor (CO)	Aeroqual	EC	CO	± 50 ^c	1 min	0–250000 –100000	\$460	Aeroqual (2016b)
Environmental Monitor	AGT	MOS	O ₃ /NO ₂ /CO ₂ /PM ₁₀	10.3 (O ₃) 1.2 (NO ₂)	N/A	10–1000	N/A ^d	Williams et al. (2014b)
Smart Citizen Kit	Acrobotic Industries	MOS	NO ₂ /CO	N/A	any	1000–1000000 (CO) 50–5000 (NO ₂)	\$230	Smart Citizen (2016)(e2v Technologies, 2008)
AirCasting Air Monitor	HabitatMap	MOS	NO ₂ /CO	3.0 (NO ₂)	N/A	50–5000 (NO ₂)	\$180 ^e	HabitatMap (2016) Williams et al. (2014b) Component Distributors, Inc. (2016)

Рис. 5.11. Деякі з існуючих сенсорів для мережі МСАП [81]

В роботах [104, 105] запропонований підхід до вибору маршрутів для розміщення вузлів сенсорів з врахуванням розкладу руху та з врахуванням контрольних точок датчиків: «оскільки наші вимірювальні станції в основному оснащені недорогими газовими датчиками, ми вимагаємо, щоб остання підгрупа вибраних транспортних засобів дозволяла порівнювати виміряні значення датчиків між різними датчиками, тобто ми вимагаємо, щоб різні датчики періодично проводили вимірювання одночасно і в одному місці розташування».

City	Network	Routes	Vehicles	Stops	Source
Zurich	tram	13	260	187	zvv.ch'11
Canton Zurich	bus	283	732	2'543	zvv.ch'11
Berlin	bus	149	1'300	2'634	bvg.de'11
Chicago	bus	152	2'000	12'000	wikipedia
NY City	bus	324	5'908	15'226	mta.info'09
Long Island	bus	48	389	n/a	mta.info'10

a)

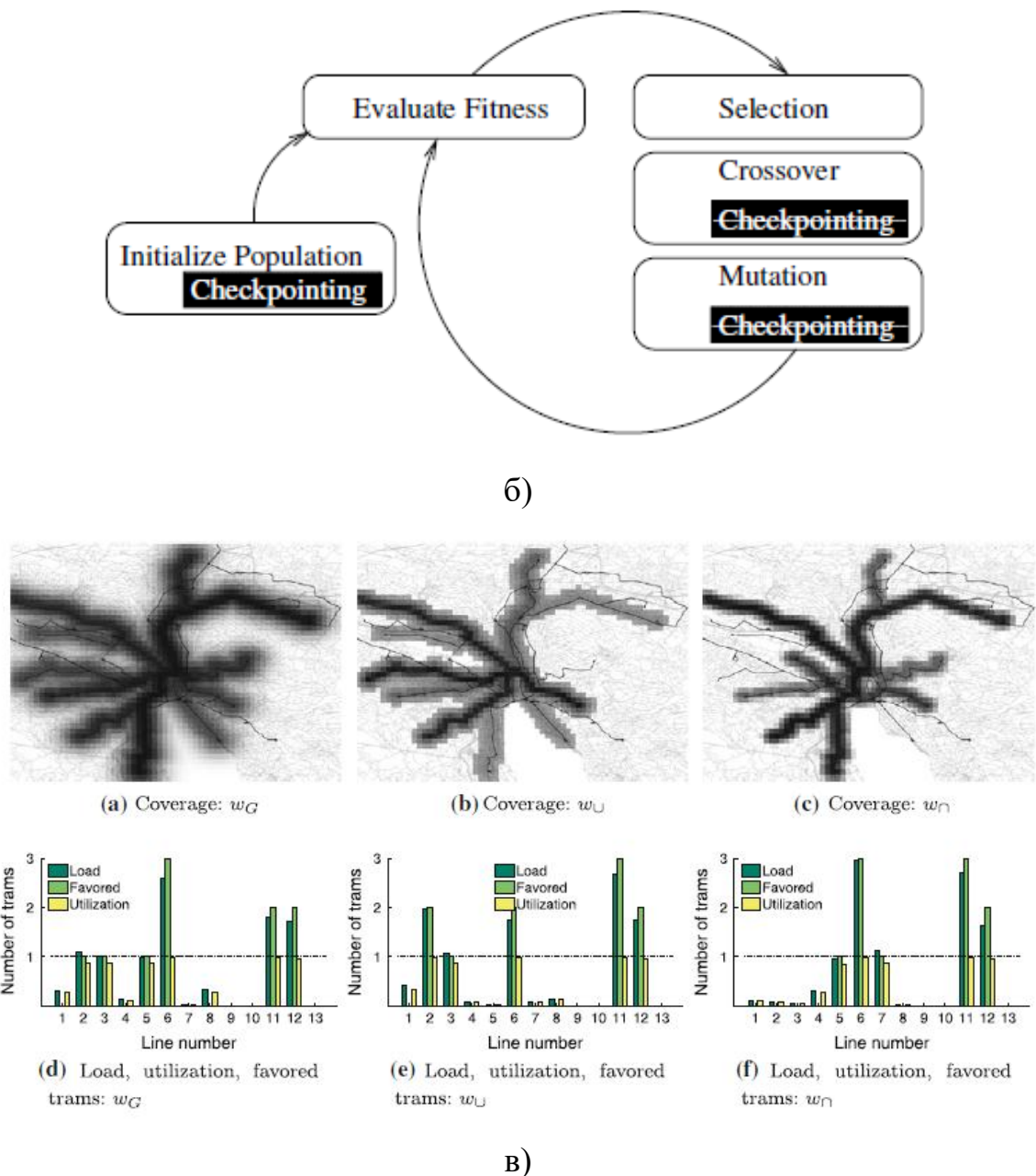


Рис. 5.12. Деякі мережі громадського транспорту, що розглядались в роботах [104, 105] (а), загальна схема запропонованого генетичного алгоритму (б) та приклади отриманих результатів (в)

Автори [70] з посиланням на роботи [76, 93 та ін.] стверджують, що в останні роки набула популярності ідея розміщення датчиків на міському транспорті, проте існуючі праці зосереджені головним чином на технологічних аспектах як побудови датчиків, так і мережевої інфраструктури, але вони не розглядають проблему оптимального

розміщення датчиків. Далі автори описують математичні моделі та практичні алгоритми для проблеми, пов'язаної з моніторингом забруднення повітря у великому місті. Автори працювали над цією проблемою в рамках проекту з оцінки якості повітря в місті Римі шляхом розміщення певної кількості датчиків на деяких міських автобусах. Вони поставили проблему як модель розташування об'єкта. Зменшивши велику кількість змінних даних та обмежень, вони змогли оптимально вирішити отриману модель протягом декількох хвилин. Крім того, автори розробили генетичний алгоритм, рішення якого в середньому були дуже близькі до оптимальних. В обчислювальних експериментах вони вивчали розміщення датчиків на 187 автобусних маршрутах-кандидатах і враховували покриття, яке забезпечується від 10 до 60 датчиків (рис. 5.13).

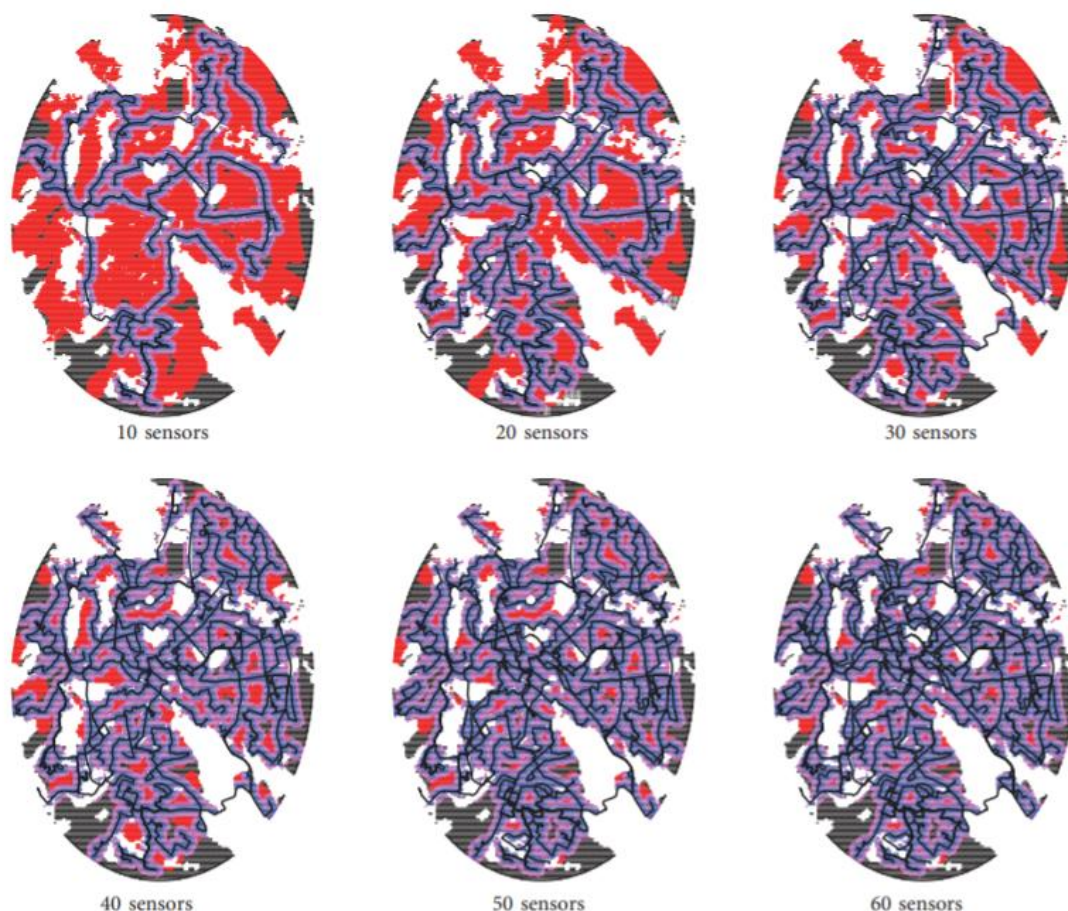


Рис. 5.13. Приклади результатів вибору маршрутів з роботи [70]

Отримані в знайдених роботах результати або не містили підходів щодо вибору маршрутів для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту або мають недоліки (не враховують поточний та прогнозний стан забруднення АП, значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності тощо), а тому необхідно розробляти більш досконалий теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення ЕЕПУР.

Постановка задачі розміщення сенсорів системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в рамках даного підходу має вигляд: необхідно обрати t з T маршрутів громадського транспорту так, щоб інформаційна корисність отриманої системи була максимальною. Функція цілі F , що максимізує загальну інформаційну корисність системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту, має вигляд:

$$F = F(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot b_{ij} \cdot g_{ij}(X) \rightarrow \max, \quad (5.4)$$

де: $m \times n$ – розмірність матриць після розбиття досліджуваної території (найчастіше міста) на $m \times n$ квадратів; A та B – матриці врахування керованих змінних та опису території; $g_{ij}(A)$ – інформаційна корисність проведення спостережень на даній території (i, j) , визначення якої автором детально описано в роботах [155, 157].

Керовані змінні є бінарними та визначаються наступним чином:

$$x_v = \begin{cases} 1, & \text{якщо на маршрут } v \text{ встановлюється сенсорний вузол;} \\ 0, & \text{в інших випадках, } v = \overline{1, T}. \end{cases} \quad (5.5)$$

Допоміжна змінна визначається як:

$$w_{ijv} = \begin{cases} 0, & \text{маршрут } v \text{ не має зупинок в квадраті } (i, j); \\ 1, & \text{маршрут } v \text{ має зупинку в квадраті } (i, j), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, v = \overline{1, T}. \end{cases} \quad (5.6)$$

Матриці врахування керованих змінних та опису території:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \sum_{v=1}^T x_v w_{ijv} \geq 1; \\ 0, & \text{в інших випадках;} \end{cases} \quad (5.7)$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо квадрат } (i, j) \text{ належить території міста;} \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (5.8)$$

Обмеження на кількість маршрутів має вигляд:

$$\sum_{v=1}^T x_v \leq t. \quad (5.9)$$

Аналіз даної задачі показав, що вона є детермінованою бінарною нелінійною задачею динамічного програмування умовної оптимізації на неопуклій або незв'язній області. Розроблено методи вирішення поставленої задачі, що базуються на використанні генетичного алгоритму, для генерації початкової популяції та методу мутації якого використовується, окрім стандартних підходів, жадібний алгоритм з різними модифікаціями, для яких введено показник загальної інформаційної цінності h_v маршруту v :

$$h_v = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} \cdot w_{ijv}. \quad (5.10)$$

Коротко розглянемо розроблені в роботі методи вирішення поставленої задачі. По-перше, зазначимо, що під терміном «метод» будемо ми розуміти систематизовану сукупність кроків, які потрібно здійснити для вирішення поставленої задачі. При цьому нас будуть цікавити чисельні методи — методи наближеного або точного розв'язування задач прикладної математики, до яких власне і належить поставлена задача (5.4)-(5.10), які ґрунтуються на побудові послідовності дій над скінченною множиною чисел.

Оскільки, як уже зазначалося, задача (5.4)-(5.10) є детермінованою бінарною нелінійною задачею динамічного програмування умовної оптимізації на неопуклій або незв'язній області, тому її оптимальне рішення можна знайти лише методом повного перебору, який однак є дуже затратним (рис. 5.14). Отже, для задачі (5.4)-(5.10) необхідно шукати компроміс між ефективністю (оптимальністю) рішення і затратами на його знаходження.

Виходячи з вищесказаного, для вирішення задачі вибору маршрутів для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в загальному випадку необхідно використовувати *евристичні оптимізаційні алгоритми*.

До евристичних алгоритмів відносимо алгоритми, що можуть знайти прийнятне (достатньо ефективне) рішення задачі, але не можуть гарантувати оптимальності даного рішення. Тому, загалом, евристичні алгоритми є наближеними і неточними. Проте, як правило, за допомогою евристичних алгоритмів, можна швидко відшукати рішення, близьке до найкращого. Іноді евристичний алгоритм для конкретної задачі може бути точним, тобто знаходити справді оптимальне рішення, але поки досягнення оптимуму не буде строго доведено, він буде вважатися евристичним. [155, 157]

Одним з найвідоміших евристичних алгоритмів вважається *жадібний алгоритм*, застосування якого для вирішення задачі вибору маршрутів для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту буде представлено далі.

Також для вирішення практичних задач часто використовують *методи еволюційного пошуку*, зокрема *генетичні алгоритми*. Генетичні алгоритми — це еволюційні алгоритми пошуку, які шляхом послідовного підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію, можуть бути використані для вирішення задач оптимізації і моделювання, застосування якого для вирішення задачі вибору маршрутів для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту докладно буде представлено далі.

Як уже зазначалося, оптимальне рішення задачі (5.4)-(5.10) можна знайти лише методом повного перебору (надалі *Метод 1*).

Суть *Методу 1* для даної задачі полягає в послідовному переборі всіх можливих комбінацій t з T маршрутів для побудови систем контролю якості повітря лише на базі рухомого складу громадського транспорту з обчисленням для кожного варіанту значення F . Оптимальним є варіант з

максимальним значенням інформаційної корисності F .

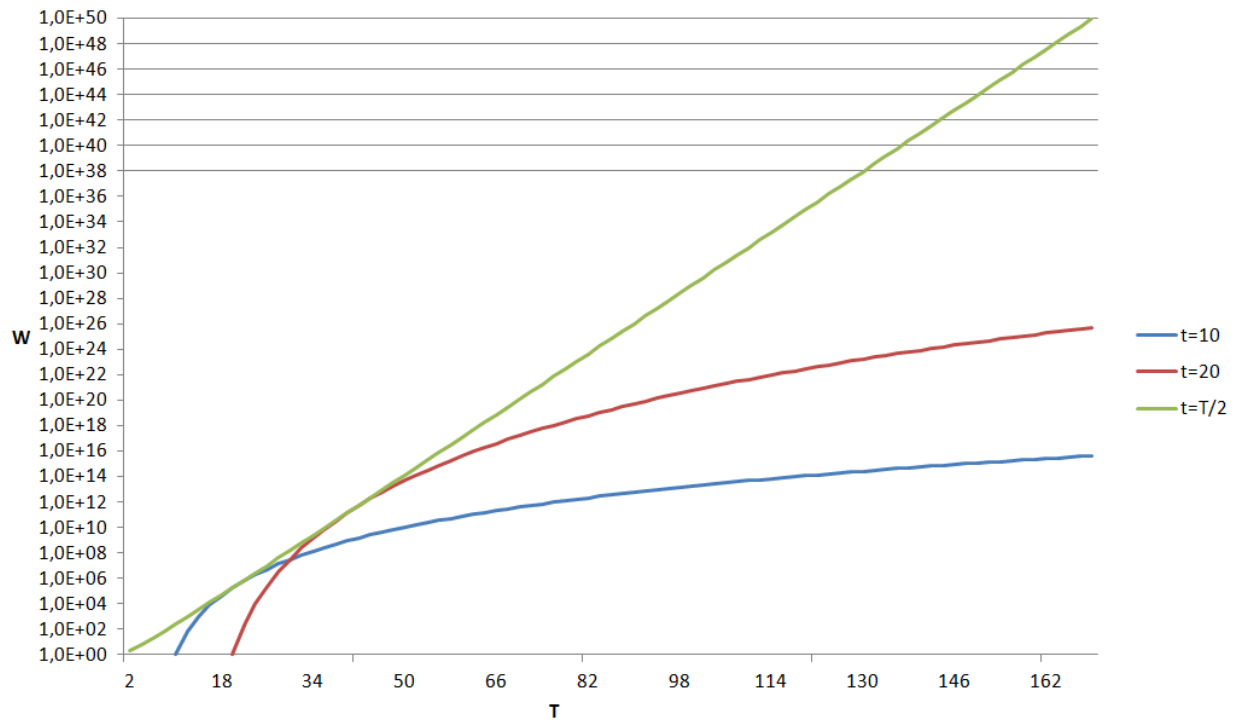


Рис. 5.14. Деякі значення функції $W(T, t)$ на графіку з логарифмічною шкалою

Проте *Метод 1* є дуже затратним з точки зору використання часу, необхідного для проведення досліджень. При виборі t з T маршрутів для побудови систем контролю якості повітря лише на базі рухомого складу громадського транспорту, потрібно перебрати як мінімум W варіантів, де W визначається за формулою:

$$W = C_t^T = \frac{T!}{(T-t)! \cdot t!}$$

Тому, на практиці *Метод 1* може бути застосований при виборі t з T маршрутів для побудови систем контролю якості повітря лише на базі рухомого складу громадського транспорту за невеликих значень параметрів t і T , оскільки в іншому випадку кількість варіантів комбінацій швидко зростає, а час на їх перебір, стає відповідно ще більшим (рис. 5.14).

Жадібний алгоритм — оптимізаційний евристичний алгоритм, що, базуючись на відомих на поточному кроці даних, обирає найкраще (найбільш «жадібне») рішення, не враховуючи можливі наслідки, та сподіваючись в кінці отримати оптимальне рішення. Як правило цей алгоритм не тяжкий для програмної реалізації і, найчастіше, дуже ефективний за часом обчислень.

Класичний жадібний алгоритм базується на таких п'яти наступних пунктах [155, 157]:

- 1) набір можливих варіантів, з яких проводитиметься вибір;
- 2) функція «жадібного» вибору, що знаходить найкращий варіант;
- 3) функція придатності, що залишає чи відкидає даний варіант;
- 4) функція цілі (як правило не виражена явно);
- 5) функція розв'язку, яка визначає чи знайдене кінцеве рішення.

На відміну від методів динамічного програмування, що вирішують задачу знизу вгору, жадібний алгоритм робить це з точністю до навпаки, роблячи один за іншим жадібний вибір.

У галузі інформатики та досліджень операцій генетичний алгоритм (ГА) - це метавіризм, натхненний процесом природного відбору, який належить до більшого класу еволюційних алгоритмів (ЕА). Генетичні алгоритми зазвичай використовуються для створення високоякісних рішень щодо оптимізації та пошуку, спираючись на біологічно натхнених операторів, таких як мутація, кросове (схрещування) та вибір.

У генетичному алгоритмі сукупність рішень-кандидатів (які називаються особинами, істотами чи фенотипами) проблеми оптимізації еволюціонує до кращих рішень. Кожне рішення-кандидат має набір властивостей (його хромосом або генотипу), які можна мутувати та змінювати; традиційно рішення представляються у двійковому вигляді.

У нашому випадку хромосома є бінарною, а кожне рішення-кандидат має вигляд:

$$(x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_{T-1} \ x_T)$$

Еволюція, як правило, починається з популяції випадково сформованих особин, і є ітераційним процесом, причому популяція в кожній ітерації називається поколінням. У кожному поколінні оцінюється підготовленість кожної особини в популяції; придатність - це, як правило, значення цільової функції у вирішуваній задачі оптимізації. У нашому випадку – це функція, що визначається з (5.4).

Крім того, в нашому випадку рекомендується частину популяції сформувати з використанням жадібного алгоритму, розглянутого вище.

Більш придатних особин стохастично відбирають із поточної популяції, і геном кожної особини модифікується (рекомбінується і, можливо, випадково мутується), щоб сформувати нове покоління. Потім нове покоління рішень-кандидатів використовується в наступній ітерації алгоритму. Як правило, алгоритм припиняється, коли було створено максимальну кількість поколінь або досягнуто задовільного рівня придатності для населення.

Таким чином, в загальному пропонується метод вирішення поставленої задачі, що базуються на використанні генетичного алгоритму, для генерації початкової популяції та методу мутації якого використовується, окрім стандартних підходів, жадібний алгоритм з різними модифікаціями, що дозволяє за меншу кількість ітерацій досягати близьких до оптимальних розв'язків, і, як наслідок, за сприйнятливий час розв'язувати відповідні задачі для великих міст зі значною кількістю маршрутів громадського транспорту.

Розробку програмних засобів для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту (модуль ЕМА - environmental monitoring of air) вирішено проводити в рамках системи AISEEM [144, 155, 405], розробником якої є здобувач. Ряд UML діаграм для даного модулю показано на рис. 5.15-5.17.

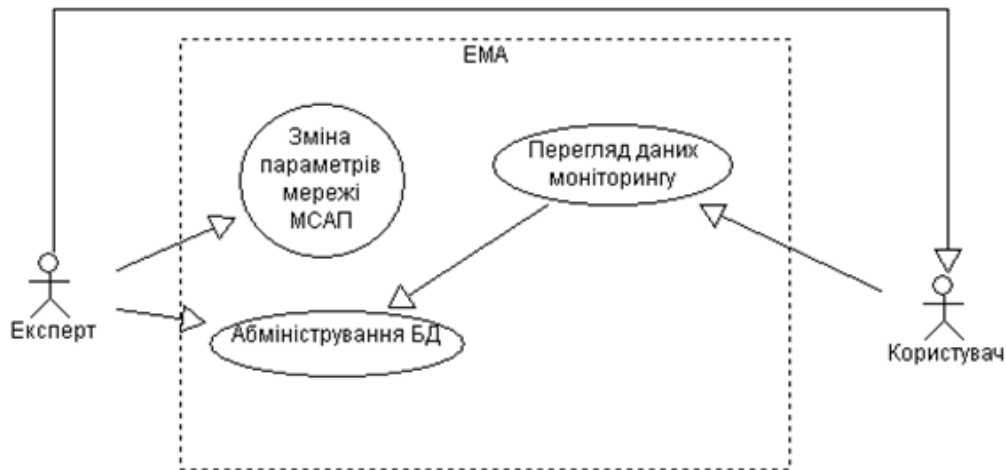


Рис. 5.15. UML діаграма використання

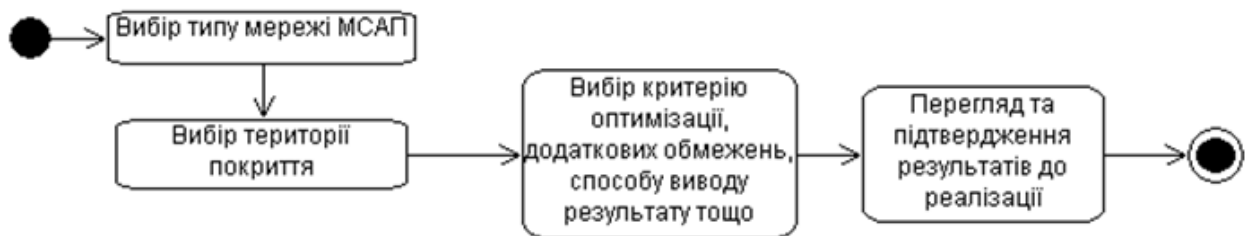


Рис. 5.16. UML діаграма діяльності (при оптимізації)



Рис. 5.17. UML діаграма компонентів

Загалом, запропонований теоретико-методологічний підхід до побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту визначається наступними задачами, вирішення яких спрямоване на побудову сучасних раціональних систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту:

1. Провести дослідження території, на якій планується побудова системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського

транспорту (СКЯПнБРСГТ), зокрема щодо: 1) наявності/відсутності наявної стаціонарної мережі моніторингу, її ефективності, можливості перенесення її постів; 2) виміряних, змодельованих та прогнозних значень забруднення території пріоритетними ЗР; 3) наявних та прогнозованих джерел забруднення; 4) фактичне та прогнозоване значення соціально-економічної цінності ділянки території тощо.

2. Згідно переліку пріоритетних ЗР та наявних ресурсів визначити, які типи сенсорів доцільно і можливо встановлювати для побудови системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту.
3. Визначити всі наявні маршрути громадського транспорту, розклад їх руху, приналежність до кожного з депо тощо.
4. Визначити всі допустимі типи громадського транспорту (тролейбуси, трамваї, автобуси, маршрутки) для встановлення сенсорів СКЯПнБРСГТ (можливо з певним пріоритетом).
5. Визначити метод взаємної перевірки сенсорів, контрольні точки та їх тип.
6. Вибрати необхідний критерій оптимізації СКЯПнБРСГТ. При цьому рекомендується при першій побудові більшу вагу надавати максимальному покриттю території, а далі переглядати його і коригувати СКЯПнБРСГТ з використанням запропонованого чи модифікованого критерію максимальної інформаційної корисності проведення спостережень.
7. Обрати необхідну математичну постановку задачі, за необхідності додати нові обмеження.
8. Вирішити задачу за допомогою розробленого та/або модифікованого програмного забезпечення.

Апробація. Для тестування розробленого програмного забезпечення було обрано задачу побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту для м. Києва.

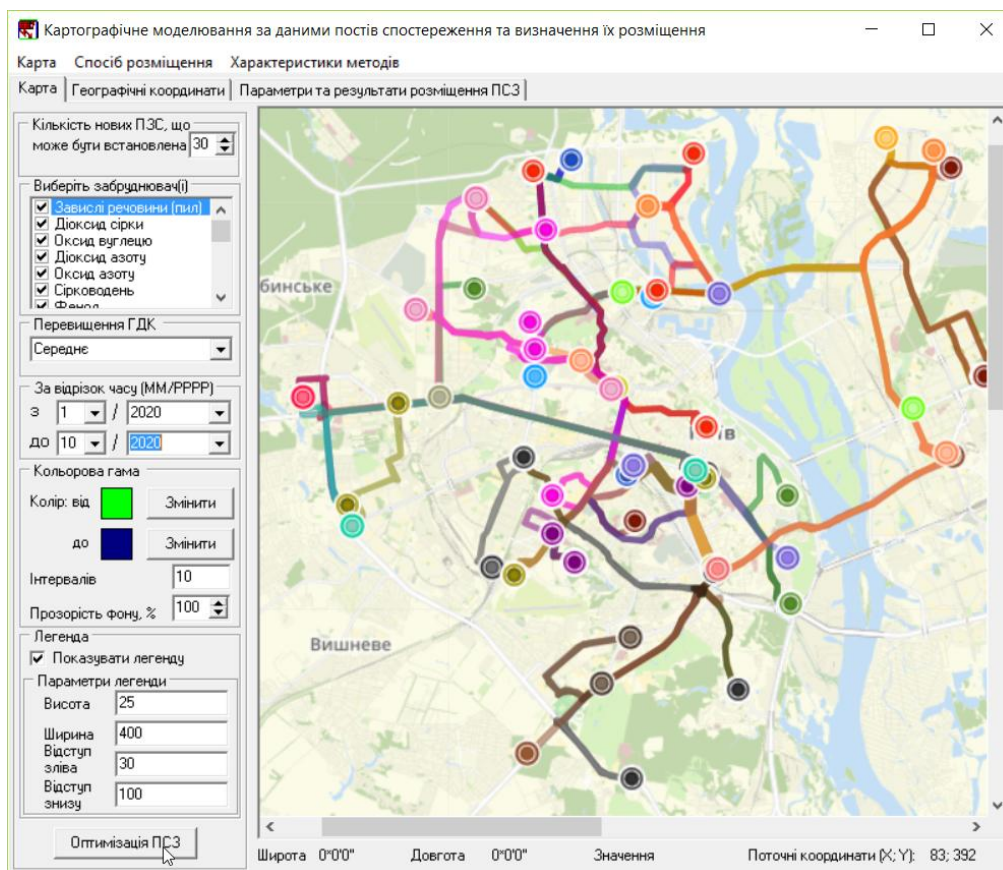


Рис. 5.18. Приклад на базі рухомого складу 30 тролейбусних маршрутів

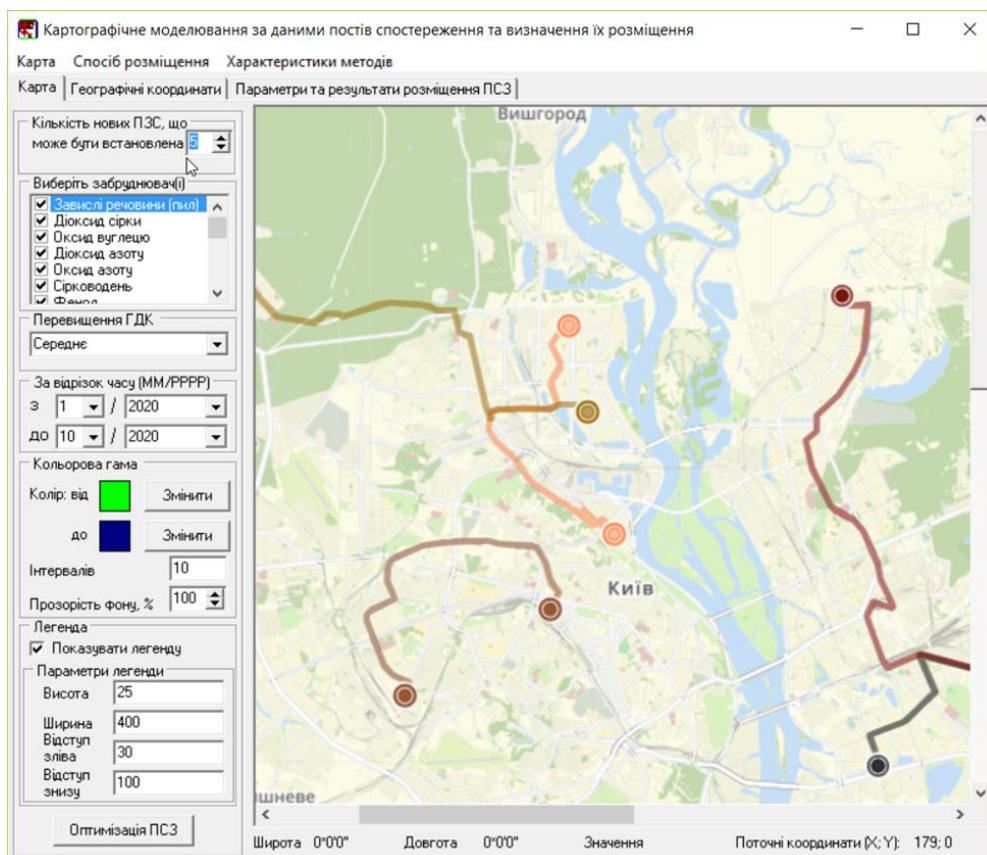


Рис. 5.19. Приклад на базі рухомого складу 5 трамвайних маршрутів

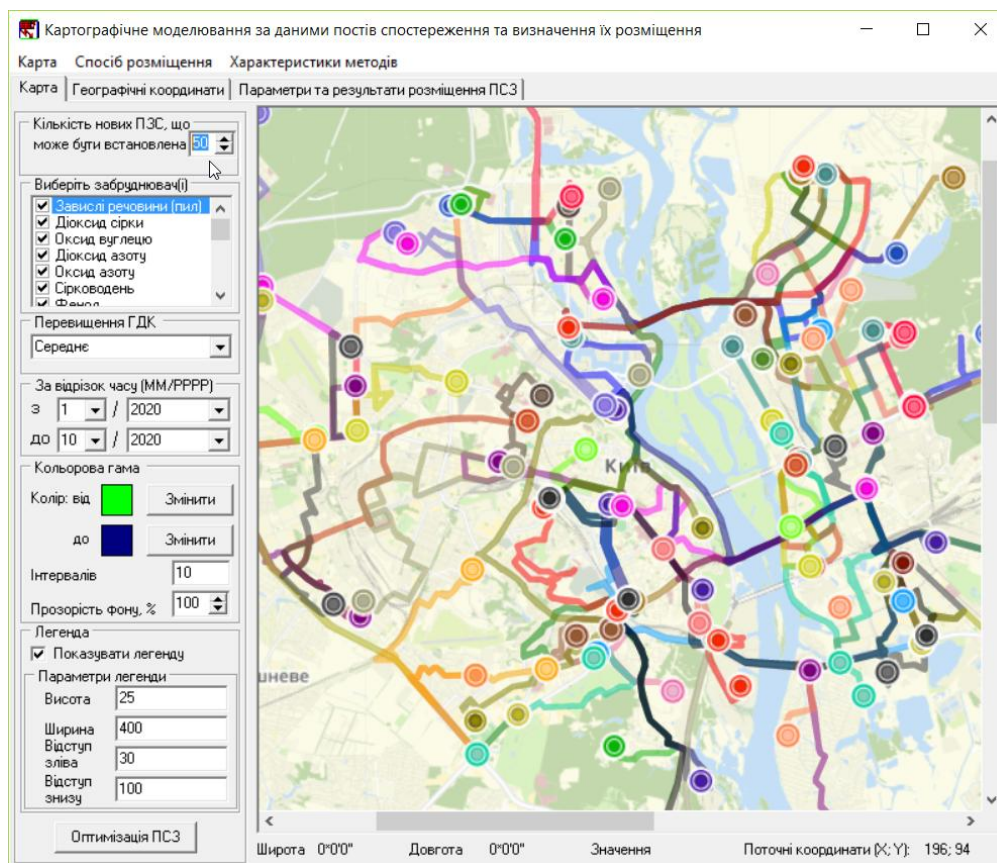


Рис. 5.20. Приклад на базі рухомого складу 50 автобусних маршрутів

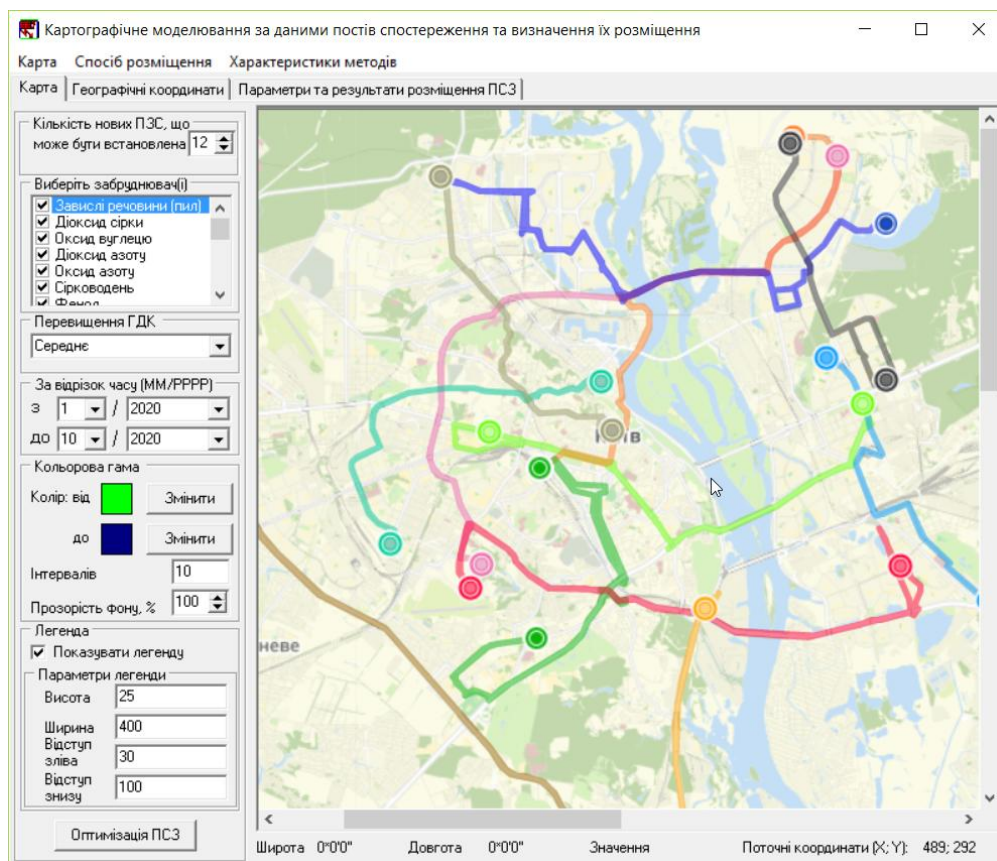


Рис. 5.21. Приклад на базі рухомого складу 12 маршрутів різного типу

Розроблені засоби дозволяють визначати різні критерії, проте згідно рекомендацій, при першій побудові більшу вагу надаємо максимальному покриттю території. Приклади результатів тестування показані на рис. 5.18-5.21.

5.2. Удосконалення методичного забезпечення оцінювання викидів забруднювальних речовин у атмосферу від техногенних об'єктів. Перегляд ГКД 34.02.305-2002

Згідно додатку 6 до «Загальних методичних рекомендацій щодо змісту та порядку складання звіту з оцінки впливу на довкілля» [328] рекомендованими методиками розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря є:

1. ГКД 34.02.305-2002 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок. Методка определения. 2002.
2. Збірник методик розрахунку вмісту забруднюючих речовин у викидах від неорганізованих джерел забруднення атмосфери. Донецьк, УкрНТЕК, 2000.
3. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами (т.т.1-3). Український науковий центр технічної екології. Донецьк, 2004 р.
4. Методика расчёта выбросов вредных веществ карьеров с учетом нестационарности их технологических процессов. Кривой Рог, НИИБТГ, 1989 р.
5. ОНД-86. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.
6. РД 52.04.52-85. Методические указания. Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях. Новосибирск: Изд. Зап.Сиб-РВЦ, 1986.

7. Сборник методик по расчёту выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами, Ленинград, Гидрометеиздат, 1986.

8. Типова методика визначення питомих викидів від виробництв по галузях промисловості. Основні положення, затверджено заступником Міністра екології та природних ресурсів України М.Стеценко 25.12.2000 р. Доступ: <https://zakon.rada.gov.ua/>

9. ЕМЕР/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (Керівництво по інвентаризації атмосферних викидів (CORINAIR)/ 2019. Доступ за пошуком на веб-сайті: <https://www.eea.europa.eu/>

При цьому, їх аналіз показав, що для оцінювання викидів забруднювальних речовин в АП від об'єктів енергетичного сектору, найбільш доцільно використовувати саме документ з п. 1.

Галузевий керівний документ (ГКД) 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» [184] (надалі Методика) встановлює порядок визначення викидів основних забруднювальних речовин та парникових газів, що надходять у атмосферне повітря з димовими газами, які утворюються під час спалювання органічного палива в енергетичних установках. Межі використання методики поширюються на котли та камери згоряння газотурбінних установок, які розміщені на теплових електричних станціях та котельних і працюють на твердому, рідкому та газоподібному паливі. Основні напрями використання: складання державної та галузевої звітності; прогнознi оцінювання обсягів викидів забруднювальних речовин.

Відповідно до Закону України «Про стандартизацію» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 31, ст.1058): перегляд - внесення всіх необхідних змін до змісту та оформлення нормативного документа, результатом якого є прийняття нового нормативного документа. Тому виникла необхідність проведення дослідження чинних взаємопов'язаних нормативних актів та сучасних наукових досліджень в галузі визначення

викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок; виявлення доцільності внесення змін та перегляд ГКД 34.02.305-2002 [245].

Дослідження чинного ГКД 34.02.305-2002 та виявлення взаємопов'язаних нормативно-правових актів

Межі використання Методики поширюються на котли та камери згоряння газотурбінних установок, які розміщені на теплових електричних станціях та котельних і працюють на твердому, рідкому та газоподібному паливі.

Основні напрями використання керівного документа:

- складання державної та галузевої звітності;
- прогнознi оцінювання обсягів викидів забруднювальних речовин.

Дослідження чинної версії методики показало, що загалом вона складена на високому практичному та науковому рівні. Значних претензій чи зауважень до Методики також не було знайдено. Користувачі та експерти в загальному відгукуються про неї позитивно. Її положення були перенесені до відповідних пунктів документу [213] та в цілому відповідають загальноєвропейській методиці [27].

Виявлено ряд взаємопов'язаних з Методикою нормативно-правових актів, серед яких варто відзначити наступні:

- Закон України «Про ринок електричної енергії». — Затв. пост. Верховної Ради України від 13.04.2017 № 2019-VIII;
- Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». — Затв. пост. Верховної Ради України від 23.05.2017 № 2059-VIII;
- Проект Закону про стратегічну екологічну оцінку, №6106 від 21.02.2017;
- Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання палива на побутові потреби в домогосподарствах. Наказ Держкомстату, 22.04.2011 № 98;
- Типова методика визначення питомих викидів від основних виробництв по галузях промисловості. Основні положення. - Міністерство

екології та природних ресурсів України - Затверджено від 25 грудня 2000 р.;

- Галузева методика розрахунку шкідливих викидів, які надходять від теплогенеруючих установок комунальної теплоенергетики України. Наказ Мінбуду України 16.03.2006 N 67;

- Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, Мінприроди України; Наказ, Методика від 10.12.2008 № 639;

- Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на державний облік об'єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря. Мінекоресурсів України; Наказ, Інструкція від 10.05.2002 № 177;

- СО 153 – 34.02.304. Методические указания по расчету выбросов оксидов азота с дымовыми газами котлов тепловых электростанций / Стандарт организации, дата введения 2003-07-01 (РФ);

- Галузева методика розрахунку шкідливих викидів, які надходять від теплогенеруючих установок комунальної теплоенергетики України (затверджено Наказом Мінбуду України від 16.03.06. – № 67);

- Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р;

- ТУ «Паливо гранульоване»;

- Технологічний регламент на виробництво брикетів і гранул паливних з лущиння соняшнику;

- ТУ «Паливо з відходів деревини, сільськогосподарських культур гранульоване і брикетне»;

- ГОСТ 3243-88. Дрова. Технічні умови;

- ГОСТ 7657-84. Вугілля деревне. Технічні умови;

- ГОСТ 23246-78 Древина здрібнена. Терміни та визначення;

- ДСТУ 7123:2009 Лушпиння соняшнику. Технічні умови;
- ДСТУ 7124:2009 Лушпиння соняшнику пресоване гранульоване. ТУ;
- Національний План дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року;
- Постанова КМУ «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів» та «Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання»;
- Розпорядження КМУ «План коротко- та середньострокових заходів щодо скорочення обсягу споживання природного газу на період до 2017 року».

Аналіз нормативно-правових актів в галузі визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок

Перелік основних нормативно-правових актів в галузі визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок наведено в попередньому розділі. Наведемо деякі найбільш важливі в контексті Методики, що переглядається, результати їх аналізу.

Наприклад, щодо біопалива варто відзначити наступне. Згідно Закону України від 21.05.2009 № 1391-VI «Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива», в редакції від 01.01.2014, з 1 січня 2014 року діє вимога щодо обов'язкової сертифікації твердого біопалива. Без наявності такого сертифікату, тверде біопаливо не можливо буде використовувати у державних програмах по підтримці біоенергетичних технологій та закуповувати за державні кошти. Сама сертифікація – це процедура підтвердження стабільної якості продукції, до якої залучаються відповідно акредитовані органи сертифікації, аудиту і лабораторії. Вона передбачає постійний контроль якості на виробництві і ретельне виконання правил виготовлення, зберігання і транспортування твердого біопалива.

Проте, в зв'язку з відсутністю затверджених державних стандартів (за виключенням лушпиння соняшнику), сертифікація не здатна гарантувати належну якість твердого біопалива.

В якості стандартів на тверде паливо використовують наступні документи:

- ТУ «Паливо гранульоване»;
- Технологічний регламент на виробництво брикетів і гранул паливних з лушпиння соняшнику;
- ТУ «Паливо з відходів деревини, сільськогосподарських культур гранульоване і брикетне»;
- ГОСТ 3243-88. Дрова. Технічні умови;
- ГОСТ 7657-84. Вугілля деревне. Технічні умови;
- ГОСТ 23246-78 Деревина здрібнена. Терміни та визначення;
- ДСТУ 7123:2009 Лушпиння соняшнику. Технічні умови;
- ДСТУ 7124:2009 Лушпиння соняшнику пресоване гранульоване. ТУ.

Дані документи регулюють лише первинні види біопалива – дрова, здрібнену деревину, лушпиння соняшнику, деревне вугілля. При цьому, з тих видів біопалива, що розглядаються в цьому дослідження, достатній рівень стандартизації має тільки лушпиння соняшнику та тріску деревини, інші види регулюються технічними умовами.

Як зазначають в Українському Пелетному Союзі [206], діючі ТУ, на практиці, не виступають нормативними документами. До того ж норми, встановлені у них, значно нижче ніж норми, діючі в ЄС та характеризують здебільшого низькоякісне паливо.

На думку експертів, в Україні необхідне запровадження сертифікації за нормами ENplus, яка відповідає кращим світовим стандартам якості твердого біопалива – EN 14961 та ISO EN 17225. Система сертифікації ENplus базується на ряді європейських стандартів, що стосуються, в першу чергу, покращеного твердого біопалива з деревини. Для сертифікації пелет та

брикетів з агросировини єдиний стандарт в ЄС відсутній, тому з метою забезпечення якості агропелет та брикетів, у європейських країнах використовують стандарти, що прийняті в інших країнах ЄС. Наприклад, у Франції діють стандарти AGRO+, AGRO.

В якості єдиного стандарту для різних видів твердого біопалива в світовій практиці використовується міжнародний стандарт ISO EN 17225. Він вступив у дію в 2014 році і визначає класи якості палива та специфікації для твердого біопалива з сировини і оброблених матеріалів, що мають таке походження: лісове господарство та розведення лісів, сільське господарство і садівництво, аквакультура.

Дотримання вимог міжнародних стандартів необхідне як виробникам, оскільки дозволяє експортувати продукцію на експорт, так і споживачам.

Неякісне біопаливо не тільки знижує ефективність спалювання, але і призводить до пошкодження обладнання, зниження терміну його використання, збільшує шкідливі викиди у атмосферне повітря.

В Україні відсутні або застаріли нормативні документи та процедури, які мають гарантувати екологічну безпеку при використанні теплогенеруючого обладнання. В зв'язку з цим, необхідно розробити та ввести у дію технологічні нормативи щодо допустимих викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин, які утворюються при роботі теплогенеруючого обладнання, що використовує біопаливо з метою забезпечення теплопостачання населених пунктів України. [190]

Інші результати аналізу нормативно-правових актів в галузі визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок є або мало важливими або безпосередньо описані в наступному розділі разом з відповідними змінами в Методиці.

Внесення змін до ГКД 34.02.305-2002 з врахуванням чинного законодавства та сучасних наукових досліджень в галузі визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок

Перш за все, слід відзначити, що втратили чинність Закон України «Про електроенергетику». — Затв. пост. Верховної Ради України від 16.10.1997 № 575/97-ВР та Закон України «Про внесення змін до Закону України “Про електроенергетику». — Затв. пост. Верховної Ради України від 22.06.2000 № 1821-III. Тому їх виключено з переліку нормативних посилань Методики. Дана Методика представлена в Додатку Б, тому всі подальші згадування, посилання та уточнення тексту, формул та таблиць будуть стосуватися саме цього Додатку.

Натомість, до переліку нормативних посилань Методики додано:

- Закон України «Про ринок електричної енергії». — Затв. пост. Верховної Ради України від 13.04.2017 № 2019-VIII;
- Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». — Затв. пост. Верховної Ради України від 23.05.2017 № 2059-VIII.

Досліджено ряд наукових публікацій, що пов’язані з Методикою. Наприклад у роботі [162] отримано значення коефіцієнта емісії оксиду азоту розрахунковим методом з урахуванням часу хімічної релаксації NO у продуктах згоряння. Автори зазначають, що значення коефіцієнта емісії NO_x для кожного конкретного випадку може бути отримано після визначення T_{max} з рівняння теплового балансу, а це в свою чергу ускладнює використання такого підходу, проте в п. 5.3. Методики додано абзац «Крім того, можна використати залежність коефіцієнта емісії NO_x від максимальної температури горіння палива» з відповідним посиланням.

В роботі [178] розроблено інженерний метод визначення питомих викидів сухих димових газів на вугільних ТЕС України та очікуваної концентрації діоксиду сірки. Розроблений метод дає змогу зробити оцінку очікуваного викиду діоксиду сірки в димових газах та обрати необхідну технологію десульфуризації для дотримання вимог екологічного законодавства. Проте результати даної роботи не вимагають їх включення до Методики.

Одним з факторів внесення найбільших змін до Методики стало включення до відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук (НМЛОС).

Утворення НМЛОС пов'язане з неповним горінням органічного палива [213]. Об'єкти, які здійснюють викиди НМЛОС більш чим 1,5 тон/рік згідно наказу Мінекоресурсів України взяті на державний облік [269]. Згідно наказів Держкомстату та Мінбуду України [181, 268] об'єми викидів НМЛОС теж необхідно розраховувати для побутових потреб в домогосподарствах та від теплогенеруючих установок комунальної теплоенергетики. Тому, вважаємо додати у Методику, при необхідності розрахунок узагальненого показника емісії НМЛОС.

Тому в п. 3. «Основні положення» додано, що за цією Методикою обліковуються також «неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)», тоді речення «Валові викиди інших забруднювальних речовин, (наприклад, неметанових летких органічних сполук, стійких органічних забруднювачів та ін.) будуть визначатись окремими нормативними документами.» пропонуємо замінити на «Валові викиди інших забруднювальних речовин, будуть визначатись окремими нормативними документами.)»

В п. 5.1. «Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок» для полегшення розрахунків вважаємо за необхідне додати наступне [213, 368, 385]: «Для малопотужних котлів Гвин визначається згідно з таблицею Д.1-а (додаток Д) з співвідношення $a_{вин}/(100 - Гвин)$. Втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива q_4 , залежать від конструкції топкового пристрою та виду палива, що спалюється. Величина q_4 визначається при налагоджувальних випробуваннях установок або приймається за характеристиками топків, наведеними в таблицях Д.3 та Д.4 збірника [213]». Відповідно додано таблицю Д.1-а (додаток Д).

В п. 5.4 «Важкі метали» також додано посилання на таблицю Д.1-а (додаток Д): «Частка золи $a_{вин}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, залежить від технології спалювання палива (див. таблиці

Д.1, Д.1-а додатка Д)». В цьому ж пункті добавлено і наступне [213, 220]: «Крім того, в таблиці Д.9-а (додаток Д) приведені значення f_{36} при ефективності золоуловлювальної установки $0,7 \leq \eta \leq 0,99$ ». Відповідно добавлено таблицю Д.9-а (додаток Д).

В зв'язку з додаванням в Методику нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо), в 5.7 «Оксид діазоту N_2O » добавлено посилання на таблицю Е.3-а (додаток Е), в якій представлено показник емісії оксиду діазоту N_2O для деяких видів палива, г/ГДж [27]: «Значення узагальненого показника емісії N_2O залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання наведено в таблицях Е.3 та Е.3-а (додаток Е)». Відповідно добавлено таблицю Е.3-а (додаток Е).

Також додано в:

— Додаток Г. Склад і характеристики різних видів органічного палива [172] Таблицю Г.5 — Характеристики штучних пальних газів та Таблицю Г.6. Склад деяких видів палива [295, 356].

— Таблицю Е.3а. Показник емісії оксиду діазоту N_2O для деяких видів палива, г/ГДж [27].

— Таблицю Е.5 - Показник емісії НМЛОС, г/ГДж [27].

Розширено:

— Таблицю Д.5. Показник емісії оксидів азоту без урахування первинних заходів, г/ГДж [368].

— Таблицю Е.1. Узагальнені показники емісії оксиду вуглецю k_{CO} для установок різної потужності, г/ГДж (при відсутності механічного недопалу палива) [27, 368].

— Таблицю Е.2. Показник емісії вуглецю для різних видів палива k_C , г/ГДж використовуючи дані (таблиці Г.6) та формулу (21) Методики.

— Таблицю Е.4. Показник емісії метану CH_4 для різних видів палива, г/ГДж [27].

— Таблицю Д.11. Ефективність уловлювання газоподібної фракції важкого металу золоуловлювальною установкою під час спалювання твердого палива [253].

Більш детальний елементний склад сухої маси біопалив показано в роботах [3, 376]. Додавлено п. 5.9 щодо обчислення узагальненого показника емісії НМЛОС [213]:

«5.9. Неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС).

Утворення неметанових летких органічних сполук пов'язане з неповним горінням органічного палива. За відсутності прямих вимірювань валовий викид НМЛОС визначається за формулою (7). Узагальнений показник емісії НМЛОС для деяких видів органічного палива приведено у таблиці Е.5 (додаток Е).»

В додатку А уточнена формула А.9 для визначення специфічного (конкретного) показника емісії [181, 213] та додана Таблиця А.1 — Значення відношення $v_{\text{дгн}}/Q_i^r$ та коефіцієнтів полінома $v_{\text{дгн}}/Q_i^r = A + b Q_i^r$

«Специфічний (конкретний) показник емісії може визначатися як на основі характеристик палива, наприклад для твердих частинок та оксиду сірки, так і на основі вимірювань концентрацій забруднюючих речовин, наприклад, оксидів азоту і вуглецю, при проведенні режимних випробувань установки спалювання. Результати режимних випробувань мають бути документально підтверджені відповідними актами та узгоджені місцевим органом Мінприроди України. Специфічний показник емісії j -ї забруднюючої речовини для конкретного джерела викиду розраховується через виміряну концентрацію за формулою [181, 213]:

$$k_j = c_j' v_{\text{дгн}}/Q_i^r = c_j' \frac{v_{\text{дгн}}}{Q_i^r} f_n (1 - q_4 / 100), \quad (\text{А.9})$$

де: k_j — показник емісії j -ї забруднюючої речовини, г/ГДж;

c_j' — виміряна масова концентрація j -ї забруднюючої речовини в сухих димових газах, приведена до нормальних умов та стандартного вмісту кисню, мг/нм³;

f_n – ступінь зміни викиду забруднюючої речовини при зменшенні навантаження теплосилової установки (для оксидів азоту - див. розділ 5.3, для інших забруднюючих речовин f_n , як правило, дорівнює 1);

$v_{\text{дгн}}$ – питомий об'єм сухих димових газів при відсутності втрат тепла через його механічний недопал, приведений до стандартного вмісту кисню, $\text{нм}^3/\text{кг}$;

$v_{\text{дг}}$ – питомий об'єм сухих димових газів, приведений до стандартного вмісту кисню, $\text{нм}^3/\text{кг}$;

Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, $\text{МДж}/\text{кг}$;

q_4 – втрати тепла через механічний недопал палива, %.

При одночасному спільному спалюванні двох або більше видів палива виміряна масова концентрація, приведена до нормальних умов та стандартного вмісту кисню, відноситься до основного виду палива.

При невідомому масовому вмісті елементарних складових палива значення відношення $v_{\text{дгн}}/Q_i^r$ при 6% та 3% вмісті кисню у сухих димових газах береться з таблиці А.1 Додатка А.»

Змінено назву Додатка Е. Показники емісії CO , вуглецю палива, N_2O , CH_4 і НМЛОС.

Таким чином, для врахування виконання нормативних вимог та зобов'язань в рамках визначення ЕЕПУР в енергетичному секторі в контексті охорони АП запропоновано використовувати методику ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення». За рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання в методику нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо) було вдосконалено підхід до визначення викидів ЗР у АП від енергетичних установок з використанням даної методики.

5.3. Висновки до розділу 5

1. Розроблено теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, який, на відміну від існуючих, дозволяє визначати маршрути пересувних постів в залежності від техногенних, екологічних, соціально-економічних чинників, рівня та наслідків забруднення атмосфери і актуальних задач моніторингу для конкретної мережі/території. Використання та впровадження даного підходу дозволить підвищити ефективність роботи системи моніторингу довкілля України для прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень та зменшити витрати на комплексний аналіз екологічного стану міста або регіону.

2. Для врахування виконання нормативних вимог та зобов'язань в рамках визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря запропоновано використовувати методику ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення».

3. Дослідження чинної версії методики показало, що загалом вона складена на високому практичному та науковому рівні. Значних претензій чи зауважень до Методики також не було знайдено. Користувачі та експерти в загальному відгукуються про неї позитивно. Її положення були перенесені до відповідних пунктів документу [213] та в цілому відповідають загальноєвропейській методиці [27].

4. Вдосконалено підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок з використанням даної методики за рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання в методику нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо).

РОЗДІЛ 6

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

6.1. Варіанти застосування отриманих результатів в галузі екологічної безпеки

Розроблені та запропоновані в роботі концепція та математичні засоби, що реалізовані у вигляді відповідного програмного забезпечення, дозволяють здійснювати обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності УР для виконання (наприклад, щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих УР (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

Виділено наступні практичні задачі, для яких доцільно використовувати розроблені та отримані в роботі засоби визначення та аналізу ЕЕПУР на прикладі охорони АП:

- 1) вибір проекту для будівництва відповідних генеруючих потужностей;
- 2) вибір місця для їх будівництва (рис. 6.1а);
- 3) вибір об'єкту відповідних генеруючих потужностей (чи інших стаціонарних джерел забруднення АП) для встановлення визначеного газоочисного устаткування (рис. 6.1б);
- 4) вибір газоочисного устаткування для встановлення на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей (рис. 6.1в);
- 5) вибір проекту щодо зміни типу палива на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей (рис. 6.1г);
- 6) вибір проекту для проведення модернізації на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей;

- 7) вибір заходів щодо запобігання аварій (підготовки до реагування на них, підвищення кваліфікації відповідних фахівців тощо);
- 8) комбінації задач 1–2, 3–4 тощо.



Рис. 6.1. Візуальне представлення практичних задач, для яких доцільно використовувати розроблені та отримані в роботі засоби

Розглянемо деякі з даних практичних задач, зокрема в контексті рекомендацій щодо виду оціночної функції (3.17), визначення її коефіцієнтів та прикладів вирішення.

Вибір проекту щодо зміни типу палива на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей

Енергетична безпека є однією із складових економічної безпеки країни. Серед індикаторів, що характеризують енергетичну безпеку, є зокрема «3.1

Частка власних джерел у балансі паливно-енергетичних ресурсів держави, відсотків» та «3.2 Рівень імпортової залежності за домінуючим ресурсом у загальному постачанні первинної енергії, відсотків». При цьому, незадовільне значення індикатора «3.1» становить 60% , індикатора «3.2» - 50%. При цьому, загрозу енергетичній безпеці країни (характеристичне значення індикатора досягає небезпечного значення) становить стан, при якому значення індикаторів «3.1» та «3.2» становлять 50% та 55% відповідно. Критичний стан настає при досягненні значень відповідних показників 40% (для «3.1») та 60% (для «3.2») [260].

Збільшення цін на природній газ, на спалювання якого було спроектовано окремі енергоблоки ТЕС України, призвело до необхідності заміщення його непроектними видами палива, або до консервації блоків.

У результаті подій 2013-2014 рр. на непідконтрольній владі України території опинилися практично всі шахти, що видобувають вугілля антрацитової групи (марки А (антрацит) та П (пісне)), на якому працюють половина найбільших теплових електростанцій (ТЕС) України.

Переведення антрацитових блоків компанією ДТЕК на марку Г розпочалося у 2017 р. згідно з Указом Президента України від 16 лютого 2017 р. «Про невідкладні заходи щодо нейтралізації загроз енергетичній безпеці України і посилення захисту критичної інфраструктури». У квітні 2017 р. ДТЕК розпочав програму переведення антрацитових станцій на українське вугілля для мінімізації імпорту. Адже у 2015–2016 рр. антрацитові станції простоювали по 2–3 місяці поспіль через відсутність необхідних марок вугілля.

На виконання указу вжиті заходи з модернізації блоків ТЕС, а саме:

- липень-серпень 2017 р. Зміївська ТЕС (Енергоблок № 2/180 МВт; Енергоблок № 5/185 МВт);
- жовтень 2017 р. Придніпровська ТЕС (Енергоблок № 7/150 МВт);
- листопад 2017 р. Придніпровська ТЕС (Енергоблок № 8/150 МВт);
- лютий 2018 р. Трипільська ТЕС (Енергоблок № 4/300 МВт);

- липень 2018 р. Зміївська ТЕС (Енергоблок № 1/175 МВт);
- вересень 2018 р. Придніпровська ТЕС (Енергоблок № 9/150 МВт);
- жовтень 2018 р. Придніпровська ТЕС (Енергоблок № 10/150 МВт);
- листопад 2018 р. Криворізька ТЕС (Енергоблок № 8/300 МВт);
- листопад 2018 р. Криворізька ТЕС (Енергоблок № 10/300 МВт);
- січень-березень 2019 р. Трипільська ТЕС (Енергоблок № 3/300 МВт).

Заміщення проектного виду палива на теплових електростанціях потребує вирішення низки питань, серед яких – будівництво складів та відповідної інфраструктури для зберігання твердого палива, відчуження територій та створення на них золошлаковідвалів (при зміщенні газового палива), а також модернізації котельного устаткування.

Проблема паливозабезпечення ТЕС та ТЕЦ, що працюють на вугіллі антрацитової групи має такі варіанти для вирішення [203]:

- переведення блоків на спалювання вугілля газової групи;
- шихтування антрациту з газовим вугіллем (до 30%) і спалювання суміші з режимними умовами, як для пісного вугілля. Використання такої суміші дозволяє збільшити частку вітчизняного вугілля групи Д та Г в енергетичному паливному балансі, а також покращує техніко-економічні показники блоків, може бути застосоване для приведення імпортованого вугілля не завжди прийнятної якості до експлуатаційних вимог існуючих котлоагрегатів ТЕС і ТЕЦ, що мають проектним паливом антрацит і пісне вугілля;
- розширення паливної бази енергетики - можливість використання в існуючих антрацитових котлоагрегатах різних видів твердих палив (від антрацитів та напівантрацитів до біомаси) із збереженням параметрів пари та підвищенням ступеню вигорання вугілля та максимальним збереженням існуючого обладнання.

Зазначені вище технології реалізовані на окремих потужностях теплової енергетики України, а саме:

- заміщення антрациту імпортованим пісним вугіллям (для реалізації заходу необхідним було організація рідкого золо-шлаковидалення (далі – РШВ) при тугоплавкій золі та низькій калорійності палива; пожежо- та вибухобезпека пилосистем;
- використання паливних сумішей із заміщенням 30-35% антрациту газовим вугіллям (необхідним стало виготовлення і контроль однорідності паливних сумішей на складі ТЕС);
- переведення антрацитових котлоагрегатів на спалювання газового вугілля із збереженням наявного обладнання (із реконструкцією пило-систем, модернізацією існуючих пальників, забезпеченням стійкого РШВ та відсутності шлакування ширм);
- технологія підготовки та спалювання біомаси в антрацитових котлоагрегатах (із організацією пилоприготування і пилоподачі, забезпеченням стійкого РШВ та відсутності шлакування ширм).

Також, в даному контексті варто відзначити масштабні проекти в світі щодо переходу на альтернативні види палива [203]:

1) Англія (Drax Power Station). Бітумінозне вугілля та біомаса. Загальна потужність 3960 МВт (6х600 МВт). В 2011 році станція споживала 9,1 млн т вугілля. Станція розпочала спільне використання біомаси та вугілля влітку 2004 року. В 2009 році 12,5% енергії вироблялося з біомаси, що сприяло скороченню викидів CO₂ на 15%. У вересні 2012 р. Drax Group оголосила про перехід на повне використання біомаси трьома із шести блоків.

2) Південний Уельс. Aberthaw Power Station. ТЕС спроектована для спалювання напівантрациту, 1971 р. 3 блоки по 520 МВт. Інвестування 9,5 млн фунтів стерлінгів дозволило разом з вугіллям спалювати біомасу, забезпечивши генерацію до 55 МВт і замістивши частину вугілля. Станція планувала перейти на бітумінозне вугілля із середини 2017 р.

3) Данія. Avedør Power Station. 1990 р. Блок 1 - 250 МВт. З 2015 р. переводиться із вугілля на деревні пелети (буде спалювати 1,2 млн тонн пелет у рік), орієнтовне скорочення викидів CO₂ приблизно на 1 мільйон

тонн у рік. Вартість проекту 470 млн DKK (2 млрд грн.). Блок 2 - 585 МВт електроенергії і 570 МВт тепла. Паливо: природний газ, мазут, солома й деревні гранули. В 2027 році планують використання 100% біомаси.

Таким чином, при виборі проекту щодо зміни типу палива на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей доцільно використовувати розроблені та отримані в роботі засоби визначення та аналізу ЕЕПУР на прикладі охорони АП.

Виходячи з того, що зміна типу палива на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей призводить до довготривалих змін параметрів забруднення АП та необхідності враховувати нормативні вимоги, зокрема НПСВ, то для даної практичної задачі рекомендується формула визначення ЕЕПУР у вигляді (6.1), якщо немає потреби враховувати можливі пікові концентрації ЗР в АП, та у вигляді (6.2), якщо така необхідність є (наприклад для об'єктів, які можуть здійснювати значні залпові викиди ЗР в АП):

$$W_i = k_1 \frac{IREC_i}{\max_i(|IREC_i|)} + \sum_{j=2}^{1+Z_i} k_j \cdot UQ_{iz}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (6.1)$$

$$W_i = k_1 \frac{IREC_i}{\max_i(|IREC_i|)} + k_2 \frac{IREi_i}{\max_i(|IREi_i|)} + \sum_{j=2}^{1+Z_i} k_j \cdot UQ_{iz}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (6.2)$$

де всі позначення відповідають зазначеним в п. 3.1-3.3 роботи. Найбільш вагомим рекомендується обирати значення коефіцієнту k_1 . Визначення значень коефіцієнтів залежить від багатьох аспектів, і покладається, як правило, на відповідних експертів.

Розв'язання ряду модельних задач для перевodu для районної котельні «Виноградар» СП «КИЇВСЬКІ ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ» (адреса: 04208, м. Київ, Подільський район, вул. Світлицького, 34, рис. 6.2) з газу/дизпалива на різні типи біопалива (тріска, торф, біогаз, пелети і паливні брикети) показало дієвість розроблених та запропонованих в роботі засобів визначення ЕЕПУР. Найкращим з точки зору екологічної ефективності виявився проект перевodu на біогаз.

РК «Виноградар» спеціалізується на виробництві теплової енергії, яка постачається мережами централізованого опалення та гарячого водопостачання споживачам міста. Для виробництва теплової енергії в котельні розташовані водогрійні котлоагрегати типу «ПТВМ-50» ст. 1-4, та паровий типу «ДКВР 4/13» ст. № 5, що працюють на природному газі. Щорічний обсяг виробленої теплової енергії становить 270 тис. Гкал – об'єкт першої групи. Викиди забруднюючих речовин від котлоагрегатів відводяться в атмосферне повітря через спільну димову трубу висотою - 100 м, діаметр гирла – 3,5 м. Загальна кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря становить 103,432 т/рік, обсяг викидів парникових газів 74,531 тис т/рік (вуглецю діоксид, азоту (1) оксид (N_2O), метану), що утворюються в процесі спалювання природного газу та дизпалива.[277]



Рис. 6.2. Районна котельня «Виноградар»

Вибір газоочисного устаткування для встановлення на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей

ТЕС відноситься до об'єктів, які в силу специфіки виробництва складають підвищену екологічну небезпеку. З усіх видів шкідливого впливу, що чиниться ТЕС на навколишнє середовище, найбільш масштабним і небезпечним є вплив на атмосферне повітря через викиди з димовими газами забруднюючих речовин, в першу чергу двоокису сірки та золи. Розроблялися і затверджувалися вони відповідно до діючих в той час вимогами і були оснащені тільки обладнанням для очищення димових газів від золи, ефективність роботи якого в даний час вже не відповідає сучасним вимогам і не забезпечує очищення димових газів від двоокису сірки [267].

У великих містах до стаціонарного обладнання, що суттєво забруднює атмосферне повітря при спалюванні природного газу, відносяться, в першу чергу, котли теплофікаційних енергоблоків ТГМП-314 та ТГМП-344А паропроодуктивністю 1000 т пари/год, котли на високі параметри пари (ТГМ-96, ТГМ-84Б, ТП-15, ТП-47 та ін.), водогрійні котли потужних районних котелень (КВГМ-180, КВГМ-100, ПТВМ-180, ПТВМ-100, ПТВМ-50 та ін.) та менш потужні водогрійні та промислові котли квартальних котелень та промислових підприємств (ТВГ-8, КВГ-7,56, КВГ-4,65, ДКВР-20/13, ДКВР-10/13, ДЕ-25/14 та ін.) [373].

Визначено 5 основних можливих задач щодо вибору газоочисного устаткування для встановлення на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей.

Задача 1 – попередня підготовка палива, вибір більш якісного палива або використання очисного обладнання з більшою ефективністю очищення викидів

Досвід деяких теплоелектростанцій України показує, що навіть без реконструкції ТЕС, тільки за рахунок зміни паливної політики можна досягти значного скорочення викидів забруднюючих речовин. На одній із ТЕС України перехід на спалювання вугілля, яке надходило на ТЕС після

попереднього збагачення, забезпечило зниження питомих викидів SO_2 на 32-37% (в перерахунку на 1 кВт·год. електроенергії, що виробляється). При цьому питомий викид твердих частинок знизився на 35-40%. Велике значення має і вибір оптимального співвідношення між двома основними видами палива — вугіллям та природним газом.

Досвід закордонної енергетики показує, що реконструкція генеруючого і газоочисного обладнання, яка вимагає менших капіталовкладень, дозволяє продовжити термін його роботи, підвищити його надійність і економічність, зменшити антропогенний тиск на навколишнє середовище [249].

Тому доцільним в деяких випадках є дослідження щодо вибору або зміна палива (його збагачення) або встановлення додаткового ГОУ або ГОУ з більшою ефективністю очищення.

Задача 2 – збільшення енергоефективності або встановлення нового чи додаткового очисного обладнання

Одним з шляхів зменшення викидів забруднюючих речовин є впровадження енергозберігаючих заходів, збільшення енергоефективності виробництва – зменшення обсягів спалювання палива окрім економічної сторони має ще й екологічну.

Одним із найбільш ефективних шляхів модернізації ТЕС України є запровадження нових комбінованих газопарових турбін, що забезпечують максимальний ККД і високу маневреність. Особливості спалювання палива в газопарових турбінах з підвищеною інтенсивністю процесів змішування і згорання дозволяють отримати більш низький рівень забруднення навколишнього середовища, ніж у інших теплових двигунах, практично за всіма шкідливими компонентами. Для України цей напрям, безумовно, є перспективним, оскільки національними виробниками (ОАО "Турбоатом", «Мотор-Січ» і НПП «Машпроект») виробляється газотурбінне устаткування, яке відповідає всім сучасним вимогам. Разом з тим на українських ТЕС, на жаль, не має в експлуатації ні однієї сучасної газової турбіни, а необхідність така існує. Відомо, що якби українські ТЕС були оснащені такими турбінами,

то споживання газу в країні було б значно нижче і газ використовувався б більш ефективно, що сьогодні при зростанні цін на газ є дуже актуальним [249].

Задача 3 – вибір обладнання для очищення димових газів від пилу (золи)

Ефективність очищення газових викидів від зважених частинок на різних золоочисних установках коливається від 50% (циклон) до 99,9% (електрофільтр та рукавний фільтр). Найбільш ефективними є електрофільтр і рукавний фільтр, зокрема з уловлювання дрібнодисперсних частинок. Електростатичні фільтри, які сьогодні є найбільш розповсюдженими пилоочисними апаратами на вітчизняних ТЕС, можуть забезпечувати досить високу ступень очищення газів тільки при певних умовах експлуатації, а саме — низькій швидкості газового потоку, відносно крупних розмірів частинок пилу, оптимальному питомому опору його, оптимальному режимі струшування електродів, відсутності вторинного виносу і т.д. Навіть незначні зміни одного з вище названих параметрів процесу призводить до зниження ефективності роботи фільтрів. Негативний вплив на ККД ЕСФ чинить також нерівномірність концентрації твердих частинок по перерізу фільтра на ТЕС. Реальний ККД існуючих ЕСФ на ТЕС України знаходиться в межах 90-98%, що з урахуванням реальної запиленості газів на вході пиловловлюючої установки не дозволяє забезпечити європейські стандарти.

В закордонній практиці для очищення газів, які викидаються ТЕС, широко застосовуються рукавні фільтри, що зумовлено високими техніко-економічними показниками їх роботи ($\eta=99,9\%$). В останні роки рукавні фільтри нового покоління нашли застосування і в Україні, зокрема в коксохімічній і в металургійній промисловості. Тривалий час використання рукавних фільтрів в теплоенергетиці затримувалося відсутністю фільтрувальних тканин, які витримують високу температуру (від 150 до 280°C), значну вологість і наявність у димових газах агресивних компонентів — оксидів сірки і азоту, хлористого водню та ін. Перешкодою до

впровадження в систему газопилоочистки на підприємствах енергетичної галузі було і те, що із-за високого вмісту смолистих речовин в димових газах при розпалюванні котлів мазутом ускладнювалася експлуатація технологічного обладнання ТЕС. Застосування рукавних фільтрів нового покоління дозволяє проводити очищення газів від дрібнодисперсної фракції легкої золи і від деяких хімічних компонентів, зокрема, від оксидів сірки. Температурна стійкість сучасних тканин, що широко використовуються в рукавних фільтрах для очищення газів в теплоенергетиці більшості європейських країн, коливається в межах 100-280°C. Спеціальна обробка тканин надає матеріалу і хімічну стійкість. Стійкість фільтрувальних елементів при правильно підібраних матеріалах зберігається до 5 років.

Як відомо, ТЕС є джерелом викидів також і важких металів. В комплексі антропогенних факторів, що сприяють надходженню **важких металів** до урболандшафтів особливе місце за своєю значимістю та ступенем впливу на довкілля займає техногенне забруднення атмосфери викидами ТЕС (у м. Черкаси - 75% загальної кількості важких металів, що викидається від стаціонарних джерел, а за викидами Pb, Cu, та Zn доля ТЕС складає 85%) [249].

Для досягнення нормативів Директиви 2010/75/ЄС необхідним є або використання ступеневої очистки газів (циклон на першому етапі та ЕСФ або РФ) або використання сучасних ЕСФ або РФ в умовах експлуатації, які забезпечують паспортну ефективність очистки газів. Задачею є вибір оптимальної комбінації пилоочисного обладнання [249].

Задача 4 – вибір заходів для зменшення викидів оксидів азоту

Існує низка первинних заходів скорочення викидів NO_x, ефективність яких знаходиться в межах 10-35%, їх поєднання має ефективність 30-60% [184]. Крім того, є заходи для зменшення викидів NO_x - селективне каталітичне відновлення та селективне некаталітичне відновлення. Витрати на очищення газів від оксидів азоту, включаючи каталітичні методи, щонайменше на 1–2 порядки перевищують вартість методів, які знижують їх утворення. Тому

очищення слід застосовувати після використання наявних методів придушення, якщо потрібно більш істотне зниження концентрації NO_x. [207]

Враховуючи високу вартість та різну ефективність заходів, спрямованих на зменшення викидів оксидів азоту, доцільним є вибір найбільш оптимального їх поєднання.

Задача 5 – вибір заходів для зменшення викидів оксидів сірки

Зменшення обсягів викидів оксидів сірки, як і інших забруднюючих речовин, можна досягти або зменшивши їх утворення (задачі 1 та 2) або очищенням димових газів.

Необхідний ступінь сіркоочистки димових газів залежить як від властивостей вугілля і теплової потужності котла, так і від прийнятого нормативу викиду SO₂. Широкий діапазон необхідних ступенів сіркоочистки для задоволення нормативів не дозволяє обійтися однією або двома технологіями, а вимагає досить великого набору методів очищення - мокрі, мокро-сухі і сухі. Цим будуть забезпечені мінімальні капітальні вкладення і експлуатаційні витрати в установки сіркоочистки.

Забезпечити зазначені ступені уловлювання SO₂ можна різними технологіями, вибір яких визначається їх техніко-економічними характеристиками. Загальний принцип вибору технології в залежності від початкової концентрації діоксиду сірки заснований на тому, що при невеликому ступені сіркоочистки (30-35%) доцільні дешеві технології; при цьому можливе використання активного дорогого реагенту; при великій мірі сіркоочистки (80% і більше) необхідні дорогі технології з використанням порівняно дешевих реагентів.

Варто врахувати і вартість поводження з утвореними відходами сіркоочистки. Дослідження в РФ показали, що вивезення твердих відходів мокро-сухої газоочистки на великовантажних КамАЗах при плечі поїздки 10 км збільшить собівартість виробництва електроенергії на 12...15%; при плечі поїздки до 20 км збільшення собівартості складе 27...28% [400].

При визначенні оптимального методу очистки димових газів від різних ЗР необхідно враховувати не лише ефективність та вартість очистки, але й зміни ККД котла та додаткові витрати електроенергії та реагентів для роботи очисного обладнання [381].

Виходячи з того, що встановлення газоочисного устаткування на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей призводить до довготривалих змін параметрів забруднення АП та необхідності враховувати нормативні вимоги, зокрема НПСВ, то для даної практичної задачі також рекомендується формула визначення ЕЕПУР у вигляді (6.1), якщо немає потреби враховувати можливі пікові концентрації ЗР в АП, та у вигляді (6.2), якщо така необхідність є (наприклад для об'єктів, які можуть здійснювати значні залпові викиди ЗР в АП). Найбільш вагомим рекомендується обирати значення коефіцієнту k_1 .



Рис. 6.3. ТЕЦ-4, ТОВ «Евро-Реконструкція», м. Київ

Розв'язання ряду модельних задач для вибору різного газоочисного устаткування для Дарницької ТЕЦ (ТЕЦ-4, ТОВ «Евро-Реконструкція», м. Київ) показало дієвість розроблених та запропонованих в роботі засобів визначення ЕЕПУР.

6.2. Формування висококваліфікованих фахівців як складова підвищення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря

6.2.1. Сучасні міжнародні вимоги до управління галуззю енергетики: формування висококваліфікованих фахівців

Хвороба (COVID-19), що поширилася у всьому світі є не лише проблемою здоров'я, а й різним чином впливає на світову економіку та навколишнє середовище. Хоча COVID-19 завдає серйозної шкоди суспільству стан навколишнього середовища покращився, оскільки забруднення значно зменшилось. Через COVID-19 в різних країнах було введено обмеження на переміщення людей, транспортних засобів та було призупинено деяку промислову діяльність. Таким чином зменшились викиди парникових газів, діоксиду азоту, вуглецю та ін. Проте COVID-19 має і негативні наслідки для навколишнього середовища через велику кількість побутового й медичного сміття [108].

Хвороба COVID-19 внесла багато суттєвих змін в діяльність різних підприємств і організацій, багатьох працівників було переведено на дистанційний режим роботи із застосуванням цифрових технологій. Проте є такі підприємства, особливо, критичної інфраструктури (атомні електростанції, теплоелектростанції, об'єкти хімічної промисловості тощо), де посадові обов'язки виконувати дистанційно неможливо і потрібно перебувати на робочому місці. До об'єктів критичної інфраструктури можуть бути віднесені підприємства, установи та організації незалежно від форми власності, які: здійснюють діяльність та надають послуги в галузях енергетики, хімічної промисловості, транспорту, інформаційно-комунікаційних технологій, електронних комунікацій, у банківському та фінансовому секторах; надають послуги у сферах життєзабезпечення населення, зокрема у сферах централізованого водопостачання, водовідведення, постачання електричної енергії і газу, виробництва продуктів харчування, сільського господарства, охорони здоров'я; є

комунальними, аварійними та рятувальними службами, службами екстреної допомоги населенню; включені до переліку підприємств, що мають стратегічне значення для економіки і безпеки держави; є об'єктами потенційно небезпечних технологій і виробництв [95].

Зарубіжні вчені у роботі [108] зазначили, що рівень забруднення повітря є одним із важливий показників, який впливає на передачу COVID-19 та рівень смертності. Тому COVID-19 може впливати на фактори навколишнього середовища і навпаки. Критичний огляд досліджень взаємозв'язку між COVID-19 та навколишнім середовищем, будучи новою областю дослідження, може сформулювати сучасний стан знань, який може дати вказівки для подальших досліджень. Вони виконали критичний аналіз наукових публікації і обрали 57 статей щодо взаємовпливу COVID-19 і навколишнього середовища. Розглянуто вплив COVID-19 на навколишнє середовище та вплив екологічних показників на передачу COVID-19. Зроблено висновки проте, що пандемія COVID-19 призвела до поліпшення якості навколишнього середовища. Під час пандемії та карантинних обмеженнях, що вводили уряди різних країн, призвели до значного зменшення забруднення навколишнього середовища та поліпшення якості навколишнього середовища. Відбулося різке скорочення викидів вуглецю, зменшилось забруднення повітря, знизилось звукове забруднення та забруднення пляжів. Різні фактори навколишнього середовища сприяли як поширенню, так і зменшенню рівня передачі COVID-19. Також, вони виявили чотири дослідницькі кластери (рис. 6.4):

- 1) COVID-19 та деградація навколишнього середовища;
- 2) COVID-19 та забруднення повітря,
- 3) COVID-19 та клімат/метрологічні фактори;
- 4) COVID-19 та температура.

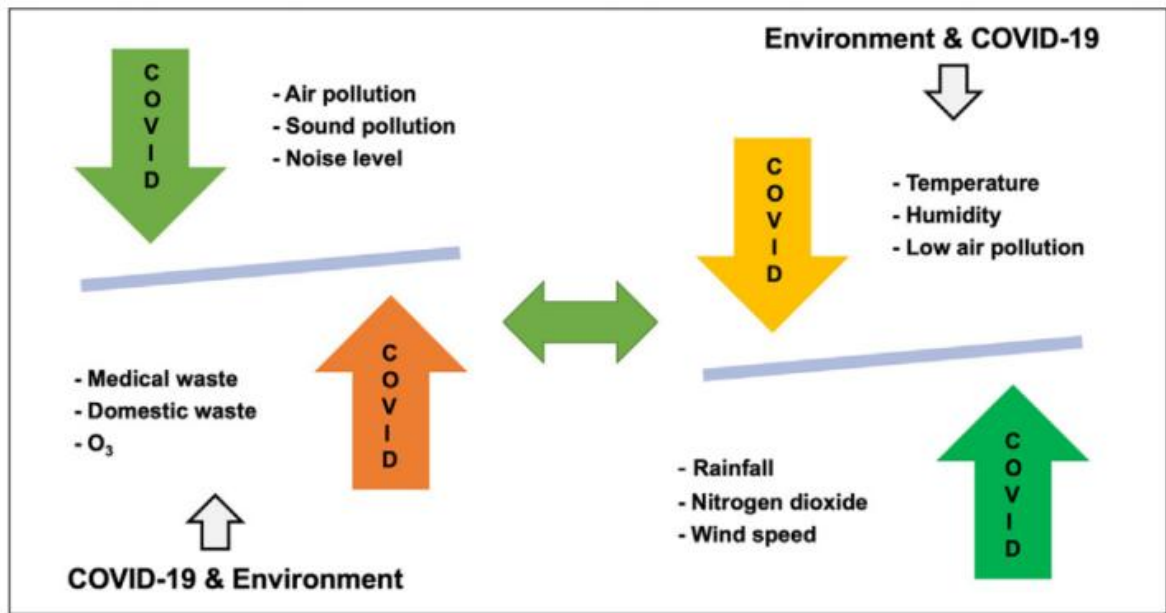


Рис. 6.4. Взаємовплив COVID-19 на навколишнє середовище (4 дослідницькі кластери) [108]

Колективом авторів у публікації [95] наголошено, що пандемія COVID-19 її наслідки може бути генеральною репетицією для боротьби зі зміною клімату в майбутньому. Визначено плюси і мінуси COVID-19 щодо впливу на навколишнє середовище: поліпшення якості атмосферного повітря, поліпшення якості поверхневих вод, зниження шумового забруднення і викидів парникових газів.

Екологічна безпека техногенно-навантажених регіонів є однією з найважливіших складових національної безпеки будь-якої сучасної держави, оскільки її незадовільний стан суттєво впливає на довкілля та здоров'я населення. Основними джерелами екологічної небезпеки є природні процеси і явища, об'єкти техногенного середовища та людські дії, що приховують у собі загрозу небезпеки. Виникнення екологічно небезпечних ситуацій можуть спричиняти як окремі джерела небезпеки, так і різні їх комбінації. Так, природні небезпечні явища (землетруси, повені, урагани, обвали та ін.) часто призводять до техногенних катастроф на об'єктах цивільного й оборонного комплексів, а відтак — до викидів забруднювальних речовин у навколишнє середовище; антропогенна дія на природне середовище (гірські

виробки, створення дамб, гребель) може ініціювати природні катастрофи (землетруси, затоплення); руйнування крупних об'єктів техносфери здатне спричинити небезпечні природні процеси (радіаційно- і хімічно- небезпечні опади, лісові пожежі, обвали, селі) тощо. В Україні більшість існуючих природно-техногенних систем можна розглядати як потенційні джерела екологічної небезпеки, пов'язані з порушенням проектних умов їхньої експлуатації, з чим і пов'язано зростання ризиків природно-техногенних аварій і катастроф [414].

Також, актуальність розробки та вдосконалення автоматизованих інформаційних систем підтримки прийняття управлінських рішень в галузі екологічної безпеки підтверджується законодавчими документами, зокрема у Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні, реалізація якої передбачається до 2021 р., наголошено про необхідність вирішення питань прогнозування забруднення навколишнього природного середовища, проведення аналізу та оцінки ризику еколого-економічних конфліктів, прогнозування наслідків техногенного впливу і природних катастроф для надійного захисту екологічного простору України та раціонального використання природних ресурсів. У Законах України «Про екологічну стратегічну оцінку» від 20.03.2018 (№ 2354-VIII) та «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 (№ 2059-VIII) регулюються відносини у сфері оцінки наслідків для довкілля, у тому числі для здоров'я населення, виконання документів державного планування та поширюється на документи державного планування, які стосуються енергетики, промисловості, транспорту, охорони довкілля і т.д. та виконання яких передбачатиме реалізацію видів діяльності (або які містять види діяльності та об'єкти), щодо яких законодавством передбачено здійснення процедури оцінки впливу на довкілля, або які вимагають оцінки, зважаючи на ймовірні наслідки для територій та об'єктів природно-заповідного фонду та екологічної мережі, крім тих, що стосуються створення або розширення територій та об'єктів природнозаповідного фонду [414].

Тому, важливими є: 1) підвищення кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки, зокрема працівників міністерств, підприємств та організацій, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля, та зможуть ефективно застосовувати автоматизовані системи підтримки прийняття управлінських рішень; 2) створення систем моніторингу для прогнозування і управління екологічною безпекою, робота яких базується на широкому використанні засобів автоматизації і перспективних методів інформаційних технологій.

На підставі власного багаторічного досвіду роботи в галузі екологічної безпеки та на основі наукових джерел [144, 155, 158, 302, 407, 414] визначено, що важливим є розробка та впровадження спеціалізованих систем управління екологічною безпекою за даними моніторингу, основними функціями яких мають бути:

- виявлення і прогнозування прихованих тенденцій і закономірностей розвитку екологічних процесів, для ідентифікації раніше невідомих взаємозв'язків між екологічними параметрами і факторами впливу;
- розробка оптимізаційних рекомендацій у галузі екологічної безпеки;
- візуалізація результатів аналізу, підготовка попередніх звітів і проектів допустимих рішень з відповідним оцінюванням тощо.

Сучасна система управління має оперативно і ефективно реагувати на поточні зміни у самому об'єкті управління та в навколишньому природному середовищі. Все це на сьогодні можливо лише з використанням цифрових технологій на всіх етапах управління, починаючи від спостереження і контролю до ухвалення управлінських рішень. Отже для вирішення окреслених проблем, важливим вважаємо два аспекти: розробка чи удосконалення автоматизованих інформаційних систем підтримки прийняття управлінських рішень та підвищення кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки щодо застосування зазначених інформаційних систем

для підтримки прийняття управлінських рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля [414].

Здійснений аналіз наукових праць та міжнародного досвіду із впровадження та застосування автоматизованих систем управління екологічною безпекою дозволив сформулювати такі узагальнення, що: недостатньо уваги приділено підвищенню кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки, зокрема працівників міністерств, підприємств та організацій, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля, а також підготовці майбутніх фахівців у закладах вищої освіти щодо даної проблематики.

Особам відповідальним за прийняття управлінського рішення варто враховувати отримані за допомогою автоматизованих цифрових систем дані. І на підставі таких даних розробляти пропозиції щодо поліпшення роботи підприємства чи установи. Якщо ці пропозиції доцільні, то вживають адекватні заходи щодо оптимізації системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Першочерговим для підвищення ефективності і поліпшення СППР є поточний або поетапний аналіз, за якого особа, що приймає рішення коригує діяльність виконавців залежно від якості пропозицій. Такий аналіз є динамічним, але він не оцінює причини збоїв у роботі СППР. Успішність роботи СППР у задачах екологічної безпеки залежить від [414]:

- наявності швидкого доступу до необхідної інформації;
- повноти відомостей, включаючи історичні довідки і прогнози;
- наявності інструменту (алгоритму) ефективного аналізу інформації;
- компетентності фахівців, які готують управлінські рішення (наявність знань, досвіду, професіоналізму);
- бажання та вміння фахівців працювати в колективі, команді тощо;
- правильного керівництва колективом співробітників, які готують управлінські рішення (постановка задач, стимулювання, адекватна

оцінка роботи).

Одночасно із удосконаленням складових системи управління екологічною безпекою за даними моніторингу, важливим є підвищення кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки, зокрема працівників міністерств, підприємств та організацій, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля та підготовка майбутніх фахівців у цьому напрямі. Адже, практичний досвід підтверджує, що близько 80% аварій і техногенних катастроф у світі пов'язані з людським чинником. Тому, відповідно важливим є постійне підвищення кваліфікації працівників потенційно-небезпечних об'єктів, і це має стосуватися як виробничого та і управлінського персоналу.

Часто причинами помилок є конструктивні недоліки обладнання робочого місця або похибки у підготовці чи в інструктажі кадрів. Повністю виключити помилки людини неможливо, тому вдосконалення конструкцій, підготовка, навчання, тренування працівників для набуття ними більшого досвіду – вкрай важливі у професійній діяльності фахівців нафтогазової галузі. Інформаційна підтримка в даному випадку є важливим ресурсом для персоналу різних рівнів, а також для населення. Прикладом такої інформаційної системи є Pollution Prevention Information Clearinghouse, метою якої є скорочення та усунення промислових забруднювачів за допомогою освіти і підвищення обізнаності громадськості. Дана інформаційна служба допомагає підприємствам у скороченні промислових відходів шляхом надання консультацій та довідок. В Україні існують окремі організації, які працюють в напрямку підтримки прийняття екологічно ефективних рішень, однак ще невідпрацьована мережа та недосконало відпрацьована специфіка окремих галузей [406].

До прикладу, компанія Dragon Oil (OAE) керується принципами, які базуються на стандартах ISO 9001, ISO 14001 та OHSAS 18001 визначає: - дотримання законодавства щодо HSE; - зменшити наслідки всіх видів інцидентів/аварій, що мають потенційно шкідливий вплив на персонал,

активи та/або навколишнє середовище; - використовувати загальноприйняті рівні гарної практики з охорони навколишнього природного середовища на нафтовому родовищі; створити прозорі критерії ефективності HSE. Для виконання зазначених цілей компанія розробляє та підтримує належну систему управління HSE; утримувати на всіх рівнях управління, персоналу та підрядників відповідальність за HSE у межах своїх зон відповідальності; розвивати позитивну культуру охорони навколишнього природного середовища в компанії через ефективне спілкування та навчання; проводити огляди та аудит HSE з метою виявлення недоліків в організації та забезпечення відповідності місцевим, міжнародним та корпоративним стандартам та нормам; забезпечити, щоб підрядники демонстрували повну відповідність цій політиці; розробити та впровадити підхід, що ґрунтується на оцінці ризику, у веденні господарської діяльності [406].

Соціогенні елементи управління передбачають реалізацію принципу «Lifelong learning» - навчання впродовж життя та популяризацію екологічної свідомості працівників нафтогазової галузі всіх рівнів. В нафтогазовій сфері, де виникають потреби у залученні сучасних технологій, бо застарілі вже неефективні, екологічно-небезпечні, ресурсозатратні і не відповідають стандартам суспільства, що базується на векторі сталого розвитку є надзвичайно актуальним принцип екологічної «освіти впродовж життя» для всіх ієрархічних ланок нафтогазових установ. Оскільки понад 70% аварійних нафтогазових фонтанів відбувається через порушення технологічного режиму буріння і неправильної установки і експлуатації превенторів тобто некомпетентність обслуговуючого персоналу, варто проводити систематичне підвищення кваліфікації персоналу [406].

Теоретичні положення «Навчання протягом життя» лягли в основу реформування національних систем освіти у світі (Німеччина, Велика Британія, США, Японія, Канаді, країнах Східної Європи і країнах «третього світу». Згідно з концепцією екологізації в Україні та основними пунктами Паризької угоди існує необхідність популяризації екологічних підходів у

різних сферах діяльності. Екологічна освіта на різних рівнях розвитку людини є однією із запорук екологічної безпеки держави. Трирівнева екологічна освіта повинна бути базою для формування знань умінь і навичок у баченні екологічних проблем, однак на конкретному робочому місці працівник зустрічається з реальними проблемними ситуаціями і компетентна реакція може запобігти або й усунути можливі негативні наслідки. Тому необхідно формувати умови для впровадження курсів підвищення кваліфікації, семінарів та інших інструментів, які дозволяють одержувати екологічні знання у відповідних сферах діяльності [406]. Також, потрібно постійно впроваджувати у підготовку майбутніх фахівців сучасні інноваційні розробки.

В результаті аналізу матеріалів з офіційних сайтів і пропозиції закладів вищої освіти (Одеський державний екологічний університет, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Національний університет біоресурсів і природокористування України та ін.) станом на 2020 р., визначено, що ці заклади пропонують навчання за програмами додаткової професійної освіти коротко- та довгострокових курсів підвищення кваліфікації, в очній (з відривом від виробництва) і очно-заочній формах. Програми підвищення кваліфікації розроблені в галузі наук про Землю (спеціалізації метеорологія, агрометеорологія, гідрологія), екології та ін. Пропонуються курси підвищення кваліфікації за різними напрямками і темами: оцінка стану та техногенного впливу автотранспортного комплексу на навколишнє середовище, охорона атмосферного повітря, проектування та експлуатація сучасних систем моніторингу навколишнього природного середовища, підвищення кваліфікації громадських інспекторів з охорони довкілля, основи геоінформаційних систем і технологій (практичний курс для користувачів) та інше. Запропоновані курси підвищення кваліфікації спрямовані на вдосконалення професійної діяльності фахівців для роботи на посадах керівників та провідних виконавців з менеджменту, екології та природокористування.

Вважаємо, що важливим у підвищенні кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки є впровадження автоматизованих інформаційних систем підтримки прийняття управлінських рішень. Тому, опанувавши автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень фахівці зможуть:

- виявляти й прогнозувати приховані тенденції і закономірності розвитку екологічних процесів (виявляти та розпізнавати приховані чинники впливу, в тому числі, фактори загрози;
- виявляти та ідентифікувати раніше невідомі взаємозв'язки між екологічними параметрами і факторами впливу;
- аналізувати середовище взаємодії екологічних процесів і прогнозувати зміни його характеристик;
- розробляти оптимізаційні рекомендації в галузі екологічної безпеки;
- візуалізувати результати аналізу, здійснювати підготовку попередніх звітів і проектів допустимих рішень з оцінками достовірності та ефективності можливих реалізацій та ін.

Починаючи з 2013 р. дисертант надає консультативну допомогу та науковий супровід організаціям і установам щодо підвищення кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки, зокрема в аспекті застосування автоматизованих систем підтримки прийняття управлінських рішень. Також автор має досвід співпраці з ДП «НАЕК «Енергоатом». Також, у 2018 р. дисертант здобув перемогу у «Конкурсі на здобуття грантів НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки», в рамках якого відбулася реалізація проекту на тему «Розробка математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень».

У дослідженні [51] наголошено, що криза системи навчання, підготовки та підвищення кваліфікації персоналу в електроенергетиці існує

не лише в Україні, але і у всьому світі. В Україні головними невирішеними проблемами діючої системи підвищення кваліфікації оперативно-диспетчерського персоналу в електроенергетиці є: неврегульованість законодавчого забезпечення; матеріально-технічне устаткування є застарілим; потребує оновлення і розробки навчально-методичне забезпечення; велика частка персоналу передпенсійного і пенсійного віку – потреба у молодих кадрах. Вказані вище проблеми не можуть бути ефективно вирішені тільки за рахунок створення нових закладів освіти, підготовки додаткового високо кваліфікованого професорсько-викладацького персоналу і розробки нових навчальних програм і курсів навчання та підвищення кваліфікації. Мають бути створені доступні і рівні можливості для безперервного підвищення кваліфікації персоналу всіх електроенергетичних підприємств галузі. Ці загальні для країн ЄС і України проблеми можуть бути вирішені тільки шляхом створення уніфікованої глобальної корпоративної освітньої системи на базі мережі Інтернету, що об'єднує усі існуючі навчальні заклади, віртуальні центри, пункти навчання та підвищення кваліфікації персоналу в єдину уніфіковану систему з виділенням базової керуючої й відповідальної організації.

Щоб стати висококваліфікованим фахівцем в галузі енергетики потрібно мати навички використання цифрових технологій, що допомагають здійснювати моделювання та прогнозування умов виникнення системних аварій в енергосистемах, а тому вміння застосовувати ці технології є важливим для подальшої професійної діяльності. З огляду на те, що цифрові технології постійно удосконалюють і розробляються нові системи управління, важливим у підготовці персоналу є ознайомлення їх з новітніми розробками, системами, програмними засобами та формування навичок застосовувати ці засоби у подальшій професійній діяльності [51].

Цифровізація суспільства вимагає від закладів вищої освіти та наукових установ послідовного розвитку і впровадження сучасних трендів ІКТ, демонструвати здатність вирішувати проблеми цифрової трансформації,

що надає можливість істотно посилити конкурентоспроможність, залучити додаткові ресурси, у тому числі і оновити матеріальну базу, підвищити якість освіти. Важливими трендами в освіті є: використання хмарних технологій, доступ до віртуальних обчислювальних систем, бізнес-аналітика та Інтернет-речей, віртуальні лабораторії, технології доповненої реальності (AR), віртуальної реальності (VR) та ін. [51].

До прикладу, вимоги до освіти інженерів змінюються зі збільшенням попиту галузі, що сприяє трансформації четвертої промислової революції. Тому Федеральне міністерство освіти та досліджень Німеччини (BMBF) розпочало низку науково-дослідних проєктів, пов'язаних з освітою, серед яких найбільшим є проєкт кооперативу ELLI – «Відмінне викладання та навчання в галузі інженерних наук». З трьох залучених університетів, а саме: RWTH Aachen University, Ruhr-Universität Bochum та TU Dortmund University, останній знаходиться в центрі розвитку віддалених та віртуальних лабораторій для машинобудівної освіти. Був створений Massive-Open-Online-Course, який включає віддалені лабораторії як частину застосовуваних дидактичних методів. Для подолання меж віддалених лабораторій були розроблені віртуальні об'єкти цих лабораторій та загальна віртуальна експериментальна лабораторія. Вони розроблені для різних пристроїв, що дозволяють студентам візуально досліджувати та експериментувати складні процеси. Всі ці засоби в даний час інтегруються в різні навчальні дисципліни. Спектр розроблених лабораторій розширюється за рахунок включення нових процесів та впровадження технологій AR. Пристрої AR будуть використовуватися для розробки нових лабораторій. Ці лабораторії будуть включені до існуючих лабораторій для покращення досвіду користувачів та підготовки до майбутнього змішаної реальності, в якій опрацювання інформації за технологією AR буде важливим навиком [51].

Сучасні досягнення в галузі ІТ, Інтернету речей та цифровізація систем дозволили розробити тренажери виробничих заводів та виробничих систем з високою чіткістю зображення та реалізму в їх анімаціях, що може ідеально

імітувати реальні системи. Інтеграція програмного забезпечення з реальним обладнанням/пристроями автоматизації відкриває нові шляхи вдосконалення та прискорення процесу викладання/навчання та розвитку компетентностей і навичок. Гібридна лабораторія поєднує підходи віртуальних та віддалених лабораторій для викладання курсів промислової автоматизації [51].

У публікації [51] зазначено, що віртуальні лабораторії та віртуальні дослідницькі середовища – це всі терміни, які використовуються для позначення цифрових середовищ, розроблених громадою, які створені для задоволення набору потреб дослідницької спільноти. Зокрема, вони мають на увазі інтегрований доступ до ресурсів дослідницької спільноти, включаючи програмне забезпечення, дані, інструменти співпраці, робочі процеси, інструментарій та високопродуктивні обчислення, як правило, через Інтернет та мобільні додатки. Наукові шлюзи, віртуальні лабораторії та віртуальні дослідницькі середовища дають вагомий внесок у багато дослідницьких областей, сприяючи більш ефективним відкритим, відтворюваним дослідженням новими способами.

Визначено та здійснено узагальнення проблем діючої системи підвищення кваліфікації фахівців в галузі енергетики, що були розділені на 4 рівні:

1. *Законодавчий* (відсутні галузеві професійні стандарти системи підвищення кваліфікації, неврегульованість законодавчого забезпечення тощо);

2. *Технологічний* (матеріально-технічне устаткування є застарілим, існуючі діючі тренажери є дуже дорогими і орієнтованими на моделювання конкретного устаткування, що ускладнює перенесення та застосування отриманих навичок і знань тощо);

3. *Освітній* (мала кількість доступних відкритих загальних веб-ресурсів для отримання структурованих знань на компетентнісній основі, включаючи підвищення кваліфікації і тренажерну підготовку викладачів та інструкторів

з обов'язковим контролем рівня їх кваліфікації; потребує оновлення і розробки навчально-методичне забезпечення тощо)

4. *Кадровий* (відсутня належна оперативна та довготривала психофізіологічна експертиза (діагностика) персоналу: тестування, система професійної та соціальної реабілітації; відсутність підтвердження кваліфікації викладацьких кадрів, що забезпечують підвищення кваліфікації персоналу електроенергетичної галузі; велика частка персоналу передпенсійного і пенсійного віку – потреба у молодих кадрах тощо).

Отже, для формування висококваліфікованих фахівців потрібно забезпечити такі умови:

1) постійно здійснювати підвищення кваліфікації для формування ключових компетентностей з метою визначення найбільш доцільних для виконання управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря;

2) розвивати навички і здатності застосування цифрових технологій, ознайомлення їх з новітніми розробками, системами, програмними засобами, що допомагають здійснювати моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря, як необхідної складової для визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, та формування навичок застосовувати ці засоби у подальшій професійній діяльності;

3) забезпечити підготовку висококваліфікованих управлінських кадрів, здатних вирішувати науково-практичні задачі щодо оптимального розвитку відповідної галузі в контексті стійкого розвитку, зокрема з врахуванням тренду щодо цифрової трансформації та діджиталізації економіки.

Погоджуємося із зазначеним у публікації, про те, що [52], наразі система навчання і підвищення кваліфікації персоналу енергетичної галузі має бути максимально автоматизованою та проходити у дистанційній формі, із застосуванням тренажерних систем, хмарних технологій і засобів AR та VR, завдяки яким навчання стане цікавим і ефективним.

Таким чином, актуальним завданнями є:

1) *для вчених і практиків* – підвищення безпеки підприємств та

організацій, шляхом розробки математичного та програмного забезпечення вирішення задач попередження, моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря;

2) *для управлінських кадрів* – впровадження методології визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень;

3) *для наукових та науково-педагогічних працівників* – розробка рекомендацій та оновлення освітньо-професійних та освітньо-наукових програм підготовки майбутніх фахівців за такими спеціальностями: 101 «Екологія», 103 «Науки про Землю», 122 «Комп’ютерні науки», 143 «Атомна енергетика», 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 184 «Гірництво», 185 «Нафтогазова інженерія та технології» щодо проблематики розробки математичного та програмного забезпечення вирішення задач попередження, моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря в рамках методології визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

6.2.2. Геоінформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення для підвищення кваліфікації та підготовки фахівців енергетиків

У стратегії реформування ДП «НЕК «Укренерго» [384] розвиток персоналу є одним з важливих елементів стратегії. У рамках впровадження довгострокової системи розвитку персоналу заплановано створити корпоративну автоматизовану базу знань та тестування, розробити програми навчання на базі навчальних центрів, впровадити ігрові методи навчання та оцінювання протягом 2019-2020 рр., а до 2026 року переорієнтувати навчання на розвиток компетенцій, впровадження інновацій, практичне вдосконалення технічних навичок. Державну політику в області навчання і тренажу персоналу важливо планувати на тривалий період, визначити джерела фінансування, відповідальних за забезпечення всіх підготовчих робіт, включаючи питання координації та контролю виконання.

Погоджуємося із зазначеним у роботі [52], про те, що багато з професійних компетентностей персоналу галузі енергетики формуються виключно за допомогою повнофункціональних тренажерів. Наразі в Україні і у країнах ЄС, існує значна кількість невирішених проблем з безперервного навчання і підвищення кваліфікації персоналу електроенергетичних систем. Також, є проблеми з підбором і підготовкою навчально-інструкторського персоналу, що залучається до підвищення кваліфікації. А тому потрібно проводити подальші дослідження та залучати кращі світові освітні стандарти і технології навчання.

В сучасних умовах цифрової трансформації суспільства важливим є використання різноманітних цифрових технологій, зокрема, геоінформаційних систем, спеціалізованого програмного забезпечення, віртуальних тренажерів, імерсивних технологій в усіх областях виробничої діяльності, особливо в енергетичному секторі. Наразі в для енергетичного сектору різних країн «ENTSO-E» (European Network of Transmission System Operators for Electricity) створено і успішно використовується значна кількість тренажерів та електронних навчальних систем. Однак, головним недоліком таких систем є їх вузька спрямованість та обмежена сфера застосування. Отже, важливим удосконалення вже існуючих тренажерних систем та розробка нових, зокрема, адаптація їх до web-орієнтованих і мобільних версій з метою застосування їх під час дистанційного навчання. Оскільки ці питання стали ще гострішими і вкрай важливим, в умовах карантинних обмежень, адже унеможливили проведення підвищення кваліфікації працівників із застосуванням звичайних тренажерних систем.

Сучасний світ еволюціонує та змінюється швидкими темпами, відбувається оновлення та удосконалення цифрових технологій, а тому вітчизняна система вищої освіти не встигає із адаптацією навчальних програм та планів до вимог ринку та суспільства. Актуальною ця проблема є і у сфері підготовки фахівців за спеціальностями 101 «Екологія», 103 «Науки

про Землю», 122 «Комп'ютерні науки», 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Карантинні обмеженні викликані COVID-19 прискорили необхідність трансформації способів та методів організації навчального процесу та процесів підвищення кваліфікації фахівців і стали викликом для всіх без виключення закладів вищої освіти в усьому світі. Перехід на дистанційний режим навчання, а згодом – змішане навчання, дав поштовх до активного розвитку на ринку різноманітних навчальних платформ, програмного забезпечення для організації конференційного зв'язку, платформ для зберігання освітнього контенту та відеохостингів тощо. Окрім того, організація освітнього процесу в дистанційному режимі або змішаній формі потребує не тільки наявності відповідних програмно-апаратних ресурсів, але й потребує врахування особливостей напрямів підготовки здобувачів вищої освіти, в т.ч.: спеціальностей та освітніх кваліфікацій, специфіки освітньо-професійних (освітньо-наукових) програм, профілю ЗВО, очікуваних результатів навчання [137].

До прикладу, у Стандарті вищої освіти для магістерського рівня галузі знань 18 – «Виробництво та технології» зі спеціальності 183 – «Технології захисту навколишнього середовища». Визначено, що головною *ціллю навчання* є: формування професійних компетентностей, необхідних для інноваційної науково-дослідної та виробничої діяльності з розробки та впровадження сучасних технологій захисту навколишнього середовища.

Дисертантом було проаналізовано Стандарт вищої освіти для спеціальності 183 – «Технології захисту навколишнього середовища» [379] та виокремлено низку компетентностей майбутніх фахівців щодо використання спеціалізованого програмного забезпечення для вирішення задач попередження, моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря в рамках методології визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. Також, було проаналізовано Стандарт вищої освіти (2020 р.) для магістерського рівня галузі знань 12 – Інформаційні технології,

спеціальність 122 – «Комп'ютерні науки» [380] та виокремлено низку компетентностей майбутніх фахівців щодо розробки, супроводу та вдосконалення спеціалізованого програмного забезпечення для вирішення задач попередження, моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря в рамках методології визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, до них відносимо (спеціальні (фахові) компетентності). До таких компетентностей відносимо такі, що подано у таблиці 6.1.

Тому, далі розглянемо та проаналізуємо детальніше особливості застосування геоінформаційних систем для підготовки та підвищення кваліфікації фахівців для галузі енергетики.

Сучасні геоінформаційні системи (ГІС), це не тільки системи автоматизованого опрацювання геопросторових даних, векторизації та візуалізації об'єктів і подій в режимі реального часу, але й потужний комплекс геопросторового аналізу, стратегічної підтримки прийняття управлінських рішень [136].

Для України питання розробки та впровадження ГІС є актуальним, про що можна говорити виходячи із аналізу змісту ухвалених та розроблених протягом останніх років нормативно-правових актів, зокрема, мова йде про Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та розвитку електронного урядування в Україні від 20 вересня 2017 р. № 649-р, Указ Президента України «Про стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» від 12 січня 2015 р. №5 та ін. Оскільки в Україні тільки ініціюються процеси автоматизації різних аспектів соціально-екологічної сфери діяльності, важливо звернути увагу на необхідність якісної підготовки висококваліфікованих фахівців не тільки у сфері геодезії, землекористування, менеджменту тощо (користувачів систем), але і тих, які здатні забезпечити реалізацію проектування, розробки, впровадження, супроводу та використання ГІС на практиці. А це здобувачі вищої освіти за

спеціальностями 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та 122 «Комп'ютерні науки» [136].

Таблиця 6.1 - Виокремлені спеціалізовані компетентності

<i>Спеціальність 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»</i>
– K04. Здатність використовувати сучасні комп'ютерні і комунікаційні технології при зборі, збереженні, обробці, аналізі і передачі інформації про стан довкілля та виробничої сфери; – K08. Здатність до забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку суспільства; – K09. Здатність використовувати науково обґрунтовані методи при обробці результатів досліджень в галузі технологій захисту навколишнього середовища; – K11. Здатність створювати фізико-математичні моделі процесів, що відбуваються при техногенному забрудненні навколишнього середовища; – K14. Здатність оцінювати вплив промислових об'єктів, їх викидів та скидів на довкілля; – K16. Здатність здійснювати контроль стану екологічної безпеки та оцінювати ступінь забруднення повітря і промислових викидів в атмосферу, води та водних об'єктів, ґрунтів та земельних ресурсів; – K19. Здатність до проектування систем і технологій захисту навколишнього середовища та забезпечення їх функціонування.
<i>Спеціальність 122 – «Комп'ютерні науки»</i>
– СК5. Здатність використовувати математичні методи для аналізу формалізованих моделей предметної області певного проекту в процесі його реалізації і супроводження; – СК9. Здатність розробляти програмне забезпечення: розуміти та застосовувати основи логіки для вирішення проблем; вміти конструювати, виконувати та налагоджувати програми за допомогою сучасних інтегрованих програмних (візуальних) середовищ розробки; розуміти методології програмування, включаючи об'єктно-орієнтоване, структуроване, процедурне та функціональне програмування; порівнювати наявні в даний час мови програмування, методології розробки програмного забезпечення та середовища розробки, а також обирати та використовувати ті, що відповідають певному проекту; вміти оцінювати код для повторного використання або включення до існуючої бібліотеки; вміти оцінювати конфігурацію та вплив на налаштування в умовах роботи з сторонніми програмними пакетами; – СК11. Здатність розробляти та адмініструвати бази даних та знань, володіти сучасними теоріями та моделями даних та знань, методами їх інтерактивної та автоматизованої розробки, технологіями обробки та візуалізації; – СК12. Здатність оцінювати якість ІТ-проектів, комп'ютерних і програмних систем різного призначення, володіти методологіями, методами і технологіями забезпечення та вдосконалення якості ІТ-проектів, комп'ютерних та програмних систем на основі міжнародних стандартів оцінки якості програмного забезпечення інформаційних систем, моделей оцінки зрілості процесів розробки інформаційних та програмних систем; – СК13. Здатність ініціювати та планувати процеси розробки комп'ютерних систем та програмного забезпечення, включно з його розробкою, аналізом, тестуванням, системною інтеграцією, впровадженням і супроводом; – СК14. Здатність виявляти проблемні ситуації в процесі експлуатації програмного забезпечення і формулювати завдання для його модифікації або реінжинірингу.

Однією із сфер потенційного застосування знань майбутніх фахівців з вище вказаних спеціальностей є соціально-екологічна, в межах якої повинні вирішуватися завдання, що пов'язані із забезпеченням ефективного використання природних ресурсів, охороною довкілля, забезпечення відкритості діяльності органів влади, управління земельними фондами тощо. Для ефективного вирішення зазначених завдань важливим є використання геоінформаційних систем та технологій.

Наразі від закладів вищої освіти та наукових установ вимагається посилення геоінформаційного вектору навчання своїх студентів та аспірантів, і, окрім іншого, використання в навчальній практиці сучасних геоінформаційних систем та програмного забезпечення, що максимально задовольняло б навчальним цілям та формуванню професійних компетентностей майбутніх фахівців. Аналіз навчальних програм з дисципліни «Геоінформаційні системи» для комп'ютерних спеціальностей засвідчив, що в більшості своїй в навчальній практиці використовуються пропрієтарні програмні ГІС-комплекси (в переважній більшості, це продукти сімейства ArcGis), в основі яких лежить платна користувацька ліцензія. Обґрунтованість використання конкретного програмного забезпечення в навчальному процесі обумовлюється знаннями та досвідом викладача, який викладає курс геоінформаційних систем. Прийнято вважати, що компанія Environmental Systems Research Institute із лінійкою програмних продуктів ArcGis є світовим лідером у сфері розробки та реалізації ГІС, а тому, використання саме цих продуктів в навчальному процесі надасть студентам в майбутньому більших конкурентних переваг на ринку. Зазначимо, що за версією аналітичної платформи G2 Crowd в рамках дослідження світового ринку ГІС, перше місце відведено GoogleEarth Pro, а ArcGis знаходиться на другому місці рейтингу найкращих. Вважаємо, є значні ризики, що студент чи аспірант із навиками роботи у середовищі ArcGis (зручному, продуманому, із 24-годинною сервісною підтримкою) просто не зможе

працювати із іншим програмним середовищем, а під час розробки буде намагатись імітувати принципи роботи звичної системи [136]

У публікації [136] вказано, що ГІС – це один із видів інформаційних систем, що реалізуються на основі сучасних комп'ютерних технологій для виконання різноманітних завдань, пов'язаних із геопросторовим аналізом, для створення географічних тематичних карт та аналізу об'єктів реального світу, моніторингу їх стану, вивчення динаміки подій в режимі реального часу тощо.

Погоджуємося із зазначеним у роботі [191], про те, що ГІС-спеціалісти мають володіти системними знаннями і навичками роботи в області проектування, експлуатації та розвитку ГІС. ГІС-освіта спрямована на: комплексне вирішення природно-економічних і соціальних задач; засвоєння нових методів і засобів обробки даних, які забезпечують високу наочність відображення різноманітної інформації, обробки та аналізу просторової інформації; використання сучасних засобів оперативного вирішення задач управління, оцінки і контролю оточуючих процесів.

Зарубіжжі вчені, у публікації [64] зазначили, що ГІС являють собою вікно в минуле, теперішнє та майбутнє, полегшуючи доступ до інформації, що стосується природних, соціальних та культурних аспектів. Таким чином ГІС стають незамінними, коли мова йде про пізнання, вивчення та якості довкілля. Авторами описано використання Google Earth у екологічній освіті за допомогою створення дидактичних маршрутів, зроблених студентами University of Córdoba (Іспанія).

Сучасні ГІС вміщують в себе широкий функціонал, але з постійним розвитком технологій та зростанням вимог до інформаційних комплексів завжди є потреба вдосконалювати та ускладнювати геоінформаційні системи, тим самим ускладнюючи розрахунки, збільшуючи кількість операцій на одиницю часу, отримуючи тим самим більшу точність та достовірність результатів. Більшість ГІС здійснюють комплексну обробку інформації, використовуючи такі функції: введення і редагування даних, підтримка

моделей просторових даних, зберігання інформації, перетворення систем координат і трансформація картографічних проекцій, растрово-векторні операції, вимірювальні операції, полігональні операції, операції просторового аналізу, різні види просторового моделювання, цифрове моделювання рельєфу та аналіз поверхонь, подання результатів у різних формах, а також багато різних специфічних, залежно від призначення системи, функцій моделювання. Визначення максимального переліку вимог до ГІС сьогодні є одним із найважливіших кроків у моделюванні таких систем. ГІС пропонують багатий вибір інструментів для обробки просторової інформації. Геообробка – це ключове середовище для моделювання та аналізу геоданих. За допомогою цього середовища можна синтезувати дані, які неможливо отримати із тих чи інших джерел [208].

Геоінформаційне моделювання – це високотехнологічний процес створення моделі місцевості певної території в середовищі геоінформаційних систем. Створена модель візуалізує кількісні та якісні параметри моделюваної місцевості, відображає інтенсивність протікання процесів (наприклад гідрологічних, технологічних), дає об'єктивну оцінку стану об'єкта (міського середовища, окремих компонентів природного довкілля, господарської діяльності людини тощо). Зазвичай геоінформаційне моделювання виступає інструментом прийняття рішення при розробці рекомендації щодо оптимізації природокористування, містобудівної діяльності, зменшення деструктивних антропогенних впливів на довкілля, попередження виникнення техногенних інцидентів та розвитку небезпечних явищ і процесів [42].

Головною ціллю геоінформаційного моделювання – це «бачення цілого». Завдяки геоінформаційному моделюванню за умови введення до системи великої кількості достовірних і точних даних користувач може виявити глибинні системні зв'язки і тенденції, які недоступні для пізнання з використанням традиційних методів пізнання. Так, для прикладу, розроблена на основі ГІС-моделювання цифрова модель місцевості слугує надійним

фундаментом при прийнятті рішень щодо майбутнього стану території. Геоінформаційне моделювання також може забезпечити: побудова моделей щільності явищ; аналіз місцеположення об'єктів; моделювання змін; розподіл об'єктів по категоріях; пошук та визначення закономірностей розподілу просторових та атрибутивних даних; аналіз найближчого сусідства; визначення просторових атрибутів об'єктів; тривимірна візуалізація кінцевих результатів [42].

Саме ГІС нині інтегрують на просторових засадах різноманітні дані, необхідні в процесі прийняття управлінських рішень: характеристики викидів забруднювальних речовин у регіоні; регіональні географічні, соціально-економічні, екологічні та медико-епідеміологічні характеристики. Поширеним є використання ГІС для відображення та аналізу полів забруднення на електронних картах. З погляду візуалізації інформації геоінформаційні системи цікаві тим, що забезпечують візуальне зображення багатовимірної екологічної інформації. Це дуже зручно в ході оцінювання екологічних ризиків та інформування осіб, що ухвалюють рішення. Отже, можна виділити головні можливості ГІС, які використовують у задачах управління якістю довкілля:

1) підготовка даних для аналізу та моделювання. ГІС використовують як для одержання і систематизації інформації (стосовно джерел емісії ЗР, характеристик поверхні), так і для аналізу, трансформації з залученням потужних інструментів відображення даних;

2) просторовий аналіз і моделювання розподілу або змін об'єктів і процесів, які вивчають;

3) публікація результатів, що, по суті, є процесом формування процедури, за якої результати розрахунків та аналітичних досліджень перетворюються у зрозумілі користувачеві тематичні карти, де виявлені в процесі аналізу закономірності відображені якнайкраще в доступній для особи, що приймає рішення, формі [87].

Про особливості роботи системою CyberGIS описано у публікації [127], що поєднує в собі кіберінфраструктуру, геоінформатику, просторовий аналіз та моделювання, що забезпечує можливості наукових досліджень. Система CyberGIS є ГІС нового покоління, що дає можливість якіснішого пошуку інформації, візуалізації та візуальної аналітики, керування даними, а також спільне вирішення проблем та прийняття управлінських рішень. Про необхідність внесення змін у навчальні плани закладів вищої освіти відповідно до вимог сьогодення наголошено у роботі [191], та зазначено, що «володіння програмним забезпеченням та вміння створювати з його допомогою різноманітні тематичні карти стало, поряд з базовою теоретичною підготовкою з картографії, невід'ємною компетенцією сучасних фахівців у галузі наук про Землю. Геоінформаційна освіта має бути одним із системоутворюючих факторів формування у студентів образного аналітичного системно-просторового мислення. ГІС-освіта має специфічні риси, які вирізняють її від інших напрямів підготовки. Серед них: широкий спектр програмних додатків; міждисциплінарний характер; висока інформаційна насиченість тощо».

Вважаємо, що у навчальному процесі доцільно формувати навички роботи у студентів і аспірантів як із пропрієтарними, так і відкритими ГІС, що значно збагатить практичний досвід студентів та дасть змогу зрозуміти механізм перетворень геопросторових даних незалежно від виду чи типу ГІС.

Основним мотивом розвитку сегменту відкритих ГІС у світі вважається неспроможність задоволення усіх потреб ринку пропрієтарними ГІС, у тому числі: невеликих або некомерційних організацій (наукових лабораторій, освітніх закладів, державних установ), які нездатні придбати необхідну кількість ліцензій. Умовно, усі відкриті ГІС можна розділити на три основні класи: настільні (інсталюються на комп'ютер), веб (працюють через web-браузер), просторові бази даних (в них міститься геопросторові дані). Зосередимо увагу на настільних відкритих ГІС. Перелік доступних для використання відкритих настільних ГІС у світі переважає 350 рішень, а до

найбільш поширених у світі можна віднести: QGIS, GRASS GIS, Whitebox geospatial analysis tools (Whitebox GAT), Saga GIS, gvSiG, ILWIS, uDIG, MapWindow GIS (за версією Monde Geospatial, 2017). За своїм функціоналом відкриті ГІС не поступаються своїм комерційним аналогам. Усі відкриті ГІС оновлюються та розвиваються, про що можна говорити виходячи із аналізу наявних в мережі інсталяційних версій та чистоти їх оновлення. Більшість відкритих ГІС не мають високих вимог до апаратного технічного забезпечення і підтримують можливість роботи під різними операційними системами, за виключенням ILWIS та MapWindow GIS, що працюють виключно під ОС Windows [136].

У попередній публікації [136], одним з авторів якої є дисертант вже було обґрунтовано переваги використання відкритих ГІС у закладах вищої освіти (наукових установах): 1) розширення компетентностей студентів щодо використання різних ГІС та їх комбінування, для вирішення практичних задач; 2) економія коштів (відсутня потреба у придбанні ліцензій); 3) більшість відкритих ГІС не мають високих вимог до технічних засобів і підтримують можливість роботи під різними операційними системами; 4) функціонал відкритих ГІС не поступається своїм комерційним аналогам.

На підставі аналізу наукових публікацій [42, 64, 87, 127, 191, 208] та власного досвіду [136, 217] виокремлено переваги використання відкритих ГІС для студентів та аспірантів:

–відкриті настільні ГІС створені на різних мовах програмування та підтримують написання скриптів на більшості доступних студентам мов (Python, R, Perl, C#, PHP тощо);

–сприяння створенню у студента системного розуміння процесу роботи із ГІС та опрацювання геопросторових даних, незалежно від обраного типу програмного забезпечення;

–можливість роботи із останніми версіями систем за умови невисоких вимог до апаратного забезпечення комп'ютерного класу;

–створення власних прототипів ГІС (відкрита ліцензія, широка бібліотека готових інструментів, необмеженість інтеграції в інші системи тощо);

–урізноманітнення освітнього процесу.

З метою дотримання зобов'язань України перед світовою спільнотою стосовно запобігання зміні клімату необхідно дотримуватися підписаних документів щодо розвитку відновлювальної енергетики, модернізації підприємств паливно-енергетичного сектору, поводження з різними відходами та ін. Також актуальним є розробка спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє вирішувати задачі візуального аналізу динаміки екологічного стану територіальних систем та визначення меж стійкості окремих територій. Водночас важливим є підвищення кваліфікації фахівців, зокрема працівників міністерств, підприємств та організацій, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля та підготовка майбутніх фахівців у цьому напрямі. Вважаємо, що у навчальних програмах закладів вищої освіти недостатньо уваги приділено застосуванню програмних засобів для підтримки прийняття управлінських рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля. Тому нами, було запропоновано здійснювати підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських у таких напрямках:

1) проведення семінарів-тренінгів на базі міністерств, установ і відомств, що зацікавлені у впровадженні спеціалізованих та авторських розроблених систем;

2) розробка та вдосконалення навчально-методичного забезпечення для аспірантів, студентів та слухачів курсів підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських рішень в енергетичній, екологічній та суміжних галузях;

3) забезпечення науково-методичної підтримки та консультативної допомоги для процесу впровадження розроблених програмних засобів.

Практична реалізація принципів сталого розвитку в Україні передбачає

низку заходів: розвиток та модернізацію системи моніторингу екологічного стану територіальних систем різного рівня, створення універсального інформаційно-програмного забезпечення задач моніторингу, удосконалення засобів прогнозування критичних ситуацій та прийняття управлінських рішень. До головних задач віднесено – розробку інноваційних цифрових засобів, орієнтованих на збереження, накопичення, систематизацію та інтеграцію інформації, одержаної з різних джерел, включаючи локальний рівень аналізу даних та можливості візуальної інтерпретації на основі ГІС-технологій. Про це свідчить прийнята концепція [363], реалізація якої має забезпечити дотримання міжнародних зобов'язань України у сфері охорони навколишнього природного середовища, зокрема раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів.

Наразі, важливими для даного дослідження є такі аспекти [58]:

- по-перше, удосконалення системи моніторингу для задач прогнозування та управління екологічною безпекою на основі цифрових технологій;
- по-друге, підвищення кваліфікації фахівців в екологічній, енергетичній та суміжних галузях, які відповідають за прийняття рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля.

У публікації зазначено [58], що для вирішення проблеми глобального потепління необхідно застосовувати спільні зусилля та міждисциплінарний підхід. Разом з ефективністю використання ресурсів, «циркулярна економіка» стає в центрі уваги дослідників і, отже, політиків. Сталий розвиток є багатoproфільною темою, а взаємодія систем енергії, води та навколишнього природного середовища відіграє одну з центральних ролей. У парадигмі циркулярної економіки зростає потреба в системній інтеграції, коли побічний продукт однієї системи може представляти ресурс для іншої. В роботі [7] висвітлено питання щодо сталого розвитку систем енергетики, води та довкілля, та наголошено, що все більше зусиль потрібно прикладати для подальшої інтеграції цих систем. Це все призводить до підвищення

складності такої проблеми, вирішення якої можливе тільки завдяки взаємодії багатьох науковців з різних галузей дослідження.

Також для розвитку професійних компетентностей фахівців, які будуть здатні приймати екологічно ефективні управлінські рішення в контексті охорони атмосферного повітря варто застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення і це необхідно робити, як під час підготовки майбутніх фахівців, та і з метою підвищення кваліфікації вже працюючих спеціалістів. Розглянемо детальніше особливості застосування програмних засобів для вирішення завдань екологічного моніторингу приземного шару атмосфери.

Першочергово, для демонстраційні роботи ГІС необхідно підготувати ряд моніторингових даних. Застосовуючи ГІС у задачах екологічного моніторингу можна стежити за станом довкілля, моделювати та відображати рівні забруднення, прогнозувати виникнення надзвичайних екологічних ситуацій, визначати зони з найбільшими концентраціями і території ризиків для здоров'я населення, інформувати населення про поточний екологічний стан навколишнього середовища, динаміку його змін, джерела забруднення, розміщення відходів, характер впливу екологічних факторів на здоров'я людей, забезпечивши вільний доступ до екологічної інформації [217].

Для того щоб моніторингові дані в подальшому мали практичне використання, вони мають бути представлені відповідним чином. Лише вузька група фахівців, які займаються моніторингом якості довкілля або модельними оцінками, здатна скористатись необробленими даними, а не особи, котрі ухвалюють рішення, або широка публіка. Інтерпретація просторово-часової мінливості забруднення в багато чому полегшується, якщо звичні цифрові дані представити у вигляді графіків, рисунків та карт. Використання географічних карт значно полегшує процес представлення складніших порівняльних характеристик забруднення. Концентрації забруднення для різних пунктів спостереження можна продемонструвати простим способом. Наразі для вирішення завдань екологічного моніторингу приземного шару атмосфери, використовують закордонні та вітчизняні

інформаційні програмно-моделюючими системами, зокрема: «Povitrya», EOL-2000[h], ARM EKO, EcoStat, «Ekotrans», «ÉRA-Vozdukh», UPRZA «Ékoloh», «HYS – atmosfera», «ÉPK ROSA», «Mahystral'-horod 2.3», RODOS, «RADExpert», RECASS, ARGOS, NOSTRADAMUS, NARAC, MEPAS, JSPEEDI та ін. [217].

Під час впровадження результатів даної дисертаційної роботи студентам та аспірантам було запропоновано використання інформаційно-програмного забезпечення для задач моніторингу та контролю екологічного стану урбанізованих територій – системи AISEEM. Ця система (AISEEM) включає блок статистичного аналізу й попередньої оцінки техногенних навантажень на атмосферне повітря; блок математичного моделювання та прогнозування рівнів забруднення атмосфери і ризиків для населення; блок візуалізації та побудови екологічних карт. Оскільки дана система має наявності блок побудови електронних карт та ряд засобів для роботи з ними, а також відповідає певним характеристикам до ГІС, тому можна вважати її спеціалізованою ГІС.

Наразі систему AISEEM впроваджено в різних організаціях та підприємствах, а також в кількох закладах вищої освіти. Розроблене інформаційно-програмне забезпечення спрямоване на вирішення багатьох наукових та практичних задач екологічного моніторингу приземного шару атмосфери, що детально описано у ряді попередніх публікацій автора дисертації [58, 97, 155, 416].

Представимо приклади застосування AISEEM для моделювання різних задач, що можуть виникати у роботі майбутніх фахівців за спеціальностями: 101 «Екологія», 103 «Науки про Землю», 122 «Комп'ютерні науки», 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Приклад 1. Моделювання техногенних навантажень на атмосферу за тривалий період часу. Побудова адекватної математичної моделі розсіювання ЗР в атмосфері базується на розв'язанні повного рівняння турбулентної дифузії. На сьогоднішній день відомі лише розв'язки спрощених варіантів

даного рівняння, що також не дозволяє отримати достатню точність моделювання техногенного навантаження на атмосферу від викидів стаціонарного джерел забруднення із врахуванням різних особливостей метеорологічних характеристик, параметрів викидів та режиму роботи потенційно-небезпечного об'єкту. Дисертантом було уточнено параметри математичної моделі забруднення атмосфери від викидів стаціонарного джерела [217]. Адекватність моделі перевірялась шляхом порівняння результатів моделювання забруднення атмосферного повітря викидами від відповідних стаціонарних джерел забруднення з даними натурних вимірювань концентрації певних ЗР у відповідних точках зони впливу техногенного об'єкта. Для перевірки моделі використовувались дані викидів найбільших стаціонарних техногенних джерел викидів м. Києва та дані концентрацій усіх речовин, що контролюються на стаціонарних постах спостереження м. Києва, за певний проміжок часу. Значення концентрацій ЗР отримано за офіційним запитом до Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського. Результати перевірки показали, що похибка моделювання не перевищує 5 %, що є абсолютно прийнятним для такого класу задач. Візуалізація отриманих результатів представлена на рис. 6.5, а саме подано приклади моделювання розподілів концентрацій ЗР в атмосферного повітря біля земної поверхні в результаті викидів відповідних техногенних стаціонарних джерел за допомогою системи AISEEM.

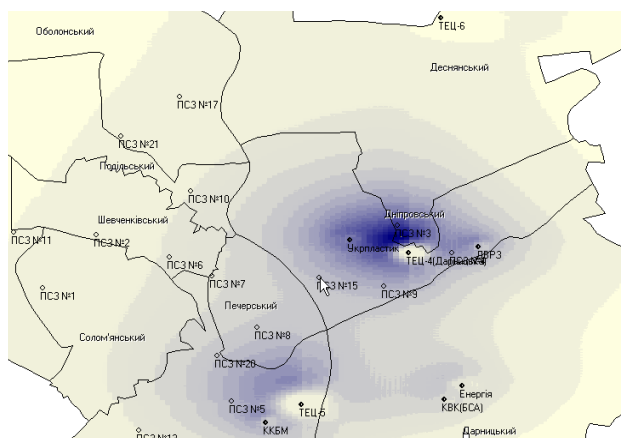


Рис. 6.5. Карта розподілу діоксиду сірки від викидів найбільших підприємств м. Києва (2017 р.)

Приклад 2. Оцінювання ризиків для здоров'я населення за техногенним атмосферним фактором. Розроблені програмні засоби допомагають перейти від просторового розподілу рівнів техногенних навантажень до розподілу індивідуальних ризиків для населення урбанізованих територій (карт ризику). Саме оцінки ризику завершують процес моделювання впливу техногенних навантажень на населення міста та визначають критерії для прийняття управлінських рішень.

У методичних рекомендацій щодо оцінювання ризиків для здоров'я населення, аналіз ризиків від забруднення АП описано чотири етапи: ідентифікація небезпеки окремих чинників впливу; оцінка ступеню дії цих чинників; встановлення залежності «доза (концентрація) – ефект»; характеристика ризиків для здоров'я населення. Наведені етапи детально відображено в запропонованому авторами експертно-аналітичному підході до оцінювання ризиків на основі даних екологічного моніторингу [217].

На основі вище запропонованого підходу було розроблено алгоритми і програмні засоби, що реалізують можливі сценарії аналізу даних моніторингу з різних джерел з урахуванням експертних оцінок допустимості тих або інших рівнів ризиків для здоров'я різних категорій населення. В системі AISEEM розраховуються: ризик миттєвих токсичних ефектів (PMTE), ризик хронічної інтоксикації (PXI), характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів, характеристика ризику розвитку неканцерогенних ефектів за комбінованого впливу хімічних речовин та канцерогенний ризик.

Відповідно на рис. 6.6 зображено приклади карт інтегральних PXI та PMTE внаслідок забруднення повітря м. Києва за 2017 р., побудовані за інтерполяційним методом зважених відстаней. Інтерполяція проводилась за принципом кратності перевищення гранично допустимих концентрацій. Отримані значення ризиків зображено на картах як контури різних відтінків, зафарбовано відповідно до значень шкали, показаної в нижній лівій частині кожного рисунка [97].

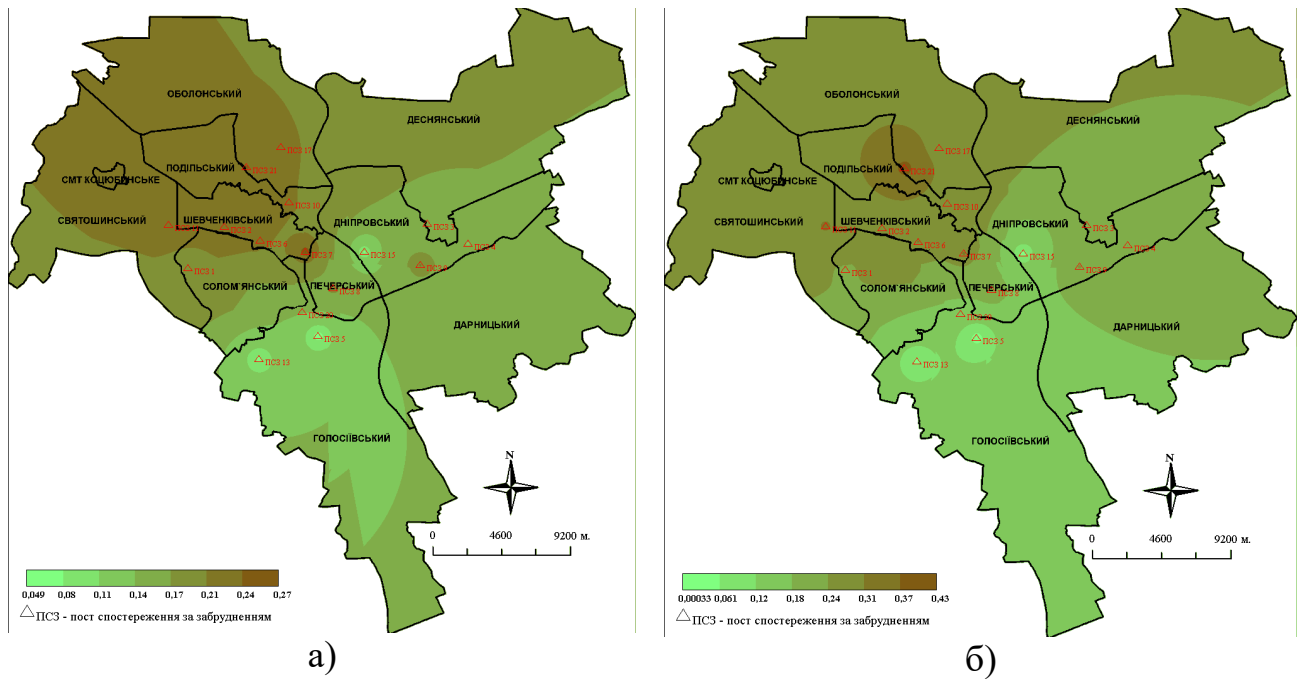


Рис. 6.6. Карта розподілу інтегральних ризиків PXI (а) та PMTE (б) внаслідок забруднення повітря м. Києва за 2017 р. [97]

Нині інформаційні матеріали, що створені на базі ГІС, а також геоінформаційні знання та навички стають все більш затребуваними. Однак, підготовка майбутніх фахівців нової технологічної ери залишається на рівні, що не повною мірою задовольняє потреби виробництва, наукової та управлінської сфери [59]. Наразі далеко не усі освітньо-професійні та освітньо-наукові програми підготовки закладів вищої освіти і наукових установ, які здійснюють підготовку фахівців за спеціальностями: 101 «Екологія», 103 «Науки про Землю», 122 «Комп'ютерні науки», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» включають вивчення ГІС. Вважаємо, що це є значним недоліком, оскільки, вміння застосовувати ГІС має міждисциплінарний характер, зокрема, розвиває знання і навички з комп'ютерного моделювання різних процесів, що можуть виникати у подальшій професійній діяльності.

Отже, визначено, що основними перевагами використання відкритих ГІС у закладах вищої освіти та наукових установах є: економія коштів (відсутня потреба у придбанні ліцензій); більшість відкритих ГІС не мають

високих вимог до технічних засобів і підтримують можливість роботи під різними операційними системами; функціонал відкритих ГІС не поступається своїм комерційним аналогам; розширення компетентностей студентів і аспірантів щодо використання різних ГІС та їх комбінування, для вирішення практичних задач.

На підставі аналізу наукових публікації [136, 217] та навчальних планів різних вітчизняних закладів вищої освіти, визначено переважну орієнтацію на використання в навчальному процесі пропрієтарних ГІС, що, на думку дисертанта, значно звужує знання та навички студентів і аспірантів, зокрема щодо комп'ютерного моделювання. У результаті проведеного дослідження визначено, що процес підготовки майбутніх фахівців зі спеціальностей: «Екологія», «Науки про Землю», «Комп'ютерні науки» та «Технології захисту навколишнього середовища» має ґрунтуватись на використанні потужної науково-методологічної навчальної бази із використанням сучасних досягнень у сфері інформаційних технологій. Вибір програмного забезпечення, що використовується у навчальному процесі повинен бути здійснений виходячи не із суб'єктивних переваг викладача, а із необхідності формування у студентів і аспірантів розуміння процесу функціонування ГІС загалом, розвитку системності їх мислення, здатності добору оптимального інструменту для вирішення конкретної прикладної задачі. В цьому контексті, використання відкритих і спеціалізованих ГІС допомагає студентам і аспірантам зрозуміти «логіку» та «механізм» вирішення завдання, відійти від рутинного виконання завченої послідовності дій. І з точки зору організації освітнього процесу, відкриті та спеціалізовані ГІС відкривають закладам вищої освіти і науковим установам додаткові можливості збагачення навчальних курсів дидактичним матеріалом, а для студентів і аспірантів – створюються можливості роботи із різними програмними рішеннями, порівнювати їх, обирати для вирішення конкретної задачі найбільш оптимальні інструменти на основі набутого досвіду.

Основними критеріями добору відкритих і спеціалізованих ГІС, що доцільно застосовувати у підготовці студентів і аспірантів є: їх відкритість, функціональність та придатність до використання в закладах вищої освіти і наукових установах України. Здійснено порівняльний аналіз найбільш поширених у світі відкритих ГІС та рекомендовано для навчання студентів застосовувати як пропрієтарні (ArcGis, MapInfo) так і відкриті ГІС (uDIG, QGIS, Whitebox GAT). А для навчання студентів старших курсів і аспірантів можливо застосовувати відкриті ГІС (uDIG, QGIS, Whitebox GAT) та спеціалізовані (Modular GIS Environment, GEO+CAD, GeoniCS, AISEEM).

На підставі викладеного вище зроблено кілька висновків:

- вибір математичного та програмного забезпечення, що використовується в освітньому процесі повинен ґрунтуватися на необхідності формування професійних навичок, розвитку системності їх мислення, здатності добору оптимального інструменту для вирішення конкретної прикладної задачі. Це значно збагатить їх досвід та дасть змогу зрозуміти особливості моделювання таких подій, які пов'язані з розповсюдженням задач попередження, моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря в рамках методології визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень;
- варто під час підготовки та підвищення кваліфікації фахівців обов'язково застосовувати ГІС та спеціалізоване програмне забезпечення для вирішення різних професійних задач, зокрема в рамках методології визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень;
- варто доповнити навчальні плани підготовки студентів та аспірантів із забезпеченням набуття компетенцій щодо врахування ризиків під час визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень; ввести вивчення питань щодо розробки відповідних математичних моделей та програмних засобів;
- розширити тематику бакалаврських, магістерських, дисертаційних робіт здобувачів освіти і наукових ступенів проблематикою щодо різних

аспектів розробки математичних моделей та програмних засобів вирішення різних практичних задач в рамках визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень;

- постійно проводити семінари, вебінари для підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських рішень.

6.2.3. Застосування імерсивних технологій в галузі енергетики: фінансові переваги та особливості підвищення кваліфікації й підготовки фахівців

Сучасний розвиток цифрового суспільства ґрунтується на удосконаленні цифрових технологій і впровадженні їх в усі галузі. У [362] під «цифровізацією» визначено процес насичення фізичного світу електронно-цифровими пристроями, засобами, системами та налагодження електронно-комунікаційного обміну між ними, що фактично уможливорює інтегральну взаємодію віртуального та фізичного, тобто створює кіберфізичний простір. Основною метою цифровізації є досягнення цифрової трансформації існуючих та створення нових галузей економіки, а також трансформація сфер життєдіяльності у нову більш ефективну та сучасну. Такий приріст є можливим лише тоді, коли ідеї, дії, ініціативи та програми, які стосуються цифровізації, будуть інтегровані, зокрема, в національні, регіональні, галузеві стратегії і програми розвитку.

У попередній публікації дисертанта [59] зазначено, що новий еволюційний етап розвитку суспільства називають технологічною ерою, для якої важливим є підготовка фахівців, що будуть конкурентоспроможними та зможуть швидко опановувати професії майбутнього. Вважаємо, що у підготовці фахівців нової технологічної ери важливим є застосування цифрових технологій, зокрема, віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності.

Наголошуємо на тому, що VR та AR засоби є ідеальним інструментом для навчання в сучасних умовах цифрової ери, адже вони є

функціональними, доступними, можливо моделювати складні ситуації, які потребують адаптивного мислення і конкретних навичок. Технології VR та AR вже стають основою навчання в промисловому середовищі, адже таке навчання стає більш ефективним та безпечним.

Цифрова трансформація суспільства призвела до того, щоб бути висококваліфікованим фахівцем потрібно вміти швидко пристосовуватися до зміни видів діяльності, застосовувати цифрові технології і постійно підвищувати свою компетентність, щоб бути конкурентоспроможними. Наразі для підтримки працівників різних галузей у формуванні необхідних компетентностей можуть бути застосовані різні технології, і зокрема, AR. Потенціал AR як інноваційного навчального середовища може бути застосоване для різних випадків і професійних задач [114]. До прикладу, в Шотландії працює лабораторія VR з підготовки кадрів для вітроенергетики. Ця лабораторія створювалася з метою удосконалення системи підготовки та перепідготовки персоналу для роботи на морських вітряних турбінах. В лабораторії зроблено акцент на віртуальних проєкціях реальних установок. Для детального ознайомлення з установкою побудована її цифрова модель, на якій студенти місцевого коледжу відпрацьовують технічне обслуговування, діагностику несправностей і ремонт турбіни. Заняття проходять в лабораторії VR, де використовується особлива система візуалізації: користувач одночасно з об'ємним зображенням генератора бачить власні руки і ноги, і його фізичні рухи співвідносяться з віртуальним світом. Тобто студенти і співробітники, що проходять стажування, можуть проводити огляд турбіни, використовуючи симуляцію. Для цього не потрібно виходити в море. В таких умовах знижуються ризики, і відкривається можливість відпрацьовувати навички і тренуватися.

Доповнена реальність – це група технологій, що дозволяють доповнювати зображення реального світу різними об'єктами віртуального середовища. На відміну від VR, яка передбачає повністю штучний

синтезований світ (відеоряд), AR передбачає інтеграцію віртуальних об'єктів в природні відеосцени [244]. На рис. 6.7 представлена схема середовища AR.

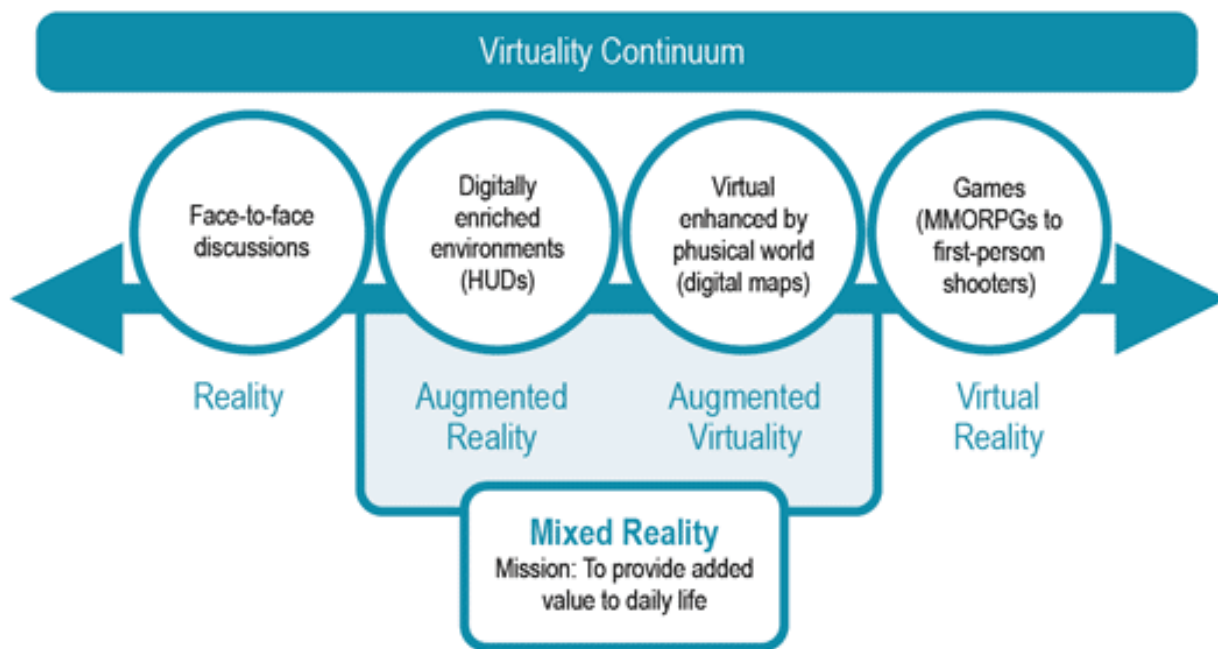


Рис. 6.7. Схема середовища доповненої реальності [83]

Також, поняття «AR» визначають, як «технологію, що дозволяє поєднувати шар віртуальної реальності з фізичним оточенням, а також в реальному часі за допомогою комп'ютера стикнутися зі світом 3D. Дана технологія необхідна для візуалізації об'єктів або візуального доповнення друкованої продукції - газети, буклети, журнали, географічні карти і ін. Доповнююча інформація може бути у вигляді тексту, зображення, відео, звуку, тривимірних об'єктів. За допомогою спеціальних програм-браузерів планшетів або смартфонів скануються мітки, щоб потім отримати доповнений контент». Цю технологію вже активно використовується в різних сферах (торгівлі, рекламі, іграх, промисловості, медицині, освіті, військових розробках, туризмі та ін.) [244].

Реалізація технології AR, затребувана при вдосконаленні призначеного для користувача інтерфейсу візуалізації тривимірних об'єктів за допомогою застосовуваного апаратного і програмного забезпечення. У спостережувану реальність за допомогою комп'ютерних засобів додаються цифрові дані в

режимі реального часу, для того щоб доповнити наші знання про оточуюче нас середовище. Розмитість термінологічних кордонів призводить до того, що такі поняття, як «змішана реальність», «гібридна реальність», «віртуальна реальність з повним зануренням (immersive vr)», «програмована реальність» часто є синонімами, що, з одного боку, говорить про необхідність подальшої теоретичної опрацювання питань застосування технології AR в транспортній логістиці, а, з іншого боку, зайвий раз доводить практичну значимість даних технологій, оскільки прогнозується суттєве зростання доходів від застосування AR в різних галузях економіки [198].

Стрімкий розвиток технологій AR і VR та розширення сфери їх застосування спричинили до попиту на висококваліфікованих фахівців в цій галузі. Наразі розпочалися виконуватися низка досліджень щодо розробки технологій AR. Проте, важливим є підвищення компетентностей викладачів та навчання студентів розробляти і застосовувати технологій AR у різних суспільних галузях. Також, важливим є обмін передовою практикою в цій галузі та підготовка навчальних і методичних матеріалів для закладів вищої освіти на основі кращих практик світового досвіду [59].

До прикладу, у дослідженні зарубіжних вчених [38] визначено, що наразі екологічна грамотність має важливе значення для розуміння таких загроз як глобальна зміна клімату. Більшість людей не розуміють зв'язків між окремими діями та їх наслідками для навколишнього середовища, тому технології VR можуть бути перспективним інструментом для вирішення цих проблем. Також, ці зарубіжні вчені розглянули та проаналізували наукові публікації, що присвячені використанню VR для формування екологічної грамотності населення.

Технологічний прогрес через цифровізацію дає основу для нового формату життя людини. Орієнтація на майбутню роботу, автоматизація і цифровізація багатьох технологічних процесів призвели до модернізації робочих місць, особливо в промисловості. Це змінює вимоги до працівників, тобто опановування новими цифровими компетентностями. Для підтримки

співробітників у формуванні необхідних компетентностей можуть використовуватися різні технології, і зокрема, AR. Було проаналізовано потенціал технологій AR для вирішення окреслених проблем. Розкрито потенціал AR як інноваційного навчального середовища, що можуть бути застосовані для різних випадків. Окреслено, які цілі викладання та навчання можна досягти за допомогою використання технології AR у навчанні [114].

Додатки AR використовуються в промисловості, програми часто сприймаються як окремі рішення, застосовні лише у визначених та статичних робочих умовах. Цей внесок відповідає загальним вимогам для додатків AR з двома прикладами з промислового контексту: розробленою системою допомоги на техніці обслуговування вітроенергетики на основі AR та симулятором зварювання на основі AR для цілей навчання. Критично описано можливість застосування цих загальних вимог у контексті тематичних досліджень. Конкретні вимоги можуть бути визначені для додатків AR, які, серед інших впливів, викликані різницею продуктів і процесів, умовами роботи, проблемами з підключенням даних, а також медіаграмотністю та прийняттям технологій. Визначено підходи до задоволення вимог щодо успішного застосування рішень AR в промислових сценаріях [98].

У роботі [250] представлено алгоритм роботи технології AR, що подано на рис. 6.8. Він полягає в тому, що відеокамера мобільного пристрою зчитує зображення, яке містить мітки (маркери), і передає відеосигнал у комп'ютер (смартфон, планшет). Спеціальна програма опрацьовує отриманий сигнал (розпізнає маркери), і на екрані пристрою накладає на зображення реального об'єкту віртуальний об'єкт. В якості віртуальних об'єктів можуть використовуватись тексти, посилання на сайти, фотографії, об'ємні елементи, звуки, відео тощо. Найбільш розповсюдженими AR є QR-коди, браузері доповненої реальності, аури. Усі ці технології мають наступні ознаки: вони доповнюють реальний світ віртуальними елементами; доповнення

відбувається у реальному часі; доповнення повинно відбуватися у тривимірному просторі.



Рис. 6.8. Алгоритм використання технології доповненої реальності [250]

За допомогою технології AR можливо проектувати цифрову інформацію (зображення, відео, текст, графіку) поза екранами пристроїв та об'єднувати віртуальні об'єкти з реальним середовищем. Для суміщення віртуальних об'єктів і елементів з реальними, буде задіяний процесор пристрою, екран і його камера. Пристрій повинен мати GPS-датчик і акселерометр. Користуватися AR не складно, необхідно лише навести камеру на потрібне місце і на екрані з'явиться результат. Це може бути текст, анімація, тривимірний об'єкт або щось інше [401].

В сучасних умовах розумні технології мають бути однією з головних тематик наукових досліджень. Важливим є прагнення задовольнити потреби суспільства засобами, які не завдають шкоди навколишньому середовищу та не збіднюють природні ресурси. AR – це нова технологія, яка поєднує тривимірні віртуальні об'єкти з реальністю. У дослідженні [2] здійснено аналіз потенційних вигод від використання технології AR в університетах

Саудівської Аравії з точки зору її економічної та екологічної складової. Для цього дослідження кількісні дані були зібрані за допомогою опитувальника. У дослідженні взяло участь 228 співробітників саудівських університетів. Визначалися фактори, що пов'язані із усвідомленням переваг використання AR. Виявлено два фактори, а саме екологічні та економічні фактори. Результати дослідження свідчать про те, що співробітники саудівських університетів вважають, що використання AR у вищій освіті має позитивні екологічні та економічні переваги [2].

До прикладу, співробітники підрядника NASA використовують окуляри-гарнітуру доповненої реальності Microsoft AR HoloLens для швидкої і правильної збірки елементів космічного апарату Orion. Інженери американської аерокосмічної компанії Lockheed Martin використовують у допоміжних цілях при монтажі окуляри AR Microsoft HoloLens при складанні елементів капсули кабіни екіпажу, що значно економить час, так як немає необхідності в читанні тисячі сторінок паперових інструкцій для підготовки і в процесі виробництва робіт. Інженерний персонал почав щодня використовувати обладнання AR для виконання своїх поточних робочих обов'язків. За допомогою гарнітури AR фахівці можуть бачити голографічні моделі компонування елементів космічного корабля, які створені для інженерного проектування за допомогою спеціального програмного продукту Score AR. Віртуальні моделі деталей і схеми маркування візуально накладаються на вже зібрані частини конструкції [128].

У 2018 р. був офіційно запущений додаток Augmented Reality APP – Chornobyl NPP ARCH AR. За даними State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management цей додаток дозволяє на смартфоні побувати від новим безпечним конфайнментом і детально роздивитись конструкції Арки та об'єкта «Укриття». За допомогою цього засобу можна роздивитися абсолютно всі деталі до розмірів виставкового стенду. Тобто є можливість отримати реальну картинку до дрібниць об'єкту «Укриття» без ризику для здоров'я людини [394]. На рис. 6.9 показано приклад роботи цього додатку. В

майбутньому додатки такого типу можуть використовуватись з метою підвищення ефективності системи аварійної готовності та реагування на аварії та надзвичайні ситуації на потенційно-небезпечних об'єктах. Але для цього необхідно розробляти нові методи, підходи та інформаційні системи для вирішення задач попередження надзвичайних ситуацій. Ці системи мають базуватися на адекватних математичних моделях розвитку різних надзвичайних ситуацій і відповідати сучасним вимогам в сфері цивільного захисту.

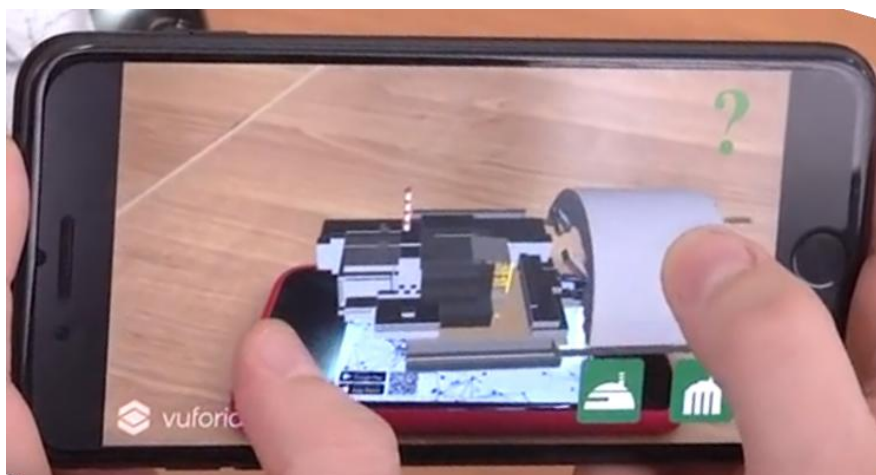


Рис. 6.9. Приклад роботи на смартфоні додатку Chornobyl NPP ARCH AR

Окреслено труднощі застосування технологій AR, які містять три основні аспекти: *фінансові*: дороге обладнання та відсутність великої кількості якісних програм; *професійні*: невеликий досвід користування даною технологією у викладачів/вчителів та необхідність підвищення компетентностей у цьому напрямку; *методичні*: незначна кількість літератури, в тому числі підручників/посібників, з технологією AR та відсутність розроблених методик щодо розробки технологій AR та впровадження їх в різні галузі.

Цифрові технології обов'язково застосовують у роботі великих виробництва і підприємства, і тому підготовка персоналу потребує постійного вдосконалення. Технології VR та AR є ідеальним інструментом для навчання в цифрову еру, адже вони є функціональними, доступними,

можливо моделювати складні ситуації, які потребують адаптивного мислення і конкретних навичок. Технології VR та AR вже стають основою навчання в промисловому середовищі, адже таке навчання стає більш ефективним та безпечним. Поширення технологій занурення вимагає співпраці між промисловими компаніями, і розробниками VR та AR, які повинні забезпечити їх відповідність вимогам в області навчання і безпеки для різних організацій [96].

Промислова AR є однією із ключових основ концепції промислової цифровізації, яка пов'язує працівників із фізичним світом через накладання цифрової інформації. Ринок AR розширюється, проте промислове впровадження все ще на низькому рівні. Великі промислові компанії прагнуть застосовувати AR, проте вони ще рідко застосовують ці технології через відсутність розуміння факторів успіху в цьому просторі. У дослідженні [80] визначено найважливіші фактори успіху та проблеми для реалізації проектів із застосуванням AR на основі проведених експериментів.

У [219] наведено різні приклади застосування VR в енергетиці. В Шотландії працює лабораторія VR з підготовки кадрів для вітроенергетики. Ця лабораторія створювалася з метою удосконалення системи підготовки та перепідготовки персоналу для роботи на морських вітряних турбінах. В лабораторії зроблено акцент на віртуальних проекціях реальних установок. Для детального ознайомлення з установкою побудована її цифрова модель, на якій студенти місцевого коледжу відпрацьовують технічне обслуговування, діагностику несправностей і ремонт турбіни. Заняття проходять в лабораторії VR, де використовується особлива система візуалізації: користувач одночасно з об'ємним зображенням генератора бачить власні руки і ноги, і його фізичні рухи співвідносяться з віртуальним світом. Тобто студенти і співробітники, що проходять стажування, можуть проводити огляд турбіни, використовуючи симуляцію. Для цього не потрібно виходити в море. В таких умовах знижуються ризики, і відкривається можливість відпрацьовувати навички і тренуватися [219].

АЕС є об'єктом критичної інфраструктури, тому до їх надійності і безпеки, а значить, і до підготовки персоналу пред'являються найвищі вимоги. Технології VR дозволяють організувати таку підготовку в умовах, наближених до реальних, причому абсолютно безпечно для учасників і для обладнання. Технології VR створюють ілюзію перебування всередині віртуального середовища і є дешевшими за обладнання для традиційного навчання та виграють в доступності і простоті використання [386]. VR є дійсно ефективним засобом, що дозволяє створювати симуляції будь-яких ситуацій. За допомогою VR можна відпрацювати систему безпеки і відтворити будь-які штатні процеси для тренування співробітників і виявлення слабких місць в роботі окремих елементів обладнання і робочого комплексу в цілому.

Для забезпечення роботи АЕС важливим є надійна підготовка кадрів, що є запорукою безпечної і продуктивної діяльності. Ціна найменшої помилки в енергетичній галузі може бути неймовірно велика. Для того щоб мінімізувати ризики, слід особливу увагу приділяти підготовці кадрів. Теорія важлива, проте вона ніщо без гарної практики. Системи VR - це ефективний тренажер, за допомогою якого можна легко спроектувати будь-яку ситуацію і відпрацювати порядок дій для вирішення всіх можливих проблем. За допомогою технологій VR можливо: 1) відпрацювати порядок дій в режимі надзвичайної ситуації; 2) відпрацювати демонтаж/монтаж елементів обладнання; 3) досягти оптимізації тимчасових витрат на проведення термінового ремонту та ін. Також, за допомогою VR можна візуалізувати проект для колективного ознайомлення, подальшого коректування і прийняття спільних рішень в рамках корпоративної діяльності [219].

Одне з основних завдань навчання, заснованого на симуляції, - зменшити витрати часу на отримання компетентності, передати навички високого рівня кожному співробітнику з максимальною ефективністю. За допомогою VR співробітників занурюють в епіцентр подій для отримання необхідної практики управління і обслуговування устаткування. Технологія

VR забезпечує вигоду як для вивчення окремого зразка обладнання, так і до цілого підприємства, особливо з використанням високореалістичної тривимірної симуляції процесів. Також, одні й ті ж 3D-моделі можуть використовуватися в різних сценаріях, в залежності від тих чи інших вимог до навчання [176]. Інтерактивні 3D-додатки дозволяють організувати тренінги для віддалених або небезпечних об'єктів. Маючи 3D-модель енергоблоку АЕС, немає необхідності виїжджати на об'єкт для проведення навчання: провести підготовку можна і в офісі, персонал не тільки отримає можливість віртуально досліджувати об'єкт, але і разом з інструктором програти різні сценарії розвитку ситуації.

У [176] зазначено, що технології VR добре підходять для навчання, адже забезпечують занурення, і краще запам'ятовування, та є економічно ефективними. Головною перевагою навчання, заснованого на симуляції, є те, що процес навчання реалізується в безперервній або постійно повторюваному способі із забезпеченням безпеки підприємства і студентів. Промислові підприємства самі по собі є небезпечними середовищами, при цьому вони постійно експлуатуються. Через це навчання на реальному обладнанні складно організувати, особливо коли мова йде про підготовку до надзвичайних ситуацій. Коли працівники краще навчені, відбувається менше нещасних випадків, витрат, пов'язаних з нещасними випадками, а також простоїв. Інвестиції в навчальні системи з ефектом занурення на ранньому етапі життєвого циклу обладнання можуть максимізувати повернення інвестицій. Отже, економічна ефективність використання VR та AR для підприємств критичної інфраструктури досягається за рахунок: усунення помилок проектування до початку етапу будівельно-монтажних робіт; скорочення вартісних і тимчасових витрат на відрядження персоналу для підвищення кваліфікації персоналу; підвищення рівня промислової безпеки; підвищення ефективності управління. Тому, технології VR та AR для енергетики успішно використовують у таких напрямках: моделювання різних процесів ядерної енергетики; тренування та навчання персоналу;

експлуатація, ремонт і обслуговування обладнання; презентація діяльності, будівництво підприємств.

В результаті проведеного дослідження здійснено узагальнення та візуалізацію рекомендацій для формування висококваліфікованих фахівців відповідальних за прийняття екологічно ефективних управлінських рішень для захисту довкілля, що представлені на рис. 6.10



Рис. 6.10. Пропозиції і рекомендації для формування висококваліфікованих фахівців відповідальних за прийняття екологічно ефективних управлінських рішень для захисту довкілля

На підставі аналізу наукової літератури [8, 51, 64, 127, 208] та особистого досвіду дисертанта [52, 59, 96, 136, 217] було окреслено *основні напрями модернізації* системи підготовки та підвищення кваліфікації персоналу відповідального за прийняття екологічно ефективних управлінських рішень для захисту довкілля, а саме: розробити та затвердити державні стандарти підготовки та підвищення кваліфікації фахівців з конкретних професій енергетичної галузі (потребують урегулювання організаційні та методичні засади системи професійного розвитку персоналу); потребують удосконалення та модернізації програми навчання та

підвищення кваліфікації, зокрема наскрізне застосування цифрових технологій (ГІС, спеціалізоване програмне забезпечення, імерсивні технології та ін.); потребують розробки відкриті веб-ресурси для отримання структурованих знань на компетентностній основі, включаючи підвищення кваліфікації і тренажерну підготовку викладачів та інструкторів з обов'язковим контролем рівня їх кваліфікації; потребує удосконалення оперативна та довготривала психофізіологічна експертиза (діагностика) персоналу, тестування, система професійної, соціальної та психологічної реабілітації; потребує розробки процедура та критерії перевірки в реальному часі кваліфікації персоналу, що користується послугами сучасної системи підвищення кваліфікації та гарантуються тільки рівнем кваліфікації викладачів.

6.3. Висновки до розділу 6

1. Отримане в роботі математичне та програмне забезпечення дозволяє визначати та аналізувати ЕЕПУР на прикладі охорони АП для обґрунтованого вибору місця та проекту для будівництва відповідних генеруючих потужностей, газоочисного устаткування для встановлення на визначеному об'єкті енергетики, заходів щодо запобігання аварій та підготовки до реагування на них тощо. Тому, можливими варіантами їх впровадження є: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державна екологічна інспекція України, Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, ДСНС України, підприємства енергетичного комплексу, науково-технічні центри, що займаються проблематикою забруднення атмосферного повітря, заклади підготовки фахівців в галузі екологічної безпеки та інші організації, діяльність яких пов'язана з впливом (або його контролем) на довкілля, зокрема атмосферне повітря.

2. Одночасно із удосконаленням складових системи управління екологічною безпекою за даними моніторингу, важливим є підвищення

кваліфікації фахівців в галузі екологічної безпеки, зокрема працівників міністерств, підприємств та організацій, які відповідають за прийняття УР щодо зменшення негативного впливу на довкілля та підготовка майбутніх фахівців у цьому напрямі. У 2019-2020 рр., лише кілька ЗВО пропонують курси підвищення кваліфікації для фахівців, що працюють на посадах керівників та провідних виконавців з менеджменту, екології та природокористування, проте, у навчальних програмах, недостатньо уваги приділено саме навчанню застосовувати автоматизовані системи підтримки прийняття УР. До основних шляхів застосування автоматизованих інформаційних систем управління екологічною безпекою у підвищенні кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття управлінських рішень відносимо: 1) науково-методичну підтримку та консультативну допомогу для процесу впровадження розроблених систем управління екологічною безпекою; 2) проведення семінарів-тренінгів на базі міністерств, установ і відомств, що зацікавлені у впровадженні розроблених систем; 3) розробка та вдосконалення навчально-методичного забезпечення для аспірантів, студентів та слухачів курсів підвищення кваліфікації щодо застосування автоматизованих інформаційних систем управління екологічною безпекою.

3. Визначено напрями застосування програмних засобів для підвищення кваліфікації фахівців в енергетичній, екологічній та суміжних галузях. Основними напрямками підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття УР є: проведення семінарів-тренінгів на базі міністерств, установ і відомств, що зацікавлені у впровадженні розроблених систем; науково-методична підтримка та консультативна допомога для процесу впровадження розроблених ПЗ; розробка та вдосконалення навчально-методичного забезпечення для аспірантів, студентів та слухачів курсів підвищення кваліфікації фахівців відповідальних за прийняття УР в енергетичній, екологічній та суміжних галузях. Зокрема потребує модернізації підготовка фахівців за спеціальностями: 101 «Екологія», 103 «Науки про Землю», 122 «Комп'ютерні науки», 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

ВИСНОВКИ

В дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-прикладну проблему розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів. В результаті виконання роботи отримано наступні висновки:

1. Аналіз сучасних наукових підходів щодо визначення екологічної ефективності показав, що, по-перше, існують різні тлумачення терміну «екологічна ефективність», які значно відрізняються за суттю та змістом між собою та мають абстрактний характер, що, фактично, не дозволяє математично формалізувати визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. А, по-друге, мають низку недоліків, оскільки вони не враховують ряд важливих аспектів управлінських рішень: часову тривалість, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; можливість одночасно призводити до сприятливих та несприятливих змін в довкіллі, становити не лише прямий, а й опосередкований вплив тощо.

2. Розроблено концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що враховує: можливість управлінського рішення одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення надзвичайних ситуацій; часову тривалість дії ефекту від управлінського рішення; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив управлінського рішення на виконання нормативних вимог та зобов'язань. Запропоновано визначення терміну «екологічна ефективність прийняття управлінських рішень».

3. Розроблено математичні засоби для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що включають адекватну оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від

кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності.

4. Розроблено структурну модель визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу. На її основі розроблено відповідне програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності управлінського рішення для виконання (наприклад, щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих управлінських рішень (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

5. Розроблено теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, який, на відміну від існуючих, дозволяє визначати маршрути пересувних постів в залежності від техногенних, екологічних, соціально-економічних чинників, рівня та наслідків забруднення атмосфери і актуальних задач моніторингу для конкретної мережі/території. Використання та впровадження даного підходу дозволить підвищити ефективність роботи системи моніторингу довкілля України для прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень та зменшити витрати на комплексний аналіз екологічного стану міста або регіону.

6. Для оцінки впливу золівдвалів на стан атмосферного повітря запропоновано використовувати закордонну методику розрахунку оцінки вітрової ерозії і пиління золівдвалів теплових електростанцій, для якої

розроблено та використано метод уточнення коефіцієнтів, що дозволило зменшити середню похибку моделювання забруднення атмосферного повітря від пиління даних об'єктів з 23% до 14%. На основі удосконалених математичних засобів розроблено відповідне програмне забезпечення, що дає можливість екологічним службам визначати вплив місць зберігання відходів підприємств паливно-енергетичного комплексу на довкілля та населення прилеглих територій при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

7. Для моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря від викидів об'єктів енергетики при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень запропоновано використовувати комплекс моделей Попова О.О., як такі, що забезпечують високу точність моделювання для різних типів об'єктів та сценаріїв викидів. Для отримання мінімальної похибки моделювання вдосконалено методи ідентифікації параметрів відповідних моделей, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, розроблено алгоритм зниження розмірності задачі та алгоритм розпаралелення обчислень, що дозволило значно скоротити час розв'язання задачі ідентифікації. Здійснено більш точну ідентифікацію параметрів ряду запропонованих моделей, що дозволило зменшити середню похибку моделювання з 15% до 5% при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

8. Для врахування виконання нормативних вимог та зобов'язань в рамках визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря запропоновано використовувати методику ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення». Вдосконалено підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок з

використанням даної методики за рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання в методику нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо).

9. В результаті дослідження сучасних засобів аналізу та візуалізації даних дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану атмосферного повітря та відповідних ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі, зокрема при формуванні множини альтернативних управлінських рішень, а також при попередньому аналізі їх екологічної ефективності.

10. Отримане в роботі математичне та програмне забезпечення дозволяє визначати та аналізувати екологічну ефективність прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря для обґрунтованого вибору місця та проекту для будівництва відповідних генеруючих потужностей, газоочисного устаткування для встановлення на визначеному об'єкті енергетики, заходів щодо запобігання аварій та підготовки до реагування на них тощо. Тому, можливими варіантами їх впровадження є: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державна екологічна інспекція України, Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, ДСНС України, підприємства енергетичного комплексу, науково-технічні центри, що займаються проблематикою забруднення атмосферного повітря, заклади підготовки фахівців в галузі екологічної безпеки та інші організації, діяльність яких пов'язана з впливом (або його контролем) на довкілля, зокрема атмосферне повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A CitySense: vision for an urban-scale wireless networking testbed.
URL: <http://www.seas.harvard.edu/>
2. Alahmari M., Issa T., Issa T., Nau S.Z. Faculty awareness of the economic and environmental benefits of augmented reality for sustainability in Saudi Arabian universities. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 226. P. 259–269. URL: doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.090
3. Alakangas E. Properties of wood fuels used in Finland. VTT Espoo, 2005. p. 100.
4. Alix-Garcia, J. M., Sims, K. R. E., & Yañez-Pagans, P. (2015). Only one tree from each seed? environmental effectiveness and poverty alleviation in mexico's payments for ecosystem services program. *American Economic Journal: Economic Policy*, 7(4), 1-40. doi:10.1257/pol.20130139
5. Are the kyoto mechanisms environmentally friendly? their environmental effectiveness and limits. (2003). *Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan*, 123(9), 594-597. doi:10.1541/ieejjournal.123.594
6. Artemchuk V., Kyrylenko Y., Iatsyshyn A., Popov O., Stanytsina V., Zinovieva I. Some issues of environmental effectiveness and monitoring in the field of atmospheric protection in Ukrainian legislation. *Perspectives of world science and education*. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2019. P. 184-188.
7. Baleta J., Mikulčić H., Klemeš J.J., Urbaniec K., Duić N. Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 215. P. 1424-1436. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.035.
8. Barker M., et al. The global impact of science gateways, virtual research environments and virtual laboratories. *Future Generation Computer Systems*. 2019. Vol. 55. P. 240-248. doi:10.1016/j.future.2018.12.026.
9. Battiato I., Tartakovsky D.M. Applicability regimes for macroscopic

models of reactive transport in porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2011. Vol. 120–121. P. 18–26.

10. Bazzoffi, P., & Bonelli, C. Z. (2011). Cross compliance GAEC standards implemented in Italy: Environmental effectiveness and strategic perspectives. *Italian Journal of Agronomy*, 6(SUPL.1), 1-5. doi:10.4081/ija.2011.6.s1.e1

11. Bazzoffi, P., Francaviglia, R., Neri, U., Napoli, R., Marchetti, A., Falcucci, M., . . . Ventrella, D. (2015). Environmental effectiveness of GAEC cross-compliance standard 1.1a (temporary ditches) and 1.2g (permanent grass cover of set-aside) in reducing soil erosion and economic evaluation of the competitiveness gap for farmers. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.710

12. Bazzoffi, P., Pellegrini, S., Carnevale, S., Borrelli, L., Speroni, M., Furlan, L., . . . Sperandio, G. (2015). Environmental effectiveness of GAEC cross-compliance standard 1.1c ‘Maintenance of farm channel networks and field convexity’ and economic evaluation of the competitiveness gap for farmers. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.707

13. Berger-Wolf, T. Y., Hart, W. E., & Saia, J. (2005). Discrete sensor placement problems in distribution networks. *Mathematical and Computer Modelling*, 42(13), 1385-1396. doi:10.1016/j.mcm.2005.03.005

14. Bertram, C., & Rehdanz, K. (2013). On the environmental effectiveness of the EU marine strategy framework directive. *Marine Policy*, 38, 25-40. doi:10.1016/j.marpol.2012.05.016

15. Borrelli, L., Farina, R., Carroni, A. M., Ruda, P., Salis, M., Bazzoffi, P., . . . Colauzzi, M. (2015). Environmental effectiveness of GAEC cross-compliance standard 2.2 “Maintaining the level of soil organic matter through crop rotation” and economic evaluation of the competitiveness gap for farmers. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.689

16. Bradley M.M. NARAC: an emergency response resource for predicting the atmospheric dispersion and assessing the consequences of airborne

radionuclides. *Journal of environmental radioactivity*. – 2007. – Vol. 96. – № 1. – P. 116 – 121.

17. Buchner, B., & Carraro, C. (2004). Economic and environmental effectiveness of a technology-based climate protocol. *Climate Policy*, 4(3), 229-248. doi:10.1080/14693062.2004.9685523

18. Canadian Patents Database. URL: <http://patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/search/advanced.html>.

19. Casabianca, A. (2006). Economic and environmental effectiveness of incentives tools for the building waste recycling. *1st International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area, ISEIM*, 340-344. doi:10.1109/ISEIMA.2006.344973

20. Chan, L. S. (2019). Investigating the environmental effectiveness of overall thermal transfer value code and its implication to energy regulation development. *Energy Policy*, 130, 172-180. doi:10.1016/j.enpol.2019.04.004

21. Chapter 4 environmental effectiveness of market-based climate policy (2004). doi:10.1016/S0927-5207(04)80006-2

22. Chen, C., Matzdorf, B., Meyer, C., König, H. J., & Zhen, L. (2019). How socioeconomic and institutional conditions at the household level shape the environmental effectiveness of governmental payments for ecosystem services program. *Ecosystems and People*, 15(1), 317-330. doi:10.1080/26395916.2019.1676311

23. Chen, Z., Su, Y., Wang, X. -, & Wu, Y. (2021). Does emission discrimination improve environmental effectiveness of emission trading schemes? A duopoly approach. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 34(1), 2210-2224. doi:10.1080/1331677X.2020.1861960

24. Chen, Z., Su, Y., Wang, X. -, & Wu, Y. (2021). The price discrimination and environmental effectiveness in carbon emission trading schemes: A theoretical approach. *Journal of Cleaner Production*, 283 doi:10.1016/j.jclepro.2020.125196

25. Ching-Biau Tzeng. Design and Implement a Cost Effective and

Ubiquitous Indoor Air Quality Monitoring System Based on ZigBee Wireless Sensor Network. *2011 Second International Conference on Innovations in Bio-inspired Computing and Applications*. – pp. 245-248.

26. Chowdhury, S., Islam, M. S., Raihan, M. K., & Arefin, M. S. (2019). Design and implementation of an IoT based air pollution detection and monitoring system. *5th International Conference on Advances in Electrical Engineering, ICAEE 2019*, 296-300. doi:10.1109/ICAEE48663.2019.8975647

27. CORINAIR Инвентаризация атмосферных выбросов в Европе; IPPC; Руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/ЕАОС 2013.

28. De Roure D. Floodnet: a new flood warning system. *Royal Academy of Engineering Quarterly* 23, 2005, pp. 48-51.

29. Den Elzen, M. G. J., & De Moor, A. P. G. (2002). Analyzing the kyoto protocol under the marrakesh accords: Economic efficiency and environmental effectiveness. *Ecological Economics*, 43(2-3), 141-158. doi:10.1016/S0921-8009(02)00181-7

30. Dettmer, T., Ibbotson, S., Öhlschläger, G., Herrmann, C., & Kara, S. (2015). Technical applications of jatropa oil—environmental effectiveness of renewable resources. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(10), 1376-1386. doi:10.1007/s11367-015-0953-0

31. Dimitrov, R., Hovi, J., Sprinz, D. F., Sælen, H., & Underdal, A. (2019). Institutional and environmental effectiveness: Will the paris agreement work? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(4) doi:10.1002/wcc.583

32. Dubner, B. H. (1994). Problem on the united states continental shelf-measuring the environmental "effectiveness" of the outer continental shelf act (OCSA). *Natural Resources Journal*, 34(3), 519-534.

33. Dylla, H., Hassan, M. M., Mohammad, L. N., Rupnow, T., & Wright, E. (2010). Evaluation of environmental effectiveness of titanium dioxide photocatalyst coating for concrete pavement doi:10.3141/2164-06

34. Elms, D., Newport, L., & Milke, M. (1997). Educational foundations for environmental effectiveness. *European Journal of Engineering*

Education, 22(2), 183-191. doi:10.1080/03043799708923450

35. El-Zoklah, M. H., & Refaat, T. (2021). How to measure the green façades environmental effectiveness? A proposal to green façade systems technical guide. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 12(2), 154-169. doi:10.22712/susb.20210013

36. Espacenet. URL: <https://worldwide.espacenet.com/>.

37. F. Gil-Castiñeira. Urban Pollution Monitoring through Opportunistic Mobile Sensor Networks Based on Public Transport. *CIMSA 2008 - IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems And Applications*. Istanbul - Turkey , 14-16 July 2008.

38. Fauville G., Queiroz A.C.M., Bailenson J.N. Virtual reality as a promising tool to promote climate change awareness. *Technology and Health*. 2020. P. 91–108. doi:10.1016/b978-0-12-816958-2.00005-8.

39. Francaviglia, R., Carroni, A. M., Ruda, P., Salis, M., Bazzoffi, P., Carnevale, S., . . . Puri, D. (2015). Environmental effectiveness of GAEC cross-compliance standard 3.1 “Ploughing in good soil moisture conditions” and economic evaluation of the competitiveness gap for farmers. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.695

40. Galletta, S., Mazzù, S., & Naciti, V. (2021). Banks' business strategy and environmental effectiveness: The monitoring role of the board of directors and the managerial incentives. *Business Strategy and the Environment*, 30(5), 2656-2670. doi:10.1002/bse.2769

41. Ganesan D. Cerpa A., Ye W., Yu Y., Zhao J., Estrin D. Networking issues in wireless sensor networks. *Journal of Parallel and Distributed Computing* № 64 (7), 2004, pp. 799-814.

42. Geoinformation modeling. URL: <https://magneticonemt.com/en/geoinformation-modeling>.

43. Gil-Castiñeira, F., González-Castaño, F. J., Duro, R. J., & Lopez-PeñTa, F. (2008). Urban pollution monitoring through opportunistic mobile sensor networks based on public transport. *CIMSA 2008 - IEEE Conference on*

Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications Proceedings, 70-74. doi:10.1109/CIMSA.2008.4595835

44. Gogu, A., Nace, D., Natalizio, E., & Challal, Y. (2017). Using dynamic programming to solve the wireless sensor network configuration problem. *Journal of Network and Computer Applications*, 83, 140-154. doi:10.1016/j.jnca.2017.01.022

45. Gómez-Perales, J. E., Colville, R. N., Nieuwenhuijsen, M. J., Fernández-Bremauntz, A., Gutiérrez-Avedoy, V. J., Páramo-Figueroa, V. H., . . . Ortiz-Segovia, E. (2004). Commuters' exposure to PM_{2.5}, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico city. *Atmospheric Environment*, 38(8), 1219-1229. doi:10.1016/j.atmosenv.2003.11.008

46. Google Patent Search. URL: <https://www.google.com/?tbn=pts>.

47. Grachev, V. A. (2019). Environmental effectiveness of energy technologies. *International Journal of GEOMATE*, 16(55), 228-237. doi:10.21660/2019.55.271117

48. Grasso, M., & Dutta, V. (2018). A comparative assessment of climate policies of top global emitters and evolution of an effective climate regime: Issues of environmental effectiveness, economic efficiency, equity and political feasibility. *Globalisation, environment and social justice: Perspectives, issues and concerns*, pp. 58-89. doi:10.4324/9780429455766

49. Guerriero, F., Di Puglia Pugliese, L., & Mitton, N. (2019). Efficient wireless sensor deployment at minimum cost doi:10.1007/978-3-030-31831-4_41

50. Guerriero, F., Violi, A., Natalizio, E., Loscri, V., & Costanzo, C. (2011). Modelling and solving optimal placement problems in wireless sensor networks. *Applied Mathematical Modelling*, 35(1), 230-241. doi:10.1016/j.apm.2010.05.020

51. Gurieiev V., Kutsan Yu., Iatsyshyn Andrii, Iatsyshyn Anna. Virtual scientific and header center for preparing operating and dispatching personnel in energy of Ukraine. *Information Technologies and Learning Tools*. 2020. № 79(5). P. 90–108. doi:10.33407/itlt.v79i5.3637.

52. Gurieiev V., Kutsan Yu., Iatsyshyn Anna, Iatsyshyn Andrii, Kovach V., Lysenko E., Artemchuk V., Popov O. Simulating Systems for Advanced Training and Professional Development of Energy Specialists in Power Sector. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2732. P. 693-708.

53. Haites, E., & Wang, X. (2009). Ensuring the environmental effectiveness of linked emissions trading schemes over time. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(5), 465-476.

54. Hanssen, O. J., Rukke, E. -, Saugen, B., Kolstad, J., Hafrom, P., Von Krogh, L., . . . Wigum, K. S. (2007). The environmental effectiveness of the beverage sector in norway in a factor 10 perspective. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(4), 257-265. doi:10.1065/lca2007.05.329

55. Hof, A., Elzen, M. D., & Van Vuuren, D. (2014). Environmental effectiveness and economic consequences of fragmented versus universal regimes: What can we learn from model studies? *Global climate governance beyond 2012: Architecture, agency and adaptation*. pp. 35-59.

56. Honicky, R. J., Brewer, E. A., Paulos, E., & White, R. M. (2008). N-SMARTS: Networked suite of mobile atmospheric real-time sensors. *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2008 Conference on Computer Communications -2nd ACM SIGCOMM Workshop on Networked Systems for Developing Regions*, NSDR'08, 25-29. doi:10.1145/1397705.1397713

57. Huai-Lei Fu. APS: Distributed air pollution sensing system on Wireless Sensor and Robot Networks. *Computer Communications* 35 (2012). p. 1141–1150.

58. Iatsyshyn Andrii, Iatsyshyn Anna, Artemchuk V., Kameneva I., Kovach V., Popov O. Software tools for tasks of sustainable development of environmental problems: peculiarities of programming and implementation in the specialists' preparation. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202016601001.

59. Iatsyshyn Anna V., Kovach V.O., Romanenko Ye.O., Deinega I.I., Iatsyshyn Andrii V., Popov O.O., Kutsan Yu.G., Artemchuk V.O., Burov O.Yu., Lytvynova S.H. Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of new

technological era. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2547. P.181–200. <http://ceur-ws.org/Vol-2547/paper14.pdf>.

60. Iatsyshyn A., Artemchuk V., Zaporozhets A., Popov O., Kovach V. Mathematical Approaches for Determining the Level of Impact of Ash-Slag Dumps of Energy Facilities on the Environment. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. P. 1-13. doi: 10.1007/978-3-030-48583-2_1

61. Jane K. Hart. Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science. *Earth-Science Reviews* 78. 2006, pp. 177–191.

62. Jen-Hao Liu. Developed Urban Air Quality Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks. *2011 Fifth International Conference on Sensing Technology*. – pp. 549-554.

63. Jiang, J., Wan, J., Zheng, X., Chen, C., Lee, C., Su, L., & Huang, W. (2018). A novel weather information-based optimization algorithm for thermal sensor placement in smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(2), 911-922. doi:10.1109/TSG.2016.2571220

64. Jorge Alcántara, Silvia Medina. Quintana The use of Educational Itineraries (GIS) in Environmental Education. *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*. 2019. Vol. 37-2. P. 173-188. doi:10.5565/rev/ensciencias.2258.

65. Jung-Hun Woo. AirScope: A Micro-scale Urban Air Quality Management System. *ICA3PP 2010, Part I, LNCS 6081*, pp. 520–527.

66. Khrustalev, B., Smolich, N., & Malakhov, A. (2019). Indicators of estimation of environmental effectiveness activities of the enterprise. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(9) doi:10.1088/1757-899X/471/9/092005

67. Kim J. Networked sensing in support of real-time parameter estimation. *European Geological Society-American Geophysical Union-European Union of Geosciences Joint Assembly*, 2003, April 6-11.

68. Kim M., Youn S.M., Shin S.H., Jang J.G., Han S.H., Hyun M.S. Practical field application of a novel BOD monitoring System. *Journal of Environmental Monitoring* 5 (4), pp. 640-643.

69. Koronchevska O. Forest management decision making ecological efficiency valuation. URL: <http://foa58r.webwavecms.com/lib/foa58r/9Koronczewska-j9q9l7qp.pdf>
70. Lancia, G., Rinaldi, F., & Serafini, P. (2018). A facility location model for air pollution detection. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018 doi:10.1155/2018/1683249
71. Lankoski, J., & Ollikainen, M. (1999). The environmental effectiveness of alternative agri-environmental policy reforms: Theoretical and empirical analysis. *Agricultural and Food Science in Finland*, 8(4-5), 321-331. doi:10.23986/afsci.5633
72. Larsen, M. L., & Vormedal, I. (2021). The environmental effectiveness of sea lice regulation: Compliance and consequences for farmed and wild salmon. *Aquaculture*, 532 doi:10.1016/j.aquaculture.2020.736000
73. Leitold, D., Vathy-Fogarassy, A., & Abonyi, J. (2018). Network distance-based simulated annealing and fuzzy clustering for sensor placement ensuring observability and minimal relative degree. *Sensors (Switzerland)*, 18(9) doi:10.3390/s18093096
74. Leitold, D., Vathy-Fogarassy, Á., & Abonyi, J. (2020). Reduction of relative degree by optimal control and sensor placement doi:10.1007/978-3-030-36472-4_3
75. Li, Y., Sun, B., Wang, Z., & Ren, Y. (2017). Ontology-based environmental effectiveness knowledge application system for optimal reliability design. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 17(1) doi:10.1115/1.4034129
76. Lo Re, G., Peri, D., & Vassallo, S. D. (2014). Urban air quality monitoring using vehicular sensor networks doi:10.1007/978-3-319-03992-3_22
77. Maevsky O., Artemchuk V., Brodsky Y., Makarenko L., Shpylovyi Y. A Conceptual Approach to the Development of Software Tools for the Analysis and Synthesis of Geophysical Monitoring Systems Models. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. Vol. 346. P. 333–345. doi: 10.1007/978-3-030-69189-9_20.

78. Manomaivibool, P. (2008). Network management and environmental effectiveness: The management of end-of-life vehicles in the united kingdom and in sweden. *Journal of Cleaner Production*, 16(18), 2006-2017. doi:10.1016/j.jclepro.2008.01.013
79. Markovska, N., Todorovski, M., Bosevski, T., & Pop-Jordanov, J. (2008). Cost and environmental effectiveness of the climate change mitigation measures doi:10.1007/978-1-4020-8494-2_5
80. Masood T., Egger J. Adopting augmented reality in the age of industrial digitalisation. *Computers in Industry*. 2020. Vol. 115. 103112. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.07.002>.
81. McKercher, G. R., Salmond, J. A., & Vanos, J. K. (2017). Characteristics and applications of small, portable gaseous air pollution monitors. *Environmental Pollution*, 223, 102-110. doi:10.1016/j.envpol.2016.12.045
82. Merkohasanaj, M., Rodríguez-Rodríguez, D., García-Martínez, M. C., Vargas-Yáñez, M., Guillén, J., & Abdul Malak, D. (2019). Assessing the environmental effectiveness of the spanish marine reserve network using remote sensing. *Ecological Indicators*, 107 doi:10.1016/j.ecolind.2019.105583
83. Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactionson Information Systems*. 1994. Vol. E77-D(12). P. 1321–1329.
84. Mishima, N., Kondoh, S., Masui, K., Yasuoka, M., Hotta, Y., & Watari, K. (2009). A study on evaluation of environmental effectiveness of manufacturing processes. *Global Perspective for Competitive Enterprise, Economy and Ecology - Proceedings of the 16th ISPE International Conference on Concurrent Engineering*, 223-231. doi:10.1007/978-1-84882-762-2_21
85. Mocali, S., Landi, S., Fabiani, A., Piccolo, R., Agnelli, A., D'Errico, G., . . . Corti, C. (2015). Environmental effectiveness of GAEC cross-compliance standard 4.2 on biodiversity in set-aside management and economic evaluation of the competitiveness gap for farmers, part I. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.711
86. Musacchio, A., Re, V., Mas-Pla, J., & Sacchi, E. (2020). EU nitrates

directive, from theory to practice: Environmental effectiveness and influence of regional governance on its performance. *Ambio*, 49(2), 504-516. doi:10.1007/s13280-019-01197-8

87. Nochvay V., Kryvakovska R., Ishchuk O. Use of GIS in the problems of air quality management. *Electronics and information technologies*. 2012. Issue 2. P. 154–163.

88. Novikov, A. D., Stoyanova, M. V., & Borodulin, A. S. (2020). Environmental effectiveness assessment of the technology for molding products made of polymer composite materials using a reusable flexible punch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 934(1) doi:10.1088/1757-899X/934/1/012069

89. O'Donnell, J., Morrissey, E., Keane, M., Gallachóir, B. O., & Bazjanac, V. (2005). Reducing building operational cost through environmental effectiveness ratios. *IBPSA 2005 - International Building Performance Simulation Association 2005*, 883-890.

90. Okereke, C., & Stacewicz, I. (2018). Stakeholder perceptions of the environmental effectiveness of multi-stakeholder initiatives: Evidence from the palm oil, soy, cotton, and timber programs. *Society and Natural Resources*, 31(11), 1302-1318. doi:10.1080/08941920.2018.1482037

91. Partheeban, P., Prasad Raju, H., Rani Hemamalini, R., & Shanthini, B. (2020). Real-time vehicular air quality monitoring using sensing technology for Chennai doi:10.1007/978-981-32-9042-6_2

92. Patent Abstracts of Japan. URL: <https://www.jpo.go.jp/e/>.

93. Pavani, M., & Rao, P. (2017). Urban air pollution monitoring using wireless sensor networks: A comprehensive review. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 9(3), 439-449.

94. Popov O. Mathematical tools to assess soil contamination by deposition of technogenic emissions. *Soil Science Working for a Living*. – Cham : Springer, 2017. – P. 127–137.

95. Popov O., Iatsyshyn Anna, Molitor N., Iatsyshyn Andrii, Romanenko

Y., Deinega I., Sharov P., Mnayarji G. Human factor in emergency occurrence at NPP during the pandemic COVID-19: new potential risks and recommendations to minimize them. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 280, 09013. doi:10.1051/e3sconf/202128009013.

96. Popov O.O., Iatsyshyn A.V., Iatsyshyn A.V., Kovach V.O., Artemchuk V.O., Gurieiev V.O., Kutsan Y.G., Zinovieva I.S., Alieksieieva O.V., Kovalenko V.V., Kiv A.E. Immersive technology for training and professional development of nuclear power plants personnel. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 2898. P. 230–254. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper13.pdf>.

97. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V. et al. Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*. 2020. Vol. 10(25). 200303. doi: 10.5696/2156-9614-10.25.200303

98. Quandt M., Knoke B., Gorltd C., Freitag M., Thoben K.-D. General Requirements for Industrial Augmented Reality Applications. *Procedia CIRP*. 2018. Vol. 72. P. 1130–1135. doi:10.1016/j.procir.2018.03.061.

99. Rahbari, H. R., & Arabkoohsar, A. (2021). A thorough investigation of the impacts of trigeneration-CAES off-design operation on its thermodynamics, economic and environmental effectiveness. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 44 doi:10.1016/j.seta.2021.101024

100. Raja Vara Prasad Y. Real time wireless air pollution monitoring system. *Ictact Journal On Communication Technology: Special Issue On Next Generation Wireless Networks And Applications*, June 2011, Volume – 2, Issue – 2. pp. 370-375.

101. Rogulski, M., & Badyda, A. (2019). Current trends in network based air quality monitoring systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 214(1) doi:10.1088/1755-1315/214/1/012085

102. Rubin Y., Cuchey M.A., Bellin A. Modeling of transport in groundwater for environmental risk assessment. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*. 1994. Vol.8, №1. P. 57–77.

103. Salis, M., Sepe, L., Francaviglia, R., Fedrizzi, M., Bazzoffi, P., Claps, S., . . . Carroni, A. M. (2015). Environmental effectiveness of GAEC cross-compliance standard 4.1 (b, c) 'protection of permanent pasture land' and economic evaluation of the competitiveness gap for farmers. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.714
104. Saukh, O., Hasenfratz, D., & Thiele, L. (2014). Route selection for mobile sensor nodes on public transport networks. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 5(3), 307-321. doi:10.1007/s12652-012-0170-7
105. Saukh, O., Hasenfratz, D., Noori, A., Ulrich, T., & Thiele, L. (2012). Route selection for mobile sensors with checkpointing constraints. *2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PERCOM Workshops 2012*, 266-271. doi:10.1109/PerComW.2012.6197492
106. Schlyter, P., Stjernquist, I., & Bäckstrand, K. (2009). Not seeing the forest for the trees? the environmental effectiveness of forest certification in sweden. *Forest Policy and Economics*, 11(5-6), 375-382. doi:10.1016/j.forpol.2008.11.005
107. Sepe, L., Salis, M., Francaviglia, R., Fedrizzi, M., Carroni, A. M., Sabia, E., . . . Claps, S. (2015). Environmental effectiveness of the cross compliance standard 4.6 'minimum livestock stocking rates and/or appropriate regimens'. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.715
108. Shakil M.H., Munim Z.H., Tasnia M., Sarowar S. COVID-19 and the environment: A critical review and research agenda. *Sci Total Environ.* 2020. Vol. 745, 141022. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141022.
109. Shirai, Y., Kishino, Y., Naya, F., & Yanagisawa, Y. (2016). Toward on-demand urban air quality monitoring using public vehicles. *2nd International Workshop on Smart, SmartCities 2016*, doi:10.1145/3009912.3009920
110. Simmons, S., Dale, C., Holt, J., Passey, D. G., & Stibich, M. (2018). Environmental effectiveness of pulsed-xenon light in the operating room. *American Journal of Infection Control*, 46(9), 1003-1008.

doi:10.1016/j.ajic.2018.02.027

111. Singla, S., Bansal, D., Misra, A., & Raheja, G. (2018). Towards an integrated framework for air quality monitoring and exposure estimation—a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9) doi:10.1007/s10661-018-6940-8

112. SIPO. URL: <http://english.sipo.gov.cn/>.

113. Song, Y. -, Yao, E. -, Zuo, T., & Lang, Z. -. (2013). Emissions and fuel consumption modeling for evaluating environmental effectiveness of ITS strategies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2013 doi:10.1155/2013/581945

114. Sorko S.R., Brunnhofer M. Potentials of Augmented Reality in Training. *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 31. P. 85–90. doi:10.1016/j.promfg.2019.03.014

115. Sun, B., Li, Y., Feng, Q., & Ren, Y. (2015). Environmental effectiveness ontology based method for enhancing FMECA. *Safety and Reliability of Complex Engineered Systems - Proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2015*, 1725-1732. doi:10.1201/b19094-223

116. T.L. Saaty. The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation (McGraw-Hill, New York, 1980)

117. Taksibi, F., Khajepour, H., & Saboohi, Y. (2020). On the environmental effectiveness analysis of energy policies: A case study of air pollution in the megacity of tehran. *Science of the Total Environment*, 705 doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135824

118. Tan, Y., & Zhang, L. (2020). Computational methodologies for optimal sensor placement in structural health monitoring: A review. *Structural Health Monitoring*, 19(4), 1287-1308. doi:10.1177/1475921719877579

119. Tang, M., Li, X., Zhang, Y., Wu, Y., & Wu, B. (2020). From command-and-control to market-based environmental policies: Optimal transition timing and china's heterogeneous environmental effectiveness. *Economic Modelling*, 90, 1-10. doi:10.1016/j.econmod.2020.04.021

120. Thapar, S., Sharma, S., & Verma, A. (2016). Economic and environmental effectiveness of renewable energy policy instruments: Best practices from india. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 487-498. doi:10.1016/j.rser.2016.08.025
121. Ullo, S., Gallo, M., Palmieri, G., Amenta, P., Russo, M., Romano, G., . . . De Angelis, M. (2018). Application of wireless sensor networks to environmental monitoring for sustainable mobility. *2018 IEEE International Conference on Environmental Engineering*, 1-7. doi:10.1109/EE1.2018.8385263
122. USPTO. URL: <http://appft.uspto.gov/netahtml/PTO/search-bool.html>.
123. Vallés-Giménez, J., & Zárata-Marco, A. (2020). A dynamic spatial panel of subnational GHG emissions: Environmental effectiveness of emissions taxes in spanish regions. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7) doi:10.3390/su12072872
124. Ventrella, D., Virzì, N., Intrigliolo, F., Palumbo, M., Cambrea, M., Platania, A., . . . Bazzoffi, P. (2015). Environmental effectiveness of GAEC cross-compliance standard 2.1 ‘Maintaining the level of soil organic matter through management of stubble and crop residues’ and economic evaluation of the competitiveness gap for farmers. *Italian Journal of Agronomy*, 10 doi:10.4081/ija.2015.10.s1.697
125. Vizzari, M., & Modica, G. (2013). Environmental effectiveness of swine sewage management: A multicriteria ahp-based model for a reliable quick assessment. *Environmental Management*, 52(4), 1023-1039. doi:10.1007/s00267-013-0149-y
126. Von Thaden, J., Manson, R. H., Congalton, R. G., López-Barrera, F., & Jones, K. W. (2021). Evaluating the environmental effectiveness of payments for hydrological services in veracruz, méxico: A landscape approach. *Land use Policy*, 100 doi:10.1016/j.landusepol.2020.105055
127. Wang S., Liu Y., Padmanabhan A. Open cyberGIS software for geospatial research and education in the big data era. *SoftwareX*. 2015. № 5. P. 1–5. doi:10.1016/j.softx.2015.10.003.

128. Winick E. NASA is using HoloLens AR headsets to build its new spacecraft faster. 2018. URL: <https://www.technologyreview.com/s/612247/nasa-is-using-hololens-ar-headsets-to-buildits-new-spacecraft-faster>.
129. WIPO. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/search.jsf>.
130. Wolt, J. D. (2004). A meta-evaluation of nitrapyrin agronomic and environmental effectiveness with emphasis on corn production in the midwestern USA. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 69(1), 23-41. doi:10.1023/B:FRES.0000025287.52565.99
131. Wong, M. S., Wang, T., Ho, H. C., Kwok, C. Y. T., Lu, K., & Abbas, S. (2018). Towards a smart city: Development and application of an improved integrated environmental monitoring system. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3) doi:10.3390/su10030623
132. Wu, T. -, Liang, C. -, & Lin, K. -. (2020). Environmental effectiveness of tax compliance policy in the presence of labor unions. *International Journal of Economic Theory*, doi:10.1111/ijet.12256
133. Yang, C., Zheng, W., & Zhang, X. (2019). Optimal sensor placement for spatial lattice structure based on three-dimensional redundancy elimination model. *Applied Mathematical Modelling*, 66, 576-591. doi:10.1016/j.apm.2018.09.034
134. Yi, W. -, Leung, K. -, & Leung, Y. (2018). A modular plug-and-play sensor system for urban air pollution monitoring: Design, implementation and evaluation. *Sensors (Switzerland)*, 18(1) doi:10.3390/s18010007
135. Yin, Y., Tonekaboni, N. H., Grundstein, A., Mishra, D. R., Ramaswamy, L., & Dowd, J. (2020). Urban ambient air temperature estimation using hyperlocal data from smart vehicle-borne sensors. *Computers, Environment and Urban Systems*, 84 doi:10.1016/j.compenvurbsys.2020.101538
136. Zinovieva I.S., Artemchuk V.O, Iatsyshyn A.V. The use of open geoinformation systems in computer science education. *Information Technologies and Learning Tools*. 2018. № 68(6). P. 87-99. doi:10.33407/itlt.v68i6.2567.
137. Zinovieva I.S., Artemchuk V.O., et al. The use of MOOCs as additional

tools for teaching NoSQL in blended and distance learning mode. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1946. 012011. doi:10.1088/1742-6596/1946/1/012011.

138. Абрамов И.Б. Оценка воздействия на подземные воды промышленно-городских агломераций. Харьков, 2007. 285 с.

139. Азиз Х., Сеттари Э. Математическая моделирование пластовых систем. Москва, 1982. 407 с.

140. Актуальні питання забруднення атмосферного повітря. URL: <https://www.dei.gov.ua/posts/1563>.

141. Аль-Хамдани Ашраф Салех Али Критерии и система показателей эффективности управления предприятием. *Известия Санкт-Петербургской Лесотехнической Академии*. – 2012. – №198. – С. 272-280.

142. Андрійчук В.Г. Ефективність діяльності аграрних підприємств: теорія, методика, практика, аналіз: монографія. – Київ: КНЕУ, 2005. – 292 с.

143. Артемчук В.О. Математичні та комп'ютерні засоби для вирішення задачі розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря : дис ... канд. тех. наук : 01.05.02. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. Київ, 2011.

144. Артемчук В.А., Каменева И.П., Яцишин А.В. Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий. *Электронное моделирование*. 2016. № 2. С. 49-66.

145. Артемчук В.А., Каменева И.П., Яцишин А.В. Специфика применения когнитивного анализа информации в задачах обеспечения экологической безопасности. *Электронное моделирование*. 2017. № 6. С. 107–124.

146. Артемчук В.О. Використання GPS-орієнтованих сервісів при оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 68. С. 26–30.

147. Артемчук В.О. Класифікація задач оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 67. С. 10–15.
148. Артемчук В.О. Оптимізація мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 27–35.
149. Артемчук В.О. Перспективи використання безпроводних сенсорних мереж. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 68. С. 48–56.
150. Артемчук В.О. Аналіз архітектур систем моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 66. С. 3–9.
151. Артемчук В.О. Врахування характеристик сенсорів в задачі оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 65. С. 11–15.
152. Артемчук В.О. Дослідження існуючих безпроводних сенсорних мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 65. С. 3–9.
153. Артемчук В.О. Основні проблеми оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 64. С. 7–11.
154. Артемчук В.О. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 69. С. 34–39.
155. Артемчук В.О., Білан Т.Р., Блінов І.В. та ін. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики: монографія / за ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан. Київ: ТОВ «Наш формат», 2017. 312 с.

156. Артемчук В.О., Каменева І.П., Кириленко Ю.О., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Рідкі радіоактивні середовища як потенційні джерела викиду. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 16–22 берез. 2020 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2020. С. 134–137.

157. Артемчук В.О., Каменева І.П., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Математичні та програмні засоби вирішення задач моніторингу атмосферного повітря техногенно-навантажених територій : монографія. Київ : ФОП Ямчинський, 2018. 116 с.

158. Артемчук В.О., Каменева І.П., Попов О.О., Яцишин А.В. Інформаційні системи та програмні засоби в галузі екологічної безпеки атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 86. С. 20-28.

159. Артемчук В.О., Каменева І.П., Яцишин А.В., Яцишин Т.М. Методичні та інформаційні засоби аналізу екологічних ризиків на основі даних моніторингу. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 83. С. 48–62.

160. Артемчук В.О., Яцишин А.В. Інтелектуальний аналіз даних в системі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 82. С. 48–52.

161. Артемчук В.О., Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О., Яцишин Т.М. Перспективи розробки математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 85. С. 75-80.

162. Бабін М.Є., Дубовський С.В., Коберник В.С., Рейсіг В.А. Емісія оксидів азоту в теплоенергетичних установках. *Проблеми загальної енергетики*. 2008. № 17. С. 46-49.

163. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М.

Подземная гидромеханика. Москва, 2006. 488 с.

164. Биркгоф Г. Гидродинамика. Москва: Издательство иностранной литературы, 1963. 246 с.

165. Бобошко В.И. Методологические основы оценки затрат и выгод при реализации природоохранных мероприятий. *Проблема теории и практики управления*. – 2009. – №2. – С. 43–53.

166. Бойко В.А. Економіко-екологічна ефективність використання земельних ресурсів 2018. URL: <http://dspace.tneu.edu.ua/bitstream/316497/32404/1/%D0%91%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%BE.pdf>.

167. Бойко Т.В., Абрамова А.О., Запорожець Ю.А. Математичне моделювання міграції забруднюючих речовин у ґрунтах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 6(4). С. 14-16.

168. Бойко Т.В., Запорожець Ю.А. Моделирование массопереноса загрязняющих веществ в почвенном слое. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 1/3(21). С. 8–11.

169. Будзяк О.М. Наукові основи регіонального сільськогосподарського землекористування (на прикладі Львівської області): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук : спец. 08.08.01 «Економіка природокористування і охорони навколишнього середовища» / Будзяк Ольга Степанівна. – К., 2002. – 19 с.

170. Бэр Я., Заславский Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. Москва, 1971. 451 с.

171. Варламов А.А. Управление земельными ресурсами : учебник / А.А. Варламов. – М. : ГУЗ, 2003. – 781 с.

172. Вдовченко В.С., Мартынова М.И., Новицкий Н.В., Юшина Г.Д. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, мазут и горючий природный газ): Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 184 с.

173. Веригин Н.Н., Васильев С.В., Куранов Н.П. и др. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. Москва, 1979. 336 с.

174. Веригин Н.Н., Шержуков Б.С. К методике расчета растворения и

выноса солей в основаниях гидротехнических сооружений. *ВНИИГ*. 1970. Вып.48. С.263–277.

175. Використання системи RODOS: українці поділилися досвідом з європейськими колегами. URL: <http://www.sstc.com.ua>

176. Виртуальная реальность в промышленной автоматизации. URL: <http://ua.automation.com/content/virtualnaja-realnost-v-promyshlennoj-avtomatizacii>

177. Водний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>.

178. Вольчин І.А., Гапонич Л.С. Розрахунок параметрів димових газів вугільних теплових електростанцій на основі характеристик твердого палива. *Енерготехнологии и ресурсосбережение*. 2016. № 1. С. 49-56.

179. Воркут Т.А. Проектний аналіз: навчальний посібник / Т.А. Воркут. – К.: Український Центр духовної культури, 2000. – 440 с.

180. Газуда М.В. Алгоритм оцінки ефективності механізму управління відновлюваними природними ресурсами у сільському господарстві. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки*. – 2014. – №7(1). – С.176-179.

181. Галузева методика розрахунку шкідливих викидів, які надходять від теплогенеруючих установок комунальної теплоенергетики України. Наказ Мінбуду України 16.03.2006 № 67.

182. Галушкіна Т.П. Экономические инструменты экологического менеджмента (теория и практика). – Одесса: Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины, 2000. – 280 с.

183. Гальчинський А.С. Основи економічних знань: Навч. посіб. – 2-ге вид., перероб. і допов. – К.: Вища школа, 2002. – 543 с.

184. ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок». Методика визначення. Київ, 2002 р.

185. Голик В.Р. Економічна ефективність деревообробної діяльності: аналітичні аспекти. URL: http://economyandsociety.in.ua/journal/18_ukr/123.pdf

186. Гончарук А.Г. Формування механізму управління ефективністю підприємства (на прикладі харчової промисловості): дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.04 / Гончарук Анатолій Григорович. Одеса, 2010. – 474 с.
187. Гордієнко В.П. Еколого-економічна ефективність природного потенціалу земельних ресурсів. 2011. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/57269/5/gordienko.pdf>
188. Гусев Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп.– М. : Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
189. Данилов В.Л, Кац Р.М. Гидродинамические расчеты взаимного вытеснения жидкостей в пористой среде. Москва, 1980. 264 с.
190. Данчук І. Документування найкращих практик застосування біоенергетичних технологій в муніципальному секторі в Україні, 2015. 157 с.
191. Даценко Л. Розширення геоінформаційної складової освітніх програм картографів КНУ імені Тараса Шевченка. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2017. №. 25. С. 20-23.
192. Делицын Л.М., Ежова Н.Н., Власов А.С. Золоотвалы твердотопливных тепловых электростанций как угроза экологической безопасности. *Экология промышленного производства*. 2012. № 4. С. 15-26.
193. Деренговський В.В., Носовський А.В. Удосконалений метод багатокритеріального аналізу екологічної безпеки об'єктів із радіаційно-ядерними технологіями. *Ядерна фізика та енергетика*. - 2018. - Т. 19, № 2. - С. 166-172
194. Деякі інституціональні аспекти земельних відносин в Україні: стан та напрямки вдосконалення – К., 2002. – 134 с.
195. Деякі питання документування управлінської діяльності // Постанова Кабінету Міністрів України від 17.01.2018 № 55. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-2018-%D0%BF>.
196. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Постанова КМУ від 14.08.2019 № 827. – 2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF>.

197. Директива Ради 2013/59/Євратом від 5 грудня 2013 року про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання, і скасування директив 89/618/Євратом, 90/641/Євратом, 96/29/Євратом, 97/43/Євратом і 2003/122/Євратом. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_006-13.

198. Дмитриев А.В. Цифровизация транспортно-логистических услуг на основе применения технологии дополненной реальности. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*. 2018. № 12(2). С. 169-178.

199. Дмитрієва О. Збалансована система показників у стратегічному управлінні підприємствами в Україні та Угорщині. *Вісник Київського національного торговельно-економічного університету*. 2007. №2. С. 21-28.

200. Дорогунцов С.І. Удосконалення управління природокористуванням в АПК – К.: Урожай, 1992. – 124 с.

201. ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування».

202. ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови».

203. Дунаєвська Н.І., Чернявський М.В. Вугільна енергетика: загрози та перспективи. Презентація на II Міжнародній конференції «*Тенденції та перспективи видобутку, використання вугілля в Україні та світі*», 12 квітня 2018 року, м. Дніпро.

204. ЕАПВ. URL: <http://www.eapatis.com/>.

205. Екологічна безпека та природоохоронні заходи на Ладизинській ТЕС. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/12195>.

206. Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС. Упорядник: «Український Пелетний Союз». URL: [http://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20\(1\).pdf](http://saee.gov.ua/documents/Posibnik_for-web-UUP-2014%20(1).pdf).

207. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Кн. 5 :

Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовської, В. А. Жовтянський; Наук. ред. В. Н. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. – 2013. – 390 с.

208. Жежнич П.І., Осика, В.О. Функціональні та структурні вимоги до побудови сучасних географічних інформаційних систем. *Інформаційні системи та мережі*. 2011. № 715. С. 104-113.

209. Завадський Й.С. Підручник для студ. екон. спец. вищ. навч. закл.: У 2 томах. Т. 2 / Й.С. Завадський – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2003 — 640 с.

210. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707–ХІІ

211. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 р.

212. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» від 20.03.2018 р.

213. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том І. Донецьк: УкрНТЕК, 2004. 187 с.

214. Звіт. «Дослідження та гігієнічна оцінка впливу господарської діяльності Трипільської ТЕС, що входить до складу ПАТ «Центренерго», на забруднення навколишнього природного середовища та умов проживання населення територій Обухівського району Київської області. Київ. 2016. 38 с.

215. Земельний кодекс України від 25.10.2001 № 2768-ІІІ.

216. Иванов Б.Н. Мир физической гидродинамики: От проблем турбулентности до физики космоса. Москва: Едиториал УРСС, 2010. 240 с.

217. Iatsyshyn Andrii, Iatsyshyn Anna, Kovach V., Zinovieva I., Artemchuk V. et al. Application of Open and Specialized Geoinformation Systems for Computer Modelling Studying by Students and PhD Students. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2732. P. 893-908.

218. КАДО – Комплекс оперативного аналізу дозиметричного стану в районі розташування АЕС при аварійних ситуаціях. URL:

<https://rpi.kiev.ua/results/software/kado/>

219. Как VR-технологию используют в энергетике. URL: <https://cutt.ly/KgpPPOy>.

220. Какарека С.В., Хомич В.С. и др. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 1998. 156 с.

221. Каменева И.П., Яцишин А.В., Артемчук В.А. Компьютерные средства оценивания экологических рисков с использованием структурного анализа данных мониторинга. *Электронное моделирование*. 2013. № 6. С. 99–114.

222. Каменева І.П., Артемчук В.О., Яцишин А.В. Адаптація програмних засобів аналізу даних до задач дослідження стійкості територіальних систем. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 70. С. 3–10.

223. Каменева І.П., Артемчук В.О., Яцишин А.В. Візуальні засоби моніторингу динаміки техногенних навантажень на приземне повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 71. С. 3–8.

224. Каменева І.П., Артемчук В.О., Яцишин А.В. Імовірнісна модель когнітивного аналізу даних моніторингу в задачах екологічної безпеки. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 11. С. 57–66.

225. Каменева І.П., Артемчук В.О., Яцишин А.В. Побудова шкал для дослідження динаміки техногенних навантажень на атмосферне повітря міста. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 67. С. 11–17.

226. Каменева І.П., Артемчук В.О., Яцишин А.В. Алгоритмічні засоби побудови гібридної інтелектуальної системи в галузі екологічної безпеки. *Моделювання та інформаційні технології*. 2016. Вип. 76. С. 60–69.

227. Качанда Т.М. Вплив еколого-економічних аспектів на ефективність діяльності аграрного виробництва. URL:

<http://krs.chmnu.edu.ua/bitstream/123456789/90/1/%d0%9a%d0%b0%d1%87%d0%b0%d0%bd%d0%b4%d0%b0.pdf>

228. Кириленко Ю.О., Каменева І.П., Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О., Ковач В.О. Аналіз засобів моделювання наслідків радіаційних аварій та інцидентів з розливом рідких радіоактивних середовищ. *Електронне моделювання*. 2020. № 4. С. 31–48.

229. Ковач В.О., Артемчук В.О., Куценко В.О. Сучасні методи аналізу ризиків в задачах управління екологічною безпекою на техногенно забруднених територіях. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 10. С. 56–64.

230. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI.

231. Коджебаш А.П. Ефективність транспортно-логістичної системи управління відходами в контексті розвитку циркулярної економіки. *Вісник соціально-економічних досліджень : зб. наук. праць*. Одеса : Одеський національний економічний університет, 2019. – № 1 (69) – С. 97–106.

232. Коллинз Р. Течение жидкостей через пористые материалы. Москва, 1964. 350 с.

233. Колыхаева Ю.А. Эффективность функционирования системы теплоснабжения: понятие, виды и критерии. *Альманах современной науки и образования*. – Тамбов: Грамота, 2012. – №1 (56) – с. 143-145.

234. Комонов С.В., Комонова Е.Н. Ветровая эрозия и пылеподавление. Курс лекций. Красноярск: Изд. СФУ. 2008. 192 с.

235. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська Конвенція) від 25.06.1998.

236. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 р. № 932-р).

237. Концепція створення Загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України

від 7 листопада 2018 р. № 825-р).

238. Конюхов В.М., Храмченков М.Г., Чекалин А.Н. Фильтрационнодиффузионная модель миграции рассолов в неоднородных водоносных пластах. *Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа*. 2004. Т.2. С. 140–151.

239. Коренюк П. І. Еколого-економічна ефективність використання земельних ресурсів зони лісостепу України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук : спец. 08.08.01 «Економіка природокористування і охорони навколишнього середовища» – К., 1998. – 15 с.

240. Кочерга М.М. Ефективність екологічного менеджменту в сільському господарстві. *Агросвіт*. – 2013. – №6. – С. 29-33.

241. Краєвський О.О. Еколого-економічна ефективність використання гранульованих азотних добрив з органічними домішками. *Вісник Сумського державного університету. Сер. : Економіка*. – 2013 – № 2. – С. 20 –23.

242. Криваковская Р.В., Артемчук В.А. Исследование влияния погрешностей отдельных факторов на погрешность моделирования распространения примесей в приземном слое атмосферы. *Электронное моделирование*. 2013. № 3. С. 49–63.

243. Крижанівський Є.І., Кошлак Г.В. Екологічні проблеми енергетики. *Нафтогазова енергетика*. 2016. № 1(25). С. 80-90.

244. Куликова Я.В., Матохина А.В., Щербакова Н.Л. Обзор библиотек компьютерного зрения для проектирования компонентов дополненной реальности в учебном процессе. *Наука вчера, сегодня, завтра*. 2017. № 6. С. 27-32.

245. Куцан Ю.Г., Яцишин А.В., Артемчук В.О. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Сучасна методика визначення. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 80. С. 11-19.

246. Лаврик В.И. Решение задачи массопереноса водорастворимых веществ в случае зависимости коэффициентов конвективной диффузии от

скорости фильтрации. Препринт 81.18. Киев. 1981. С. 3–24.

247. Лаврик В.И., Никифорович Н. А. Вопросы математического моделирования процессов самоочищения подземных и поверхностных вод. *Гидромеханика*. 1994. Вып. 68. С. 36–40.

248. Левченко А.Є., Ігнатенко М.І., Хоботова Е.Б. Забруднення важкими металами ґрунтів поблизу теплових електростанцій. URL: <http://en.iee.kpi.ua/files/2013/%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%853.pdf>.

249. Лега Ю.Г., Мислюк О.О., Корнелюк Н.М., Шляхи покращення очищення димових газів теплоелектростанцій. *Екологічна безпека*, 2008, №1(1), С.42-50.

250. Лешко К.В., Рикова Л.Л. Формування професійно-пізнавальної активності майбутніх педагогів з використанням засобів доповненої реальності. *Новітні комп'ютерні технології спецвипуск «Хмарні технології навчання»*. 2019. Т. XVII. С. 76-81.

251. Лисиченко Г.В., Попов О.О., Яцишин А.В., Артемчук В.О. Розробка комп'ютерної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря в зонах впливу техногенних об'єктів. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи»* (м. Львів, 4-6 листопада 2015 р.). – Львів : ЛДУБЖД, 2015. – С. 211-214.

252. Лисиченко Г.В., Яцишин А.В. Інформаційне забезпечення задач екологічного моніторингу приземного шару атмосфери. *Збірник наукових праць Українського науково-дослідного інституту екологічних проблем*. — Х. : Райдер, 2011. – Т. 2. – С. 120–124.

253. Лист Виконавчого органу з Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані ЕВ.AIR/WG.5/2002/6 від 04 липня 2002 р. «Боротьба з викидами ртуті з котлоагрегатів підприємств, які працюють на вугіллі».

254. Лісовий кодекс України від 21.01.1994 № 3852-XII.

255. Лозовська Н.М. Дослідження ефективності діяльності підприємств харчової промисловості (на прикладі Вінницької області). *СХІДНА ЄВРОПА: ЕКОНОМІКА, БІЗНЕС ТА УПРАВЛІННЯ*. – 2018. – № 1(12). – С. 190-196.

256. М'якаєва Г.М. Моделювання техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу : дис. ... канд. тех. наук : 21.06.01. Сумський державний університет. Суми, 2018. 200 с.

257. Майстренко С.Я., Беспалов В.П., Хурцилава К.В., Загребя Т.О. Прототипна версія системи «Повітря», Керівництво Користувача. DOI:10.13140/RG.2.2.16982.50249

258. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды – М. : Наука, 1982. – 320 с.

259. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. Москва, 1937. Пер. с англ.; Москва, 1949. 628 с.

260. Методика розрахунку рівня економічної безпеки, затверджена Наказом Міністерства економічного розвитку та торгівлі України № 1277 від 29.10.2013

261. Мишенин Е.В. Организационно-экономический механизм экологизации аграрной сферы. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Економіка і менеджмент*. – Суми, 2002. – Вип. 1/2. – С. 77 – 81.

262. Міндовкілля підготувало рейтинг «ТОП-100 найбільших підприємств-забруднювачів» за 2019 рік. URL: <https://mepr.gov.ua/news/37063.html>

263. Модельний закон про гідрометеорологічну діяльність від 08.06.1997. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997_a36.

264. Модельний закон про енергозбереження від 08.12.1998. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997_a28.

265. Модельний закон про охорону атмосферного повітря від 08.12.1998. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997_a30.

266. Модельний закон про оцінку впливу на навколишнє середовище від 28.10.2010. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997_n19.

267. На Трипільській ТЕС розпочато пусконаладжувальні роботи першої в Україні установки сіркоочистки димових газів. URL: <https://kiep.co/uk/news/na-tripilskii-tes-rozpocato-puskonalagodzuvalni-roboti-perso-i-v-ukraini-ustanovki-sirkoocistki>

268. Наказ Держкомстату «Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від використання палива на побутові потреби в домогосподарствах» від 22.04.2011 № 98.

269. Наказ Мінекоресурсів України «Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на державний облік об'єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря» від 10.05.2002 № 177.

270. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80>.

271. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок. Розпорядження КМУ від 8 листопада 2017 року № 796-р.

272. Неверов А.В. Устойчивое природопользование: сущность, концепция, механизм реализации. – Минск: БГТУ, 2005. – 173 с.

273. Николаевский В.Н. Механика пористых и трещиноватых сред. Москва, 1984. 232 с.

274. Нили Анди. Призма ефективності. Карта сбалансированных показателей для измерения успеха в бизнесе и управления им / Нили Анди, Адамс Крис, Кенерли Майк. – Днепропетровск : Балан Клуб, 2003. – 54 с.

275. Нівен Пол Р. Діагностика збалансованої системи показників: Підтримуючи максимальну ефективність / пер. з англ.; за наук. ред. М. Горського. – Дніпропетровськ : Баланс Бізнес Букс, 2006. – 256с.

276. НОСТРАДАМУС. Компьютерная система прогнозирования и анализа радиационной обстановки на ранней стадии аварии на АЭС. Инструкция пользователя. ИБРАЭ РАН, инв. № 3429, М., 2001.

277. Оголошення комунального підприємства виконавчого органу

Київради (Київської міської державної адміністрації) «Київтеплоенерго» структурного підрозділу «Київські теплові мережі» про намір отримати дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. URL: <https://podil.kyivcity.gov.ua/news/12480.html>

278. Олексів І.Б. Побудова системи збалансованих показників підприємства на основі моделі одночасних рівнянь. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. – 2006. – №12. – С. 132-138.

279. Олійник А.П., Мороз А.А. Математичне моделювання процесів забруднення ґрунтів як результату технологічних процесів. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. 2015. №1/4 (73). С. 4–9.

280. Олійник А.П., Мороз А.А. Обернена задача дифузії при моделюванні поширення шкідливих речовин на об'єктах нафтогазового комплексу. *Вестник ХНТУ*. 2015. № 3(54). С. 422–427

281. Олійник А.П., Штаєр Л.О., Клапоушак О.І. Математичне моделювання фільтраційних процесів в задачах оцінки рівня та якості ґрунтових вод. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2013. №1/4 (61). С. 15–18.

282. Ольве Нильс-Горан Сбалансированная система показателей. Практическое руководство по использованию. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 304 с.

283. Офіційна позиція Kitsoft щодо розробки програмного забезпечення системи «Відкрите довкілля». URL: <https://www.kitsoft.kiev.ua/ofitsijna-pozytsiya-kitsoft-shhodo-rozrobky-programnogo-zabezpechennya-systemy-vidkryte-dovkillya/>.

284. Пампура В.И. Анализ радицепей и их схемной надежности / В.И. Пампура – К. : Техника. – 1967. – 324 с.

285. Патент СА 2863555. URL: <http://patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/patent/2863555/summary.html?query=%28title%3A%28environmental+effectiveness%29+OR+title%3A%28environm>

ental+efficiency%29+OR+title%3A%28environmental+performance%29%29&type=boolean_search.

286. Патент US 20020133302. URL: <http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2Fsearchbool.html&r=40&f=G&l=50&co1=OR&d=PG01&s1=%22environmental+performance%22.TTL.&s2=%22environmental+performance%22.AB.&OS=TTL/%22environmental+performance%22+OR+ABST/%22environmental+performance%22&RS=TTL/%22environmental+performance%22+OR+ABST/%22environmental+performance%22>.

287. Патент US 20070265897. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f0/94/69/8c1fd7c02beceb/US20070265897A1.pdf>.

288. Патент US 20110141117. URL: <http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2Fsearchbool.html&r=6&f=G&l=50&co1=AND&d=PG01&s1=%22environmental+performance%22.TTL.&OS=TTL/%22environmental+performance%22&RS=TTL/%22environmental+performance%22>.

289. Патент US 20150100274. URL: <http://appft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2Fsearchbool.html&r=3&f=G&l=50&co1=AND&d=PG01&s1=%22environmental+performance%22.TTL.&OS=TTL/%22environmental+performance%22&RS=TTL/%22environmental+performance%22>.

290. Патентний пошук. URL: <http://isearch.kiev.ua/uk/searchpractice/searchengines/802-patent-search-sites>.

291. Перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря. URL: <https://menr.gov.ua/content/perelik-programnih-produktiv-v-galuzi-ohoroni-atmosfernogo-povitrya.html>.

292. Перелік програмних продуктів в галузі охорони довкілля. URL: <https://menr.gov.ua/content/perelik-programnih-produktiv-v-galuzi-ohoroni-atmosfernogo-povitrya.html>.

293. Петренко В.С. Еколого-економічна ефективність діяльності спільних аграрних підприємств. *Молодий вчений*. – 2017. № 11. С. 1261–1265.

294. Підвищення ефективності використання, відтворення і охорони земельних ресурсів регіону / [П. П. Борщевський, М. О. Чернюк, В. М. Заремба, О. П. Князько]. – К. : Аграрна наука, 1998. - 240 с.

295. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник / за наук. ред. Г. Гелетуки. Київ: «Поліграф плюс», 2016. 74 с.

296. Повідомлення комісії. Настанови щодо державної допомоги на охорону довкілля і розвиток енергетики на 2014-2020 роки. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_009-14.

297. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население. URL: <http://base1.gostedu.ru/58/58768/#i886681>

298. Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті від 25.11.2005 № 895.

299. Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України. Мінінфраструктури України. Положення від 01.04.2011 № 27.

300. Положення про систему управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті. Мінтранс України. Положення від 20.11.2003 № 904.

301. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. Москва, 1977. 664 с.

302. Попов О., Артемчук В., Куценко В. Математичні та програмні засоби моделювання та аналізу стану атмосферного повітря на техногенно навантажених територіях України. *Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2021*: Збірник матеріалів IX Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, 13-14

травня 2021 року. Київ: НУБіП України, 2021. С. 193-197.

303. Попов О.О. Яцишин А.В., Артемчук В.О. Можливості використання експертних методів та систем для вирішення задач екологічної безпеки в зонах впливу АЕС. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2016. Вип. 25. С. 5–16.

304. Попов О.О. Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О., Куценко В.О. Математичні підходи вирішення задачі визначення раціональних місць розташування стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 88. С. 156–163.

305. Попов О.О., Артемчук В.О. Визначення стійкості геоекосистем регіону досліджень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2015. Вип. 75. С. 9–18.

306. Попов О.О., Артемчук В.О., Краснов Є.Б., Куценко В.О. Проектування та розробка засобів візуалізації для розв'язання задач оцінки впливу нерадіаційних викидів АЕС України на атмосферне повітря та населення прилеглих територій. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 84. С. 55–65.

307. Попов О.О., Артемчук В.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Яцишин Анна В., Туревич А.О., Куценко В.О. Вирішення оптимізаційної задачі розміщення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях України. *Геохімія техногенезу*. 2020. № 4(32)/2020. С. 86–95.

308. Попов О.О., Яцишин А.В., Артемчук В.О. Кількісний аналіз стану довкілля на техногенно забруднених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 3–16.

309. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О. Математичний підхід до визначення ризиків для населення урбанізованих територій від впливу техногенних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 79. С. 49–60.

310. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О. та ін. Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 1. С. 75–80. doi: 10.32918/nrs.2019.1(81).13.

311. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О. та ін. Концептуальні підходи створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. № 3. С. 56–65. doi: 10.32918/nrs.2018.3(79).09.

312. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О. та ін. Фізичні особливості розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за умов надзвичайної ситуації на АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 4. С. 88–98. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).11.

313. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., Артемчук В.О., Куценко В.О. Розроблення математичної моделі забруднення атмосфери за умов довготривалих викидів потенційно-небезпечних джерел. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 89. С. 50-63.

314. Попова О.Ю. Архітектура індикаторів екологічної спрямованості розвитку підприємства. *Механізм регулювання економіки*. – 2010. – №3, Т.3. – С.127–133.

315. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» від 9 березня 1999 р. N 343.

316. Прибилова В.М. Оцінка впливу техногенного навантаження на геологічне середовище та особливості накопичення забруднювачів в зоні розміщення Зміївської ТЕС (Харківська область). *Вісник Харківського національного університету*. 2013. № 1084.С. 237-243.

317. Про акредитацію органів з оцінки відповідності. Закон України від 17.05.2001 № 2407-III.

318. Про вдосконалення нормативно-правових актів з питань управління старінням атомних станцій. Наказ Держатомрегулювання

України від 13.04.2017 № 136.

319. Про державну службу. Закон України від 10.12.2015 № 889-VIII.

320. Про екологічний аудит. Закон України від 24.06.2004 № 1862-IV.

321. Про екологічну мережу України. Закон України від 24.06.2004 № 1864-IV.

322. Про електронні довірчі послуги. Закон України від 05.10.2017 № 2155-VIII.

323. Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки. Закон України від 21.09.2000 № 1989-III.

324. Про затвердження Вимог з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних та керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій. Наказ Держатомрегулювання від 22.07.2015 № 140.

325. Про затвердження вимог у сфері електронних довірчих послуг та Порядку перевірки дотримання вимог законодавства у сфері електронних довірчих послуг. Постанова КМ України від 07.11.2018 № 992.

326. Про затвердження державних санітарних правил "Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України". МОЗ України. Наказ від 02.02.2005 № 54.

327. Про затвердження Державного стандарту соціальної послуги кризового та екстреного втручання. Наказ Мінсоцполітики України від 01.07.2016 № 716.

328. Про затвердження Загальних методичних рекомендацій щодо змісту та порядку складання звітів з оцінки впливу на довкілля. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 березня 2021 року № 193. URL: <https://mepr.gov.ua/documents/3342.html>

329. Про затвердження Загальних положень безпеки атомних станцій. Наказ Держатомрегулювання України від 19.11.2007 № 162.

330. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії. Постанова Нацком.енергетики, ком.послуг від 14.03.2018 № 311.

331. Про затвердження Кодексу системи передачі. Постанова Нацком.енергетики, ком.послуг від 14.03.2018 № 309.

332. Про затвердження Методики проведення органами державної контрольно-ревізійної служби державного фінансового аудиту діяльності суб'єктів господарювання. Наказ Головки КРУ від 04.08.2008 № 300.

333. Про затвердження Методичних вказівок щодо застосування стандартів внутрішнього аудиту в банках України. Постанова Національного банку України від 20.07.1999 № 358.

334. Про затвердження Положення про застосування Державною комісією з регулювання ринків фінансових послуг України заходів впливу. Розпорядження Держфінпослуг від 13.11.2003 № 125.

335. Про затвердження Порядку моніторингу стану розроблення (реалізації) державних інвестиційних проектів. Мінекономрозвитку України. Наказ від 25.10.2016 № 1785.

336. Про затвердження Порядку перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів. Наказ Мінінфраструктури, МВС України від 12.05.2015 № 166/550.

337. Про затвердження Порядку проведення акредитації органів з оцінки відповідності. Наказ Держкомстандартизації від 02.10.2001 № 486.

338. Про затвердження Порядку проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів. Наказ Держатомрегулювання України від 30.11.2010 № 169.

339. Про затвердження Правил обслуговування аеронавігаційною інформацією. Наказ Мінтрансу України від 01.07.2004 № 564.

340. Про затвердження Правил сертифікації суб'єктів, що надають послуги з аеронавігаційного обслуговування. Наказ Мінтрансзв'язку України від 22.01.2007 № 42.

341. Про затвердження Стандарту Рахункової палати "Порядок підготовки і проведення перевірок та оформлення їх результатів". Постанова Колегії Рахункової палати від 27.12.2004 № 28-6.

342. Про затвердження Технічного регламенту з екологічного маркування. Постанова Кабінету Міністрів України від 18.05.2011 № 529.

343. Про затвердження Технічного регламенту щодо встановлення системи для визначення вимог з екодизайну енергоспоживчих продуктів. Постанова Кабінету Міністрів України від 03.10.2018 № 804.

344. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів. Закон України від 23.12.1997 № 771/97-ВР.

345. Про охорону навколишнього природного середовища. Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ.

346. Про оцінку впливу на довкілля. Закон України від 23.05.2017 р.

347. Про підвищення ефективності залучення та використання коштів міжнародних фінансових організацій . Наказ Мінекономіки, європ.інтеграції від 29.12.2004 № 451.

348. Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.07.1998 № 1099.

349. Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні. Закон України від 16.01.2003 № 433-IV.

350. Про стандартизацію' Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII.

351. Про створення та впровадження медико-технологічних документів зі стандартизації медичної допомоги в системі Міністерства охорони здоров'я України. Наказ МОЗ України від 28.09.2012 № 751.

352. Про стратегічну екологічну оцінку Закон України від 20.03.2018 р.

353. Про схвалення Методичних рекомендацій щодо організації процесу формування управлінської звітності в банках України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0324500-07>.

354. Проект. Концепція створення Загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля» URL: <https://menr.gov.ua/projects/125/>.

355. РД 153-34.0-02.106-98 (СО 34.02.106-98) Методика расчётной оценки ветровой эрозии и пыления золошлакоотвала тепловых электростанций. Екатеринбург : ОАО «УралОРГРЭС», 1998. 20 с.

356. Роддатис К.Ф. Котельные установки. Учеб. пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов. М.:Энергия, 1977. 432 с.

357. Розенберг М.Д., Кундин С. А. Многофазная многокомпонентная фильтрация при добыче нефти и газа. Москва, 1976. 335 с.

358. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Концепція створення загальнодержавної автоматизованої системи “Відкрите довкілля”» від 7.11.2018 р. № 825-р.

359. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок» від 08.11.2017 № 796-р.

360. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» від 18.08.2017 № 605-р.

361. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» від 07.12.2016 р. № 932-р.

362. Розпорядження КМУ «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації» від 17.01.2018 № 67-р (Редакція від 17.09.2020).

363. Розпорядження КМУ «Про схвалення Концепції створення загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». Концепція від 07.11.2018 № 825-р.

364. Романюк О.П. Методи економіко-статистичного аналізу : навч. посіб. / О.П. Романюк. – К. : Вид-во УАДУ, 2007. – 214 с.

365. Ромм Е.С. Структурные модели порового пространства горных пород. Ленинград, 1985. 24 с.

366. Роспатент. URL: <https://rupto.ru/ru>.

367. Савкин В.И. Концептуальные основы экологического менеджмента в аграрном секторе экономики: монография / В.И. Савкин. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2011. – 184 с.

368. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 184 с.

369. Свитин В.А. Методы определения и показатели эффективности управления земельными ресурсами в Республике Беларусь: рекомендации / В.А. Свитин. – Минск - Горки: – 2015. –25 с.

370. Сербина Л.И., Вендина А.А. Асимптотический метод решения дробного уравнения миграции загрязнения подземных вод. *Вестник СамГУ. Естественная серия*. 2011. Т.5. С. 104–108.

371. Сергеева А.В. Методическое обеспечение выбора стратегии инновационного предприятия. *Стратегии бизнеса*. 2018. № 6(50). – С. 51-56.

372. Сергиенко И.В. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах. Киев, 1991. С. 27–31.

373. Сигал И.Я., Смихула А.В., Дубоший, А.М., Горбунов А.В. Снижение образования оксидов азота при сжигании природного газа. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2016. №4. С.44-51.

374. Система «Відкрите довкілля» URL: <http://openenvironment.org.ua/air/#>

375. Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14011:2004, IDT): ДСТУ ISO 14001:2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 31 с.

376. Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М., Михайлик В.А. Композиційні палива на основі торфу і рослинної біомаси. К.: Поліграф-Сервіс, 2012. 212 с.

377. Соболева Е.Б. Метод численного исследования динамики соленой воды в почве. *Математическое моделирование*. 2014. Т. 26(№2). С. 50–64.

378. Состав и свойства золы и шлака ТЭС / под редакцией В.А.Мелентьева. Л.,1985.

379. Стандарт вищої освіти для спеціальності 183 – «Технології захисту навколишнього середовища». URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/naukovo-metodychna_rada/proekty_standartiv_VO/183-texnologiyi-zaxistu-navkolishnogo-seredovishha-magistr-.doc

380. Стандарт вищої освіти України другого рівня (ступінь магістра) галузі знань 12 за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки». URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/proekty%20standartiv%20vishcha%20osvita/2020/12/03/122-kompyuterni-nauky-mahistr.docx>

381. Станиціна В.В. Розвиток методу повної енергоємності для визначення показників енергетичної ефективності та потенціалів енергозбереження : автореф. дис. на здобуття ступеня ... канд. техн. наук : спец. 05.14.01. Ін-т загальної енергетики НАН України. – Київ, 2016.

382. Степанов Д.В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 151 с.

383. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. URL: https://menr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf.

384. Стратегія реформування ДП «НЕК «Укренерго». URL: <https://www.slideshare.net/Ukrenergo/ss-102780816>

385. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова и др. М.: Энергия, 1973. 295 с.

386. Технологии виртуальной и дополненной реальности находят применение в энергетике. 2019. URL: <https://energy.s-kon.ru/tehnologii-virtualnoj-i-dopolnennoj-realnosti-nahodyat-primenenie-v-energetike/>

387. Тищенко М.О. Покращення екологічного стану атмосферного повітря навколо золошлаковідвалу ТОВ «Євро-Реконструкція» шляхом застосування поліакриламідної композиції: дис. ... канд. тех. наук : 21.06.01. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Київ, 2021. 129 с.

388. Толпаев В.А. Уравнение нелинейной фильтрации в анизотропных средах. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион*. 2003. № 7. С. 7–18.

389. Третяк А.М. Наукові основи економіки землекористування та землевпорядкування / А. М. Третяк, В. М. Другак. – К.: ЦЗРУ, 2003. – 337 с.

390. УКРПАТЕНТ. URL: <https://library.uipv.org/>.

391. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод. Москва, 1981. 304 с.
392. Хоботова Э.Б., Уханёва М.И., Грайворонская И.В., Калмыкова Ю.С. Радиационно-химическое обоснование использования твёрдых промышленных отходов в качестве технических материалов. Харьков: ХНАДУ. 2012. 260 с.
393. Чогут Г.И. Определение эколого-экономической эффективности использования сельскохозяйственных земель. *Весник ВГУ. – Серия: экономика и управление.* – 2005. - №2. – С.74 – 78.
394. Чорнобильська арка онлайн: у мережу запустили додаток для сталкерів. Реальна картинка до дрібниць без ризику для здоров'я. 2018. URL: <https://znaj.ua/society/175005-chornobilska-arka-onlayn-u-merezh-zapustili-dodatok-dlya-stalkeriv>.
395. Шандиба О.Б., Варламов М.К., Мартиненко О.П. Борозенець Н.С. Екологічний моніторинг міграції хімічних речовин на забруднених територіях. *Вісник СДАУ, серія «Механізація та автоматизація технологічних процесів».* 2000. №5. С. 69–71.
396. Шейдеггер А.М. Физика течения жидкостей через пористые среды. Пер. с англ. Москва, 1960. 249 с.
397. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. Москва, 1995. 368 с.
398. Шило С. Оцінювання управлінських рішень/інноваційно-інвестиційних проектів у системі еколого-економічного управління. *Економіст.* – 2011. – №10. – С. 29-30.
399. Шкица Л.Е., Яцишин Т.М., Попов А.А., Артемчук В.А. Прогнозирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере на территории буровой установки. *Нефтяное хозяйство.* – 2013. – № 11. – С. 136–140.
400. Шмиголь И.Н. Сероочистка дымовых газов для тепловых электростанций России. URL: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/577/35.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
401. Що таке доповнена реальність і чим вона відрізняється від

віртуальної реальності? URL: <https://blog.comfy.ua/ua/shho-take-dopovnena-realnist-i-chim-vona-vidriznyaetsya-vid-virtualnoyi-realnosti/>.

402. Эфрос Д.А. Исследование фильтрации неоднородных систем. Москва, 1963. 351 с.

403. Юсупова Н.И.. Вопросы моделирования при организации информационной интеллектуальной поддержки управленческих решений в сложных системах. *Фундаментальные исследования*, 2017, 2: 107-113.

404. Ясінецька І.А. Аналіз ефективності управління земельними ресурсами. URL: http://www.economyandsociety.in.ua/journal/4_ukr/41.pdf

405. Яцишин А.В. Комплексне оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях атмосферного повітря : дис ... д-ра тех. наук : 21.06.01. ДУ «ІГНС НАН України». Київ, 2013.

406. Яцишин Т.М. Розроблення наукових основ запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів нафтогазовидобувними об'єктами : дис ... д-ра тех. наук : 21.06.01. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2021. 418 с.

407. Яцишин А., Попов О., Артемчук В., Ковач В., Яцишин Анна, Коваленко В. Перспективи розробки та впровадження математичних та програмних засобів визначення впливу місця зберігання відходів теплоенергетики. *Наукова молодь-2020*: зб. матеріалів VIII Всеукр. наук. конф. молодих учених, 21 жовт. 2020 р. Київ, 2020. С. 135-138.

408. Яцишин А.В., Каменева І.П., Артемчук В.О. Комп'ютерні засоби дослідження динаміки техногенних навантажень на урбанізовані території. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2015. Вип. 9. С. 27–36.

409. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., Артемчук В.О., Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Принципи та методи управління екологічною безпекою на основі інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 4. С. 85–102.

410. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., Артемчук В.О., Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Засоби інтелектуального аналізу та візуалізації

геопросторових даних моніторингу стану атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 5. С. 85–102.

411. Яцишин А.В., Матвєєва І.В., Ковач В.О., Артемчук В.О., Каменева І.П. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 2 (28). С. 57-68.

412. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О. Використання інформаційних технологій в задачах управління екологічною безпекою. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2013. Вип. 2(41). С. 289–294.

413. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О. Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2014. № 40(1083). С. 130–137.

414. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О., Ковач В.О., Зінов'єва І.С. Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. № 4. С. 286–305. doi:10.33407/itlt.v72i4.2.

415. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О., Ковач В.О., Каменева І.П. Аналіз сучасних математичних засобів оцінки впливу місць зберігання золошлакових відходів теплоенергетики на екологічний стан прилеглих територій. *Техногенно-екологічна безпека*. 2019. № 6(2/2019). С. 24-29.

416. Яцишин А.В., Попов О.О., Ковач В.О., Артемчук В.О. Методика навчання майбутніх фахівців у галузі екології методам і засобам екологічного моніторингу приземного шару атмосфери. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. №4. С. 217–230. doi: 10.33407/itlt.v66i4.2233.

ДОДАТКИ

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Монографії

1. **Артемчук В.О.**, Білан Т.Р., Блінов І.В. та ін. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики: монографія / за ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан. Київ : ТОВ «Наш формат», 2017. 312 с. *ISBN 978-966-02-8331-2*.

2. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Математичні та програмні засоби вирішення задач моніторингу атмосферного повітря техногенно-навантажених територій : монографія. Київ : ФОП Ямчинський, 2018. 116 с. *ISBN 978-617-7804-97-9*.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science

3. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Концептуальні підходи створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. № 3. С. 56–65. doi: 10.32918/nrs.2018.3(79).09 (*Scopus*, ISSN 2073-6231).

4. Яцишин А.В., Попов О.О., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Методика навчання майбутніх фахівців у галузі екології методам і засобам екологічного моніторингу приземного шару атмосфери. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. № 4. С. 217–230. doi: 10.33407/itlt.v66i4.2233 (*Web of Science*, ISSN 2076-8184).

5. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 1. С. 75–80. doi: 10.32918/nrs.2019.1(81).13 (*Scopus*, ISSN 2073-6231).

6. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Зінов'єва І.С. Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. № 4. С. 286–305. doi:10.33407/itlt.v72i4.2 (*Web of Science*, ISSN 2076-8184).

7. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Фізичні особливості розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за умов надзвичайної ситуації на АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 4. С. 88–98. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).11 (*Scopus*, ISSN 2073-6231).

8. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., **Artemchuk V.** et al. Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*. 2020. Vol. 10(25). 200303. doi: 10.5696/2156-9614-10.25.200303 (*Scopus*, *Web of Science*, ISSN 2156-9614).

9. Iatsyshyn Anna V., Kovach V.O., Romanenko Ye.O., Deinega I.I., Iatsyshyn Andrii V., Popov O.O., Kutsan Yu.G., **Artemchuk V.O.**, Burov O.Yu., Lytvynova S.H. Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of new technological era. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2547. P. 181–200. <http://ceur-ws.org/Vol-2547/paper14.pdf> (*Scopus*, *Web of Science*, ISSN 1613-0073).

10. Iatsyshyn A., **Artemchuk V.**, Zaporozhets A., Popov O., Kovach V. Mathematical Approaches for Determining the Level of Impact of Ash-Slag Dumps of Energy Facilities on the Environment. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. P. 1–13. doi: 10.1007/978-3-030-48583-2_1 (*Scopus*, ISSN 2198-4182).

11. Iatsyshyn Andrii, Iatsyshyn Anna, **Artemchuk V.**, Kameneva I., Kovach V., Popov O. Software tools for tasks of sustainable development of environmental problems: peculiarities of programming and implementation in the specialists' preparation. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202016601001 (*Scopus*, ISSN 2267-1242).

12. Maevsky O., **Artemchuk V.**, Brodsky Y., Makarenko L., Shpylovyi Y. A Conceptual Approach to the Development of Software Tools for the Analysis and Synthesis of Geophysical Monitoring Systems Models. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. Vol. 346. P. 333–345. doi: 10.1007/978-3-030-69189-9_20 (*Scopus*, ISSN 2198-4182).

Статті у наукових фахових виданнях України

13. **Артемчук В.О.** Аналіз архітектур систем моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 66. С. 3–9.

14. **Артемчук В.О.** Врахування характеристик сенсорів в задачі оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 65. С. 11–15.

15. **Артемчук В.О.** Дослідження існуючих безпроводних сенсорних мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 65. С. 3–9.

16. **Артемчук В.О.** Основні проблеми оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 64. С. 7–11.

17. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Використання інформаційних технологій в задачах управління екологічною безпекою. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2013. Вип. 2(41). С. 289–294.

18. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Побудова шкал для дослідження динаміки техногенних навантажень на атмосферне повітря міста. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 67. С. 11–17.

19. **Артемчук В.О.** Класифікація задач оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 67. С. 10–15.

20. **Артемчук В.О.** Перспективи використання безпроводних сенсорних мереж. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 68. С. 48–56.

21. Криваковская Р.В., **Артемчук В.А.** Исследование влияния погрешностей отдельных факторов на погрешность моделирования распространения примесей в приземном слое атмосферы. *Электронное моделирование*. 2013. № 3. С. 49–63.

22. Каменева И.П., Яцишин А.В., **Артемчук В.А.** Компьютерные средства оценивания экологических рисков с использованием структурного анализа данных мониторинга. *Электронное моделирование*. 2013. № 6. С. 99–114.

23. **Артемчук В.О.** Використання GPS-орієнтованих сервісів при оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 68. С. 26–30.

24. **Артемчук В.О.** Перспективи використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 69. С. 34–39.

25. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Адаптація програмних засобів аналізу даних до задач дослідження стійкості територіальних систем. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 70. С. 3–10.

26. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Візуальні засоби моніторингу динаміки техногенних навантажень на приземне повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 71. С. 3–8.

27. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2014. № 40(1083). С. 130–137.

28. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Кількісний аналіз стану довкілля на техногенно забруднених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 3–16.

29. **Артемчук В.О.** Оптимізація мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 27–35.

30. Яцишин А.В., Каменева І.П., **Артемчук В.О.** Комп'ютерні засоби дослідження динаміки техногенних навантажень на урбанізовані території. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2015. Вип. 9. С. 27–36.

31. Попов О.О., **Артемчук В.О.** Визначення стійкості геоекосистем регіону досліджень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2015. Вип. 75. С. 9–18.

32. Попов О.О. Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Можливості використання експертних методів та систем для вирішення задач екологічної безпеки в зонах впливу АЕС. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2016. Вип. 25. С. 5–16.

33. **Артемчук В.А.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий. *Электронное моделирование*. 2016. № 2. С. 49–66.

34. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Алгоритмічні засоби побудови гібридної інтелектуальної системи в галузі екологічної безпеки. *Моделювання та інформаційні технології*. 2016. Вип. 76. С. 60–69.

35. Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Сучасні методи аналізу ризиків в задачах управління екологічною безпекою на техногенно забруднених територіях. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 10. С. 56–64.

36. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Імовірнісна модель когнітивного аналізу даних моніторингу в задачах екологічної безпеки. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 11. С. 57–66.

37. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Математичний підхід до визначення ризиків для населення урбанізованих територій від впливу техногенних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 79. С. 49–60.

38. **Артемчук В.А.,** Каменева І.П., Яцишин А.В. Специфика применения когнитивного анализа информации в задачах обеспечения экологической безопасности. *Электронное моделирование*. 2017. № 6. С. 107–124.

39. Куцан Ю.Г., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Сучасна методика визначення. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 80. С. 11–19.

40. **Артемчук В.О.,** Яцишин А.В. Інтелектуальний аналіз даних в системі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 82. С. 48–52.

41. **Артемчук В.О.,** Каменева І.П., Яцишин А.В., Яцишин Т.М. Методичні та інформаційні засоби аналізу екологічних ризиків на основі даних моніторингу. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 83. С. 48–62.

42. Попов О.О., **Артемчук В.О.,** Краснов Є.Б., Куценко В.О. Проектування та розробка засобів візуалізації для розв’язання задач оцінки впливу нерадіаційних викидів АЕС України на атмосферне повітря та населення прилеглих територій. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 84. С. 55–65.

43. **Артемчук В.О.,** Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О., Яцишин Т.М. Перспективи розробки математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 85. С. 75–80.

44. Яцишин А.В., Матвєєва І.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.,** Каменева І.П. Особливості впливу золівідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 2(28). С. 57–68.

45. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Принципи та методи управління екологічною безпекою на основі інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 4. С. 85–102.

46. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Засоби інтелектуального аналізу та візуалізації геопросторових даних моніторингу стану атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 5. С. 85–102.

47. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Каменева І.П. Аналіз сучасних математичних засобів оцінки впливу місць зберігання золошлакових відходів теплоенергетики на екологічний стан прилеглих територій. *Техногенно-екологічна безпека*. 2019. № 6(2/2019). С. 24–29.

48. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Яцишин А.В. Інформаційні системи та програмні засоби в галузі екологічної безпеки атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 86. С. 20–28.

49. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Розроблення математичної моделі забруднення атмосфери за умов довготривалих викидів потенційно-небезпечних джерел. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 89. С. 50–63.

50. Попов О.О. Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Математичні підходи вирішення задачі визначення раціональних місць розташування стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 88. С. 156–163.

51. Кириленко Ю.О., Каменева І.П., Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О. Аналіз засобів моделювання наслідків радіаційних аварій та інцидентів з розливом рідких радіоактивних середовищ. *Електронне моделювання*. 2020. № 4. С. 31–48.

52. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Ковач В.О., Яцишин Анна В., Туревич А.О., Куценко В.О. Вирішення оптимізаційної задачі розміщення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях України. *Геохімія техногенезу*. 2020. № 4(32)/2020. С. 86–95.

Тези та матеріали конференцій

53. Каменева І.П., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Комп'ютерний аналіз даних моніторингу атмосферного повітря. *«Зелена» економіка: перспективи впровадження в Україні*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 24–25 квіт. 2012 р. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2012. Т. 1. С. 372–377.

54. Яцишин А.В., Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Попов О.О. Комп'ютерні засоби моделювання техногенних навантажень на урбанізовані території. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 27–31 трав. 2012 р. Херсон : ХНТУ, 2012. Т. 1. С. 239–241.

55. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Експертно-аналітичні технології аналізу ризиків від техногенних навантажень на атмосферне повітря. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 20–24 трав. 2013 р. Херсон : ХНТУ, 2013. С. 39–41.

56. **Артемчук В.О.** Актуальні питання побудови сучасних мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXII Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 11–12 січ. 2013 р. Київ, 2013. С. 3.

57. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Впровадження європейських стандартів в державну систему моніторингу довкілля. *Інформаційні управляючі системи та технології*: зб. матеріалів наук.-практ. конф. 23–25 верес. 2014 р. Одеса : «ВМВ», 2014. С. 299–301.

58. **Артемчук В.О.** Загальна постановка задачі оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXIII Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 15–16 січ. 2014 р. Київ, 2014. С. 33.

59. Попов О.О., **Артемчук В.О.** Вимоги до програмного забезпечення інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу АЕС України. *Екологічна безпека держави: тези доповідей IX Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів*, 16 квіт. 2015 р. Київ : НАУ, 2015. С. 58.

60. **Артемчук В.О.** Можливість використання GPS-орієнтованих сервісів при оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря *Інформаційні технології – 2015: зб. тез доповідей II Української конф. молодих науковців*, 28–29 трав. 2015 р., Київ : Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2015. С. 99–101.

61. Яцишин Т.М., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Розробка математичних засобів для вирішення задач екологічного моніторингу техногенних джерел забруднення. *Стратегия качества в промышленности и образовании: сб. тр. XI междунар. конф.*, 1–5 июня 2015 г. Болгария, г. Варна : Технический университет-Варна, 2015. Т.1. С. 430–435.

62. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Сметанін К.В. Побудова комплексних показників для оцінки стану навколишнього природного середовища в зонах впливу потенційно небезпечних об'єктів. *Збірник наукових праць з'їзду «V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю»*, 23–26 верес. 2015 р. Вінниця : ВНТУ, 2015. С. 30.

63. Лисиченко Г.В., Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Розробка комп'ютерної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря в зонах впливу техногенних об'єктів. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи: зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф.*, 4–6 лист. 2015 р. Львів : ЛДУБЖД, 2015. С. 211–214.

64. **Артемчук В.О.** Архітектура мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXIV Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 15 січня 2015 р., Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2015. С. 15.

65. **Артемчук В.О.** Загальна постановка та класифікація задач оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Наука и образование: сб. тр. VII междунар. науч. конф., 27 февраля–6 марта 2015 г., г. Дубай (Объединенные Арабские Эмираты). Хмельницкий : ХНУ, 2015.* С. 35–37.

66. **Артемчук В.О.,** Каменева І.П., Яцишин А.В. Етапи побудови гібридної інтелектуальної системи для задач екологічної безпеки. *МОДЕЛИРОВАНИЕ – 2016: сб. тр. междунар. науч. конференции. Киев, 2016.* С. 135–138.

67. **Артемчук В.О.** Засоби аналізу даних мережі моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою об'єктів енергетики. *Наукова молодь: зб. матеріалів IV Всеукр. наук. конф. молодих учених / За заг. ред. Спіріна О.М., 15 груд. 2016 р. Київ, 2016.* С. 129–138.

68. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.,** Ковач В.О. Спеціалізовані геоінформаційні програмні комплекси для розв'язання задач моніторингу довкілля на техногенно-навантажених територіях. *Екологічна безпека держави: зб. матеріалів XI Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, 20 квіт. 2017 р. Київ : НАУ, 2017.* С. 72.

69. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.,** Ковач В.О. Інформаційно-аналітичні програмні засоби підтримки прийняття рішень у задачах комплексного екологічного моніторингу забруднених територій. *Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні: зб. матеріалів I Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів, 6–7 квіт. 2017 р. Київ : ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана», 2017.* С. 161–162.

70. Popov O.O., Yatsyshyn A.V., **Artemchuk V.O.**, Kutsenko V.O. Decision Making Support System for Prevention of Emergencies on the Allocation Territory of Chemically Dangerous Objects. *Chemical and Radiation Safety: Problems and Solutions: Materials of fifth international conference*, May 24–26, 2017. Kyiv : SI «IEG of NAS of Ukraine», 2017. P. 42.

71. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Алексєєва О.В. Підвищення рівня інформатизації системи моніторингу стану атмосферного повітря локального рівня України. *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., с. Залізний Порт, 22–26 трав. 2017 р. Херсон : ХНТУ, 2017. С. 212–214.

72. **Артемчук В.О.** Засоби забезпечення моніторингу стану атмосферного повітря на території впливу великих спалювальних установок. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 12–18 березня 2018 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2018. С. 67–69.

73. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Структура системи інтелектуального аналізу даних в системі моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 16 травня 2018 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2018. С. 74–77.

74. **Артемчук В.А.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Проблема моделирования процесса принятия решений на основе анализа и структурирования информации. *МОДЕЛИРОВАНИЕ – 2018*: сб. тр. междунар. науч. конф. Киев, 2018. С. 90–93.

75. Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Законодавче забезпечення розробки інтелектуальної системи підтримки рішень для управління енергетичними об'єктами в контексті екологічної безпеки. *Наукова молодь – 2018*: зб. матеріалів V Всеукр. конф. молодих учених / за ред. Спіріна О.М. та Яцишин А.В., 16 листоп. 2018 р. Київ, 2018. С. 64–67.

76. **Артемчук В.О.,** Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О. Доцільність розробки програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічній сферах України: теорія і практика*: зб. матеріалів II Всеукр. наук.-практ. інт.-конф., 27 листоп. 2018 р. Київ : КУБГ, 2018. С. 190–191.

77. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Чинники виникнення та заходи попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря на територіях розміщення потенційно небезпечних об'єктів. *Екологічна безпека держави*: тези доповідей XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, присвяченої пам'яті професора Я.І. Мовчана (з міжнародною участю), 19 квіт. 2018 р., Київ : НАУ, 2018. С. 77–78.

78. **Артемчук В.О.,** Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О. Засоби оцінки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті розробки Загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 11–17 берез. 2019 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2019. С. 111–113.

79. **Артемчук В.О.,** Кириленко Ю.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Математичні і програмні засоби оцінки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в рамках створення загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». *Зб. тез XXXVII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 15 трав. 2019 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2019. С. 86–87.

80. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.,** Алексеева О.В. Спеціалізовані комп'ютерні системи аналізу, моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря на територіях розміщення

об'єктів енергетики України. *Стратегія якості в промисловості і освіті*: зб. матеріалів XV Міжнар. конф., 3–6 черв. 2019 р. Болгарія, м. Варна : Технічний університет-Варна, 2019. С. 424–430.

81. **Artemchuk V.**, Kyrylenko Y., Iatsyshyn A., Popov O., Stanytsina V., Zinovieva I. Some issues of environmental effectiveness and monitoring in the field of atmospheric protection in Ukrainian legislation. *Perspectives of world science and education*. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. October 30–31, 2019. Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 2019. P. 184–188.

82. **Артемчук В.О.**, Кириленко Ю.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Розробка математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації*: зб. матеріалів наук. конф., 20 груд. 2019 р. Київ: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2019. С. 106–109.

83. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Кириленко Ю.О., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Рідкі радіоактивні середовища як потенційні джерела викиду. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 16–22 берез. 2020 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2020. С. 134–137.

84. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Туревич А.О., Куценко В.О. Світовий досвід побудови системи моніторингу стану атмосферного повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. *Зб. тез XXXVIII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 15 трав. 2020 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2020. С. 91–94.

85. Яцишин А., Попов О., **Артемчук В.**, Ковач В., Яцишин Анна, Коваленко В. Перспективи розробки та впровадження математичних та

програмних засобів визначення впливу місця зберігання відходів теплоенергетики. *Наукова молодь – 2020*: зб. матеріалів VIII Всеукр. наук. конф. молодих учених, 21 жовт. 2020 р. Київ, 2020. С. 135–138.

86. **Artemchuk V.**, Popov O., Iatsyshyn A. Perspectives Of Development Modern Air Quality Monitoring System on the Basis of Public Transport Rolling Stock. *Modern Problems of Nature Protection and Sustainable Development*. Materials of the international scientific-practical conference, November 16, 2020. Semey, Kazakhstan, 2020. P. 147–150.

87. **Artemchuk V.**, Popov O., Iatsyshyn A. Development Actuality Of Modern Air Quality Monitoring System On The Basis Of Public Transport Rolling Stock. *Prospects Of Territorial Development: Theory And Practice*. Proceedings of the IV All-Ukrainian scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists, November 19–20, 2020, Kharkiv, Ukraine, 2020. P. 282–285.

88. Маєвський О.В., **Артемчук В.О.**, Бродський Ю.Б., Топольницький П.П. Розроблення комп'ютерних моделей керування кліматичними параметрами на локальному рівні. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 15–21 березня 2021 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2021. С. 132–133.

Додаток Б

ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення»

Текст після перегляду

(зміни виділено сірим фоном)

**ВИКИДИ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН
У АТМОСФЕРУ ВІД ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

Методика визначення

**ВЫБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
В АТМОСФЕРУ ОТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Методика определения

Чинний від 01.07.2002
(Із змінами від _____ 2017)

1 Галузь використання

Ця методика встановлює порядок визначення викидів основних забруднювальних речовин та парникових газів, що надходять у атмосферне повітря з димовими газами, які утворюються під час спалювання органічного палива в енергетичних установках.

Межі використання методики поширюються на котли та камери згоряння газотурбінних установок, які розміщені на теплових електричних станціях та котельних і працюють на твердому, рідкому та газоподібному паливі.

Основні напрями використання керівного документа:

- складання державної та галузевої звітності;
- прогнознi оцінювання обсягів викидів забруднювальних речовин.

2 Нормативні посилання

У цій методиці є посилання на такі нормативні документи:

- Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”. — Затв. пост. Верховної Ради України від 25.06.1991 № 1264-ІІІ;
- Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища”. — Затв. пост. Верховної Ради України від 05.02.1998 № 186/98-ВР;

- Закон України “Про охорону атмосферного повітря”. — Затв. пост. Верховної Ради України від 16.10.1992 № 2707-XII;
- Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про охорону атмосферного повітря”. — Затв. пост. Верховної Ради України від 21.06.2001 № 2556-III;
- Закон України “Про ринок електричної енергії”. — Затв. пост. Верховної Ради України від 13.04.2017 № 2019-VIII;
- Закон України “Про оцінку впливу на довкілля”. — Затв. пост. Верховної Ради України від 23.05.2017 № 2059-VIII;
- ГОСТ 11022—95 (ISO 1171—81) Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности;
- ГОСТ 27313—95 (ISO 1170—77) Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива.

3 Основні положення

Під час спалювання органічного палива в енергетичних установках у атмосферне повітря разом з димовими газами надходять забруднювальні речовини та парникові гази. За цією методикою обліковуються такі забруднювальні речовини та парникові гази:

- речовини у вигляді суспендованих твердих частинок;
- оксиди сірки SO_x у перерахунку на діоксид сірки або сірчистий ангідрид SO_2 ;
- оксиди азоту NO_x у перерахунку на діоксид азоту NO_2 ;
- оксид вуглецю CO ;
- важкі метали та їх сполуки;
- діоксид вуглецю CO_2 ;
- метан CH_4 ;
- азоту (I) оксид або оксид діазоту N_2O ;
- неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)

Валові викиди забруднювальних речовин та парникових газів визначаються на основі:

- постійних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин у димових газах енергетичних установок;
- розрахункових методів за даними про витрати та склад використаного палива і характеристики енергетичних та газоочисних установок.

Валові викиди інших забруднювальних речовин будуть визначатись окремими нормативними документами.

4 Визначення викидів забруднювальних речовин за даними постійних вимірювань

Під час проведення постійних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин і поточних витрат димових газів, які надходять у атмосферне повітря від енергетичної установки, валовий викид E_j , т, j -ї забруднювальної речовини за проміжок часу P визначається за формулою

$$E_j = 10^{-9} \sum_t^P c_j(t) V(t) \Delta t, \quad (1)$$

де P – проміжок часу звітності;

$c_j(t)$ – масова концентрація j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах, яка вимірюється в момент часу t , мг/м³;

$V(t)$ – витрата сухих димових газів, яка вимірюється в момент часу t , м³/с;

Δt – дискретність вимірювань, с.

Масова концентрація c_j , мг/м³, j -ї забруднюючої речовини в сухих димових газах, розраховується через об'ємну концентрацію за співвідношенням

$$c_j = c_{vj} \rho_j, \quad (2)$$

де c_{vj} – об'ємна концентрація j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах, см³/м³;

ρ_j – густина j -ї забруднювальної речовини в умовах вимірювання її концентрації, кг/м³.

Густина забруднювальної речовини ρ_j , кг/м³, в умовах вимірювання концентрації розраховується за формулою

$$\rho_j = \rho_{j0} \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}, \quad (3)$$

де ρ_{j0} – густина j -ї забруднювальної речовини при нормальних умовах (тиску p_0 та температурі T_0), кг/м³;

p – тиск в умовах вимірювання концентрації, МПа;

T – температура в умовах вимірювання концентрації, К.

Під час проведення постійних вимірювань тільки масової концентрації забруднювальної речовини $c_j(t)$ поточна витрата димових газів $V(t)$ розраховується через обсяги витрат палив, які спалюються в енергетичній установці:

$$V(t) = \sum_i (v_{дг})_i b_i(t), \quad (4)$$

де $(v_{дг})_i$ – питомий об'єм сухих димових газів на робочу масу під час спалювання i -го палива при нормальних умовах, м³/кг;

$b_i(t)$ – витрата i -го палива в момент часу t , кг/с.

Питомий об'єм $v_{дг}$ сухих димових газів розраховується при стандартному вмісті кисню і нормальних умовах. Формула (1) для визначення валового викиду j -ї забруднювальної речовини приймає вигляд:

$$E_j = 10^{-9} \sum_t^P \left(c'_j(t) \sum_i (v_{дг})_i b_i(t) \right) \Delta t, \quad (5)$$

де E_j – валовий викид j -ї забруднювальної речовини за проміжок часу P , т;

$c'_j(t)$ – приведена масова концентрація j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах при стандартному вмісті кисню і нормальних умовах в момент часу t , мг/нм³;

$(v_{дг})_i$ – питомий об'єм сухих димових газів на робочу масу під час спалювання i -го палива при стандартному вмісті кисню і нормальних умовах, нм³/кг;

$b_i(t)$ – витрата i -го палива в момент часу t , кг/с;

Δt – дискретність вимірювань, с.

Приведену масову концентрацію $c'_j(t)$, мг/нм³, j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах при стандартному вмісті кисню та нормальних умовах в момент часу t можна отримати через значення вимірної масової концентрації j -ї забруднювальної речовини $c_j(t)$ за формулою

$$c'_j(t) = c_j(t) \frac{21 - 6}{21 - O_2} = c_j(t) \frac{\alpha}{\alpha_0}, \quad (6)$$

де $c_j(t)$ – виміряна масова концентрація j -ї забруднювальної речовини в сухих димових газах при нормальних умовах в момент часу t , мг/нм³;

O_2 – вміст кисню в димових газах при вимірюванні концентрації, %;

α – коефіцієнт надлишку повітря при вимірюванні концентрації;

α_0 – коефіцієнт надлишку повітря при стандартному вмісті кисню в димових газах.

Формули розрахунку питомого об'єму сухих димових газів під час спалювання палива з урахуванням його механічного недопалу наведено в додатку А. Для розрахунку питомого об'єму сухих димових газів у випадку використання газоподібного палива попередньо необхідно перерахувати об'ємні характеристики палива в масові. Формули перерахунку об'ємних характеристик газоподібного палива в масові наведено в додатку Б. Усі розрахунки проводяться для робочої маси палива. Формули перерахунку характеристик палива з сухої беззольної маси на робочу або суху наведено в додатку В. За відсутності фактичних даних про елементний склад палива використовуються значення, наведені в додатку Г.

5 Визначення викидів забруднювальних речовин розрахунковими методами

Розрахункові методи визначення викиду забруднювальної речовини базуються на використанні показника емісії. Показник емісії характеризує масову кількість забруднювальної речовини, яка викидається енергетичною установкою в атмосферне повітря разом з димовими газами, віднесено до одиниці енергії, що виділяється під час згоряння палива. Він залежить від багатьох чинників. Існують два показники емісії — узагальнений та специфічний.

Узагальнений показник емісії забруднювальної речовини є середньою питомою величиною викиду для певної категорії енергетичних установок, певної технології спалювання палива, певного виду палива з урахуванням заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини. Він не враховує особливостей хімічного складу палива.

Специфічний показник емісії є питомою величиною викиду, яка визначається для конкретної енергетичної установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини.

При наявності обох показників емісії забруднювальної речовини необхідно використовувати специфічний.

Валовий викид j -ї забруднювальної речовини E_j , т, що надходить у атмосферу з димовими газами енергетичної установки за проміжок часу P , визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, у тому числі під час їх одночасного спільного спалювання:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad (7)$$

- де E_{ji} — валовий викид j -ї забруднювальної речовини під час спалювання i -го палива за проміжок часу P , т;
 k_{ji} — показник емісії j -ї забруднювальної речовини для i -го палива, г/ГДж;
 B_i — витрата i -го палива за проміжок часу P , т;
 $(Q_i^r)_i$ — нижча робоча теплота згоряння i -го палива, МДж/кг.

Показники емісії забруднювальних речовин визначаються за формулами, наведеними в розділах 5.1 — 5.8.

5.1 Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок

Показник емісії речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (далі — твердих частинок) визначається як специфічний і розраховується за формулою

$$k_{\text{тв}} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{\text{вин}} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{\text{вин}}} (1 - \eta_{\text{зу}}) + k_{\text{твS}}, \quad (8)$$

або

$$k_{\text{тв}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \left(a_{\text{вин}} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_c} \right) (1 - \eta_{\text{зу}}) + k_{\text{твS}}, \quad (9)$$

де $k_{\text{тв}}$ – показник емісії твердих частинок, г/ГДж;

Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

$a_{\text{вин}}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи;

Q_c – теплота згоряння вуглецю до CO_2 , яка дорівнює 32,68 МДж/кг;

q_4 – втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива, %;

$\eta_{\text{зу}}$ – ефективність очищення димових газів від твердих частинок;

$\Gamma_{\text{вин}}$ – масовий вміст горючих речовин у викидах твердих частинок, %;

$k_{\text{твS}}$ – показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки і твердих частинок сорбенту, г/ГДж.

Вміст золи A^r в паливі та горючих у викиді твердих частинок $\Gamma_{\text{вин}}$ визначаються при проведенні технічного аналізу за ГОСТ 11022—95 (ISO 1171—81) палива і леткої золи, яка виходить з енергетичної установки, відповідно.

Зола палива виходить з енергетичної установки у вигляді леткої золи (виносу) та або донної золи (шлаку). Частка золи, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, $a_{\text{вин}}$ залежить від технології спалювання палива і визначається за даними останніх випробувань енергетичної установки, а за їх відсутності – за паспортними даними. За відсутності таких даних значення $a_{\text{вин}}$ приймаються згідно з таблицею Д.1 (додаток Д).

Для котлів малої потужності $\Gamma_{\text{вин}}$ визначається згідно з таблицею Д.1-а (додаток Д) з співвідношення $a_{\text{вин}}/(100 - \Gamma_{\text{вин}})$.

Втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива q_4 , залежать від конструкції топкового пристрою та виду палива, що спалюється. Величина q_4 визначається при налагоджувальних випробуваннях установок або приймається за характеристиками топков, наведеними в таблицях Д.3 та Д.4 збірника ¹.

Значення ефективності очищення димових газів від твердих частинок $\eta_{\text{зу}}$ визначається за результатами останніх випробувань золоуловлювальної установки або за її паспортними даними. Ефективність золоуловлювальної установки визначається як різниця між одиницею та відношенням масових концентрацій твердих частинок після і до золоуловлювальної установки.

¹ Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том І. Донецьк: УкрНТЕК, 2004. – 187 с.

При використанні сорбенту для зв'язування оксидів сірки в топці котла (наприклад, за технологіями спалювання палива в киплячому шарі) чи при застосуванні технологій сухого або напівсухого зв'язування сірки утворюються тверді частинки сульфату та сульфіту і невикористаного сорбенту. Показник емісії твердих частинок невикористаного в енергетичній установці сорбенту та утворених сульфатів і сульфітів $k_{\text{твS}}$, г/ГДж, розраховується за формулою

$$k_{\text{твS}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{S^r}{100} \left[\eta_I \frac{\mu_{\text{прод}}}{\mu_S} + (m - \eta_I) \frac{\mu_{\text{сорб}}}{\mu_S} \right] a_{\text{вин}} (1 - \eta_{\text{зу}}), \quad (10)$$

- де Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 S^r – масовий вміст сірки в паливі на робочу масу, %;
 $a_{\text{вин}}$ – частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи;
 $\mu_{\text{прод}}$ – молекулярна маса твердого продукту взаємодії сорбенту та оксидів сірки, кг/кмоль;
 $\mu_{\text{сорб}}$ – молекулярна маса сорбенту, кг/кмоль;
 μ_S – молекулярна маса сірки, яка дорівнює 32 кг/кмоль;
 m – мольне відношення активного хімічного елементу сорбенту та сірки (таблиця Д.2 додатка Д);
 η_I – ефективність зв'язування сірки сорбентом у топці або при застосуванні сухих та напівсухих методів десульфуризації димових газів (таблиці Д.2 і Д.3 додатка Д);
 $\eta_{\text{зу}}$ – ефективність очистки димових газів від твердих частинок.

5.2 Діоксид сірки SO_2

Показник емісії k_{SO_2} , г/ГДж, оксидів сірки SO_2 та SO_3 , у перерахунку на діоксид сірки SO_2 , які надходять у атмосферу з димовими газами, є специфічним і розраховується за формулою

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \quad (11)$$

- де Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 S^r – вміст сірки в паливі на робочу масу за проміжок часу P , %;
 η_I – ефективність зв'язування сірки золою або сорбентом у енергетичній установці;
 η_{II} – ефективність очистки димових газів від оксидів сірки;
 β – коефіцієнт роботи сіркоочисної установки.

Масовий вміст сірки в робочій масі потрібно визначати під час технічного аналізу палива відповідно до ГОСТ 27313—95 (ISO 1170—77).

Усереднені значення вмісту сірки для різних видів і марок палива наведено в додатку Г. Ці значення беруться у випадку відсутності достовірних даних технічного аналізу.

Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом у енергетичній установці η_I залежить від технології спалювання та хімічного складу палива, яке спалюється, і типу сорбенту. Під час спалювання твердого палива, до мінеральної складової якого входять сполуки лужних та лужноземельних металів, відбувається часткове зв'язування сірки з утворенням сульфатів або сульфідів. Під час спалювання твердого палива за технологіями киплячого шару подача сорбенту разом з паливом забезпечує ефективне зв'язування сірки в топці енергетичної установки. За відсутності даних для енергетичної установки про ефективність зв'язування сірки в топковому просторі значення η_I для різних технологій спалювання палива приймаються згідно з таблицею Д.2 (додаток Д).

Димові гази можуть бути очищені від оксидів сірки в сіркоочисних установках шляхом застосування технологій десульфуризації димових газів з різною ефективністю очищення η_{II} . Коефіцієнт роботи сіркоочисної установки β визначається як відношення часу роботи сіркоочисної установки до часу роботи енергетичної установки. Для розрахунків необхідно використовувати значення η_{II} , одержане під час останнього випробування сіркоочисної установки, і значення β , одержане при аналізі даних про роботу очисної та енергетичної установок у цілому. За відсутності таких даних значення ефективності сіркоочищення димових газів та коефіцієнта роботи сіркоочисної установки за різними технологіями десульфуризації приймаються згідно з таблицею Д.3 (додаток Д).

До установок десульфуризації димових газів відносяться і деякі види золоуловлювальних установок. Для електростатичних фільтрів та циклонів ефективність уловлення оксидів сірки η_{II} є незначною і дорівнює нулю. Для мокрих золоуловлювальних установок (мокрих скрубєрів типу МС та МВ) величина η_{II} залежить від загальної лужності води на зрошення та від вмісту сірки в паливі S' . Приведений вміст сірки визначається як відношення масового вмісту сірки на робочу масу палива до нижчої робочої теплоти згоряння палива ($S' = S'/Q_i'$). Дані про ефективність уловлення оксидів сірки в мокрих скрубєрах наведено в таблиці Д.4 (додаток Д).

5.3 Оксиди азоту NO_x

Під час спалювання органічного палива утворюються оксиди азоту NO_x (оксид азоту NO та діоксид азоту NO_2), викиди яких визначаються в перерахунку на NO_2 .

Показник емісії оксидів азоту k_{NO_x} , г/ГДж, з урахуванням заходів скорочення викиду розраховується як

$$k_{NO_x} = (k_{NO_x})_0 f_H (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \quad (12)$$

- де $(k_{\text{NO}_x})_0$ – показник емісії оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, г/ГДж;
 f_n – ступінь зменшення викиду NO_x під час роботи на низькому навантаженні;
 η_I – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду;
 η_{II} – ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки);
 β – коефіцієнт роботи азотоочисної установки.

Крім того, можна використати залежність коефіцієнта емісії NO_x від максимальної температури горіння палива¹.

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксидів азоту може бути визначено на основі результатів випробувань енергетичної установки, документально підтверджених відповідними актами. Формулу перерахунку значення вимірної концентрації забруднювальної речовини в показник емісії приведено в додатку А.

Значення узагальненого показника емісії оксидів азоту під час спалювання органічного палива за різними технологіями без урахування заходів щодо скорочення викиду NO_x визначаються згідно з таблицею Д.5 (додаток Д).

Під час роботи енергетичної установки на низькому навантаженні зменшується температура процесу горіння палива, завдяки чому скорочується викид оксидів азоту. Ступінь зменшення викиду NO_x при цьому визначається за емпіричною формулою

$$f_n = (Q_\phi / Q_n)^z, \quad (13)$$

де f_n – ступінь зменшення викиду оксидів азоту під час роботи на низькому навантаженні;

Q_ϕ – фактична теплова потужність енергетичної установки, МВт;

Q_n – номінальна теплова потужність енергетичної установки, МВт;

z – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива тощо.

Якщо відома тільки продуктивність парового котла D , його теплова потужність Q визначається згідно з додатком Ж. Емпіричний коефіцієнт z визначається під час випробувань енергетичної установки. За їх відсутності значення z береться з таблиці Д.6 (додаток Д).

Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовано на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згоряння енергетичної установки. До цих заходів відносяться: використання малотоксичних палив, ступенева подача повітря та палива, рециркуляція димових газів тощо. Значення ефективності застосування первинних заходів η_I , окремих та їх комбінацій, визначаються за результатами випробувань енергетичної установки після їх

¹ Бабін М.Є. Емісія оксидів азоту в теплоенергетичних установках / М.Є. Бабін, С.В. Дубовський, В.С. Коберник, В.А. Рейсіг // Проблеми загальної енергетики. - 2008. - № 17. - С. 46-49.

впровадження і затверджуються відповідними актами. Орієнтовні значення ефективності первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту наведено в таблиці Д.7 (додаток Д).

За неможливості досягти за допомогою первинних заходів допустимої концентрації оксидів азоту в димових газах для їх очищення від NO_x використовують азотоочисну установку. Значення ефективності η_{II} та коефіцієнта роботи азотоочисної установки (відношення часу роботи азотоочисної установки до часу роботи енергетичної установки) визначаються під час випробувань, а за їх відсутності — згідно з таблицею Д.8 (додаток Д).

5.4 Важкі метали

Викид важких металів та їх сполук пов'язано з наявністю в мінеральній частині палива сполук важких металів. До важких металів, сполуки яких найбільш шкідливі для навколишнього середовища, відносяться: арсен (As), кадмій (Cd), хром (Cr), мідь (Cu), ртуть (Hg), нікель (Ni), свинець (Pb), селен (Se), цинк (Zn)¹⁾. Під час спалювання мазуту або важкого дизельного палива до важких металів цієї групи віднесено також ванадій (V) та його сполуки. У частинках леткої золи більшість цих елементів зустрічається у вигляді оксидів і хлоридів. У газоподібних викидах можлива наявність ртуті, селену та арсену, які частково випаровуються з палива.

5.4.1 Спалювання вугілля

Під час спалювання вугілля показник емісії важкого металу $k_{в.м}$, г/ГДж, є специфічним і визначається за формулою

$$k_{в.м} = \frac{c_{в.м}}{Q_i^r} [a_{вин} f_{зб} (1 - \eta_{зу}) (1 - f_{г}) + f_{г} (1 - \eta_{гзу})], \quad (14)$$

де $c_{в.м}$ — масовий вміст важкого металу у паливі, мг/кг;

Q_i^r — нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$a_{вин}$ — частка золи, яка виходить з котла у вигляді леткої золи;

$f_{зб}$ — коефіцієнт збагачення важкого металу;

$\eta_{зу}$ — ефективність золоуловлювальної установки;

$f_{г}$ — частка важкого металу, яка виходить у газоподібній формі;

$\eta_{гзу}$ — ефективність уловлення газоподібної фракції важкого металу в золоуловлювальній установці.

Частка золи $a_{вин}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, залежить від технології спалювання палива (див. таблиці Д.1, Д.1-а додатка Д).

¹⁾ Процедура оценки и представления данных о выбросах в рамках конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. EEA/GE.1/1997/5. 30 June 1997.

Масовий вміст важкого металу в паливі визначається під час проведення елементного аналізу палива, що спалюється в енергетичній установці.

За відсутності можливості вимірювання вмісту важких металів у паливі орієнтовні значення $c_{\text{вм}}$ визначають згідно з таблицею Г.2 (додаток Г).

Коефіцієнт збагачення $f_{\text{зб}}$ характеризує властивість “збагачення” (підвищення вмісту) важкого металу в частинках золи. Вміст важких металів у різних фракціях золи різний: у дрібній фракції золи вміст їх вищий, ніж у крупній. Оскільки в золоуловлювальній установці найбільш ефективно уловлюється крупна фракція, то в атмосферне повітря викидається дрібна фракція, в якій вміст важких металів більший. Діапазон значень та рекомендовані величини $f_{\text{зб}}$ наведено в таблиці Д.9 (додаток Д). Ці значення застосовуються у випадку відсутності даних для конкретних видів і марок твердого палива, яке спалюється в енергетичній установці. Крім того, в таблиці Д.9-а (додаток Д) приведені значення $f_{\text{зб}}$ при ефективності золоуловлювальної установки $0,7 \leq \eta \leq 0,99$.

Частка важкого металу, яка виходить з вугілля у газоподібному вигляді, $f_{\text{г}}$ залежить від фізико-хімічних властивостей важкого металу. Орієнтовні значення цієї частки наведено в таблиці Д.10 (додаток Д).

Ефективність уловлювання твердих частинок золоуловлювальною установкою $\eta_{\text{зу}}$ залежить від типу очисного обладнання, встановленого на енергетичній установці, наприклад електростатичного фільтра, рукавного фільтра, мокрого скрубера чи батарейного циклона.

Ефективність уловлювання газоподібних важких металів $\eta_{\text{гзу}}$ залежить від властивостей важкого металу, типу золоуловлювальної установки і наявності інших заходів очистки димових газів, таких, як сіркоочисні та азотоочисні установки. Ефективність повинна визначатися під час проведення випробувань установки. Значення ефективності уловлення газоподібної фракції важких металів $\eta_{\text{гзу}}$ золоуловлювальною установкою наведено в табл. Д.11 (додаток Д).

5.4.2 Спалювання мазуту

Під час спалювання в енергетичній установці мазуту утворюються сполуки важких металів, які є складовими мазутної золи. Сполуки ванадію відносяться до основних складових мазутної золи. Тому кількість викиду ванадію прийнято за контрольний параметр шкідливої дії мазутної золи на довкілля.

Показник емісії мазутної золи $k_{\text{в}}$, г/ГДж, у перерахунку на ванадій є специфічним і розраховується за формулою

$$k_{\text{в}} = \frac{c_{\text{в}}}{Q_{\text{г}}} (1 - \eta_{\text{ос}}) (1 - \eta_{\text{зв(в)}}), \quad (15)$$

- де Q_i^r – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;
 c_v – масовий вміст ванадію в паливі, мг/кг;
 η_{oc} – частка ванадію, який осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котла;
 $\eta_{zy(V)}$ – ефективність уловлювання ванадію золоуловлювальною установкою.

Масовий вміст ванадію у мазуті c_v , мг/кг, визначається за результатами хімічного аналізу мазуту або розраховується за апроксимаційною формулою

$$c_v = 2222 A^r, \quad (16)$$

де A^r – масовий вміст золи в мазуті на робочу масу, %.

Масовий вміст золи в мазуті A^r визначається за даними технічного аналізу палива.

Частка ванадію η_{oc} , яка осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котлів, залежить від конструктивних особливостей котлів. Її значення наведено в таблиці Д.12 (додаток Д).

Під час спільного спалювання твердого палива та мазуту в пиловугільному котлі ефективність очищення димових газів $\eta_{zy(V)}$ від мазутної золи (в перерахунку на ванадій) $\eta_{zy(V)}$ розраховується за емпіричною формулою

$$\eta_{zy(V)} = 1 - \frac{1 - \eta_{zy}}{f_v}, \quad (17)$$

- де η_{zy} – ефективність очищення димових газів від твердих частинок згідно з 5.1;
 f_v – емпіричний коефіцієнт, який враховує ефект “збагачення” ванадієм золи, яка виходить після золоуловлювальної установки, і залежить від типу золоуловлювальної установки (таблиця Д.13 додатка Д).

Ефективність очищення димових газів від мазутної золи (в перерахунку на ванадій) $\eta_{zy(V)}$ в газомазутних котлах батарейними циклонами, які спеціально застосовуються для цього, визначається за емпіричною формулою (Д.1) (додаток Д).

Для розрахунку показника емісії k п'ятиоксиду ванадію V_2O_5 , г/ГДж, як забруднювальної речовини необхідно показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій помножити на відношення молекулярних мас п'ятиоксиду ванадію та ванадію:

$$k_{V_2O_5} = k_v \frac{\mu_{V_2O_5}}{2\mu_v} = k_v \frac{182}{2 \cdot 51} \cong 1,8k_v, \quad (18)$$

- де k_v – показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій;
 $\mu_{V_2O_5}$ – молекулярна маса п'ятиоксиду ванадію, яка дорівнює 182 кг/кмоль;
 μ_v – молекулярна маса ванадію, яка дорівнює 51 кг/кмоль.

5.4.3 Спалювання природного газу

При спалюванні в енергетичній установці природного газу можуть виділятися в газоподібній формі в незначній кількості ртуть та її сполуки¹⁾.

Показник емісії ртуті k_{Hg} , г/ГДж, є узагальненим і розраховується за формулою

$$k_{Hg} = (k_{Hg})_0 (1 - \eta_{зг}), \quad (19)$$

де $(k_{Hg})_0$ – показник емісії ртуті без використання золоуловлювальної установки, г/ГДж;

$\eta_{зг}$ – ефективність уловлювання ртуті в золоуловлювальній установці (таблиця Д.11 додатка Д).

Значення $(k_{Hg})_0$ під час спалювання природного газу наведено в таблиці Д.14 (додаток Д).

5.5 Оксид вуглецю CO

Утворення оксиду вуглецю CO є результатом неповного згоряння вуглецю органічного палива. Зі зменшенням потужності енергетичної установки концентрація CO в димових газах зростає. Основним методом визначення викидів оксиду вуглецю є вимірювання його концентрації.

За відсутності постійних вимірювань концентрації CO валовий викид оксиду вуглецю визначається за формулою (7).

Для конкретної енергетичної установки специфічний показник емісії оксиду вуглецю може бути визначено на основі результатів випробувань енергетичної установки, документально підтверджених відповідними актами. Формулу перерахунку значення виміряної концентрації забруднювальної речовини в показник емісії приведено в додатку А.

Значення узагальненого показника емісії оксиду вуглецю залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання визначаються з таблиці Е.1 (додаток Е).

5.6 Діоксид вуглецю CO₂

Діоксид вуглецю (вуглекислий газ CO₂) відноситься до парникових газів і є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного палива. Обсяг викиду CO₂ безпосередньо пов'язано із вмістом вуглецю в паливі та ступенем окислення вуглецю палива в енергетичній установці.

Показник емісії діоксиду вуглецю k_{CO_2} , г/ГДж, під час спалювання органічного палива визначається за формулою

¹⁾ Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних виробництв промисловості та сільського господарства. — Київ: Мінекоресурсів України, 2001.

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c = 3,67 k_c \varepsilon_c, \quad (20)$$

де C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

ε_c – ступінь окислення вуглецю палива (додаток А);

k_c – показник емісії вуглецю палива, г/ГДж.

Масовий вміст вуглецю в паливі визначається на основі елементного аналізу палива, що спалюється. Для газоподібного палива його може бути визначено, якщо відомий об'ємний вміст компонентів газоподібного палива (додаток Б). За відсутності даних про паливо, яке спалюється, необхідно користуватись даними додатка Г.

Специфічний показник емісії вуглецю k_c , г/ГДж, — це відношення вмісту вуглецю палива до його теплоти згоряння:

$$k_c = \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r}, \quad (21)$$

де C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг.

За відсутності даних про вміст вуглецю в паливі та його теплоту згоряння необхідно користуватись узагальненим показником емісії вуглецю, наведеним у таблиці Е.2 (додаток Е).

Під час спалювання органічного палива в енергетичній установці може утворюватись монооксид вуглецю, але в атмосфері він неодмінно перетвориться в діоксид вуглецю. Тому під час розрахунку показника емісії CO_2 вважають, що весь вуглець палива, який згорів, перетворюється у вуглекислий газ.

5.7 Оксид діазоту N_2O

Оксид діазоту (або оксид азоту (I) N_2O) відноситься до парникових газів. За відсутності постійних вимірювань концентрації N_2O валовий викид оксиду діазоту визначається за формулою (7). Значення узагальненого показника емісії N_2O залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання наведено в таблицях Е.3 та Е.3-а (додаток Е).

5.8 Метан CH_4

Метан CH_4 також відноситься до парникових газів. Утворення метану під час спалювання органічного палива в енергетичних установках дуже незначне. Воно пов'язане з неповним згорянням органічного палива і зменшується з підвищенням температури згоряння

та масштабу енергетичної установки. За відсутності прямих вимірювань валовий викид метану визначається за формулою (7). Значення узагальненого показника емісії метану залежно від виду палива наведено в таблиці Е.4 (додаток Е).

5.9. Неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)

(за необхідністю)

Утворення неметанових летких органічних сполук пов'язане з неповним горінням органічного палива. За відсутності прямих вимірювань валовий викид НМЛОС визначається за формулою (7). Узагальнений показник емісії НМЛОС для деяких видів органічного палива приведено у таблиці Е.5 (додаток Е).

5.10 Приклади розрахунків

Приклади розрахунку валових викидів забруднювальних речовин під час спалювання вугілля, мазуту і природного газу наведено в додатку І.

Додаток А Визначення об'єму сухих димових газів

(довідковий)

Питомий об'єм сухих димових газів, які утворюються під час повного згоряння палива, визначається на підставі даних про масовий елементний склад робочої маси палива та витрати повітря для його спалювання відповідно до стехіометричних співвідношень між паливом та повітрям. Для газоподібного палива перерахунок об'ємного вмісту його компонентів (індивідуальних газів) у масовий вміст хімічних елементів горючої маси наведено у додатку Б. Формули перерахунку характеристик палива з робочої маси палива на суху та горючу (суху беззолну) і навпаки наведено у додатку В. За відсутності інформації про елементний склад палива можна використовувати дані додатка Г або відповідну довідкову літературу.

Під час спалювання палива можливе його неповне згоряння, у першу чергу механічний недопал, внаслідок чого до викидів твердих частинок та шлаку потрапляють горючі речовини, головним чином вуглець.

Масовий вміст вуглецю $C^{взг}$, який згоряє, % на робочу масу, виражається через масовий вміст вуглецю в паливі C^r за формулою

$$C^{взг} = \varepsilon_C C^r, \quad (A.1)$$

де ε_C – ступінь окислення вуглецю палива;

C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %.

Ефективність процесу горіння визначає ступінь окислення вуглецю палива ε_C . При повному згорянні палива ступінь окислення дорівнює одиниці, але за наявності недогоряння палива його значення зменшується. Ступінь окислення вуглецю палива ε_C в енергетичній установці розраховується за формулою

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left(a_{вин} \frac{\Gamma_{вин}}{100 - \Gamma_{вин}} + (1 - a_{вин}) \frac{\Gamma_{шл}}{100 - \Gamma_{шл}} \right), \quad (A.2)$$

де A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

C^r – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

$a_{вин}$ – частка золи, яка видаляється у вигляді легкої золи;

$\Gamma_{вин}$ – масовий вміст горючих речовин у виносі твердих частинок, %;

$\Gamma_{шл}$ – масовий вміст горючих речовин у шлаку, %.

Для природного газу рекомендоване значення ε_C становить 0,995, для мазуту – 0,99¹.

Вміст золи A^r в паливі та горючих речовин у шлаку $\Gamma_{шл}$ і викидах твердих частинок $\Gamma_{вин}$ визначається технічним аналізом палива (ГОСТ 27313—95), а також шлаку та твердих

¹ Викиди парникових газів. Підприємства Міненерго України. 1990 та 1999 роки. Ініціатива з питань зміни клімату, 2000 – 62 стор.

частинок, які виходять з енергетичної установки. Частка золи $a_{\text{вин}}$, яка виноситься з енергетичної установки у вигляді леткої золи, залежить від технології спалювання палива. Вона визначається для енергетичної установки за паспортними даними та при проведенні її випробувань. За відсутності такої інформації значення $a_{\text{вин}}$ визначаються за даними таблиці Д.1 (додаток Д).

Під час спалювання 1 кг робочої маси палива з урахуванням механічного недопалювання питомий об'єм сухих димових газів $v_{\text{дг}}^{\circ}$, $\text{нм}^3/\text{кг}$ (за відсутності в них кисню) визначається за формулою¹⁾.

$$v_{\text{дг}}^{\circ} = 0,01(1,866C^{\text{взг}} + 0,7S^r + 0,8N^r) + v_{\text{N}_2\text{пов}}, \quad (\text{A.3})$$

де $C^{\text{взг}}$ – масовий вміст вуглецю палива, що згорів, на робочу масу, %;

S^r – масовий вміст сірки в паливі на робочу масу, %;

N^r – масовий вміст азоту в паливі на робочу масу, %;

$v_{\text{N}_2\text{пов}}$ – питомий об'єм азоту повітря, необхідного для горіння палива, $\text{нм}^3/\text{кг}$.

Питомий об'єм азоту $v_{\text{N}_2\text{пов}}$, $\text{нм}^3/\text{кг}$, в повітрі, яке необхідне для спалювання палива, визначається за формулою

$$v_{\text{N}_2\text{пов}} = 3,762 v_{\text{O}_2}, \quad (\text{A.4})$$

де v_{O_2} – питомий об'єм кисню, необхідного для проходження стехіометричних реакцій окислення, $\text{нм}^3/\text{кг}$.

Питомий об'єм кисню v_{O_2} , $\text{нм}^3/\text{кг}$, необхідного для проходження стехіометричних реакцій окислення,

$$v_{\text{O}_2} = 0,01(1,866C^{\text{взг}} + 5,56H^r + 0,7S^r - 0,7O^r), \quad (\text{A.5})$$

де $C^{\text{взг}}$ – масовий вміст вуглецю палива, що згорів, на робочу масу, %;

H^r – масовий вміст водню в паливі на робочу масу, %;

S^r – масовий вміст сірки в паливі на робочу масу, %;

O^r – масовий вміст кисню в паливі на робочу масу, %.

Константи в рівняннях (A.3) – (A.5) є стереометричними множниками.

Густина сухих димових газів $\rho_{\text{дг}}^{\circ}$ визначається як відношення питомої маси сухих димових газів $m_{\text{дг}}^{\circ}$ до питомого об'єму сухих димових газів $v_{\text{дг}}^{\circ}$ (під час спалювання 1 кг робочої маси палива). Питома маса сухих димових газів $m_{\text{дг}}^{\circ}$ визначається за відсутності в них кисню та водяної пари, яка утворилася в результаті випарювання вологи палива та окислення водню.

¹ Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубровского, Э.С. Карасиной. – М.: Энергия, 1973. – 295 с.

Густина сухих димових газів $\rho_{\text{дг}}^{\circ}$, кг/нм³, визначається за формулою

$$\rho_{\text{дг}}^{\circ} = m_{\text{дг}}^{\circ} / v_{\text{дг}}^{\circ}, \quad (\text{A.6})$$

де $m_{\text{дг}}^{\circ}$ – питома маса сухих димових газів, кг/кг;

$v_{\text{дг}}^{\circ}$ – питомий об'єм сухих димових газів, нм³/кг.

Питома маса сухих димових газів $m_{\text{дг}}^{\circ}$, кг/кг, вираховується за формулою

$$m_{\text{дг}}^{\circ} = 0,01(3,664C^{\text{взг}} + 1,000N^r + 2,001S^r) + 4,702v_{\text{O}_2}, \quad (\text{A.7})$$

де $C^{\text{взг}}$ – масовий вміст вуглецю палива, що згоряє, на робочу масу, %;

N^r – масовий вміст азоту в паливі на робочу масу, %;

S^r – масовий вміст сірки в паливі на робочу масу, %;

v_{O_2} – питомий об'єм кисню, необхідного для проходження стехіометричних реакцій окислення, нм³/кг.

Одержане значення $v_{\text{дг}}^{\circ}$ за відсутності кисню в димових газах (коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1$) може бути приведене до стандартного вмісту кисню в димових газах, наприклад, до 6 %, за допомогою рівняння

$$v_{\text{дг}} = v_{\text{дг}}^{\circ} \frac{21}{21 - \text{O}_{2\text{ст}}} = v_{\text{дг}}^{\circ} \frac{21}{21 - 6} = 1,4v_{\text{дг}}^{\circ}, \quad (\text{A.8})$$

де $v_{\text{дг}}$ – питомий об'єм сухих димових газів, приведений до стандартного вмісту кисню в димових газах, нм³/кг;

$v_{\text{дг}}^{\circ}$ – питомий об'єм сухих димових газів при $\text{O}_2 = 0$ %, нм³/кг;

$\text{O}_{2\text{ст}}$ – стандартний об'ємний вміст кисню в сухих димових газах, %.

Специфічний (конкретний) показник емісії може визначатися як на основі характеристик палива, наприклад для твердих частинок та оксиду сірки, так і на основі вимірювань концентрацій забруднюючих речовин, наприклад, оксидів азоту і вуглецю, при проведенні режимних випробувань установки спалювання. Результати режимних випробувань мають бути документально підтверджені відповідними актами та узгоджені місцевим органом Мінприроди України.

Специфічний показник емісії j -ї забруднюючої речовини для конкретного джерела викиду розраховується через виміряну концентрацію за формулою¹²:

$$k_j = c'_j v_{\text{дг}} / Q_i^r = c'_j \frac{v_{\text{дг}}}{Q_i^r} f_n (1 - q_4 / 100), \quad (\text{A.9})$$

де k_j – показник емісії j -ї забруднюючої речовини, г/ГДж;

¹ Галузева методика розрахунку шкідливих викидів, які надходять від теплогенеруючих установок комунальної теплоенергетики України. Наказ Мінбуду України 16.03.2006 N 67.

² Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том I. Донецьк: УкрНТЕК, 2004. – 187 с

c_j – виміряна масова концентрація j -ї забруднюючої речовини в сухих димових газах, приведена до нормальних умов та стандартного вмісту кисню, мг/нм³;

f_n – ступінь зміни викиду забруднюючої речовини при зменшенні навантаження теплосилової установки (для оксидів азоту - див. розділ 5.3, для інших забруднюючих речовин f_n , як правило, дорівнює 1);

$v_{\text{дгн}}$ – питомий об'єм сухих димових газів при відсутності втрат тепла через його механічний недопал, приведений до стандартного вмісту кисню, нм³/кг;

$v_{\text{дг}}$ – питомий об'єм сухих димових газів, приведений до стандартного вмісту кисню, нм³/кг;

Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

q_4 – втрати тепла через механічний недопал палива, %.

При одночасному спільному спалюванні двох або більше видів палива виміряна масова концентрація, приведена до нормальних умов та стандартного вмісту кисню, відноситься до основного виду палива.

При невідомому масовому вмісті елементарних складових палива значення відношення $v_{\text{дгн}}/Q_i^r$ при 6% та 3% вмісті кисню у сухих димових газах береться з таблиці А.1 Додатка А.

Таблиця А.1 — Значення відношення $v_{\text{дгн}}/Q_i^r$ та коефіцієнтів полінома $v_{\text{дгн}}/Q_i^r = A + b Q_i^r$

Паливо	Марка	Вміст O ₂ у димових газах, %	$v_{\text{дгн}}/Q_i^r$	A	b
Вугілля	А	6	0.374	0,3989	-0.0012
	Т	6	0.365	0.3957	-0.0013
	Ж	6	0.366	0.3718	- 0.0003
	Г	6	0.366	0.3868	-0.0011
	(Л-В) Г	6	0.365	0.3789	- 0.0007
	Д	6	0.367	0.3899	-0.0012
	Б	6	0.427	0.5166	-0.0117
Лушпиння соняшникова		6	0.286		
Лушпиння рисове		6	0.245		
Відходи деревини (30% вологості)		6	0.257		
Мазут		6	0.353		
		3	0.292		
Дизельне паливо		6	0.340		
		3	0.283		
Природний газ		6	0.345	0.3689	-0.0007
		3	0.285	0.3097	- 0.0007
Коксовий газ		6	0.315		
		3	0.262		
Доменний газ		6	0.408		
		3	0.340		

Значення Q_i^r для твердого та рідкого палива вугілля потрібно підставляти у МДж/кг, а для газоподібного палива - у МДж/нм³.

Додаток Б Перерахунок характеристик газоподібного палива

(довідковий)

Для газоподібного палива, як правило, відомі його об'ємні характеристики:

- склад – метан (CH_4), етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), пентан (C_5H_{12}) та більш важкі вуглеводні, азот (N_2), сірководень (H_2S), оксид (CO) і діоксид (CO_2) вуглецю;
- теплота згоряння;
- об'ємна витрата;
- об'єм використаного палива за певний проміжок часу.

У методиці та додатку А для визначення величин викидів та питомого об'єму використовуються масові характеристики палива – масовий елементний склад, масова теплота згоряння, маса використаного палива. Тому для газоподібного палива об'ємні характеристики необхідно перерахувати в масові.

Питома маса кожного індивідуального газу в сухому стані газоподібного палива визначається за формулами:

$$m_{\text{CH}_4} = 0,716 \cdot 0,01(\text{CH}_4)_v, \quad (\text{Б.1})$$

$$m_{\text{C}_2\text{H}_6} = 1,342 \cdot 0,01(\text{C}_2\text{H}_6)_v, \quad (\text{Б.2})$$

$$m_{\text{C}_3\text{H}_8} = 1,967 \cdot 0,01(\text{C}_3\text{H}_8)_v, \quad (\text{Б.3})$$

$$m_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = 2,593 \cdot 0,01(\text{C}_4\text{H}_{10})_v, \quad (\text{Б.4})$$

$$m_{\text{C}_5\text{H}_{12}} = 3,219 \cdot 0,01(\text{C}_5\text{H}_{12})_v, \quad (\text{Б.5})$$

$$m_{\text{C}_6\text{H}_6} = 3,492 \cdot 0,01(\text{C}_6\text{H}_6)_v, \quad (\text{Б.6})$$

$$m_{\text{N}_2} = 1,250 \cdot 0,01(\text{N}_2)_v, \quad (\text{Б.7})$$

$$m_{\text{H}_2\text{S}} = 1,521 \cdot 0,01(\text{H}_2\text{S})_v, \quad (\text{Б.8})$$

$$m_{\text{CO}} = 1,250 \cdot 0,01(\text{CO})_v, \quad (\text{Б.9})$$

$$m_{\text{CO}_2} = 1,964 \cdot 0,01(\text{CO}_2)_v, \quad (\text{Б.10})$$

де m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм^3 сухого палива, кг/нм^3 ;

$(i)_v$ – об'ємний вміст i -го індивідуального газу, %.

Густина сухого газоподібного палива $\rho_{\text{н}}$, кг/нм^3 , при нормальних умовах визначається як сума питомих мас індивідуальних газів, що входять до складу палива,

$$\rho_{\text{н}} = \sum m_{\text{C}_p\text{H}_q} + m_{\text{N}_2} + m_{\text{H}_2\text{S}} + m_{\text{CO}} + m_{\text{CO}_2}, \quad (\text{Б.11})$$

де m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм^3 сухого палива при нормальних умовах, кг/нм^3 ;

$m_{\text{C}_p\text{H}_q}$ – питома маса вуглеводню C_pH_q , який складається з p атомів вуглецю та q атомів водню при нормальних умовах, кг/нм^3 .

Масовий елементний склад сухого газоподібного палива визначається за формулами:

$$C^{daf} = \frac{100}{\rho_H} \left(\sum \frac{12p}{12p+q} m_{CpHq} + 0,429m_{CO} + 0,273m_{CO_2} \right), \quad (Б.12)$$

$$H^{daf} = \frac{100}{\rho_H} \left(\sum \frac{q}{12p+q} m_{CpHq} + 0,059m_{H_2S} \right), \quad (Б.13)$$

$$N^{daf} = \frac{100}{\rho_H} m_{N_2}, \quad (Б.14)$$

$$S^{daf} = \frac{100}{\rho_H} (0,941m_{H_2S}), \quad (Б.15)$$

$$O^{daf} = \frac{100}{\rho_H} (0,571m_{CO} + 0,727m_{CO_2}), \quad (Б.16)$$

- де C^{daf} – масовий вміст вуглецю в паливі на горючу масу, %;
 H^{daf} – масовий вміст водню в паливі на горючу масу, %;
 N^{daf} – масовий вміст азоту в паливі на горючу масу, %;
 S^{daf} – масовий вміст сірки в паливі на горючу масу, %;
 O^{daf} – масовий вміст кисню в паливі на горючу масу, %;
 ρ_H – густина сухого газоподібного палива при нормальних умовах, кг/нм³;
 m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм³ сухого газоподібного палива, кг/нм³.

Для перерахунку об'ємної витрати газоподібного палива в масову використовують формулу

$$b = b_v \rho_H, \quad (Б.17)$$

- де b – масова витрата газоподібного палива, кг/с;
 b_v – об'ємна витрата газоподібного палива при нормальних умовах, нм³/с;
 ρ_H – густина газоподібного палива при нормальних умовах, кг/нм³.

Маса використаного газоподібного палива B , т, за проміжок часу P та масова теплота згоряння розраховуються за формулами:

$$B = B_v P, \quad (Б.18)$$

$$Q_i^r = Q_{iv}^r / \rho_H, \quad (Б.19)$$

- де B_v – об'єм використаного газоподібного палива за проміжок часу P при нормальних умовах, тис. нм³;
 Q_i^r – масова нижча теплота згоряння газоподібного палива, МДж/кг;
 Q_{iv}^r – об'ємна нижча теплота згоряння газоподібного палива при нормальних умовах, МДж/нм³;
 ρ_H – густина газоподібного палива при нормальних умовах, кг/нм³.

Додаток В Перерахунок характеристик палива (довідковий)

Складові та характеристики палива можуть бути перераховані на робочу (raw), суху (dry) масу (коли в паливі відсутня волога), суху беззолюну (dry ash-free) або горючу масу (коли в паливі відсутня негорюча частина – зола та волога).

У таблиці В.1 наведено множники перерахунку масового вмісту складових палива на робочу, суху або горючу масу.

Таблиця В.1 — Перерахунок масового вмісту складових палива

Маса	Початкове значення маси		
	робочої	Сухої	горючої
Робоча	1	$(100 - W^r)/100$	$(100 - W^r - A^r)/100$
Суха	$100/(100 - W^r)$	1	$(100 - A^d)/100$
Горюча	$100/(100 - W^r - A^r)$	$100/(100 - A^d)$	1

Примітка. W^r – масовий вміст води в паливі на робочу масу, %;

A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

A^d – масовий вміст золи в паливі на суху масу, %.

У таблиці В.2 наведено формули перерахунку нижчої робочої теплоти згоряння палива Q_i^r в нижчу суху теплоту згоряння палива Q_i^d та нижчу горючу теплоту згоряння палива Q_i^{daf} і навпаки.

Таблиця В.2 — Перерахунок теплоти згоряння палива

Теплота згоряння	Початкове значення маси		
	робочої	Сухої	горючої
Q_i^r	1	$Q_i^d \frac{100 - W^r}{100} - 0,025W^r$	$Q_i^{daf} \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 0,025W^r$
Q_i^d	$(Q_i^r + 0,025W^r) \frac{100}{100 - W^r}$	1	$Q_i^{daf} \frac{100 - A^d}{100}$
Q_i^{daf}	$(Q_i^r + 0,025W^r) \frac{100}{100 - W^r - A^r}$	$Q_i^d \frac{100}{100 - A^d}$	1

Примітка. Q_i^r – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

Q_i^d – нижча суха теплота згоряння палива, МДж/кг;

Q_i^{daf} – нижча горюча теплота згоряння палива, МДж/кг;

W^r – масовий вміст води в паливі на робочу масу, %;

A^r – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

A^d – масовий вміст золи в паливі на суху масу, %.

При неповному окисленні вуглецю палива в енергетичній установці величина Q_i^r фактично зменшується на величину енергії палива, що не догоріло, а саме:

$$Q_i^{r*} = Q_i^r - Q_C(1 - \varepsilon_C), \quad (\text{В.1})$$

де Q_i^{r*} – нижча теплота згоряння палива з урахуванням механічного недопалу, МДж/кг;

Q_i^r – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

Q_C – теплота згоряння вуглецю, МДж/кг, $Q_C = 32,657$ МДж/кг;

ε_C – ступінь окислення вуглецю палива (формула (А.2) додатка А).

Додаток Г Склад і характеристики різних видів органічного палива

(довідковий)

Тверде паливо

В таблиці Г.1 наведено орієнтовний елементний склад палива на горючу масу для найбільш поширених марок вугілля. Масовий елементний склад палива на робочу масу та нижча робоча теплота згоряння визначаються за даними таблиці Г.1, формулами перерахунку, наведеними у Додатку В, та даними технічного аналізу палива, зокрема, за інформацією про вміст вологи та золи у вугіллі (на робочу масу).

Таблиця Г.1 — Елементний склад вугілля (масовий вміст на горючу масу)¹⁾

Вугілля	C ^{daf} , %	H ^{daf} , %	S ^{daf} , %	O ^{daf} , %	N ^{daf} , %	V ^{daf} , %	Q _i ^{daf} , МДж/кг
Антрацитовий штиб АШ	93,5	1,8	2,4	1,5	0,8	4,0	33.24
Пісне вугілля ТР	89,0	4,2	3,3	2,1	1,5	12,0	34.29
Донецьке газове ГР	81,0	5,4	4,4	7,7	1,5	40,0	31.98
Донецьке довгополуменеве ДР	75,5	5,5	4,3	13,1	1,6	43,0	30.56
Львівсько-волинське (ЛВ) ГР	79,5	5,2	3,7	10,3	1,3	39,0	31.69
Олександрійське буре БІР	67,5	5,8	5,9	19,9	0,9	58,5	26.96

У таблиці Г.2 наведено інформацію про орієнтовний вміст основних важких металів у робочій масі вугілля родовищ України ²⁾³⁾.

Таблиця Г.2 — Вміст важких металів с_{вм} у енергетичному вугіллі, мг/кг

Вугілля	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Антрацитовий штиб АШ	20	0	47	29	0.28	26	20	0	40
Донецьке пісне ТР	20	0	47	29	0.20	26	18	0	40
Донецьке ГР	20	0	47	29	0.14	26	14	0	40
Донецьке довгополуменеве ДР	20	0	47	29	0.16	26	16	0	40
Львівсько-Волинське (ЛВ) ГР	20	0	47	29	0.16	26	16	0	40
Олександрійське буре БІР	20	0	47	29	0.16	26	14	0	40

Мазут

У таблиці Г.3 наведено орієнтовні дані характеристик основних марок мазуту, які використовуються в енергетиці¹⁾.

¹⁾ Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ): Справочник / Под ред. Т.А. Зикеева. – М.: Энергия, 1968

²⁾ Справочник по содержанию малых элементов в товарной продукции угледобывающих и углеобогатительных предприятий Донецкого бассейна. – Днепропетровск, 1994. – 187 с.

³⁾ Какарека С.В., Хомич В.С. и др. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей – Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси. 1998. - 156 с.

Таблиця Г.3 — Склад енергетичних мазутів

Показники	Марка мазуту				
	високосірчистого			малосірчистого	
	40	100	200	40	100
Середні:					
$S^{daf}, \%$	2,50	2,70	3,00	0,40	0,40
$C^{daf}, \%$	85,50	85,70	85,90	87,50	87,50
$H^{daf}, \%$	11,20	10,60	10,20	11,50	11,10
$(O + N)^{daf}, \%$	0,80	1,00	0,90	0,60	1,00
$Q^{daf}, \text{МДж/кг}$	40,40	40,03	39,77	41,24	40,82
Граничні:					
$A^d, \%$	0,15	0,15	0,30	0,15	0,15
Мазутна зола (V_2O_5), мг/кг	600	600	1200	600	600
$W^r, \%$	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00

Природний газ

У таблиці Г.4 наведено орієнтовний склад (об'ємні частки в сухому газі, %), теплоту згоряння та густину природного газу, який постачається з двох газопроводів: Уренгой – Ужгород та Середня Азія – Центр¹.

Таблиця Г.4 — Характеристики природного газу для різних газопроводів

Газопровід	$CH_4, \%$	$C_2H_6, \%$	$C_3H_8, \%$	$C_4H_{10}, \%$	$C_5H_{12}, \%$	$CO_2, \%$	$N_2, \%$	$H_2S, \%$	$Q_i^d, \text{МДж/нм}^3$	$\rho_n, \text{кг/нм}^3$
Уренгой—Ужгород	98.90	0.12	0.011	0.01	0.00	0.06	0.90	0.00	33.08	0.723
Середня Азія—Центр	94.29	2.80	0.73	0.15	0.03	1.00	1.00	0.00	34.21	0.764

Штучні пальні гази

У таблиці Г.5 наведено орієнтовний склад (об'ємні частки в сухому газі, %), теплоту згоряння та густину штучних пальних газів

Таблиця Г.5 — Характеристики штучних пальних газів²

Газ	$CO_2, \%$	$H_2, \%$	$CH_4, \%$	$C_mH_n, \%$	$H_2S, \%$	$CO_2, \%$	$O_2, \%$	$N_2, \%$	$Q_i^d, \text{МДж/нм}^3$	$\rho_n, \text{кг/нм}^3$
Доменний	28	2.7	0.3	-	0.3	10.5	-	58.5	3.94	1.296
Коксовий	6.8	57.5	22.5	1.9	0.4	2.3	0.8	7.8	16.61	0.483

¹ Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, мазут и горючий природный газ): Справочник / В.С. Вдовченко, М.И. Мартынова, Н.В. Новицкий, Г.Д. Юшина. – М.: Энергоатомиздат, 1991- 184 с.

² Теплотехнический справочник под ред.В.Н. Юренина и П.Д. Лебедева. - М., «Энергия», 1976. - т.1, с. 137, табл.4-8.

Деякі види палива

У таблиці Г.6 наведено орієнтовний масовий елементний склад (%) та нижча робоча теплота згоряння деяких видів палива

Таблиця Г.6 — Склад деяких видів палива^{1,2}

Паливо	C ^r , %	H ^r , %	S ^r , %	O ^r , %	N ^r , %	A ^r , %	W ^r , %	Q _i ^r , МДж/кг
Дизельне паливо	86,7	12,6	0,2	0,3	0,1	0,01	0,09	42,62
Солома*	42,7	5,3	0,1	36,9	0,5	4,5	10	15,7
	37,7	5	0,16	37,3	0,35	4,5	15	13,5
Лушпиння соняшника	42,5	4,9	0,2	34,6	0,4	2,4	15	15,4
Лушпиння гречки	45,86	6	0,14	44,9	0,7	1,27	1,12	16,8
Лушпиння рису	36,2	3,9	0,1	32,2	0,3	19,5	7,8	13,31
Шрот ріпаку	42	6,63	0,85	35,65	0,57	4,3	10	17,25
Лушпиння сої	45	3,8	0,2	38	0,5	3,2	9,3	14,8
Відходи деревини (в т.ч. дрова, тріска та ін.)*	34,6	4,2	0	30,1	0,4	0,7	30	12,3
	30,3	3,6	0	25,1	0,4	0,6	40	10,22
Торф	24,7	2,6	0,1	15,2	1,1	6,3	50	8,12

* - в залежності від вологості W^r

¹ Роддатис К.Ф. Котельные установки. Учеб. пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов. М.:Энергия, 1977. 432 с.

² «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Практичний посібник/За ред. Г. Гелетуки. – К.: «Поліграф плюс», 2016. – 74 с.

Додаток Д Параметри установок очищення димових газів

(рекомендований)

В таблицях Д.1–Д.8 наведено орієнтовні значення величин для визначення зменшення викидів забруднювальних речовин залежно від виду палива та технології спалювання.

Таблиця Д.1 — Частка леткої золи $a_{\text{вин}}$ при різних технологіях спалювання палива¹⁾

Котел	Вугілля	Мазут
З твердим (сухим) шлаковидаленням	0,95	1,00
Відкрита топка з рідким шлаковидаленням	0,80	1,00
Напіввідкрита топка з рідким шлаковидаленням	0,70	1,00
Двокамерна топка:	0,55	1,00
з вертикальним передтопком	0,30	1,00
горизонтальна циклонна	0,15	1,00
З циркулюючим киплячим шаром	0,50	—
З бульбашковим киплячим шаром	0,20	—
З нерухомим шаром	0,15	—

Таблиця Д.1-а — Значення параметру $a_{\text{вин}}/(100 - G_{\text{вин}})$ для котлів малої потужності^{1 2)}

Тип топки	Паливо	$a_{\text{вин}}/(100 - G_{\text{вин}})$
З нерухомою решіткою і ручним закиданням палива	Буре та кам'яне вугілля	0,0023
	Антрацит АС і АМ	0,003
	Антрацит АРШ	0,0078
З пневмо-механічними накидачами і нерухомою решіткою	Буре та кам'яне вугілля	0,0026
	Антрацит АРШ	0,0088
З ланцюговою решіткою прямого ходу	Антрацит АС і АМ	0,002
З накидачами і ланцюговою решіткою	Буре та кам'яне вугілля	0,0035
Шахтна	Твердне паливо	0,0019
Шахтно-ланцюгова	Торф кусковий	0,0019
Похило-перештовхувальна	Сланці	0,0025
Шарові побутових теплогенераторів	Дрова	0,005
	Буре вугілля	0,0011
	Кам'яне вугілля	0,011
Камерна топка парового та водогрійного котла	Антрацит, пісне вугілля	0,01
	Мазут	
Камерна топка побутового теплогенератора	Легке пічне паливо	0,01

¹⁾ Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.П. Дубровского, Э.С. Карасиной. - М.: Энергия, 1973. - 295 с.; Тепловые и атомные электрические станции Справочник/ Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина.- М.: Энергоиздат, 1982 - 624 с — (Теплотехника теплоэнергетика).

²⁾ Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 184 с.

Таблиця Д.2 — Ефективність зв'язування оксидів сірки золю або сорбентом у топці

Технологія спалювання	η_1	Примітка
Факельне спалювання вугілля в котлах з рідким шлаковидаленням	0,05	Зв'язування золю палива
Факельне спалювання вугілля в котлах з твердим шлаковидаленням	0,10	Те саме
Факельне спалювання мазуту в котлах	0,02	“
Спалювання в киплячому шарі	0,95	Зв'язування сорбентом у котлі при мольному відношенні $\text{Ca/S } m = 2,5$

Таблиця Д.3 — Ефективність та коефіцієнт роботи сіркоочисної установки¹.

Технологія десульфуризації димових газів	Параметри сіркоочисної установки	
	η_{II}	β
1	2	3
Мокре очищення – у скрубєрі з використанням вапняку (вапна) або доломіту з одержанням гіпсу	0,95	0,99
Мокре очищення – процес Веллмана—Лорда з використанням солей натрію	0,97	0,99
Мокре очищення – процес Вальтера з використанням аміачної води	0,88	0,99
Напівсухе очищення – розпилення крапель суспензії або розчину сорбенту в реакторі (технології ESOX, GSA, Niro Atomizer...)	0,90	0,99
Сухе очищення – інжекція сухого сорбенту (DSI)	0,45	0,98
Напівсухе очищення – процес LIFAC як розвиток процесу DSI з розпилом крапель води	0,80	0,98
Напівсухе очищення – процес Lurgi CFB (з використанням реактора циркулюючого киплячого шару) з розпилом крапель води	0,90	0,99
Сухе очищення – абсорбція активованим вугіллям	0,95	0,99
Каталітичне очищення від оксидів сірки і азоту (DESONOX, SNOX)	0,95	0,99

Таблиця Д.4 — Ефективність уловлювання оксидів сірки η_{II} під час золоочищення за допомогою мокрого скрубєра²

Приведений вміст сірки, %/(МДж/кг)	Лужність води на зрошення, мг-екв/дм ³		
	0	5	10
0,01	0,0250	0,1450	0,3000
0,02	0,0220	0,0850	0,1680
0,03	0,0195	0,0520	0,1010
0,04	0,0180	0,0390	0,0660
0,05	0,0175	0,0300	0,0520
0,06	0,0170	0,0260	0,0430
0,07	0,0165	0,0215	0,0350
0,08	0,0160	0,0200	0,0300
0,09	0,0155	0,0190	0,0275
0,10	0,0150	0,0180	0,0230
0,11	0,0145	0,0170	0,0205
0,12	0,0135	0,0160	0,0200
0,13	0,0130	0,0150	0,0185
0,18	0,0120	0,0120	0,0120

¹ Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних виробництв промисловості та сільського господарства. — Київ: Мінекоресурсів України, 2001”

² Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубровского, Э.С. Карасиной. - М.: Энергия, 1973. - 295 с.

Таблиця Д.5 — Показник емісії оксидів азоту без урахування первинних заходів, г/ГДж

Технологія спалювання	Вид палива	Показник емісії, г/ГДж
Факельне спалювання		
Теплова потужність > 300 МВт		
з рідким шлаковидаленням	антрацит	420
	кам'яне вугілля	250
з твердим шлаковидаленням	кам'яне вугілля	230
	мазут	200
	природний газ	150
Теплова потужність < 300 МВт		
з рідким шлаковидаленням з рідким шлаковидаленням з твердим шлаковидаленням	антрацит	250
	кам'яне вугілля	180
	кам'яне вугілля	160
з горизонтальною циклонною топкою для кам'яного вугілля	кам'яне вугілля	480
	мазут	140
	природний газ	100
Циркулюючий киплячий шар	тверде паливо	70
Киплячий шар під тиском	тверде паливо	100
Камера згоряння газової турбіни	газотурбінне	150
	природний газ	120
Стационарний двигун¹	дизельне паливо	1000
	бензин	1000
Нерухомий шар¹	тверде паливо	100
	відходи деревини	200
	солома	88
	лушпиння соняшника	88
Камерне спалювання¹	кокосовий газ	150
	доменний газ	100
Котли малої потужності²		
10 – 50 МВт	кам'яне та буре вугілля	260
	антрацит	150
	природний газ, мазут	95
1,0 – 10 МВт	кам'яне та буре вугілля	230
	антрацит	125
	природний газ, мазут	90
0,1 – 1,0 МВт	кам'яне та буре вугілля	175
	антрацит	90
	природний газ, мазут	85
менше 0,1 МВт	кам'яне та буре вугілля	120
	антрацит	70
	природний газ, мазут	70

Таблиця Д.6 — Значення емпіричного коефіцієнта z

Теплова потужність (паропродуктивність) котельної установки	Тверде паливо	Природний газ, мазут
Паровий котел 140 МВт і вище (200 т/год і вище)	1,15	1,25
Паровий котел від 22 до 140 МВт (від 30 до 200 т/год)	1,15	1,25
Водогрійний котел	1,15	1,25

¹ CORINAIR Инвентаризация атмосферных выбросов в Европе; IPCC; Руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/ЕАОС 2013

² Сборник методик по расчёту выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. - Л, Гидрометеиздат, 1986. - 184 с.

Таблиця Д.7 — Ефективність первинних заходів η_I скорочення викиду NO_x ¹⁾.

Тип первинних заходів	Ефективність η_I
Малотоксичні пальники	0,20
Ступенева подача повітря	0,30
Подача третинного повітря	0,20
Рециркуляція димових газів	0,10
Трьохступенева подача повітря та палива	0,35
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря	0,45
Малотоксичні пальники + подача третинного повітря	0,40
Малотоксичні пальники + рециркуляція димових газів	0,30
Ступенева подача повітря + подача третинного повітря	0,45
Ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів	0,40
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + рециркуляція димових газів	0,50
Малотоксичні пальники + ступенева подача повітря + подача третинного повітря	0,60

Таблиця Д.8 — Ефективність та коефіцієнт роботи азотоочисної установки NO_x ¹⁾

Технологія очищення димових газів від NO_x	Ефективність η_{II}	Коефіцієнт роботи β
Селективне некаталітичне відновлення (СНКВ)	0,50	0,99
Селективне каталітичне відновлення (СКВ)	0,80	0,99
Активоване вугілля	0,70	0,99
DESONOX – SNOX	0,95	0,99

Примітка. Технологія DESONOX і її різновид SNOX базуються на каталітичному очищенні димових газів одночасно від оксидів сірки та азоту.

Таблиця Д.9 — Коефіцієнт збагачення важких металів після золоуловлювача¹²

	Ступінь уловлення			
	$\eta \leq 0,7$	$0,7 < \eta \leq 0,97$	$0,97 < \eta \leq 0,99$	$\eta > 0,99$
Арсен (As)	1,0	$= 3,70 \cdot \eta - 1,59$	$= 175 \cdot \eta - 167,75$	5,5
Кадмій (Cd)	1,0	$= 7,04 \cdot \eta - 3,93$	$= 205 \cdot \eta - 195,55$	7,0
Хром (Cr)	1,0	1,0	1,0	1,0
Мідь (Cu)	1,0	$= 0,37 \cdot \eta + 0,74$	$= 60 \cdot \eta - 57,10$	2,3
Ртуть (Hg)	1,0	1,0	1,0	1,0
Нікель (Ni)	1,0	$= 1,48 \cdot \eta - 0,04$	$= 95 \cdot \eta - 90,75$	3,3
Свинець (Pb)	1,0	$= 5,56 \cdot \eta - 2,89$	$= 175 \cdot \eta - 167,25$	6,0
Селен (Se)	1,0	$= 7,78 \cdot \eta - 4,44$	$= 220 \cdot \eta - 210,30$	7,5
Цинк (Zn)	1,0	$= 7,04 \cdot \eta - 3,93$	$= 205 \cdot \eta - 195,55$	7,0

¹ Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних виробництв промисловості та сільського господарства. Київ: Мінекоресурсів України, 2001

² Какарека С.В., Хомич В.С. и др. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей – Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси. 1998. - 156 с.

Таблиця Д.9-а-Коефіцієнт збагачення золи важкими металами при різних ступені золоуловлювання¹

Коефіцієнт золоуловлювання	Важкий метал					
	Нікель (Ni)	Мідь (Cu)	Цинк (Zn)	Ртуть (Hg)	Свинець (Pb)	Кадмій (Cd)
≤0.7	1	3	1	1	1	3
0.7 < η < 0.9	1.1	1	2.3	1	2	2.3
0.9 < η < 0.97	1.4	1.1	2.9	1	2.5	2.9
0.97 < η < 0.99	3.3	2.3	7	1	6	7

Таблиця Д.10 — Частка газоподібної фракції важкого металу при спалюванні вугілля²

Важкий метал	Частка газоподібної фракції
Арсен (As)	0,005
Ртуть (Hg)	0,900
Селен (Se)	0,150
Інші	0

Таблиця Д.11—Ефективність уловлювання газоподібної фракції важкого металу золоуловлювальною установкою під час спалювання твердого палива²⁾³

Золоуловлювальна установка	Ефективність
Тканинний фільтр	0,9
Електростатичний фільтр	0,35
Мокрий скруббер	0,09
Інші	0

Таблиця Д.12—Значення частки ванадію, яка осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву котлів

Котел	Значення
З проміжними пароперегрівачами, очищення поверхонь яких провадиться під час зупинки	0,07
Без проміжних пароперегрівачів (за тих самих умов очищення)	0,05

Таблиця Д.13—Значення емпіричного коефіцієнта f_v для розрахунку ефективності уловлювання ванадію золоуловлювальною установкою, формула (17)

Золоуловлювальна установка	Емпіричний коефіцієнт
Електростатичний фільтр	0,6
Мокрий скруббер	0,5
Батарейний циклон	0,4

¹ Какарека С.В., Хомич В.С. и др. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу: Опыт оценки удельных показателей — Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси. 1998. - 156 с.

² Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних виробництв промисловості та сільського господарства. Київ: Мінекоресурсів України, 2001

³ Лист Виконавчого органу з Конвенції про трансграничне забруднення повітря на великі відстані ЕВ.AIR/WG.5/2002/6 від 04 липня 2002 р. "Боротьба з викидами ртуті з котлоагрегатів підприємств, які працюють на вугіллі"

Емпірична формула розрахунку ефективності очищення димових газів від мазутної золи (у перерахунку на ванадій) $\eta_{zy(V)}$ в газомазутних котлах батарейними циклонами, які спеціально застосовуються для цього, що діє в діапазоні значень ефективності пилоочищення циклону 0,65...0,85:

$$\eta_{zy(V)} = 3,1277 \eta_{zy}^2 - 1,4948 \eta_{zy} - 0,1412, \quad (Д.1)$$

де $\eta_{zy(V)}$ – ефективність очищення димових газів від мазутної золи;

η_{zy} – ефективність очищення димових газів від твердих частинок (6.1).

Таблиця Д.14—Показник емісії важкого металу під час спалювання природного газу (без урахування золоуловлювальної установки)¹

Важкий метал	Показник емісії, г/ГДж
Ртуть (Hg)	$1 \cdot 10^{-4}$
Інші	0

¹ Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від основних виробництв промисловості та сільського господарства. — Київ: Мінекоресурсів України, 2001.

Додаток Е Показники емісії CO, вуглецю палива, N₂O, CH₄ і НМЛОС

(рекомендований)

В таблицях Е.1–Е.5 наведено значення показників емісії оксиду вуглецю (CO), вуглецю палива, оксиду діазоту (N₂O), метану (CH₄) та неметанових летких органічних сполук (НМЛОС) залежно від виду палива та технології спалювання.

Таблиця Е.1— Узагальнені показники емісії оксиду вуглецю k_{CO} для установок різної потужності, г/ГДж (при відсутності механічного недопалу палива)

Теплова потужність	Технологія спалювання	Вид палива	Показник емісії, г/ГДж
> 50 МВт ¹	Факельне спалювання		
	з рідким шлаковидаленням	вугілля	11,4
	з твердим шлаковидаленням	вугілля	11,4
		мазут	15
		природний газ	17
	Киплячий шар	тверде паливо	9,7
	Камера згоряння газової турбіни	газотурбінне	15
		природний газ	15
	Стационарний двигун	газоподібне паливо	15
		рідке паливо	40
	Нерухомий шар	відходи деревини	195
		солома	120
		лушпиння соняшника	120
< 50 МВт ²	Шарове спалювання		
	Топка з нерухомою решіткою та ручним закиданням палива	буре та кам'яне вугілля	1900
		антрацит АС, АМ	900
		антрацит АРШ	800
	Топка з пневматичними накидачами і нерухомою решіткою	буре та кам'яне вугілля	700
		антрацит АРШ	600
	Топка з ланцюговою решіткою прямого ходу	антрацит АС, АМ	400
	Топка з накидачами і ланцюговою	буре та кам'яне вугілля	700
	Шахтна топка	тверде паливо	2000
	Шахтно-ланцюгова топка	торф	1000
	Похило-перештовхувальна топка	сланці	2900
	Топка побутового теплогенератора	дрова	14000
		буре вугілля	16000
		кам'яне вугілля	7000
		антрацит, пісне вугілля	3000
	Факельне спалювання		
	Парові та водогрійні котли	мазут	320
		газ природний, попутний і коксовий	250
		газ доменний	150
	Побутові теплогенератори	газ природний	80
		легке рідке (пічне) паливо	160

¹ CORINAIR Инвентаризация атмосферных выбросов в Европе; IPPC; Руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/ЕАОС 2013

² Сборник методик по расчёту выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. 184с.

Таблиця Е.2—Показник емісії вуглецю для різних видів палива k_c , г/ГДж

Паливо	Значення
Вугілля ¹ :	
Антрацит	28 160
Пісче	26 050
газове та довгополуменеве	25 180
Буре	25 630
Мазут ¹⁾	21 100
Природний газ ¹⁾	15 300
Коксовий газ ²⁾	13 000
Доменний газ ²⁾	66 000
Солома ²⁾	27 200
Відходи деревини ²⁾	28 130

Таблиця Е.3—Показник емісії оксиду діазоту N_2O , г/ГДж¹

Технологія і паливо	Значення
Вугілля (факельне спалювання)	1,4
Вугілля (киплячий шар)	56
Вугілля (нерухомий шар)	1,4
Мазут	0,6
Природний газ	0,1
Камера згоряння газової турбіни	2,5

Таблиця Е.3а— Показник емісії оксиду діазоту N_2O для деяких видів палива, г/ГДж³

Технологія і паливо	Значення
Нерухомий шар	
Солома	5
Лушпиння соняшника	5
Відходи деревини	4
Камерне спалювання	
Газ коксовий	2
Газ доменний	2

Таблиця Е.4—Показник емісії метану CH_4 для різних видів палива, г/ГДж¹⁾³⁾

Паливо	Значення
Вугілля	1,0
Мазут	3,0
Природний газ	1,0
Коксовий газ	1,0
Доменний газ	1,0
Солома	9
Відходи деревини	5

¹ Викиди парникових газів. Підприємства Міністерства України. 1990 та 1999 роки. Ініціатива з питань зміни клімату, 2000 – 62 стор. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

² Розраховано за складом палива (таблиця Г.6) по формулі (21)

³ CORINAIR Инвентаризация атмосферных выбросов в Европе; IPPC; Руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/ЕАОС 2013

Таблиця Е.5 - Показник емісії НМЛОС, г/ГДж¹

Технологія і паливо	Значення
Потужність > 50 МВт	
Вугілля (факельне спалювання)	16
Вугілля (нерухомий шар)	50
Мазут	10
Природний газ	5
Потужність < 50 МВт	
Вугілля (факельне спалювання)	600
Стационарний двигун:	
Мазут	50
Природний газ	200
Нерухомий шар	
Солома	50
Відходи деревини	45

¹ CORINAIR Инвентаризация атмосферных выбросов в Европе; IPPC; Руководство по инвентаризации выбросов ЕМЕП/ЕАОС 2013

Додаток Ж Визначення теплової потужності котельної установки

(довідковий)

У додатку наведено формули розрахунку теплової потужності для різних типів котельних установок.

Для парових котлів тепла потужність Q залежить від паропроодуктивності D_0 , параметрів пари та інших характеристик котла.

Формула розрахунку теплової потужності парового котла Q , МВт, на основі даних про його паропроодуктивність має вигляд

$$Q = D_0 \frac{1}{w}, \quad (\text{Ж.1})$$

де D_0 – паропроодуктивність парового котла, т/год;

w – відношення паропроодуктивності до теплової потужності котла, т/(год·МВт).

Значення відношення паропроодуктивності котла D_0 до його теплової потужності Q наведено в таблиці Ж.1

Таблиця Ж.1—Значення відношення паропроодуктивності котла до його теплової потужності

Обладнання	Значення
Котел з тиском свіжої пари p_0 (13,8 МПа (при $D_0 \geq 500$ т/год) з проміжним перегрівом	1,35
Котел з тиском пари в межах: $9,8 \text{ МПа} \leq p_0 \leq 13,8 \text{ МПа}$ (при $D_0 < 500$ т/год) без проміжного перегріву	1,45
Котел з тиском пари в межах: $1,4 \text{ МПа} < p_0 < 9,8 \text{ МПа}$ (при $D_0 = 6,5 \dots 75$ т/год для перегрітої пари) без проміжного перегріву	1,35
Котел з тиском пари $p_0 \leq 1,4 \text{ МПа}$ (при $D_0 \leq 20$ т/год для насиченої пари) без проміжного перегріву	1,50

Для водогрійних котлів формула переведення теплової потужності з Гкал/год в МВт(т) має вигляд

$$Q = N \frac{4,1867}{3,6} = 1,163N, \quad (\text{Ж.2})$$

де Q – тепла потужність водогрійного котла, МВт;

N – тепла потужність водогрійного котла, Гкал/год.

Додаток И Приклади розрахунків

(довідковий)

Загальні дані

Розглядається енергоблок з котлом, призначеним для факельного спалювання вугілля з високим вмістом летких, типу газового або довгополуменового, з рідким шлаковидаленням. Номінальна паропроодуктивність котла енергоблока становить 950 т/год, а середня фактична паропроодуктивність – 760 т/год. На ньому застосовується ступенева подача повітря та рециркуляція димових газів. Пароперегрівачі котла очищуються при зупинці блока. Для уловлювання твердих частинок використовується електростатичний фільтр типу ЕГА з ефективністю золовловлення 0,985. Установки для очищення димових газів від оксидів азоту та сірки відсутні. За звітний період використовувалось таке паливо:

- донецьке газове вугілля марки ГР — 1 096 363 т;
- високосірчистий мазут марки 40 — 70 945 т;
- природний газ із газопроводу Уренгой-Ужгород — 84 762 тис. м³.

За даними елементного та технічного аналізу склад робочої маси вугілля такий, %:

вуглець (C ^r)	—	52,49;
водень (H ^r)	—	3,50;
кисень (O ^r)	—	4,99;
азот (N ^r)	—	0,97;
сірка (S ^r)	—	2,85;
зола (A ^r)	—	25,20;
волога (W ^r)	—	10,00;
леткі речовини (V ^r)	—	25,92.

Нижча теплота згоряння робочої маси вугілля становить 20,47 МДж/кг. Технічний аналіз уловленої золи та шлаку показав, що масовий вміст горючих речовин у леткій золі $\Gamma_{\text{вин}}$ дорівнює 1,5 %, а в шлаці $\Gamma_{\text{шл}}$ – 0,5 %.

За даними таблиці Г.3 (додаток Г) склад горючої маси мазуту такий, %:

вуглець	—	85,50;
водень	—	11,20;
кисень та азот	—	0,80;
сірка	—	2,50.

Нижча теплота згоряння горючої маси мазуту дорівнює 40,40 МДж/кг, вологість робочої маси палива — 2,00 %, зольність сухої маси — 0,15 %, вміст ванадію (V) — 333,3 мг/кг (= 2222 × 0,15).

За даними таблиці Г.3 (додаток Г) об'ємний склад сухої маси природного газу становить, %:

метан (CH ₄)	—	98,90;
етан (C ₂ H ₆)	—	0,12;
пропан (C ₃ H ₈)	—	0,011;
бутан (C ₄ H ₁₀)	—	0,01;
вуглекислий газ (CO ₂)	—	0,06;
азот (N ₂)	—	0,90.

Об'ємна нижча теплота згоряння газу дорівнює 33,08 МДж/м³, густина – 0,723 кг/м³ при нормальних умовах.

Перерахована теплова потужність при номінальній паропроductивності 950 т/год становить $950/1,35 = 704$ МВт (додаток Ж) при середній фактичній паропроductивності 760 т/год – $760/1,35 = 563$ МВт.

Викиди під час спалювання вугілля

При використанні вугілля потрібно розраховувати викиди оксидів азоту, сірки і вуглецю, твердих частинок та важких металів, а також N₂O та CH₄.

Валовий викид оксидів азоту

Узагальнений показник емісії оксидів азоту k_{NOx} розраховується за формулою (12):

$$k_{NOx} = (k_{NOx})_0 f_n (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II} \beta), \text{ г/ГДж.}$$

Показник емісії оксидів азоту кам'яного вугілля без урахування заходів зі зменшення викидів $(k_{NOx})_0$ становить 250 г/ГДж (таблиця Д.5 додатка Д). Як видно з таблиці Д.6 (додаток Д), відповідний емпіричний коефіцієнт для розрахунку ступеня зниження викиду NO_x під час роботи на низькому навантаженні $z = 1,15$. Відповідно до початкових даних та згідно з таблицею Д.7 додатка Д ефективність первинних заходів зі зменшення викиду оксидів азоту η_I становить 0,40. Азотоочисної установки на енергетичній установці немає, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{NOx} оксидів азоту

$$k_{NOx} = 250 \cdot (563 / 704)^{1,15} \cdot (1 - 0,40) = 116 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид

$$E_{NOx} = 10^{-6} k_{NOx} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 116 \cdot 20,47 \cdot 1\,096\,363 = 2604 \text{ т.}$$

Валовий викид сірчистого ангідриду

Показник емісії оксидів сірки (у перерахунку на діоксид сірки SO₂), які надходять у атмосферу з димовими газами за проміжок часу P , є специфічним і розраховується за формулою (11):

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II} \beta), \text{ г/ГДж.}$$

Ефективність зв'язування оксидів сірки золою або сорбентом у енергетичній установці η_I (таблиця Д.2 додатка Д) становить 0,05. Сірчоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{SO_2} оксиду сірки

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{20,47} \cdot \frac{2 \cdot 2,85}{100} (1 - 0,05) = 2646 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид

$$E_{SO_2} = 10^{-6} k_{SO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 2646 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 59393 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними таблиці Е.1 додатка Е показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 11,4 г/ГДж. Тоді за формулою (7) валовий викид оксиду вуглецю E_{CO}

$$E_{CO} = 10^{-6} k_{CO} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 11,4 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 256 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу при спалюванні органічного палива визначається за формулою (20)

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c, \text{ г/ГДж.}$$

У цьому прикладі при рідкому шлаковидаленні частка золи, яка видаляється у вигляді леткої золи $a_{вин}$ становить 0,8 (таблиця Д.1 додатка Д). У котлі відбувається неповне згоряння палива, у першу чергу через механічний недопал. Ступінь окислення вуглецю для робочої маси палива ε_c в енергетичній установці розраховується за формулою (А.2):

$$\varepsilon_c = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left(a_{вин} \frac{\Gamma_{вин}}{100 - \Gamma_{вин}} + (1 - a_{вин}) \frac{\Gamma_{шл}}{100 - \Gamma_{шл}} \right),$$

$$\varepsilon_c = 1 - \frac{25,20}{52,49} \left(0,80 \frac{1,50}{100 - 1,50} + (1 - 0,80) \frac{0,50}{100 - 0,50} \right) = 0,994.$$

Показник емісії вуглекислого газу

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{52,49}{100} \cdot \frac{10^6}{20,47} \cdot 0,994 = 93409 \text{ г/ГДж}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид

$$E_{CO_2} = 10^{-6} k_{CO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 93409 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 2096657 \text{ т.}$$

Валовий викид твердих частинок

Показник емісії твердих частинок визначається як специфічний і розраховується за формулою (8):

$$k_{тв} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{вин} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{вин}} (1 - \eta_{zy}) + k_{твS}.$$

Сіркоочисна установка відсутня, тому викиду твердих частинок сорбенту та продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки немає. Ефективність золоуловлювальної установки η_{zy} за даними останніх випробувань становить 0,985. Показник емісії твердих частинок

$$k_{тв} = \frac{10^6}{20,47} \cdot 0,8 \cdot \frac{25,20}{100 - 1,5} (1 - 0,985) = 150 \text{ г/ГДж.}$$

За формулою (7) валовий викид

$$E_{тв} = 10^{-6} k_{тв} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 150 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 3366 \text{ т.}$$

Валовий викид важких металів

За даними таблиці Г.2 додатка Г вміст важких металів у робочій масі вугілля становить, мг/кг:

свинець (Pb) – 14;

ртуть (Hg) – 0,14;

хром (Cr) – 47;

нікель (Ni) – 26;

мідь (Cu) – 29;

цинк (Zn) – 40;

арсен (As) – 20.

При спалюванні вугілля показник емісії важкого металу визначається за формулою (15):

$$k_{\text{вм}} = \frac{c_{\text{вм}}}{Q_i'} [a_{\text{вм}} f_{\text{зб}} (1 - \eta_{\text{зу}}) (1 - f_r) + f_r (1 - \eta_{\text{гзу}})], \text{ г/ГДж.}$$

З наявних у вугіллі важких металів ртуть і арсен частково виходять з палива в газоподібному вигляді. За даними таблиці Д.9 додатка Д ця частка становить 0,9 (для Hg) і 0,005 (для As). Для решти важких металів вона дорівнює нулю. Ефективність уловлювання в золоуловлювальній установці газоподібної ртуті $\eta_{\text{зу}}$ дорівнює 0,35 (таблиця Д.13 додатка Д). За даними таблиці Д.9 (додаток Д) при ефективності золоуловлювача 0,985 коефіцієнт збагачення важких металів становить: арсен – 5,07, хром – 1,0, мідь – 2,06, ртуть – 1,0, нікель – 2,85, свинець – 5,00, цинк – 5,93. Результати розрахунків зведено в таблицю И.1.

Таблиця И.1 – Розраховані значення викидів важких металів

Важкий метал	As	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Показник емісії, г/ГДж	0,075	0,027	0,044	0,004	0,043	0,041	174
Валовий викид, т	1,723	0,619	0,991	0,090	0,974	0,928	3,913

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O під час спалювання вугілля розраховується за даними таблиці Е.3 (додаток Е) та формулою (7):

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-6} k_{\text{N}_2\text{O}} Q_i' B = 10^{-6} \cdot 1,4 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 31,4 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання вугілля розраховується за даними таблиці Е.4 (додаток Е) та формулою (7):

$$E_{\text{CH}_4} = 10^{-6} k_{\text{CH}_4} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 20,47 \cdot 1096363 = 22,4 \text{ т.}$$

Викиди під час спалювання мазуту

При використанні мазуту потрібно розрахувати викиди оксидів азоту, сірки і вуглецю, твердих частинок і мазутної золи (у перерахунку на ванадій або п'ятиоксид ванадію), а також N_2O та CH_4 .

Перерахунок характеристик мазуту

Для перерахунку складу палива на робочу масу застосовуються множники згідно з таблицею В.1 (додаток В). Склад робочої маси мазуту такий:

вуглець	$- 85,50 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 83,66 \text{ %};$
водень	$- 11,20 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 10,96 \text{ %};$
кисень та азот	$- 0,80 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 0,78 \text{ %};$
сірка	$- 2,50 \cdot (100 - 2,0 - 0,15)/100 = 2,45 \text{ %};$
зола	$- 0,15 \cdot (100 - 2,0)/100 = 0,15 \text{ %};$
ванадій (V)	$- 333,3 \cdot (100 - 2,0)/100 = 327,4 \text{ мг/кг.}$

Згідно з таблицею В.2 (додаток В) нижча теплота згоряння з горючої маси Q_i^{daf} на робочу Q_i^r перераховується за формулою

$$Q_i^r = Q_i^{daf} \frac{100 - W^r - A^r}{100} - 0,025 W^r = 40,40 \frac{100 - 2,0 - 0,147}{100} - 0,025 \cdot 2,0 = 39,48 \text{ МДж/кг.}$$

Валовий викид оксидів азоту

Показник емісії оксидів азоту $(k_{\text{NOx}})_0$ без урахування первинних заходів згідно з даними таблиці Д.5 (додаток Д) дорівнює 200 г/ГДж.

Відповідно до початкових даних і згідно з таблицею Д.5 (додаток Д) ефективність первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту η_I становить 0,40. Емпіричний коефіцієнт z дорівнює 1,25 (таблиця Д.6 додатка Д). Азотоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{NOx} оксидів азоту

$$k_{\text{NOx}} = 200 (563/704)^{1,25} (1 - 0,40)(1 - 0) = 90,8 \text{ г/ГДж.}$$

Валовий викид оксидів азоту E_{NOx} за звітний період дорівнює

$$E_{\text{NOx}} = 10^{-6} k_{\text{NOx}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 90,8 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 254 \text{ т.}$$

Викид сірчистого ангідриду

Показник емісії оксидів сірки (у перерахунку на діоксид сірки SO_2), які надходять в атмосферу з димовими газами за проміжок часу P , є специфічним і розраховується за формулою (11):

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta) \text{ г/ГДж.}$$

Ефективність зв'язування оксидів сірки η_I за даними таблиці Д.2 (додаток Д) становить 0,05, а ефективність уловлювання оксидів сірки разом з твердими частинками в

золоуловлювальній установці дорівнює нулю. Сірководистильна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії E_{SO_2} оксиду сірки

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{39,48} \cdot \frac{2 \cdot 2,45}{100} (1 - 0,05) = 1176 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид

$$E_{SO_2} = 10^{-6} k_{SO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 1176 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 3297 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними таблиці Е.1 (додаток Е) показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 15 г/ГДж. Тоді за формулою (7) валовий викид E_{CO} оксиду вуглецю

$$E_{CO} = 10^{-6} k_{CO} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 15 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 42,1 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу під час спалювання органічного палива визначається за формулою (19):

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c, \text{ г/ГДж.}$$

Ступінь окислення вуглецю ε_c під час спалювання мазуту в енергетичній установці за даними додатка А становить 0,99. Показник емісії вуглекислого газу

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{83,66}{100} \cdot \frac{10^6}{39,48} \cdot 0,99 = 76918 \text{ г/ГДж.}$$

За формулою (7) валовий викид

$$E_{CO_2} = 10^{-6} k_{CO_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 76918 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 215455 \text{ т.}$$

Валовий викид твердих частинок

Показник емісії твердих частинок визначається як специфічний і розраховується за формулою (8):

$$k_{тв} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{вин} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{вин}} (1 - \eta_{zy}) + k_{твS} \text{ г/ГДж.}$$

Сірководистильна установка відсутня, тому викиду твердих частинок сорбенту та продуктів взаємодії сорбенту та оксидів сірки немає. Масовий вміст горючих речовин у викиді твердих частинок $\Gamma_{вин}$ становить 0 %. Ефективність золоуловлювальної установки η_{zy} , за даними останніх випробувань, становить 0,985. Показник емісії твердих частинок

$$k_{тв} = \frac{10^6}{39,48} \cdot 1 \cdot \frac{0,15}{100 - 0} (1 - 0,985) = 0,57 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид

$$E_{тв} = 10^{-6} k_{тв} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 1,60 \text{ т.}$$

Валовий викид ванадію

Показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій розраховується за формулою (14):

$$k_v = \frac{c_v}{Q_i'} (1 - \eta_{oc}) (1 - \eta_{zy(v)}) \text{ г/ГДж.}$$

Частка ванадію η_{oc} , який осідає з твердими частинками на поверхнях нагріву, для котла з проміжними пароперегрівачами, очищення поверхонь яких провадиться під час зупинки, становить 0,07. Емпіричний коефіцієнт f_v для електростатичних фільтрів становить 0,6 (додаток Д). Ефективність уловлювання ванадію електрофільтром під час спільного спалювання вугілля та мазуту

$$\eta_{zy(v)} = 1 - \frac{1 - \eta_{zy}}{f_v} = 1 - \frac{1 - 0,985}{0,6} = 0,975.$$

Показник емісії мазутної золи в перерахунку на ванадій

$$k_v = \frac{327,4}{39,48} (1 - 0,07) (1 - 0,975) = 0,19 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид ванадію

$$E_v = 10^{-6} k_v Q_i' B = 10^{-6} \cdot 0,19 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 0,53 \text{ т.}$$

Показник емісії п'ятиоксиду ванадію за формулою (18)

$$k_{v_2O_5} = 1,8 k_v = 1,8 \cdot 0,19 = 0,34 \text{ г/ГДж.}$$

За формулою (7) валовий викид п'ятиоксиду ванадію

$$E_{v_2O_5} = 10^{-6} k_{v_2O_5} Q_i' B = 10^{-6} \cdot 0,34 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 0,95 \text{ т.}$$

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O під час спалювання мазуту розраховується за даними таблиці Е.3 (додаток Е) та формулою (7):

$$E_{N_2O} = 10^{-6} k_{N_2O} Q_i' B = 10^{-6} \cdot 0,6 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 1,68 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання мазуту розраховується за даними таблиці Е.4 (додаток Е) та формулою (7):

$$E_{CH_4} = 10^{-6} k_{CH_4} Q_i' B = 10^{-6} \cdot 3,0 \cdot 39,48 \cdot 70945 = 8,41 \text{ т.}$$

Викиди під час спалювання природного газу

При використанні природного газу потрібно розраховувати викиди оксидів азоту, сірки і вуглецю, оксиду діазоту та метану.

Перерахунок характеристик природного газу, кг/м³

Питома маса кожного індивідуального газу в сухому паливі визначається за формулами, наведеними в додатку Б.

$$m_{CH_4} = 0,716 \cdot 0,01(CH_4)_v = 0,716 \cdot 0,01 \cdot 98,90 = 0,7081 ,$$

$$m_{C_2H_6} = 1,342 \cdot 0,01(C_2H_6)_v = 1,342 \cdot 0,01 \cdot 0,12 = 0,0016 ,$$

$$m_{C_3H_8} = 1,967 \cdot 0,01(C_3H_8)_v = 1,967 \cdot 0,01 \cdot 0,011 = 0,0002 ,$$

$$m_{C_4H_{10}} = 2,593 \cdot 0,01(C_4H_{10})_v = 2,593 \cdot 0,01 \cdot 0,01 = 0,0003 ,$$

$$m_{N_2} = 1,250 \cdot 0,01(N_2)_v = 1,250 \cdot 0,01 \cdot 0,90 = 0,0113 ,$$

$$m_{CO_2} = 1,964 \cdot 0,01(CO_2)_v = 1,964 \cdot 0,01 \cdot 0,06 = 0,0012 ,$$

де m_i – питома маса i -го індивідуального газу в 1 нм³ сухого газоподібного палива, кг/нм³;
(i)_v – об’ємний вміст i -го індивідуального газу, %.

Масовий елементний склад сухого газоподібного палива визначається за формулами

$$C^{daf} = \frac{100}{\rho_n} \left(\sum \frac{12p}{12p+q} m_{C_pH_q} + 0,429m_{CO} + 0,273m_{CO_2} \right),$$

$$C^{daf} = \frac{100}{0,723} (0,749 \cdot 0,7081 + 0,799 \cdot 0,0016 + 0,817 \cdot 0,0002 + 0,827 \cdot 0,0003 + 0,273 \cdot 0,0012) = 73,67,$$

$$H^{daf} = \frac{100}{\rho_n} \left(\sum \frac{q}{12p+q} m_{C_pH_q} + 0,059m_{H_2S} \right),$$

$$H^{daf} = \frac{100}{0,723} (0,251 \cdot 0,7081 + 0,201 \cdot 0,0016 + 0,183 \cdot 0,0002 + 0,173 \cdot 0,0003) = 24,65 ,$$

$$N^{daf} = \frac{100}{\rho_n} m_{N_2} = \frac{100}{0,723} 0,0113 = 1,56 ,$$

$$O^{daf} = \frac{100}{\rho_n} (0,571m_{CO} + 0,727m_{CO_2}) = \frac{100}{0,723} 0,727 \cdot 0,0012 = 0,12 ,$$

де C^{daf} – масовий вміст вуглецю в паливі на горючу масу, %;

H^{daf} – масовий вміст водню в паливі на горючу масу, %;

N^{daf} – масовий вміст азоту в паливі на горючу масу, %;

O^{daf} – масовий вміст кисню в паливі на горючу масу, %;

ρ_n – густина сухого газоподібного палива, кг/нм³.

Таким чином, отримано значення, % масового елементного складу природного газу:

$$\text{вуглець} - C^r = C^{daf} = 73,67;$$

$$\text{водень} - H^r = H^{daf} = 24,65;$$

$$\text{кисень} - O^r = O^{daf} = 0,12;$$

$$\text{азот} - N^r = N^{daf} = 1,56.$$

Масова нижча теплота згоряння Q_i^r

$$Q_i^r = Q_i^{daf} = Q_{iv}^{daf} / \rho_n = 33,08 / 0,723 = 45,75 \text{ МДж/кг.}$$

Масова витрата природного газу

$$B = B_v \rho_n = 84\,762 \cdot 10^3 \cdot 0,723 = 61\,252 \text{ т.}$$

Валовий викид оксидів азоту

Показник емісії оксидів азоту (k_{NOx})₀ без урахування первинних заходів згідно з даними таблиці Д.5 (додаток Д) дорівнює 150 г/ГДж. У таблиці Д.6 (додаток Д) емпіричний коефіцієнт z для природного газу становить 1,25. Відповідно до вихідних даних та згідно з таблицею Д.7 (додаток Д) ефективність первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту η_I становить 0,40. Азотоочисна установка відсутня, тому ефективність η_{II} та коефіцієнт роботи β дорівнюють нулю. Показник емісії k_{NOx} оксидів азоту

$$k_{\text{NOx}} = 150 \cdot (563/704)^{1,25} (1 - 0,40) = 68,1 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид

$$E_{\text{NOx}} = 10^{-6} k_{\text{NOx}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 68,1 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 191 \text{ т.}$$

Валові викиди оксидів вуглецю

За даними таблиці Е.1 (додаток Е) показник емісії оксиду вуглецю k_{CO} становить 17 г/ГДж. Валовий викид оксиду вуглецю E_{CO}

$$E_{\text{CO}} = 10^{-6} k_{\text{CO}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 17 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 48 \text{ т.}$$

Показник емісії вуглекислого газу під час спалювання органічного палива визначається за формулою (20):

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c \text{ г/ГДж.}$$

Ступінь окислення вуглецю ε_c під час спалювання природного газу в енергетичній установці за даними додатку А становить 0,995. Показник емісії вуглекислого газу

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{73,67}{100} \cdot \frac{10^6}{45,78} \cdot 0,995 = 58716 \text{ г/ГДж.}$$

Тоді за формулою (7) валовий викид

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} k_{\text{CO}_2} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 58716 \cdot 45,78 \cdot 61252 = 164635 \text{ т.}$$

Валовий викид ртуті

Валовий викид ртуті під час спалювання природного газу розраховується за даними таблиці Д.12 (додаток Д) та формулою (19):

$$E_{\text{Hg}} = 10^{-6} k_{\text{Hg}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,0001 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 0,00028 \text{ т.}$$

Валовий викид оксиду діазоту

Валовий викид оксиду діазоту N_2O при спалюванні природного газу розраховується за даними таблиці Е.3 та формулою (7):

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-6} k_{\text{N}_2\text{O}} Q_i^r B = 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 0,28 \text{ т.}$$

Валовий викид метану

Валовий викид метану CH_4 під час спалювання природного газу розраховується за даними таблиці Е.4 (додаток Е) та формулою (7):

$$E_{\text{CH}_4} = 10^{-6} k_{\text{CH}_4} Q_i B = 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 45,75 \cdot 61252 = 2,80 \text{ т.}$$

В таблиці И.2 наведено значення викидів всього розглянутого спектру забруднювальних речовин щодо кожного палива та загалом.

Таблиця И.2. — Валові викиди, т, забруднювальних речовин

Викид	Вугілля	Мазут	Природний газ	Всього
1	2	3	4	5
SO_2	59 393	3 297	0	62 690
NO_x	2 604	254	191	3 049
CO	256	42	48	346
CO_2	2 096 657	215 455	164 635	2 476 747
Тверді частинки	3366	1,60	0	3367,6
Pb	0,921	0	0	0,921
Hg	0,090	0	0,00028	0,09028
Cr	0,619	0	0	0,619
Ni	0,974	0	0	0,974
Cu	0,991	0	0	0,991
Zn	3,913	0	0	3,913
As	1,723	0	0	1,723
V_2O_5	0	0,95	0	0,95
N_2O	31,40	1,68	0,28	33,36
CH_4	22,40	8,42	2,80	33,62
Витрата палива, (т у.п.)	765 957,4	95 739,4	95 697,2	957 394,0

Розрахунок питомого об'єму сухих димових газів

Загальна формула визначення питомого об'єму сухих димових газів при нормальних умовах (додаток А) має вигляд

$$v_{\text{дг}} = \frac{1,4}{100} \cdot [4,762 \cdot (1,866 \cdot \varepsilon_{\text{с}} \cdot C^r + 0,7 \cdot S^r) + 0,8 \cdot N^r + 3,762 \cdot (5,56 \cdot H^r - 0,7 \cdot O^r)].$$

Під час спалювання вугілля питомий об'єм сухих димових газів

$$v_{\text{дг}} = \frac{1,4}{100} \cdot [4,762 \cdot (1,866 \cdot 0,994 \cdot 52,49 + 0,7 \cdot 2,85) + 0,8 \cdot 0,97 + 3,762 \cdot (5,56 \cdot 3,50 - 0,7 \cdot 4,99)]$$

$$v_{\text{дг}} = \frac{1,4}{100} \cdot 534 = 7,48 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Під час спалювання мазуту питомий об'єм сухих димових газів

$$v_{\text{дг}} = \frac{1,4}{100} \cdot [4,762 \cdot (1,866 \cdot 0,99 \cdot 83,66 + 0,7 \cdot 2,45) + 0,8 \cdot 0,39 + 3,762 \cdot (5,56 \cdot 10,96 - 0,7 \cdot 0,39)]$$

$$v_{\text{дг}} = \frac{1,4}{100} \cdot 999 = 13,99 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Під час спалювання природного газу питомий об'єм сухих димових газів

$$v_{\text{дг}} = \frac{1,4}{100} \cdot [4,762 \cdot (1,866 \cdot 0,995 \cdot 73,67 + 0,7 \cdot 0,0) + 0,8 \cdot 1,56 + 3,762 \cdot (5,56 \cdot 24,65 - 0,7 \cdot 0,12)]$$

$$v_{\text{дг}} = \frac{1,4}{100} \cdot 1168 = 16,35 \text{ нм}^3/\text{кг},$$

а якщо питомий об'єм сухих димових газів віднести до одиниці об'єму природного газу, то

$$(v_{\text{дг}})_v = v_{\text{дг}} \cdot \rho_{\text{г}} = 16,35 \cdot 0,723 = 11,82 \text{ нм}^3/\text{нм}^3.$$

УДК 662.611:66.074.3

Ключові слова: забруднювальні речовини, викиди, показник емісії, важкі метали, димові гази, органічне паливо, вугілля, природний газ, котельна установка.

Підписано до друку ____ .2017 р. Формат ____ . Папір офсетний ____ г/м². Наклад ____ прим.

Зам. № ____.

Видавництво “ ____ ”

Свідоцтво про внесення до державного реєстру суб’єктів видавничої справи

_____.

Додаток В
Акти впровадження



МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
НАУКОВИЙ ПАРК ДЕРЖАВНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ АКАДЕМІЇ
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ “ЧОРНОБИЛЬ”

Акт впровадження

Цей акт засвідчує, що науково-практичні результати Яцишина А.В., Попова О.О., Артемчука В.О., Ковач В.О. у вигляді методичного, математичного та програмного забезпечення були використані при визначенні впливу місця зберігання золошлаків Дарницької ТЕЦ (ТЕЦ-4, ТОВ «Євро-Реконструкція», м. Київ) на забруднення атмосферного повітря прилеглих територій в межах виконання договору від 29 травня 2018 р №29/05-03/ЄР «Визначення впливу місця видалення відходів (зберігання золошлаків) ТОВ «Євро-Реконструкція» на забруднення атмосферного повітря, ґрунту, поверхневих та підземних вод.» між ТОВ «Євро-Реконструкція» та ТОВ «Науковий парк Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління «Чорнобиль».

Розробка такого методичного математичного та програмного забезпечення є актуальною та важливою для України, особливо враховуючи на існуючі проблеми в галузі екологічної безпеки України, та зважаючи на проект «Методичних рекомендацій з розробки звіту з оцінки впливу на довкілля для теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива» станом на 06.08.2020 р., який розміщено за посиланням <https://menr.gov.ua/news/35692.html>

З повагою,
Генеральний директор



Т. Іващенко



ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА ІНСПЕКЦІЯ УКРАЇНИ

01042, м. Київ, Новопечерський пров. 3, корпус 2, тел./факс: (044) 521-20-40, тел. (044) 521-20-56

E-mail: info@dei.gov.ua, сайт: www.dei.gov.ua, код згідно з ЄДРПОУ 37508533

№ _____
від "___" _____ 20__ р.
на № _____
від "___" _____ 20__ р.

**Інститут проблем моделювання
в енергетиці ім. Г.Є. Пухова**

вул. Генерала Наумова, 15, м. Київ-164,
03164

Про розгляд
науково-практичних результатів

Державна екологічна інспекція України розглянула науково-практичні результати надіслані листом від 16.08.2019 № 225/06-4-273 та повідомляє.

Державна екологічна інспекція України розглянула науково-практичні результати колективу авторів доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Яцишина А.В., доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Попова О.О., кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Артемчука В.О., кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Каменевої І.П., кандидата технічних наук Ковач В.О. та аспіранта Кириленка Ю.О. й позитивно оцінює дану роботу.

Науково-практичні результати щодо методичного, математичного та програмного забезпечення для вирішення задач інтелектуального аналізу даних моніторингу довкілля, моделювання та прогнозування впливу об'єктів теплоенергетики на навколишнє природне середовище, проектування та оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря, комплексного оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях атмосферного повітря взято до уваги та буде рекомендовано для використання в роботі територіальним та міжрегіональним територіальним органам Держекоінспекції, а також відповідним організаціям і установам.

Оскільки на сьогоднішній день питання математичного та програмного забезпечення є актуальними та важливими для України, то вважаємо за можливе налагодження конструктивного діалогу та подальшої співпраці у площині порушених питань.

Т.в.о. Голови

Ю. СЕРГІЄНКО

Надіслано 521 20.45

Державна екологічна інспекція України
6152/2.5/7-19 від 27.09.2019





Bioenergy Association of Ukraine

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова Правління Біоенергетичної
асоціації України

 Г. Г. Гелетука
« 17 » грудня 2019 р.



Вих. № 470 від 17 грудня 2019 року

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Цей акт засвідчує, що науково-практичні результати виконання науково-технічного проєкту «Розробка роторно-пневматичної системи для стабільної генерації електроенергії від відновлювальних джерел енергії» колективу авторів Яцишина А. В., Фаррахова О. В., Попова О. О., Артемчука В. О. та Куценка В. О. у вигляді математичних та програмних засобів розробки систем акумулювання та генерації енергії на основі роторно-пневматичної поршневої машини впроваджені в роботу Біоенергетичної асоціації України.

Розробка автономних енергетичних комплексів на основі відновлювальних джерел енергії є актуальною та важливою для України згідно Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року та Енергетичної стратегії України до 2035 року.

Дійсний акт не є підставою для отримання премій та інших винагород з фондів Біоенергетичної асоціації України.

Членкиня Експертної ради
Біоенергетичної Асоціації України



Т. А. Желєзна

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Тимчасово виконуючий обов'язки
 начальника Дарницького районного
 управління Головного управління
 ДСНС України у м. Києві

С.В. Отроха

« 03 » грудня 2020 р.

**АКТ**

про впровадження результатів науково-технічного проєкту
**«Методологія побудови системи контролю якості повітря на базі рухомого
 складу громадського транспорту»**
 (автори: Попов О.О., Артемчук В.О., Яцишин А.В., Ковач В.О. та Куценко В.О.)

Комісія у складі: голови – головного фахівця відділу реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків Дарницького районного управління Головного управління ДСНС України у м. Києві Михайлюка В.І. та членів комісії: провідного фахівця відділу реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків Дарницького районного управління Головного управління ДСНС України у м. Києві Нечаєнка В.О., начальника 24-ДПРЧ Головного управління ДСНС України у м. Києві Яцухна Т.Ю., склала даний акт про те, що результати науково-технічного проєкту Попова О.О., Артемчука В.О., Яцишина А.В., Ковач В.О. та Куценка В.О. у вигляді методології побудови системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту впроваджені у діяльність Дарницького районного управління Головного управління ДСНС України у м. Києві, що дало можливість підвищити ефективність діяльності районного управління.

Дійсний акт не є підставою для отримання премій та інших винагород з фондів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Головний фахівець відділу реагування на
 надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків
 Дарницького районного управління
 Головного управління ДСНС України у м. Києві

В.І. Михайлюк

Провідний фахівець відділу реагування на
 надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків
 Дарницького районного управління
 Головного управління ДСНС України у м. Києві

В.О. Нечаєнко

Начальник 24-ДПРЧ
 Головного управління ДСНС України у м. Києві

Т.Ю. Яцухно

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Головного управління
державної служби України з
надзвичайних ситуацій у
Запорізькій області

Олексій ЛЕПСЬКИЙ

«27» листопада 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних робіт

Попова О.О., Яцишина А.В., Артемчука В.О., Ковач В.О. та Куценка В.О.

Комісія у складі: голови – заступника начальника з реагування на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України у Запорізькій області Семененка О.М. та членів комісії: заступника начальника Оперативно-координаційного центру ГУ ДСНС України у Запорізькій області Майби А.Г., начальника відділу організації пожежогасіння та роботи з об'єктовими підрозділами Управління реагування на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України у Запорізькій області Філенка С.О. склала даний акт про те, що науково-практичні результати Попова О.О., Яцишина А.В., Артемчука В.О. Ковач В.О. та Куценка В.О. у вигляді методичного, математичного та програмного забезпечення для вирішення задач аналізу та прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря від викидів об'єктів енергетики, інтелектуального аналізу даних моніторингу довкілля, проектування та оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря (зокрема на базі рухомого складу громадського транспорту), перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, впроваджені у діяльність ГУ ДСНС України у Запорізькій області, що дало можливість підвищити ефективність діяльності підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту Запорізького гарнізону.

Дійсний акт не є підставою для отримання премій та інших винагород з фондів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Заступник начальника
з реагування на надзвичайні ситуації
ГУ ДСНС України у Запорізькій області

О.М. Семененко

Заступник начальника
Оперативно-координаційного центру
ГУ ДСНС України у Запорізькій області

А.Г. Майба

Начальник відділу організації пожежогасіння
та роботи з об'єктовими підрозділами
Управління реагування на надзвичайні ситуації
ГУ ДСНС України у Запорізькій області

С.О. Філенко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор Товариства з обмеженою відповідальністю «Науковий парк Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління «ЧОРНОБИЛЬ»

 Т. Г. Іващенко

« 19 »  2018 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Цей акт засвідчує, що наукові результати Попова О.О., Яцишина А.В., Артемчука В.О., Ковач В.О. та Тищенко Ю.Є. використані Державною екологічною академією післядипломної освіти та управління в рамках виконання науково-дослідної роботи «Розробка проекту автоматизованої системи моніторингу довкілля Київської області». Впровадженими результатами є: 1) нові математичні моделі забруднення атмосферного повітря викидами від стаціонарних точкових, лінійних та площадкових джерел, які дозволяють визначати зони техногенного навантаження за різних режимів викидів, метеорологічних характеристик та режимів роботи техногенних об'єктів; 2) ймовірна математична модель розповсюдження в атмосфері небезпечних речовин від стаціонарних джерел забруднення, що дає можливість визначати рівень техногенного впливу на місто або регіон від дії одного або декількох небезпечних підприємств за тривалий період часу (місяць, рік); 3) модель інформаційної корисності проведення спостережень на даній території, що, відповідно до вимог сучасного державного та міжнародного законодавства, враховує пріоритетності та значення рівня забруднення атмосферного повітря, показника соціально-економічної цінності ділянки території та відстані до найближчого пункту спостережень; 4) постановка задачі оптимального розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря (згідно з критерієм інформаційної корисності проведення спостережень), що дає можливість знаходити координати для встановлення пунктів спостережень залежно від їх типу, задач, що ставляться перед мережею тощо; 5) алгоритми вирішення поставленої задачі, що базуються на різних способах поєднання жадібного алгоритму з методом повного перебору, що дозволило швидко знаходити оптимальні (або близькі до оптимальних) розв'язки.

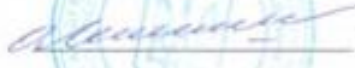
Начальник відділу інженерно-екологічних експертиз
ТОВ «Науковий парк Державної екологічної
академії післядипломної освіти та управління
«ЧОРНОБИЛЬ»



В. І. Шусть

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи Державної
екологічної академії післядипломної освіти
та управління,
д.т.н, проф., Заслужений діяч науки і
техніки України

 О. А. Машков
« 19 »  2018 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

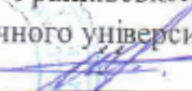
Цей акт засвідчує, що наукові результати Попова О.О., Яцишина А.В., Артемчука В.О., Ковач В.О. та Тищенко Ю.С. використані Державною екологічною академією післядипломної освіти та управління в рамках виконання науково-дослідної роботи «Розробка проекту автоматизованої системи моніторингу довкілля Київської області». Впровадженими результатами є: 1) нові математичні моделі забруднення атмосферного повітря викидами від стаціонарних точкових, лінійних та площадкових джерел, які дозволяють визначати зони техногенного навантаження за різних режимів викидів, метеорологічних характеристик та режимів роботи техногенних об'єктів; 2) ймовірна математична модель розповсюдження в атмосфері небезпечних речовин від стаціонарних джерел забруднення, що дає можливість визначати рівень техногенного впливу на місто або регіон від дії одного або декількох небезпечних підприємств за тривалий період часу (місяць, рік); 3) модель інформаційної корисності проведення спостережень на даній території, що, відповідно до вимог сучасного державного та міжнародного законодавства, враховує пріоритетності та значення рівня забруднення атмосферного повітря, показника соціально-економічної цінності ділянки території та відстані до найближчого пункту спостережень; 4) постановка задачі оптимального розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря (згідно з критерієм інформаційної корисності проведення спостережень), що дає можливість знаходити координати для встановлення пунктів спостережень залежно від їх типу, задач, що ставляться перед мережею тощо; 5) алгоритми вирішення поставленої задачі, що базуються на різних способах поєднання жадібного алгоритму з методом повного перебору, що дозволило швидко знаходити оптимальні (або близькі до оптимальних) розв'язки.

Професор кафедри екологічного аудиту
та експертизи Навчально-наукового
інституту екологічної безпеки та управління
Державної екологічної академії післядипломної
освіти та управління, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

 А. В. Антонов

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

перший проректор

Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газупроф.  О.М. Мандрик«15»  2021 р.

АКТ

Впровадження результатів дисертаційного дослідження
старшого наукового співробітника відділу математичного та економетричного моделювання
Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,
к.т.н., с.н.с. Артемчука Володимира Олександровича

Ми, що нижче підписалися, комісія у складі:

голова комісії - к.геол.н., доцент, директор Інституту природничих наук і туризму

В.Г. Омельченко

член комісії:

Т.М. Яцишин - д.т.н., доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища;

Склали цей акт про те, що результати наукових дисертаційних досліджень старшого наукового співробітника відділу математичного та економетричного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, к.т.н., с.н.с. Артемчука Володимира Олександровича використовуються під час підготовки фахівців за спеціальностями 101 – Екологія та 183 – Технології захисту навколишнього середовища та в дисциплінах за вибором для інших спеціальностей, а саме:

- методика визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень при викладанні вибіркової дисципліни «Оцінка характеристик життєвого циклу продукції та екологічний менеджмент» (викладач: Т.М. Яцишин), яка запланована як нова у циклі вибірових дисциплін для спеціальностей 103 - Науки про Землю; 131 - Прикладна механіка; 184 - Гірництво; 185 - Нафтогазова інженерія та технології;

- вдосконалений підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок з використанням методики ГКД 34.02.305-2002 при викладанні запланованої дисципліни вибіркового циклу дисципліни «Оцінка характеристик життєвого циклу продукції та екологічний менеджмент» (викладач: Т.М. Яцишин) для спеціальностей 101 - Екологія; 103 - Науки про Землю; 131 - Прикладна механіка; 183 - Технології захисту навколишнього середовища; 184 - Гірництво; 185 - Нафтогазова інженерія та технології та «Основи екології в нафтогазовій галузі» (викладач: Т.М. Яцишин) для спеціальностей 184 - Гірництво; 185 - Нафтогазова інженерія та технології.

Голова комісії

к.геол.н., доцент



В.Г. Омельченко

Член комісії:



Т.М. Яцишин