

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення

”Допущено до захисту”
Завідувач кафедри кібербезпеки
та програмного забезпечення
д.т.н., професор
_____ Олексій СМІРНОВ
“ ____ ” _____ 2025 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему
*“Дослідження та програмна реалізація моделей хімічного та
теплого забруднення середовища”*

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи КН-24Мз
ОПП «Комп’ютерні науки»
спеціальності 122 «Комп’ютерні науки»
_____ Москаленко О.С.
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник проекту
кандидат технічних наук
_____ Улічев О.С.
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

АНОТАЦІЯ

Москаленко О.С. Дослідження та програмна реалізація моделей хімічного та теплового забруднення середовища. 122 Комп'ютерні науки. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2025.

В даній випускній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення для моделювання процесів хімічного та теплового забруднення.

Мета роботи полягає у підвищенні точності прогнозування параметрів теплового забруднення шляхом побудови адекватної математичної моделі та її програмної реалізації.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні методи моделювання поширення забруднень;
- обрати метод, у якому можливе ефективне вдосконалення;
- виконати математичне обґрунтування запропонованого удосконалення;
- реалізувати обраний метод програмними засобами;
- сформулювати висновки та визначити перспективи подальшого розвитку.

Об'єкт дослідження – процес прогнозування наслідків забруднення довкілля.

Предмет дослідження – методи моделювання динаміки процесів забруднення.

Практичне значення роботи полягає у розробленні програмного засобу, що забезпечує візуалізацію результатів моделювання процесів поширення.

Програма може використовуватися на ПЕОМ з ОС Windows 10/11.

Програму розроблено в середовищі VisualStudio 2023 C# (+Python).

Ключові слова: теплообмін, джерело забруднення, модель забруднення, карта забруднення, моделювання.

ABSTRACT

Moskalenko O.S. Research and software implementation of models of chemical and thermal pollution of the environment. 122 Computer Science. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2025.

In this final qualification work for the second (master's) level of higher education, software for modeling chemical and thermal pollution processes has been developed.

The purpose of the work is to increase the accuracy of predicting thermal pollution parameters by building an adequate mathematical model and its software implementation.

To achieve the set goal, the following research tasks have been defined:

- analyze modern methods of modeling the spread of pollution;
- choose a method in which effective improvement is possible;
- perform mathematical justification of the proposed improvement;
- implement the selected method using software;
- formulate conclusions and determine prospects for further development.

The object of the research is the process of predicting the consequences of environmental pollution.

The subject of the research is methods for modeling the dynamics of pollution processes.

The practical significance of the work lies in the development of a software tool that provides visualization of the results of modeling of propagation processes.

The program can be used on a PC with Windows 10/11 OS.

The program was developed in the VisualStudio 2023 C# (+Python) environment.

Keywords: heat transfer, pollution source, pollution model, pollution map, modeling.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ	3
ВСТУП.....	4
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	9
1.1 Призначення системи.....	9
1.2 Область застосування.....	11
2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	14
2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти	14
2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування	18
2.3 Розгорнута постановка завдання	21
3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ	25
3.1 Опис функціонування системи	25
3.2 Розробка структурної схеми.....	28
3.3 Розробка функціональної схеми	32
3.4 Розробка діаграми процесів.....	33
4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ	36
4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи.....	36
4.2 Захист розробленого програмного забезпечення.....	44

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Дослідження та програмна реалізація моделей хімічного та теплового забруднення середовища	Лім.	Аркуш	
<i>Розроб.</i>	Москаленко О.С.					М	1	83
<i>Перев.</i>	Улічев О.С.					ЦНТУ КН-24Мз		
<i>Н.контр.</i>	Коваленко А.С.							
<i>Затв.</i>	Смірнов О.А.							

5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ	50
6 НАУКОВА НОВИЗНА	55
7 МАРКЕТИНГОВЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ІТ-ПРОЄКТУ	57
7.1 Визначення цільової аудиторії кінцевого готового продукту	57
7.2 Оцінка привабливості шляхом застосування методів експертних оцінок	57
7.3 Вибір методу оцінки вартості ПЗ	58
7.4 Розрахунок економічної ефективності від впровадження реалізованого ПЗ як фактору його привабливості.....	59
7.5 Пропозиція алгоритму просування проєкту розробки ПЗ	61
7.6 Оптимізація каналів збуту та шляхів реалізації ПЗ	61
8 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	64
8.1 Вступ.....	64
8.2 Аналіз умов праці ІТ-працівників	65
8.3 Техніка безпеки та протипожежна профілактика	69
8.4 Розробка заходів з охорони праці.....	70
9 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

ЗЗ	–	Зона забруднення
НР	–	Нормальний розподіл
СДОР	–	Сильно-діючі отруйні речовини
Прогнозування	–	Методи та моделі прогнозування наслідків зараження
БД	–	База даних
МАД	–	Модуль аналізу даних
CLR	–	Common Language RunTime
ДТ	–	Джерело тепла
Теплорозподіл	–	Процес розподілу, обміну тепла
ABS	–	Абсолютне значення
СЛАР	-	Система лінійних алгебраїчних рівнянь

КБПЗ-2025

ВСТУП

Актуальність дослідження

У сучасних умовах стрімкої урбанізації та зростання техногенного навантаження на довкілля проблема теплового забруднення набуває все більшої ваги. Значна концентрація населення у містах, інтенсивне використання енергетичних ресурсів, зростання обсягів промислового виробництва та експлуатація великої кількості технічних систем призводять до систематичного підвищення температурного фону територій. Це явище, відоме як теплове забруднення або формування «міських теплових островів», безпосередньо впливає на якість життя населення, стан навколишнього середовища та стійкість екосистем.

Підвищення температури в урбанізованих зонах спричиняє низку екологічних та соціально-економічних наслідків: зростання споживання електроенергії для охолодження приміщень, підвищення ризику теплових хвиль, збільшення навантаження на системи охорони здоров'я та погіршення умов праці. У довгостроковій перспективі теплове забруднення може сприяти трансформації локальних кліматичних умов, зміні структури біоценозів та додатковому внеску в процеси глобального потепління. Саме тому питання дослідження динаміки теплового забруднення та розроблення засобів його прогнозування є надзвичайно актуальним.

Особливої уваги потребує створення математичних моделей, здатних адекватно відтворювати характер поширення теплових аномалій у міському середовищі. Поява відкритих наборів даних, розвиток інформаційних технологій, збільшення обчислювальних можливостей та поширення програмних засобів для наукових досліджень створюють сприятливі умови для формування точних і гнучких моделей прогнозування температурних показників. Такі моделі можуть використовуватися для оцінювання ефективності природоохоронних заходів,

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

планування розвитку інфраструктури, оптимізації енергоспоживання та розроблення стратегій адаптації міст до зміни клімату.

Таким чином, дослідження теплового забруднення та його інтелектуальне моделювання є важливим напрямом сучасної науки, що поєднує екологічні, математичні та інформаційно-технологічні аспекти. Його результати можуть стати підґрунтям для прийняття обґрунтованих рішень у сфері екологічної безпеки, міського планування та сталого розвитку.

Попри стрімкий розвиток технологій, людина, як і тисячі років тому, залишається вразливим біологічним організмом, для нормального функціонування якого необхідні безпечні та бажано комфортні умови довкілля. Насамперед це стосується таких критично важливих чинників, як:

- якість повітря, що надходить в організм під час дихання;
- чистота води, призначеної для питних потреб;
- біологічна безпечність продуктів рослинного й тваринного походження, що використовуються як їжа.

Окрім очевидних потреб, існує низка параметрів навколишнього середовища, контроль яких є не менш важливим, хоча й менш помітним у повсякденному житті. До них належать:

- хімічний склад ґрунтів, що застосовуються в аграрному виробництві;
- чистота підземних та ґрунтових вод;
- радіаційна безпека територій.

Втім, одним із найбільш нетипових, але водночас потенційно небезпечних різновидів негативного впливу на довкілля є теплове забруднення. На перший погляд, додаткове виділення теплоти не становить суттєвої загрози, адже будь-яка жива істота є природним джерелом тепла. Проте в умовах сучасної техногенної цивілізації йдеться вже не про десятки чи сотні ватів теплової енергії, що генерує людське тіло. Повсякденна діяльність людини супроводжується значним тепловим викидом унаслідок приготування їжі, підігрівання води, опалення приміщень,

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

експлуатації великої кількості побутових та промислових приладів, які згідно із законами термодинаміки завжди генерують побічне тепло.

Особливо потужним джерелом теплової енергії є промислове виробництво. Його масштаб прямо корелює з чисельністю населення, що виступає споживачем продукції цих підприємств. Саме тому для багатьох країн показник промислового виробництва одиницю населення є важливим індикатором економічної активності, а зростання кількості населення закономірно веде до пропорційного збільшення теплових викидів у відповідному регіоні.

Під тепловим забрудненням у даному контексті розуміють підвищення температурних характеристик території порівняно з природним фоновим рівнем унаслідок інтенсивної людської діяльності та супровідних техногенних процесів. На відміну від більшості інших видів забруднення, теплове забруднення має глобальний характер і формується одночасно у різних частинах світу, насамперед у великих містах – основних осередках концентрації населення та промислових потужностей. Постійний характер цього процесу є однією з причин глобального потепління. Хоча вагомість людського чинника у цьому явищі залишається предметом наукових дискусій, факт загального підвищення температури визнається науковою спільнотою.

Попри відсутність єдиної думки щодо походження глобального потепління, значний науковий інтерес становить саме прогнозування рівнів теплового забруднення. Це дає змогу оцінити, наскільки температура у міських агломераціях у майбутньому може перевищувати природні значення, характерні для територій з аналогічними кліматичними умовами, але без міської забудови.

У такому формулюванні задача належить до класу прогнозних, а отже, може вирішуватися різноманітними методами моделювання. Математичне моделювання теплового забруднення і визначення його можливих майбутніх значень є актуальною науково-технічною проблемою, що лежить на перетині сучасної математики та інформаційних технологій.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Мета роботи полягає у підвищенні точності прогнозування параметрів теплового забруднення шляхом побудови адекватної математичної моделі та її програмної реалізації.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні методи моделювання поширення забруднень, зокрема теплових;
- обрати метод, у якому можливе ефективне вдосконалення;
- виконати математичне обґрунтування запропонованого удосконалення;
- реалізувати обраний метод програмними засобами;
- сформулювати висновки та визначити перспективи подальшого розвитку.

Об’єкт дослідження – процес прогнозування наслідків забруднення довкілля.

Предмет дослідження – методи моделювання динаміки процесів забруднення.

Наукова новизна роботи полягає у створенні нового методу моделювання забруднень, який поєднує статистичні підходи (виділення часових трендів зміни ключових параметрів) із кваліметричними (оцінювання стану на основі системи бальних показників). Така інтеграція дає змогу суттєво покращити точність і прогностичні можливості моделі.

Практичне значення роботи полягає у розробленні програмного засобу, що забезпечує візуалізацію результатів моделювання процесів поширення забруднень та може бути використаний для подальших досліджень або як основа для впровадження у прикладні інформаційні системи.

У дослідженні застосовано такі методи:

- методи математичної статистики;
- кваліметричні методи;
- структурний підхід до розроблення програмного забезпечення.

Надалі дослідження може розвиватися двома напрямками:

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

- розширенням охоплення – шляхом включення даних більшої кількості міст, що забезпечить ширший спектр застосування моделі;
- поглибленням математичного апарату – удосконаленням моделі для підвищення точності прогнозування.

КБПЗ – 2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Призначення системи

Безпека життя та здоров'я людини належить до фундаментальних цінностей сучасного суспільства. Проте сьогодні існує значна кількість чинників, що становлять реальну загрозу цим критично важливим аспектам людського існування. Серед них особливе місце посідають різноманітні форми забруднення, які утворюють складний комплекс вражаючих факторів.

Забруднення є багаторівневим та багатокомпонентним процесом. У сфері безпеки життєдіяльності та охорони праці традиційно виділяють кілька основних його типів.

Хімічне забруднення виникає під час неконтрольованого поширення хімічних речовин:

- у газоподібному стані — коли токсичні гази забруднюють повітря, переміщуючись завдяки дифузії та конвекції;
- у рідкій фазі — переважно у воді, що транспортує забруднювачі шляхом фізико-хімічних процесів або механічного перенесення;
- у твердому стані — коли шкідливі частинки переміщуються під дією повітряних чи водних потоків або разом з іншими носіями.

Фізичні види забруднення охоплюють збільшення інтенсивності певних фізичних величин порівняно з природним фоном. Їх поділяють на:

- радіаційне — небезпечне поширення радіоактивних речовин, що піддаються α -, β - або γ -розпаду;
- теплове — накопичення теплової енергії у середовищі, яке зберігається тривалий час і здатне переміщуватися на значні відстані;
- шумове — короткотривале та неінерційне, оскільки зникає разом із джерелом;

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

– магнітне, електростатичне, світлове та вібраційне — переважно локальні та прив’язані до джерела.

Біологічне забруднення має особливо небезпечний характер, оскільки не лише активно поширюється, а й здатне самостійно нарощувати інтенсивність, що характерно для епідеміологічних процесів.

Механічне забруднення пов’язане з накопиченням твердих побутових відходів. Воно не має здатності до самовільного поширення, проте створює довготривалу екологічну проблему.

Порівняльний аналіз цих типів забруднення демонструє, що найбільш небезпечними є саме ті, що здатні до активного поширення та становлять істотну загрозу для людини: хімічні, радіаційні та біологічні. Вони мають аварійний або катастрофічний характер та потребують оперативного реагування. Особливої уваги також заслуговує теплове забруднення — процес поступового накопичення теплової енергії внаслідок діяльності людини. Цей вид має стратегічний характер, оскільки безпосередньо пов’язаний з глобальними змінами клімату та визначає напрямок розвитку цивілізації в майбутньому.

З огляду на це, стає очевидним, що всі названі процеси можуть бути предметом комп’ютерного моделювання. У випадку забруднень першої групи моделювання дозволяє визначити масштаби поширення небезпечних речовин у просторі та часі, прогнозувати зони ризику, обґрунтовувати рішення щодо евакуації та зменшення збитків. Ефективність таких моделей має значний соціальний та економічний ефект.

Ще більшої ваги набуває моделювання процесів другого класу — насамперед теплового забруднення у регіональних і глобальних масштабах. Результати таких досліджень можуть бути використані для визначення потенційно критичних зон та формування стратегій адаптації до кліматичних змін.

Отже, моделювання процесів поширення забруднень загалом є вкрай актуальним напрямком у сфері інформаційних технологій. Зокрема, моделювання теплового забруднення має стратегічну важливість і безпосередньо стосується

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

довгострокового розвитку людства. Саме тому дана проблема обрана для дослідження в межах цієї роботи.

1.2 Область застосування

Область застосування розробленої системи моделювання хімічного та теплового забруднення охоплює широкий спектр завдань екологічного моніторингу та промислового контролю. Вона може використовуватися на підприємствах, діяльність яких пов'язана з викидами хімічних речовин або тепловими відходами у навколишнє середовище, зокрема у металургії, енергетиці, хімічній промисловості, нафтопереробці та аграрному секторі. Система дозволяє прогнозувати наслідки аварійних і планових викидів, оцінювати вплив технологічних процесів на атмосферу, водні об'єкти та ґрунти, а також забезпечувати прийняття рішень щодо зменшення екологічних ризиків. Крім того, вона є ефективним інструментом для екологічних служб, державних органів контролю та наукових установ, оскільки забезпечує точні розрахунки, візуалізацію розсіювання забруднювачів і аналіз динаміки змін у довкіллі.

Для програмного комплексу моделювання хімічного та теплового забруднення особливе значення мають такі параметри:

Характеристика установи. Цільовими компаніями та організаціями, для використання ПЗ, виступають промислові підприємства, екологічна лабораторія, науково-дослідний центр, орган екологічного моніторингу. Кожний тип установи визначає власні вимоги щодо точності моделювання, швидкодії та обсягів обчислюваних сценаріїв.

Технологічна інфраструктура Система може розгортатися:

- локально на окремому ПК;
- у внутрішній мережі (інтрамережі) підприємства;
- у хмарному середовищі для віддаленого доступу.

Документовані входи у вигляді даних. До таких даних належать:

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- метеорологічні параметри (температура, вітер, турбулентність);
- характеристики джерел забруднення (тип хімічної речовини, температура викидів, швидкість потоку);
- географічні дані та конфігурація місцевості;
- межі санітарно-захисних зон.

Система потребує точних даних щодо параметрів об'єкта моделювання, зокрема:

- концентрацій хімічних речовин у контрольних точках;
- температурних характеристик повітря, води або ґрунтів;
- швидкості та напрямку вітру;
- характеристик забруднювача (агрегатний стан, токсичність, коефіцієнти розсіювання);
- геометрії місцевості та наявності інженерних споруд.

Структуру вхідних даних системи та етапи обробки представлено на рис.

1.1.

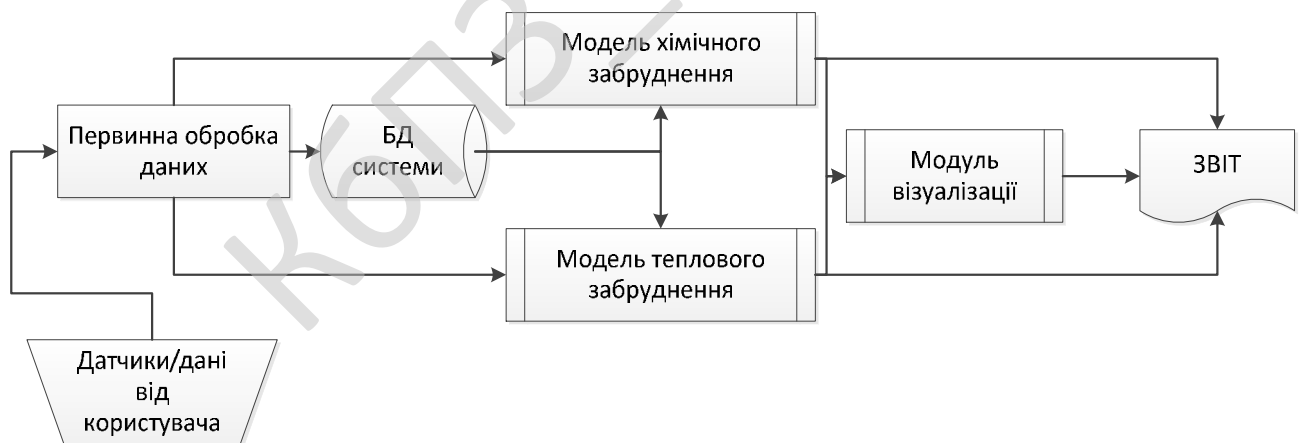


Рисунок 1.1 – Схема роботи системи

Очікувані результати:

- карти концентрацій хімічних речовин;
- ізолінії забруднення;
- температурні поля;

- моделі поведінки забруднюючих речовин у часі;
- аналітичні звіти щодо рівня небезпеки.

Визначення вимог на цьому етапі забезпечує адаптивність системи та можливість її інтеграції в існуючі технологічні процеси.

КБПЗ – 2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

Беручи до уваги особливості розроблюваного програмного забезпечення, основною функцією якого є формування температурного прогнозу на майбутній період на основі фіксованого набору вхідних даних, можна стверджувати, що його інтерфейс міститиме два ключові екрани: екрані для введення інформації та екрані для виведення результатів прогнозування. Відповідно до загальної класифікації типів інтерфейсів, попри складність математичної моделі та алгоритмів прогнозування, інтерфейс користувача залишається досить лаконічним і належить до пакетного типу (рис. 2.1). При цьому зберігається суворя функціональна залежність виходу від входу.

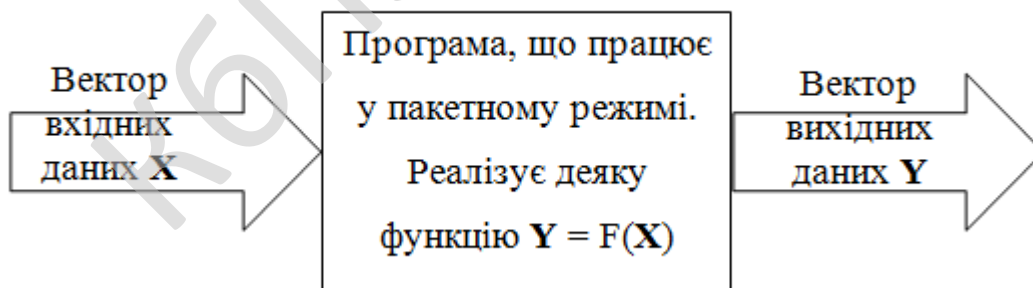


Рисунок 2.1 – Схема роботи пакетної програми

Це зумовлюється логікою взаємодії користувача з програмним продуктом, яка схематично представлена на рис. 2.2.

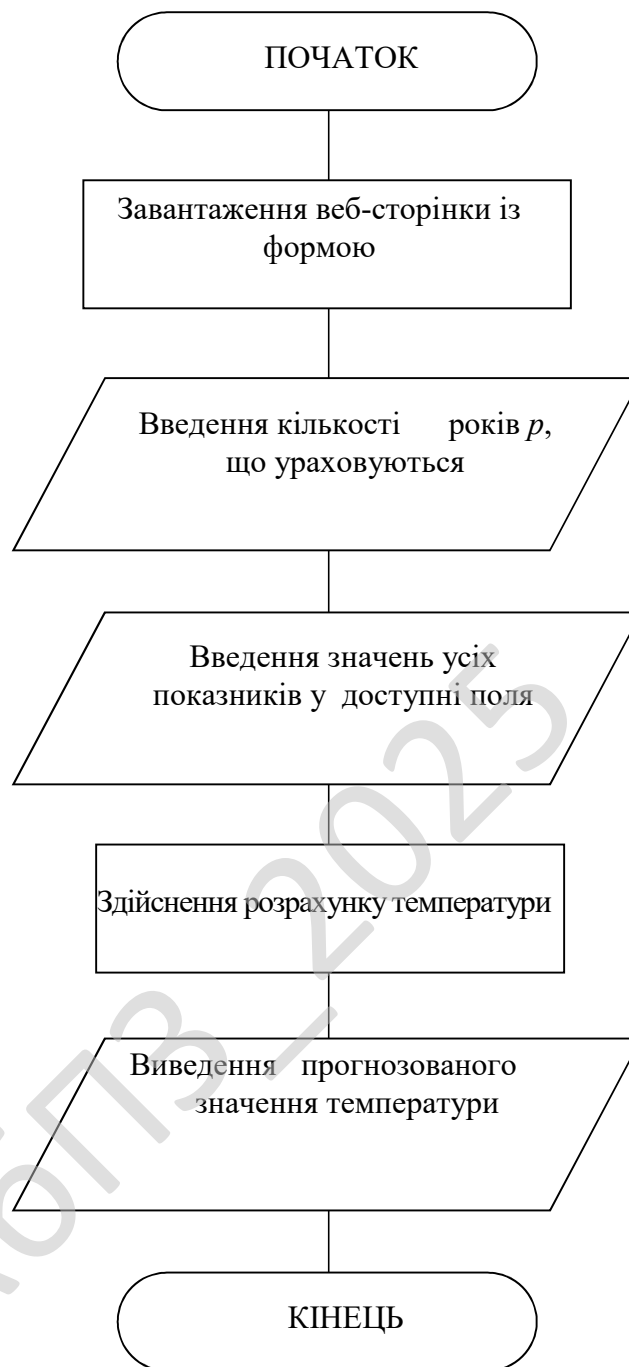


Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи користувача із проєктованим ПЗ

На початковому екрані (рис. 2.3) розміщено набір елементів управління, необхідних для введення вихідних параметрів. У верхньому горизонтальному блоці наведено інформацію щодо середніх температур відповідного регіону за останні p років. За замовчуванням $p = 10$, однак це значення може бути змінено користувачем у спеціальному полі.

Далі подано список ключових факторів, що впливають на інтенсивність тепловиділення в регіональному масштабі. Навпроти кожного фактора передбачено поле введення актуального значення, а поряд — його ваговий коефіцієнт w , визначений експертно.

До показників, використаних для оцінювання рівня теплового забруднення міського середовища, віднесено такі:

- загальна чисельність населення;
- густина населення (оскільки однакова кількість енергії, розподілена на меншу площу, спричиняє більше теплове навантаження);
- темп приросту населення за попередній рік;
- середній рівень заробітної плати (що опосередковано відображає рівень енергоспоживання);
- ступінь насиченості міста промисловими підприємствами (наприклад, за п'ятирівневою шкалою від 0 до 5);
- наявність теплових чи атомних електростанцій у радіусі 30 км, які є найпотужнішими джерелами теплових викидів.

Графічне відображення вікна браузера зі сторінкою введення даних представлено на рис. 2.3.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Введіть кількість попередніх років, для яких є значення середніх температур:
 $r = 9$

Можна вибрати одне із міст, по яким наявні температури, внесені у базу даних:
 Гонконг

Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Середньорічна температура, С	24.7	23.9	25.0	24.7	24.6	24.8	25.3	25.6	24.8

Чисельність населення, осіб	<input checked="" type="checkbox"/>	9	13000000
Густина населення, осіб/кв.км	<input checked="" type="checkbox"/>	8	11500
Відсоток приросту населення за рік, %	<input checked="" type="checkbox"/>	6	9
Середня місячна зарплата, у.о.	<input checked="" type="checkbox"/>	5	2500
Насиченість промисловими підприємствами (по 5-бальній шкалі)	<input checked="" type="checkbox"/>	7	5
Наявність електростанцій (у 30 км зоні), кількість	<input checked="" type="checkbox"/>	4	3

Розрахувати!

Рисунок 2.3 – Екранна форма введення даних (параметрів)

Після заповнення всіх необхідних полів користувач активує обчислення натисканням кнопки «Розрахувати». У відповідь система здійснює обчислення згідно з математичними залежностями та моделлю, що реалізована в програмному додатку, та відображає прогнозоване скалярне значення середньорічної температури для обраної точки A_i на наступний період (рис. 2.4). Зазначимо, що графік формується автоматично відповідно до кількості доступних історичних значень температури.

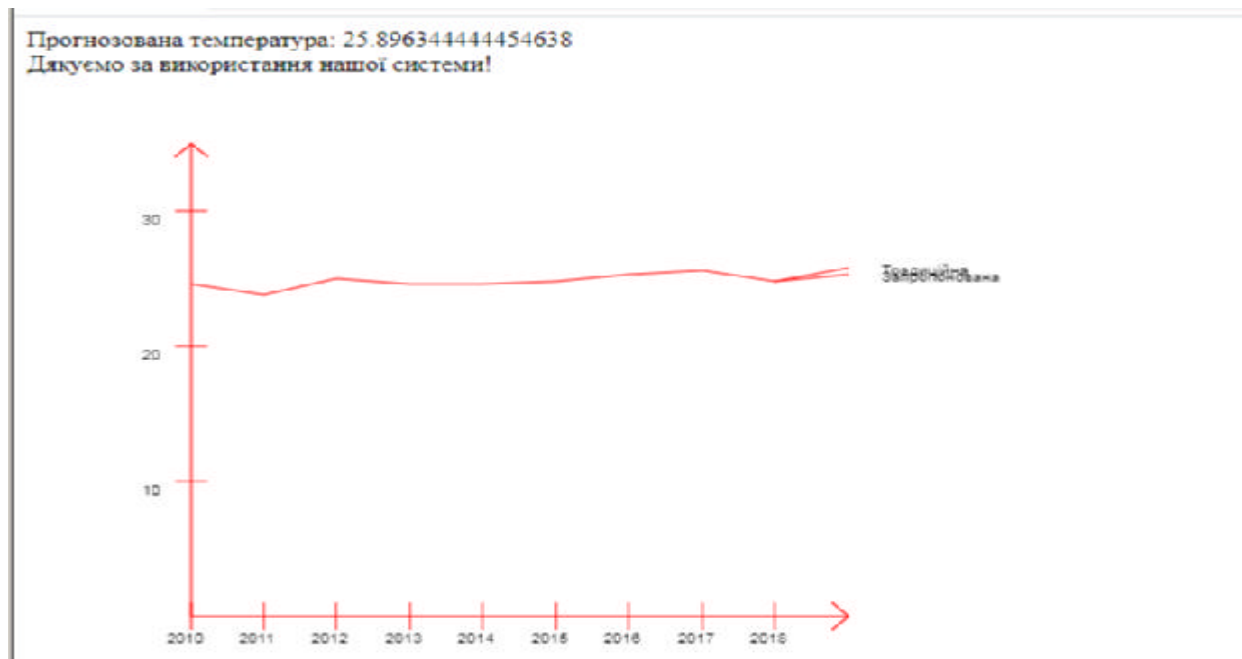


Рисунок 2.4 - Екран програмного забезпечення для виведення інформації

2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування

Цей інструмент був вибраний з кількох причин. Одна з яких це платформа, під яку розробляється система. Так як цільова ОС це операційна система Microsoft Windows, немає нічого кращого, ніж взяти інструментарій, який розроблявся спеціально для цієї платформи. Тому що саме розробник операційної системи знає всі її особливості, і ніхто краще за нього не зможе врахувати всі нюанси цієї платформи.

Visual Studio 2021 – входить до лінійки продуктів Visual Studio, яку підтримує та постійно розвиває Microsoft, і призначений для розробки програмного забезпечення, а також інструмент включає низку інструментальних засобів. Цей продукт дозволяє розробляти консольні програми, а також програми з графічним інтерфейсом, однією з особливостей якого є підтримка технології Windows Forms. Крім цього можна розробляти веб-сайти, веб-додатки, веб-служби.

Орієнтовані платформи цього продукту Microsoft Windows, Windows Mobile,

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Windows CE, .NET Framework, Xbox, Windows Phone .NET Compact Framework та Microsoft Silverlight.

Visual Studio включає редактор вихідного коду з підтримкою технології IntelliSense і можливістю найпростішого рефакторингу коду. Вбудований налагоджувач може працювати як налагоджувач рівня вихідного коду, так і як налагоджувач машинного рівня. Інші вбудовані інструменти включають редактор форм для спрощення створення графічного інтерфейсу програми, веб-редактор, дизайнер класів і дизайнер схеми бази даних.

Visual Studio включає такі компоненти:

- Visual Basic .NET, а до появи - Visual Basic
- Visual C++
- Visual C#
- Visual F# (включено з Visual Studio 2010).

Ми будемо використовувати мову програмування C#.

C# це об'єктно-орієнтована мова програмування. Він був розроблений у 1998 році, групою програмістів та інженерів у компанії Microsoft. Як платформа для додатків використовується .NET Framework.

Сама мова відноситься до сімейства мов, які мають C подібний синтаксис. Найбільш близький він із C++ та Java.

Мова строго типізована, у ній організована підтримка поліморфізму, підтримка операторів, делегати, атрибути, події, властивості, узагальнення типи та методи, ітератори та інше.

Особливістю мови є те, що вона залежить від можливостей CLR. Насамперед це стосується системи типів мови. Завдяки CLR C# має багато можливостей, яких позбавлені деякі мови програмування, наприклад CLR надає складання сміття, що робить програму більш стабільною.

Мова C# розроблявся як базова мова для платформи .NET. Платформа .NET характерна підтримкою проектів з використанням одночасно декількох мов програмування. У той же час C# є основною мовою, на неї орієнтована основна

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

підтримка: розробка нових бібліотек, технічна підтримка, документування[28].

C# має деякі запозичення з мови Java, але їх схожість досить перебільшена. Більш правильним буде висловлювання - мова C# об'єднує в собі зручні конструкції і потужні інструменти багатьох мов, в першу чергу варто згадати C++, Java, VisualBasic. У той же час багато моментів суттєво спрощені для розробника - не потрібно використовувати явний деструктор, роль покажчиків істотно спрощена в порівнянні з C++, контроль пам'яті багато в чому автоматизовано [15, 17, 20].

Варіативність середовища, з точки зору типу проектів і мови програмування, представлено на рис. 2.5.

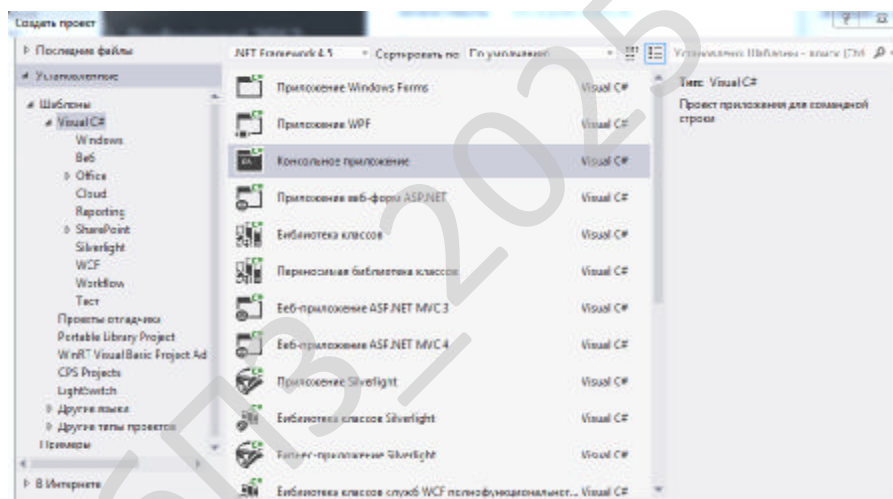


Рисунок 2.5 – Вибір типу проекту та мови програмування

Ось кілька переваг і особливостей мови C# у порівнянні з її найближчими «родичами»:

1. В C# відсутня пряма необхідність у використанні покажчиків, оскільки механізм покажчиків приховано від розробника і застосовується лише побічно.
2. Управління пам'яттю, зокрема видалення невикористовуваних об'єктів і очищення пам'яті, автоматизовано завдяки технології «Збірка сміття». У C# немає операції delete.

3. Мова надає ряд формальних шаблонів і конструкторів для класичних конструкцій, делегатів тощо.

4. Підтримується перевантаження методів, яке спрощене в порівнянні з C++.

5. Є можливість автоматизованого використання анотацій, що дозволяє уточнювати поведінку членів класу.

6. Мова підтримує типізовані запити LINQ, що орієнтовані на різні типи даних, суттєво розширюючи можливості обробки даних.

7. Анонімні типи визначають лише структуру, не накладаючи обмежень на поведінку.

8. Методами розширення можна додавати нові функціональні можливості до існуючих типів.

9. Лямбда-вирази (оператор =>) значно спрощують роботу з делегатами.

10. Можливість ініціалізувати властивості об'єкта безпосередньо при його створенні.

З кожним новим оновленням .NET з'являються нові можливості для мови C#, і остання версія не стала винятком. Варто зазначити, що деякі функції та інструменти, які вже вважаються застарілими з точки зору розробників Microsoft, більше не підтримуються. Це не має критичного значення для нових додатків (для яких існують нові, більш потужні або зручні інструменти), але може створити проблеми для старих проектів, які потребують оновлення та підтримки. Відсутність підтримки застарілих функцій може стати серйозною перешкодою, що потребує значних витрат на адаптацію проекту до нових умов [20].

2.3 Розгорнута постановка завдання

Зростання техногенного навантаження на довкілля, інтенсивний розвиток промислових об'єктів, енергетики та транспорту призводять до суттєвого збільшення рівня хімічних і теплових забруднень у природних середовищах.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Хімічні викиди промислових підприємств, теплові викиди електростанцій, зміни температурного режиму водойм та атмосфери негативно впливають на екосистеми, біорізноманіття та якість життя населення. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває створення інструментів моделювання та прогнозування поширення різних типів забруднень, що дозволяють оцінювати стан довкілля й приймати обґрунтовані рішення щодо його захисту.

Моделювання хімічного та теплового забруднення є складним міждисциплінарним завданням, що охоплює елементи математичного аналізу, фізики середовищ, хімічної кінетики, екології та комп'ютерного моделювання. Обидва типи забруднень поширюються за схожими механізмами — дифузією, конвекцією, турбулентним перенесенням — але характеризуються різною природою впливу та вимагають окремих критеріїв оцінювання. Важливою проблемою є також інтеграція моделей у програмне середовище, здатне забезпечити їх параметризацію, візуалізацію результатів та адаптацію до реальних даних.

Таким чином, з наукової та практичної точок зору виникає задача створення програмного комплексу, який дозволить проводити чисельні експерименти з моделями забруднення, аналізувати характерні закономірності їх поширення та надавати інструменти для подальшого використання результатів у системах моніторингу, підтримки прийняття рішень і екологічного менеджменту.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження математичних моделей хімічного та теплового забруднення навколишнього середовища та розробка програмної реалізації, що забезпечує їх чисельне розв'язання, аналіз і візуалізацію результатів.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. **Проаналізувати фізичні процеси**, що лежать в основі поширення хімічних і теплових забруднень у повітрі, водних об'єктах та ґрунтах, виділити ключові фактори впливу (джерела викидів, характеристики середовища, турбулентність, температурні градієнти тощо).

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2. Розглянути існуючі математичні моделі:

- рівняння дифузії та адвекції-дифузії;
- моделі реакційної кінетики для хімічних речовин;
- рівняння теплопровідності та моделі теплових потоків;
- комбіновані моделі хіміко-теплових процесів.

3. Обґрунтувати вибір методів чисельного розв'язання, таких як метод кінцевих різниць, метод кінцевих елементів або метод частинок, оцінити їх точність, стійкість і обчислювальну складність.

4. Розробити архітектуру програмної системи, яка включатиме:

- модуль математичного моделювання;
- модуль первинної та вторинної обробки даних;
- модуль графічної візуалізації результатів;
- інтерфейс взаємодії користувача з параметрами моделей.

5. Реалізувати програмний комплекс, що дає змогу:

- задавати характеристики джерел забруднення;
- змінювати параметри моделі (коефіцієнти дифузії, швидкість потоків, теплові параметри);
- виконувати чисельні експерименти;
- виводити результати у вигляді графіків, карт розподілу концентрацій і температурних полів.

6. Провести серію експериментів, спрямованих на:

- дослідження особливостей поширення забруднень у різних середовищах;
- аналіз впливу параметрів моделі на кінцеві результати;
- порівняння поведінки хімічних та теплових забруднень;
- перевірку коректності й стійкості чисельних методів.

7. Оцінити можливості інтеграції розробленої системи у практичні екологічні або виробничі моніторингові комплекси.

Очікуваний результат

У результаті виконання роботи має бути створено програмне забезпечення, що дозволяє моделювати процеси дифузії та поширення хімічних і теплових забруднень у різних середовищах, забезпечує гнучку параметризацію моделей, зрозумілу візуалізацію та можливість проведення екологічного аналізу. Науковим результатом є проведення дослідження математичних моделей, оцінювання їхніх можливостей, обмежень та оптимальних областей застосування.

КБПЗ_2025

					VKPM-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Опис функціонування системи

В основі функціонування системи лежать математичні моделі. Тож опис функціонування варто почати саме з цих моделей. Важливим є коректне налаштування математичних моделей хімічного та теплового забруднення відповідно до типу підприємства та середовища.

Налаштування моделей хімічного розсіювання

Система підтримує такі моделі:

1. Гаусова модель факельного забруднення.
2. Модель пасивного переносу речовини у водних середовищах.
3. Моделі реактивних сумішей (з хімічними перетвореннями).

До ключових параметрів, на основі яких реалізується моделювання, належать:

- час розповсюдження;
- коефіцієнт турбулентності;
- швидкість вітру;
- висота джерела;
- тип домішок (пил, газ, аерозолі).

Інтегруючи за часом концентрацію забруднювальних речовин, що надходять від безперервного джерела викидів, можна отримати стаціонарний розподіл концентрацій, який описується класичною Гаусовою моделлю. Така модель відображає усталений стан атмосфери за умов постійного надходження домішок та незмінних метеорологічних характеристик.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Математичний вираз моделі має вигляд:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_x \sigma_y} * \exp \left[-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2} \right] \left\{ \exp \left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}, \quad (3.1)$$

де Q - інтенсивність викиду, u - середня швидкість вітру, σ_y та σ_z - параметри, що характеризують горизонтальну та вертикальну дисперсію домішок, H - ефективна висота джерела.

У даній моделі передбачається, що напрямок вітру збігається з напрямком осі x . Крім того, Гаусова схема враховує відбиття забруднювача від поверхні землі, що математично виражається додатковим членом у фігурних дужках. Таке відбиття моделює умову, коли частинки, досягаючи земної поверхні, не поглинаються повністю, а повертаються у повітря, створюючи певний симетричний внесок у вертикальний профіль концентрацій. Уся модель базується на припущенні про однорідність та стійкість атмосферного шару, що оточує джерело викиду.

Попри широке застосування, наведена модель має низку суттєвих обмежень. Вона не враховує рельєф місцевості, який може суттєво впливати на формування потоків повітря. Також не береться до уваги просторово-часова мінливість метеорологічних параметрів, таких як швидкість і напрямок вітру, стратифікація атмосфери та температура. Модель не придатна для опису роботи джерел, що функціонують лише протягом обмежених проміжків часу, оскільки передбачає сталість надходження забруднювача. Параметри, використані в моделі, здебільшого отримані для наземних джерел, тоді як для підвищених або високих труб вони не завжди коректні. Крім того, модель не охоплює складну вертикальну структуру приземного шару атмосфери, де часто спостерігаються інверсії або нестійкі турбулентні процеси.

Загалом Гаусові моделі здатні відносно точно описувати горизонтальне поширення домішок, однак їх застосування для розрахунку вертикального

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

профілю концентрацій є обмеженим і забезпечує прийнятну точність лише на малих відстанях від джерела. Це робить їх корисними у простих сценаріях, але недостатньо ефективними для складних ситуацій, пов'язаних із неоднорідною атмосферою або різноманітним промисловим ландшафтом.

Налаштування моделей теплового забруднення

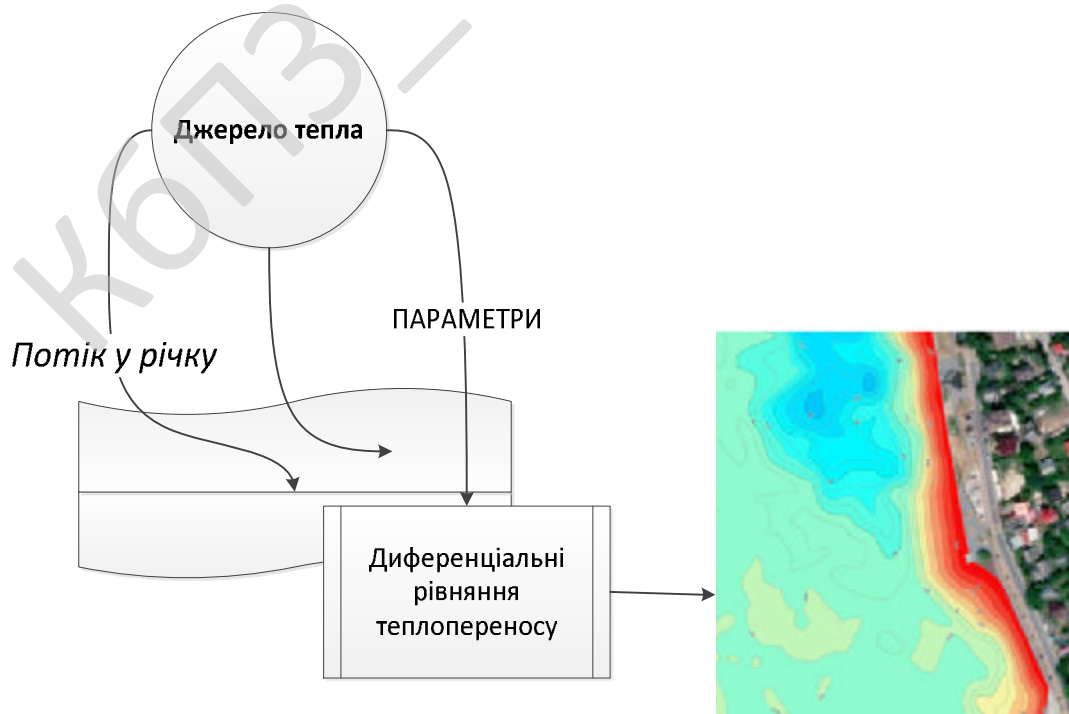
Для термодинамічної частини застосовуються наступні моделі:

- 1. Моделі розсіювання тепла у водних акваторіях;**
- 2. Моделі теплообміну між промисловою установкою та довкіллям;**
- 3. Моделі теплового перенавантаження атмосфери.**

До ключових параметрів теплових моделей відносяться:

- температура джерела;
- об'єм викидів;
- теплоємність середовища;
- коефіцієнт теплопровідності.

Для прикладу розглянемо модель температурного поля у водоймі (рис. 3.1)



[Джерело тепла] → [Потік у річку] → [Диференціальні рівняння теплопереносу] → [Температурна карта]

Рисунок 3.1 – Модель температурного поля в водоймі

3.2 Розробка структурної схеми

Структурна схема програмного комплексу, що реалізує моделі хімічного та теплового забруднення, відображає логічну організацію його основних функціональних модулів, їх взаємодію, а також потоки даних між ними. Комплекс побудований за модульним принципом, що дозволяє забезпечити розширюваність, масштабованість та високий рівень адаптивності щодо різних типів забруднюючих речовин, джерел викидів та умов навколишнього середовища.

В структурі комплексу можна виділити вісім основних незалежних модулів. Далі коротко охарактеризуємо дані модулі та їх призначення в системі.

Вхідний модуль збору та підготовки даних

Цей модуль забезпечує отримання вихідних даних, необхідних для моделювання. Він включає такі підсистеми:

1. **Інтерфейс імпорту даних** - дозволяє завантажувати файли з інформацією про джерела викидів, концентрації речовин, метеорологічні параметри, температурні режими, характеристики місцевості. Підтримуються формати CSV, JSON, XML.

2. **Первинна валідація даних** - здійснює перевірку коректності: контроль діапазонів значень, наявність усіх ключових параметрів, виявлення пропусків і аномалій.

3. **Предобробка даних** – нормалізація даних, масштабування, інтерполяція відсутніх значень, агрегування за часом або просторовою розбивкою.

Цей блок формує уніфікований набір параметрів, необхідний для виконання математичних моделей.

2. Модуль моделювання хімічного забруднення

Модуль реалізує алгоритми розрахунку поширення хімічних домішок у довкіллі. До його складу входять такі компоненти:

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

1. Підсистема розрахунку концентрацій домішок на основі диференціальних рівнянь переносу, дифузії та конвекції, або на основі стаціонарної гаусової моделі.

2. Блок параметрів джерела забруднення: тип джерела (точкове, лінійне, площинне), інтенсивність викидів, висота труби, швидкість виходу газу.

3. Модуль урахування метеорологічних умов: швидкість та напрямок вітру, стабільність атмосфери, коефіцієнти турбулентності.

4. Обчислювальний ядро - реалізує чисельні методи (метод Ейлера, Рунге–Кутта, скінченних різниць) для моделювання просторового розповсюдження.

Результатом роботи модуля є просторові та часові карти концентрацій хімічних речовин.

3. Модуль моделювання теплового забруднення

Цей модуль відповідає за розрахунок теплового впливу вибраного джерела на навколишнє середовище:

1. Підсистема енергетичного балансу - оцінка кількості теплової енергії, що викидається у повітря або водне середовище.

2. Модуль теплопереносу - реалізація моделей конвекції, теплопровідності та теплообміну з урахуванням фізичних властивостей середовища.

3. Блок параметрів середовища - густина, теплоємність, теплопровідність, температура фону.

4. Модуль прогнозування просторового розподілу температури - чисельні методи для побудови температурних полів.

Результатом роботи є температурні карти та профілі нагріву середовища.

Інтегрований блок обчислень і керування моделями

Центральний елемент, що синхронізує роботу обох моделей:

1. вибір режиму моделювання (хімічне / теплове / комбіноване);
2. запуск обчислювальних процесів;

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

3. керування чергою задач;
4. обробка довготривалих обчислень;
5. логування помилок та системних подій.

Цей модуль забезпечує узгодженість розрахунків і можливість паралельного запуску моделей.

5. Модуль аналізу та обробки результатів

Отримані результати моделювання проходять подальшу обробку:

1. **Статистичний аналіз даних** - визначення середніх, екстремальних значень, індексів забруднення.
2. **Побудова ізоліній, карт теплових полів, графіків залежностей.**
3. **Формування звітних наборів даних** - таблиць, порівняльних діаграм, матриць кореляцій.

Цей модуль дозволяє подати результати у науково коректному вигляді та підготувати їх до візуалізації.

6. Модуль візуалізації

Забезпечує графічне представлення результатів:

1. двовимірні карти концентрації та температури;
2. тривимірні моделі поширення домішок;
3. графіки часових залежностей;
4. анімовані сценарії розвитку забруднення.

Підтримує експорт у PNG, SVG, PDF.

7. База даних

Усі вхідні, проміжні та вихідні дані зберігаються у централізованій базі:

- параметри джерел забруднення;
- метеорологічні дані;
- результати розрахунків;
- лог-файли та історія запусків моделей.

БД забезпечує відтворюваність експериментів та швидкий доступ до великих обсягів даних.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

8. Інтерфейс користувача

Це модуль взаємодії користувача з програмним комплексом:

- введення параметрів джерел і середовищ;
- запуск моделювань;
- перегляд результатів і звітів;
- експорт даних.

Може бути реалізований у вигляді графічного додатка або веб-інтерфейсу.

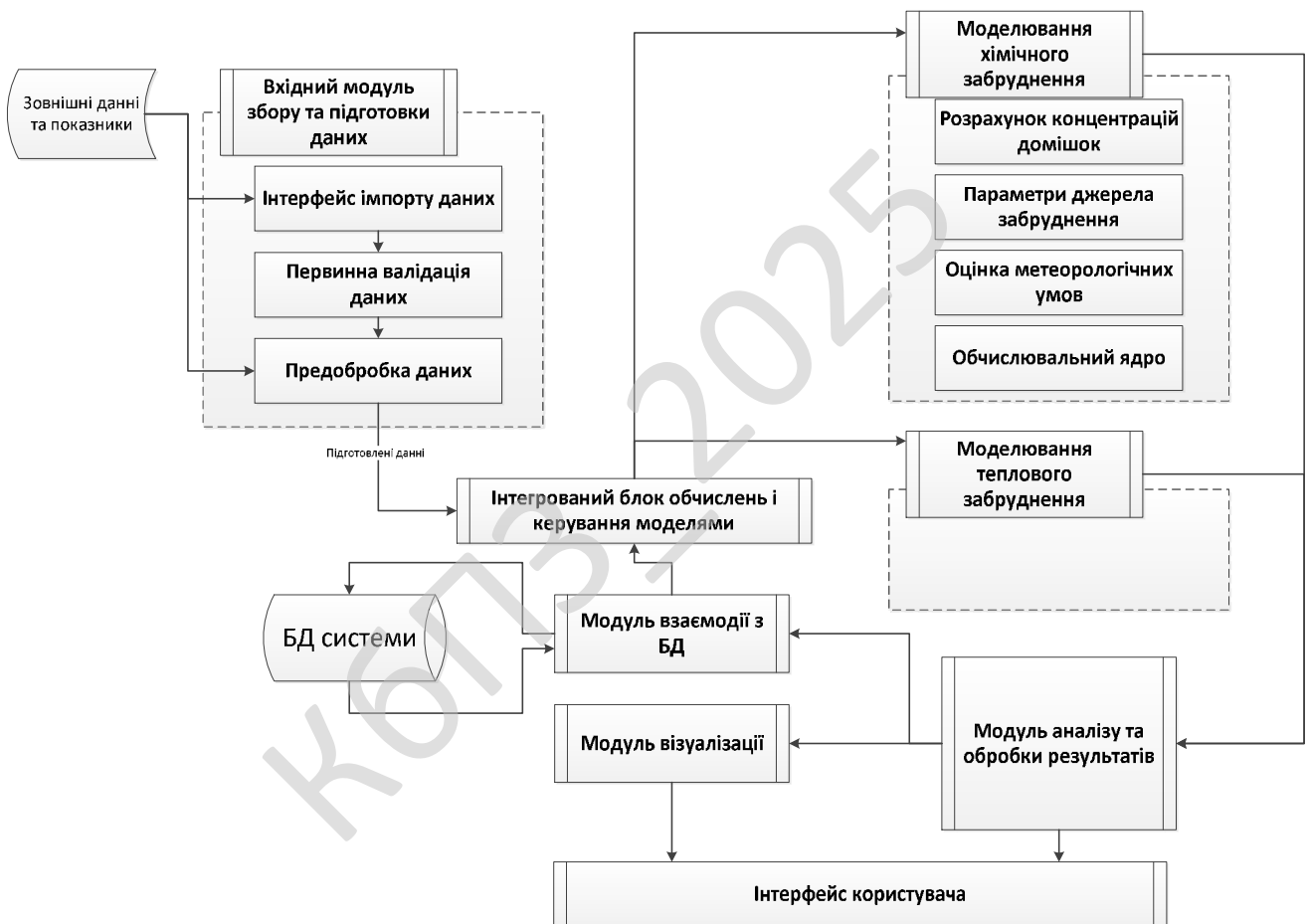


Рисунок 3.2 – Структурна схема програмного забезпечення

Структура програмного комплексу може бути розширена додатковими **службовими** модулями. Наразі дані модулі не реалізовані, тому й не включені до загальної схеми (рис. 3.2), але в подальшому, в ході експлуатації, може виникнути необхідність зокрема в наступних модулях:

Модуль управління конфігурацією - параметри моделей, одиниці вимірювання, шаблони звітів.

Безпековий модуль - контроль доступу, шифрування результатів, захист від зовнішніх змін.

Модуль оновлень - можливість розширення моделей та підключення нових алгоритмів.

Підсумкова логіка роботи системи

1. Користувач вводить або імпортує вихідні дані.
2. Дані проходять валідацію та підготовку.
3. Обирається тип моделювання.
4. Обчислювальні модулі генерують карти хімічного та/або теплового забруднення.
5. Результати аналізуються, агрегуються та візуалізуються.
6. Дані зберігаються у БД та можуть бути експортовані.

3.3 Розробка функціональної схеми

Схема (рис. 3.3) відображає типову послідовність взаємодії між користувачем та програмним комплексом. Центральним бізнес-процесом ПЗ є моделювання хімічного чи теплового забруднення з метою прогнозування наслідків, оцінки ризиків та здійснення компенсуючих дій.

Бізнес-процес реалізується послідовністю наступних етапів.

Етап 1. Отримання даних від користувача чи імпорт даних з датчиків, інших систем, звіту роботи польової дослідницької групи.

Етап 2. Вибір типу моделі, вибір додаткових параметрів. На даному етапі замовник (зацікавлена особа чи організація, що використовує програмне забезпечення для моделювання) обирає додаткові параметри моделювання та особливості представлення результуючої інформації

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Етап 3. Попередня обробка даних та підготовка вхідних параметрів моделювання. Етап реалізується виключно внутрішніми засобами системи.

Етап 4. Представлення проміжних результатів. На цьому етапі система видає замовнику проміжні результати моделювання або моделювання може відбуватись в часі з вибраним дискретом.

Етап 5. Експорт звіту, представлення та інтерпретація отриманих результатів. Результати моделювання пропонуються замовнику у вигляді таблиць, графіків карт. Тут також замовник може обрати форма збереження кінцевого звіту та зберегти результуючий файл

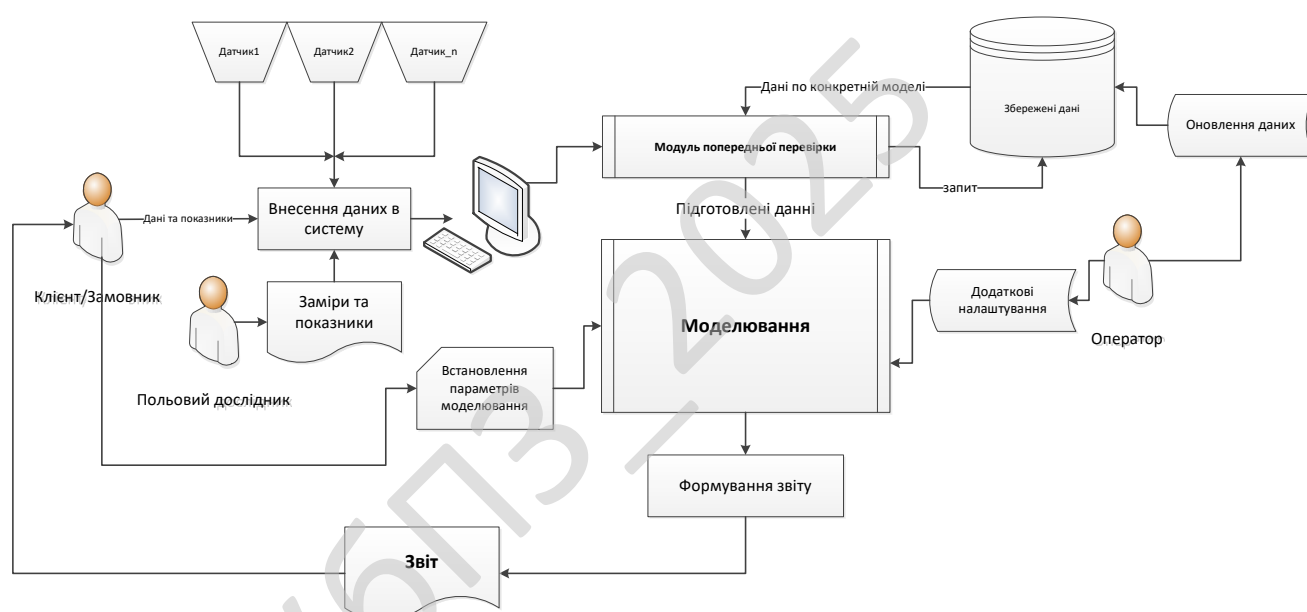


Рисунок 3.3 – Функціональна схема програмного забезпечення

3.4 Розробка діаграми процесів

Процес моделювання хімічного та теплового забруднення є послідовністю взаємопов'язаних етапів, що охоплюють збір даних, їх обробку, математичне моделювання та представлення отриманих результатів у зручному для аналізу вигляді. Діаграма процесів відображає логічний перебіг цих операцій та демонструє взаємодію між агрегуючими модулями системи, підсистемами

підготовки даних, алгоритмічними блоками та компонентами, відповідальними за візуалізацію.

На початковому етапі здійснюється отримання вхідної інформації, яка може включати характеристики джерел забруднення, метеорологічні параметри, гідрологічні показники та геопросторові дані щодо рельєфу й поверхневих водойм. У рамках діаграми процесів цей етап охоплює формування єдиного інформаційного масиву, що надалі піддається попередній обробці. Особлива увага приділяється нормалізації даних, перевірці їхньої повноти, усуненню аномалій та приведенню різномірних параметрів до єдиної системи координат.

Після підготовки інформації відбувається її передавання до модуля математичного моделювання, де вхідні дані трансформуються у формалізоване представлення відповідно до обраної методики розрахунків. У випадку хімічного забруднення основою виступають рівняння перенесення домішок у повітрі чи водному середовищі, моделі дифузії та турбулентного перемішування, а також параметри хімічних реакцій або розпаду речовин. Теплове забруднення, у свою чергу, описується моделями теплоперенесення, що враховують адвекцію, конвекцію та теплову дифузію. Діаграма процесів відображає, як ці моделі взаємодіють, які дані отримують на вході та які параметри генерують як вихідні величини.

Інтегрований модуль обчислень формує масив результатів, що включає концентрації шкідливих речовин, розподіл температурних аномалій, карти поширення хмари домішок або теплових полів. Наступний етап на діаграмі — передавання цих даних у підсистему аналізу та візуалізації. Тут результати перетворюються у графічні структури: ізолінії концентрації, теплові карти, профілі зміни параметрів у просторі та часі. Важливо, що ця підсистема також передбачає можливість порівняння результатів моделювання з нормативними значеннями або історичними даними, що дозволяє оцінити екологічні ризики та визначити зони потенційної небезпеки.

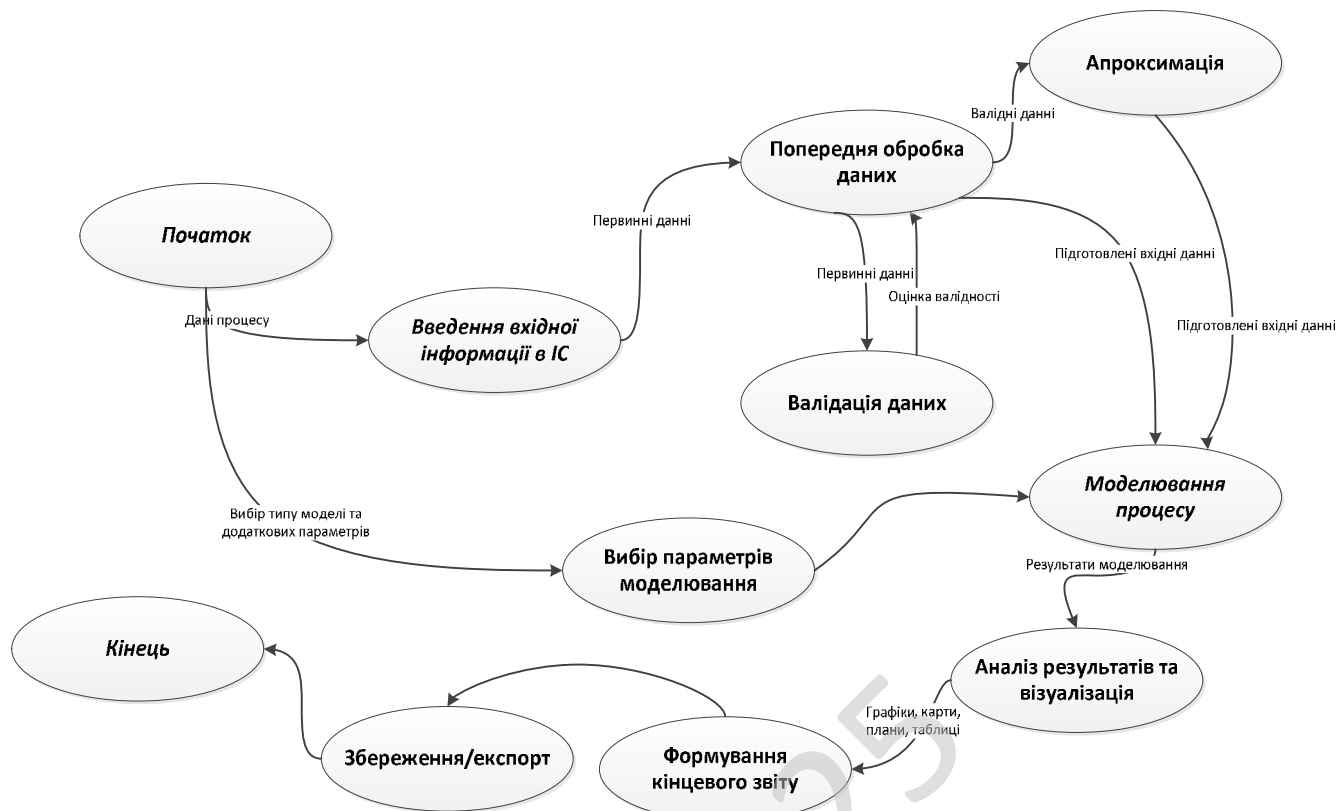


Рисунок 3.4 – Діаграма процесів

Завершальним у діаграмі процесів є блок зберігання та документування результатів. Він фіксує вихідні дані, параметри моделі, використані алгоритми та отримані результати, забезпечуючи можливість подальшого аудиту або повторного проведення моделювання з іншими параметрами. Взаємозв'язки між усіма елементами діаграми утворюють цілісний процес, який демонструє не лише послідовність обчислень, але й їх циклічність: за необхідності система дозволяє повертатися до попередніх етапів, адаптуючи параметри або оновлюючи вихідні дані для уточнення прогнозу.

Таким чином, діаграма процесів у контексті моделювання хімічного та теплового забруднення виступає концептуальною моделлю функціонування всієї системи. Вона дає змогу структуровано представити складні взаємодії між підсистемами, забезпечує цілісне бачення інформаційних потоків і сприяє подальшій оптимізації алгоритмів та підвищенню точності прогнозування.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи

Як уже зазначалося, для узгодження різнорідних за природою та структурою показників, що використовуються у кваліметрії, їх піддають кільком послідовним операціям. Зокрема:

– **нормалізації** - усі показники переводять у безрозмірну форму, найчастіше шляхом ділення на їх можливе максимальне значення;

– **зважування** - значення показників множать на вагові коефіцієнти. Для стимулюючих (підсилюючих) показників застосовується пряме множення, для дестимулюючих (понижуючих) — множення на величину, обернену значенню показника;

– **агрегації (згортки)** - інтегрування всіх нормалізованих і зважених показників у єдиний інтегральний результат.

Ці етапи можуть реалізовуватися різними способами. Найчастіше використовуються три базові комбінації формул:

1. Мультиплікативна модель

$$x_i = \frac{\prod_{k=1}^{l_1} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik})}{\prod_{k=l_1+1}^{l_1+l_2} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik}^{-1})} \quad (4.1)$$

де l_1 – кількість вхідних показників, при збільшенні яких підвищується значення x_i , такі показники, відповідно до термінології [9], будемо називати стимулюючими, підсилюючими (показники-стимулятори);

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

ρ_{ik} – коефіцієнт для приведення до єдиної міри (розмірності) k -того показника, нормалізуючий множник, який часто розраховується як $1/u_{ik \max}$.

2. Адитивна модель корисності

$$x_i = \frac{\sum_{k=1}^{l_1} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik})}{\sum_{k=l_1+1}^{l_1+l_2} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik}^{-1})} \quad (4.2)$$

Саме третій варіант, з певними модифікаціями, використано у [59] та низці споріднених робіт. Методика, описана в [59], включає три основні етапи:

1. **Нормалізація показників** - обчислення їх відносних значень (аналог множників виду $u_{ik} \cdot \rho_{ik}$.

2. **Визначення інтегрального показника зростання** - шляхом множення нормалізованих показників на їх ваги та подальшого сумування за формулою (4.3).

$$x_i = \sum_{k=1}^{l_1} (u_{ik} \cdot \rho_{ik} \cdot w_{ik}) + \sum_{k=l_1+1}^{l_1+l_2} \left(\frac{w_{ik}}{u_{ik} \cdot \rho_{ik}} \right) \quad (4.3)$$

3. **Прогнозування температури** - множення наявного значення температури на поправочний коефіцієнт, нормалізований за формулою (4.4):

$$T_i = T_{i-1} \cdot \left(1 + \frac{x_i}{x_m} \right), \quad (4.4)$$

де x_m - максимальне значення поправочного коефіцієнта, що дорівнює сумі всіх ваг $u_{ik} \cdot \rho_{ik}$ за умови досягнення відповідними добутками своїх екстремальних величин.

Такий підхід базується на понятті поточного стану процесу та врахуванні показників, які експерти вважають критичними для зміни температури в майбутньому.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Підхід на основі регресійного аналізу

Окрім методів кваліметрії, широко застосовується підхід побудови часових трендів у рамках регресійного аналізу. У нашому випадку температура T змінюється у часі t . Традиційно у регресійному аналізі тимчасово позначають аргумент як x , а функцію - як y , після чого повертаються до вихідних позначень.

Завдання встановлення функціонального зв'язку між величинами є типовим для регресійного аналізу. Залежність між змінними називають **рівнянням регресії**.

У загальному вигляді може розглядатися функція багатьох змінних:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Та найпоширеніший випадок - залежність від одного аргументу:

$$y = f(x). \quad (4.5)$$

Ця функція може бути складною, що демонструє приклад зміни опадів у часі (рис. 4.1).

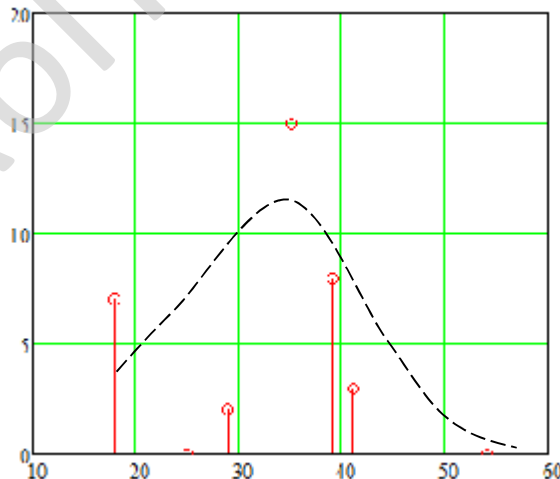


Рисунок 4.1 – Приклад функції регресії оцінки опадів в залежності від часу що минув з початку «сезону дощів»(для специфічних кліматичних зон)

Проте у найпростішій формі використовується **лінійна регресія**:

$$y=ax+b.$$

(4.6)

Коефіцієнти a і b визначаються за методом найменших квадратів: мінімізується сума квадратів похибок.

Приклад блок-схеми алгоритму, що реалізує лінійну регресію представлено на рис. 4.2

КБПЗ_2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

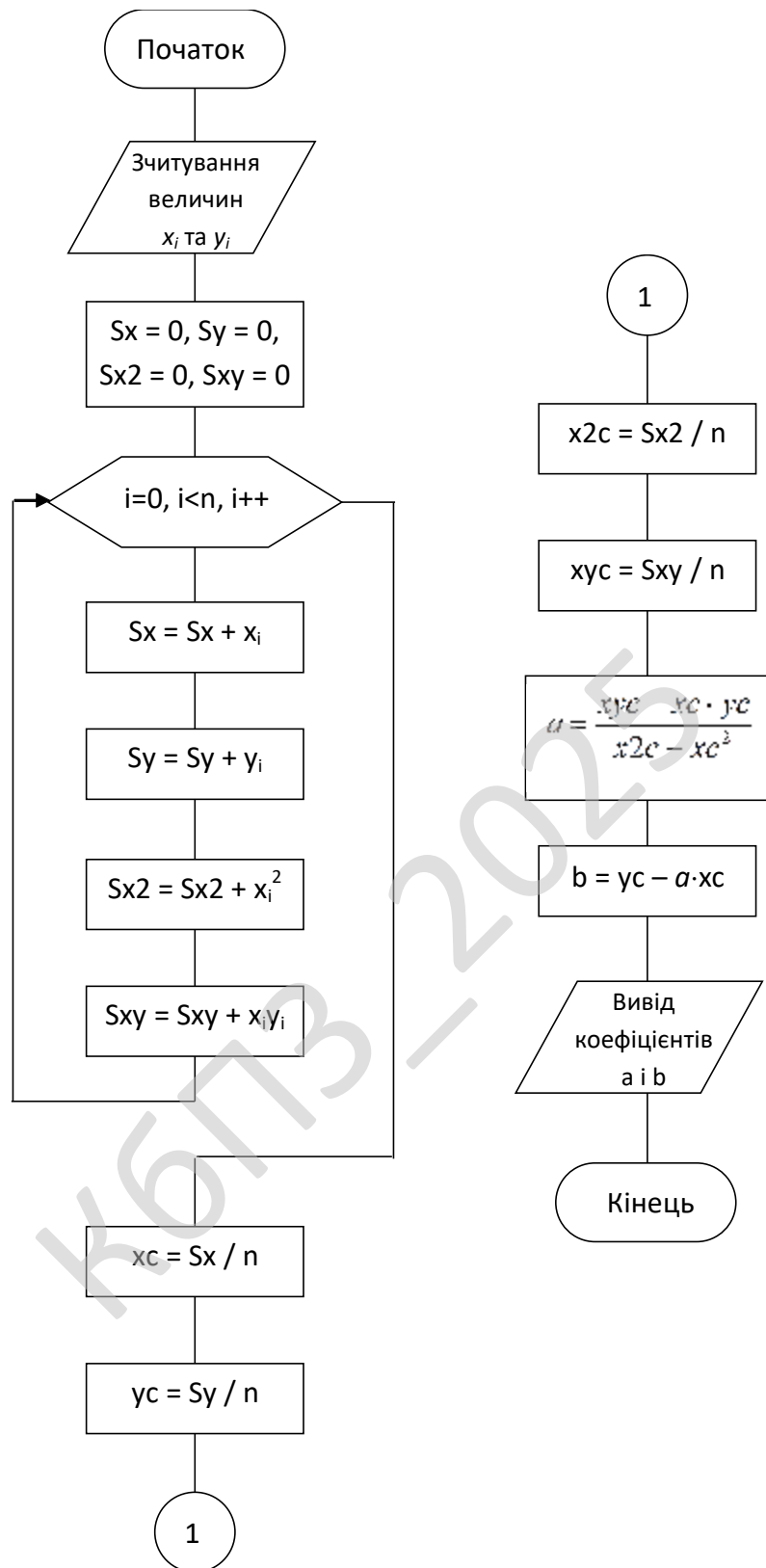


Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритму лінійної регресії

У програмній частині доцільно застосовувати одновимірну лінійну регресію (4.6), а коефіцієнти визначати використовуючи алгоритм, представлений на рис.

4.2. Для цього обчислюються:

- середні значення x та y ,
- середнє квадратичне значення x ,
- середній добуток xy .

Усе це виконується в єдиному циклі (див. блок-схему рис. 4.2).

Програмне забезпечення працює зі значеннями середніх температур за останні r років, що вводяться вручну або завантажуються з БД. Надалі проводиться розрахунок прогнозованої температури.

В ході моделювання виникає необхідність розв'язувати системи лінійних рівнянь. Тому реалізацію даного моменту можна розглядати як складову частину - блок-схему підпрограми.

Розв'язування СЛАР реалізується методом прогонки.

Метод прогонки належить до прямих методів розв'язання систем лінійних рівнянь і використовується в тих випадках, в яких багато коефіцієнтів матриці дорівнюють нулю. Ця обставина врахована під час реалізації методу прогонки, у якому виключаються перетворення з нульовими елементами. У методі прогонки стосовно системи лінійних рівнянь, що мають тридіагональну матрицю, можна виділити наступні етапи.

- Приведення тридіагональної матриці до верхньої трикутної (прямий хід), У разі тридіагональної матриці це означає приведення до дводіагональної, тобто приведення вихідної системи до системи, що містить по два невідомі у кожному рівнянні, крім останнього, в якому міститься тільки одне невідоме.

- Запис зворотного ходу як $x_i = P_{i+1}x_{i+1} + Q_{i+1}$, оскільки перетворена матриця – двухдіагональна.

- Виведення рекурентного співвідношення для P_{i+1} і Q_{i+1} через P_i і Q_i отримання співвідношення для P_2 і Q_2 ($P_1 = Q_1 = 0$).

- Здійснення зворотного ходу методу прогонки та визначення всіх невідомих.

Розглянутий метод прогонки є модифікацією методу виключення Гаусса, що використовує спеціальний регулярний вид матриці системи. Запишемо систему лінійних рівнянь алгебри з тридіагональною матрицею у вигляді:

$$\begin{aligned} a_i x_{i-1} - b_i x_i + c_i x_{i+1} &= d_i, & i = 1, 2, \dots, n, \\ a_1 = c_n &= 0. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Блок-схема вище розглянутого алгоритму представлена на рис. 4.3

КБПЗ_2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

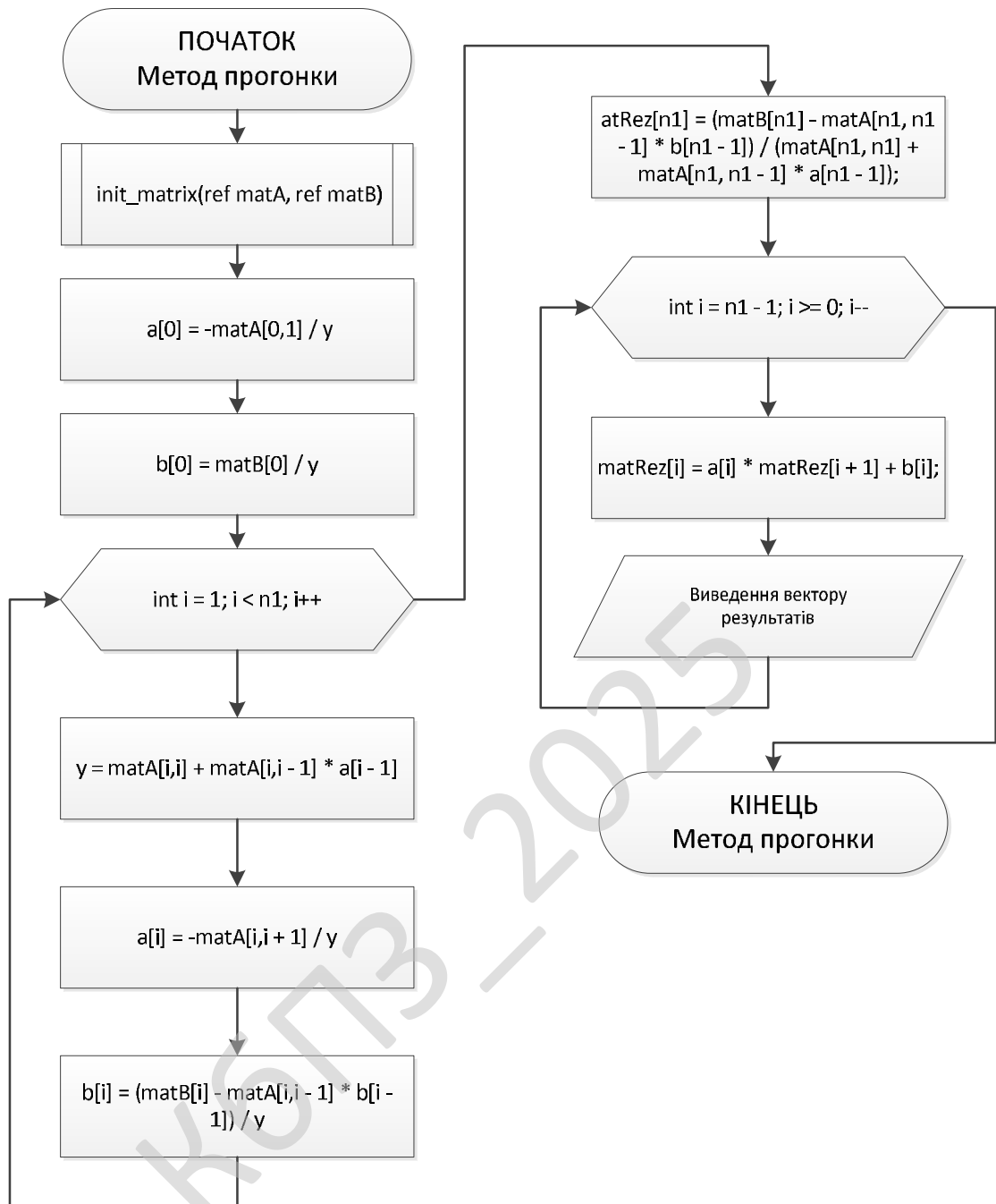


Рисунок 4.3 – Блок-схема підпрограми (розв’язування СЛАР)

Описати алгоритм можна наступними кроками:

1) Ініціалізуємо матриці, що визначають СЛАР:

matA – матриця коефіцієнтів

matB – вільні члени

2) Прямий хід – виключення невідомих X_{i-1} у кожному рівнянні системи, зведення матриці до трикутного вигляду

3) Зворотний хід – одержання коріння СЛАР. Починаючи з останнього Хп, далі піднімаємося до першого рівняння підставляючи раніше знайдене коріння в рівняння і таким чином, знаходимо наступний корінь.

4.2 Захист розробленого програмного забезпечення

Враховуючи, що програмний продукт, розроблюваний у межах магістерської роботи, передбачається використовувати як мережевий сервіс, одним із ключових механізмів його безпеки є мережевий захист на основі брандмауера. Центральним елементом функціонування брандмауерів виступає система фільтрації пакетів. Пакетний фільтр, працюючи спільно зі спеціалізованим програмним забезпеченням, блокує проходження неавторизованих пакетів через проксі-сервер на маршруті між різними сегментами мережі. Кожен пакет аналізується за його заголовками, а адміністратор формує набір правил, що визначають, який трафік може бути пропущений, а який підлягає блокуванню.

Пакетні фільтри здатні аналізувати не лише IP-адреси відправника та отримувача, але й протокол обміну, а також сервіси верхнього рівня, з якими пов'язаний конкретний пакет. Наприклад, адміністратор може повністю заблокувати WWW-трафік, дозволивши при цьому передавання лише електронної пошти.

Класична архітектура брандмауера Інтернет-сегменту включає три типи пакетних фільтрів:

- фільтр для контролю вхідного трафіку з глобальної мережі;
- фільтр для моніторингу та обмеження вихідного трафіку;
- фільтр, що забезпечує коректну взаємодію прикладного програмного забезпечення.

Захищений хост, на якому розгортається спеціалізований функціональний модуль, розташовується у виділеному сегменті мережі між двома пакетними фільтрами. Один із них блокує всі зовнішні вхідні пакети, окрім отриманих від

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

авторизованих сервісів цього хоста. Другий аналогічно обмежує вихідний потік — дозволяються лише пакети, пов'язані зі спеціальними додатками. Таким чином, увесь інформаційний обмін між локальною інфраструктурою організації та зовнішніми ресурсами Інтернету здійснюється виключно через захищений вузол.

На захищеному хості функціонують так звані прикладні шлюзи (проху-сервери). У разі звернення користувача, наприклад, для отримання файлу через FTP, клієнт контактує з FTP-проху, розгорнутим на захищеному хості. Проксі-сервер проводить перевірку прав доступу, скачування файлу з мережі Інтернет, антивірусну перевірку та передає очищений файл користувачеві. Усі запити журналюються з можливістю подальшого аналізу.

Одним із пріоритетних завдань адміністратора проксі-сервера є ідентифікація та авторизація користувачів. Підтримка механізмів NTLM, MSNT, SMB, LDAP значно спрощує цей процес, особливо за умов необхідності ведення аудиту або тонкої фільтрації трафіку.

У ролі основного протоколу захисту використовується IPSec — комплекс стандартів, призначених для організації VPN-з'єднань, що визначають процедури аутентифікації, шифрування та керування криптографічними ключами в IP-мережах. IPSec забезпечує:

- аутентифікацію кінцевих точок під час встановлення каналу зв'язку;
- шифрування та контроль цілісності даних;
- автоматизований обмін секретними ключами.

До складу IPSec входять три базові протоколи:

- **IKE (Internet Key Exchange)** — встановлення з'єднання, вибір параметрів та обмін ключами;
- **AH (Authentication Header)** — забезпечення цілісності та підтвердження автентичності джерела трафіку;
- **ESP (Encapsulation Security Payload)** — шифрування та конфіденційність переданих даних.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

У межах однієї асоціації безпеки (SA, Security Association) використовується лише один з протоколів — AH або ESP. Режими роботи IPSec можуть бути транспортними або тунельними. Для шифрування застосовуються DES, 3DES або AES, а для хешування — MD5 або SHA-1. У більшості випадків рекомендовано використовувати SHA-1. Алгоритм гешування також планується використовувати для перевірки цілісності параметрів моделювання, що надходять з мережі. Розглянемо даний алгоритм більш детально.

Алгоритм SHA-1 (Secure Hash Algorithm 1) є однією з класичних криптографічних геш-функцій, розроблених Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST). Попри те, що нині він вважається застарілим з позицій стійкості до колізій, його використання все ще поширене у низці протоколів та систем, де необхідна сумісність зі спадковим програмним забезпеченням або забезпечення цілісності даних без критичних вимог до криптостійкості. У процесі розробки програмного продукту алгоритм SHA-1 застосовується як частина засобів контролю цілісності, а тому доцільно розглянути особливості його практичної реалізації.

1. Загальна характеристика алгоритму

SHA-1 є геш-функцією, що працює з блоками даних фіксованого розміру та формує 160-бітний (20-байтовий) геш. Обчислення геша ґрунтується на поєднанні логічних операцій, побітових циклічних зсувів і модульного додавання. Процес обробки вхідного повідомлення складається з трьох основних етапів:

1. попередньої обробки (доповнення повідомлення та формування блочної структури);
2. ініціалізації п'яти 32-бітних робочих регістрів;
3. виконання основного циклу, що включає 80 раундів обчислень.

2. Попередня обробка даних

Вхідне повідомлення має бути доповнено таким чином, щоб його довжина стала кратною 512 бітам. Процес доповнення включає:

1. Додавання біта «1» до кінця повідомлення.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

2. Доповнення нулями до моменту, коли залишиться рівно 64 біти до межі 512-бітного блока.

3. Запис довжини початкового повідомлення у вигляді 64-бітного числа у кінці доповненого блока.

Отриманий масив розбивається на блоки по 512 біт, кожен з яких надалі обробляється окремо.

3. Ініціалізація робочих змінних

SHA-1 використовує п'ять 32-бітних регістрів, що ініціалізуються фіксованими константами:

- $H_0 = 0x67452301$
- $H_1 = 0xEFCDAB89$
- $H_2 = 0x98BADCFE$
- $H_3 = 0x10325476$
- $H_4 = 0xC3D2E1F0$

Ці константи визначені стандартом та забезпечують початковий стан алгоритму.

4. Формування розширеного масиву слів

Кожен блок повідомлення ділиться на 16 слів по 32 біти ($W[0]$ – $W[15]$). Далі формується розширений масив $W[0]$ – $W[79]$, де слова з індексами 16–79 обчислюються за формулою:

$$W[t] = (W[t-3] \text{ XOR } W[t-8] \text{ XOR } W[t-14] \text{ XOR } W[t-16]) \lll 1 \quad (4.7)$$

Операція \lll позначає циклічний зсув вліво.

Цей крок дозволяє алгоритму генерувати з вхідного блоку внутрішні значення, необхідні для 80 раундів.

5. Основний цикл обчислень

Головна частина SHA-1 складається з 80 раундів, об'єднаних у чотири групи по 20. У кожній групі застосовується своя логічна функція та константа.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

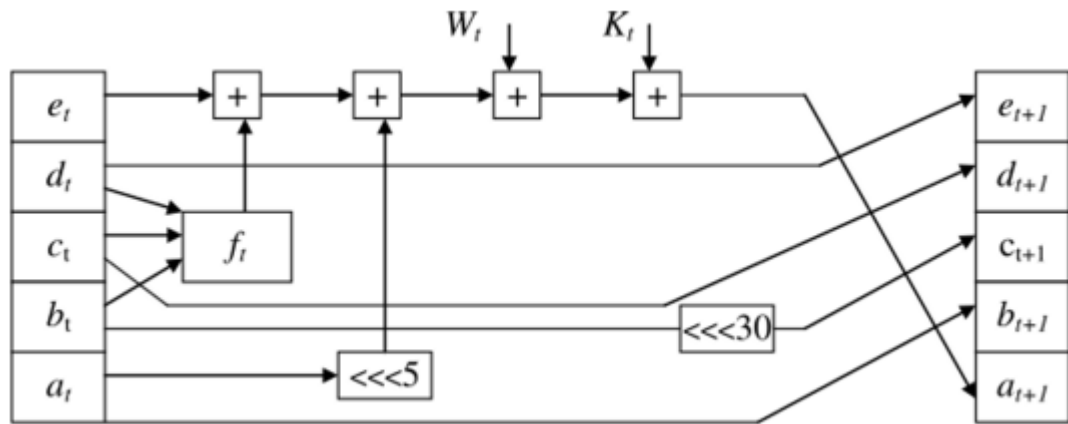


Рисунок 4.3 – Мережа Фейстеля окремого раунду роботи алгоритму

Логічні функції

1. **0–19 раунди:** $f(B,C,D) = (B \text{ AND } C) \text{ OR } ((\text{NOT } B) \text{ AND } D)$
2. **20–39 раунди:** $f(B,C,D) = B \text{ XOR } C \text{ XOR } D$
3. **40–59 раунди:** $f(B,C,D) = (B \text{ AND } C) \text{ OR } (B \text{ AND } D) \text{ OR } (C \text{ AND } D)$
4. **60–79 раунди:** $f(B,C,D) = B \text{ XOR } C \text{ XOR } D$

Константи K_t

- $K = 0x5A827999$, для $t = 0..19$
- $K = 0x6ED9EBA1$, для $t = 20..39$
- $K = 0x8F1BBCDC$, для $t = 40..59$
- $K = 0xCA62C1D6$, для $t = 60..79$

Раундова формула

Для кожного раунду обчислюється:

$$\text{TEMP} = (A \lll 5) + f(B,C,D) + E + W[t] + K[t]$$

$$E = D$$

$$D = C$$

$$C = B \lll 30$$

$$B = A$$

$$A = \text{TEMP}$$

Після завершення 80 раундів значення А–Е додаються до Н0–Н4.

6. Формування геша

Після обробки всіх блоків отримані значення регістрів конкатенуються:

$$\text{SHA1}(\text{message}) = H_0 \parallel H_1 \parallel H_2 \parallel H_3 \parallel H_4$$

У результаті формується 160-бітний геш.

7. Особливості програмної реалізації

Під час реалізації алгоритму необхідно врахувати такі аспекти:

- забезпечення роботи з даними в мережевому порядку байтів (big-endian);
- оптимізація операцій циклічних зсувів;
- мінімізація проміжних копій даних;
- використання 32-бітних цілочисельних типів для коректності обчислень.

У реалізації бажано уникати рекурсії та застосовувати статичні масиви, що зменшує накладні витрати.

Для шифрування даних у межах системи обрано алгоритм 3DES — удосконалену версію DES, що усуває основну проблему оригінального алгоритму — недостатню довжину ключа (56 біт). 3DES виконує поетапне шифрування даних трьома незалежними ключами, що дає загальну довжину 168 біт і суттєво підвищує стійкість алгоритму до атак типу перебору.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

Ефективне використання програмного комплексу, призначеного для моделювання процесів хімічного та теплового забруднення навколишнього середовища, потребує чітко регламентованої методики впровадження в експлуатацію. Оскільки система має не лише обчислювальні, але й аналітичні та інформаційно-довідкові функції, її інтеграція в інфраструктуру установи потребує послідовного виконання організаційних, технічних та методичних заходів. У цьому розділі наведено комплексний підхід до розгортання програмного продукту, включно з аналізом вимог, порядком інсталяції, налаштуваннями, випробуваннями, навчанням персоналу й оцінюванням ефективності його подальшої експлуатації.

1. Аналіз середовища впровадження

Першим етапом є визначення умов, у яких система буде функціонувати.

Основними користувачами системи передбачаються промислові компанії, що використовують в виробничих процесах хімічні сполуки та СДОР, а також організації екологічного моніторингу. Детально характеристику використання системи та ключові етапи в процесі застосування описано в пункті 2.1

2. Підготовка апаратного та програмного забезпечення

Перед розгортанням системи необхідно виконати підготовчі роботи.

2.1. Апаратні вимоги

Для базової експлуатації рекомендується:

- **Процесор:** багатоядерний, не нижче Intel Core i5 або аналог;
- **Оперативна пам'ять:** від 8 ГБ для типової роботи, 16–32 ГБ для великих сценаріїв;
- **Накопичувач:** SSD від 250 ГБ;

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

– **Графічний адаптер:** для 3D-візуалізації бажано GPU з 4–6 ГБ відеопам'яті.

У разі серверного розгортання обладнання добирається залежно від кількості одночасних користувачів і складності розрахунків.

2.2. Програмні компоненти

Програмний комплекс може складатися з таких модулів:

- ядро розрахункової моделі (Python та C#);
- модуль візуалізації (власний рендер та візуалізатор);
- база даних (MySQL);
- модуль введення вхідних даних;
- мережевий модуль (API, веб-інтерфейс чи клієнтська частина).

Необхідні додаткові пакети:

- інструменти наукових обчислень (NumPy, SciPy);
- бібліотеки моделювання дифузійно-конвективних процесів;
- картографічні бібліотеки (наприклад, Folium, GDAL за потреби);
- серверна платформа (Flask/FastAPI або Node.js — у разі веб-інтерфейсу).

3. Інсталяція та первинне налаштування системи

3.1. Інсталяція програмного забезпечення

1. Завантаження інсталяційного пакета або клонування репозиторію.
2. Встановлення залежностей через менеджер пакетів.
3. Розгортання бази даних, ініціалізація таблиць.
4. Указання шляхів до службових каталогів (вхідні дані, звіти, логи).

Для серверної версії виконується додатково:

- налаштування веб-сервера;
- налаштування SSL-сертифікатів;
- запуск окремого сервісу для обчислювального ядра.

3.2. Первинні параметри системи

На початковому етапі адміністратор визначає:

- системні одиниці (м/с, °C, г/м³);

- довідник доступних хімічних речовин;
- шаблони сценаріїв;
- часові кроки моделювання;
- параметри візуалізації (шкали, кольорові карти).

4. Інтеграція з існуючими інформаційними потоками

Для підприємств і лабораторій важливою є взаємодія системи з іншими даними. Можлива інтеграція включає:

1. Підключення метеостанцій: система може імпортувати дані в реальному часі або у вигляді архівів.

2. Використання геоінформаційних баз: це забезпечує побудову реалістичних моделей поширення забруднення з урахуванням рельєфу.

3. Обмін даними з екологічними моніторинговими системами: можливий імпорт фактичних вимірювань для калібрування моделі.

а. Експорт результатів: система повинна підтримувати формати, що стандартно використовуються для збереження результатів. Наприклад: CSV, GeoJSON, PDF-звіт, растрові карти.

5. Тестування програмного комплексу перед запуском

Якість обчислювальних моделей визначає можливість застосування системи у виробничих або дослідницьких умовах. Тому тестування охоплює три рівні:

- Функціональне тестування.
- Математичне тестування.
- Навантажувальне тестування.

Функціональне тестування передбачає перевірку коректності отримуваних параметрів та інших даних (їх валідацію), адекватність роботи інтерфейсу та логічну відповідність, стабільність роботи окремих модулів системи, коректність формування звітів.

На етапі математичного тестування перевіряється відповідність результатів:

- аналітичним розрахункам;

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- типовим інженерним моделям (модель Гауса для хімічних забруднень, моделі конвекції-дифузії тощо);
- відомим еталонним даним.

Так як система планується як мережевий сервіс – варто протестувати її можливості паралельно обробляти запити декілької клієнтів. Для даної системи, враховуючи її специфічність, не очікується односної великої кількості користувачів, та разом з тим паралельні звернення можуть бути. Тому варто перевірити здатність системи обробляти багатогодинні сценарії, стабільність при певній кількості користувачів, час обчислень при різних дискретностях сітки моделювання.

6. Навчання персоналу

Навчання є ключовим етапом успішного впровадження, оскільки коректне використання системи визначає якість отриманих результатів.

Програмою навчання передбачається:

6.1 Теоретичний блок

- основи моделювання забруднень;
- поняття хімічної та теплової дифузії;
- принципи побудови чисельних моделей.

6.2 Практичний блок

- створення сценаріїв забруднення;
- налаштування параметрів середовища;
- аналіз отриманих карт і графіків;
- експорт результатів.

6.3 Методичний блок

- правила інтерпретації результатів;
- типові помилки користувачів;
- рекомендації щодо вибору кроку моделювання та параметрів сітки.

Для великих установ можливе проведення сертифікованих тренінгів або створення електронного курсу.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

7. Впровадження та дослідно-промислова експлуатація

Після завершення тестування та навчання персоналу відбувається запуск системи у режим дослідної експлуатації.

Цей період триває зазвичай від 1 до 3 місяців і включає:

- моніторинг працездатності;
- збір зворотного зв'язку від користувачів;
- аналіз коректності отриманих результатів;
- внесення змін до налаштувань або моделювальних параметрів;
- формування журналу інцидентів.

На основі результатів дослідної експлуатації розробник уносить корективи до алгоритмів, інтерфейсу або структури даних.

Протягом експлуатаційного періоду передбачається супровід системи. До елементів супроводу можна віднести: регулярне оновлення бібліотек, усунення виявлених помилок, оновлення довідників системи, адаптацію до нових стандартів моніторингу, додавання нових моделей чи модифікації існуючих (наприклад, взаємодія забруднювачів між собою).

Методика впровадження програмного комплексу моделювання хімічного та теплового забруднення охоплює повний життєвий цикл системи — від аналізу вимог до супроводу та оцінювання ефективності. Дотримання запропонованих рекомендацій забезпечує стабільну роботу, високу точність результатів та можливість широкого застосування системи в екологічному моніторингу, промисловій безпеці, наукових дослідженнях та освітньому процесі.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

6 НАУКОВА НОВИЗНА

В умовах стрімкої урбанізації та суттєвого зростання техногенного навантаження на довкілля проблема теплового забруднення набуває особливого значення. Людство вже спостерігає невідворотні наслідки, зміни рівня світового океану, зміни клімату та інші прояви. Подальше невпинне зростання теплового забруднення може призвести до ще більш руйнівних та критичних наслідків.

Інтенсивне використання енергетичних ресурсів, зростання обсягів промислового виробництва призводять також і до хімічного забруднення, що є окремим фактором негативного впливу на довкілля.

Мета роботи полягає у підвищенні точності прогнозування параметрів теплового забруднення шляхом побудови адекватної математичної моделі та її програмної реалізації.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

- проаналізувати сучасні методи моделювання поширення забруднень, зокрема теплових;
- обрати метод, у якому можливе ефективне вдосконалення;
- виконати математичне обґрунтування запропонованого удосконалення;
- реалізувати обраний метод програмними засобами;
- сформулювати висновки та визначити перспективи подальшого розвитку.

Об'єкт дослідження – процес прогнозування наслідків забруднення довкілля.

Предмет дослідження – методи моделювання динаміки процесів забруднення.

Наукова новизна роботи полягає у створенні нового методу моделювання забруднень, який поєднує статистичні підходи (виділення часових трендів зміни ключових параметрів) із кваліметричними (оцінювання стану на основі системи

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

бальних показників). Така інтеграція дає змогу суттєво покращити точність і прогностичні можливості моделі.

Окремим пунктом наукової новизни є розробка програмного засобу, що забезпечує візуалізацію результатів моделювання процесів поширення забруднень та може бути використаний для впровадження у прикладні інформаційні системи.

КБПЗ_2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

7 МАРКЕТИНГОВЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ІТ-ПРОЄКТУ

7.1 Визначення цільової аудиторії кінцевого готового продукту

Результати такого дослідження можуть бути особливо цінними для промислових підприємств, які працюють із викидами або тепловими процесами. Для них це реальна можливість зрозуміти, як зменшити свій негативний вплив на довкілля, а також уникати штрафів і непорозумінь із контролюючими органами.

Державні установи й екологічні служби також можуть знайти в цьому важливі інструменти для моніторингу та прогнозування забруднення. Для них програмна модель — це спосіб оперативно реагувати на ризики і приймати більш обґрунтовані рішення.

Науковцям такі результати теж цікаві, адже вони відкривають простір для подальших досліджень і розвитку нових методик моделювання. Моделі можуть стати основою для статей, дисертацій або використання в університетських курсах.

Не варто забувати і про місцеві громади та громадські організації, які отримують більше прозорості й розуміння того, що відбувається в їхньому регіоні. Це допомагає підвищити довіру між населенням і підприємствами.

Інвестори, як зовнішні, так і внутрішні, можуть оцінити такий проєкт як ознаку модернізації й готовності компанії працювати відповідально. Це робить підприємство привабливішим у довгостроковій перспективі.

7.2 Оцінка привабливості шляхом застосування методів експертних оцінок

Оцінюючи привабливість проєкту за допомогою експертних методів, я б почав із залучення фахівців з екології, ІТ та промислових технологій. Їхні думки допомогли б визначити, наскільки реалістично й корисно застосовувати ці моделі в реальних умовах.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Після цього кожному експерту можна запропонувати оцінити ключові показники, наприклад, потенційну економію, рівень інноваційності, можливість масштабування та складність впровадження. Такі оцінки зазвичай проводять за шкалою — наприклад, від 1 до 10.

Далі результати варто було б проаналізувати, вивести середні показники й визначити, які критерії отримали найвищі бали. Це дозволяє побачити, у чому проєкт найсильніший, і на які аспекти потрібно звернути увагу.

Завдяки такому підходу можна отримати доволі об'єктивну картину привабливості проєкту, при цьому врахувавши досвід людей, які добре розуміються на темі. Це особливо важливо тоді, коли рішення про інвестиції або старт розробки не можна приймати тільки на основі теорії.

Сам процес оцінювання також сприяє виявленню потенційних ризиків і можливостей, про які раніше могли не задумуватися, і таким чином підвищує якість подальшого планування.

7.3 Вибір методу оцінки вартості ПЗ

На мою думку, найдоречнішим методом оцінки вартості цього проєкту є витратний підхід. Він дозволяє врахувати всі витрати на дослідження, програмну розробку, впровадження й подальшу підтримку моделей. Це найбільш чесний і прозорий спосіб порахувати реальну вартість на початковому етапі.

Водночас можна використовувати елементи дохідного підходу, коли враховується прогнозований економічний ефект від зменшення витрат, штрафів або енерговитрат. Поєднання цих двох методів дає більш збалансований результат.

Також варто враховувати ринковий підхід, особливо якщо на ринку вже є аналогічні моделі чи програмні продукти. Це дозволить оцінити конкурентні ціни та зрозуміти, наскільки вигідно позиціюється саме ваше рішення.

Усі ці методи разом допомагають сформуванню більш справедливої і реалістичної оцінки вартості, що важливо при підготовці документації для

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

інвесторів або керівництва. Це робить рішення щодо фінансування значно обґрунтованішим.

Особливо важливо, щоб обрана методика була прозорою й легкою для пояснення тим, хто буде ухвалювати рішення щодо проєкту. Це підвищує довіру й пришвидшує затвердження бюджету.

7.4 Розрахунок економічної ефективності від впровадження реалізованого ПЗ як фактору його привабливості

На типовому промисловому підприємстві екологічна безпека зазвичай забезпечується за рахунок періодичних фізичних замірів, паперової або розрізненої електронної звітності та реакції «постфактум» на перевищення гранично допустимих концентрацій. Такий підхід призводить до значних витрат на моніторинг, ризику штрафів за екологічні порушення, перевитрат енергії та сировини, а також ускладнює довгострокове планування природоохоронних заходів.

Впровадження програмного комплексу моделювання хімічного та теплового забруднення дозволяє прогнозувати поширення забруднювачів у повітрі, воді та ґрунті, ще до фактичного перевищення нормативів. Моделі теплових потоків і хімічних реакцій дають змогу оптимізувати технологічні процеси, зменшити теплові втрати, скоротити витрати енергії та сировини. Підприємство отримує інструмент превентивного управління ризиками: замість «гасити пожежі» після інцидентів, воно може завчасно коригувати режими роботи, щоб уникати критичних ситуацій.

Додатково програмний комплекс автоматизує формування екологічної звітності, зменшуючи навантаження на персонал, і підвищує прозорість діяльності підприємства для контролюючих органів та потенційних інвесторів. Усе це робить систему не лише екологічно, а й економічно доцільною. Вхідні дані для розрахунку економічного ефекту зведено у таблиці 7.1.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Таблиця 7.1 – Вхідні дані для розрахунку економічного ефекту

Показник	До впровадження	Після впровадження	Економічний ефект
Витрати на екологічний моніторинг, тис. грн/рік	1 200	900	-300
Сума штрафів і компенсацій, тис. грн/рік	800	400	-400
Енерговитрати, тис. грн/рік	6 000	5 700	-300
Витрати на персонал (екологічна служба, звітність), тис. грн/рік	900	750	-150
Втрати сировини через нераціональні режими, тис. грн/рік	500	400	-100
Загальний економічний ефект, тис. грн/рік	—	—	≈1 250
Початкові інвестиції у впровадження (ПЗ, інтеграція, датчики, навчання), тис. грн	—	—	950

Розрахунок економічного ефекту дає такі результати: сукупні витрати за розглянутими статтями до впровадження програмного комплексу становлять близько 9 400 000 грн/рік, після впровадження — орієнтовно 8 150 000 грн/рік. Річна економія становить близько 1 250 000 грн/рік. З урахуванням річних витрат на підтримку програмного комплексу на рівні 100 000 грн чистий річний прибуток після впровадження складає приблизно 1 150 000 грн/рік.

Одноразові інвестиції у впровадження системи (придбання та налаштування ПЗ, інтеграція з наявною інфраструктурою, датчики, навчання персоналу) оцінюються в 950 000 грн. За таких умов термін окупності становить близько 0,83 року, тобто приблизно 10 місяців, а рентабельність інвестицій (ROI) у перший рік досягає орієнтовно 121 %.

Додаткові нефінансові вигоди: підвищення екологічної репутації підприємства та можливість сертифікації за стандартом ISO 14001, скорочення часу реагування на аварійні ситуації, підвищення точності екологічного планування на горизонті 3–5 років, а також можливість використання розроблених моделей у навчальних і наукових цілях, що підсилює інноваційний імідж підприємства.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

7.5 Пропозиція алгоритму просування проєкту розробки ПЗ

Просування проєкту я б почав із формування його зрозумілої й переконливої презентації, яка б показувала, яку проблему він вирішує та яку користь приносить. Це той фундамент, без якого складно доносити цінність навіть дуже крутих ідей.

Після цього варто звернути увагу на компанії й установи, які потенційно зацікавлені в таких моделях, і встановити з ними комунікацію. Це можуть бути як промислові підприємства, так і державні органи екологічного контролю. Для них можна підготувати демонстраційні приклади роботи моделей.

Поступово я б розширював коло зацікавлених сторін, беручи участь у конференціях, виставках і наукових форумах. Це допомагає не лише знайти нових партнерів, а й показати експертність команди.

Добрим кроком було б створити онлайн-платформу або лендінг, де проєкт можна побачити у дії, завантажити матеріали та залишити запит на співпрацю. Це значно полегшує збут і робить проєкт доступнішим.

На завершення важливо зібрати перші кейси застосування моделі й активно ділитися ними. Реальні приклади завжди найкраще демонструють ефективність і допомагають переконати тих, хто ще сумнівається.

7.6 Оптимізація каналів збуту та шляхів реалізації ПЗ

Оптимізувати канали збуту можна, якщо в першу чергу чітко зрозуміти, хто є головним клієнтом і які саме потреби він хоче закрити за допомогою моделей. Чим конкретніше визначений сегмент, тим легше розробити ефективну стратегію продажів.

Я б запропонував комбінувати прямі продажі підприємствам із роботою через партнерів, наприклад, компанії, які займаються екологічним аудитом або

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

промисловою автоматизацією. Вони можуть включати моделі як частину своїх рішень.

Важливим каналом може стати співпраця з університетами та науковими центрами, де продукт можна застосовувати в освітніх програмах. Це створить довгостроковий попит і сформує позитивний імідж.

Також варто розглянути можливість створення SaaS-версії програмного забезпечення. Це дозволяє продавати доступ за підпискою та робити продукт доступнішим для малого й середнього бізнесу.

Окрему увагу я б приділив цифровим каналам, таким як вебсайт, демонстраційні відео та запуск таргетованої реклами на вузьку аудиторію. Такий підхід допоможе швидко знаходити клієнтів і зменшити витрати на продаж.

7.7 Визначення ключових факторів успіху конкретного проєкту

На мою думку, найважливішим фактором успіху є якість самої моделі та її точність. Якщо вона дає надійні результати, підприємства зможуть реально довіряти її прогнозам, а це основа довгострокової співпраці.

Не менш значущим є простота впровадження. Навіть найкраща модель може не отримати попиту, якщо для її запуску потрібні надмірні ресурси або складні технічні умови. Тому важливо зробити продукт максимально зручним у використанні.

Ще одним ключовим моментом є підтримка та оновлення, які гарантують, що модель буде актуальною й ефективною в реальних умовах. Це створює відчуття стабільності та партнерства для клієнта.

Велике значення має репутація команди, яка займається розробкою. Якщо вона демонструє відкритість, експертність і готовність допомагати, це формує довіру й стимулює нових клієнтів приєднуватися до співпраці.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Останнім важливим фактором я вважаю здатність проєкту масштабуватися.
Чим більше сценаріїв і галузей модель може охопити, тим більше можливостей для розвитку й комерційного успіху вона відкриває.

КБПЗ_2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

8 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

8.1 Вступ

Комп'ютерні технології широко впроваджуються в усі сфери сучасної суспільної та виробничої діяльності. Впровадження комп'ютерних технологій принципово змінило характер праці різних категорій фахівців. Працівники, які використовують комп'ютерну техніку на своїх робочих місцях, на своєму досвіді оцінили її величезні можливості. Одночасно виникла певна безтурботність при її експлуатації.

Недотримання вимог безпеки призводить до того, що й через кілька днів роботи за комп'ютером співробітник починає відчувати певний дискомфорт: в нього виникає головний біль і різь у власних очах, з'являються почуття виснаження й дратівливість. В окремих людей порушується сон, погіршується зір, занедажують руки, шия, попереk тощо.

До недоліків умов праці користувачів комп'ютерної техніки можна віднести:

- недостатню площу і обсяг виробничого приміщення;
- недотримання вимог, мікроклімату на робочих місцях;
- низький рівень освітленості у приміщеннях і на робочих поверхнях апаратури;
- підвищений рівень низькочастотних магнітних полів від моніторів;
- порушення вимог організації робочих місць;
- недотримання вимог до режимам праці та відпочинку;
- надмірне виробничу навантаження працівників;
- відсутність навичок зниження впливу психоемоційного напруги.

Відповідно до ст.14 Закону «Про охорони праці» [1] на роботодавця покладено обов'язок забезпечити: безпеку працівників при експлуатації устаткування; застосування коштів індивідуальної захисту працівників; відповідні

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

вимоги охорони праці, умови праці в кожному робоче місце; дотримання режиму праці та відпочинку працівників; навчання безпечним методам і прийомам виконання; інструктаж з охорони праці; організацію контролю над станом умов праці в робочих місць; проведення атестації робочих місць в умовах праці.

Максимально зменшити кількість шкідливих впливів на людину при високій продуктивності праці, створити комфортні умови для роботи людей – ось одна з головних задач охорони праці.

8.2 Аналіз умов праці ІТ-працівників

Приміщення розташовано на третьому поверсі п'ятиповерхового будинку. У приміщенні розташовано 3 робочих місця з комп'ютерами (далі ПК). Відповідно до норм «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» ДСанПіН 3.3.2-007-98 [2] площа, що відводиться для робочого місця з комп'ютером повинна бути не менше 6 м², об'єм не менше 20 м³. Розміри даного приміщень складають: довжина – 6 м, ширина – 4,5 м, висота – 3,5 м, тобто загальна фактична площа складає 27 м². Необхідна площа на 3 робочих місця із установленими ПК складає 18 м², що не перевищує фактичну. Обсяг приміщення на одного працюючого складає 31,5 м³, отже відповідає нормі ДСанПіН 3.3.2-007-98 – не менше 20 м³.

При роботі з ПК людина може піддатися впливу шкідливих та небезпечних факторів. Під шкідливими виробничими факторами розуміють фактори, тривалий вплив яких викликає розвиток професійних захворювань. Небезпечні виробничі фактори – вплив яких на працюючого викликає травму, тобто пошкодження організму. Шкідливі і небезпечні чинники, з якими стикається ІТ-працівник при роботі з ПК, приведені в таблиці 8.1.

По категорії вибухо- і пожежонебезпеки, згідно дане приміщення відноситься до категорії В – пожежонебезпечне, тому що присутні тверді матеріали, що горять, такі як дерев'яні столи, папір і інше. Виходячи з категорії

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

пожежонебезпеки і поверховості будинку, ступінь вогнестійкості будівлі II. Згідно з ДБН В 1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [3] ЕОМ повинні розташовуватись в будівлі не менше ніж II ступню вогнестійкості.

Таблиця 8.1 – Перелік шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Найменування факторів	Можливі джерела їх виникнення	Характер дії
Небезпека ураження електричним струмом	Мережа живлення	Небезпечний
Пожежонебезпечність приміщень	Наявність матеріалів, що згорають і джерел запалення (електроапаратура)	Небезпечний та шкідливий
Іонізація повітря	Статична електрика випромінювання	Шкідливий
Підвищений рівень шуму	Шум створюється перетворювачем напруги ЕОМ, її технічною периферією, а також людьми, що працюють в приміщенні	Шкідливий
Несприятлива освітленість	Недостатнє штучне і природне освітлення	Шкідливий
Незадовільні параметри мікроклімату	Незадовільний стан системи опалення і вентиляції	Шкідливий
Психофізіологічні напруження	Монотонність праці, перенапруженість зорових аналізаторів, розумова напруженість, незручність і статичність пози	Шкідливий

За ступенем небезпеки поразки людей електричним струмом відділ класифікується як приміщення з підвищеною небезпекою, тому що не виключена можливість одночасного дотику людини до маючих з'єднання з землею конструкціям будинку, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування, що можуть виявити під напругою – з іншого.

Для забезпечення вищевказаних оптимальних мікрокліматичних умов у помешканні передбачена система опалення (загальне парове) в холодному періоді, та вентиляція і кондиціонування в теплий період року, згідно ДБН2.5–67–2013

«Опалення, вентиляція та кондиціонування» [4]. При виконанні замірів параметрів мікроклімату, значення їх відповідали оптимальним та допустимим параметрам відповідно до ДСанПіНЗ.3.2.007 – 98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно – обчислювальних машин».

Припустимий рівень іонізації повітря помешкання відповідно до СН 21.52-80 повинен складати 1500 – 3000 один./м³.

Нормування освітлення здійснюється відповідно до ДБН В.2.5 – 28 – 2006 «Природне та штучне освітлення». [5]

Відділ забезпечений комбінованим освітленням. В темний час доби передбачається загальне і/або місцеве рівномірне штучне, а в світлий – бокове одностороннє природне освітлення два віконних прорізи.

Одним з найбільш поширеніших чинників виробничого середовища, який несприятливо впливає на людину, є шум. Вплив шуму на організм людини залежить від рівня звукового тиску, частотних характеристик, тривалості дії, а також індивідуальних особливостей людини.

При тривалій дії шуму у оператора ЕОМ виявляються симптоми утомленості, нервового збудження, що сприяють погіршенню працездатності і допущенні помилок при роботі. Для уникнення шкідливої дії шуму на організм працюючого, необхідне дотримання нормованих параметрів, які не повинні перевищувати допустимих величин. При роботі на комп'ютері рівень шуму не повинен перевищувати 50 дБА. Приміщення розташоване вікнами у двір і знаходиться далеко від проїжджої частини вулиці. Основними джерелами шуму в приміщенні є устаткування і люди. Розглянуте приміщення не призначене для прийому відвідувачів і тому в ньому не спостерігається великого скупчення людей. Тому основним джерелом шуму є комп'ютерна техніка.

Джерелами шуму при роботі ЕОМ є механічні частини принтера, що рухаються, і вентилятори (Lпк = 35 дБА, Lрпн = 48 дБА) При роботі вентиляційної системи, що забезпечує оптимальний температурний режим електронних блоків ЕОМ і вмонтована в задню панель, створюється аеродинамічний шум. Шум,

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

створюваний працюючим комп'ютером, може бути охарактеризований як широко смуговий постійний з аперіодичним посиленням при роботі принтера. Час роботи ПЕОМ – 6 - 8 год. за добу; принтери працюють не більш 1,5-2 год. за добу.

При наявності великої кількості джерел шуму еквівалентне значення шуму $L_{\text{екв}}$, дБА розраховують по наступній формулі:

$$L_{\text{екв}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (t_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_i}) \right) \quad (8.1)$$

де L_i – рівень шуму i -го джерела (пристрою);

t_i – час роботи i -го джерела (пристрою);

T – загальний час роботи;

n – кількість джерел шуму даного типу.

Для даного приміщення ці значення складають:

Загальний час роботи – робочий день, тобто $T=8$ годин.

Для фоновому шуму (вентиляторів):

$L_1 = 35$ дБА, $T_1 = 8$ годин, $n_1=15$ (5x3);

Для лазерного принтера Lexmark Jet:

$L_2 = 48$ дБА, $T_2 = 2$ години, $n_2=1$,

для сканера $L_3 = 46$ дБА, $T_3 = 2$ години.

Підставляємо отримані величини у формулу (8.1):

$$L_{\text{екв}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{8} \cdot (15 \cdot 8 \cdot 10^{0.1 \cdot 35} + 1 \cdot 2 \cdot 10^{0.1 \cdot 48} + 1 \cdot 2 \cdot 10^{0.1 \cdot 46}) \right) = 46,3 \text{ дБА}$$

Таким чином, еквівалентний рівень шуму в приміщенні за робочий день $L_{\text{екв}} = 46,3$ дБА, тобто не перевищує норму 50 дБА.

8.3 Техніка безпеки та протипожежна профілактика

Відповідно ДБН В 1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» будинок можна віднести до II групи по ступені вогнестійкості й до категорії Д по ступені пожежонебезпеки.

Від розподільного щита по праву й ліву сторони встановлені кондиціонери, зовнішня електропроводка, поміщена в ізолюваний кабель. Висота проводки становить 2,2 м від рівня підлоги, її кріплення здійснюється за допомогою металевих власників. Біля кожного стола організований розподільний щит, розташований на текстолітовій пластинці, закріпленої на стіні на рівні 1м від підлоги. Усього до складу входять п'ять розеток і дві клеми заземлення.

Всі обчислювальні машини з'єднані із клемами заземлення. Чотири з п'яти розеток забезпечують подачу напруги 220 V, а одна, забезпечує подачу напруги в 36 В. Про це є відповідні написи на кожному розподільному щиті.

Робота обслуговуючого персоналу полягає в інсталяції необхідного програмного забезпечення й наступному його використанні в діалоговому режимі роботи з ЕОМ. Іноді може виникати необхідність написання допоміжних програм для поліпшення роботи вузла або для зниження витрат.

З погляду забезпечення умов праці й вимог техніки безпеки для роботи програміста необхідно наступне: достатнє висвітлення екрана дисплея й робочого місця; повна технічна справність устаткування, його електробезпечність; достатня пожежобезпечність приміщення; оптимальний мікроклімат, що сприяє продуктивній роботі; відповідність робочого місця вимогам ергономіки.

До небезпечних і шкідливих факторів, дії яких піддається програміст, можна віднести: можливість поразки електричним струмом, при електроні справності устаткування, порушенні заземлення або техніки безпеки; робота в мікрокліматі з неприпустимими параметрами; робота при недостатній освітленості екрана дисплея й робочого місця.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Відповідно НПАОП 40.1-1.21-98 “Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів” [6], приміщення можна віднести до приміщень без підвищеної небезпеки, оскільки це приміщення, сухе, з нормальною температурою й ізолюючими підлогами, що не має заземлених металоконструкцій.

Персональні ЕОМ можна віднести до першого класу електротехнічних виробів по способі захисту людини від поразки електричним струмом, оскільки їхні корпуси зроблені з ізолюючої пластмаси й кожен пристрій має заземлення. Відповідно правилам пристрою електроустановок ЕОМ можна віднести до електроустановок з робочою напругою до 1000 В.

Однієї з достовірних причин пожежі в приміщенні з обчислювальною технікою може бути коротке замикання, що спричиняє спалах електропроводки. Для його попередження вся обчислювальна техніка, а також інші електричні пристрої повинні бути обладнані плавкими запобіжниками, а на вході електромережі повинен бути передбачений автомат захисту.

Не слід користуватися електричними подовжувачами й трійниками, що не мають сертифікатів відповідності вимогам безпеки.

Необхідно передбачити наявність у межах досяжності первинних засобів гасіння пожежі (вогнегасників) для локалізації вогню власними засобами до приїзду команди пожежної охорони. Повинен бути розроблений план екстреної евакуації персоналу при виникненні загоряння. Кількість евакуаційних виходів повинне бути не менш двох. Допускається використання одного евакуаційного виходу, якщо відстань найбільш віддаленого робочого місця до цього виходу не перевищує 25 м.

8.4 Розробка заходів з охорони праці

Перерахуємо проведені заходи щодо забезпечення умов праці на робочому місці програміста.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Для зменшення шуму в приміщенні пропонується використовувати замість матричного принтера, що створює багато шуму, більш тихий - лазерний принтер.

З точки зору забезпечення електробезпеки до цих заходів можна віднести: устаткування розподільних щитів спеціальними розетками з заземлюючими контактами; організація заземлення всіх приладів і пристроїв; періодична перевірка всіх приладів і пристроїв; щорічна здача іспитів з охорони праці.

З точки зору забезпечення оптимальних умов мікроклімату і освітленості до цих заходів можна віднести: організацію природної вентиляції, за допомогою дефлектора, для забезпечення необхідного повітрообміну в приміщенні вузла; організацію системи центрального опалювання, для підтримки оптимальної температури в холодний період року; організацію штучного загального освітлення, для забезпечення необхідних умов зорової роботи, що відповідають, оформлення паспорта на приміщення вузла, з занесенням в нього вимірювань освітленості, проведених відділом охорони праці.

В якості мір по зниженню шуму можна запропонувати:

- облицювання стелі і стін звукопоглинаючим матеріалом (знижують шум на 6-8 до);
- екранування робочого місця (встановленням перегородок, діафрагм);
- установка в комп'ютерних приміщеннях устаткування, що викликає мінімальний шум;
- раціональне планування приміщення.

З точки зору забезпечення пожежної безпеки до цих заходів можна віднести наявність схеми евакуації з приміщення вузла, у випадку пожежі, повішену на вхідні двері.

Висновки до розділу

У даному розділі магістерської роботи були виконано аналіз умов праці користувачів ПК, які працюють у зазначеному приміщенні Проведено перевірка організації робочого місця із відповідними замірами параметрів мікроклімату, освітлення, рівня шуму та розрахунком рівня шуму.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Розроблені заходи щодо поліпшення умов праці дотримання техніки безпеки та проведення протипожежної профілактики дозволить створити умови, які будуть забезпечувати більш комфортну роботу.

КБПЗ_2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

9 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

КБПЗ - 2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

2. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин: ДСанПІН 3.3.2-007-98. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98>

3. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 31.10.2016 «Про затвердження ДБН В.1.1-70:2016» - Режим доступу до ресурсу: <https://ips.ligazakon.net/document/fn025551>

4. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 25.01.2013 №24 «Про затвердження ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування" – Режим доступу до ресурсу <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024858-13#Text>

5. Державні будівельні норми України: ДБН В.2.5-28:2018. - Режим доступу до ресурсу: <https://goo.su/9AkQ>

6. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів - Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/2029/doc_40.1-1.21-НПАОА_40.1-1.21-98

7. Методичні рекомендації до виконання розділу "Заходи з охорони праці та техніки безпеки" випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти для здобувачів вищої освіти спеціальностей 123 "Комп'ютерна інженерія" та 122 "Комп'ютерні науки" / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. кібербезпеки та програм. забезпечення; [укл. О.В. Оришака, К.М. Марченко]. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. — 19 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/12240>

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

8. Улічев О.С. Дослідження моделей розповсюдження інформації та інформаційних впливів у соціальних мережах // Збірник наукових праць "Системи управління, навігації та зв'язку". Випуск 4 (50). - Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. - 2018. - С. 147-151.

9. Улічев О.С. Математична модель поширення інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеві машинобудування, автоматизація. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – Віп. 31. – С. 165-174.

10. Улічев О.С., Мелешко Є.В. Програмне моделювання поширення інформаційно-психологічних впливів у віртуальних соціальних мережах // Збірник наукових праць "Сучасні інформаційні системи". Випуск 2(2). - Харків: ХПІ. - 2018. - С. 35-39.

11. Ulichev O., Meleshko Ye., Sawicki D., Smailova S. Комп'ютер modeling dissemination of informational influences in social networks with different strategies of information distributors // Proc. SPIE 11176, Wilga, Poland (ISSN: 0277-786X). - 2019. - Number article: 111761T. (SCOPUS).

12. Ulichev O., Meleshko Y., Khokh V. Комп'ютерна методика методу соціальної мережі структури для дослідження дисемінації процесів інформаційних influences // Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ) 4(3). - Georgia, Tbilisi, 2019. - P. 34-47.

13. Мелешко Є.В., Хох В.Д., Улічов О.С. Дослідження робастності рекомендаційних систем із колаборативною фільтрацією до інформаційних атак // Наукове видання Кібербезпека: освіта, наука, техніка.– Київ: КУБГ, 2019. Т.1 № 5. – С. 95-104.

14. Мелешко Є.В., Хох В.Д., Улічов О.С. Дослідження відомих моделей атак на рекомендаційні системи з колаборативною фільтрацією // Збірник наукових праць Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2019. – №. 5 (57). - С. 67-71.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

15. Ulichev O., Meleshko Y., Smirnov O., Khokh V. Метод методу вибору предметів для інформаційного впливу в соціальних мережах під час інформації campaign заснований на аналітичній hierarchy process // 1st International workshop on cyber hygiene & conflict management Kyiv, Ukraine, 2019 (SCOPUS). [прийнято до публікації]

16. Улічев О.С. Генерування моделі соціальної мережі для дослідження впливу її структури на розповсюдження інформаційних впливів // Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології». м. Кропивницький. 20-22 квітня 2017 р. - Кропивницький: ЦНТУ. - 2017. - С. 103-104.

17. Улічев О.С., Мелешко Є.В. Програмна модель соціальної мережі та стратегій поширення інформаційно-психологічних впливів // Збірник тез III Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології». м. Кропивницький. 19-20 квітня 2018р. - Кропивницький: ЦНТУ. - 2018. - С. 136-220.

18. Улічев О.С., Мелешко Є.В. Математична модель розповсюдження інформації у сегменті соціальної мережі // Матеріали Двадцятого Міжнародного науково-практичного семінару «Комбінаторні конфігурації та їх застосування», м. Кропивницький, 13-14 квітня 2018 року. – Кропивницький: КЛА НАУ. - 2018. - С. 68-72.

19. Улічев О.С., Мелешко Є.В. Програмна модель розповсюдження інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі // Збірник тез VIII Міжнародної науково-технічної конференції «ITSEC», м. Київ, 16-18 травня 2018 року. - Київ: НАУ. - 2018. - С. 34-35.

20. Улічев О.С., Мелешко Є.В. Моделювання розповсюдження інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі // Збірник тез Сьомої міжнародної наукової конференції "Інформація. Комунікація. Суспільство", м. Львів, 17-19 травня 2018 р. - Львів: Національний університет "Львівська політехніка". - 2018. - С. 29-30.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

21. Улічев О.С., Мелешко Є.В. Моделювання розповсюдження інформаційно-психологічних впливів у сегменті соціальної мережі // Збірник тез X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Стан та удосконалення безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем(SITS'2018)», 21-23 червня 2018 року. – Миколаїв-Коблево: НАУ та МППРО. – 2018. – С. 77–79.

22. Мелешко Є.В., Шингалов Д.В., Улічев О.С. Дослідження Баєсових мереж довіри як засобів для моделювання динамічних процесів у складних мережах // Збірник тез XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем», 20-22 листопада 2019 року. - Дніпро: ДНУ. - 2019. - С. 284-285.

23. Мелешко Є.В., Хох В.Д., Улічев О.С. Методи тестування робастності рекомендаційних систем із колаборативною фільтрацією // Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Перспективні напрямки інформаційних та комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерно-інтегровані технології в промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті» 13-14 листопада 2019 р. - м. Кропивницький: ЦНТУ. - 2019. С. 88-89.

24. Мелешко Є.В., Хох В.Д., Улічев О.С. Дослідження методів підвищення робастності рекомендаційних систем до інформаційних атак // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації», 19 – 22 лютого 2020 р. – м. Київ: Вид-во Європейського університету, 2020. – С. 65-70

25. List of virtual communities with more than 100 million active users [Electronic resource]. – Mode of access: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_virtual_communities_with_more_than_100_million_active_users. – Title from the screen.

26. Verizon 2022 Data Breach Investigations Report [Електронний ресурс]// URL: <https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/2022/master-guide/> (дата звернення: 25.10.2025)

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

27. Орлов А.Ю. Організація віртуального співтовариства у мережі Інтернет/А.Ю. Орлов // Інформаційні технології. - 2008. - № 8. - С. 15 - 19.

28. Пелещішин А.М. Процеси управління інтерактивними соціальними комунікаціями в умовах розвитку інформаційного суспільства: монографія / О.М. Пелещішин, Ю.О. Серов, О.Л. Березко, О.П. Пелещішин, О.Ю. Тимовчак-Максимець, О.В. Марковець; за заг. ред. А. М. Пелещішина. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 368 с.

29. Почепцов Р. Контроль за розумом / Р. Почепцов. – К: ВД Київсько-Могилянська академія, 2012. – 350 с.

30. Рідель В.В. Комп'ютерне моделювання // Методичні вказівки навчальної дисципліни, Одеса, 2017

31. Закон України "Про інформацію" від 2 жовтня 1992 р.: із змінами, внесеними Законом України від 2 грудня 2010 р. : за станом на 1 березня 2015 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2657-12/ed20110113>. - Назва з екрану.

32. Конституція України: прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 р. із змінами, внесеними Законом України від 21 лютого 2014 р. : за станом на 1 березня 2015 р. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр>. - Назва з екрану.

33. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianovska, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 106-115.

34. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.

35. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Information and Telecommunication Systems». CEUR Workshop Proceedings Volume 3156, 2022, Pages 390-399.

36. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.

37. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2616, 2020, Pages 125-136.

38. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2616, 2020, Pages 366-379.

39. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing*; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.

40. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.

41. Губанов Д.А., Калашніков А.О., Новіков Д.А. Теоретико-ігрові моделі інформаційного протистояння в соціальних мережах // Управління великими системами. Випуск 31

42. Губанов Д.А., Новіков Д.А., Чхартішвілі А.Г. Моделі репутації та інформаційного управління у соціальних мережах // Математична теорія ігор та її застосування. 2019. Том 1. Випуск 2. С. 14-37.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

43. Seidman S.B., & Foster B.L. (1978). А граф-теоретична загальнеізація клікового концепції. *Journal of Mathematical Sociology*, 6, - С. 139-154.
44. Moody J., White D.R. (2003). Структуральна cohesion and embeddedness. *American Sociological Review*, 68 (1), - С. 103-128.
45. Wellman B., Hogan B., Berg K. та ін. (2006). Connected lives: The project. У П. Purcell (Ed.), *The networked neighborhood* (Р. 161-216).
46. Батура Т.В. Моделі та методи аналізу комп'ютерних соціальних мереж//Програмні продукти та системи 2013. № 3 С. 130-137.
47. Kermack W.O., McKendrick A.G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics // *Proc. з Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 1927. No. 115 (772). 700 p. DOI:10.1098/rspa.1927.0118. JSTOR 94815.
48. Горковенко Д.К. Порівняльний аналіз моделей епідемії та клітинного автомата при моделюванні поширення інформації в соціальних мережах // *Науково-технічні відомості. Інформатики. Телекомунікації. Управління*. 2017. Т. 10. № 3. С. 103-113. DOI: 10.18721/JCSTCS.10309
49. Kempe D., Kleinberg J., Tardos E. Maximizing Spread of Influence через Social Network / *Proceedings of 9-th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. – 2003. – p. 137-146.
50. Erdős P., Rényi A. На ході розвитку графів // *Magyar Tudományos Akademia Matematikai Kutato Intezetenek Közlemenyei [Publications of Mathematical Institute of Hungarian Academy of Sciences]*. - 1960. - Т. 5.
51. Watts DJ; Стрoгaтц, С. Н. (1998). «Collective dynamics of “small-world” networks» (PDF). *Nature*. 393 (6684): 440-442. Bibcode:1998Natur.393..440W. doi:10.1038/30918. PMID 9623998
52. Barabási L.-A., Albert R., Jeong H. Scale-free characteristics of random networks: topology of the world-wide web. *Physica*, A281, 69-77, 2000
53. Bollobás B., Riordan O. Mathematical results on scale-free random graphs // *Handbook of graphs and networks*. Weinheim: Wiley-VCH, 2003. P. 1-34

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

54. Buckley P.G., Osthus D. Popularity засновані на random graph models leading to scale-free degree sequence. *Discrete Mathematics*, 282:53–63, 2004

55. Bollobás B., Borgs C., Chayes T., Riordan O.M. Directed scale-free graphs. *ProceedingSODA '03 Proceedings of the fourteenth annual ACM-SIAM символізм на Discrete algorithms*, P. 132–139, 2003

56. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», *Telecommunications and Radio Engineering*. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.

57. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-телекомунікаційних систем». *Проблеми інформатизації та управління*, № 2(70). 2022. С. 28-37.

58. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 3(69). С. 93-98.

59. Сафранов Т.А., Польовий А.М., Коніков Є.Г., Ротар М.Ф., Ільїна В.Г., Паєвська Л.А., Сучков І.О. Антропогенне забруднення геологічного середовища та ґрунтового-рослинного покриву: Навчальний посібник. – Одеса, Вид-во “ТЭС”, 2023. – 260 с.

60. Смірнов О.А., Усік П.С., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. «Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*. №4. С. 103-110. 2020.

61. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. № 3(7). С. 43-62. 2020.

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

62. Смірнов О.А., Коноплицька-Слободенюк О.К., Смірнов С.А., Буравченко К.О., Смірнова Т.В., Поліщук Л.І. Інформаційна безпека в комп'ютерних мережах. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2020. – 294 с.

63. Смірнов О.А., Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* № 2(33). с. 161-172, 2019.

64. Смірнов О.А., Дреєва Г.М. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі. Монографія: Інформаційна безпека та інформаційні технології : монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г. 2019. С. 123-139

65. Смірнова Т.В., Солових Є.К., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Побудова хмарних інформаційних технологій оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнення поверхонь деталей. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* № 1(32). с. 184-194, 2019.

66. Смірнов О.А., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., Смірнова Т.В., Коноплицька-Слободенюк О.К. Метод формування антивірусного захисту даних з використанням безпечної маршрутизації метаданих. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* – Том 3 № 3. – Київ: КУ ім. Бориса Грінченка. – 2019. – С. 63-87.

67. Смірнов О.А., Гнатюк С.О., Кавун С.В., Терейковський І.А., Жмурко Т.О., Смірнов С.А., Коваленко А.С. Основи безпеки в комп'ютерних мережах. Навчальний посібник – Кропивницький: вид. Лисенко В.Ф. 2018. – 177 с.

68. Смірнов О.А., Котелянець В.В. Стійкі до колізій стохастичні моделі функціонування безпроводових сенсорних мереж. *Вісник інженерної академії України,* №3, с. 145-152, 2018

69. Смірнов О.А., Смірнов С.А., Дідик А.К. Метод безпечної маршрутизації метаданих у хмарні антивірусні системи. Системи озброєння та військова техніка. – Випуск 2 (46) – Х.: ХУПС – 2016. – С. 146-149.

70. Смірнов О.А., Кавун С.В., Доренський О.П., Вялкова В.І. Інформаційна безпека в комп'ютерних мережах. Навчальний посібник – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 151 с.

71. Смірнов О.А., Кавун С.В., Коваленко О.В., Дреєв О.М. Мережні інформаційні технології. Навчальний посібник – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2016. – 159 с.

КБПЗ – 2025

					ВКРМ-122.25.0014.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83