



І.Ю. Шубін<sup>1</sup>, А.Д. Козирев<sup>2</sup>, О.В. Галак<sup>3</sup>, Ю.І. Ситник<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Кандидат технічних наук, професор кафедри програмної інженерії,  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
igor.shubin@nure.ua, ORCID ID: 0000-0002-1073-023X

<sup>2</sup> Дослідник кафедри програмної інженерії,  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
andrii.kozyriev@nure.ua, ORCID ID: 0000-0001-6383-5222

<sup>3</sup> Кандидат технічних наук, завідувач кафедри РХБЗ,  
Військовий інститут танкових військ НТУ "ХПІ",  
galak79@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2590-9291

<sup>4</sup> Начальник відділу екологічної безпеки управління  
РХБ захисту Командування Сил підтримки ЗСУ  
veb2006@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4673-5232

## МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ПОБУДОВИ СКЛАДНИХ ГРАНИЦЬ ТЕРИТОРІЙ

Бурхливий розвиток промисловості в другій половині ХХ століття призвів до різкого збільшення викидів шкідливих речовин в атмосферу, що призвело до необхідності контролю стану навколишнього середовища з метою попередження негативних наслідків забруднення середовища. Особливу актуальність у цьому завданні додав розвиток атомної енергетики в силу можливості виникнення зараження місцевості радіонуклідами в масштабах від промислового майданчика АЕС до декількох регіонів.

Оскільки проблема збереження навколишнього середовища набула міжнародного характеру, одним з головних завдань регіональних органів керування є підвищення рівня екологічної й техногенної безпеки в регіоні, що, насамперед, означає необхідність попередження надзвичайних ситуацій (НС) і зменшення їх матеріальних і соціальних наслідків.

Тому створення ефективних систем екологічного моніторингу повинне передбачати рішення двох проблем – створення ефективних систем інформаційної й інтелектуальної підтримки прийняття рішень і моделювання екологічної обстановки за даними моніторингу.

**АПРОКСИМАЦІЯ, АСОЦІАТИВНІСТЬ, ГІС СИСТЕМА, ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЛОКУС ЗАБРУДНЕННЯ, ІНТЕРЛОКАЦІЯ ЛАГРАНЖА, ФУНКЦІЯ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ, R-ФУНКЦІЇ**

Бурное развитие промышленности во второй половине ХХ века привело к резкому увеличению выбросов вредных веществ в атмосферу, что привело к необходимости контроля состояния окружающей среды с целью предупреждения негативных последствий загрязнения среды. Особую актуальность в этой задаче добавило развитие атомной энергетики в силу возможности возникновения заражения местности радионуклидами в масштабах от промышленной площадки АЭС до нескольких регионов.

Поскольку проблема сохранения окружающей среды приобрела международный характер, одной из главных задач региональных органов управления является повышение уровня экологической и техногенной безопасности в регионе, что, прежде всего, означает необходимость предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) и уменьшение их материальных и социальных последствий.

Поэтому создание эффективных систем экологического мониторинга должно предусматривать решение двух проблем – создание эффективных систем информационной и интеллектуальной поддержки принятия решений и моделирования экологической обстановки по данным мониторинга

**АППРОКСИМАЦИЯ, АССОЦИАТИВНОСТЬ, ГИС СИСТЕМА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ЛОКУС ЗАГРЯЗНЕНИЯ, ИНТЕРЛОКАЦИЯ ЛАГРАНЖА, ФУНКЦИЯ ИНТЕРПОЛЯЦИИ, R-ФУНКЦИИ.**

The rapid development of industry in the second half of the twentieth century led to a sharp increase in emissions of harmful substances into the atmosphere, which led to the need to monitor the state of the environment in order to prevent the negative effects of pollution. The development of nuclear energy has become especially relevant in this task due to the possibility of radionuclide contamination of the area on a scale from the industrial site of the NPP to several regions.

As the problem of environmental protection has become international, one of the main tasks of regional governments is to increase the level of environmental and man-made safety in the region, which means, above all, the need to prevent emergencies and reduce their material and social consequences.

Therefore, the creation of effective environmental monitoring systems should provide the solution of two problems – the creation of effective systems of information and intellectual support for decision-making and modeling of the environmental situation based on monitoring data.

**APPROXIMATION, ASSOCIATION, GIS SYSTEM, ENVIRONMENTAL MONITORING, POLLUTION LOCUS, LAGRANGE INTERLOCATION, INTERPOLATION FUNCTION, R-FUNCTIONS**

## Вступ

З тих пір, як почався технічний розвиток у світі, з'явилося високо індустріальне суспільство, людина стала активно втручатися в природу. На сьогоднішній день екологія нашої планети перебуває в стані гострої кризи. Швидкий прогрес науки і техніки, з одного боку, дозволив задовольнити всі потреби людського суспільства, але з іншого боку – погіршив умови його існування.

Головними причинами ситуації, що склалася є: досить тривалий і високий ступінь освоєння території, наявність різноманітного природно-ресурсного потенціалу (мінеральні, водні, земельні, лісові та рекреаційні ресурси), високий рівень індустріального розвитку, найвища в Європі розорювання території, нерациональний і неприпустимо високий ступінь використання мінеральних і лісових ресурсів, високий рівень урбанізації, велика концентрація населення і виробництва в окремих районах, непомірний розвиток енерго- і ресурсомістких галузей, що забруднюють навколишнє середовище, недосконалі технології.

На основі аналізу існуючих завдань екологічного моніторингу показано, що для рішення першої із цих проблем необхідно адаптувати ряд існуючих інформаційних технологій до специфіки завдань цього типу. До основних технологій цього типу відносяться:

— геоінформаційні системи (ГІС), сполучені з інтернет-системами збору даних від стаціонарних і мобільних джерел інформації (спутників, авіаційних систем збору даних, метеорологічних станцій і ін.), які містять електронні карти місцевості, демографічні, метеорологічні й інші дані, використання яких необхідно для одержання адекватних рішень [1-5];

— розподілені бази даних територіальної інформаційно-аналітичної системи, що забезпечують сполучення з відповідною ГІС [6];

— засобу інтелектуального аналізу даних, що забезпечують прийняття рішень за даними екологічного моніторингу [7].

Разом з тим, для рішення власне завдань оцінки екологічної обстановки необхідна розробка нових моделей і методів, орієнтованих на рішення завдань обчислювальної геометрії [8-10] і математичної фізики [11], де виникають проблеми моделювання турбулентного руху в атмосфері [12] й приземному шарі [13].

## 1. Постановка задачі

Досліджуючи процес забруднення навколишнього середовища викидами відходів промислових підприємств, необхідно оцінити вплив шкідливого забруднення на біологічне середовище. Тому важливим завданням у цей час є прогноз зміни екологічних систем під впливом природних і антропогенних факторів [18].

В [14] представлена частина комплексної екологічної моделі, що включає моделі гідротермодинаміки атмосфери, основні й сполучені рівняння переносу й дифузії з урахуванням фотохімічної трансформації

й процесів аерозольного утворення за рахунок коагуляції, а також модель оптимізації потужності джерел, мінімізуючи завдання навколишньому середовищу збиток.

В [15] викладені основні ідеї побудови математичної моделі поширення забруднень в атмосфері з урахуванням вітру, турбулентності, сухого й вологого осадження й перетворення речовин.

Оскільки основні джерела забруднення розташовані в містах, то дуже важливим є вивчення полів атмосферного забруднення міського середовища, а це також і санітарно-гігієнічне завдання, тому що просторовий розподіл забруднюючих речовин у місті тісно пов'язаний з рівнями захворюваності в різних його районах [16].

Актуальною є розробка методів для попереднього обчислення областей можливого розміщення промислових підприємств, житлових зон і зон відпочинку з дотриманням санітарних норм забруднення.

Найбільш широке поширення одержали математичні методи розрахунку полів атмосферного забруднення міського середовища, зокрема, розроблені в Головні геофізичній обсерваторії.

Зокрема, в [12] побудована математична модель поширення забруднень для регіону зі складною формою границі, яка описується рівняннями теорії R-функцій, що дозволяє будувати нормальні рівняння локусів. Застосована інтерлокаційну формулу Лагранжа для побудови функції забруднення з обліком наявних експериментальних даних. Наведені приклади моделювання екологічної обстановки (на прикладі України) за допомогою спеціально розробленої програми.

Математичні моделі й алгоритмічне забезпечення сучасної системи прийняття рішень в аварійній ситуації повинні містити:

— систему ухвалення рішення про факт перед аварійної ситуації або аварії, засновану на порівнянні в реальному масштабі часу інформації екосистеми й еталонних даних;

— систему нагромадження знань про аварії й перед аварійних станах, що необхідно для розвитку експертної системи;

— систему вироблення сценарію ліквідація аварійної ситуації або аварії.

Така система підтримки прийняття рішень може ґрунтуватися на базах знань, що пояснюється необхідністю подолати бар'єр сприйняття людиною. База знань запропонує диспетчерові різні готові сценарії прийняття рішень. Також система підтримки прийняття рішень може бути заснована на спеціальних правилах, на фреймах або на логічних правилах.

ГІС-технологія має унікальні можливості для рішення завдань, пов'язаних з аналізом і прогнозом явищ і подій навколишнього світу, з осмисленням і виділенням головних факторів і причин, а також їх можливих наслідків, із плануванням стратегічних рішень і поточних наслідків, що вживають дії.

На основі проведеного аналізу моделей, методів

і програмних систем, призначених для рішення завдань екологічного моніторингу, а також виникаючих при цьому проблем підготовки рішень, заснованих на використанні ГІС-технологій і територіально-розподілених баз даних, необхідно розробити систему моделей і методів обробки географічної, демографічної й іншої інформації, призначених для виявлення населених пунктів і районів, що піддались впливу несприятливих факторів, викликаних аваріями, пожежами й аналогічними причинами.

## 2. Опис проведених теоретичних досліджень

### 2.1. Використання геоінформаційних систем для збору даних і прогнозування екологічної обстановки

Основні можливості ГІС, що забезпечують ефективність моделювання екологічної обстановки. Застосування геоінформаційних технологій у керуванні природно-технічним комплексом з метою екологічного моніторингу користується все більшою популярністю серед адміністрації й експлуатаційників. Зустрічаючись із законодавчими обмеженнями й працюючи в конкурентних умовах, ці особи і їх керівники шукають більш ефективні шляхи керування складними проектами. Інтегруючи свої операційні системи — як цифрові, так і звичайні, вони можуть досягти істотних успіхів, особливо в плануванні й на стадіях моніторингу й ліквідації наслідків НС. Деякі з переваг полягають у тому, що [2]:

- використання ГІС моделювання скорочує польові дослідницькі роботи;
- заощаджується час і вартість обговорення проекту;
- прискорюється одержання доходів завдяки більш оперативній ліквідації наслідків НС;
- використовуються сучасні, легко доступні супутникові дані для рішення виникаючих завдань, особливо для великих областей;
- створюються просторові бази даних по навколишньому середовищу й соціально-економічним аспектам, які можна легко обновляти й змінювати, а також спільно використовувати з різними службами МНС;
- скорочується час на створення програм, що включають просторові дані, у порівнянні з використанням більш традиційних методів;
- цифрові просторові дані, використовувані в діалоговому режимі, дуже полегшують вибір траси до місця НС і рішення інших питань;
- при рішенні аварійних ситуацій зменшуються витрати на відшкодування збитків;
- створюються бази даних про власність, що допомагають у рішенні майбутніх перспектив використання.

Оскільки в ГІС графічні об'єкти пов'язані з табличними даними, то як графікові, так і семантику потрібно одночасно й у той же час ефективно обробляти, що ускладнюється й гігантськими обсягами інформації. Стає зрозумілим, що створення гарної ГІС — процес досить непростий, що вимагає значно більших зусиль і використання новаторських рішень.

Приведемо деякі ГІС, які можуть становити інтерес. Найбільше добре себе зарекомендували для роботи із дрібномасштабними «природними» картами такі ГІС, як Arcinfo і Arcview GIS. Обидві системи розроблені американською компанією ESRI і досить поширені у світі. З відносно простих західних ГІС, які починали свій родовід з аналізу території в обсязі, необхідному для бізнесу й щодо простих застосувань, можна назвати систему Mapinfo, яка також поширена у світі досить широко. Ця система дуже швидко прогресує й сьогодні може скласти конкуренцію найрозвиненішим ГІС. Корпорацією Intergraph, що базується на основі Autocad — подібної системи Microstation, що випускається у свою чергу компанією Bentley. Система MGE являє собою ціле сімейство різних програмних продуктів, що допомагають вирішувати найбільш широка безліч завдань, що існують в області геоінформатики.

Autocadlanddesktop, цей програмний продукт має потужні засоби для створення карт і різних планувальних рішень, можливістю створювати й маркувати геодезичні крапки, визначати й редагувати перехрестя й границі доріг, створювати модель тривимірного рельєфу, розраховувати обсяг і контури.

Програма візуалізації Gaswview розроблена НПП ФОРТ-М. Призначена для оглядового перегляду об'ємні зображень дна ріки, берега та ін. Програма написана мовою 3D графіки OpenGL і дозволяє: вибирати будь-який фрагмент акваторії; змінювати масштаби його зображення як по осях, розташованих у горизонтальній площині, так і по вертикальній осі разом з горизонтальною або окремо; розглядати його з різних кутів зору; змінювати розташування джерела світла; змінювати кольори поверхні дна, берегів.

Повторенням концепції Arcinfo, але, що сильно уступає останньої по функціональній повноті, є система Geodraw. Можливості її обмежені в основному дрібномасштабними картами. Очевидно, могутнішою системою є російська ГІС Sinteks ABRIS. В останній добре представлені функції по аналізі просторової інформації.

### 2.2. Інтелектуальний аналіз даних у завданнях екологічного моніторингу

Наявність геоінформаційної системи й розподіленої бази даних територіальної інформаційно-аналітичної системи є необхідним, але недостатньою умовою створення системи регіональної й, тим більше, міжрегіональної системи екологічного моніторингу.

Для комплексного вирішення проблем керування великомасштабною системою доцільно використовувати інтелектуальне інтегроване середовище, що поєднує засоби інтелектуального аналізу даних [17] і геоінформаційну систему.

Інтелектуальний аналіз даних (ІАД) — це новий напрямок в області інформаційних систем. Його метою є виявлення схованих закономірностей і правил у надвеликих масивах різномірних даних і можливість їх застосування для рішення завдань підтримки



прийняття рішень. Цей процес складається із трьох основних етапів:

- дослідження (виявлення закономірностей, рідше невідомих взаємозв'язків);
- використання виявлених закономірностей для побудови моделей;
- аналіз виключень для виявлення й пояснення відхилень у знайдених закономірностях.

Отримані відомості перетворюються до інформації, яка характеризується як знання й надалі його можна застосувати до нових даних. Знаходження нового знання засобами ІАД — напрямок, який використовує методи штучного інтелекту, математики й статистики.

Сфера застосування ІАД не обмежена — вона скрізь, де існують які-небудь дані: в економіці, охороні здоров'я, страхуванні, торгівлі, у різних областях, пов'язаних з контролем і прогнозуванням стану складних динамічних систем, що особливо важливо при екологічному моніторингу. Методи ІАД використовуються при рішенні таких завдань, як обслуговування кредитних карток, медична діагностика, аналіз споживчого ринку, прогнозування обсягу продажів і керування закупівлями, керування цінами й виробництвом, оцінка нерухомості, прогнозування споживання енергії, дослідження факторів попиту й багатьох інших.

Статистичні методи обробки даних є першим напрямком розвитку засобів ІАД. Їх можна підрозділити на наступні розділи:

- попередній аналіз природи статистичних даних;
- виявлення закономірностей і взаємозв'язків;
- багатомірний статистичний аналіз;
- динамічні моделі й прогноз на основі тимчасових рядів.

У статистичних методах більш послідовно розглядається значимість більших масивів даних для рішення завдання навчання автоматизованих СППР. Найбільш відомі наступні пакети: SAS, STATISTICA, SPSS, SCENARIO, SYSTAT та ін.

### 2.3. Моделювання границь забруднення екологічної обстановки

При моделюванні екологічної обстановки в регіонах зі складною формою границі й найбільш значимими джерелами забруднення будемо використовувати нормальні рівняння креслень,  $R$  — рівнозначність і інтерлокаційну формулу Лагранжа. Форму границі регіону, у якій будемо проводити дослідження екологічної обстановки, апроксимуємо за допомогою певної кількості відрізків, обраного експериментально з умов швидкодії виконуваного завдання й одержуваного результату, і представимо замкненої ламаної.

Нормальне рівняння замкненої ламаної з вершинами в точках  $M_1(x_1, y_1)$ ,  $M_2(x_2, y_2)$ , ...,  $M_n(x_n, y_n)$ , запишемо в такий спосіб:

$$f(x, y) \equiv \sum_{i=1}^{n-1} \phi(x, y, x_i, y_i, x_{i+1}, y_{i+1}) \sim \phi(x, y, x_n, y_n, x_1, y_1)$$

Завдяки асоціативності операції рівнозначності, ми можемо включати в загальну побудову функцію границі регіону нормальні функції ділянок границі в довільній послідовності. При цьому буде досягатися ефект симетрії картини регіону, якщо форма й граничні умови мають цей же тип симетрії.

За допомогою даного підходу побудоване рівняння границі України  $\omega_{\text{України}} = 0$ . При цьому використано 310 відрізків прямих [12]. Функціональне відображення границі України єдиним аналітичним вираженням дозволяє надалі включати його (або рівняння ділянок границі) у розв'язний алгоритм.

При побудові функції забруднення регіону доцільно використовувати інтерлокаційну формулу:

$$u(x, y) = u_0 + u_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i + \left( \sum_{i=1}^n \phi_i \right) \Phi$$

де  $\omega_i(x, y) = 0$  — рівняння  $i$ -го джерела з відомим рівнем забруднення.

$\Phi$  — невизначений компонент, що входить у залишковий член. Вона може апроксимуватися деяким поліномом з невизначеними коефіцієнтами, що перебувають із умови мінімуму функціонала (якщо він відомий) на безлічі функцій, що ухвалюють задані значення елементів на локусах, якими є області джерел забруднення.

У роботі [12] була проведена оцінка стану забруднення атмосферного повітря в містах України за даними спостережень, які проводилися в 54 містах на 167 стаціонарних постах. Найбільше забруднення повітря спостерігалось в Донецьку, Макіївці, Одесі, Дніпропетровську, Дзержинську, Маріуполі, Дніпродзержинську, Харкову, Запоріжжі, Луцьку, Краматорську, Єнакієве, Горлівці, Львову. Визначався зміст в атмосфері 39 забруднюючих речовин, включаючи важкі метали. Основний обсяг визначень (близько 60%) ставився до найпоширеніших речовин: пил, двоокис сірки, окис вуглецю, двоокис азоту.

У такий спосіб доведено, що для побудови математичної моделі поширення забруднень у регіоні зі складною формою границі можна скористатися рівняннями теорії R-Функцій, що дозволяють будувати нормальні рівняння локусів. При цьому можливо застосування інтерлокаційну формули для побудови функції забруднення з обліком наявних експериментальних даних, а також розширення розв'язуваної проблеми на основі внесення в неї нових даних, наприклад, обліку наявності вітру, характеру загасання функції рівня забруднення й ін.

## 3. Опис розроблених моделей обробки геоінформаційної інформації

### 3.1. Моделі й методи рішення завдання локалізації точки

Завдання локалізації точки, або завдання про перевірку приналежності точки деякої області, виникають, наприклад, коли необхідно перевірити, що

деякий населений пункт попадає (або не попадає) у зону впливу факторів поразки, коли ця зона задається деякою областю. Відповідно до прийнятої полігональної моделі місцевості вважаємо, що всяка область задається, що не має само-перетинів замкненої ламаної (простої ламаної). При цьому вважаємо, що розглянуті планарні підрозбиви такі, що після видалення із площини границь областей відкриті безлічі, що залишаються, зв'язні. Це потрібно для того, щоб пари точок, що належать одній області, можна було з'єднати кривою, що не містить граничних крапок області.

Перший крок – рішення завдання, коли площина розбита на дві області, одна з яких нескінченна, а інша є багатокутником  $P$ . Очевидно, що  $P$  – простий багатокутник; це випливає з умови розбивки площини на дві області й з теореми Жордана для багатокутників.

Наступний етап – визначення приналежності багатокутнику. Дано простий багатокутник  $P$  і точка  $z$ ; визначити, чи перебуває  $z$  усередині  $P$ . Трудомісткість цього завдання залежить від того, чи має  $P$  крім простоти ще які-небудь властивості. Інтуїтивно опуклий багатокутник виглядає більш простим об'єктом. Тому розглядається завдання приналежності опуклому багатокутнику. Дані опуклий багатокутник  $P$  і точка  $z$ . Чи перебуває  $z$  усередині  $P$ ? Рішення цього завдання для випадку унікального запиту сформульоване нижче, причому цей результат буде слушний і для неопуклих багатокутників.

Приналежність точки  $z$  внутрішній області простого  $N$ -Косинця  $P$  можна встановити за час  $O(N)$  без попередньої обробки.

Доказ цього твердження визначає наступний алгоритм. Проведемо через точку  $z$  горизонталь  $l$ . По теоремі Жордана зовнішня й внутрішня області  $P$  добре визначені. Якщо  $l$  не перетинає  $P$ , то  $z$  – зовнішня точка. Тому нехай  $l$  перетинає  $P$ , і розглянемо спочатку випадок, коли  $l$  не проходить ні через одну з вершин  $P$ . Нехай  $L$  – число точок перетинання  $l$  із границею  $P$  ліворуч від  $z$ . Оскільки  $P$  обмежений, лівий кінець лежить поза  $P$ . Будемо рухатися уздовж  $l$  від – праворуч аж до  $z$ . На самому лівому перетинанні  $l$  із границею  $P$  ми потрапимо усередину  $P$ , на наступному перетинанні вийдемо назовні і т. д. Тому  $z$  лежить усередині тоді й тільки тоді, коли  $L$  непарне. У неоднозначному випадку, коли  $l$  проходить через вершини  $P$ , нескінченно малий поворот  $l$  навколо  $z$  проти годинникової стрілки не змінить класифікації (усередині/поза) точки  $z$ , але усуне неоднозначність.

У випадку, коли розглядається опуклий багатокутник, розрахунки спрощуються завдяки наступному твердженню – промінь, що виходить із внутрішньої крапки обмеженою опуклою фігурою  $F$ , перетинає границю  $F$  у точності в одній точці.

Важливе значення для наступного також представляє завдання, коли дано три точки  $p, p', p''$ . Потрібно визначити, чи перебуває точка  $p$  ліворуч або праворуч або на орієнтованому відрізку  $p'p''$ .

### 3.2. Моделі й методи рішення завдань побудови опуклої оболонки

Побудова опуклої оболонки для довільної безлічі точок є однією з фундаментальних завдань обчислювальної геометрії й має більшу практичну значимість; як правило, опукла оболонка, як аналог, що обгинає, є найбільш природнім описом границі області поразки, у якій зафіксовані осередки впливу. Оскільки вирішувати подібне завдання доводиться багаторазово, необхідно побудувати найбільш ошадливий (у змісті витрат пам'яті й трудомісткості) алгоритм. із цією метою метод рішення завдання повинен, по можливості, урахувати особливості розглянутого безлічі точок.

Зі створених алгоритмів впливає наступне твердження - послідовні вершини опуклого багатокутника розташовуються в порядку, відповідному до зміни кута щодо будь-якої внутрішньої точки.

Представимо промінь, що виходить із деякої внутрішньої точки  $q$  багатокутника  $P$  і, що заметає вершини багатокутника  $P$  у порядку руху проти годинникової стрілки, починаючи з положення, що збігається по напрямкові з позитивним напрямком осі  $x$  системи координат. У міру руху від вершини до вершини полярний кут (він вимірюється звичайним чином у напрямку проти годинникової стрілки від позитивного напрямку осі  $x$ ) променя монотонно збільшується. Саме це має на увазі, коли говорять про те, що вершини багатокутника  $P$  «упорядковані» («розташовуються в порядку»).

Тоді, якщо дані крайні точки деякої безлічі, то його опуклу оболонку можна знайти, вибравши крапку  $q$ , про яку відомо, що вона є внутрішньою крапкою оболонки, і впорядкувавши потім крайні точки відповідно до полярного кута відносно  $q$ . У якості точки  $q$  можна обрати центроїд безлічі крайніх точок, тому що відомо, що центроїд безлічі точок є внутрішньою крапкою опуклої оболонки.

Продовжимо розгляд комбінаторної геометрії з метою знаходження інших ефективних алгоритмів побудови опуклої оболонки.

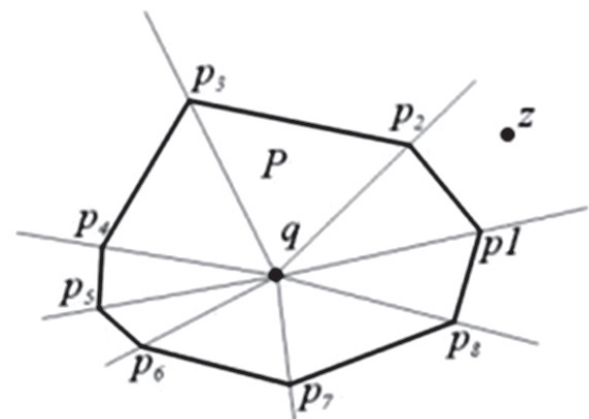


Рис. 1. Вершини багатокутника  $P$  упорядковані щодо точки  $q$

Багатокутник можна задати впорядкованою безліччю як його ребер, так і його вершин. У завданні

про опуклу оболонку ми звернули увагу на ізольовані крайні точки. Але можна замість цього спробувати визначити ребра опуклої оболонки. Якщо задана безліч точок, то досить важко швидко визначити, є чи ні деяка точка крайньої. Однак якщо дано дві точки, то безпосередньо можна перевірити, є чи ні з'єднуючий їхній відрізок ребром опуклої оболонки.

Відрізок  $l$ , обумовлений двома точками, є ребром опуклої оболонки тоді й тільки тоді, коли всі інші точки заданого безлічі лежать на одній або з однієї сторони від нього. Ребро  $pq$  є ребром опуклої оболонки, тому що всі точки безлічі розташовуються по одну сторону від нього;  $p'q'$  не є ребром опуклої оболонки, тому що по обидві сторони від нього є точки.

При цьому  $N$  точок визначають прямих. Для кожної із цих прямих можна, використовуючи формулу

$$\Delta = \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ x' & y' & 1 \\ x'' & y'' & 1 \end{vmatrix}$$

визначити за лінійний час положення інших  $N-2$  крапок щодо цієї прямої і тим самим перевірити, задовольняє чи ні пряма заданим вище умовам. Таким чином, за час  $O(N^3)$  можна знайти всі пари точок, що визначають ребра опуклої оболонки. Потім ці крапки слід розташувати у вигляді списку послідовних вершин оболонки.

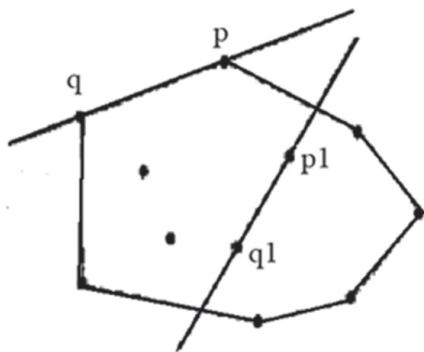


Рис. 2. Ребро опуклої оболонки не розділяє точки на частини

Якщо встановлене, що відрізок  $pq$  є ребром оболонки, то повинне існувати інше ребро з кінцем у крапці  $q$ . В [19] показано, як використовувати цей факт, щоб зменшити необхідний час до  $O(N^2)$ .

#### 4. Приклад програмної реалізації модуля побудови геометричних областей

Розроблений програмний комплекс призначений для інтерактивної роботи в режимі реального часу й забезпечує відображення даних, виконання розрахунків і відображення результатів з точністю до хвилин дуги. Усі основні дані й результати обробки, для полегшення їх сприйняття й підвищення якості аналізу, відображаються в графічному й у текстовому виді. Програмний комплекс відкритий для розширення з боку користувачів.

Основними модулями спроектованої програмної системи є наступні:

— географічна карта розглянутої території — дозволяє ознайомитися з особливостями рельєфу місцевості й розташуванням населених пунктів.

— база даних про населені пункти й інших об'єктів — дозволяє відображати, вводити й редагувати інформацію про населені пункти й інших об'єктах.

— база даних про осередки впливу — дозволяє відображати, вводити й редагувати інформацію про осередки впливу.

— побудова областей осередків впливу — дозволяє будувати й відображати: область впливу осередка на населені пункти й інші об'єкти (додатково виводиться список населених пунктів, що перебувають під впливом осередка); опуклу оболонку й лінії рівня (апроксимуючий багатокутник для довільного набору осередків впливу, відображати їх на карті разом з полігональними лініями рівня, задавати границю області зображення й заборонні для відображення зони).

Для наступної роботи із програмним комплексом слід виділити один з перерахованих режимів роботи (за замовчуванням активний перший режим — «Географічна карта»).

Другий режим роботи із програмним комплексом — «База даних про населені пункти й інші об'єкти». Користувачеві надаються наступні сервісні можливості по роботі з таблицею записів: установка поля для пошуку, пошук запису по полю, упорядкування записів по полю, установка/видалення активного запису, введення і редагування записів.

Третій режим роботи із програмним комплексом — «База даних про осередки впливу».

Побудова областей осередків впливу — наступний режим роботи із програмним комплексом — після вибору даного режиму роботи на основній формі активується форма «Побудова області дослідження осередків впливу».

У лівій частині програмного екрану у таблиці «Активні осередки впливу» можна побачити інформацію про осередки, що потрапили у досліджувану територію. Після цього користувачеві буде запропонований відповідний режим роботи. За допомогою клавіатури або миші можна виділити конкретний осередок, що нас цікавить та у реальному часі на карті відобразяться населені пункти, що потенційно потрапляють або потрапили у зону ризику забруднення. При цьому осередок впливу відобразиться на карті червоним маркером, а зона його впливу червоною зоною.

Ця форма призначена для побудови й відображення на карті: області впливу осередків на населені пункти й інші об'єкти (додатково виводиться список населених пунктів, що перебувають під впливом осередку); опуклої оболонки осередку впливу (апроксимуючий багатокутник для довільного набору осередків впливу) і ліній рівня для його внутрішності.

Завдання збитків інформаційній системі може проводитися за допомогою реалізації загроз системі в цілому й реалізації погроз інформації.

Загроза — потенційна небезпека порушення інформаційної безпеки, обумовлюється умовами



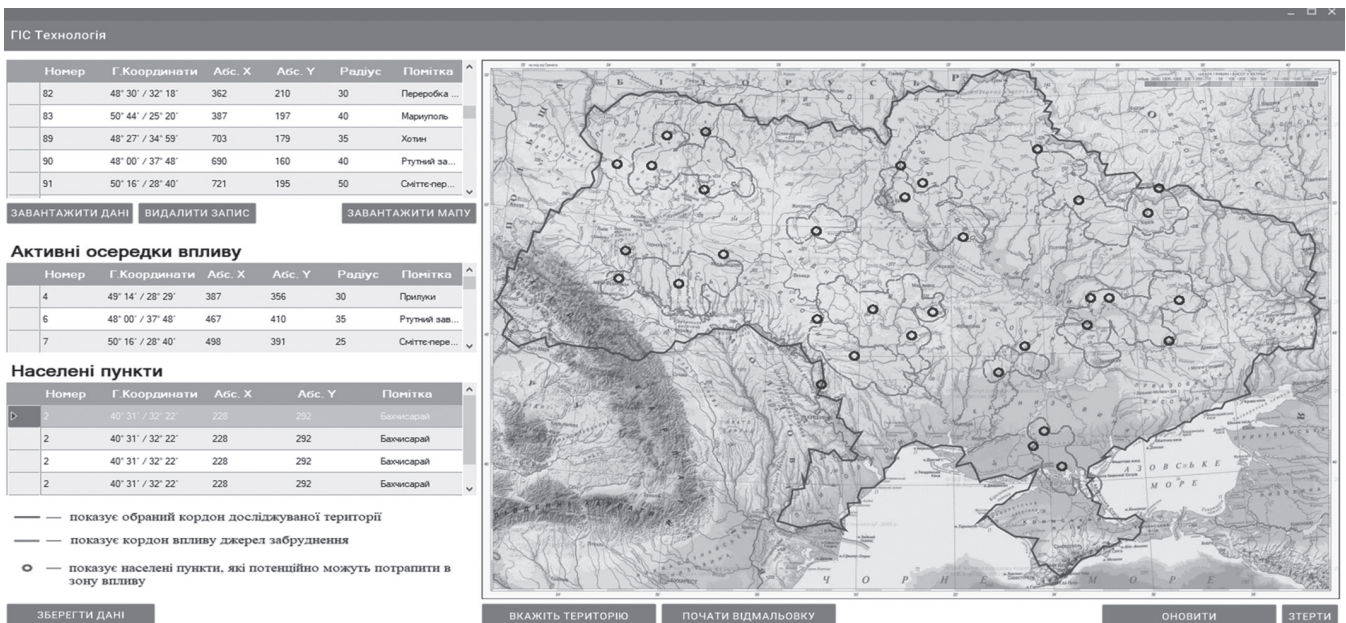


Рис. 3. Інтерфейс програмної системи

обробки (формування, передача, приймання) і зберігання інформації.

Усі реалізовані погрози можна розділити на два класи – активні й пасивні.

Активна погроза – погроза навмисної несанкціонованої зміни системи.

Пасивна погроза – несанкціонований вплив на систему без зміни стану

Несанкціонований доступ – доступ до інформації або до ресурсів з порушенням установлених у системі правил розмежування доступу (навмисний або випадковий).

Приклади погроз:

- розкрадання інформації й носіїв;
- несанкціоноване копіювання й поширення інформації;
- несанкціоноване підключення до апаратури, устаткування й каналів зв'язки з метою знімання інформації або впливу з метою завдання збитків;
- несанкціоноване підключення за рахунок спеціального математичного або програмного забезпечення;
- несанкціоноване перехоплення електромагнітних випромінювань.

При розробці й аналізі інформаційних технологій перше завдання – розробка моделі погроз і оцінка збитку від тих або інших погроз. На основі моделі погроз визначити завдання захисту з метою мінімізації збитку. Основним документом, який визначає порядок захисту є політика інформаційної безпеки.

Залежно від реалізованої політичної безпеки система захисту інформації (СЗІ) повинна надавати користувачеві інформаційних технологій наступні послуги:

- конфіденційність;
- цілісність;
- спостережуваність;
- доступність.

Одним з основних методів забезпечення якості названих послуг є застосування криптосистем. Під криптографічною системою розуміється сукупність алгоритмів і механізмів (засобів) захисту інформації за допомогою застосування криптографічних перетворень, а також керування ключовими структурами (даними).

### Висновок

Для рішення актуального завдання моделювання екологічної обстановки в Україні проведений аналіз проблеми, на підставі якого сформульовані й вирішені основні завдання дослідження.

Показано, що для рішення завдань моделювання екологічної обстановки необхідне створення ГІС, використання якої разом з розподіленою базою даних територіальної інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу забезпечує підвищення ефективності збору даних і прогнозування екологічної обстановки, а також відображення результатів рішення безпосередньо на карту місцевості. На цій основі запропонований експериментальний варіант ГІС і відповідної їй бази даних, які використовуються для завдання вихідних даних при моделюванні обстановки й відображення результатів рішення на карту України.

Для оцінювання екологічної обстановки в будь-якій точці України запропоновані методи моделювання, засновані на інтерполяції даних екологічного моніторингу й прогнозуванні розподілу інтенсивності окремих викидів на основі конуса поширення забруднюючого речовини, що представляє рішення рівняння дифузії.

Запропоновані методи дозволяють прогнозувати рівні забруднення середовища на основі методів двовимірної інтерполяції. Залежно від завдання, вони забезпечують моделювання екологічної обстановки локально й глобально (для всієї території України)

— за рахунок можливості лінійної інтерполяції за значеннями рівнів забруднення в окремих місцях, а також поліноміальної Лагранжевої інтерполяції, за рахунок побудови регулярної сітки рівнів забруднення по цим первинним даним, і побудови ліній рівня для функції інтенсивності забруднення. При цьому користувач може задавати точність інтерполяції, відповідно щільності розміщення датчиків, на основі вибору порядку, що інтерполює поліном в діапазоні від лінійної інтерполяції до полінома заданого ступеня  $k$  — по  $x$ , і  $m$  — по  $y$ . Запропоновані в роботі моделі й методи моделювання реалізовані у вигляді програмного комплексу (ПК), який забезпечує моделювання рівнів забруднення навколишнього середовища аерозолями й іншими домішками в режимі реального часу.

З метою його практичного використання параметри моделей прогнозування слід набудувати на особливості поширення конкретних типів забруднюючих речовин, що дозволить поповнити його іншими програмними рішення рівнянь дифузії, а також адаптувати використовувану ГИС, базу даних і систему інтелектуальної підтримки прийняття рішень на конкретні особливості розглянутого регіону (міста, району, області).

Математичне моделювання екологічних процесів являє собою потужний інструмент для кількісної оцінки зміни характеристик навколишнього середовища під впливом різних антропогенних факторів. Такі дослідження мають міждисциплінарний характер і, отже, для комплексного рішення екологічної проблеми поряд з фізичними моделями необхідні також хімічні, біологічні, агрофізичні й інші методи контролю навколишнього середовища, які будуть працювати в рамках єдиного комплексу, що дозволить більш повно досліджувати екологічні процеси з обліком прямих і зворотних зв'язків. Хоча основні принципи побудови моделей екологічної безпеки народно-господарських комплексів мають загальну платформу, однак окремі питання для кожного регіону є специфічними, тому необхідно проведення спеціальних екологічних досліджень.

ГИС-технологія поєднує традиційні операції при роботі з базами даних з перевагами повноцінної візуалізації й географічного аналізу, який надає карта. Ці можливості відрізняють ГИС від інших інформаційних систем.

#### Список літератури:

- [1] Вирішальна роль 3D даних у реагуванні на надзвичайні ситуації // [HTML] (<https://esriaustralia.com.au/esriaustralia-blog/the-crucial-role-of-3d-data-in-emergency-response-blg-186>).
- [2] Коновалова Н.В., Капралів Е.Г. Введення в ГИС. М.: Мир, 1997. 160 с.
- [3] Квіток В. Я. Геоінформаційні системи й технології. М.: Фінанси й статистика, 1998. 288 с.

- [4] С.Ю. Желтов, і ін. Особливості реалізації 3D ГИС // Інформаційний бюлетень Гис-Асоціації. 1997. № 5(12). С. 12-14.
- [5] Richards G.D. Numerical Simulation of Forest Fires // Int. J. for Numerical Methods in Engineering. - 1988. - Vol. 25. - P. 625 - 633.
- [6] Акименко В.В., Казанків Д. В., Симоненко А.Б. Засоби комп'ютерної графіки в завданні аналізу й контролю екологічного стану атмосфери регіону // Програм. продукти й системи. 1995. №3. С. 10-12.
- [7] Розширене дистанційне зондування: видобування та застосування наземної інформації: [HTML] (<http://edutechsoft.blogspot.com/2018/09/advanced-remote-sensing-terrestrial.html>), 2018. - 248 с.
- [8] Препарату Ф., Шеймос М. Обчислювальна геометрія. М.: Мир, 1089. - 478с.
- [9] Уваров Р.А. Моделювання екологічної обстановки з урахуванням турбулентного руху в атмосфері // Радіоелектроніка й інформатика. - 2001. - № 3. - С. 129-134.
- [10] Уваров Р.А. Математичне моделювання екологічної обстановки в Україні // Радіоелектроніка й інформатика. - 2000. - № 4. - С. 125 - 129.
- [11] Дискретні періодичні сплайни з векторними коефіцієнтами і поверхні Кунса // [PDF] [www.math.spbu.ru/mmeh/AspDok/pub/2010/Chashnikov.pdf](http://www.math.spbu.ru/mmeh/AspDok/pub/2010/Chashnikov.pdf)
- [12] Маніфест що таке карта з плаваючою формою // EEEI 2015, 10с. - [HTML] ([www.floatingsheep.org/2015/12/what-would-floating-sheep-map-manifesto.html](http://www.floatingsheep.org/2015/12/what-would-floating-sheep-map-manifesto.html))
- [13] Галак О.В., Козирєв А.Д., Орлов Я.В., Шубін І.Ю. Інформаційна технологія визначення зон ураження під час надзвичайних ситуацій. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 5 ч. Ч. V. / за ред. проф. Сокола Є.І. - Харків: НТУ "ХПІ". - 158 с.
- [14] Марчук Г.І., Кондратьєв К.Я. Пріоритети глобальної екології. М.: Наука, 1992. 264 с.
- [15] Марчук Г. І. Математичне моделювання в проблемі навколишнього середовища. М.: Наука, 1982. 324 с.
- [16] Багнок В. Якою буде наша енергетична стратегія? Аргументи проти атомної енергетики // Вісн. НАН України. - 2001. - № 9. - С. 29 - 37.
- [17] Клименко Е.Г. Програмно-алгоритмічні засоби інтелектуального аналізу даних // Радіоелектроніка й інформатика. - 2001. - № 3. - С. 64-67.
- [18] Chetverikov G.G., Vechirska I.D., Tanyanskiy S.S. The methods of algebra finite predicates in the intellectual system of complex calculations of telecommunication companies // International Conference Proceedings Crimean Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo). - 2014, 6959425. - pp. 346-347.
- [19] Бурів до виявлення знань у сховищах даних // Відкриті системи. 1999. №5-6. [HTML] (<http://www.osp.ru/os/1999/05-06/14.htm>).

Надійшла до редколегії 26.02.2020