

УДК 004.421

О.О. КРЯЖИЧ, О.В. КОВАЛЕНКО, В.В. ІВАНЧЕНКО

СПОСІБ ОПИСУ ЗАБРУДНЕНОЇ ТЕРИТОРІЇ: ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

***Анотація.** У статті представлено програмну реалізацію способу опису забрудненої території для визначення зон ураження незначних за площею місцевостей при техногенних аваріях з викидами небезпечних речовин в навколишнє середовище. Розроблено алгоритм та програмний продукт, що знаходиться на стадії тестування. Зроблені висновки з означенням практичної цінності представлених розробок.*

***Ключові слова:** алгоритм, спосіб, обмеження, крок, базисна точка.*

Вступ

У сучасній практиці підтримки прийняття рішень із забезпечення техногенної безпеки є актуальною проблема дотримання вимог своєчасності, несуперечності і повноти інформації. Для реалізації можливої практичної задачі виникає потреба в попередньому експерименті та моделюванні ситуації. Навіть враховуючи, що більшість фізико-хімічних властивостей небезпечних речовин вивчені досконально, важко зрозуміти, як відбудеться розвиток ситуації з розповсюдження забруднення у разі техногенної аварії на конкретній ділянці простору. Проте особливо важливим завданням отримання інформації із забезпеченням вимог до її повноти постало при активізації досліджень радіонуклідів водню тритію, механізми міграції якого в навколишньому середовищі є маловивченими.

Неоднорідність території за різними ознаками з погляду визначеної мети дослідження чи практичної діяльності зумовлює потребу поділу території на певні частини. Кожна територія відрізняється від сусідніх та має свої характеристики, що є важливо для дослідника, перед яким постає задача оцінити розповсюдження техногенного забруднення як на глобальному рівні, так і на локальній території (у конкретному лісі, на полі сільського господарства, на луках або за течією річки).

Основними антропогенними джерелами розростання екологічної кризи в Україні є, перш за все, великі підприємства та промислові комплекси – споживачі сировини, енергії, води, повітря, земельного простору, транспорту й водночас забруднювачі довкілля практично всіма видами забруднень (механічних, хімічних, радіаційних, фізичних, біохімічних). Сконцентровані вони навколо родовищ корисних копалин, великих міст і водних об'єктів: Донеччина, Центральне Придніпров'я, Криворіжжя, Прикарпаття, Маріуполь, більшість обласних центрів. Проте є багато невеликих підприємств, які, проте, можуть завдати значної шкоди довкіллю в межах окремого населеного пункту або області. Як правило, ці підприємства мають санітарно-захисні зони, проте моделювання виходу аварійної ситуації за межі санітарно-захисної зони здійснюється поверхнево, обмежуючись моніторингом контрольних точок замірів.

Враховуючи те, що активне розростання міст захопило межі промислових зон і підприємства стали центрами постійного перебування великої кількості населення, зростає актуальність дослідження та опису можливого і дійсного розповсюдження забруднення від цих підприємств. Такий опис повинен реалізовувати вирішення наступних задач:

- швидко визначити рівень забруднення будь-якої за обсягом території;
- враховувати той фактор, що на деякі території дослідник з метою взяття проб потрапити не зможе, а також те, що досліджувана територія є пересіченою місцевістю;
- використовувати для аналізу і прогнозування ті дані, які важливі дослідникам на момент вирішення завдань;
- візуалізувати отримані результати для прийняття рішень за проблемою ліквідації аварійної ситуації.

Існує багато програмних продуктів, націлених на реалізацію задач моделювання забруднень водного середовища, ґрунту, повітря. Найбільш використовуваними є різноманітні геоінформаційні системи, що дозволяють поєднувати зображення територій з табличною інформацією щодо цієї території (GRASS GIS, ArcGIS, Quantum GIS та ін.). Моделювання забруднення територій у таких системах дозволяє наносити на карти і схеми зони можливого забруднення у вигляді кола, півкола або сектора. Часто така візуалізація не дає картини, наближеної до реальності, адже природна система, де відбулася аварія, має свої особливості. І якщо у разі аварій на підприємствах із значними викидами і загрозою забруднення великих територій окремими осередками з підвищеною концентрацією небезпечної речовини можна знехтувати, то у разі аварії з невеликим викидом речовини окремі точки і плями забруднення на відстані від основного сектора ураження матимуть вагомое значення при прийнятті рішень щодо ліквідації наслідків.

Метою роботи є представлення можливого підходу до автоматизації роботи дослідника – програмної реалізації способу опису забрудненої території.

Завдання роботи:

- визначити проблеми взаємодії підприємства та навколишнього середовища з метою означення кроків, що повинні бути виконані з метою опису території;
- навести математичний апарат для реалізації досягнення поставленої мети;
- обґрунтувати алгоритм та представити особливості програмної реалізації способу опису забрудненої території.

В основу способу опису території покладено метод можливих напрямків Дж. Зойтендейка [1], але саме те твердження, що базисна точка може бути невідома і взята довільно. Деякі аспекти алгоритмізації з використанням цього підходу були вже описані [2–5]. У даній статті представлені підсумки випробування способу опису забрудненої території та результати практичної реалізації у вигляді програмного продукту «Випадкова точка».

1. Проблеми взаємодії підприємства та навколишнього середовища

В Україні функціонує майже дві тисячі об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності майже 300 тис. тонн сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), поряд з якими проживає майже половина населення країни. Існують підприємства, що у своїй діяльності використовують радіаційно небезпечні матеріали та прилади, які у разі безконтрольного потрапляння в навколишнє середовище можуть завдати значної шкоди довкіллю.

Для порівняння – в Росії налічується понад 3,6 тисяч хімічно небезпечних об'єктів, а 146 міст із населенням понад сто тисяч чоловік розташовані в зонах підвищеної хімічної безпеки. Лише за п'ять років – 1992–1996 рр. – відбулося понад 250 аварій з викидом СДОР, під час яких постраждали понад 800 і загинули 69 осіб. Причому 25% аварій відбулося через експлуатацію устаткування понад нормативний строк, корозії устаткування й непрацездатність контрольно-виміральної апаратури [6].

В сучасних умовах кількість небезпечних речовин на виробництві розглядається як основний, але не єдиний критерій небезпечності об'єкта. Небезпека виникає тоді, коли СДОР потрапляють в навколишнє середовище, отруюючи через повітря, воду та їжу живі організми та людину. Найбільш об'ємним та неконтрольованим є потрапляння СДОР у навколишнє середовище при вибухах та пожежах на підприємствах хімічного та енергогенеруючого комплексу, що відносить їх до категорії потенційно небезпечних об'єктів.

Потенційно небезпечний об'єкт – об'єкт, на якому можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші об'єкти, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії [7].

Слід зазначити, що істотну роль під час визначення статусу небезпечності конкретного виробництва відіграють такі показники, як зношеність основних промислово-виробничих фондів, зона можливого ураження, кількість непорогових значень небезпечних речовин більше двох. Вихідною величиною є кількість населення, яке проживає в зоні можливого масового ураження внаслідок техногенних аварій, характеру дії небезпек. Для прийняття рішення відносно запобігання та локалізації аварійної ситуації слід також враховувати інформацію про наявність будівель, насаджень, рухомих конструкцій на шляху ураження, зміни місцевості техногенного характеру, ресурсної, як спеціалізованої, так і неспеціалізованої бази для недопущення поширення виходу аварії за межі робочої площадки, а також для ліквідації можливих наслідків у випадку розвитку надзвичайної ситуації [8].

Безпека будь-якого об'єкта, що використовує у технологічному процесі або зберігає СДОР, залежить від багатьох факторів: фізико-хімічних властивостей сировини, напівпродуктів і продуктів, від характеру технологічного процесу і надійності обладнання, умов зберігання і транспортування речовин, стану контрольно-вимірвальних приладів і засобів автоматизації, ефективності засобів протиаварійного захисту тощо. Крім того, безпека виробництва, використання, зберігання і перевезення СДОР значно залежить від рівня організації профілактичної роботи,

своєчасності та якості планових попереджувальних робіт, підготовленості і практичних навичок персоналу, системи нагляду за станом технічних засобів протиаварійного захисту.

Останнім часом все частіше використовується поняття потенційно небезпечної території. Індикатором віднесення адміністративно-територіальних одиниць до потенційно небезпечних територій може слугувати рівень масового ураження території на випадок аварії або на території адміністративно-територіальної одиниці понад 10% населення потрапляє у зону масового ураження у результаті пожежі чи вибуху на потенційно небезпечному чи небезпечному підприємстві.

Але введення до об'єкта дослідження власне території додає невизначеності у зв'язку з необхідністю опису ряду додаткових факторів. При розповсюдженні небезпечних речовин територія, на відміну від підприємства, не обмежується виробничою площадкою, вона не є ідеально рівною місцевістю, не має сталих кліматичних показників та руху потоків вітру, на ній присутній рослинний покрив, який може всмоктувати, акумулювати та виділяти небезпечні речовини, а також мешкають представники тваринного світу, які можуть переносити деякі види небезпеки на значну відстань. І саме тут постає найбільш актуальне питання – в який спосіб отримати необхідні дані у максимально можливому обсязі, щоб мати змогу описати територію з врахуванням перелічених факторів?

Припустимо, що маємо для дослідження територію X довкола деякого підприємства, єдина інформація про яку є зображення на Google-картах. Підприємство працювало з незначними, але постійними викидами небезпечної речовини (НР) в навколишнє середовище. Поставлена задача з'ясувати, на яку територію і як було розповсюджено НР.

Звичайно, у разі відсутності надзвичайної ситуації можна просто провести багато статистичних вимірів території і зробити певні висновки. Проте поставлене завдання можна вирішити з економією часу і засобів наступним чином:

– 1-й крок: умовно обмежуємо територію X , що досліджується, прямокутником, що поділений на зручну для дослідника кількість клітин;

– 2-й крок: обираємо довільно базисну точку x_k , обираємо базовий об'єкт для досліджень (рослини або рослина певного виду, ґрунт, роса, тала вода снігового покриву і т. ін.);

– 3-й крок: робимо замір концентрації НР, що потрапила в навколишнє середовище в результаті викиду, без врахування того, перевищена чи ні гранично припустима концентрація;

– 4-й крок: обираємо від точки x_k напрями від 1 до n та робимо довільно будь-який малий крок $\alpha_k > 0$. Щоб квадрати ділянок для наступного дослідження не дублювалися, обираємо напрям та квадрат за методом генерації випадкових чисел;

– 5-й крок: в отриманих квадратах збираються проби з базового об'єкта для досліджень, отримуються виміри небезпечної речовини, дані заносяться до таблиці вимірів і будується графік;

– 6-й крок: обирається точка, за якою отримане найбільше значення концентрації небезпечної речовини, вона стає базисною точкою, за якою повторюються перелічені кроки.

Приклад реалізації способу опису забрудненої території наведено за підсумками досліджень розповсюдження радіонукліду водню тритію на території Інституту ядерних досліджень НАН України (рис. 1).

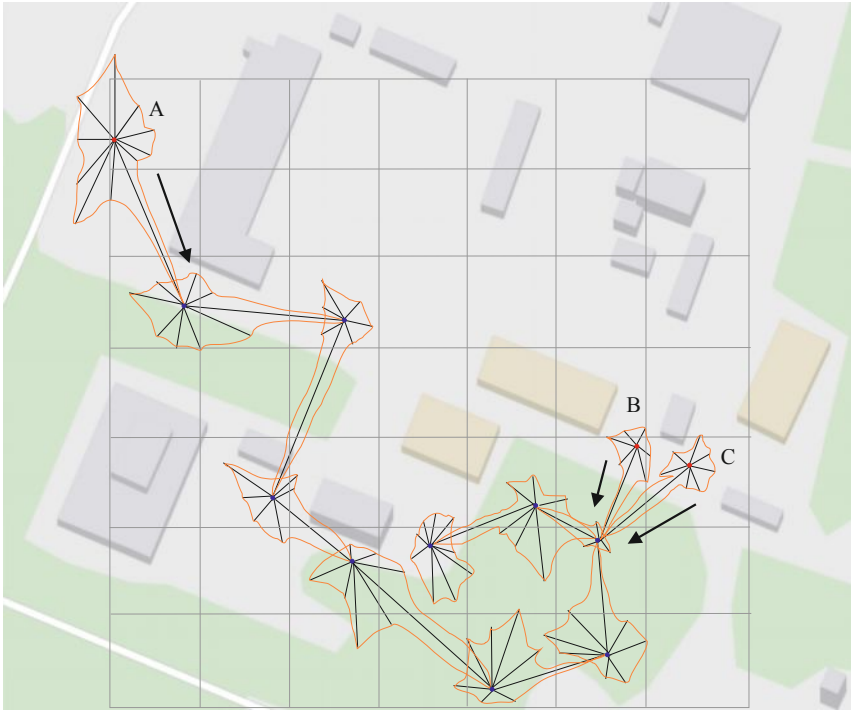


Рисунок 1 – Приклад реалізації способу опису забрудненої території з виділенням місць дослідження. Стрілками показано напрям руху при відборах проб

З рис. 1 видно, що дослідження триває покровоко з базисної точки А за напрямом, де отримується найбільше значення вимірів. Це необов'язково повинно бути перевищення концентрації речовини, а може бути просто поступове збільшення результатів. Виміри за наведеним способом проводяться до тих пір, поки базисна точка перестане належати ділянці, що досліджується ($x_k \notin X$), або всі отримані результати вимірів будуть від'ємними. Для достовірності досліджень можна також обирати базисною точкою будь-яку іншу точку (на рис. 1 – точки В і С) або високе значення вимірів за полюсними точками на кінцях променів при реалізації кроку 5.

2. Математичне представлення способу опису забрудненої території

Для прикладу візьмемо невелику за площею, дуже пересічену, ділянку в декілька гектарів, через яку вірогідно пройшла хмара викиду від аварії на деякому підприємстві N. На ділянці існують споруди, є пагорби, багато листяних дерев і кущів. Стоїть задача з'ясувати, чи була забруднена місцевість. Зазначена ділянка настільки невелика, що у розповсюджених геоінформаційних системах зможе бути представлена частиною загальної

території, що зменшує точність результатів і ускладнює відповідь на поставлену задачу.

Описана покрокова методика дозволяє реалізувати спосіб опису забрудненої території за напрямом на проміжку $[a, b]$ деякої заданої безперервної обмеженої функції $f(x)$. В процесі реалізації способу буде цікавити знаходження кусочно-поліноміальної функції $P(x) \in C_1(a, b)$, яка найкращим чином наближує $f(x)$ за підходом Чебишева, що детально представлено у [2–3]. Зокрема, виразом $C_1(a, b)$ означено клас функцій, безперервних на відрізку $[a, b]$ разом з першою похідною, що для $P(x)$ матиме місце наступне представлення:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1(x) \quad x \in [a, C_1] \\ f_2(x) \quad x \in [C_1, C_2] \\ \dots\dots\dots \\ f_S(x) \quad x \in [C_S, b] \end{array} \right.$$

Точки $a = C_0 < C_1 < C_2 < \dots < C_S < C_{S+1} = b$ у даному випадку є невідомими. Цей набір представлений полюсними точками, в яких за результатами вимірів буде отримана інформація про стан на межах ділянки, що досліджується. Але серед них може бути обрана і базисна точка для наступного кроку.

Функції $f_i(x)$, $i = \overline{1, S}$ є поліноміальними зі ступенем не менше 2. Тобто, наведена задача у випадку, якщо $f_i(x)$ має однаковий ступінь, і є задачею побудови сплайн-функції з фіксованими вузлами.

Задача побудови $P(x)$ зводиться до кількох завдань побудови поліномів найкращого наближення $f_i(x)$ до функції $f(x)$ для $x \in [C_i, C_{i+1}]$ ($i = \overline{0, k}$) за принципом оптимальності. Для алгоритмічної і програмної реалізації зазначеного способу опису території достатньо розглянути задачу побудови полінома найкращого наближення до $f(x)$ на деякому інтервалі з відповідною гладкістю $P(x)$. Представимо досліджувану територію за допомогою нерівностей у вигляді задачі лінійного програмування, де треба відшукати точку X^0 з найбільшою концентрацією небезпечних речовин:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \sum_{j=1}^k d_j x_j \\ \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j \leq b_i \\ x_j \geq 0, i = \overline{1, P}; j = \overline{1, k} \end{array} \right.$$

На місцевості це може бути просто випадкова точка у довільно обраному квадраті на території, що досліджується, тобто, повинна виконуватися умова $x \in C_i(a, b)$.

Позначимо цю точку обмеження $X^0 = (x_1^0, \dots, x_k^0)$. Тоді для X^0 :

$$\sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0 \leq b_i$$

$$x_j^0 \geq 0 \quad i = \overline{1, P}; \quad j = \overline{1, k}.$$

Як було зазначено вище, X^0 може й не бути базисною точкою, а також, що ця точка є невідомою. Тоді процедура знаходження рішення задачі (2) за наведеними вище кроками зводиться до наступного:

а) з точки X^0 обирається напрямок S , за яким величина $\sum_{j=1}^k d_j S_j$ має найбільше значення і вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$ задовольняє обмеження $\sum_{j=1}^k P_{ij} S_j \leq 0, i = \overline{1, P_1} (P_1 \leq P + K)$, де матриця $P = (P_{ij})$ складена з умов матриці обмежень (2), які для точки X^0 виконуються як рівняння. Для матриці P маємо: $\sum_{j=1}^k P_{ij} x_j^0 = b_i; i = \overline{1, P_1}$.

На цьому ж етапі враховується умова невід'ємного невідомого. Після обрання напрямку S обираємо довжину кроку λ для переходу у наступну точку X^1 , виходячи з умови, що X^1 повинна задовольняти (3);

б) вибір величини довжини кроку λ здійснюємо з відношення:

$$\lambda = \left\{ \min \frac{b_i - \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0}{\sum_{j=1}^k a_{ij} S_j} \mid \sum_{j=1}^k a_{ij} S_j > 0, \quad i = \overline{1, P} \right\}.$$

Для того, щоб не охоплювати рівновіддалену територію від X^0 , довжина кроку за кожним напрямком збільшується або зменшується у n разів. Враховуючи, що вся дослідна ділянка за наведеним способом розбивається на клітини-прямокутники, цього можна досягти за допомогою генерації випадкових чисел на шляху кожного кроку за номером (або координатами) квадрату;

в) будуюмо полюсну точку $X^1 = X^0 + \lambda S$, яка задовольняє умови (3).

Величина, на яку збільшилася лінійна форма задачі (2), дорівнює $\lambda \sum_{j=1}^k d_j S_j$;

г) повторюються пункти а) і б) відносно точки X^1 , та отримується X^2 . Це повторюється до того випадку, поки не буде існувати напрям, для якого значення $\sum d_j S_j$ стає від'ємним, або базисна точка опиниться за межами ділянки, що досліджується.

Для побудови алгоритму та програмної реалізації необхідно також приділити увагу вибору напрямку S . Знаходження вектора $S = (S_1, \dots, S_k)$ зводиться до знаходження рішення наступної задачі математичного програмування:

$$\sum_{j=1}^k d_j S_j \rightarrow \max$$

$$\sum_{j=1}^k P_{ij} S_j \leq 0; \quad (i = \overline{1, P_1})$$

до якої, як правило, додають ще одне обмеження (нормалізацію) на вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$. Для дослідження за наведеним способом обрано обмеження:

$$\sum_{j=1}^k S_j^2 \leq 1.$$

Такий вибір для програмної форми реалізації обумовлено тим, що розміри задачі (4)–(6) відносно невеликі, кількість ітерацій для її рішення відносно незначне, а це доводить непотрібність громіздких прийомів нормалізацій інших типів [9].

На практиці дуже важко буде вибрати деяку точку X^0 , яка задовольнятиме (3), то замість задачі (2) можна вирішити задачу, яка у деякому сенсі є еквівалентною, тобто застосувати метод можливих напрямків до вирішення задач чебишевського наближення з додатковими обмеженнями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^k d_j x_j - M_\xi \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j + \beta_i \xi \leq b_i & i = \overline{1, P} \\ x_j \geq 0, \quad \xi \geq 0 & j = \overline{1, K} \end{cases}$$

де M є великим невід'ємним числом, а величини визначаються системою

$$\beta_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо } b_i \geq 0 \\ -1, & \text{якщо } b_i < 0, \quad i = \overline{1, P} \end{cases}$$

Припустімо, значення невідомої ξ дорівнює $\xi_0 = \{\max(-b_i)/b_i < 0, i = \overline{1, P}\}$.

У зазначеному випадку вектор $X_{\xi}^0 = (O_1 O, \dots, O_1 \xi_0)$ стане початковим вирішенням задачі (7). А якщо область умов, що задана у (3), є не порожньою, то задача (7) матиме оптимальне рішення, а невідома ξ дорівнюватиме 0. Саме тому, у разі отримання від'ємного рішення задачі (7) $X_{\xi}^{on} = \{X_1^{on}, X_2^{on}, \dots, X_k^{on}, O\}$, можна отримати і оптимальне рішення задачі (2) з необхідного для опису забрудненої території набору полюсних точок $X_{on} = \{X_1^{on}, X_2^{on}, \dots, X_k^{on}\}$.

Наведене математичне представлення способу опису забрудненої території має дещо спрощене представлення деяких етапів на відміну від [2–3] для полегшення програмування. Зазначене не впливає на точність вирішення поставленої задачі.

3. Алгоритм та особливості програмної реалізації способу опису забрудненої території

Програмний продукт «Випадкова точка» для реалізації способу опису забрудненої території передбачений як інструмент для польових досліджень. Остаточна реалізація програмного продукту утримуватиме варіант для роботи як на комп'ютері під операційною системою Windows, так і на планшетах та смартфонах під операційною системою Android.

Початком дослідження території є вибір терену та обмеження його координатами. Для цього в програмі передбачено імпортування карти або схеми території у графічному форматі з розширенням .jpeg, на яку накладається сітка з поділом на квадрати або прямокутники від 1 x 1 до 30 x 30 із зазначенням координати кожного квадрату за його місцем по вертикалі і горизонталі (рис. 2).

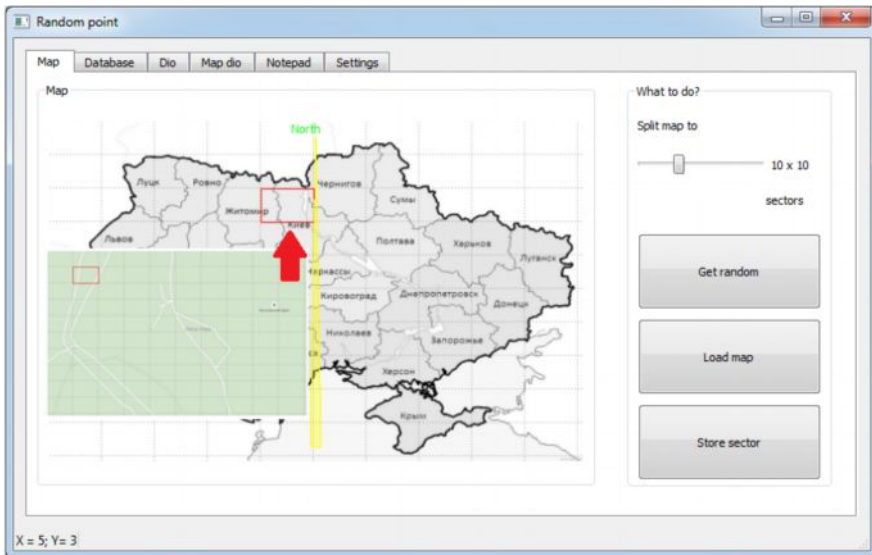


Рисунок 2 – Вибір місцевості дослідження та означення початкової точки

За допомогою функції «get random» отримується випадкова точка на деякому заданому інтервалі $[\alpha, \beta] \subset [a, b]$ з побудовою поліному $f_s(x)$ ступеня n . Далі вирішується задача лінійного програмування, що представлена вище, та реалізується спосіб опису території від точки до точки з фіксацією координат точок та результатів в таблиці та наступною побудовою графіку, що окреслює досліджену територію за даними вимірів.

В алгоритмі програми використані наступні параметри:

P_1 – кількість полюсних точок на $[a, b]$, включаючи й кінці інтервалу апроксимації.

P_2 – кількість базисних точок на $[a, b]$.

NO – кількість точок на відкритому інтервалі дослідження (O, E_1) .

Φ_1 – кількість пар $(x_i, f(x_i))$, які задають таблицю функції $f(x)$, $x \in [a, b]$.

E_1 – довжина підінтервалів апроксимації (кроки перебирання $[a, b]$).

Якщо виконується умова, що отримане значення в базисній точці невід'ємне, то число підінтервалів апроксимації буде більшим, ніж це передбачено вектором полюсних точок. Цим будуть уведені нові базисні точки. Тобто, можна почати дослідження з будь-якої раніше визначеної точки, що задовольняє дослідника за результатами отриманих вимірів.

D_2 – задана точність апроксимації.

$C[1: P_1]$ – масив полюсних точок, записаних у порядку зростання й включає точки a й b .

$Z[1: P_1]$ – масив базисних точок, записаних у порядку зростання.

$Y[1: NO]$ – масив точок з відкритого інтервалу (O, E_1) , який необхідний для побудови нових точок.

$XX, FF[1: \Phi_1]$ – масиви відповідних полюсних точок

$x_j \in [a, b]$ и $f(x_j)$, $j = 1, \dots, \Phi_1$

$(f(XX[J]) = FF[J], J = 1, \dots, \Phi_1)$.

Узагальнений алгоритм програмного продукту «Випадкова точка» для роботи під операційною системою Windows є наступним:

1. Запуск програми SectorMap.exe.
2. Експортування карти місця дослідження, накладання сітки – розбиття на необхідну кількість комірок зони дослідження.
3. Обрання «випадкової» базисної точки X . Введення необхідних параметрів. Лічильники і перший елемент масиву $XX[0]$ (на інтерфейсі користувача – вкладка «Database», рис. 3) представляють первісні значення.

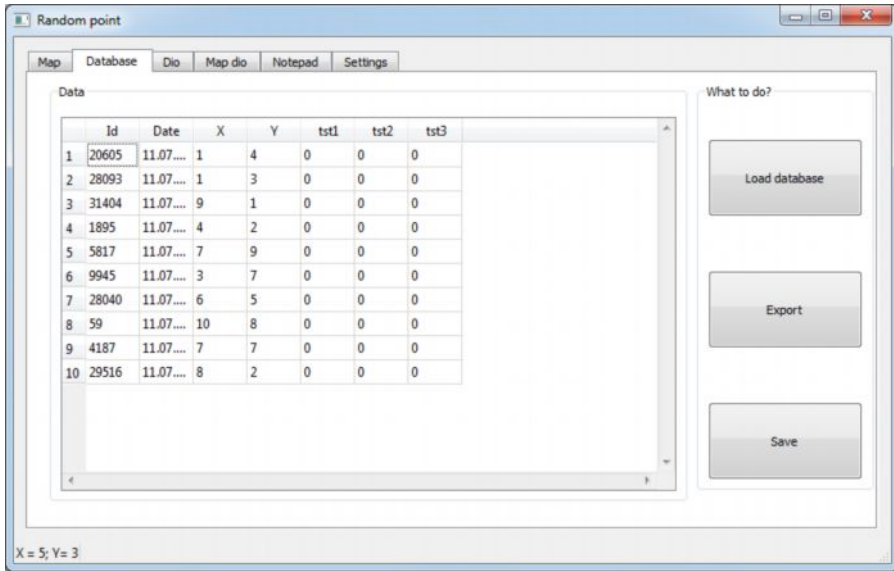


Рисунок 3 – Вкладка «Database»: табличне представлення результатів експерименту

Одночасно починається побудова графіка (рис. 4). Збір і обробку результатів можна зупинити на будь-якому етапі та експортувати отримані результати для подальшої обробки у Excel або архівування до бази даних наукового спостереження чи експерименту [10].

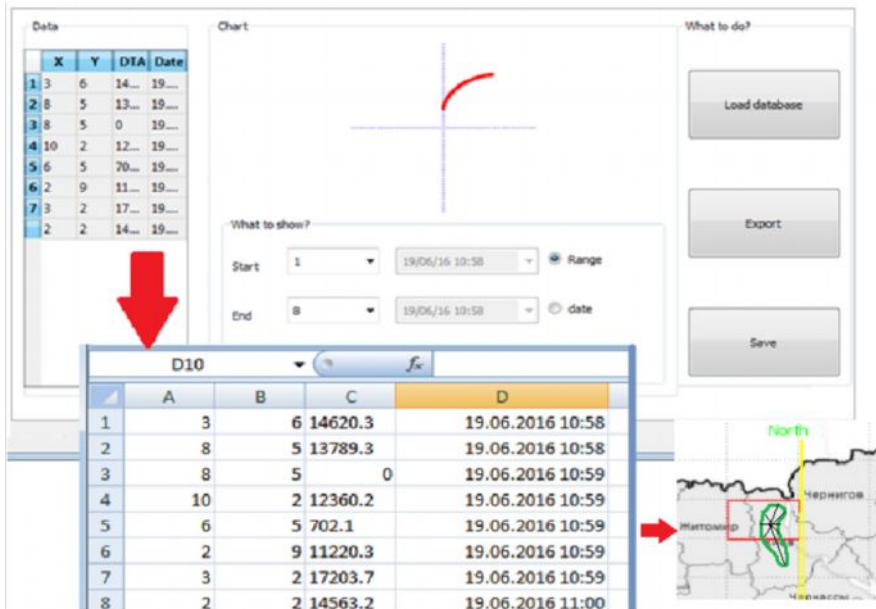


Рисунок 4 – Обробка результатів дослідження

4. Вибір фактичних параметрів і визначення величин, потрібних для подальшої роботи.

5. Побудова масивів C , D , масиву результатів ДТА, масиву часового інтервалу.

6. Визначення попереднього ступеня N_2 полінома апроксимації за допомогою масивів.

7. Отримується нова полюсна точка.

8. Здійснюється зменшення довжини D підінтервалу на половину $D := D/2$ й відновлення лічильників.

9. Будується матриця обмежень. Повторюються пункти 6–8.

10. Формується масив полюсних точок C з базисною точкою X .

11. Фіксація результатів і перехід до нового підінтервалу апроксимації.

12. Будується новий напрям S_1 від найбільшого значення полюсної точки, якій присвоюється ім'я X_1 .

13. Обчислення довжини кроку для побудови нового вектора X_1 .

14. Побудова нового вектора X_1 .

15. Блок коригування ступеня.

16. Зниження ступеня. Побудова нових обмежень задачі лінійного програмування.

17. Підвищення ступеня. Побудова обмежень задачі лінійного програмування.

18. Фіксація результатів і перехід до нового підінтервалу апроксимації.

19. «STOP» – задається користувачем при отриманні необхідної кількості результатів. Автоматично задається при виході довжини кроку для побудови нового вектора X_n за межі ділянки, що досліджується, або при отриманні від'ємного результату.

20. Збереження результатів з формуванням бази даних у форматі таблиці Excel.

21. Експортування результатів по завершенні роботи.

Тестові випробування програмного продукту «Випадкова точка» з реалізації способу опису забрудненої території тритієм довели ефективність даного інструментарію дослідника, а також показали необхідність реалізації деяких додаткових функцій та модулів, зокрема:

– введення в таблицю масиву даних додаткових полів щодо температури повітря, напрямку і швидкості вітру, вологості тощо або експортування цих даних в нотатки до таблиці масиву даних з Інтернету на момент досліджень;

– фіксації квадрату базисної точки з метою отримання можливості побудови іншого шляху з тієї ж самої точки;

– нанесення зони вимірів безпосередньо на карту за глибиною ураження (градація кольорів у зоні забруднення);

– експортування карт з Google-карт або Яндекс.

Необов'язковим, але дуже зручним модулем може стати записничок, який реалізовано в якості додаткової вкладки програмного продукту з прив'язкою до конкретного рядка таблиці масиву даних (рис. 5). У зв'язку з тим, що в процесі досліджень виникає необхідність зазначити деякі аспекти відбору проб або позначити конкретний об'єкт, така функція програми є дуже доречною.

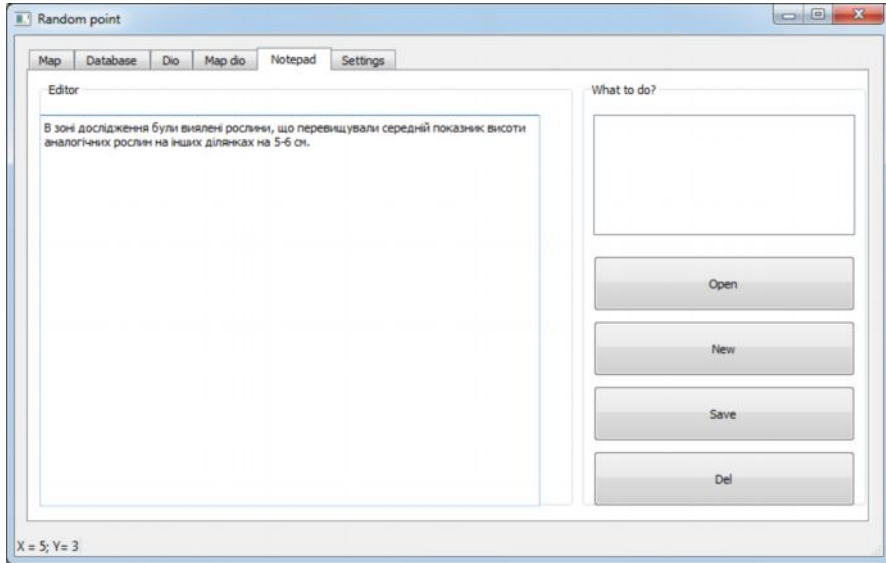


Рисунок 5 – Вбудований записник програми «Випадкова точка»

За підсумками тестового випробування програмного продукту «Випадкова точка» було уточнене розташування зони концентрації радіонуклідів водню – тритію. Спосіб опису забрудненої території дозволив визначити чіткі межі розташування цієї плями, що знаходилася від попередньо зазначених меж на відстані майже у 150 м. За результатами вимірів наявності органічно зв'язаного тритію у соку рослин було встановлено, що гранично допустима концентрація не перевищена.

Висновки

За результатами досліджень був остаточно відпрацьований спосіб опису забрудненої території. Цей спосіб може бути використаний при дослідженні територій, що є або можуть бути забруднені, при виникненні техногенних аварій хімічними, радіаційними, біологічними небезпечними речовинами.

Тестове випробування програмного продукту «Випадкова точка», який створено для автоматизації способу опису забрудненої території, дозволило уточнити розташування зони концентрації радіонуклідів водню – тритію на території Інституту ядерних досліджень НАН України. За результатами вимірів наявності органічно зв'язаного тритію у соку рослин було встановлено, що гранично допустима концентрація не перевищена, показники вимірів занесені до бази даних досліджень, що формується.

Практичне значення наведеного в роботі полягає у можливості розширення інструментарію дослідників та осіб, що приймають рішення, для опису зон ураження незначних за площею територій при техногенних аваріях з викидами небезпечних речовин у навколишнє середовище.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зойтендейк Г. Методы возможных направлений. – М.: Издательство Иностранной литературы, 1963. – 178 с.
2. Трофимчук О.М. Апроксимація функцій для створення алгоритму опису пересіченої місцевості / Олександр Миколайович Трофимчук, Ольга Олександрівна Кряжич // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2016. – № 1. – С. 134–141.
3. Кряжич О.О. Апроксимація складних функцій для опису розвитку локальної надзвичайної ситуації / О.О. Кряжич // Математичні машини і системи. – 2016. – № 1. – С. 148–157.
4. Кряжич О.О., Коваленко О.В. Моделювання події радіаційного забруднення локальних територій в умовах невизначеності // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол. О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2015. – Вип. 3 (19). – С. 100–112.
5. Коваленко О.В. Моделювання події радіоактивного забруднення тритієм / О.В. Коваленко // Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (1). – С. 199–205.
6. Владимиров В.А., Лукьянчиков В.Г. Химические аварии: реальность и тенденции. – [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.chem.msu.su/rus/journals/xr/avarii.html>
7. Наказ МНС України «Про затвердження Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів» від 18.12.2000 № 338.
8. Сонько С.П. Надзвичайні ситуації та цивільний захист населення. – [електронний ресурс] – Режим доступу: <http://udau.edu.ua/library.php?pid=1426>
9. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М., Савенков О.І. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. – К.: Азимут-Україна, 2011. – 608 с.
10. Коваленко О.В. Концептуальні основи створення бази даних наукового експерименту та спостереження / О.В. Коваленко // Математичні машини і системи. – 2016. – №2. – С. 91–101.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2016