

ПІДХІД ДО ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ЕКОЛОГІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

УДК 004.02:519.8

ТКАЧЕНКО Василь Володимирович

Начальник науково-дослідного відділу в НДЦ ЗС України «Державний океанаріум»

Наукові інтереси: екологічна безпека, інформаційні технології, системи підтримки прийняття рішень, автоматизація збору та обробки екологічних даних.

e-mail: rhb78@ukr.net

ЧЕРЕДНІЧЕНКО Ольга Юрїївна

доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління «Національного технічного університету «ХПІ»

Наукові інтереси: інтелектуальний аналіз даних, інформаційні технології, багатоагентні системи, веб-моніторинг.

e-mail: olha.cherednichenko@gmail.com

ВОВК Марина Анатоліївна

кандидат економічних наук, доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління «Національного технічного університету «ХПІ»

Наукові інтереси: системи підтримки прийняття рішень, комплексна оцінка багатоозначених об'єктів.

e-mail: marihavovk@gmail.com

ЕРШОВА Світлана Іванівна

старший викладач кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «ХПІ»

Наукові інтереси: інформаційні технології, системи підтримки прийняття рішень, математичне моделювання.

e-mail: svetlana.ershova.2016@gmail.com.

ВСТУП

В сучасному суспільстві проблеми антропогенного впливу на екологію зовнішнього середовища без сумніву є найбільш актуальними та гострими. Протягом декількох десятиліть демографічна ситуація на території України значно погіршила показники здоров'я громадян, особливо на тлі соціально-економічних зрушень. Починаючи з 2015 року, з прийняттям Стратегії національної безпеки України, затвердженої указом Президента України № 287/2015 від 6 травня 2015 року, нової редакції Воєнної доктрини, затвердженої указом Президента України № 555/2015 від 2 вересня 2015 року, а також в рамках Угоди про асоціацію між Україною та Європейським союзом та задекларованими

намірами до Європейської та Євроатлантичної інтеграції Україна взяла на себе зобов'язання по переходу до міжнародних стандартів, в тому числі і в сфері екологічної безпеки. Потужною силою в розвитку сучасного суспільства є інтенсивне глобальне поширення інформаційно-комунікативних технологій, які допомагають збирати, зберігати, аналізувати та розповсюджувати інформацію. Сучасне управління наслідками промислових аварій, стихійних лих та усіх видів надзвичайних ситуацій базується на інтенсивному використанні інформаційних технологій [1]. За допомогою інформаційних технологій визначаються управлінські дії та пов'язані з цим ресурси, які розгортаються там, де це необхідно. Проблема організації збору, обробки та аналізу даних є



однією з найбільш актуальних і невирішених проблем сьогодні [2-4]. Використання систем підтримки прийняття рішень (СППР) робить процес більш ефективним [5].

Будь-який техногенний вплив спричиняє певні зміни параметрів навколишнього природного середовища. Заходи, що спрямовані на виконання поставлених цілей, повинні спиратися на детальний аналіз існуючої екологічної обстановки. При реалізації екологічної політики варто використовувати інструменти, застосування яких забезпечить можливість диференціювати досліджувані об'єкти залежно від екологічного стану, що сформувався. На практиці часто відбувається комплексний моніторинг стану навколишнього середовища для визначення ситуації та прийняття правильних рішень [6-8]. У цьому випадку необхідно одночасно контролювати всі показники екологічного стану. Основні проблеми зі збором, обробкою та обміном інформацією про стан навколишнього середовища обумовлені складністю комбінованого використання різномірних даних вимірювань, потоків оперативної інформації моніторингу та також стосуються багатьох невирішених питань інформаційної взаємодії [9-11]. Різні пристрої та спеціальне обладнання для збору та обліку даних використовується службами реагування для оцінки викидів та виявлення найбільш небезпечних речовин [12-14]. Зібрана інформація повинна бути швидко та безперебійно передана командному центру для координації діяльності та забезпечення зв'язку між географічно відокремленими локаціями.

В роботі [15], присвяченій питанням обробки даних моніторингу довкілля, запропоновано використовувати хмарну платформу як єдину систему збору, зберігання, аналізу, обробки та обміну даними моніторингу навколишнього середовища. Основною перевагою такої платформи є можливість використання обчислювальних ресурсів за вимогою. Ісаєв І.В. [16] також звертає увагу на питання зберігання хмарних даних для забезпечення прийняття рішень з повними та структурованими даними при створенні СППР для моніторингу стану навколишнього середовища, але основна увага приділяється процесам формування показників для визначення рівня еколого-економічного стану території, не враховуючи характеристики вхідної інформації.

При управлінні збором та обробкою моніторингових даних щодо визначення параметрів екологічної ситуації зазвичай необхідно забезпечити в реальному масштабі часу розрахунок і оптимізацію режиму моніторингу, який гарантовано буде забезпечувати центри прийняття рішень актуальною та достовірною інформацією. Як показав проведений аналіз, методи, які зазвичай застосовують, мало підходять для вирішення завдань такого класу через можливість появи довільних неконтрольованих помилок в кінцевих результатах при наявності похибок у вихідних даних. Це обумовлено невизначеністю інформації щодо надзвичайної ситуації, особливо це важливо в умовах транскордонних техногенних аварій, коли встановлення сенсорів для вимірювання екологічних параметрів неможливе, як і організація тотального моніторингу території. Тому при управлінні такими об'єктами доводиться орієнтуватися на найнесприятливіше поєднання чинників невизначеності і використовувати стратегію гарантованого результату. До теперішнього часу математичне моделювання дискретних слабо структурованих процесів і систем, для яких характерні множина критеріїв, стохастичність, інтервальність або нечіткість значень вихідних даних, все ще знаходиться у зародковому стані.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Необхідною частиною будь-якого проекту екологічного моніторингу є використання обладнання. Деякі пристрої, такі як лічильники та комплекти для польових, призначені для відбору проб. Інші, наприклад, аналізатори, реєстратори даних та буйки даних, призначені для довгострокових програм моніторингу. Хоча буї, зонди та автоматизовані пробовідбірники, як правило, спеціфічні для проектів перевірки якості води, датчики та реєстратори даних можуть використовуватися для моніторингу практично будь-яких параметрів навколишнього середовища. Інтернет-центри даних, коли вони використовуються разом із телеметрією та реєстратором даних, надають в режимі реального часу дані та доступ до проекту з будь-якого місця в будь-який час. Обладнання для вимірювання підбирається виходячи з вимог до точності, бюджету та того, чи потрібен віддалений моніторинг.

Реагуючи на виникнення надзвичайних ситуацій, де існує потенційна небезпека для навколишнього середо-

вища, дуже важливо, щоб служба порятунку та її працівники спочатку визначилися, які небезпечні фактори потрібно виміряти. Особливо важливою є задача оперативного визначення меж небезпечної зони та локалізація зони найвищої концентрації небезпечних речовин. Якість прийняття рішень, а також масштаби наслідків надзвичайної ситуації, суттєво залежать від часу збору екологічних даних. Сучасні прилади та обладнання дозволяють вимірювати та передавати моніторингові дані до центру обробки. Слабким місцем залишається розміщення та оперативне пересування вимірювального обладнання.

Формально проблему, пов'язану з неефективною організацією процесу моніторингу екологічної ситуації, можна описати таким чином. Є процес збору первинних даних, яким можна керувати шляхом зміни його параметрів. Існує необхідність підвищити ефективність моніторингу екологічної ситуації, змінюючи керуючі параметри щодо збору первинних даних. При цьому технологічний процес повинен задовольняти виділеним в результаті проведеного аналізу особливостям.

1. Управління процесом моніторингу екологічної ситуації здійснюється зміною його параметрів (зокрема умов вимірювання параметрів).

2. Регулювання параметрів можливе в досить широких межах.

3. Оцінку кінцевого результату управління можна отримати, вимірявши відповідні характеристики тільки після закінчення циклу моніторингу.

4. Процес не має в явному вигляді функціональної залежності між його параметрами і вихідним результатом.

5. Побудова математичної моделі процесу моніторингу недоцільна.

Враховуючи наявність декількох критеріїв оцінки процесу моніторингу екологічної ситуації (час збору даних, час пошуку джерела небезпеки, час локалізації зон екологічної небезпеки тощо) доцільно розглянути багатокритеріальну постановку задачі ефективного керування технологічним процесом. До основних проблем такої постановки задачі управління процесом збору даних слід віднести наступні: 1) неузгодженість; 2) неформалізований, якісний характер локальних критеріїв; 3) необхідність формалізації правил порів-

нянь рішень щодо отримання найкращого; 4) складність методів пошуку компромісного рішення.

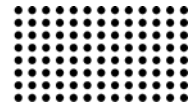
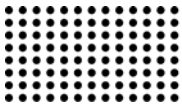
Процес збору екологічних даних можна представити в дискретно-статичному вигляді. Тоді з таким процесом можна взаємодіяти як з «чорним ящиком» протягом одного циклу. З метою зменшення складності задачі, а також вирішення проблеми подолання багатокритеріальності, в даній роботі запропоновано використання наступного підходу. Задачу оптимізації збору даних екологічного моніторингу в умовах виникнення надзвичайних ситуацій можна розглядати, як задачу пошуку у просторі критеріїв оцінки рівня екологічної безпеки.

В роботі пропонується для визначення послідовності точок вимірювання екологічних параметрів застосування методів деформованих конфігурацій [17], які використовують правильні симплекси в якості основної конфігурації. Управління процесом пошуку в таких методах здійснюється за рахунок вибору локально оптимального напрямку зсуву центру симплекса і вибору величини кроку, що забезпечує оптимізацію функції в центрі симплекса. Це надає можливість визначити напрямок руху пересуваних вимірювальних приладів, що дозволяє скоротити час локалізації місць з найвищим рівнем небезпечної речовини за рахунок збіжності алгоритму за кінцеве число кроків. Отримані оперативні дані використовуються для первинної оцінки рівня екологічної безпеки та класифікації надзвичайної ситуації.

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

Порівняльний аналіз відомих алгоритмів пошукової оптимізації показав переваги запропонованих академіком Риковим О. С. [17] методів деформованих конфігурацій, як найбільш придатного підходу для вирішення поставленої задачі. Конфігурація – це множина вершин, що складається з k точок, число яких більше розмірності n простору незалежних змінних і які лежать одночасно у підпросторі розмірності, меншою за n . Для пошуку максимального значення функції на кожній ітерації використовується певна конфігурація.

Для розв'язку задачі безумовної мінімізації скалярної функції запропоновано методи деформованих конфігурацій, які використовують правильні симплекси в якості основної конфігурації. Управління процесом



пошуку в таких методах здійснюється за рахунок вибору локально оптимального напрямку зсуву центру симплекса і вибору величини кроку, що забезпечує зменшення значення функції, яка оптимізується в центрі симплекса. Величина кроку змінюється шляхом зміни розміру симплексу зі збереженням правильної форми симплекса.

Використані симплексні методи для розв'язання деякої задачі двовимірної безумовної мінімізації. Область допустимих значень в цьому випадку збігається з усім простором R^2 і є площиною.

Для розв'язання задачі мінімізації функції мети $f(x)$, де $x \in R^2$, застосовано симплексний метод з відображенням однієї вершини на кожному кроці і правильним симплексом. У даному випадку правильним симплексом є рівносторонній трикутник. При русі до екстремуму на кожному кроці оптимізації відображається та вершина трикутника, в якій функція $f(x)$ приймає максимальне значення. В результаті послідовних відображень утворюється ланцюжок трикутників $S_1, S_2, \dots, S_N, \dots$ причому центри цих трикутників x^1, x^2, \dots, x^N здійснюють коливальні рухи вздовж градієнтного напрямку (рис. 1)

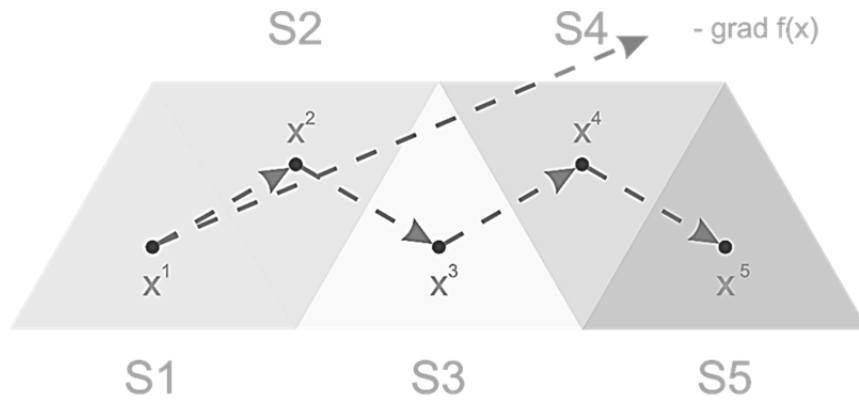


Рисунок 1. – Приклад процедури з відображенням однієї вершини на кожному кроці

У якості критерію локальної оптимальності нами використано критерій, за яким відображаються ті вершини, в яких значення функції, що оптимізується є біль-

шим за значення функції в центрі симплекса. На рис. 2 наведено приклад застосування такого критерію.

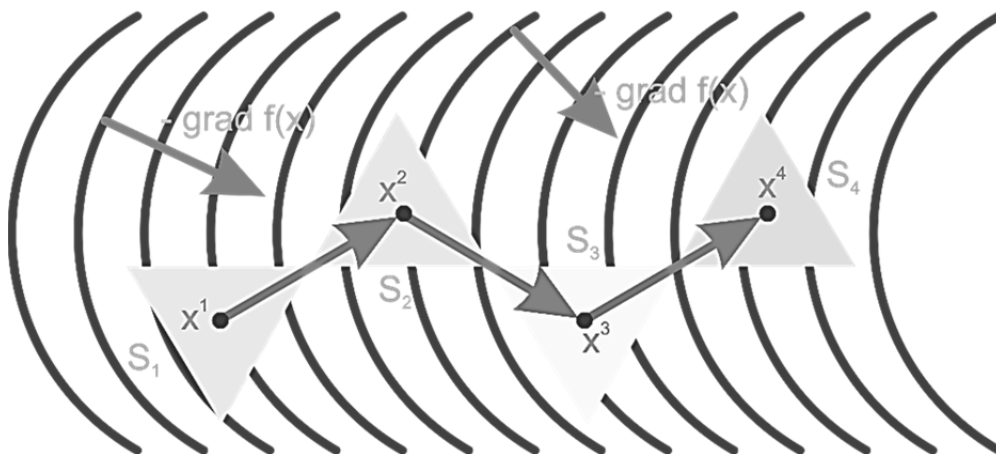


Рисунок 2. - Приклад процедури з відображенням декількох вершин, значення функції в яких більше, ніж значення функції в центрі симплекса

Було розв'язано ряд проблем: по організації можливих напрямків зміщення центру симплекса і вибору з них оптимального в деякому розумінні напрямку, а також за вибором розміру симплекса.

Під відображенням $m+1$ ($m = 1, \dots, n$; $l = 0, \dots, n-m$) вершин симплекса S_N розуміємо такий паралельний перенос $m+1$ його вершин вздовж напрямку від геометричного центру m відображуваних вершин симплексу S_N , до центру невідображуваних $n+1-m-1$ вершин симплексу $S_{N'}$, при якому симплекс S_{N+1} , що утворений $n+1-m-1$ невідображуваними вершинами симплексу S_N і $m+1$ новими вершинами, є правильним симплексом S_N .

Вибрано критерії локально оптимального напрямку зсуву центру симплекса з множини можливих напрямків $\Omega_N(p)$:

$$I_1^N = -(\text{grad}f(x^N), p); \quad (1)$$

$$I_2^N = -\Delta f_N = f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}); \quad (2)$$

$$I_3^N = -\Delta f_N / (m+1); \quad (3)$$

$$I_4^N(m) = \sum_{i=1}^m (f(x^{N,i}) - f^*(x^N)). \quad (4)$$

де $x^{N,i}$ – i -та вершина симплексу S_N ; $f^*(x^N)$ дорівнює будь-якому вимірному значенню $f(x^N)$ у центрі x^N симплексу S_N або середньому арифметичному значенню функції $f(x)$ у вершинах симплексу S_N .

$$f^*(x^N) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{m+1} f(x^{N,i}) \quad (5)$$

Значення критерію I_1^N дорівнює величині проєкції одиничного вектора p на вектор антиградієнту і характеризує близькість напрямку p і зміщення центру симплекса x^N до антиградієнтного напрямку. Значення критерію I_2^N пов'язано зі зменшенням значення функції $f(x)$ у центрі симплексу S_N при зміщенні центру симплексу x^N в напрямі p . Значення критерію I_3^N дорівнює зменшенню $f(x)$ в центрі симплекса, відне-

сеному до одного з вимірів функції $f(x)$. Критерій I_4^N можна застосувати для відображення m вершин і він дорівнює сумі відхилень значень функції $f(x)$ в m вершинах від значення або оцінки значення (5) функції в центрі симплекса.

Для визначення напрямку $p_N^{(i)}$, вибрано локально-оптимальний пошуковий алгоритм, де на кожній N -й ітерації вектор $p_N^{(i)}$ і відповідні відображення вершини визначаються у результаті розв'язання задачі:

$$p_N^{(i)} = \arg \max_{p \in \Omega_N} I_i^N(p), \quad i = 1, \dots, 5. \quad (6)$$

Оскільки в симплексному алгоритмі напрям $p_N^{(i)}$ визначається відображеними вершинами m і 1 , то вираз (6) можна переписати у вигляді:

$$(m^N, l^N) = \arg \max_{p \in \Omega_N} I_i^N(m, l). \quad (7)$$

Послідовність значень цільової функції $f(x)$ в центрах симплексів $\{f(x^N)\}$ була монотонно спадною, причому розмір симплексу зберігається сталим при виконанні умови монотонності і стрибкоподібно змінюється при її порушенні. Відповідно до описаного підходу необхідно ввести правило перевірки монотонного спадання $\{f(x^N)\}$ і правило зменшення розміру симплекса R_N . Розмір симплекса будемо змінювати в моменти порушення умови (умова успішності кроку):

$$f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}) \geq \varepsilon \|x^N - x^{N+1}\|^2 \quad (8)$$

відповідно до правила (9).

$$R_{N+1} = \gamma(t)R_1 \quad (9)$$

де $f^*(x^N)$ обчислюється за формулою (5) або дорівнює вимірному значенню $f(x^N)$ в точці x^N ; $\varepsilon > 0$, $0 < \gamma(t) \leq 1$ – параметри алгоритму; t – номер стиснення симплексу.

Вибрано алгоритм зменшення розміру симплекса. Нерухомою залишається вершина $x^{N,n+1}$ з мінімаль-

ним значенням цільової функції $f(x)$, а відстань від решти n вершин до вершини $x^{N,n+1}$ зменшується в $\gamma(t)/\gamma(t-1)$ разів.

Положення вершин визначається за формулами (10):

$$x^{N+1,i} = x^{N,n+1} + (x^{N,i} - x^{N,n+1})\gamma(t)/\gamma(t-1),$$

$$i = 1, \dots, n;$$

$$x^{N+1,n+i} = x^{N,n+1}.$$
(10)

Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром симплексу ґрунтується на формулах (11):

$$x^{N+1} = x^N + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N);$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j} + 2\Delta_N(m^N, l^N), \quad j=1, \dots, m^N;$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j} + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N),$$

$$j = m^N + 1, \dots, m^N + l^N;$$

$$x^{N+1,j} = x^{N,j}, \quad j = m^N + l^N, \dots, n+1$$
(11)

Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром симплексу показано на рис.3. Він полягає у наступному:

1. Побудувати правильний симплекс S_1 з центром x^1 і радіусом описаної гіперсфери R_1 .
2. Приймаємо $N = 1$.
3. Виміряти значення функції $f(x)$ у вершинах симплекса S_N .
4. Визначити $f^*(x)$ за формулою (5).
5. Пронумерувати вершини симплекса S_N в порядку зменшення значень функції $f(x)$ в цих вершинах.
6. Обчислити значення критерію I_i^N
7. Визначити $I_i^N(m^N, l^N) = \max I_i^N$
8. Відобразити $m^N + l^N$ вершин, побудувати симплекс S_{N+1} за формулами (11).
9. У нових вершинах симплекса S_{N+1} виміряти значення функції $f(x)$
10. Переходимо до наступного кроку, коли $N = N + 1$.

11. Визначити $f^*(x)$ за формулою (5).

12. Перевірити виконання рівності $f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}) \geq \varepsilon \|x^N - x^{N+1}\|^2$

При її виконанні перейти до п.5. а в разі невиконання – до п.13

13. Пошук припинити. Запам'ятати вершину з мінімальним значенням функції.

ВИСНОВКИ

Сучасне управління наслідками різного роду надзвичайних ситуацій базується на активному застосуванні інформаційних технологій. Діяльність, яка пов'язана з інформаційними технологіями в цьому процесі, полягає у визначенні системи управління та пов'язаних з нею ресурсів, встановленні зв'язку з цими ресурсами та їх розгортанні там, де це необхідно. Проблема організації збору, обробки та аналізу інформації, є в даний час однією з найбільш актуальних і невіршених проблем.

Система, яка б могла виконувати завдання моніторингу стану навколишнього середовища повинна мати відповідне програмне, апаратне та інформаційне забезпечення. Існує глобальна проблема контролювання показників навколишнього середовища на трансграничних територіях, адже забезпечення повної інформації та чіткого плану координації дій у разі виникнення надзвичайної ситуації є неможливим. Для оцінки викидів та ідентифікації найбільш шкідливих речовин зроблено упор на збір даних з використанням електронних вимірювальних пристроїв дистанційного спостереження в режимі реального часу. На місцях роботи служб з ліквідування надзвичайних ситуацій використовуються різноманітні портативні прилади, які збирають актуальну інформацію про поточний стан навколишнього середовища. Зібрана інформація повинна бути швидко та безперебійно передана в командні центри для координації діяльності та забезпечення взаємодії всіх підрозділів.

В роботі пропонується для визначення послідовності точок вимірювання екологічних параметрів застосування методів деформованих конфігурацій, які використовують правильні симплекси в якості основної конфігурації. Управління процесом пошуку в таких методах здійснюється за рахунок вибору локально оптимально-

го напрямку зсуву центру симплекса і вибору величини кроку, що забезпечує оптимізацію функції в центрі симплекса. Це надає можливість визначити напрямок руху пересувних вимірювальних приладів, що дозволяє скоротити час локалізації місць з найвищим рівнем

небезпечної речовини за рахунок збіжності алгоритму за кінцеве число кроків. Отримані оперативні дані використовуються для первинної оцінки рівня екологічної безпеки та класифікації надзвичайної ситуації.

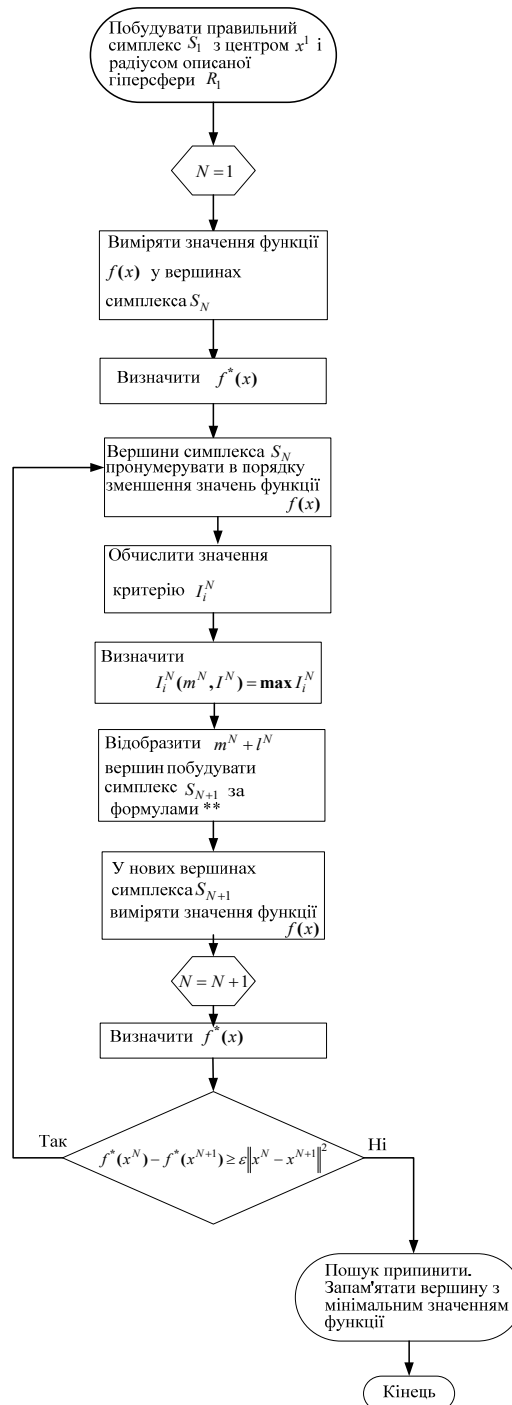


Рисунок 3. – Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром симплексу



Таким чином, використання запропонованого алгоритму в системі підтримки прийняття рішень щодо визначення стану екологічної безпеки, надає можливість пошуку початкових параметрів для збору даних та їх корегування в процесі екологічного моніторингу, що

дозволяє скоротити час на збір необхідної інформації для класифікації надзвичайної ситуації, локалізації зон екологічної безпеки, прийняття рішень щодо оцінки та ліквідації можливих наслідків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Янников И. М., Пономарева Д. В., Современные системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, 18-20 мая 2017 г., Юрга. – Томск, 2017. – 2017. – С. 209-213.
2. Сангинова О. В., Бондаренко С. Г., Андриук В. К., Компьютерно-интегрированная система мониторинга и прогнозирования качества водных объектов. – 2017.
3. Wang H., Xu Z., Pedrycz W., An overview on the roles of fuzzy set techniques in big data processing: Trends, challenges and opportunities // Knowledge-Based Systems. – 2017. – Т. 118. – Р. 15-30.
4. Zhukov A. N., Leonov P. Y., Problems of data collection for the application of the Data Mining methods in analyzing threshold levels of indicators of economic security // KnE Social Sciences & Humanities. – 2018. – Т. 3. – №. 2. – С. 369-374.
5. Power D. J., Sharda R., Burstein F., Decision support systems. – John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
6. King C., Thomas D. S. G. Monitoring environmental change and degradation in the irrigated oases of the Northern Sahara // Journal of arid environments. – 2014. – Т. 103. – Р. 36-45.
7. Thu H. N., Wehn U., Data sharing in international transboundary contexts: the Vietnamese perspective on data sharing in the Lower Mekong Basin // Journal of Hydrology. – 2016. – Т. 536. – Р. 351-364.
8. Chettri N. et al. Long term environmental and socio-ecological monitoring in transboundary landscapes // International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu, Nepal. – 2015.
9. Разумов В. В., Разумова Н. В., Алексеев О. А., Требования к информации при наземно-космическом мониторинге предвестников природных и техногенных катастроф на приграничных территориях России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – №. 7. – С. 52-61.
10. Плуталова Т. Г., Мониторинг трансграничных территорий // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. – 2017. – С. 80.
11. Шабанов В. В., Маркин В. Н., Ведение мониторинга водных объектов в современных условиях // М.: Изд-во РГАУ–МСХА. – 2015.
12. Transon J. et al., Survey of Hyperspectral Earth Observation Applications from Space in the Sentinel-2 Context // Remote Sensing. – 2018. – Т. 10. – №. 2. – Р. 157.
13. Frohn R. C., Lopez R. D., Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators: Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems. – CRC Press, 2017.
14. Bilitewski U., Turner A., Biosensors in environmental monitoring. – CRC Press, 2014.
15. Frontasyeva M. et al., Cloud platform for data management of the environmental monitoring network: UNECE ICP vegetation case. – 2016.
16. Исаев И.В., Рогачев А.Ф., Применение технологий виртуализации для систем поддержки принятия решений в сфере эколого-экономического менеджмента // Современная экономика: проблемы и решения. – 2016. – Т. 6. – С. 97-106.
17. Рыков А.С., Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2009. – 608 с.

*Рецензент: д.т.н., проф. Коваленко В.Ф.,
Херсонський національний технічний університет*