

## АДАПТАЦІЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ ДО ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ СИСТЕМ

**Abstract.** The article deals with algorithmic and software tools developed for analysis tasks of monitoring data. We consider the extension and adaptation of these tools for the visual analysis of the stability boundaries of territorial systems to certain levels of anthropogenic loads.

**Вступ.** Важливою проблемою на шляху практичного втілення концепції стійкого розвитку залишається розробка методів вимірювання і надання даних, необхідних для кількісного та якісного оцінювання різних аспектів цього складного й багатовимірного процесу. Головними вимогами щодо побудови ефективної системи вимірювання стійкості мають бути її інформаційна повнота та адекватність подання всіх складових досліджуваних процесів. Над створенням таких систем працюють як відомі міжнародні організації, так і численні наукові колективи, але однозначного узгодження цих питань на методологічному рівні поки що не досягнуто.

З екологічної точки зору стійкий розвиток має забезпечити цілісність і життєздатність природних систем, можливості самовідновлення та адаптації до змін. Зокрема, дослідження взаємозв'язків між природоохоронною та економічною складовими процесів стійкого розвитку потребує уточнення граничних рівнів техногенних навантажень на довкілля та визначення меж стійкості урбанізованих територіальних систем до техногенного впливу.

До типових задач стійкого розвитку, які потребують застосування засобів та технологій просторового аналізу, можна віднести планування територій, будування та розміщення об'єктів виробничої інфраструктури, управління земельними й природними ресурсами, керування транспортними засобами, розвиток сільського господарства, моделювання наслідків аварій або надзвичайних ситуацій тощо [1, 2].

**Постановка задачі.** Серед основних задач аналізу та оцінювання стійкого розвитку регіонів та окремих територій відзначимо виявлення просторової структури досліджуваних систем (розподіл техногенних навантажень, розподіл ризиків та захворювань, виявлення небезпечних зон); аналіз певних змін та визначення основних тенденцій за досліджуваний період (моніторинг динаміки техногенних навантажень); прогнозування можливих сценаріїв розвитку типових ситуацій (зокрема, оцінювання потенційного впливу небезпечних факторів).

Одна з пріоритетних задач оцінювання та моделювання процесів стійкого розвитку на територіальному рівні – це визначення меж стійкості

досліджуваних територіальних систем, що перебувають під тиском досить високих техногенних навантажень.

Нагадаємо, що в концепції стійкого розвитку [1, 2] природні межі стійкості визначають такий стан біосфери й суспільства, який дозволить зберегти нашу цивілізацію та основні природні ресурси для майбутніх поколінь. Отже, необхідно визначити такі гранично допустимі рівні навантажень на окремі територіальні системи, для яких ще можна забезпечити стабільний стан.

Для уточнення поняття про стійкість динамічних систем нагадаємо визначення стійкості за Ляпуновим. Траєкторія динамічної системи може вважатись стійкою, якщо для скільки завгодно малих відхилень, що визначають межі стійкості цієї системи, можна вказати такі обмеження для можливих коливань, при яких система не вийде за визначені межі.

В роботах [3-5] запропоновано методичні та комп'ютерні засоби просторового аналізу даних екологічного моніторингу, спрямовані на систематизацію та інтеграцію даних про стан навколишнього середовища на регіональному та локальному рівнях.

Наведемо основні етапи дослідження територіальних систем з метою визначення меж стійкості до впливу техногенних навантажень.

1. Просторовий аналіз даних моніторингу техногенного забруднення та виявлення зон підвищеного ризику. Нагадаємо, що на попередніх етапах аналізу даних моніторингу необхідно визначити інформативні параметри (або екологічні індекси), які використовуються для ранжирування територій та побудови екологічних шкал [2, 3].

2. Візуалізація результатів просторового аналізу у вигляді двовимірних семантичних шкал, тобто інформативних проєкцій семантичного простору ризиків, які забезпечують оцінювання та ранжирування досліджених територій за індексами екологічного стану.

3. Візуальний аналіз динаміки техногенних навантажень за певний період часу в зонах підвищеного ризику (точках максимальної напруги) за допомогою шкал стійкості та візуальне визначення меж стійкості.

**Методи дослідження.** Для дослідження просторово-розподілених задач аналізу техногенного впливу на територіальні системи розроблено аналітико-інформаційну систему моніторингу техногенних навантажень на довкілля, де передбачено можливості аналізу складних процесів та явищ, які відображають дані моніторингу окремих міст, регіонів або територіальних систем. Запропоновано та розроблено програмні засоби оперативного забезпечення місцевих органів управління та інших зацікавлених структур цінною інформацією, необхідною для прийняття найбільш ефективних рішень з урахуванням місцевих особливостей [5, 6].

На рис. 1 показано структурну схему програмного забезпечення для управління екологічною безпекою урбанізованих територій, яка включає засоби моделювання та прогнозування техногенних навантажень на довкілля

(зокрема, на атмосферне повітря) від стаціонарних джерел забруднення.

Наступний етап даного проекту – налаштування розроблених засобів на конкретизовані задачі, пов'язані з дослідженням стійкості територіальних систем до певних рівнів техногенних навантажень.

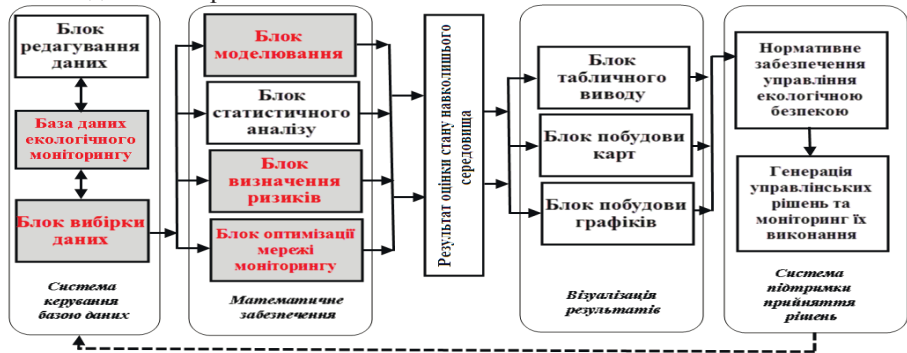


Рис. 1. Програмне забезпечення задач управління безпекою

Методичний аналіз процесів стійкого розвитку потребує визначення критеріїв стійкості досліджуваних територіальних систем, які необхідно знати для розрахунку обмежень на техногенні навантаження.

На локальному рівні задачу визначення таких критеріїв можна розглядати як обернену до задачі моніторингу техногенних навантажень, тобто задачу уточнення тих меж, порушення яких може привести до катастрофічних змін в досліджуваних системах.

Серед методичних засобів, спрямованих на визначення меж стійкості урбанізованих територій, особливої уваги потребує розвиток засобів візуального аналізу даних моніторингу та технологій побудови екологічних шкал, які забезпечують наочне відображення динаміки змін екологічного стану територіальної системи за досліджуваний період [7-8].

Далі розглянемо окремі можливості візуалізації досліджуваних процесів у графічному вигляді, реалізовані на основі комп'ютерних засобів візуального спостереження за процесом наближення до граничних умов із врахуванням даних моніторингу та нормативних даних щодо обмежень на гранично допустимі концентрації та ризику [9].

**Результати аналізу.** Запропоновані засоби аналізу динаміки змін екологічного стану та визначення меж стійкості урбанізованої територіальної системи до техногенного впливу апробовано на прикладі територіальної системи міста Києва. Дослідження проводилось з використанням даних моніторингу стану приземного шару атмосферного повітря міста, одержаних за період з 2005 до 2011 рр. [10].

На попередніх етапах аналізу для моніторингу динаміки техногенних навантажень на місто було визначено найбільш інформативні показники

забруднення, які мають високий клас небезпеки, великий діапазон сезонних коливань та суттєво перевищують граничні норми, визначені діючим законодавством. Особливості динаміки техногенного впливу на приземний шар повітря досліджувались на прикладах таких небезпечних речовин – забруднювачів як формальдегід, діоксид азоту та оксид вуглецю.

На основі даних моніторингу було визначено значення ризиків для населення різних районів міста Києва. Значення ризиків хронічної інтоксикації та ризиків миттєвих токсичних ефектів розраховувались за відомими формулами, наведеними в роботах [ ]. За цими даними можна відстежувати динаміку ризиків для здоров'я в окремих точках міста. Оцінки ризиків для населення за досліджуваний період наведені в табл. 1.

Табл. 1. Оцінки ризиків для здоров'я населення Києва (2005 – 2011).

	2005р.		2008р.		2011р.	
	Ризик хронічної інтоксикації	Ризик миттєвих токсичних ефектів	Ризик хронічної інтоксикації	Ризик миттєвих токсичних ефектів	Ризик хронічної інтоксикації	Ризик миттєвих токсичних ефектів
Гідропарк	0,085	0,137	0,063	0,140	0,068	0,025
Експоцентр Україна	0,061	0,051	0,053	0,120	0,071	0,032
Московська площа	0,192	0,406	0,060	0,089	0,144	0,157
Площа Перемоги	0,170	0,458	0,136	0,298	0,210	0,306
Бесарабська площа	0,193	0,693	0,275	0,472	0,255	0,321
Майдан Незалежності	0,173	0,514	0,202	0,390	0,212	0,264
Ленінградська площа	0,163	0,386	0,151	0,358	0,174	0,215

Згідно з наведеними даними, найбільші значення техногенних навантажень та ризиків за досліджуваний період спостерігались для району Бесарабської площі, який відзначено як зону підвищеного ризику (пункт спостережень № 7). Також підвищені значення ризиків протягом всього періоду спостережень було відзначено на ПСЗ інших центральних районів міста (на Майдані Незалежності, Площі Перемоги тощо).

Для моніторингу сезонної динаміки техногенних навантажень на окремі території та визначення найбільш небезпечних ситуацій розроблено нові візуальні засоби представлення даних щодо перевищень норм ГДК та відповідних ризиків (рис. 2 – 5).

На рис. 2 представлено динаміку середньомісячних даних для

формальдегіду, що відповідають перевищенням норм ГДК, відзначеним в районі Бесарабської площі за період 2008 - 2011 рр. Максимальні рівні забруднення формальдегідом спостерігалися в літні місяці.

Окрім спостереження (середньомісячні дані) позначені прямокутниками, в яких показано місяць і рік спостереження. Середньомісячні значення поєднані між собою прямими лініями, які відображують послідовність проведення вимірювань.

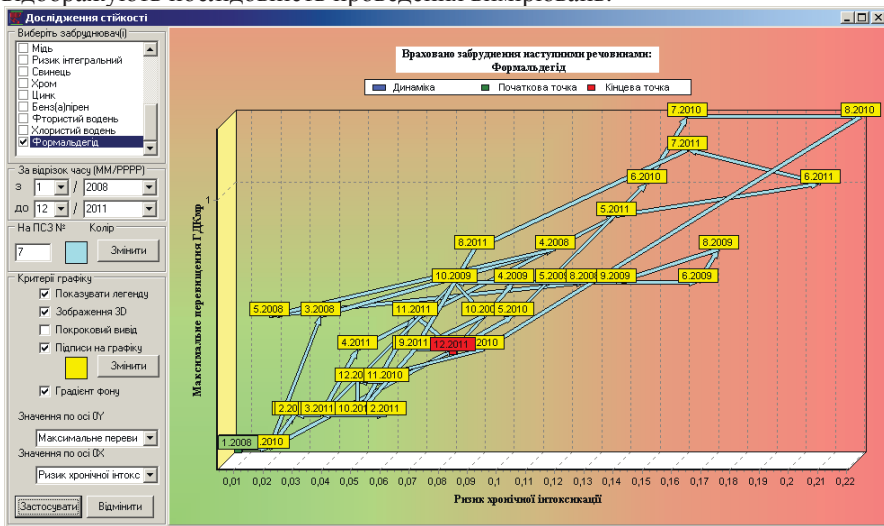


Рис. 2. Динаміка впливу формальдегіду на ПСЗ №7 (2008 – 2011).

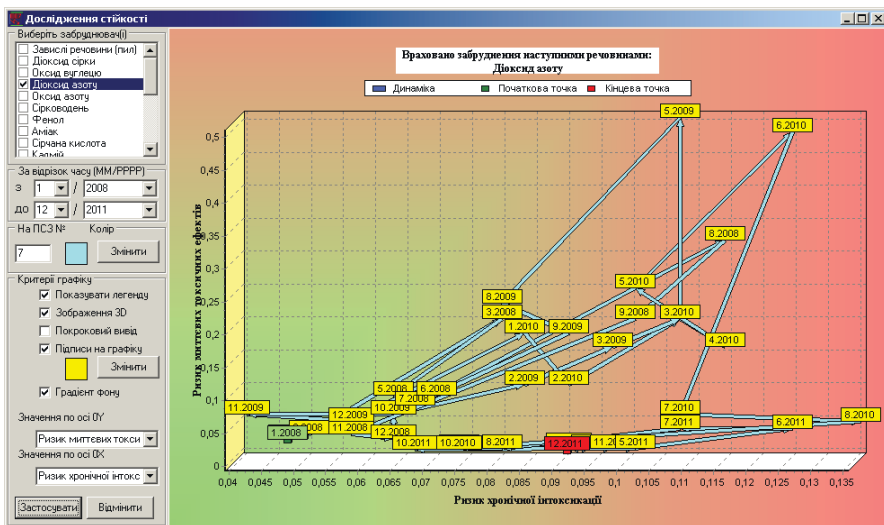


Рис. 3. Динаміка впливу діоксиду азоту на ПСЗ №7 (2008 – 2011 рр.)

На рис. 3 показано аналогічні результати щодо значень ризиків для населення від впливу високих концентрацій діоксиду азоту.

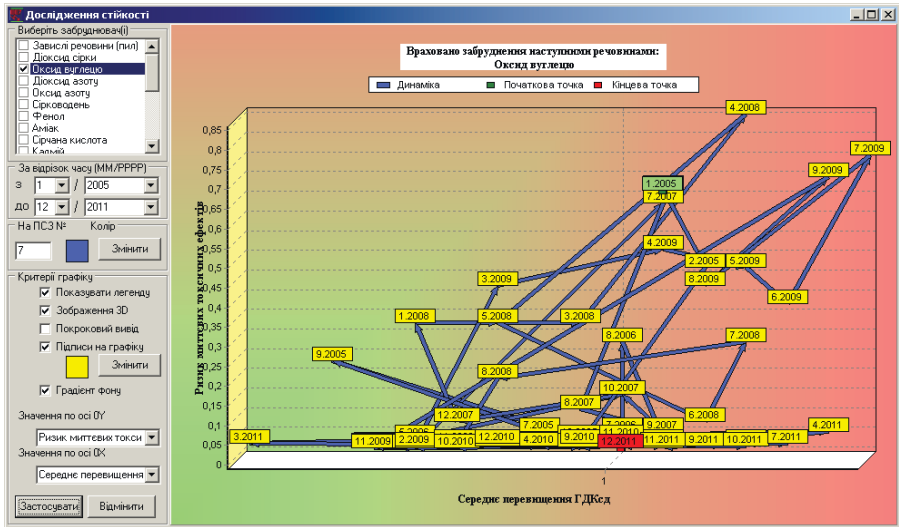


Рис 4. Динаміка впливу оксиду вуглецю на ПСЗ №7 (2005 – 2011).

На рис. 4 показано динаміку ризиків для населення від перевищень ГДК в районі Бесарабської площі, відтворену за даними моніторингу перевищень вмісту оксиду вуглецю (2005-2011 рр.).

Значення ризиків від впливу оксиду вуглецю досягли дуже високих значень (більше 0.5), що свідчить про реальну небезпеку для населення прилеглих територій. Найбільші значення ризиків утворюють характерні піки в правій верхній частині графіку.

Порівнюючи одержані результати, можна сформулювати певну послідовність дослідження побудованих графічних образів та визначення найбільш небезпечних відхилень від стабільного стану.

На першому етапі необхідно окреслити образ нормального стану, розташований ближче до початку координат, де перевищення граничних норм не досягає критичних значень. Потім можна виділити пікові значення, які спрямовані в протилежному напрямку. На рис. 2 – 4 найбільші відхилення від норми характеризують весняно-літній період.

На рис. 5 відображено динаміку індексу забруднення ІЗА за період спостережень з 2008 по 2011 рр., тобто одержаний графік можна вважати найбільш змістовним відображенням результатів спостережень, що враховує дані по основним забруднювачам повітря за останні роки.

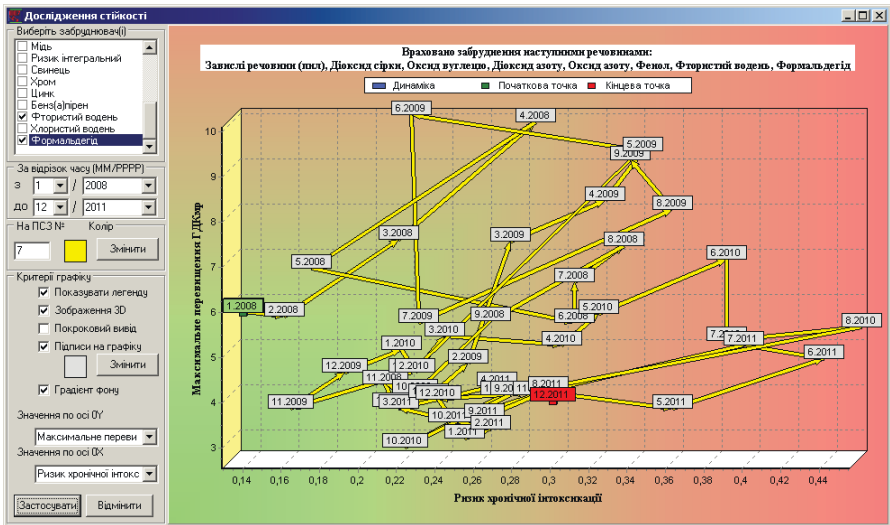


Рис 5. Динаміка індексу ІЗА на ПСЗ №7 (2008 – 2011)

Значення, що відповідають нормі, сконцентрувались ближче до координатних осей, нижче п'ятикратного перевищення максимальних значень. Найбільш небезпечні ситуації утворюють зовнішній контур відносно інших значень, який починається з точки вгорі (6.2009) й обмежується максимальними ризиками, показаними в правій частині графіка.

Таким чином, за допомогою розроблених програмних засобів моніторингу техногенних навантажень на окремі території можна візуально визначати найбільш небезпечні ситуації (або періоди максимального відхилення від норми), коли з високою імовірністю виникають локальні порушення стабільного стану, які характеризуються суттєвим підвищенням захворюваності населення прилеглих територій

**Висновки.** Для визначення меж стійкості урбанізованих територій необхідно співвіднести оцінки, одержані в результаті аналізу реальних даних моніторингу та моделювання техногенних навантажень на окремі райони, з тими граничними умовами, які відповідають критеріям стійкості (сталості), затвердженим міжнародними та державними законодавчими актами.

Розроблену на попередніх етапах роботи аналітико-інформаційну систему моніторингу техногенних навантажень на довкілля адаптовано до задач візуального аналізу динаміки екологічного стану територіальних систем та визначення меж стійкості окремих територій.

Для аналізу динаміки техногенного впливу та визначення меж стійкості територіальних систем запропоновано нові форми представлення даних моніторингу техногенних навантажень та ризиків, що відображують динаміку екологічної ситуації в просторі інформативних ознак.

Наведено приклади візуального аналізу динаміки техногенного впливу та визначення меж стійкості для окремих територій в центрі Києва, які характеризуються найбільш високими рівнями забруднення і мають бути віднесені до зон підвищеного ризику (зокрема, Бесарабська площа).

1. Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти : У 2 ч. / Міжнародна рада з науки (ICSU) [та ін.] ; наук. кер. М. З. Згуровський. – К. : НТУУ «КПІ», 2010.
2. *Каменева І.П.* Визначення параметрів стійкого розвитку на основі даних екологічного моніторингу / І.П. Каменева // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К., 2012. – № 62. – С. 60-68.
3. *Каменева І.П., Яцишин А.В.* Модели и методы анализа экологической безопасности урбанизированных территорий с использованием технологий геоинформационных систем // Электронное моделирование, 2011. – Т. 33, № 3. – С. 95 – 107.
4. *Артемчук В.А.* Информационно-аналитическая система эколого-энергетического мониторинга / В.А. Артемчук, О.А. Грибан // Моделювання та інформаційні технології. – 2010. – Т. 1, спец. вип., С. 120-128.
5. Розробка алгоритмів аналізу даних еколого-енергетичного моніторингу потенційно небезпечних об'єктів: звіт про НДР (проміжний) / ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України ; № ДР 0110U005223. – К., 2012. – 63 с.
6. *Яцишин А.В.* Комплексне оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях атмосферного повітря. Дисертація докт. тех. наук. Київ, 2013. – 402 с.
7. *Каменева І.П.* Побудова семантичних шкал для інтерпретації даних екологічного моніторингу / І.П. Каменева, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2013. – № 66. – С. 18-25.
8. *Каменева І.П.* Побудова шкал для дослідження динаміки техногенних навантажень на атмосферне повітря міста / І.П. Каменева, В.О. Артемчук, А.В. Яцишин // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2013. – № 67. – С. 11-17.
9. Методичні рекомендації "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря". Наказ МОЗ від 13.04.2007 № 184.
10. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області. – К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2005- 2011 рр.

*Поступила 3.02.2014р.*