

## ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ГЕОЕКОСИСТЕМ РЕГІОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Abstract.** An analysis of a set of quantitative indicators of geo-ecosystems stability, each of which characterizes some of its forms, and other features of a condition is executed in the article.

### Вступ

Один із найважливіших напрямів діяльності кожної держави на шляху виходу на стратегію сталого збалансованого соціального, економічного та екологічного розвитку пов'язаний зі встановленням рівнів (нормативів) техногенного навантаження для певних регіонів та узгодженням з ними масштабів господарської діяльності цих територій та всієї країни в цілому. Реалізація цього напрямку може бути успішною лише за умов надійного функціонування на різних рівнях єдиної системи комплексного моніторингу довкілля, яка б забезпечувала збирання та аналіз інформації про стан навколишнього природного середовища та дозволяла отримати відповідні прогнози щодо змін і тенденцій розвитку процесів його трансформації, а також оцінювати ризики від прояву небезпечних екологічних впливів на населення і навколишнє середовище [5].

Однією з основних функціональних задач системи комплексного екологічного моніторингу довкілля на стадії прогнозного моніторингу є визначення на основі інформації первинного моніторингу теперішнього та прогнозного стану стійкості геоекосистем регіону досліджень [7].

В даній роботі здійснюється аналіз комплексу кількісних показників стійкості, кожен з яких характеризує окремі форми та інші особливості стану геоекосистем.

### Вирішення задачі

*Стійкість геоекосистем* визначається як внутрішня властивість системи протидіяти впливам екстремальних чинників будь-якої природи і завдяки цьому забезпечувати відносне збереження рухомо-рівноважного стану в заданій області параметрів середовища, які підтримують життєздатність системи з відповідними якісними характеристиками, а в разі виходу за критичні межі намагатися повернутися до нього під впливом чинників її внутрішньої саморегуляції [5].

Якщо система втрачає можливість повернутися до стану в заданій області параметрів середовища, які підтримували її відповідні якісні характеристики, то така система переходить в інший якісний стан.

Відносна сталість фізико-хімічних та біологічних властивостей природно-техногенної системи, яка забезпечує дотримання її рухомо-

© О.О. Попов, В.О. Артемчук

рівноважного стану, що підтримується регулярним відновленням основних компонентів життєзабезпечення та постійною функціональною саморегуляцією в усіх її ланцюгах, визначається поняттям «гомеостаз». Стан гомеостазу притаманний будь-яким природним та природно-техногенним системам незалежно від їхнього рівня та ієрархії.

Для об'єктів біосфери гомеостаз характеризує властивість живої системи протидіяти змінам і підтримувати всі її властивості на відповідному відносно сталому рівні. При цьому варто мати на увазі, що біологічні об'єкти відрізняються від неживої природи тим, що живі організми фактично ніколи не перебувають у рівноважному стані з навколишнім середовищем. Така рівновага настає лише після смерті біологічного організму. Фактично завжди виконується умова, за якої живі організми виконують відповідну роботу для збереження відносної стабільності свого внутрішнього середовища, що є їхньою реакцією на постійні зміни зовнішніх умов середовища.

Оскільки стійкість у геоекосистемах реалізується в різних формах, то хоч і можна запропонувати один показник, за допомогою якого можна було б інтегровано визначити стан системи, проте такий показник був би недостатньо інформативним. Щодо практичного та теоретичного значення більшого ефекту можна досягати, якщо запровадити комплекс кількісних показників стійкості, кожен з яких характеризував би окремі форми та інші особливості стану геоекосистем. Розробка такого комплексу показників стійкості ґрунтується на понятті «відмова системи». Під нею розуміють подію, що полягає у виході системи із заданої області станів  $Z_0$ . Відповідно до змінної, що вийшла за межі діапазону своїх нормальних або допустимих значень, виокремлюють різні види відмов, наприклад «підтоплення території» – якщо рівень ґрунтових вод піднявся вище критичної глибини їх залягання, «карстоутворення» – якщо створюються умови для хімічного вилугування легкорозчинних порід, тощо. Поняття «відмова системи» ввів у ландшафтну екологію М.Д. Гродзинський. Математичний апарат і методологія досліджень задач оцінки стійкості геологічних та екологічних систем прийняті за аналогією з теорією надійності технічних систем [1, 2, 8, 9].

Виходячи із цих положень, для визначення поняття «стійкість геоекосистеми» завжди потрібно конкретизувати параметри системи [8]:

- задати змінні системи, що описують її просторове положення  $(x, y, z)$  і стан на початковий момент часу  $t_0$ ;
- визначити параметри зміни станів, у межах яких впливи вважаються неістотними та інтервал часу  $\Delta t$ , для якого оцінюється стійкість;
- схарактеризувати зовнішні чинники впливів  $f(U)$  або групи взаємодіючих чинників, які впливають на стійкість.

До показників внутрішньої саморегуляції системи належать [2, 8]:

- *інертність* – здатність геоекосистем під дією зовнішнього чинника

впливу  $f(U)$  не виходити із заданої області станів –  $Z_0$  (визначених для системи граничнодопустимих показників протягом інтервалу часу  $\Delta t$ );

➤ *відновлюваність* – здатність геоекосистеми повертатися за час  $\Delta t$  до області станів  $Z_0$  після виходу з неї під впливом чинників  $f(U)$ ;

➤ *пластичність* – наявність у геоекосистем кількох областей станів  $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_i\}$  в межах інваріанта  $Z_0$  та їхня здатність переходити під впливом фактора  $f(u_i)$  з однієї такої області до інших, не виходячи за межі інваріанта  $Z_0$  протягом часу  $\Delta t$ .

Одним із показників, що характеризує стан стійкості системи з урахуванням її інертності, є ймовірність  $q_i(\Delta t)$  виникнення відмови  $i$ -го виду за час  $\Delta t$ . Протилежний йому показник – ймовірність невиникнення відмови  $p_i(\Delta t)$   $i$ -го виду протягом проміжку часу  $\Delta t$  (тобто ймовірністю того, що за час  $\Delta t$  геоекосистема не вийде із заданої області станів  $Z_0$ ).

Показники інертності системи та ймовірності невиникнення відмови пов'язані простим співвідношенням:

$$p_i(\Delta t) = 1 - q_i(\Delta t).$$

Інертність геоекосистеми у деякий момент часу  $\Delta t$  оцінюється також показником інтенсивності відмов  $\lambda(t_i)$  у момент  $t_i$ .

Інтенсивність відмов означає ймовірність того, що в системі виникає відмова в момент часу  $t_i$ , якщо до цього вона не відбулася. За цим показником визначається характер зміни інертності системи з часом, визначаються періоди, коли її стійкість найменша.

Розв'язуючи задачі, необхідно знати оцінку середнього часу функціонування геоекосистеми до виникнення відмови  $i$ -го виду –  $T_{\text{а\text{в}i}}$ . З цієї оцінкою, зокрема, пов'язане визначення безпечної тривалості певного антропогенного впливу та періодичності проведення профілактичних заходів.

Ці показники обчислюються для всіх видів відмов геоекосистеми. Узагальненими показниками інертності можуть бути ймовірність безвідмовного функціонування  $p(Z_0, \Delta t)$  протягом  $\Delta t$ , а також ймовірність виникнення за час  $\Delta t$  принаймні однієї відмови будь-якого виду  $q(Z_0, \Delta t)$ . Якщо припустити наявність статистичної незалежності відмов різних видів, то значення цих показників обчислюється за таким виразом:

$$p(Z_0, \Delta t) = 1 - q(Z_0, \Delta t) = \prod_{pi} (Z_0, \Delta t),$$

де  $\prod$  – знак добутку.

Важливими показниками відновлюваності геоекосистеми є [8]:

– ймовірність відновлення системи  $P_{\text{а\text{в}i}}(Z_0, t)$  за час  $\Delta t$  після відмови

- $i$ -го виду;
- інтенсивність відновлення  $\mu_j(Z_0, t_i)$  на момент часу  $t_i$ ;
- середній час  $T_{\text{вн}}^i$  відновлення геоекосистеми після відмови  $i$ -го виду.

Інертність та відновлюваність характеризують стійкість системи відносно деякої однієї її області станів  $Z_0$ . Таку стійкість визначають за формулою:

$$p_i(Z_0, \Delta t) = 1 - q(Z_0, \Delta t) + p(Z_0, \Delta t) \cdot q(Z_0, \Delta t),$$

де  $p_i(Z_0, \Delta t)$  – ймовірність перебування та повернення геоекосистеми в область станів  $Z_0$  протягом часу  $\Delta t$ .

*Пластичність системи* можна оцінити ймовірністю того, що протягом часу  $\Delta t$  геоекосистема здійснюватиме переходи лише між областями станів  $\{Z_1, Z_2, \dots, Z_i\}$ , що належать до одного інваріанта  $\{Z_0\}$ . Емпіричних даних щодо цього може виявитися недостатньо. Тому реально пластичність можна оцінити лише за даними аналізу графа переходів системи до різних областей її станів без урахування ймовірностей цих переходів. Цей показник можна визначити за виразом:

$$P_{pi}(\Delta t) = \frac{1}{m(\Delta t)} \sum_{i \in \{Z_0\}}^n m_{iz}(\Delta t),$$

де  $P_{pi}(\Delta t)$  – ймовірність пластичності;  $m(\Delta t)$  – кількість переходів між областями станів за час  $\Delta t$ ;  $n$  – кількість областей нормальних станів геоекосистеми;  $m_{iz}(\Delta t)$  – кількість переходів з  $i$ -ої області станів, що належать інваріанту  $Z_0$  геоекосистеми.

У загальному випадку пластичність тим вища, чим більше в ній областей станів  $\{Z_i\}$  та чим рівноймовірніші переходи між ними. З огляду на це як середньостатистичну оцінку пластичності можна використовувати теоретико-інформаційні показники (*ентропію системи*).

*Ентропія* – це показник неупорядкованості системи, що визначається термодинамічною функцією її стану. Відповідно до другого закону термодинаміки всі процеси мають тенденцію до збільшення загальної ентропії системи. Така тенденція зберігається доти, доки не настає стан рівноваги, за якого ентропія має максимальне значення.

Важливим для розуміння стійкості геоекосистем та їх пластичності є правило, що випливає з цього закону, – усі процеси, що супроводжуються збільшенням ентропії, не можуть довільно змінити напрям і після настання стану рівноваги повернутися у вихідний стан, бо це б вимагало зменшення ентропії (тобто потрібна була б додаткова енергія для виконання певної роботи). Такі процеси називаються необоротними, а процеси, що відбуваються без змін ентропії, – оборотними [5, 8].

Основні показники інертності та відновлюваності геоекосистеми можна обчислити за допомогою класичних методів математичної статистики за частотою виникнення відмов та відновлювань або, за визначенням законом розподілу, часом виникнення відмов. Розрахункові формули цих методів наведено в табл. 1. Перевагою цих методів є простота розрахунків, а основний недолік – невизначеність у деяких випадках щодо закону розподілу випадкової величини  $t_i$  або  $\tau_i$ . За цими даними можна лише з'ясувати, збільшується чи зменшується стійкість геоекосистеми з часом. Проте цієї інформації достатньо для обчислення верхніх та нижніх граничних оцінок інертності та відновлюваності, тобто деякого діапазону, в якому містяться оцінки  $p(Z_i, \Delta t)$  або  $q(Z_i, \Delta t)$  [2, 5, 8, 9].

Таблиця 1

**Формули розрахунку показників інертності геоекосистем**

Показник інертності	Розрахункові формули	
	За частотою події	За законом розподілу випадкової величини $t_i$
Ймовірність відмови за час $\Delta t - q(\Delta t)$	$\frac{n(\Delta \tau)}{N(\tau_0)}$	Н.Р.: $1 - \Phi\left(\frac{t_i - t}{\sigma_{t_i}}\right)$ Е.Р.: $1 - \exp\{-\lambda \Delta t\} \approx \lambda \Delta t$
Ймовірність безвідмовного функціонування за час $\Delta t - p(\Delta t)$	$\frac{N(t_0) - n(\Delta t)}{N(\tau_0)}$	Н.Р.: $\Phi\left(\frac{t_i - t}{\sigma_{t_i}}\right)$ Е.Р.: $\exp\{-\lambda \Delta t\} \approx 1 - \lambda \Delta t$
Інтенсивність відмов у момент часу $t_i - \lambda(t_i)$	$\frac{N(t_i) - N(t_{i+1})}{N(t_i)(t_{i+1} - t_i)}$	Н.Р.: $\frac{1}{\sigma_{t_i} p(t_i)} f\left(\frac{t_i - t}{\sigma_{t_i}}\right)$ Е.Р.: $\lambda(t_i) = \lambda = \text{const}$
Середній час функціонування геоекосистеми до першої відмови – $T_{\text{відм}}$	$\frac{\sum_i^n t_i}{N}$	Н.Р.: $T_{\text{відм}} = t$ Е.Р.: $\frac{1}{\lambda}$

**Примітка.**  $n(\Delta t)$  – кількість геоекосистем, у яких виникли відмови за час  $\Delta t$ ;  $N(t_0)$ ,  $N(t_i)$ ,  $N(t_{i+1})$  – кількість геоекосистем, що не мали відмов відповідно на початковий момент часу  $t_0$  та у моменти  $t_i$  та  $t_{i+1}$ ;  $t_i$  – момент виникнення  $i$ -ої відмови;  $\hat{O}$  – функція нормального розподілу;  $f$  – функція щільності нормального розподілу; Н.Р. – розрахункові формули за нормального закону розподілу  $t_i$ ; Е.Р. – те саме за експоненційного розподілу.

Інертність геоекосистеми з часом переважно зменшується (чим більший інтервал часу  $\Delta t$ , тим більша ймовірність відмови). Це пояснюється постійною або періодичною дією антропогенних чинників, дією пуассонового потоку випадкових впливів тощо. Для зазначеного випадку граничні оцінки ймовірності безвідмовного функціонування системи обчислюються за формулами [1, 8]:

➤ нижня оцінка

$$\underline{p}(Z_0, \Delta t) = \begin{cases} \exp\left\{-\frac{\Delta t}{T_{\text{відм}}}\right\} & \text{при } 0 \leq \Delta t \leq T_{\text{відм}}; \\ 0 & \text{при } \Delta t \geq T_{\text{відм}}. \end{cases}$$

➤ верхня оцінка

$$\overline{p}(Z_0, \Delta t) = \begin{cases} \exp\{\omega \Delta t\} & \text{при } 0 \leq \Delta t \leq T_{\text{відм}}; \\ 0 & \text{при } \Delta t > T_{\text{відм}}, \end{cases}$$

де  $\omega$  – параметр, що залежить від  $\Delta t$ , значення якого наведено в довідниках із математичної статистики та теорії надійності.

До переваг методу граничного оцінювання стійкості належить простота розрахунків і мінімум потрібної інформації. При цьому варто зазначити, що інтервали між верхньою та нижньою граничними оцінками можуть виявитися дуже широкими. Проте, незважаючи на це, метод є досить корисним під час оцінювання стійкості геоекосистеми до антропогенних впливів, особливо тоді, коли є складнощі в отриманні емпіричних даних.

У практиці оцінювання стійкості часто застосовують модель, що відповідає відомій схемі «навантаження-опір». Її суть полягає ось в чому: навантаження ( $P$ ) намагається зруйнувати систему, опір ( $L$ ) – протидіє цьому навантаженню. Дія навантаження на геоекосистему та її опір описуються характеристиками, які є випадковими величинами із власними функціями розподілу. Якщо ці функції встановлено, то можна визначити ймовірність того, що при всіх коливаннях навантажень та опорів  $P > L$ , тоді настає відмова геоекосистеми. У реальних геоекосистемах характеристика  $P$  досить часто має експоненційний розподіл, а характеристика опору  $L$  – нормальний. У цьому разі ймовірність відмови  $q$  обчислюється за формулою [2, 5]:

$$q = \exp\left\{-\frac{L}{P}\right\} = \frac{\sigma_L^2}{2P^2}.$$

Для інших законів розподілу навантажень та опорів у геоекосистемі можна застосовувати інші відповідні формули.

Наприклад, ймовірність розподілу концентрацій у зонах впливів багатьох техногенних джерел від більшості забруднювальних речовин можна з достатнім ступенем наближення описати логнормальним розподілом. Для оцінки розподілу забруднень у повітрі більш точні результати можна

отримати, застосовуючи двопараметричні ймовірнісні розподіли, а саме [5]:

1. Асимптотичний розподіл мінімальних значень (отримано за розподілом, що має обмеження ліворуч), відомий як розподіл Вейбула:

$$F_x = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^k\right], \quad x \geq 0, \quad \beta > 0, \quad k > 0,$$

де  $x$  – концентрація забруднювача.

Логарифмічне перетворення функції розподілу Вейбула  $y = \ln x$  дає функцію розподілу мінімальних значень:

$$F_x = 1 - \exp\left[-\exp\left(\frac{y - \mu}{\delta}\right)\right], \quad \left(-\infty < y < +\infty, \quad \mu = \ln \beta, \quad \delta = \frac{1}{k}\right),$$

де  $\beta$  – параметр масштабу;  $k$  – параметр форми.

Логарифмічне перетворення функції розподілу Вейбула при використанні нормованої змінної має такий вигляд:

$$F_u = 1 - \exp[-\exp(u)].$$

2. Асимптотичний розподіл максимальних значень (отримано з розподілу типу Парето або Коші), що має назву «розподіл зростаючих значень». Його функція має вигляд:

$$F_x = \exp\left[-\left(\frac{\beta}{x}\right)^k\right], \quad x \geq 0, \quad \beta > 0, \quad k > 0,$$

де  $x$  – концентрація забруднювача;  $k$  – параметр форми, починаючи з  $k$ -го моменту стають нескінченними;  $\beta$  – параметр масштабу.

Щільність розподілу описується виразом  $F_x = \frac{k}{\beta} \left(\frac{\beta}{x}\right)^{k+1} \exp\left[-\left(\frac{\beta}{x}\right)^k\right]$ .

При логарифмічному перетворенні функції розподілу зростаючих значень  $y = \ln x$  маємо:

$$F_y = \exp\left[-\exp\left(\frac{y - \mu}{\delta}\right)\right], \quad \left(-\infty < y < +\infty, \quad \mu = \ln \beta, \quad \delta = \frac{1}{k}\right).$$

Ця функція при застосуванні нормованої змінної має вигляд:

$$F_u = \exp[-\exp(u)].$$

Як для функції розподілу Вейбула, так і для функції розподілу максимальних значень нормована змінна має вигляд:

$$U = \frac{y - \mu}{\delta},$$

де  $\mu$  – параметр положення (зміщення);  $\delta$  – параметр масштабу.

Крім розглянутих, для оцінки стійкості геоекосистем можна користуватися іншими методами: логіко-інформаційне моделювання,

оцінювання за деревами відмов, оцінювання ризиків, статистичне моделювання на ЕОМ [4, 5].

Якщо під ризиком розуміти ймовірність виникнення в геоекосистемах небажаних змін, особливо пов'язаних із загрозою для здоров'я людини, то в такому розумінні це поняття збігається з поняттям відмови геоекосистеми [2, 9].

За такого підходу всі методи визначення ймовірності виникнення відмови фактично є водночас і методами оцінювання ризику. Як окремі складові поняття «екологічні ризики», що призводять до порушень стійкості екосистеми (відмова повернення системи до попереднього стану), можна розглядати такі фактори:

- різке токсичне забруднення геоекосистеми та її окремих середовищ;
- вимирання окремих видів тварин, рослин;
- деградація ґрунту;
- стихійні лиха тощо.

Ширше визначення поняття екологічного ризику передбачає не тільки визначення можливості (ймовірності) його виникнення, а й оцінку втрат, які можуть бути з ним пов'язані. Справді, різні види процесів, що призводять до відмови системи, можуть мати однакові ймовірності виникнення, проте вони розрізняються ступенем зміни структури геоекосистеми та економічним наслідками, які виникають внаслідок відмов.

Охарактеризовані поняття про екологічний ризик та відмову геоекосистеми у контексті обробки моніторингових спостережень та інтерпретації авторів щодо визначення стану геоекосистеми у схематизованому вигляді подано на рис. 1. У наведеній схемі інтервал, який відповідає умові «екстремальна екологічна ситуація», характеризує стан системи, за якого настають відмови [3, 4].

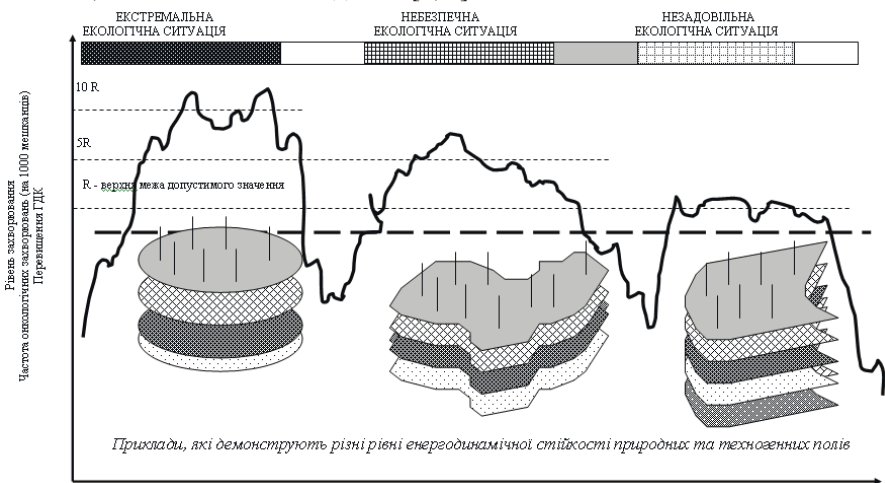


Рис. 1. Принципова схема алгоритму отримання інтегрованої інформації щодо оцінки ризику екологічного стану для території та здоров'я населення



Оцінка екологічного ризику, крім визначення ймовірності події, яка вважається ризикованою (тобто ймовірності відмови геоекосистеми), передбачає ще чотири складові [3, 5, 9, 10]:

- природно-ландшафтну (як ступінь змінності геоекосистеми внаслідок відмови);
- соціоекономічну (як розмір економічних втрат, спричинених відмовою);
- антропоцентричну (як рівень загрози здоров'ю та самопочуттю людини);
- естетичну (як втрату естетичної привабливості ландшафту).

Усі ці складові можна оцінити в балах експертним шляхом. Проте в загальній теорії оцінки ризику встановлено, що стосовно сприйняття ступеня різних видів небезпеки експерти мають суб'єктивні оцінки, і тому експертний метод у цьому разі дає лише наближений результат. Методологія аналізу ризиків також передбачає застосування методів математичного моделювання.

Природно-ландшафтну складову ризику можна оцінити за значенням дистанційного коефіцієнта між станом геоекосистеми до відмови та після неї.

Найпростішим показником такого типу є:

$$D_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left[ \frac{x_i - x_{a^{3ai} ij}}{x_i + x_{a^{3ai} ij}} \right]^2,$$

де  $D_j$  – ступінь змінності геоекосистеми внаслідок відмови  $j$ -го виду;  $n$  – кількість ознак, якими характеризується система;  $\alpha_i$  – «вага»  $i$ -ої ознаки (коефіцієнт її суттєвості);  $x_i$  – значення  $i$ -ої ознаки системи до її відмови;  $x_{a^{3ai} ij}$  – те саме після відмови  $j$ -го виду.

Соціоекономічна складова екологічного ризику дозволяє отримати оцінку у вигляді:

- вартості тієї частини корисного продукту, що втрачається внаслідок відмови геоекосистеми (наприклад, для зон впливу АЕС – вартість врожаю, недоотриманого внаслідок аварійного радіаційного забруднення території);
- вартості заходів, що їх потрібно вжити, аби відновити початковий стан геоекосистеми після відмови;
- частки природних ресурсів, що втрачається при відмові системи.

### **Висновки**

Стійкість у геоекосистемах реалізується в різних формах. Тому використання одного інтегрованого показника для визначення стану системи не є достатньо інформативним. В статті виконано аналіз комплексу кількісних показників стійкості, кожен з яких характеризує окремі форми та інші особливості стану геоекосистем регіону досліджень.

1. Безопасность и надежность технических систем: Учебное пособие / Александровская Л.Н., Аронов И.З., Круглов В.И. и др. М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 376 с.

2. *Ветошкин А.Г.* Надежность технических систем и техногенный риск: Учеб. пос. / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос.ун-та, 2003. – 155 с.
3. *Лисиченко Г.В.* Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев. – О. : Астропринт, 2011. – 368 с.
4. *Лисиченко Г.В.* Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. – К. : Наук. думка, 2008. – 542 с.
5. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : навч. посібник / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар [та ін.]. – К. : Вид-во Нац. авіа. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 312 с.
6. *Попов О.О.* Методи аналізу ризиків в екології / О.О. Попов // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України. – 2013. – Вип. 69. – С. 19-28.
7. *Попов О.О.* Підходи до організації та ведення комплексного радіоекологічного моніторингу наземних екосистем у районах розташування АЕС / О.О. Попов // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України. – К. – 2013. – Вип. 68. – С. 11-18.
8. *Семенов А.А.* Основи теорії надійності: Навчальний посібник / А.А. Семенов, В.Г. Мелкумян. – К.: КМУЦА, 1998. – 84 с.
9. *Хенли Э.Дж.* Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М. : Машиностроение, 1984. – 528 с.
10. *Яцишин А.В.* Методы и технологии анализа рисков для здоровья на основе данных мониторинга / А.В. Яцишин, І.П. Каменева, О.О. Попов, В.О. Артемчук // Матеріали ІV Міжнародної науково-технічної конференції «МОДЕЛІРОВАНИЕ-2012», – Київ, 16-18 мая 2012 г. – С. 469–473.

*Поступила 12.10.2015р.*

УДК 004.942:53.05:617.735

Г.Б. Цуприк, м. Тернопіль  
Л.М. Щербак, м. Київ

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОГЕРЕНТНОСТІ ВИБІРКИ БІОСИГНАЛУ В ІНФОР МАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІЙ БІОМЕДИЧНІЙ СИСТЕМІ**

**Abstract.** We propose an approach for synchronization of subsamples of biosignals from the general sample. The main aim of the synchronization directed for achieving good coherent filtration of biosignals. Algorithms of test, synchronization, and coherent filtering were developed, approved and presented. Results used for automation of information-analytical biomedical systems are used in active examines of bioobject when its response has stochastic durations.

### **Вступ**

При контролі функціонального стану, діагностиці, керуванні функціями біоб'єкту тощо все більшого використання знаходять методи активних