

АЛГОРИТМ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ТЕРИТОРІЙ НА КВАЗІСТАЛИХ РЕЖИМАХ ПО ОДНОМІРНИХ НЕСПРАВНОСТЯХ

*Національний авіаційний університет, Київ, Україна

***Анотація.** Розроблено алгоритм діагностування стану територій на квазісталих режимах по одновимірних несправностях. Оцінено залежність границь розпізнавання від кількості замірюваних параметрів.*

***Ключові слова:** алгоритм, діагностування, моніторинг, математична модель.*

***Аннотация.** Разработан алгоритм диагностики состояния территорий на квазиустановившихся режимах по одномерным неисправностям. Оценена зависимость границ распознавания от количества измеряемых параметров.*

***Ключевые слова:** алгоритм, диагностирование, мониторинг, математическая модель.*

***Abstract.** Diagnosis algorithm of the territories state on the quasi-steady states of one-dimensional faults was developed. The dependence of identification limits according to the measured parameters quantity was estimated.*

***Keywords:** algorithm, diagnosis, monitoring, mathematical model.*

1. Вступ. Постановка проблеми

Діагностування стану територій або просторових об'єктів, розташованих на ній, складний динамічний процес. На будь-якому об'єкті діагностування певної території (регіону) з плином часу змінюються параметри і характеристики, які описують стан цієї системи.

Під об'єктом діагностування мають на увазі систему, яка задовольняє двом умовам. По-перше, система може знаходитись у двох взаємовиключних та розрізнявальних станах (працездатному та непрацездатному). По-друге, можна виділити елементи (блоки, підсистеми), кожен з яких також характеризується розрізнявальними станами, що визначаються в результаті перевірок.

Алгоритм діагностування – послідовність виконання перевірок, що входять в діагностичний тест, та правила обробки результатів перевірок з метою отримання діагнозу. Діагноз – інформація про об'єкт діагностування, що дозволяє локалізувати несправність системи (оцінити її технічний стан) або виявити причину її невідповідності на підставі аналізу діагностичних параметрів чи симптомів. Симптом – форма прояву відхилення діагностичного параметра від його допустимих значень.

Для діагностування процесів, що відбуваються в регіоні (на певній території), необхідно враховувати ці зміни, а також навчитися прогнозувати їх та приймати ефективні управлінські рішення за ними. Крім того, зміна параметрів територіальної системи одного рівня ієрархії може проявитися (позначитися) через зміну зовсім інших характеристик територіальної системи другого рівня ієрархії.

Зміни, які відбуваються в економіці України, потребують змін і в діяльності служб, задіяних в державній системі управління територіями і моніторингу довкілля. В порядку пошуку нових методів збору в останній час надзвичайно актуальними є методи одержання необхідної інформації про певну територію чи об'єкт земної поверхні на квазісталих режимах, коли тільки починається розвиток певної характеристики (несправності), яка погіршує стан певної території або об'єкта, що знаходиться на цій території.

Метою роботи є розробка теоретичних основ виявлення характеристик погіршення стану (несправностей) територіальних утворень або просторових об'єктів, розташованих на ній, при відхиленні їх параметрів від «справних» на сталих або квазісталих режимах

прогнозування розвитку стану, прогнозування їх розвитку та наступної оцінки рівня ризику виникнення НС для вжиття заходів зі зниження наслідків техногенного впливу і вирішення завдань кризового моніторингу.

2. Виклад основного матеріалу

Забезпечення безпеки громадян і захист суспільства є однією з найважливіших функцій держави. Нині Україна, на жаль, є найбільш критичним регіоном Європи з техногенного навантаження, яке в 5-6 разів перевищує середньоєвропейський рівень. У країні працюють понад 2 тисячі великих стаціонарних потенційно небезпечних об'єктів (рис. 1). Це АЕС, тепло- і гідроелектростанції, хімічні виробництва та сховища з сумарним запасом отруйних речовин 260 тис. т, аміакопровід довжиною 780 км з питомим навантаженням 50 т/км, газо- та нафтопроводи. На 23 тис. км залізниць і 260 тис. автомобільних доріг припадають тисячі одиниць рухомого транспорту, які перевозять небезпечні вантажі. Усе це збільшує вірогідність виникнення надзвичайних ситуацій (НС), які несуть у собі загрозу для людини, економіки країни та природного середовища.

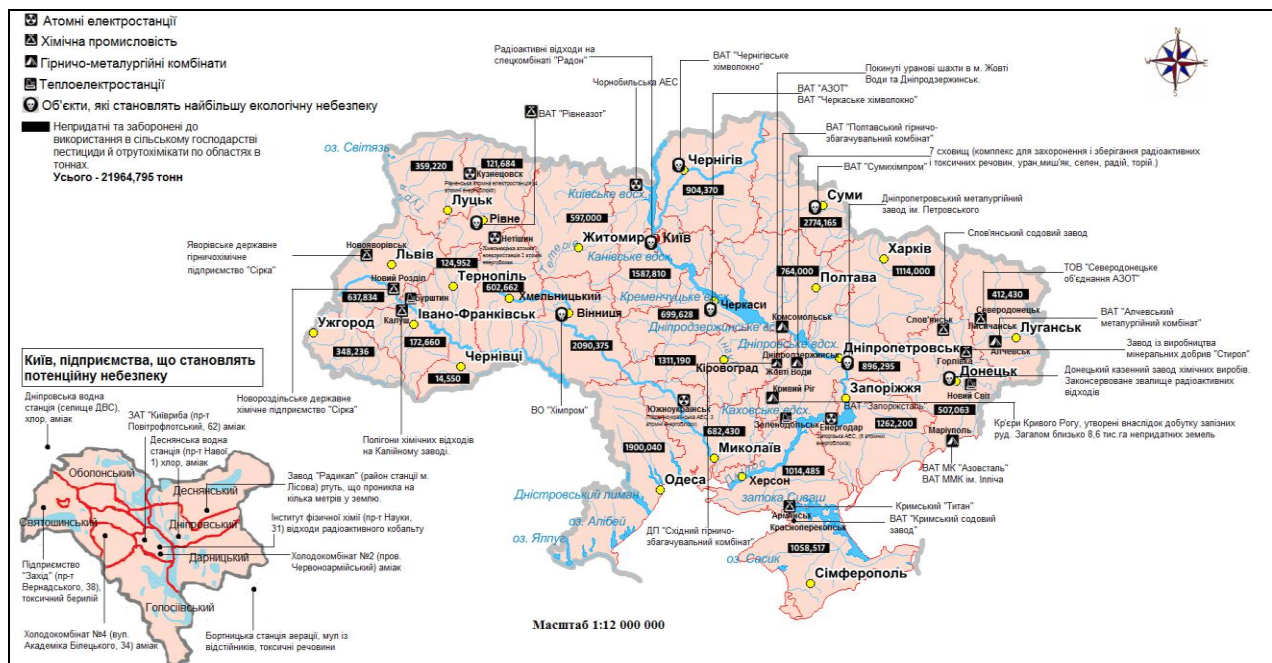


Рис. 1. Карта екологічних негараздів України

На території України можливе виникнення практично усього спектра небезпечних природних явищ і процесів гідрогеологічного та метеорологічного походження. До них відносяться великі повені, катастрофічні затоплення, землетруси і зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади й ожеледиці, урагани, смерчі, шквальні вітри тощо.

У загальному випадку лінійну математичну модель об'єкта дослідження при наявності похибок вимірів можна представити матричними рівняннями двох типів [1]:

$$\bar{Y}_3 = A\bar{X} + \Delta\bar{Y}_3 \quad (1)$$

або

$$\bar{W}_3 = A\bar{X} + \Delta\bar{W}_3, \quad \bar{W}_3 = \bar{Y}_3 - T\bar{S}_3, \quad \bar{W}_3 = \Delta\bar{Y}_3 - T\Delta\bar{S}_3, \quad (2)$$

де \bar{Y}_3 – вектор відносних відхилень параметрів режиму функціонування об'єкта дослідження розмірності $(m \times 1)$;

Після нормування і врахування похибок замірів одержимо:

$$Z_3 = \hat{A}\bar{X} + \Delta\bar{Z}_3, \quad \bar{Z}_3 = \bar{Z} + \Delta\bar{Z}_3, \quad (4)$$

де
$$\bar{Z}_3 = \sum_y^{-1} \bar{Y}_3, \quad \bar{Z} = \sum_y^{-1} \bar{Y}, \quad \Delta\bar{Z}_3 = \sum_y^{-1} \Delta\bar{Y}_3, \quad \hat{A} = \sum_y^{-1} A. \quad (5)$$

Компоненти вектора $\Delta\bar{Z}_3$ є незалежними випадковими величинами, розподіленими за нормальним законом з нульовими математичними очікуваннями і дисперсіями, які дорівнюють одиниці, тобто

$$Z(\Delta\bar{Z}_j) = N(0,1), \quad cov(\bar{Z}_i, \bar{Z}_j)_{i,j} = 0. \quad (6)$$

При розв'язанні задачі діагностування стану території принципово можливі 2 різні ситуації:

– кількість параметрів стану, що відіб'ється в заміряному векторі \bar{Z}_3 , менше рангу матриці $\hat{A} (r \leq n)$. У цьому випадку кожному сполученню $C_m^v \quad v = \overline{1, (r-1)}$ параметрів можна поставити у відповідність образ і розв'язати задачу на підставі теорії розпізнавання образів [2];

– кількість параметрів технічного стану, що відіб'ється в векторі \bar{Z}_3 , дорівнює або більше рангу матриці \hat{A} . У цьому випадку будь-якому сполученню $C_m^v \quad v = \overline{n, m}$ параметрів стану буде відповідати весь простір контрольованих параметрів, що робить задачу нерозв'язною.

При цьому на першому етапі здійснюється перевірка гіпотез приналежності вектора заміряних параметрів образу розглядуваної несправності за допомогою критерію ймовірнісної оцінки, а на другому етапі здійснюється розв'язок тільки тих підсистем, які із заданою ймовірністю (0,95) пояснюють відхилення вектора заміряних параметрів.

Для систем діагностування стану територій імовірність одночасного виникнення меншої кількості несправностей вище ймовірності одночасного виникнення більшої кількості несправностей, тому задачу діагностування природної чи антропогенної системи доцільно розв'язувати послідовною перевіркою гіпотез зі зростаючою кількістю несправностей.

При дослідженні одномірних безперервних несправностей системи рівнянь (1) перетворюються в систему з однією змінною, тобто вектор \bar{X} перетворюється у скаляр \bar{x}_j :

$$\bar{Z}_j = \hat{A}_j \bar{x}_j, \quad \bar{Z}_3 = \bar{Z}_j + \Delta\bar{Z}_3, \quad \bar{Z}_3 = \hat{A}_j \bar{x}_j + \Delta\bar{Z}_3, \quad (7)$$

де \hat{A}_j – j -й стовпець матриці A .

При зміні параметра технічного стану від $-\infty$ до $+\infty$ вектор \bar{Z}_j , змінюючись за величиною і напрямком, буде лежати на прямій, положення якої у просторі контрольованих параметрів можна задати вектором \hat{A}_j (поклавши $\bar{x}_j = 1$), тобто образами одномірних безперервних несправностей у просторі армованих контрольованих параметрів є прямі лінії, що проходять через початок координат. Через зашумленість вектора заміряваних параметрів система рівнянь (7) є несумісною. Про ступінь несумісності можна судити по квадрату J_j перпендикуляра L_j , який опустили з кінця вектора \bar{Z}_3 на вектор \hat{A}_j (рис. 2).

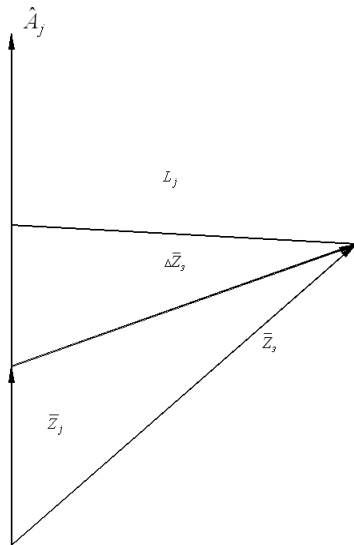


Рис. 2. Графічна інтерпретація несумісності системи рівнянь (7) через зашумленість вектора замінюваних параметрів

Якщо вектор замінюваних параметрів \bar{Z}_3 є дображенням (причиною) j -ої несправності і на це відображення наклались похибки вимірів замірів контрольованих параметрів, то система рівнянь (7) є сумісною і квадрат J_j перпендикуляра L_j буде залежати тільки від похибок вимірів:

$$J_j = L_j^T L_j = \bar{Z}_3^T B_K \bar{Z}_3, \quad (8)$$

де

$$B_K = I_m - \frac{\hat{A}_j \hat{A}_j^T}{\hat{A}_j^T \hat{A}_j}.$$

Враховуючи похибки вимірів, що відобразились у вектор \bar{Z}_j , одержимо кількість розрізнуваної інформації у вигляді

$$\hat{J}_j = \Delta \bar{Z}_3^T B_j \Delta \bar{Z}_3. \quad (9)$$

Як показано у праці [3], властивості матриці B_j і компонент вектора $\Delta \bar{Z}_3$ такі, що квадратична форма (9) розподілена за законом хі-квадрат з $m-1$ ступенями свободи.

$$Z(J_j) = \chi^2(m-1). \quad (10)$$

Для заданої ймовірності похибки розпізнавання α і розмірності вектора \bar{Z}_3 можна визначити квантиль розподілення $J_{1-\alpha}$ [4]:

$$P\{J_j \leq J_{1-\alpha}\} = 1 - \alpha. \quad (11)$$

Отже, умова приналежності вектора \bar{Z} образу j -ої несправності (умова сумісності) з імовірністю $(1 - \alpha)$ можна записати у вигляді

$$\tilde{J}_j = \frac{J_j}{J_{1-\alpha}} \leq 1. \quad (12)$$

Таким чином, не розв'язуючи систему рівнянь, можна одержати відповідь на питання, чи є заміряний вектор \bar{Z}_3 породженням j -ої несправності.

Далі розв'язуються всі сумісні підсистеми. Розв'язок для j -ої несправності, для кожної з яких виконується умова (12), здійснюється за формулою

$$x_j = \frac{Z_j^T \hat{A}_j}{\hat{A}_j^T \hat{A}_j}. \quad (13)$$

Щоб визначити умову, при якій вектор \bar{Z}_3 є відображенням j -ої несправності і буде несумісним з образом k -ої несправності, необхідно опустити перпендикуляр L_{jk} з кінця вектора \bar{Z}_3 на образ k -ої несправності. У цьому випадку квадратична форма

$$J_{jk} = L_{jk}^T L_{jk} \quad (14)$$

розподілена за законом хі-квадрат з $(m-1)$ ступенями свободи і параметром нецентральної $\lambda^2 = \bar{Z}_3^T B_k \bar{Z}_3$ [4]. Для заданої ймовірності похибки розрізнення α , при відомій точності вимірів контрольованих параметрів, можна для заданого ступеня розвитку несправності x_j знайти квантиль розподілу $(J_{jk})_\alpha$:

$$P\{J_{jk} \leq (J_{jk})_\alpha\} = \alpha. \quad (15)$$

Вектор \bar{Z}_3 з імовірністю $1-\alpha$ не буде співпадати з образом k -ої несправності, якщо квантиль (15) буде більше квантиля $J_{1-\alpha}$ розподілення (15):

$$(J_{jk})_\alpha > J_{1-\alpha}. \quad (16)$$

Найменша величина несправності \bar{x}_j , для якої справедливе співвідношення (16), буде шуканою границею розрізненості j -ої несправності в заданих умовах діагностування.

Для геометричної інтерпретації одержаних результатів опишемо навколо образу несправності \hat{A}_j циліндр, поверхня якого розміщена на відстані $\sqrt{(J_j)_{1-\alpha}}$. Навколо образу несправності \hat{A}_k розташовується такий же циліндр, границі якого віддалені на відстані $\sqrt{(J_{jk})_\alpha} = \sqrt{(J_{jk})_{1-\alpha}}$. Наявність випадкових похибок вимірів призводить до того, що вектор похибок $\Delta\bar{Z}_3$ може бути повернений у будь-який бік відносно кінця вектора \bar{Z}_j і не залежить від величини і напрямку вектора \bar{Z}_j . Спроектувавши циліндри на площину, утворену образами j -ої і k -ої несправностей, отримаємо смуги вздовж образів цих несправностей.

Багатовимірний простір, у якому знаходиться вектор \bar{Z}_3 , на площині зобразимо в вигляді окружності з центром на кінці вектора \bar{Z}_j і радіусом $\sqrt{(J_j)_{1-\alpha}}$.

На цій площині розглянемо вектор $\bar{Z}_{ep} = \bar{Z}_3$, що характеризує один з найгірших варіантів заміру і який є відображенням цієї несправності. Кінець вектора \bar{Z}_{ep} знаходиться на границі j -ої несправності і кола. При цьому можливі різні варіанти розташування вектора \bar{Z}_{ep} .

Розглянемо 3 характерних випадки. На рис. 3 вектор \bar{Z}_{ep} , який є відображенням j -ої несправності, не буде розрізняватись з образом k -ої несправності, тобто вектор \bar{Z}_{ep} , перебуваючи в середині перетинання циліндрів, може бути віднесений як до j -ої, так і k -ої несправності.

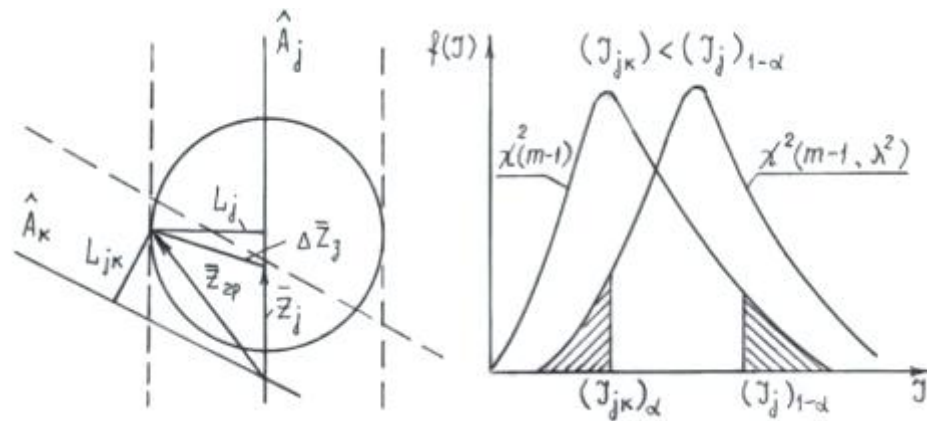


Рис. 3. Графічна інтерпретація нерозрізнюваності двох одномірних несправностей

На рис. 4 представлений випадок, коли вектор параметрів, що замірюються \bar{Z}_{2p} , відноситься тільки до j -ої несправності.

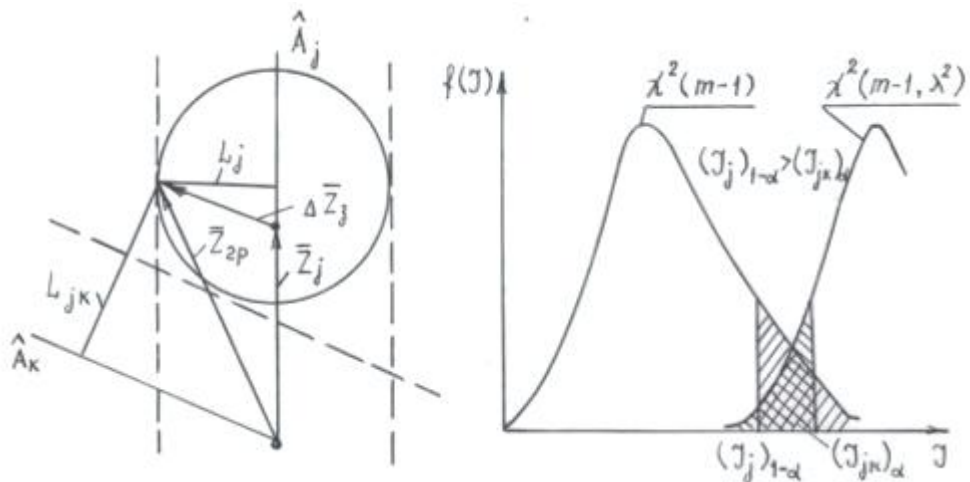


Рис. 4. Графічна інтерпретація розрізнюваності двох одномірних несправностей

На рис. 5 представлений граничний випадок.

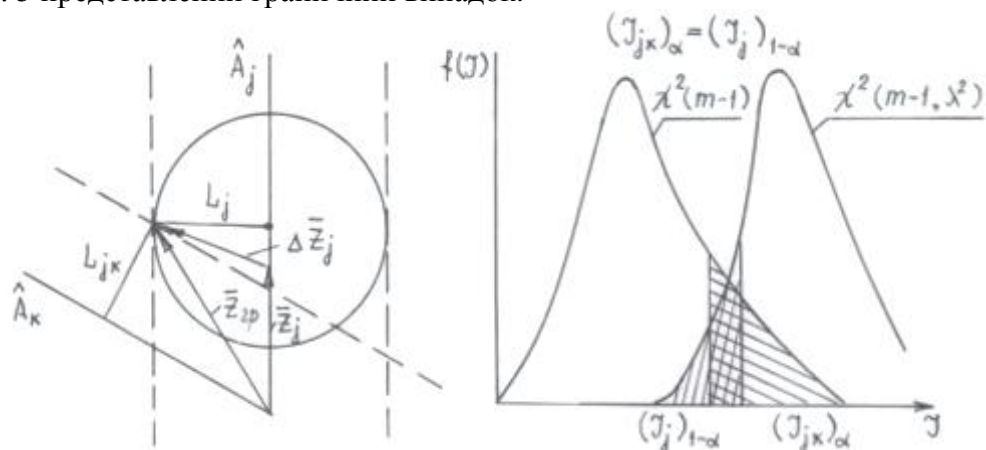


Рис. 5. Графічна інтерпретація граничного випадку

Величину несправності \bar{x}_j , що визначає межу розрізнення j -ої несправності при порівнянні її з k -ою несправністю, для заданих умов діагностування можна обчислити за формулою [4]

$$|\bar{x}_j| = \frac{\sqrt{\psi(m, \alpha)}}{\|\hat{A}_j\| \cdot |\sin(\hat{A}_j, \hat{A}_k)|}$$

4. Висновки

Проведені дослідження свідчать, що границі розпізнавання несправностей багато в чому визначаються кількістю замінюваних параметрів. Проте збільшення кількості замінюваних параметрів більше 10–12, з точки зору несправностей, недоцільне, оскільки може призвести до істотного зниження границь розпізнавання. Замір 8–10 найбільш інформативних параметрів призводить до того, що границі розпізнавання для більшості одномірних несправностей не будуть перевищувати 1% ступеня їх розвитку, що характеризує чутливість даного методу діагностування.

Наведений алгоритм не може забезпечити ефективне діагностування території для всіх ситуацій, оскільки багато несправностей є дво- і більш вимірними. Крім того, потребує досліджень діагностування динамічних процесів і явищ, що відбуваються на певних територіях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортакoвский А.С. Линейная алгебра в примерах и задачах / А.С. Бортакoвский, А.В. Пантелеев. – М.: Высшая школа, 2005. – 591 с.
2. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1978. – 414 с.
3. Спирина М.С. Теория вероятностей и математическая статистика / М.С. Спирина, П.А. Спирин. – М.: Академия, 2011. – 352 с.
4. Водопьянов В.Е. Оценка распознаваемости одномерных дефектов ГТД при диагностики по газодинамическим параметрам / В.Е. Водопьянов, В.И. Зацерковный, В.И. Никитин // Науч.-техн. конф. «Теория авиационных двигателей», (Харьков, 28–29 марта 1989 г.). – Харьков, 1989. – Вып. 8. – С. 83 – 87.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2015