

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ШУМІВ РЕАКТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ГІПЕРВИПАДКОВИХ ЯВИЩ

Проаналізовано статистичні властивості довгих часових рядів даних, які отримуються у процесі безперервного контролю за станом обладнання атомної станції. У даному випадку було проведено збір та обробку результатів вимірювання температури теплоносія на виході з реактора першої петлі головного циркуляційного контура, вимірюної за допомогою термопар та термометра опору. З використанням гіперстатистичного аналізу показано, що ці дані мають явно виражені ознаки відсутності статистичної стійкості, що потребує перегляду існуючих підходів до аналізу таких даних.

Ключові слова: атомні станції, контроль параметрів, гіперстатистичний аналіз.

Вступ

З точки зору розглянутих у роботі проблем одним із завдань безпечної експлуатації реакторної установки є надійний контроль за значеннями параметрів технологічного процесу. Допустимі чи контрольні рівні параметрів установлюються проектом реакторної установки, технологічним регламентом безпечної експлуатації, інструкціями з експлуатації та ін. У процесі експлуатації фактичні показання засобів вимірювання контролюються операторами. Проте результати вимірювання значень параметрів, які пройшли обробку, можуть бути більш представницькими, що дає змогу вирішувати багато інших задач, пов'язаних із безпечною експлуатацією.

На сьогоднішній день більшість параметрів контролюється технічними засобами автоматизованої системи управління технологічними процесами. За їхньою допомогою значення контрольованих параметрів вимірюються з певною частотою, проходять обробку, відображаються на моніторах, використовуються для обчислень, зберігаються в архівах та ін.

У результаті накопичення в архівах утворюється довгий ряд даних. Це дає змогу розглядати їх як матеріал для більш глибокого аналізу з використанням математичної статистики та подальшого практичного застосування результатів для підвищення надійності контролю за станом технологічного процесу, станом обладнання і, як додаткову інформацію, для прийняття рішень. Усе це безпосередньо впливає на підвищення безпечної та надійної експлуатації ядерної установки, а з точки зору дослідження (наприклад, з метою підвищення точності вимірювань) відкриває можливості для застосування різних підходів. Зауважимо, що застосування методів статистики одночасно призводить до існування певних невизначеностей, пов'язаних з тим, що статистичний аналіз завжди базується на певних припущеннях (деякі методи статистичного аналізу настільки широко розповсюджені й стали стандартами, що про закладені в них припущення давно забули). У тому числі, як буде показано в даній роботі, застосування сучасних статистичних підходів дає змогу підвищити надійність такого аналізу.

Застосування комп'ютерних методів контролю роботи обладнання дозволяє вже практично розглядати й інший аспект задачі. Перевищення встановлених контрольних рівнів є сигналом аварійної ситуації. Проте у багатьох випадках контрольні рівні значно перевищують нормальний робочий рівень. І контроль за зміною нормального рівня роботи (що можна робити, аналізуючи постійний потік даних від контрольної апаратури) дозволяє виявляти небезпечні тенденції у зміні ситуації "на далеких підступах" до контрольного аварійного рівня [1]. Наприклад, такі підходи розглядаються й уже практично використовуються в системах регулювання на основі методів нечіткої логіки [2], а не статистики.

Статистичне оцінювання даних, фактично, є результатом намагання спрогнозувати розвиток ситуації. Стандартна процедура виглядає так: на основі попередніх вимірювань чи спеціальних досліджень визначається значення контрольованого параметра, яке характеризує нормальний стан роботи обладнання; далі визначаються межі, у яких зафіксовано флуктуації цього параметра (наприклад, середнього значення та середньоквадратичного відхилення). На основі цих даних, на смак дослідника, вибирається математична модель об'єкта – його функція розподілу. А далі на основі аналізу

функції розподілу розраховується ймовірність отримати в експерименті те чи інше значення параметра.

Велика подібність у багатьох випадках експериментальних кривих до гауссового розподілу, що задовольняє експериментаторів, математична розвинутість методу та традиція, уведена в нормативні документи, призвели до того, що в переважній більшості випадків (включаючи вимоги нормативних документів [3]) в якості математичної моделі випадкових сигналів вибирається гауссовий (нормальний) розподіл. Однак існує багато як теоретичних [4, 5], так і експериментальних [6, 7] посилок для того, щоб вважати, що гауссовий розподіл у більшості випадків є неадекватною моделлю результатів вимірювань. Усе це веде до появи паліативних підходів, коли, розуміючи неправильність гауссової моделі по суті, дослідники доводять, що сама по собі формула в межах прийнятної точності адекватно описує експеримент [8], або аналізуються цензуровані вибірки.

Альтернативою описаній ситуації є розвиток підходів по обробці експериментальних даних без опори на функції розподілу [9]. Більше того, розроблено теорію аналізу довгих рядів даних, основою якого є повна відмова від ідеї Гаусса, що наявність багатьох випадкових чинників, які впливають на вимірюваний сигнал, призводить до усереднення їхнього сумарного впливу. Це так звана теорія гіпервипадкових явищ [10], основою якої є ідея (аксіома) про те, що якщо в природі й існує рафінований випадковий процес, який описується конкретною функцією розподілу, то завжди при достатньо довгих вимірюваннях знайдуться непередбачувані зовнішні впливи, які при реальних вимірюваннях цю функцію розподілу спотворюють, а вибірка втрачає статистичну стійкість. До таких систем з очевидністю належать, наприклад, ядерний реактор, в якому на спонтанні процеси поділу накладаються ланцюжки вимушеного поділу, або така складна динамічна система, як реакторна установка в цілому з її позитивними й негативними зворотними зв'язками.

У нашій роботі довгі часові ряди вимірювань деяких параметрів обладнання атомної станції аналізуються саме з використанням методів (і, відповідно, формул) теорії гіпервипадкових явищ [10]. При цьому запропоновано деякі нові прийоми для оцінки надійності результатів.

Опис експериментальних даних

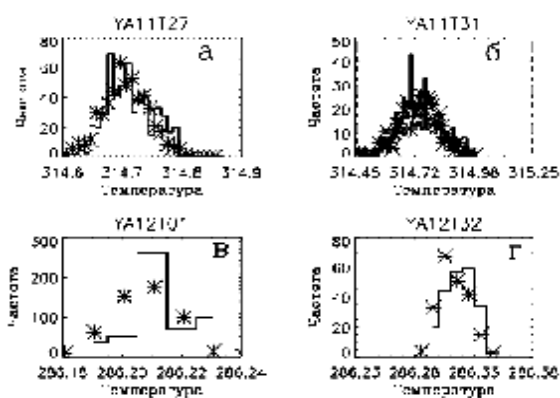


Рис. 1. Гістограми для експериментальних даних (суцільні лінії) і для змодельованих нормальних вибірок з тими ж параметрами відповідно (зірочки).

YA12T32 - температура теплоносія на вході в реактор першої петлі головного циркуляційного контура (засіб вимірювання - термометр опору).

Уявлення про характер даних, які аналізуються, дає рис. 1, на якому представлено гістограми модельних і реальних даних. Модельні дані – це згенеровані комп'ютером нормально розподілені числа з такими ж, як у відповідних їм реальних даних статистичними параметрами - числом елементів вибірки, середнім і дисперсією. Можна бачити, по-перше, що для реальних експериментальних даних гістограми значно більш зубчаті, а, по-друге, для нижніх двох вибірок експериментальні дані взагалі приймають усього по 5 - 6 значень, що навряд чи дозволяє моделювати їх неперервним розподілом.

Для аналізу використовувалась 10-хвилинна вибірка даних вимірювання температур теплоносія в гарячій та холодній частинах першої циркуляційної петлі реакторної установки. Періодичність/інтервал вимірювання становив приблизно 0,5 с.

Для обробки було використано дані таких точок вимірювання (параметри):

YA11T27 – температура теплоносія на виході з реактора першої петлі головного циркуляційного контура (засіб вимірювання – термопара);

YA12T01 – температура теплоносія на вході в реактор першої петлі головного циркуляційного контура (засіб вимірювання - термопара);

YA11T31 - температура теплоносія на виході з реактора першої петлі головного циркуляційного контура (засіб вимірювання - термометр опору);

Гіперстатистичний метод обробки даних

Методи теорії ймовірностей базуються на центральних граничних теоремах, які стверджують, що при збільшенні числа елементів вибірки дисперсія результату прямує до нуля. На відміну від цього гіперстатистична теорія, основується на тому, що існує багато експериментальних прикладів того, що похибка при збільшенні числа вимірювань не перестає зменшуватись [10, 11], аналізує саме поведінку дисперсії середнього значення при збільшенні числа елементів вибірки. І якісною ознакою гіперстатистичних властивостей вибірки є зростання або значно уповільнене зменшення дисперсії середнього при збільшенні розмірів вибірки, що трактується як втрата вибіркою статистичної стійкості. А при втраті даними статистичної стійкості їхні статистичні оцінки стають неспроможними. Для аналізу спроможності даних, виходячи з ідей гіперстатистики, у нашій роботі використовувалися такі формули [10]:

$X = x_1, x_2, \dots, x_n$ – часовий ряд результатів вимірювання – вихідні дані;
накопичуване середнє вихідного ряду даних

$$Y_N = \frac{1}{n} \overset{\circ}{\mathbf{a}}_{i=1}^n x_i (n = \overline{1, N}); \quad (1)$$

накопичуване середнє середнього вихідного ряду даних

$$\overline{m}_{Y_N} = \frac{1}{N} \overset{\circ}{\mathbf{a}}_{n=1}^N Y_n; \quad (2)$$

накопичувана дисперсія вихідного ряду даних

$$D_x = \frac{1}{n-1} \overset{\circ}{\mathbf{a}}_{i=1}^n (x_i - \overline{m}_{Y_N})^2; \quad (3)$$

середня дисперсія вихідного ряду даних

$$D_y = \frac{1}{N^2} \overset{\circ}{\mathbf{a}}_{i=1}^N D_x; \quad (4)$$

незміщена дисперсія флуктуації накопиченого середнього

$$\overline{D}_{Y_N} = \frac{1}{N-1} \overset{\circ}{\mathbf{a}}_{n=1}^N (Y_n - \overline{m}_{Y_N})^2. \quad (5)$$

Зміна з часом величини \overline{D}_{Y_N} і є предметом подальшого аналізу.

У теорії [10] вводяться також величини, які є кількісною мірою гіперстатистичних властивостей, а саме статистичної нестійкості ряду даних:

коефіцієнт γ_N , який характеризує абсолютний рівень статистичної нестійкості

$$\gamma_N = \frac{M[\overline{D}_{Y_N}]}{N D_{Y_N}}, \quad (6)$$

де $M[*]$ - оператор математичного очікування;

коефіцієнт μ_N , який пов'язаний з параметром γ_N і характеризує співвідношення між складовими вибірки, які можна статистично прогнозувати (які описуються певною функцією розподілу), і ефектами непередбачуваних впливів, які не можна статистично прогнозувати (які не описуються певною функцією розподілу):

$$\mu_N = \sqrt{\frac{\gamma_N}{1 + \gamma_N}}. \quad (7)$$

Щоб мати можливість порівнювати різні вибірки між собою, необхідно ввести одиницю статистичної нестійкості.

Для коефіцієнта γ_N в якості одиниці вимірювання статистичної нестійкості пропонується величина γ_{0N} , яка відповідає некорельованому ряду відліків із постійною дисперсією $D_{x_n} = D_x$ і нульовим математичним очікуванням при фіксованому значенні N . Коефіцієнт γ_{0N} розраховується аналітично:

$$\gamma_{0N} = \frac{N+1}{(N-1)N} C_N - \frac{2}{N-1}, \quad (8)$$

$$\text{де } C_N = \sum_{n=1}^N \frac{1}{n}$$

Використовуючи одиницю вимірювань γ_{0N} , вводиться відносна величина

$$h_N = \frac{\gamma_N}{\gamma_{0N}}, \quad (9)$$

це коефіцієнт, який характеризує абсолютний рівень статистичної нестійкості в одиницях γ_{0N} .

Відносний рівень нестійкості μ_N в одиницях статистичної нестійкості можна охарактеризувати величиною

$$L_N = \frac{\gamma_N - \gamma_{0N}}{\gamma_N} = \frac{h_N - 1}{h_N}, \quad (10)$$

він являє собою відношення коефіцієнта статистичної нестійкості, розрахованого для непрогнозованої частини розглянутого процесу, до коефіцієнта статистичної нестійкості всього процесу. Границі вимірювань параметра $h_N - (0, \infty)$, а параметра $L_N - (-\infty, 1]$.

Ці коефіцієнти є безрозмірними величинами.

Хоча описані вище коефіцієнти введені в теорії [10] досить математично строго, проте при погляді на графічні результати аналізу (див. нижче) виникає запитання, чи не можна було б отримати такий же результат для випадкового ряду? Для відповіді на це запитання у нашій роботі вводяться два якісних способи оцінювання відмінності аналізованого ряду від випадкового. У першому способі багато разів генерується комп'ютером ряд випадкових нормально розподілених чисел з тими ж значеннями середнього, дисперсії та кількості елементів, що й в експериментального. Гауссовий ряд вибрано з тих же причин, що й завжди: на рис. 1 видно, що дані мають дзвоноподібний розподіл і в найпростішому варіанті можуть моделюватися функціями, які мають подібний вигляд. Цей ряд пропускається через ті ж програми гіперстатистичної обробки. Таким чином ми можемо оцінити відмінність наших результатів від випадкового ряду з нормальним розподілом. Ця процедура повторюється багато разів. Таким чином, після нанесення всіх результатів на один графік, одержимо зону можливих варіантів для випадкових чисел.

Другий підхід базується на необхідності відмовитись при аналізі від використання даних, породжених невідповідними реальності модельними функціями розподілу, тобто необхідно аналізувати лише реальні дані. Для цього використовується така ідея. Якщо у відповідності до гіпотези гіперстатистичного устрою нашого світу [10], за яким реальні явища є сумою багатьох процесів, а відповідно результати реальних вимірювань є сумою даних з різними статистичними характеристиками, включаючи поодинокі й залежні впливи, то можна думати, що отриманий експериментальний зовні випадковий ряд має деякі внутрішні закономірності. У цьому випадку перестановка місцями елементів вибірки випадковим способом може привести до зникнення цих закономірностей, що у свою чергу приведе до зміни величини введених вище гіперстатистичних коефіцієнтів. Обробка вибірки з переставленими місцями елементами використаним у роботі методом гіперстатистичного аналізу, повторення цієї процедури багато разів і нанесення результатів на один графік дасть, як і в першому підході, зону величин гіперстатистичних коефіцієнтів, яка буде рівнем фону або шуму для даного методу. Зауважимо, що на відміну від першого підходу до визначення фонові чутливості методу на основі аналізу випадкових рядів, у другому підході в результаті багаторазових перестановок може реалізуватись ситуація створення ряду із ще більше упорядкованою структурою. Число таких упорядкованих реалізацій дає ймовірність того, що експериментальний ряд є випадковим.

Результати аналізу

Для ретельної демонстрації проведеного аналізу було використано набір даних вимірювання температури першої петлі головного циркуляційного контура (УА11Т31). Результати представлено на рис. 2 та 3. На рис. 2, а показано дані, що підлягають аналізу: послідовний ряд значень температури

ри – параметра, який досліджується; середня лінія – накопичене середнє значення температури. Не-великі флуктуації температури зовні виглядають випадковими.

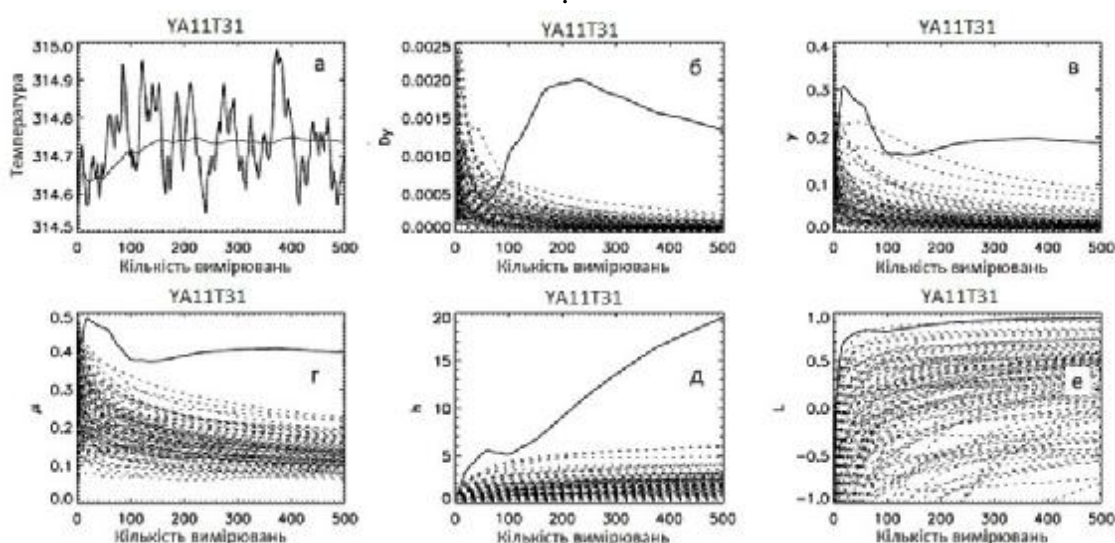


Рис. 2. Гіперстатистичний аналіз регулярних вимірювань температури теплоносія на виході з реактора першої головної циркуляційної петлі (YA11T31). Суцільні лінії – експериментальні дані, пунктир – результати комп'ютерного моделювання: *a* – часовий ряд вимірювань із показаним накопиченим середнім значенням; *b* – дисперсія накопиченого середнього; *c, d, e* – зміна в часі параметрів g, μ, h та L відповідно (пояснення в тексті). Модельні дані – аналіз рядів псевдовипадкових чисел.

На рис. 2, *b* показано хід дисперсії накопиченого середнього значення температури. Відповідно до перевіряємої гіпотези про гіперстатистичність нашої вибірки дисперсія середнього не спадає до нуля, на відміну від такої для модельних даних. Крім того, починаючи з деякого розміру вибірки (~100, 150 елементів) експериментальні значення лежать помітно вище модельних (на рисунки нанесено близько 100 реалізацій).

Ще більш помітно відмінність експериментальних даних від модельних випадкових проявляється для коефіцієнтів, що характеризують гіперстатистичність вибірки (див. рис. 2, *c - e*). Серед них

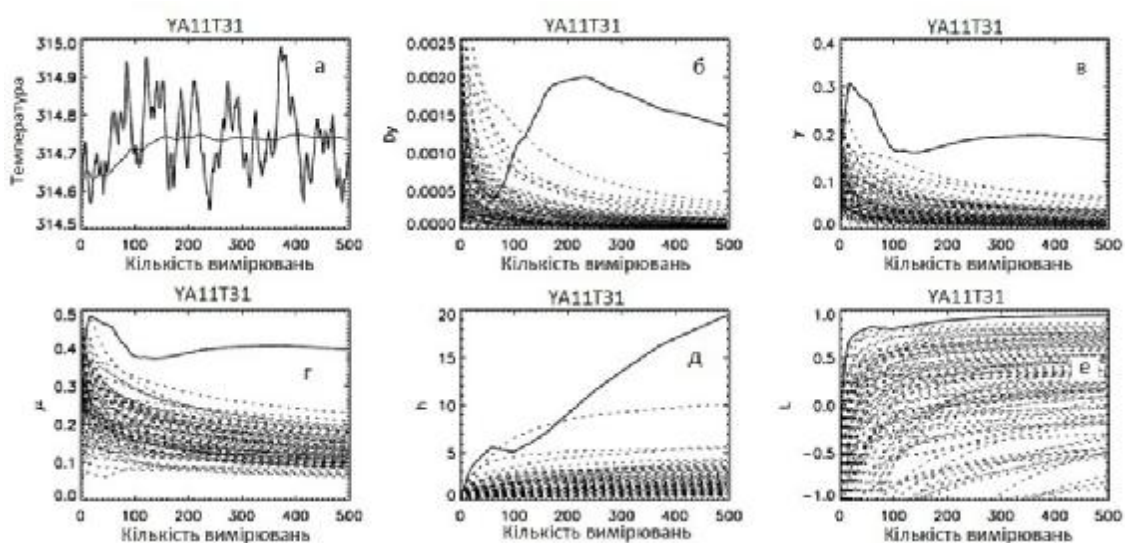


Рис. 3. Те ж, що й на рис. 2, але моделювання фонових значень (пунктир) виконано перемішуванням експериментальних даних (permutation test).

найбільш яскраво демонструє гіперстатистичність вибірки коефіцієнт h_N : його хід із зростанням числа елементів вибірки якісно відрізняється (зростає) від ходу для випадкових чисел. Нагадаємо, що коефіцієнт h_N характеризує абсолютний рівень статистичної нестійкості в одиницях γ_{ON} . Із рис. 2, δ очевидно, що статистична стійкість даних з ростом вибірки зменшується.

На рис. 3 продемонстровано ті ж самі експериментальні дані, але в якості модельних вибірок використано саму експериментальну вибірку з переставленими місцями елементами. Хоча можна дискутувати з приводу недоліків і переваг кожного з підходів до вибору модельних даних, якісно відповідь на поставлене запитання в обох випадках залишається незмінною: поведінка експериментальних даних істотно відрізняється від поведінки модельних (тобто дійсно випадкових) даних.

На рис. 4 показано результати обробки всіх чотирьох наборів даних. Нагадаємо, що результати аналізу виражено в тих самих одиницях, тому їх можна порівнювати між собою за абсолютною величиною. З цих рисунків видно, що дані для холодної і гарячої ниток мають принципово різні статистичні властивості.

Обговорення та висновки

1. Результати обробки експериментальних даних недвозначно вказують на те, що на даних інтервалах спостережень ряди вимірювань температур YA11T27 та YA11T31 не мають статистичної стійкості: флуктуації їхніх середніх значень, тобто їхні дисперсії, зростають із збільшенням розміру вибірки – із зростанням тривалості вимірювань. Це означає необхідність спеціального обґрунтування як розміру довжини ряду при оцінці статистичного параметра, який використовується для контролю (наприклад, середньоквадратичного відхилення), так і моменту його початку. З цього випливає у свою чергу, що проаналізовані дані не є випадковими в класичному визначенні цієї характеристики.

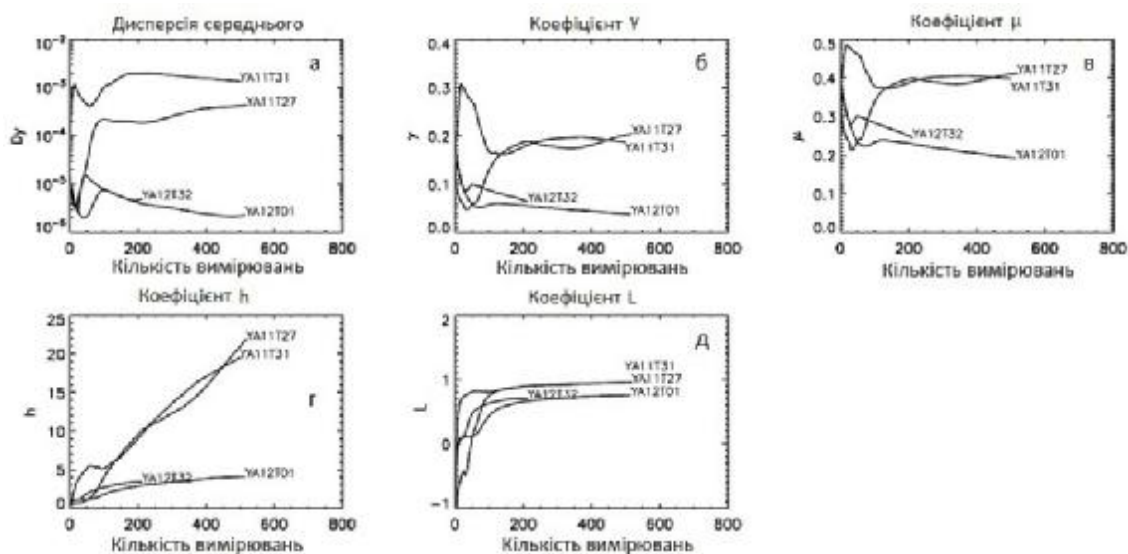


Рис. 4. Порівняльний аналіз коефіцієнтів гіперстатистичного аналізу регулярних вимірювань температури в різних точках спостережень. Видно, що за статистичними властивостями флуктуації температури розділяються на дві групи – для холодної і гарячої теплоносія.

2. Як середнє значення, так і дисперсія починають більш-менш стабільно себе поводити, починаючи з певного розміру вибірки (> 100 , 150 елементів). Тобто за короткими вибірками робити статистичні оцінки для проаналізованих даних не коректно.

3. Аналіз показав, що статистичні властивості даних для холодної і гарячої ниток принципово відрізняються: дані від гарячої нитки не мають статистичної стійкості.

4. Існує ряд причин, основною з яких є скінченність числа елементів вибірки, з яких не досягаються асимптотичні значення параметрів вибірок. Це означає, що результати для різних вибірок з тієї самої генеральної сукупності будуть дещо відрізнятися між собою. Щоб знайти межі таких відмінностей, запропоновано спосіб, оснований на методах Монте-Карло: багаторазова генерація випадкових вибірок з однаковими параметрами і порівняння їх із реальними експериментальними даними.

Спосіб є наочним і дає недвозначну відповідь на запитання про можливу випадковість отриманих результатів.

5. Наведені на рис. 3 результати моделювання методом перестановок місцями елементів експериментальної вибірки свідчать, що одержати експериментальну криву випадковим шляхом не вдається. Це само по собі є свідченням того, що елементи в експериментальній вибірці розташовані не випадково і є незалежним (на додаток до аналізу на гіпервипадковість) свідченням про те, що вибірка має внутрішню структуру, яка веде до втрати статистичної стійкості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Турбаевский В. В. Совершенствование системы контрольных уровней радиационных параметров на атомных электростанциях // Ядерная та радіаційна безпека. – 2012. – № 1(53). – С. 25 – 29.
2. Жиравок А. И. Нечеткие множества и их использование для принятия решений // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 2. – С. 109 – 115.
3. МИ 1317-86 Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
4. Тутубалин В.Н. Вероятность, компьютеры и обработка результатов эксперимента // Успехи физических наук. – 1993. – Т. 163, № 7. – С. 93 – 109.
5. Breiman Leo. Statistical modeling: the two cultures // Statistical science. – 2001. – Vol. 16, No. 3. – P. 199 – 231.
6. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
7. Дубровский С. А., Толстова Т. А. О ненормальности нормального закона распределения (вообще и в применении к металлургии в частности) // Всерос. науч.-техн. конф. «Современная металлургия начала нового тысячелетия». 29 октября – 2 ноября 2001, г. Липецк. Доклад № 12-2.
8. Котеленец В. Г. Диагностирование элементов 1-го контура ядерной энергетической установки с реактором типа ВВЭР по теплогидравлическим параметрам: автореф. дис. ... канд. техн. наук / НПО ЦКТИ. - Санкт-Петербург, 1992.
9. Simon J. L. Resampling: The new statistics. – Duxbury Press, 1993. <http://www.resample.com/content/text/index.shtml>
10. Горбань И. И. Статистическая неустойчивость физических процессов // Радиоэлектроника. – 2011. – Т. 54, № 9. – С. 40 - 52.
11. Ельясберг П. Е. Измерительная информация: сколько ее нужно? Как ее обрабатывать? - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 208 с.

А. Д. Скорбун¹, С. Н. Стадник¹, В. Г. Котеленец²

¹Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

²Обособленное подразделение «Южно-Украинская АЭС» Государственного предприятия «НАЭК «Энергоатом», Южноукраинск, Украина

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ШУМОВ РЕАКТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГИПЕРСЛУЧАЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Проанализированы статистические свойства длинных временных рядов данных, которые получают в процессе непрерывного контроля за состоянием оборудования атомной станции. В данном случае были проведены сбор и обработка результатов измерений температуры теплоносителя на выходе из реактора первой петли главного циркуляционного контура, измеренной с помощью термометра сопротивления. С использованием гиперстатистического анализа показано, что эти данные имеют явно выраженные признаки отсутствия статистической устойчивости, что требует пересмотра существующих подходов к анализу таких данных.

Ключевые слова: атомные станции, контроль параметров, гиперстатистический анализ.

A. D. Skorbun¹, S. M. Stadnyk¹, V. G. Kotelenets²

¹Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

²Separated department «South-Ukraine NPP» of the state enterprise «NNEGC «Energoatom», Mikolaiv oblast, Yuzhnouraink, Ukraine

STATISTICAL ANALYSIS OF NOISES OF REACTOR EQUIPMENT ON THE BASE OF HYPERRANDOM PHENOMENA THEORY

Statistical properties of long time sets of data, which were obtained during continuous monitoring of nuclear power plant equipment state, have been analyzed. In our case the collection and treatment of the results of measuring of the coolant temperature at the outlet from the reactor the first loop of the main circulation contour. The measurements

were carried out with a resistance thermometer. Using hyperstatistical analysis it was shown that the data have clearly marked signs of lack of statistical stability, that requires revising of approaches to the analysis of such data.

Keywords: nuclear power plants, parameters control, hyperstatistical analysis.

REFERENCES

1. *Turbaevskii V. V.* Development of a system of radiation parameters level control for nuclear power plants // *Yaderna ta radiatsiina bezpeka*. – 2012. No. 1 (53). – P. 25 – 29. (Rus)
2. *Zhirabok A. I.* Fuzzy sets and their application to decision making // *Sorosovskij obrazovatelnyj zhurnal*. - 2001. – Vol. 7, No. 2. – P. 109 – 115. (Rus)
3. *MI 1317-86* Results and characteristics of measurement errors. Forms of representation. Ways to use when testing product samples and control of their parameters. (Rus)
4. *Tutubalin V. N.* Probability, computers, and processing of experimental data // *Uspehi fizicheskikh nauk*. – 1993. – T. 163, No 7. – P. 93 – 109. (Rus)
5. *Breiman Leo.* Statistical modeling: the two cultures // *Statistical science*. – 2001. – Vol. 16, No. 3. - P. 199 – 231.
6. *Novitskij P. V., Zograf I. A.* Evaluation of errors of measurement results – Leningrad: Energoatomizdat, 1985. – 248 p. (Rus)
7. *Dubrovskij S. A., Tolstova T. A.* About abnormality of the normal distribution (in general and in the application to the steel industry in particular) // All-Russian Scientific and Technical Conference «Modern metallurgy beginning of the new millennium». 29 october – 2 november 2001, Lipetsk. Report No. 12-2. (Rus)
8. *Kotelenets V. G.* Diagnosis of elements of the 1st loop of the nuclear power plants with WWER on the thermal-hydraulic parameters // Abstract of a thesis for candidate of technical sciences // NPO CKTI. – St. Petersburg, 1992. (Rus)
9. *Simon J. L.* Resampling: The new statistics. Duxbury Press, 1993. <http://www.resample.com/content/text/index.shtml>
10. *Gorban I. I.* Statistical instability of physical processes // *Radioelektronika*. – 2011. –T. 54, No. 9. – P. 40 - 52. (Rus)
11. *Elyasberg P. E.* Measuring information: how much it should be? How to handle it? – Moskwa: NAUKA. Glavn. red. fiz.-mat. literatury. 1983. – 208 p. (Rus)

Надійшла 13.10.2015

Received 13.10.2015