Нормативне забезпечення та оцінка відповідності вимірювальних інформаційних каналів

Regulatory Provision and Assessment of Conformity of Measuring Information Channels

Сергій Янушкевич¹, Олександр Полярус¹, Янушкевич Дмитро²

Serhii Yanushkevych, Oleksandr Poliarus, Dmytro Yanushkevych

¹ *Kharkiv National Automobile and Highway University*

25 Yaroslava Mudrogo street, Kharkiv, 61002, Ukraine

² *Kyiv National University of Trade and Economics*

8 Otakara Yarosha provulok, Kharkiv, 61045, Ukraine

DOI: [10.22178/pos.61-2](https://doi.org/10.22178/pos.61-2)

LCC Subject Category:
[QA1-43](#)

Received 23.06.2020

Accepted 14.07.2020

Published online 31.08.2020

Corresponding Author:
Serhii Yanushkevych
ianushkevychsergii@yandex.ua

© 2020 The Authors. This
article is licensed under a
Creative Commons Attribution
4.0 License

Анотація. У статті досліджено проблеми нормативного забезпечення та оцінки відповідності вимірювальних інформаційних каналів тиску у складних технічних об'єктах шляхом статистичної реалізації вимірювальної системи із застосуванням моделі Гаммерштейна. Запропонована модель віртуально розділена з нелінійністю системи та враховує її інерційність. Розроблено пропозиції введення в обіг (експлуатацію) вимірювальних інформаційних каналів у відповідності з вимогами Директив ЄС та нормативно-правових актів України, які передбачають розробку нормативного забезпечення (гармонізованих стандартів, технічної документації та технічних специфікацій) та застосування процедур оцінки відповідності, які враховують вимоги до вимірювальних каналів тиску та специфіку їх застосування.

Ключові слова: нормативне забезпечення; оцінка відповідності; лінеаризація; вимірювальний канал.

Abstract. The article studies the problems of normative support and conformity assessment of measuring information channels of pressure in complex technical objects by statistical implementation of a measuring system, using the Hammerstein model. The suggested model is virtually separated from the nonlinearity of the system and takes into account its inertia. Proposals for the introduction (circulation) of measuring information channels in accordance with the requirements of the EU Directives and regulations of Ukraine, which provide for the development of regulations (harmonized standards, technical documentation and technical specifications) and the application of conformity assessment procedures that take into account the requirements for measuring pressure channels and the specifics of their application have been worked out.

Keywords: regulatory support; conformity assessment; linearization; measuring channel.

ВСТУП

Питання достовірного вимірювання тиску у складних технічних об'єктах (наприклад – атомні та теплові електростанції) в Україні та світі щороку стають більш актуальним завданням. Метрологія та метрологічна діяльність у цій сфері завжди була і є державною справою. Вона базується на 5 основах, а

саме: законодавчій, технічній, організаційній, нормативній та науковій.

Підвищення точності вимірювання тиску досягається покращенням метрологічних та технічних характеристик, засобів вимірювальної техніки та удосконаленням метрологічного забезпечення, в першу чергу його нормативної та технічної основи.

Відповідно до «Загальних положень забезпечення безпеки атомних станцій» для кожного енергоблоку АЕС необхідно передбачити системи контролю, які повинні [1]:

- забезпечувати достовірною інформацією про параметри, що характеризують роботу реакторної установки і допоміжного обладнання у всіх можливих діапазонах зміни умов нормальної експлуатації;
- забезпечувати дистанційне, автоматизоване і / або автоматичне керування системами нормальної експлуатації, а також діагностику технічного стану систем і обладнання;
- забезпечувати встановлення фактичного алгоритму роботи систем безпеки і елементів, важливих для безпеки;
- відповідати встановленим показниками якості, надійності і метрологічних характеристик.

Складні технічні об'єкти, які застосовуються для контролю роботи своїх підсистем містять вимірювальні інформаційні канали тиску (далі – вимірювальні канали тиску). Вимірювальний канал тиску (ВКТ) містить датчики тиску і вимірювальну лінію (трубу), яка передає тиск від технічного об'єкта до датчиків. Перед вимірюванням система розглядається як лінійна інерційна система.

Як правило, розробники забезпечують передачу вхідної дії (сигналу) на вихід системи лінійною частиною функції перетворення датчика тиску. Крім того, на основі апріорної інформації про ширину спектру випадкових вхідних дій, датчик тиску вибирається з відповідною смугою пропускання або постійною часу. Під час роботи вимірювальна лінія забруднюється. Рідина в вимірювальній лінії після потрапляння в неї бульбашок повітря може бути стиснена, а модель каналу вимірювального тиску стає нелінійною. Це неминуче призводить до збільшення невизначеності вимірювань, якщо не враховувати цей факт перед вимірюванням. Крім того, постійна часу τ_0 може змінюватися, що призводить до невідповідності смуги пропускання каналу і ширини вхідного спектру. Це також веде до збільшення числа частотних компонентів спектру за рахунок нелінійності функції перетворення каналу. Тому для забезпечення точності вимірювальної інформації в вимірювальних каналах необхідно періодично перевіряти стан каналу, його постійну часу і функцію перетворення. При наявності явних відхилень τ_0 і

форми функції перетворення виникає дилема: зупинка технічного об'єкта з подальшим обслуговуванням і ремонтом вимірювального каналу або тимчасовим продовженням його роботи без істотного зниження точності вимірювальної інформації. Звичайно, другий варіант більш економічно вигідний. Це можливо завдяки математичній моделі вимірювального каналу, яку можна отримати шляхом ідентифікації каналу.

Необхідність створення будь-якого ВКТ повинна диктуватися актуальними потребами, економічною доцільністю або впровадженням новітніх технологій, які суттєво покращують характеристики таких ВКТ. Введення в експлуатацію ВКТ неможливо зробити без розробки відповідного нормативного забезпечення та процедур оцінки відповідності, які визначені Директивами ЄС, Законами України (ЗУ) та технічними регламентами України. Директиви ЄС та технічні регламенти України містять процедури оцінки відповідності щодо їх введення в експлуатацію та передбачають розробку нормативного забезпечення (гармонізованих стандартів та технічних специфікацій), які враховують вимоги до вимірювальних каналів тиску.

Питання щодо дослідження вимірювання тиску у складних технічних об'єктах представлено у багатьох роботах.

Міжнародний і вітчизняний досвід в області організації і застосування засобів і методів експлуатаційного контролю атомних електростанцій, а також основні підходи, принципи і критерії при оптимізації систем контролю атомних електростанцій з водо-водяними реакторами надані у монографії В. І. Скалозубова [2]. У роботі представлені методи щодо оптимізації засобів експлуатаційного контролю теплообмінних труб парогенераторів. Під експлуатаційним контролем на АЕС мається на увазі безперервне або періодичне застосування методів діагностики, технічних засобів і вимірювальних систем для: оцінки технічного стану елементів обладнання або експлуатаційних систем / елементів систем на відповідність встановленим проектним і нормативним вимогам.

У статті [3] було проведено дослідження нормативно-законодавчих та методологічних засад оцінювання відповідності засобів вимірювання речовин у відповідності з Європейськими нормами, практиками.

Проте, модель реального вимірювального каналу тиску на об'єктах з підвищеним ризиком є нелінійною інерційною [4]. Розробка цієї моделі, а також моделей елементів ВКТ являє собою складне завдання, оскільки в математичному вигляді треба поєднати одночасно нелінійність та інерційність каналу. Точне рішення цієї задачі можливо при використанні функціональних рядів Вольтерра [5], але, використання цього методу на практиці суттєво обмежене внаслідок складності застосування і появи розбіжності ряду [6].

Одним з альтернативних методів розрахунку нелінійних інерційних систем є метод, що штучно розділяє функції нелінійності та інерційності ВКТ в двох уявних блоках – лінійного інерційного та нелінійного неінерційного.

Першим блоком може бути, наприклад, нелінійна неінерційна вимірювальна лінія, а другим – лінійний інерційний датчик тиску. Такою є модель Гаммерштейна [7], яку зображено на рисунку 1.

На вхід цього блоку поступає випадковий процес тиску $\xi(t)$, реалізація якого $x(t)$ є невідомою. На виході ВКТ вимірюється випадковий процес тиску $\zeta(t)$ у вигляді напруги. Реалізація цього процесу є залежність $y(t)$, яка вимірюється засобом вимірювальної техніки. На основі цієї реалізації необхідно отримати математичну модель ВКТ.

Рисунок 1 – Модель вимірювального каналу тиску

Розділення каналу на два уявних блоки дає можливість скористатись методом наближеного розв'язання оберненої задачі вимірювань для визначення реалізації $z(t)$ випадкового процесу $\eta(t)$, що існує на вході лінійного інерційного блоку [8]. Використання нелінійних блоків в моделях вимірювальних систем ускладнює розв'язання практичних задач. В нелінійних інерційних системах на цей час нормативні документи процедур оцінки відповідності з вимогами Директив ЄС, що передбачають розробку нормативного забезпечення

(гармонізованих стандартів, технічної документації, технічних специфікацій тощо), які враховують вимоги до вимірювальних каналів тиску не впроваджені.

Метою статті є розробка вимог щодо нормативного забезпечення та процедур оцінки відповідності вимірювальних інформаційних каналів тиску у складних технічних об'єктах шляхом статистичної реалізації вимірювальної системи із застосуванням моделі Гаммерштейна.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В першу чергу, розглянемо метод розв'язання задачі лінеаризації вимірювальної системи при відомій реалізації вхідного процесу. Методи розв'язання задачі лінеаризації функцій перетворення нелінійних інерційних систем є відомими [9]. При застосуванні моделі Гаммерштейна вони можуть використовуватись для нелінійного неінерційного блоку. Для цього потрібно знати вхідну $x(t)$ та вихідну $z(t)$ реалізації відповідних випадкових процесів. Сигнал $x(t)$ може бути тестовим, а сигнал $z(t)$ треба визначати шляхом розв'язання оберненої задачі вимірювань при відомій реалізації $y(t)$.

Отже, будемо вважати, що реалізація $z(t)$ випадкового процесу $\eta(t)$ вже визначена з прийнятною точністю. Далі скористаємось відомим методом статистичної лінеаризації, який складається у визначенні такої лінійної функції перетворення нелінійного неінерційного блоку (рисунки 1), яка б найкращим чином повинна лінеаризувати нелінійну функцію перетворення.

Між випадковими процесами $\xi(t)$ та $\eta(t)$ існує невідомий нелінійний зв'язок виду $\eta(t) = f(\xi(t))$. Вважаємо, що такий же зв'язок існує між їх реалізаціями, тобто $z(t) = f(x(t))$.

Критерієм близькості нелінійної та лінійної передатних функцій першого блоку вважаємо, як і в [9], критерій мінімуму середнього квадрату похибки (СКХ). Для задачі, що розглядається, цей критерій в математичному вигляді доцільно представити таким чином:

$$E^2 = M \left\{ (\eta(t) - \hat{\eta}(t))^2 \right\}, \quad (1)$$

де M – знак математичного сподівання, а $\hat{\eta}(t)$ – лінійна функція, яка найкращим чином апроксимує нелінійну функцію $\eta(t) = f(\xi(t))$. В загальному вигляді для будь-якого моменту часу

$$\hat{\eta} = k_0 + k \cdot \xi, \quad (2)$$

де k_0, k – невідомі розмірні коефіцієнти, які треба визначити.

Тоді

$$\begin{aligned} E^2 &= M\{(\eta - \hat{\eta})^2\} = M(\eta^2) + M(\hat{\eta}^2) - 2M(\eta \hat{\eta}) = \\ &= M(\eta^2) - 2M[\eta \cdot (k_0 + k\xi)] + M\{(k_0 + k\xi)^2\} = \\ &= M(\eta^2) - 2k_0M(\eta) - 2kM(\eta \cdot \xi) + M(k_0^2) + \\ &\quad + 2kk_0M(\xi) + k^2M(\xi^2). \end{aligned} \quad (3)$$

Для визначення коефіцієнтів k_0 і k , при якій досягається мінімум СКХ E^2 , візьмемо похідні від E^2 по k і k_0 та прирівняємо їх до нуля

$$\begin{aligned} \frac{dE^2}{dk} &= 2k_0 \cdot M(\xi) - 2M(\eta \cdot \xi) + 2k \cdot M(\xi^2), \\ \frac{dE^2}{dk_0} &= -2M(\eta) - 2kM(\xi) + 2k_0. \end{aligned} \quad (4)$$

З системи рівнянь (4) визначимо коефіцієнти k та k_0 :

$$k = \frac{M(\eta \cdot \xi) - m_\eta \cdot m_\xi}{M(\xi^2) - m_\xi^2} = \frac{M(\eta \cdot \xi) - m_\eta \cdot m_\xi}{D_\xi}, \quad (5)$$

$$k_0 = m_\eta - k \cdot m_\xi. \quad (6)$$

В формулах (5), (6) позначено: $D_\xi = M(\xi^2) - m_\xi^2$ – дисперсія вхідного процесу $\xi(t)$, $m_\xi = M(\xi)$, $m_\eta = M(\eta)$ – математичні сподівання випадкових процесів $\xi(t)$ та $\eta(t)$.

Вважаємо спочатку, що вхідна реалізація або тестовий сигнал $\xi(t)$ є відомими. Приклад реалізації такого сигналу зображений на рисунку 2.

Рисунок 2 – Приклад реалізації вхідного сигналу $x(t)$

Для різних видів реалізацій $\xi(t)$ та $\eta(t)$ треба провести статистичну обробку і отримати коефіцієнти k та k_0 з виразів (5), (6). Тоді лінійна функція перетворення ВКТ, яка замінила нелінійну функцію, описується формулою

$$z_{lin}(t) = k_0 + k \cdot x(t). \quad (7)$$

Результати моделювання. Статистична обробка проводилась по 100 реалізаціям випадкових процесів $\xi(t)$, $\eta(t)$, що створило умови для застосування формул (5), (6), (7). Графіки лінеаризованої функції (штрихова лінія), а також нелінійної функції (суцільна лінія) перетворення каналу приведені на рисунку 3.

Рисунок 3 – Графік нелінійної та функції перетворення

На рисунку 4 зображені функція $z(t)$, що отримана на основі нелінійного перетворення $z(t) = f(x(t))$, залежність $z_{lin}(t)$, що обчислена з використанням лінійної функції перетворення, а також функція $z_{reco}(t)$, яка є результатом розв'язання оберненої задачі вимірювань.

Рисунок 4 – Приклад реалізацій вихідних сигналів нелінійного блоку

де: $z(t)$ – експериментальний сигнал (суцільна лінія);

$z_{reco}(t)$ – сигнал, що отриманий в результаті розв'язання оберненої задачі вимірювань (штрихова лінія);

$z_{lin}(t)$ – сигнал, який обчислений з допомогою лінійної функції перетворення каналу (штрих-пунктирна лінія).

Лінеаризовану функцію перетворення ВКТ необхідно отримувати по сукупності пар реалізацій $\{x(t), z(t)\}$, але при відсутності віртуального сигналу $z(t)$ ми вимушені використовувати сукупність пар $\{x(t), z_{reco}(t)\}$ і внаслідок відмінностей між $z_{reco}(t)$ та $z(t)$, обумовленими неповними відомостями про імпульсну характеристику лінійного інерційного блоку та похибками роботи генетичного алгоритму при розв'язанні оберненої задачі [5], виникають похибки знаходження коефіцієнтів k та k_0 , а значить, і лінеаризованої функції перетворення. З використанням цієї функції сигнал на виході ВКТ:

$$\begin{aligned} y_{lin}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} z_{lin}(\tau) h(t-\tau) d\tau = \\ &= k_0 \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau) d\tau + k \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (8)$$

Порівняємо $y_{lin}(t)$ та реальний сигнал $y(t)$ на одному графіку (рисунок 5).

Рисунок 5 – Приклад реалізації вихідного сигналу (суцільна лінія), та вихідного сигналу, розрахованого з використанням лінеаризованої функції перетворення каналу (штрихова лінія)

Як видно з рисунку 5, реалізація вихідного сигналу ВКТ $y_{lin}(t)$, що розрахована з використанням лінеаризованої функції перетворення каналу, не співпадає з реальною реалізацією сигналу $y(t)$ на інтервалі спостереження, хоча середні значення візуально є близькими.

Таким чином, шляхом статистичної лінеаризації модель нелінійного інерційного ВКТ можливо звести до моделі лінійного інерційного ВКТ, тобто до такої моделі, що є можливою для інженерних досліджень та практичного впровадження [9].

Процедура оцінки відповідності. У відповідності з вимогами Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», вимірювальні інформаційні канали тиску у складних технічних об'єктах відносяться до сфери дії законодавчо регульованої метрології [10].

Оцінка відповідності законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки здійснюється згідно Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» та у відповідності з вимогам технічних регламентів (ТР) у разі, коли це передбачено відповідними технічними регламентами. Цей закон, який набув чинності з 10.02.2016 р. визначає правові й організаційні засади розроблення, прийняття й застосування технічних регламентів і передбачених ними процедур оцінювання відповідності [11]. Із цього часу законодавство стосовно оцінювання відповідності продукції базується на таких нормативних документах:

- Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 р. № 163 [12];
 - Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 р. № 94 [13];
 - Директива 2014/32/ЄС Європейського парламенту і ради «Про гармонізацію законодавства держав-членів стосовно забезпечення наявності на ринку вимірювальних приладів» від 26.02.2014 р. [14];
 - міжнародних договорах України, згоду на обов'язковість виконання яких надала Верховна Рада України та нормативно-правових актах, що регулюють відносини у цій сфері.
- Процедури оцінювання відповідності, застосування яких передбачено технічними

регламентами для широкого кола засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), що експлуатуються в Україні, реалізовано як відповідні модулі оцінки відповідності, які розроблено й застосовуються на основі принципів, визначених Угодою Світової організації торгівлі (СОТ) про технічні бар'єри у торгівлі, що є додатком до Марракеської угоди про заснування СОТ 1994 року, та затверджених Кабінетом Міністрів України (КМУ) [15].

Узагальнена структура вимог нормативно-правових актів ЄС і послідовність здійснення оцінки відповідності продукції та ЗВТ відповідно до моделі технічного регулювання ЄС наведена на рисунку 6, структура вимог нормативно-правових актів і послідовність здійснення оцінки відповідності ЗВТ в Україні наведена на рисунку 7 [16].

Рисунок 6 – Узагальнена структура вимог нормативно-правових актів ЄС і послідовність здійснення оцінки відповідності ЗВТ у ЄС

Рисунок 7 – Узагальнена структура вимог нормативно-правових актів і послідовність здійснення оцінки відповідності ЗВТ в Україні

Вимірювальні інформаційні канали тиску входять до Переліку засобів вимірювальної техніки, призначених для застосування у сфері законодавчо регульованої метрології, на які поширюється дія Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки та відносяться до групи 2 (Група 2. Автоматизовані системи контролю і обліку енергетичних і матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо) для електронних систем або систем, що містять програмний продукт [13].

Основні етапи процедури оцінки відповідності вимірювальних каналів тиску наведено на рисунку 8.

Суттєві вимоги, яким повинні відповідати ВКТ, встановлені Технічним регламентом законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки [13]. Вимірювальні інформаційні канали тиску, повинні забезпечувати високий рівень метрологічної достовірності та бути сконструйовані і виготовлені з високим рівнем якості в частині вимірювальної технології та захищеності вимірювань та відповідати таким групам вимог:

- допустимі похибки;
- кліматичні умови навколишнього середовища;
- зовнішні механічні умови;
- зовнішні електромагнітні умови;

- інші впливні величини (наприклад: коливання напруги та частоти напруги живлення; електромагнітні поля тощо);
- правила для випробувань і визначення похибок;
- вологість навколишнього середовища;
- відтворюваність та повторюваність результатів вимірювань;

- поріг реагування і чутливість;
- маркування доведення відповідної інформації про ВКТ;
- довговічність, надійність та придатність ВКТ;
- захист від несанкціонованого втручання;
- показання.

Рисунок 8 – Процедури оцінки відповідності вимірювальних каналів тиску

Для вимірювальних інформаційних каналів тиску за рішенням виробника можуть застосовуватись процедури (модулі) оцінки

відповідності F1 або G [13]. Характеристика модулів оцінки відповідності F1 та G наведена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика модулів оцінки відповідності F1 та G

Назва модуля	Обов'язки виробника	Обов'язки призначеного органу
Модуль F1 (відповідність за результатами перевірки ЗВТ)	Виробник: – розробляє технічну документацію; – вживає заходи, необхідні для того, щоб виробництво і контроль за ним забезпечували відповідність ЗВТ вимогам ТР; – зберігає сертифікат відповідності для подання його органам ринкового нагляду; – здійснює статистичну перевірку відповідності; – наносить знак відповідності і додаткове метрологічне маркування; – складає письмову декларацію про відповідність.	Призначений орган: – проводить відповідні дослідження і випробування з метою перевірки відповідності ЗВТ вимогам ТР; – видає сертифікат відповідності стосовно проведених досліджень та випробувань і наносить свій ідентифікаційний номер на кожний перевірений ЗВТ.
Модуль G (відповідність за результатами перевірки кожного окремого ЗВТ)	Виробник: – розробляє технічну документацію; – вживає заходи, необхідні для того, щоб виробництво і контроль за ним забезпечували відповідність ЗВТ вимогам ТР; – зберігає сертифікат відповідності після введення ЗВТ в обіг для подання його органам ринкового нагляду; – здійснює перевірку кожного окремого ЗВТ; – наносить знак відповідності і додаткове метрологічне маркування; – складає письмову декларацію про відповідність.	Призначений орган: – проводить відповідні дослідження і випробування з метою перевірки відповідності ЗВТ вимогам ТР; – видає сертифікат відповідності стосовно проведених досліджень та випробувань і наносить свій ідентифікаційний номер на кожний перевірений ЗВТ.

Дані таблиці 1 показують, що модуль F1 відрізняється від модуля G тільки тим, що згідно модуля F1 здійснюється статистична перевірка відповідності ЗВТ, а згідно модуля G – перевірка кожного окремого ЗВТ.

Для проведення оцінки відповідності ВКТ виробник розробляє технічну документацію, яка повинна відображати конструкцію, процес виробництва та функціонування ВКТ і давати змогу проводити оцінку відповідності ВКТ вимогам Технічного регламенту та бути деталізованою для забезпечення додержання таких вимог [13]:

- визначення метрологічних характеристик ВКТ;
- відтворюваність метрологічних характеристик виготовлених ВКТ;

- цілісність ВКТ.

Крім того, технічна документація повинна містити таку інформацію:

- загальний опис ВКТ;
- ескізний проект і виробничі креслення;
- виробничі операції для виготовлення ВКТ;
- описи електронних приладів та діаграмами передачі логічної та загальної інформації програмного забезпечення;
- описи та пояснення, необхідні для розуміння інформації, необхідної для функціонування ВКТ;
- перелік національних стандартів, що застосовані;
- описи технічних рішень, прийнятих з метою відповідності суттєвим вимогам;

- результати конструкторських розрахунків та досліджень;
- результати випробувань для доведення того, що ВКТ відповідає вимогам Технічного регламенту.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень встановлено, що методи аналізу нелінійних інерційних вимірювальних систем тиску є складними і їх складно реалізовувати на практиці. Перехід до моделей Гаммерштейна спрощує задачу, але не завжди задовольняє потреб практики. Ідеальним варіантом є заміна нелінійного інерційного каналу лінійним інерційним. Для цього застосовується метод статистичної лінеаризації функції перетворення каналу, що розглядається, з врахуванням інерційності системи. Це вимагає інформації про імпульсну характеристику лінійного блоку моделі Гаммерштейна та наближеного розв'язання оберненої задачі вимірювань, яке є однією з головних причин похибок лінійної функції перетворення. Статистична лінеаризація нелінійної функції перетворення нелінійного блоку потребує інформації про реалізацію вхідного випадкового процесу. Шляхом статистичної лінеаризації модель нелінійного інерційного ВКТ можливо звести до моделі лінійного інерційного ВКТ, тобто до такої моделі, що є можливою для інженерних досліджень та практичного впровадження.

Практичне впровадження вимірювальних інформаційних каналів тиску у складних технічних об'єктах потребує розроблення

нормативного забезпечення та процедур оцінки відповідності.

У статті встановлені вимоги нормативно-правових актів та послідовність здійснення оцінки відповідності ЗВТ та ВКТ у ЄС та в Україні. Суттєві вимоги, яким повинні відповідати ВКТ, встановлені Технічним регламентом законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки. Вимірювальні інформаційні канали тиску, повинні забезпечувати високий рівень метрологічної достовірності та бути сконструйовані і виготовлені з високим рівнем якості в частині вимірювальної технології та захищеності вимірювань. Для вимірювальних інформаційних каналів тиску можуть застосовуватись процедури (модулі) оцінки відповідності F1 або G.

Для проведення оцінки відповідності ВКТ виробник розробляє технічну документацію, яка повинна відображати конструкцію, процес виробництва та функціонування ВКТ і давати змогу проводити оцінку відповідності ВКТ вимогам Технічного регламенту та бути деталізованою для забезпечення додержання цих вимог.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку нормативного забезпечення вимірювальних інформаційних каналів тиску у складних технічних об'єктах шляхом статистичної реалізації, які повинні бути гармонізовані з нормативно-правовими актами ЄС (директив ЄС, гармонізованих стандартів, технічних специфікацій тощо).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Zahalni polozhennia zabezpechennia bezpeky atomnykh stantsii [General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants] (Ukraine), 19.11.2007, No 162. Retrieved July 1, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text> (in Ukrainian)
[Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій (Україна), 19.11.2007, № 162. Актуально на 01.07.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-08#Text>].
2. Skalozubov, V. I. (Ed.). (2008). *Razvitie i optimizatsiia sistem kontroliia atomnykh elektrostantsii s VVER* [Development and optimization of control systems for nuclear power plants with VVER]. Chernobyl: Institut problem bezopasnosti AES (in Russian)
[Скалозубов, В. И. (Ред.). (2008). *Развитие и оптимизация систем контроля атомных электростанций с ВВЭР*. Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС].
3. Bolshakov, V., Kosach, N. (2017). *Suchasna metodolohiia otsiniuvannia vidpovidnosti ZVT vytraty* [Modern methodology for assessing the compliance of FTA costs]. *Metrolohiia i prylyady*, 6(68), 19–24 (in Ukrainian)

- [Большаков, В., Косач, Н. (2017). Сучасна методологія оцінювання відповідності ЗБТ витрати. *Метрологія і прилади*, 6(68), 19–24].
4. Poliarus, O., Koval, O., Medvedovska, Ya., Poliakov, Ye., & Yanushkevych, S. (2019). *Identification of a nonlinear inertial measuring pressure channel*. *Ukrainian Metrological Journal*, 1, 63–70.
 5. Raibman, N. S. (Ed.). (1981). *Dispersionnaia identifikatsiia* [Dispersion identification]. Moscow: Nauka (in Russian)
[Райбман, Н. С. (Ред.). (1981). *Дисперсионная идентификация*. Москва: Наука].
 6. Kashiwagi, H., & Rong, L. (2002). *Identification of Volterra Kernels of Nonlinear Van de Vusse Reactor*. *Transactions on Control, Automation, and Systems Engineering*, 4(2), 109–113.
 7. Poliarus, O. V., Brovko, Ya. S., Poliakov, Ye. O., & Yanushkevych, S. D. (2014). *Metrological support of inverse problems in nonlinear inertial measuring channel*. *Ukrainian Metrological Journal*, 4, 23–28.
 8. Poliarus, O. V., & Poliakov, Ye. O. (2014). *Nablyzhene rozv'iazannia obrnenoї zadachi vymiriuvan ta yoho metrolohichne zabezpechennia* [Approximate solution of the inverse measurement problem and its metrological support]. Kharkiv: Lider (in Ukrainian)
[Полярус, О. В., & Поляков, Є. О. (2014). *Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення*. Харків: Лідер].
 9. Poliarus, O. V., Yanushkevych, S. D., & Chmuzh, M. A. (2019). *Statystychna linearyzatsiia inertiinoho vymiriuvального kanalu tysku* [Statistical linearization of inertial pressure measuring channel]. *Tekhnolohyia pryborostroeniia*, 2, 21–23 (in Ukrainian)
[Полярус, О. В., Янушкевич, С. Д., & Чмуж, М. А. (2019). Статистична лінеаризація інерційного вимірювального каналу тиску. *Технология приборостроения*, 2, 21–23].
 10. Pro metrolohiu ta metrolohichnu diialnist [About metrology and metrological activity] (Ukraine), 05.06.2014, No 1314–VII. Retrieved July 1, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text> (in Ukrainian)
[Про метрологію та метрологічну діяльність (Україна), 05.06.2014, № 1314–VII. Актуально на 01.07.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>].
 11. Pro tekhnichni rehlementy ta otsinku vidpovidnosti [About technical regulations and conformity assessment] (Ukraine), 15.01.2015, No 124–VIII. Retrieved July 1, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text> (in Ukrainian)
[Про технічні регламенти та оцінку відповідності (Україна), 15.01.2015, № 124–VIII. Актуально на 01.07.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text>].
 12. Tekhnichni rehlement zasobiv vymiriuvanoi tekhniki [Technical regulations for measuring equipment] (Ukraine), 24.02.2016, No 163. Retrieved July 1, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-%D0%BF#Text> (in Ukrainian)
[Технічний регламент засобів вимірювальної техніки (Україна), 24.02.2016, № 163. Актуально на 01.07.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-%D0%BF#Text>].
 13. Tekhnichni rehlement zakonodavcho rehulovanykh zasobiv vymiriuvanoi tekhniki [Technical regulations of legally regulated measuring instruments] (Ukraine), 13.01.2016, No 94. Retrieved July 1, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text> (in Ukrainian)
[Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки (Україна), 13.01.2016, № 94. Актуально на 01.07.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text>].
 14. The harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of measuring instruments (EU), 26.02.2014, No 2014/32/EU. Retrieved July 1, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0032>
 15. Moduli otsinky vidpovidnosti, yaki vykorystovuiutsia dlia rozroblennia protsedur otsinky vidpovidnosti [Conformity assessment modules used to develop conformity assessment procedures] (Ukraine), 13.01.2016, No 95. Retrieved July 1, 2020, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2016-%D0%BF#Text> (in Ukrainian)
[Модулі оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки

відповідності (Україна), 13.01.2016, № 95. Актуально на 01.07.2020. URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/95-2016-%D0%BF#Text>].

16. Yanushkevych, D. A., & Ivanov, L. S. (2016). *Tekhnichni bar'ieri u mizhnarodnii torhivli* [Technical barriers in international trade]. *Zovnishnia torhivlia: ekonomika, finansy, pravo*, 2(85), 15–30 (in Ukrainian)
[Янушкевич, Д. А., & Іванов, Л. С. (2016). Технічні бар'єри у міжнародній торгівлі. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*, 2(85), 15–30].