

Методологія розроблення нових методів випробувань

А. І. Коробко¹⁾

¹⁾ Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, Україна;

Харківська філія Українського науково-дослідного інституту прогнозування і випробування техніки
і технологій для сільськогосподарського виробництва ім. Л. Погорілого,
вул. Велика Панасівська, 236, 61139, м. Харків, Україна

Article info:

Paper received:

The final version of the paper received:

Paper accepted online:

April 31, 2017

May 13, 2017

May 18, 2017

Correspondent Author's Address:

ak82andrey@gmail.com

У роботі описується методологія щодо нових методів випробувань та формування рішень під час розроблення нових методів випробувань. Основою методології розроблення нових методів випробувань є окремі елементи системного і процесного підходів, що сприяють розробленню ефективної стратегії дослідження об'єкта, вивчення взаємозв'язків і синтезу адекватної моделі методу випробувань. Ефективність розробленого методу випробувань визначається правильністю вибору сукупності концептів та їх взаємозв'язків і взаємовпливів, що можливість вирішити поставлені завдання і досягти мети. Методологія базується на використанні нечітких когнітивних карт і дозволяє описувати складні багатокритеріальні інтелектуальні системи прийняття рішення в умовах ризику під час розроблення нових методів випробувань. Методологія передбачає запис моделі нового методу випробувань кінцевою множиною об'єктів, які є значущими для методу випробувань характеристиками, встановлення між об'єктами причинно-наслідкових зв'язків і встановлення значень показників придатності та спостережності методу і метрологічного допуску на показник. Загальною метою статті є забезпечення якості випробувань шляхом удосконалення методології розроблення методу випробування.

Ключові слова: методологія, метод випробувань, нечітка когнітивна карта, орієнтований граф, модель методу випробувань, теорія обмежень, інформація.

1. ВСТУП

Одним з основних (першочергових) завдань в умовах технічного регулювання є розроблення нових (сучасних) методів випробувань. Ця умова впливає з умов науково-технічного прогресу та сучасного розвитку техніки і засобів контролю її технічного стану. Існуючі методи випробувань є надійними. Проте в деяких випадках застосовувані засоби вимірювальної техніки, випробувальне устаткування і методика випробувань такі, що не відповідають об'єкту випробувань. Тому особливу увагу необхідно приділяти розробленню нових методів і методик, питанням нормування визначуваних показників, тобто встановленню їх номінальних значень, метрологічного допуску на ці значення, а також питанням прийняття рішень при валідації нового методу.

Під час розроблення нових методів випробувань необхідно комплексне вирішення сукупностей різних завдань, що передбачають у загальному вигляді оперативне аналізування інформації та одержання керувальних сигналів, які забезпечують формування відповідних рішень [1]. Вирішення зазначених завдань можливе лише при застосуванні системного підходу з використанням адаптивного керування, що

дасть можливість вирішувати завдання з урахуванням конкретних умов. Адаптація у такому постановленні є вибором оптимального варіанта в умовах недостатньої апріорної інформації, а адаптивний алгоритм розглядається як алгоритм, що дозволяє уточнювати прийняте рішення у міру надходження нової інформації [2, 3].

Метою роботи є узагальнення результатів аналізування діючої системи випробувань сільськогосподарської техніки й автомобілів та створення на його основі методології розроблення нових методів випробувань із використанням нечітких когнітивних карт.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Постановлення завдання

Процес розроблення методу випробувань – це один із елементів системи метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії [4]. У роботі [4] запропоновано підхід до синтезу адаптивних систем метрологічного забезпечення (МЗ) ВЛ на підставі нечіткої логіки за умови прийняття рішення в умовах ризику (рис. 1). Запропонована схема функціонування адаптивної системи МЗ охоплює усі аспекти забезпечення необхідної точності вимірювань і випро-

бувань. Особливістю цієї адаптивної системи МЗ є її здатність приймати рішення з урахуванням попередньо-накопленого досвіду, тобто здатність навчатись і вибирати оптимальне рішення.

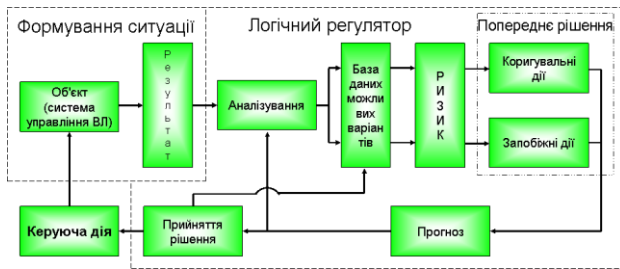


Рисунок 1 – Розгорнута схема адаптивної системи прийняття рішення [4]

Формування і прийняття рішень при розробленні нових методів випробувань можна вважати складним погано формалізованим завданням [5, 6], тобто завданням, яке в окремих випадках вимагає побудови оригінального алгоритму вирішення залежно від конкретної ситуації, для якої можуть бути характерні невизначеність і динамічність вхідних даних і знань.

Це пов'язано з тим, що вирішення зазначеного завдання відбувається в умовах невизначеності, внаслідок браку інформації, необхідної для формалізації процесів. Крім того, невизначеність пов'язана із відсутністю апріорної інформації, а саме знань законів проходження процесів унаслідок їх складності. Це призводить до неможливості побудови формальних аналітичних моделей, що враховують специфіку більшості факторів, які впливають.

Аналіз метрологічного і нормативного забезпечення методів випробувань сільськогосподарської техніки [7] свідчить, що серед нормативних документів (НД) на методи випробувань налічується 36 % міждержавних стандартів ГОСТ, розроблених до 1992 р. Це достатньо значний відсоток, урахувавши ту ситуацію, що майже всі ці нормативні документи повинні бути відміннені впродовж декількох подальших років відповідно до Державної політики в галузі технічного регулювання і перейти в статус довідкових [8]. Крім того, наріжним каменем стає відмова від поняття «похибка вимірювання» і введення обов'язкового калібрування засобів вимірювальної техніки. Усі методи випробувань, регламентовані діючими нормативними документами, дають вказівку щодо похибки, з якою повинні вимірюватися ті або інші показники. Інформація про невизначеність вимірювань, її допустимі межі відсутня. Це ускладнює (робить неможливим) процедуру оцінювання точності вимірювань за показником невизначеності.

Пряме застосування міжнародних стандартів не завжди є ефективним, оскільки вимагає значних зусиль від вітчизняних випробувальних лабораторій у плані переоснащення матеріально-технічної бази і навчання персоналу. Використовування стандартизованих методів випробувань не сприяє розвитку науково-технічного прогресу. Це пов'язано з тим, що стандарт як філософська категорія відображає вимогу суспільства в даний конкретний момент часу.

У той самий час у відомих публікаціях наголошується на тій обставині, що при випробуваннях мобільних машин об'єкт випробувань повинен бути повністю спостережним. Тобто кожному ступеню його вільності повинна відповідати вимірювальна вісь давача [9, 10]. Інакше модель вимірювання буде неповною, а їх результати не будуть адекватно характеризувати стан об'єкта і ступінь довіри до таких результатів буде низькою. Існуючі методи випробувань не враховують цю обставину [11]. Цей факт є важливим доказом того, що необхідно розробляти нові методи випробувань, а для цього необхідно абстрагуватися від існуючої системи і розробити нові підходи до синтезу безпосередньо методів випробувань, нового випробувального устаткування і метрологічного забезпечення випробувань в цілому. Нагальним є питання розроблення нової методології з аналізованого питання.

Крім того, підтвердженням актуальності питання розроблення нових методів випробувань є тематичні плани науково-дослідних робіт організацій, уповноважених на проведення випробувань продукції [12].

За математичний апарат для опису методів випробувань пропонуються застосовувати нечітке когнітивне моделювання [5, 6], що дає можливість формалізувати чисельно невимірні фактори, використання неповної, нечіткої і суперечливої інформації, тобто проводити дослідження в умовах невизначеності і ризику.

2.2. Методологія розроблення нових методів випробувань

Основою методології розроблення нових методів випробувань є окремі елементи системного і процесного підходів, що сприяють розробленню ефективної стратегії дослідження об'єкта, вивчення взаємозв'язків і синтезу адекватної моделі методу випробувань. Ефективність розробленого методу випробувань визначається правильністю вибору сукупності концептів та їх взаємозв'язків і взаємовпливів, що дає можливість вирішити поставлені завдання і досягти мети.

Методологія синтезу нових методів випробувань у загальному виді показана на рис. 2.

Метою випробувань є одержання достовірної інформації про досліджуваний об'єкт, а також інформації про поведінку об'єкта за різних зовнішніх факторів, що впливають. Мета формується на етапі постановлення завдання.

Далі, на етапі абстрактного мислення, складається образ того, що і як буде досліджуватися. На цьому етапі формується уявлення про сутність і характеристики визначуваного, формується приблизний перелік показників, які можуть бути визначені, вибирається пріоритетний напрямок подальшого дослідження. Інформація, що синтезується на цьому етапі, є вхідною для подальшої формалізації.

Після складання образу створюється модель майбутнього методу: логічна, схематична, математична. Вид моделі залежить від складеного образу.

Допускається поєднання декількох моделей, наприклад, логічна і математична або схематична і математична тощо.

Створення моделі є складним і працезатратним етапом. Умовно його можна поділити на декілька процесів: розроблення й обґрунтування математичної моделі та схеми випробувань, розроблення методики випробувань, вибір або проектування випробувального устаткування.

Математичний опис моделі – це процес обґрунтування якісних/кількісних показників, обґрунтування взаємозв'язків між функціональним станом об'єкта випробувань і визначеними показниками, синтез схеми вимірювання при випробуваннях. Проводиться математичне моделювання для визначення приблизного порядку кількісних значень показників, що визначаються.

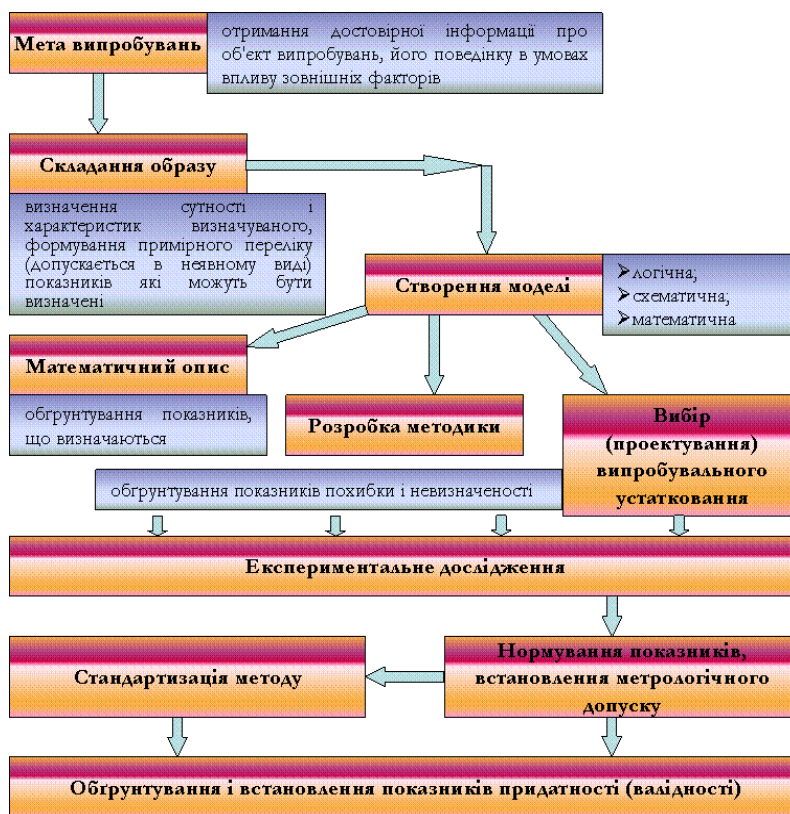


Рисунок 2 – Методологія синтезу нових методів випробувань

На підставі цього формуються вимоги до випробувального устаткування, за необхідності проводиться його класифікація. Проводиться попередній розрахунок показників похибки, невизначеності та необхідної кількості вимірювань.

Методика випробувань передбачає обґрунтування послідовності дій під час проведення випробувань. Установлюються вимоги до умов випробувань і кваліфікації персоналу, який проводить випробування.

На підставі математичної моделі випробувань, умов випробувань і методики формуються вимоги до випробувального устаткування. Його можуть вибрати із уже наявного з його модернізацією для забезпечення повної спостережності або проектувати заново. Маючи інформацію про фактичні показники похибки і невизначеності, переглядають математичну модель і вносять відповідні корективи. Наступний етап – експериментальна перевірка можливості практичної реалізації методу. Для цього вибирають об'єкт випробувань, якість якого підтверджена іншими (стандартними) методами. Визначають показники правильності і прецизійності методу [13]. Інформацію, одержану на цьому етапі, аналізують і залежно від рівня досягнення поставленої мети приймають одне із двох рішень:

– метод є придатним для використання: показники точності, невизначеності і спостережності відповідають установленій меті;

– метод потребує доопрацювання: вибір нового випробувального устаткування, перегляд методики тощо.

У разі прийняття рішення про придатність методу випробувань проводять нормування показників, установлюють метрологічний допуск до них. Після цього проводять стандартизацію методу та обґрунтовують і встановлюють показники придатності методу з урахуванням фактичних значень показників.

Установлення метрологічного допуску на показник – тема окремого дослідження. Пропонується, щоб він був у межах двох значень невизначеності, з якою вимірюється показник при його нормуванні [14].

2.3. Прийняття рішень під час розроблення нових методів випробувань

Практично на кожному етапі розроблення нового методу випробувань особа, яка проводить цю роботу, зіштовхується із прийняттям рішення. Ефективним способом прийняття рішення є застосування нечітких когнітивних моделей, в яких враховується те, що взаємовплив між факторами, спричиненими різними причинно-наслідковими зв'язками, можуть мати різ-

ну інтенсивність, яка може змінюватись з часом [5, 6]. Вводиться поняття нечіткої когнітивної карти. Застосування нечітких когнітивних моделей дозволяє автоматизувати вирішення ряду складно формалізованих завдань, що виникають на різних етапах прийняття керівного рішення.

У цілому, процес прийняття рішення за новим методом випробувань складається з чотирьох основних етапів:

- аналізування проблеми (постановлення завдання щодо характеристик, які необхідно визначити);

- формування мети і завдань (обґрунтування математичної моделі, розроблення методики, вибір (проекування) випробувального устаткування, вибір критеріїв і оцінювання їх ефективності (показники точності, достовірності та адекватності);

- формування й аналіз множини альтернатив (варіанти під час прийняття рішення, оцінювання ефективності кожного рішення);

- формування керувальної дії (кінцеве рішення).

Кожен етап поділяється на окремі підетапи, що є окремими задачами. Деякі задачі розв'язують на основі припущень і нестрогих роздумів, що закладаються в модель випробування; формуються обмеження щодо застосування методу. Складність виникає під час експериментального дослідження методу внаслідок дії таких суб'єктивних факторів, як виконавець, об'єкт, на якому проводяться дослідження, і умови проведення випробувань. Доводиться враховувати статистичну інформацію і приймати рішення про можливість її поширення як такої, що відповідає певним вимогам.

Нечітка когнітивна карта розроблення методу випробувань є причинно-наслідковою мережею, що відображає придатність методу. Формальний вигляд нечіткої когнітивної карти

$$Y = \langle R, U \rangle, \quad (1)$$

де $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ – множина об'єктів моделі (концепти); $U = \{1, 0\}$ – бінарне відношення на множині R , що задає зв'язки між об'єктами. Об'єкти r характеризують як кількісні показники (похибка, невизначеність, тощо), так і якісні (умови випробувань, тощо). Нечітку когнітивну карту будують на інформації, що має особа, яка розробляє метод випробувань.

На множині концептів R можна виділити множину вхідних впливів $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$, множину вихідних впливів $V = \{v_1, v_2, \dots, v_p\}$, проміжні концепти $E = \{e_1, e_2, \dots, e_z\}$, множину зв'язків між концептами $U = \{u(r_i, r_j)\}$. Кожному зв'язку ставиться у відповідність нечітке правило з термами, які є лінгвістичними змінними стану концепту.

Таким чином, інформаційну модель розроблення нових методів випробувань можна подати універсальною алгеброю:

$$H = \langle Q, T, O, P, S, D \rangle, \quad (2)$$

де Q – множина з описом математичних моделей методу випробувань; T – множина критеріїв для визначення достатності похибки (невизначеності) вимірювання; O – множина з описом варіантів умов випробувань; P – множина критеріїв для визначення достатності кількості спостережень (вимірювань); S – множина правил, за якими приймаються рішення; D – множина показників придатності методу.

Нечітку когнітивну карту зручно подати у вигляді зваженого орієнтованого графа, вершини якого (концепти) відповідають об'єктам множини R , а дуги – причинно-наслідковим зв'язкам. Кожна дуга має вагу, що задається відповідним нормованим показником інтенсивності впливу u_{ij} (рис. 3).

Кінцевим результатом (прийнятим рішенням) є значення показників придатності методу та їх відповідність установленим вимогам. На показники придатності будуть впливати, узагальнено, два фактори: методика випробувань із відповідними умовами, значеннями похибки і невизначеності вимірювання та математична модель випробувань, що характеризує адекватність методу реальним умовам. Математична модель випробувань буде впливати на рішення стосовно вибору методики випробувань. У свою чергу, методика випробувань буде впливати на кількість спостережень і відповідно – похибку і невизначеність вимірювання.

Установлення причини і наслідків, виявлення причинно-наслідкових зв'язків та виявлення ваги кожної дуги графа (рис. 3) зручно проводити з використанням теорії обмежень (ТОС) [15, 16]. ТОС ґрунтується на причинно-наслідковому ланцюзі, який визначає найслабші ланки чи обмеження в будь-якій підсистемі чи системі керування загалом. ТОС дозволяє визначити слабкі місця в системі і дати інформацію про місце знаходження відхилення від заданого стану.

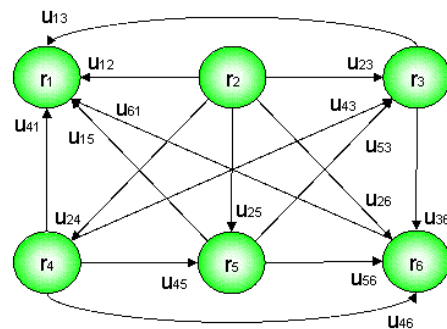


Рисунок 3 – Зважений орієнтований граф керування процесом розроблення методу випробувань:

r_1 – показники придатності; r_2 – математична модель; r_3 – показники похибки і невизначеності; r_4 – методика випробувань; r_5 – умови проведення випробувань; r_6 – кількість спостережень (вимірювань)

3. ВИСНОВКИ

Подана методологія розроблення нових методів випробувань на підставі нечітких когнітивних карт дозволяє описувати складні багатокритеріальні інтелектуальні системи прийняття рішення в умовах ризику під час розроблення нових методів випробувань.

Запропонована методологія розроблення нових методів випробувань передбачає таке:

- запис моделі нового методу випробувань скінченною множиною об'єктів, які є значущими для методу випробувань характеристиками;

- установлення між об'єктами причинно-наслідкових зв'язків, які можуть позитивно/негативно впливати на характеристики розроблюваного методу;

- установлення значень показників придатності і спостережності методу, які є основним критерієм за яким робиться висновок про можливість застосування методу;

- установлення метрологічного допуску на показники, що визначаються;

- зіставлення показників похибки і невизначеності при вимірюваннях з економічною доцільністю їх досягнення та виробничою необхідністю.

Подальшого дослідження потребують питання формального опису складових алгебри (2) і використання ТОС для встановлення причинно-наслідкових зв'язків у графі керування процесом випробувань.

Methodology for developing new test methods

A. I. Korobko¹⁾

¹⁾ *Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudriy Str., 61002, Kharkiv, Ukraine; L. Pogorilyy Ukrainian Scientific and Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production, Kharkiv branch, 236 Velyka Panasivska St., 61139, Kharkiv, Ukraine*

The paper describes the methodology for developing new test methods and forming solutions for the development of new test methods. The basis of the methodology for developing new test methods is the individual elements of the system and process approaches. They contribute to the development of an effective research strategy for the object, the study of interrelations, the synthesis of an adequate model of the test method. The effectiveness of the developed test method is determined by the correct choice of the set of concepts, their interrelations and mutual influence. This allows you to solve the tasks assigned to achieve the goal. The methodology is based on the use of fuzzy cognitive maps. The question of the choice of the method on the basis of which the model for the formation of solutions is based is considered. The methodology provides for recording a model for a new test method in the form of a finite set of objects. These objects are significant for the test method characteristics. Then a causal relationship is established between the objects. Further, the values of fitness indicators and the observability of the method and metrological tolerance for the indicator are established. The work is aimed at the overall goal of ensuring the quality of tests by improving the methodology for developing the test method.

Keywords: methodology, test method, fuzzy cognitive map, oriented graph method of testing, theory of constraints, information.

Методология разработки новых методов испытаний

А. И. Коробко¹⁾

¹⁾ *Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, г. Харьков, Украина; Харьковская филия Украинского научно-исследовательского института прогнозирования и испытательной техники и технологий для сельскохозяйственного производства им. Л. Погорелого, ул. Большая Панасовская, 236, 61139, г. Харьков, Украина*

В работе описывается методология разработки новых методов испытаний и формирования решений при разработке новых методов испытаний. Основой методологии разработки новых методов испытаний есть отдельные элементы системного и процессного подходов, способствующих разработке эффективной стратегии исследования объекта, изучения взаимосвязей и синтеза адекватной модели метода испытаний. Эффективность разработанного метода испытаний определяется правильностью выбора совокупности концептов и их взаимосвязей и взаимовлияния, что позволяет решить поставленные задачи и достичь цели. Методология базируется на использовании нечетких когнитивных карт и позволяет описывать сложные многокритериальные интеллектуальные системы принятия решения в условиях риска при разработке новых методов испытаний. Методология предусматривает запись модели нового метода испытаний конечным множеством объектов, являющихся значимыми для метода испытаний характеристиками, установление между объектами причинно-следственных связей и установления значений показателей пригодности и наблюдаемости метода и метрологического допуску на показатель. Работа наследует общую цель обеспечения качества испытаний путем совершенствования методологии разработки метода испытания.

Ключевые слова: методология, метод испытаний, нечеткая когнитивная карта, ориентированный граф, модель метода испытаний, теория ограничений, информация.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO / IEC 17025:2005, IDT) : Національний стандарт України ДСТУ ISO / IEC 17025:2006. – [Чинний від 2007-07-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – VI. – 26 с.
2. Деменков Н. П. Нечеткое управление в технических системах : учебное пособие / Н. П. Деменков. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 200 с.
3. Кошева Л. О. Відтворюваність – основна характеристика точності результатів випробувань / Л. О. Кошева // Електроніка та системи управління. – 2011. – № 2 (28). – С. 89–94.
4. Управління якістю випробувань автотракторної техніки з використанням нечіткої логіки / А. І. Коробко, О. О. Михайлова, О. О. Назарько, Ю. А. Радченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2016. – № 2 (77). – С. 109–114.
5. Авдеева З. К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) / З. К. Авдеева, С. В. Коврига, Д. И. Макаренко // Труды 6-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» под ред. З. К. Авдеевой, С. В. Ковриги. – Москва : Институт проблем управления РАН, 2006. – С. 41–54.
6. Максимов В. И. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач / В. И. Максимов, Е. К. Корноушенко // Труды ИПУ РАН. – 1999. – Т. 2. – С. 95–109.
7. Лебедев С. Аналіз підходів до оцінювання точності вимірювань при випробуваннях сільськогосподарських машин / С. Лебедев, А. Коробко, Ю. Козлов // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України : збірник наукових праць. – 2017. – № 21 (35). – С. 23–29.
8. Застосування стандартів, у тому числі в зв'язку зі скасуванням у 2015 р. міждержавних стандартів (ГОСТ) / Департамент Технічного регулювання Мінекономрозвитку і торгівлі України // Стандартизація, сертифікація, якість : науково-технічний журнал. – 2016. – № 2 (99). – С. 3–6.

REFERENCES

1. Zahal'ni vymohy do kompetentnosti vyprobuval'nykh ta kalibruval'nykh laboratoriy [General requirements for the competence of testing and calibration laboratories]. DSTU ISO/IEC 17025:2006 from 2007-07-01, Kyiv, National Standard of Ukraine [in Ukrainian].
2. Demenkov, N. P. (2005). Nechotkoe upravlenye v tekhnicheskikh sistemakh : uchebnoe posobyе [Unclear control in technical systems : tutorial]. Moscow, N. E. Bauman MSTU Publishing House [in Russian].
3. Kosheva, L. O. (2011). Vidtvoryuvanist' – osnovna kharakterystyka tochnosti rezul'tativ vyprobuvan' [Reproducibility – the main characteristic accuracy of test results]. Electronics and control systems, 2 (28), 89–94 [in Ukrainian].
4. Korobko, A. I., Mykhaylova, O. O., Nazar'ko, O. O., Radchenko Yu. A. (2016) Upravlinnya yakisty vyprobuvan' avtotraktornoyi tekhniky z vykorystanniam nechitkoyi lohiky [The use of fuzzy logic in quality control testing of automotive and tractor equipment]. Engineering, The Journal of Zhytomyr State Technological University, 2 (77), 109–114 [in Ukrainian].

9. А. с. 53865. Твір науково-практичного характеру «Оцінювання придатності методів випробувань з використанням показників спостережності» / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Ю. А. Радченко ; дата реєстрації 27.02.2014.
10. Артьомов М. П. Забезпечення спостережності параметрів руху мобільних машин при динамічних випробуваннях / М. П. Артьомов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2015. – № 159. – С. 181–185.
11. Коробко А. І. Удосконалення методів та метрологічного забезпечення проведення динамічних випробувань автомобілів : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.02 / А. І. Коробко. – Харків, 2013. – 176 с.
12. Звіт про науково-дослідну роботу «Розроблення експрес-методів і технічних засобів оцінювання якості агрегатів і вузлів мобільної сільськогосподарської техніки». – № держреєстрації 0113U001185, 2016. – 86 с.
13. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення : Національний стандарт України ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005 (ГОСТ ISO 5725-1:2003, IDT). — [Чинний від 2006-07-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – VIII, 29 с.
14. Коробко А. І. Нормування показників при розробці нових методів випробувань / А. І. Коробко // Перспективні технології та прилади : збірник наукових праць. – 2017. – № 10 (1). – С. 76–80.
15. Голдратт Э. М. Процесс непрерывного совершенствования / Э. М. Голдратт. – Минск : Попурри, 2009. – 496 с.
16. Детмер У. Теория ограничений Голдратта: системный подход к непрерывному совершенствованию / У. Детмер ; пер. с англ. – 2-е изд. – Минск : Альпина Бизнес Букс, 2008. – 444 с.
5. Avdeeva, Z. K., Kovryha, S. V., Makarenko, D. Y. (2016). Kohnytyvnoe modelyrovanye dlya reshenyya zadach upravlenyya slabostrukturyrovannymy systemamy (sytuatsyyamy) [Cognitive modeling for solving problems of managing weakly structured systems (situations)]. Cognitive analysis and management of development of situations : 6th international conference., Moscow, Instytut problem upravleniya RAN [in Russian], 41–54.
6. Maksimov, V. Y., Kornoushenko, E. K. (1999). Analiticheskiye osnovy primeneniya kognitivnoho podkhoda pri reshenii slabostrukturirovannykh zadach [Analytical bases of application of the cognitive approach at the decision of slightly structured tasks]. Proceedings of the ICS of the RAS, Vol. 2, 95–109 [in Russian].
7. Lebedyev, S., Korobko, A., Kozlov, Yu. (2017). Analiz pidhodiv do ocinyuvannya tochnosti vy'miryuvan' pry`vy`probuval'nykh sil's'kogospodars'ky`kh mashyn [Analysis of approaches to the measurement of accuracy of measurements in tests of agricultural machines]. Technological aspects of development and testing of new technology and technologies for agricultural production in Ukraine, 21 (35), 23–29 [in Ukrainian].

8. Departament Tekhnichnoho rehulyuvannya Minekonomrozvytku i torhivli Ukrainy. (2016). Zastosuvannya standartiv, u tomu chysli v zv'yazku zi skasuvanniam u 2015 rotsi mizhderzhavnykh standartiv (HOST) [Application of standards, including in connection with the abolition of intergovernmental standards in 2015 (GOST)]. Standardization, certification, quality. Scientific and Technical Journal, 2 (99), 3–6 [in Ukrainian].
9. Podryhalo, M. A., Korobko, A. I., Radchenko, Yu. A. (2014). 53865. Tvir naukovo-praktychnoho kharakteru "Otsinyuvannya prydatnosti metodiv vyprobuvan' z vykorystanniam pokaznykiv sposterezhnosti" [The product of scientific and practical character "Assessment of the suitability of test methods for the use of observational indicators"] [in Ukrainian].
10. Art'omov, M. P. (2015). Zabezpechennya sposterezhnosti parametriv rukhu mobil'nykh mashyn pry dynamichnykh vyprobuvannyakh [Supervision of the parameters of the motion of mobile machines under dynamic tests]. Bulletin of Petr Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, 159, 181–185 [in Ukrainian].
11. Korobko, A. I. (2013). Udoskonalennja metodiv ta metrologichnogo zabezpechennja provedennja dinamichnih viprobuvan' avtomobiliv : dis. ... kand. tehn. nauk [Improvement of methods and metrological support for conducting of dynamic tests of automobiles], Kharkiv, 176 p. [in Ukrainian].
12. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu "Rozroblennya ekspresmetodiv i tekhnichnykh zasobiv otsinyuvannya yakosti ahrehativ i vuzliv mobil'noyi sil's'kohospodars'koyi tekhniky" [Report on the research work "Development of express methods and technical means for evaluating the quality of aggregates and units of mobile agricultural machinery"]. The state registration number 0113U001185, 86 [in Ukrainian].
13. Tochnist' (pravylnist' i pretsyziynist') metodiv ta rezul'tativ vymiryuvannya. Chastyna 1. Osnovni polozhennya ta vyznachennya [Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1. General principles and definitions]. DSTU HOST ISO 5725-1:2005. from 2006-07-01, Kyiv, National Standard of Ukraine [in Ukrainian].
14. Korobko, A. I. (2017). Normuvannya pokaznykiv pry rozrobtsi novykh metodiv vyprobuvan' [Rationing of indicators in the formulation new test methods], Perspective technologies and devices. Collected scientific papers, 10 (1), 76–80 [in Ukrainian].
15. Holdratt, E. M. (2009). Protsess nepreryvnoho sovershenstvovannya [The process of continuous improvement]. Minsk, Popurri [in Russian].
16. Detmer, U. (2008). Teoriya ohranycheniy Holdratta: Systemnyi podkhod k nepreryvnomu sovershenstvovaniyu [Systematic approach to continuous improvement]. Minsk, Alpina Business Books [in Russian].