

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

КОРОБКО АНДРІЙ ІВАНОВИЧ



УДК 005; 628.052; 629

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ
ТРАКТОРІВ НА СТАДІЯХ ПОСТАНОВКИ НА ВИРОБНИЦТВО
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ
ПАРЦІАЛЬНИХ ПРИСКОРЕНЬ**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків 2023

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кайдалов Руслан Олегович
Національна академія Національної гвардії України,
заступник начальника академії з наукової роботи

доктор технічних наук, доцент
Ребров Олексій Юрійович
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
завідувач кафедри автомобіле- та тракторобудування

доктор технічних наук, професор
Макаров Володимир Андрійович,
Вінницький національний технічний університет,
професор кафедри автомобілів та транспортного
менеджменту

Захист відбудеться 05 квітня 2023 року о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (зала засідань, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків)

Із дисертацією можна ознайомитися на офіційному сайті <http://www.khadi.kharkov.ua> та в науковій бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

Реферат розіслано 03 березня 2023 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради, к. т. н.



М. П Холодов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Актуальність теми та її доцільність обґрунтовуються необхідністю підвищення й забезпечення споживчих, експлуатаційних показників та показників безпеки тракторів при їх виробництві та експлуатації на основі інформації отриманої в ході випробувань.

Одним із важливих резервів підвищення виробничих і економічних можливостей машинно-тракторних агрегатів – є найбільш повне використання ресурсу за одночасного зниження затрат на їх ремонт і технічне обслуговування. Перехід на новий організаційний рівень випробувань (що обумовлено переходом від обов'язкової сертифікації до підтвердження відповідності вимогам Технічних регламентів) вимагає удосконалення системи випробувань, її диверсифікації та удосконалення системного підходу до розробки нових показників і критеріїв оцінювання якості тракторів. Це потребує більш повного та якісного методичного і технічного забезпечення для реалізації гармонізованих підходів до методів натурних та модельних випробувань тракторів у транспортному режимі та з технологічним обладнанням.

В зв'язку з цим виникає проблема розроблення і впровадження ефективних систем організації випробувань, методів і засобів їх проведення та розробки нових показників якості та критеріїв їх оцінювання. Дослідження в даному напрямку регламентовані паспортом спеціальності 05.22.02 – автомобілі та трактори.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно: Закону України «Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу» № 5478-VI (5478-17) від 06.11.2012 р.; «Стратегії розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року» затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2013 р. № 806-р., «Концепції Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року» затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 р. № 1437-р.

Робота є складовою частиною досліджень Харківського національного автомобільно-дорожнього університету «Удосконалення системи метрологічного забезпечення випробувань дорожніх транспортних засобів» (державний реєстраційний номер 0114U006544), щодо якої дисертант був керівником роботи.

Також дослідження виконувалися в рамках наукових держбюджетних досліджень за Тематичним планом науково-випробувальних робіт УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого на 2014–2016 роки, тема «Розроблення експрес-методів і технічних засобів оцінювання якості агрегатів і вузлів мобільної сільськогосподарської техніки відповідно до вимог технічних регламентів» державний реєстраційний номер 0217U000847), щодо якої дисертант був відповідальним виконавцем; Тематичного плану науково-випробувальних робіт УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого на 2017–2019 роки, тема «Проведення досліджень та оцінювання невизначеності вимірювань при проведенні випробувань сільськогосподарської техніки» щодо якої дисертант був відповідальним виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення якості тракторів шляхом удосконалення системи їх випробувань на основі методу

парціальних прискорень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- сформуувати концепцію інформаційно-логістичної системи метрологічного забезпечення випробувань тракторів;
- синтезувати методологію встановлення нормативного значення показника та методологію перевірки відповідності теоретичної моделі вимірювання експериментальній;
- розробити модель та алгоритм вимірювання просторово-часової орієнтації об'єктів випробувань на основі методу парціальних прискорень;
- обґрунтувати оціночні показники та розробити метод випробувань гідрооб'ємного рульового керування тракторів із застосуванням методу парціальних прискорень;
- розробити метод випробувань та оціночні показники гальмівних систем тракторів і причіпних машин із застосуванням методу парціальних прискорень;
- сформуувати оціночні показники та метод випробувань елементів приводу активних робочих органів машин із застосуванням методу парціальних прискорень;
- синтезувати експериментально-аналітичний метод вимірювання кута поперечної стійкості машин.

Об'єкт дослідження – процеси випробувань тракторів при забезпеченні якості на етапах постановки на виробництво та експлуатації.

Предмет дослідження – удосконалення, за допомогою метода парціальних прискорень, системи оцінювання технічного стану і забезпечення технічного рівня при випробуваннях тракторів на стадіях постановки на виробництво та експлуатації.

Методи дослідження. Методологічною основою дисертаційної роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів щодо організації системи випробувань, розробляння та застосування критеріїв ефективності, раціональне поєднання теоретичних і експериментальних досліджень та використання системного підходу. Для формуванні наукової проблеми, визначення мети і постановки задач дослідження використовувався аналітичний метод та порівняльний аналіз.

У теоретичній частині дисертації використовувалися методи системного аналізу, методи теорії похибок і невизначеності вимірювання. В експериментальній частині використовувалися методи виконання наукових випробувань, парціальних прискорень, електричного вимірювання механічних величин.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вирішенні актуальної науково-прикладної проблеми підвищення якості тракторів за рахунок створення системи організації і методів їх випробувань.

При цьому *вперше*:

- синтезовано інформаційно-логістичну систему метрологічного забезпечення випробувань тракторів, що дає можливість формування адаптивного простору управління якістю продукції;
- сформульовано методологію нових підходів до проведення випробувань на основі нечітких когнітивних карт, що дозволяє описувати складні багатокритеріальні інтелектуальні системи прийняття рішення;
- на основі отриманого взаємозв'язку між лінійним прискоренням і кутовою

швидкістю та іншими кінематичними параметрами руху об'єкта випробувань запропоновано спосіб оцінки просторово-часової орієнтації об'єктів, що дозволяє зменшити похибку вимірювання цих кінематичних параметрів руху при випробуваннях.

Одержала подальший розвиток теорія оцінки адекватності теоретичного розрахунку і результатів натурних випробувань в напрямку використання теорії невизначеності вимірювань.

Удосконалено:

- методологію встановлення нормативних (номінальних) значень показників при розробці нових методів випробувань тракторів, яка, на відміну від відомих базується на використанні невизначеності вимірювання та застосування метрологічного допуску;

- метод визначення поперечної стійкості тракторів, який на відміну від відомих більш безпечний та володіє більшою точністю через відсутність необхідності визначення координат центру мас машини.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати дисертаційної роботи отримані особисто автором [7–15]. В сумісних роботах автору належать:

- у колективній монографії [1] підготував підрозділи 5.6.5, 5.7, розділи 6, 7, 9, 10 пов'язані з розробкою концепції нових методів метрологічного забезпечення випробувань;

- у колективній монографії [2] приймав участь у підготовці підрозділу 2.3, в якому обґрунтував експрес-методи та критерії ефективності випробувань рульового керування шарнірно-складених машин, робочих гальмівних систем тракторів та елементів приводу активних робочих органів причіпних машин;

- запропонував спосіб і засоби вимірювання просторово-часової орієнтації рухомих об'єктів [3];

- обґрунтував межі показника стабільності гальмівної системи, що є її оціночним показником за стендових випробувань та обґрунтував метод гальмівних випробувань [4, 5, 6];

- здійснив аналіз існуючої галузевої системи випробувань тракторів, виділив фактори, що впливають на якість випробувань [16];

- запропонував модель метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії [17];

- обґрунтував експрес-методи та критерії ефективності випробувань елементів приводу активних робочих органів [18];

- обґрунтував вимоги до стендів для випробувань стоянкових гальмівних систем тракторів [19], стоянкових гальмівних систем причіпних машин [20] та до стенду для вимірювання кута поперечної стійкості машин методом послідовного зважування [21];

- обґрунтував принцип роботи інформаційно-логістичної системи для випробувань тракторів з використанням нечіткої логіки [22];

- обґрунтував метод вимірювання кута поперечної стійкості машин [23];

- обґрунтував на основі системомислєдїяльнїсної методології підхід до організації випробувань сільськогосподарських машин і тракторів [24];

- здійснив аналіз нормативного і методичного забезпечення випробувань

сільськогосподарських машин і тракторів [25].

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати, а саме система метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії та методи випробувань тракторів дають можливість забезпечити їх якість на етапі проектування, допуску на ринок та експлуатації й формувати відповідні сучасному технічному рівню споживчі показники та показники безпеки.

ТОВ «Завод Кобзаренка» прийняті до впровадження в практичну діяльність методика прогнозування і вимірювання кута поперечної стійкості машин методом послідовного зважування та стенд для вимірювання кута поперечної стійкості машин.

Випробувальними лабораторії Харківської, Південно-Української та Львівської філій Державної наукової установи «Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» прийняті до впровадження інформаційно-логістична система метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії, методологія розробки нових методів випробувань та методи випробувань;

Державним підприємством «Український державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва» прийняті до впровадження ризик-орієнтований підхід до організації діяльності з оцінки відповідності органів затвердження типу, випробувальних лабораторій та виробництва і методологічні основи розробки нових методів випробувань.

Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом використовуються в навчальному процесі система метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії, теорія розробки методів випробувань, методи випробувань мобільних машин при викладанні дисциплін «Якість та її забезпечення» та «Комплексна система випробувань автомобілів».

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися й обговорювалися на:

- International research and practice conference «Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences», Radom, Republic of Poland, December 27–28 2017; [26]

- The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solution», Brno, Czech Republic, April 27-28 2018; [27]

- Конгресі SAE International по гальмівних системах, 2018, Каліфорнія, USA. [4]

- Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL*2019: 2019 IEEE 8th International Conference with XVI Scientific Workshop “Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects” UM*2019 : Conference Proceedings. Sozopol, Bulgaria 06-08 September 2019. [28]

- II, IV Всеукраїнських науково-практичних конференціях Луцького національного технічного університету «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», 6-7 жовтня 2016 р. [29], 29-30 жовтня 2020 р. [30]

- Сьома Міжнародна науково-практична конференція «Технічне регулювання, метрологія та інформаційні технології», м. Одеса, 10-11 жовтня 2017 р. [31]

– VI Міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія, інформаційно-вимірні технології і системи. MIMTS-2017», Харків, жовтень, 24-25, 2017; [32]

– Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та студентів Луцького національного технічного університету «Якість та безпечність товарів», м. Луцьк, 23 березня 2018 р.; [33]

– Дев'ятій Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Технічне регулювання, метрологія та якість: виклики сучасності», м. Одеса, 17-18 травня 2018 р.; [34]

XVI, XVII, XVIII Міжнародних наукових конференціях присвячених пам'яті академіка Л. В.Погорілого «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій», смт. Дослідницьке, 2015, 2016, 2017 рр.; [35], [36], [25].

– Десятій та одинадцятій Всеукраїнських науково-практичних конференціях молодих учених і студентів «Технічне регулювання, метрологія, якість та транспортні технології», м. Одеса, 16-17 травня 2019 р. [37], 04-05 червня 2020 р. [38]

– IV, V, VI Міжнародних науково-практичних інтернет-конференціях «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2016, 2017, 2018 рр.; [39], [40], [41]

– Науково-практичній конференції Національної академії Національної гвардії України «Актуальні питання матеріального забезпечення військових формувань та правоохоронних органів», м. Харків, 26 жовтня 2017 р.; [42]

– Всеукраїнській науково-практичній конференції ХНТУСГ ім. П. Василенка «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація», м. Харків, 24-25 травня 2018 р.; [43].

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 25 наукових робіт. З них 2 монографії, 1 патент України на винахід, 3 публікації у закордонних періодичних виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus, 19 статей у наукових фахових виданнях України, що включені до інших міжнародних наукометричних баз даних. За матеріалами досліджень опубліковано 18 тез у збірниках доповідей міжнародних наукових конференцій (зокрема 3 конференції, що проходили за кордоном). Отримано 8 патентів України на корисні моделі, 1 авторське свідоцтво. Затверджено і введено в дію 1 стандарт організації України та методику випробувань.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук: «Удосконалення методів та метрологічного забезпечення проведення динамічних випробувань автомобілів», дата захисту – 26.06.2013 р. Матеріали та висновки у тексті докторської дисертації використані в оглядовій частині.

Структура й об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг дисертації становить 375 аркушів друкованого тексту. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 262 аркушів, у тому числі 76 рисунків і 34 таблиці, список використаних джерел з 310 найменувань на 38 аркушах.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено наукову новизну, практичне значення та цінність отриманих результатів.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд виконаних досліджень, літературних джерел, нормативних документів й обґрунтовано обраний напрямок роботи.

Зроблено аналіз нормативних документів України і Європейського союзу в частині вимог і допуску тракторів на ринок, тенденцій розвитку методів, засобів і системи випробувань тракторів і сільськогосподарських машин, перспективи розвитку машиновипробувань.

Питаннями дослідження і прогнозування сільськогосподарської техніки і тракторів, зокрема, при випробуваннях займалися вчені Л. Погорілий, С. Кардашевський, Г. Фудіман, В. Кравчук, В. Ясенецький, Н. Мечта, Г. Хайліс, А. Кушнар'єв, В. Таргоня, О. Мудрук, З. Шквиря, Г. Кукта, В. Шабранський, В. Анілович, В. Гусар. Питання методології розробки нових методів випробувань вивчали А. Лебедев, М. Подригало, О. Полянський. Управління складними об'єктами в умовах ризику і стохастичні дані вимірювань при випробуваннях досліджували R. Shannon, F. Garcia-Diaz, E. Mamani, A. Priskien, D. Waterman, L. Zadeh. Аналіз показує, що для забезпечення якості продукції тракторобудування та у зв'язку з переходом на новий організаційний рівень випробувань є гостра необхідність у розробленні нових показників і критеріїв оцінювання якості продукції, а відповідно, і розроблення нових наукоємких методів випробувань. Цього можливо досягти шляхом розроблення і впровадження ефективних методів і засобів випробувань з мінімальною кількістю розбірно-складальних робіт.

В умовах Європейської інтеграції випробування стали невід'ємною частиною регулювання технічної політики та модернізації агропромислового комплексу. Основними напрямками наукових досліджень стали розвиток нормативної, методологічної і технічної бази випробувань. Наукоємкі методи випробувань розробляються з метою достовірного висвітлення споживчих характеристик та сприяння реалізації сільськогосподарської техніки на ринку. Замовником таких випробувань виступають як виробники, так і постачальники сільськогосподарських машин та обладнання. Традиційні, наукоємкі методи випробувань та «фокус-тести» є основою для створення нових конструкцій машин, технологічних ліній та комплексів у рослинництві й тваринництві, визначення рівня їх якості та сприяння реалізації сільськогосподарської техніки на ринку.

Проведений аналіз нормативних і літературних джерел дозволив визначити стан питання і сформулювати завдання дослідження.

У другому розділі розроблено концепцію розвитку метрологічного забезпечення випробувань тракторів, методологію розробки нових методів випробувань та синтезовано інформаційно-логістичну систему метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії, що спеціалізується на випробуваннях тракторів та сільськогосподарських машин.

Розглядаючи метрологічне забезпечення випробувань як складну структуру, можна виділити в його складі суб'єкт і об'єкт.

В контексті метрологічного забезпечення випробувань суб'єктом являються організаційні і наукові основи їх проведення. Саме, в залежності, від тих норм, вимог і принципів які будуть закладені на організаційному рівні (з урахуванням досягнень науки і потреб споживачів) буде формуватись об'єкт метрологічного забезпечення випробувань.

Основною складовою об'єкту метрологічного забезпечення випробувань є метод – сукупність елементів і конкретно описаних операцій, виконання яких забезпечить отримання результатів з встановленими показниками точності і невизначеності. Відповідно метод випробувань формується, також, з урахуванням досягнень науки і організації проведення випробувань. Вхідними даними для формування об'єкту метрологічного забезпечення випробувань є вимоги і потреби споживачів

Властивості продукції, показники якості продукції, метрологічний допуск на їх числове значення і критерії їх оцінювання є також складовими метрологічного забезпечення випробувань. Вони можуть бути або прописані у відповідних нормативних документах, або встановлюватись замовником. Виходячи з цих вимог формується зовнішній впливаючий фактор.

Випробувальна лабораторія може пропонувати кожному замовнику свої підходи до оцінювання якості продукції: які показники необхідно вимірювати, з якою точністю вони можуть бути виміряні, яка буде достовірність і адекватність одержаних результатів (наскільки результати випробувань розповсюджуватимуться на реальні умови експлуатації продукції). Крім цього, інформація якою володіє лабораторія, може бути основою для прогнозування розвитку і зміни як технічного стану продукції, так і методів її дослідження (методів випробувань). Відповідно до цього, випробувальна лабораторія на основі свого досвіду і за умови наукового обґрунтування може пропонувати замовнику методи випробувань, що дозволять достовірно оцінити і висвітлити якість продукції. За таких умов випробувальна лабораторія сама обґрунтовує і/або вибирає режими впливаючих факторів та формулює завдання на калібрування своїх засобів вимірювальної техніки. Це забезпечує отримання достовірної інформації про режим функціонування досліджуваного об'єкту за оптимальних затрат на проведення випробувань.

Концепція розвитку методів випробувань передбачає вирішення наступних питань (рис. 1):

- обґрунтування на основі реальних досягнень науково-технічного прогресу нових визначальних показників і розробка моделей і методів випробувань, якими можна визначити ці показники;

- формування нового адаптивного простору метрологічного забезпечення випробувань, здатного реагувати на зміни, що відбуваються на ринку;

- новий рівень взаємовідносин замовників і виконавців випробувань, розробка рекомендацій за результатами випробувань для поліпшення якості продукції;

- обґрунтування підходів до підтвердження і забезпечення якості методів випробувань.



Рисунок 1 – Концепція розробки нових методів випробувань

Головна ідея концепції: визначення характеристик продукції, враховуючи поєднання вимог обов'язкових нормативних документів і вимог споживача (замовника) в частині їх бачення щодо важливості тієї або іншої характеристики на основі реальних досягнень науково-технічного прогресу.

Для забезпечення можливості отримання повної інформації про об'єкт випробувань він повинен бути повністю спостережним. Цей факт є важливим доказом того, що необхідно розробляти нові методи випробувань, а для цього необхідно абстрагуватись від існуючої системи і розробити нові підходи до синтезу безпосередньо методів випробувань, нового випробувального устаткування і метрологічного забезпечення випробувань в цілому. А це, в свою чергу, вимагає нового підходу до формування метрологічного забезпечення випробувань, як комплексного механізму, що безпосередньо впливає на якість продукції, що випробовується. Дієвим махізмом у вирішенні указаної проблеми є системомислєдїальнїсна методологїя.

Застосовуючи вказану методологію для реалізації концепції розвитку методів випробувань, а також виходячи з основної задачі метрологічного забезпечення (отримання достовірної вимірювальної інформації про значення показників якості і безпеки продукції), реалізуються чотири основні рівні формування системи метрологічного забезпечення випробувань.

1. Світогляд і ідеальні бачення – абстрактне мислення і формування образів: на цьому рівні виділяються у самому загальному виді вимоги до продукції і, відповідно, формулюються загальні напрями щодо дослідження її якості (показники, методи). Це бачення базується на ідеальних теоретичних і практичних моделях і образах випробувань, а також на понятті істинного значення вимірюваної величини.

2. Прикладні філософські і методологічні теорії: на цьому рівні реалізується основний теоретичний апарат, який є фундаментом і на базі якого формуються

подальші прикладні дослідження (теорія похибок, теорія вимірювання, теорія прийняття рішень, і інше).

3. Інструментарій реалізації прикладних задач, які були сформульовані у загальному вигляді на першому рівні: математичні моделі, метрологічне забезпечення, алгоритми реалізації методик, алгоритми прийняття рішень, тощо. На цьому рівні формуються математичні моделі з відповідними припущеннями, вводиться поняття дійсного значення вимірюваної величини, формується апарат зіставлення результатів теоретичного моделювання і експериментальних даних.

4. Практика використання реалізованих рішень, їх верифікація, валідація і удосконалення: практичне використання розробленого методу випробувань, перевірка його на придатність, тощо.

Проведений аналіз метрологічного забезпечення галузевих випробувальних лабораторій (сфера випробувань – випробування сільськогосподарських машин) дозволив сформулювати перелік питань, на які необхідно дати відповідь в світлі адекватної реакції на зміни в системі Технічного регулювання країни. Виявлено рівні, підходи і способи реалізації політики у сфері контролю якості продукції шляхом випробувань. Необхідне впровадження випробувань за погодженням із замовником показником і впровадження галузевої системи підтвердження відповідності методів випробувань. Запропоновано підхід до організації випробувань, розробки їх нових методів і метрологічного забезпечення, з урахуванням мислєдіяльностної методології.

Згідно розробленої методології за запропонованим підходом мета випробувань встановлюється за домовленістю між замовником випробувань і їх виконавцем. Тобто, замовник і виконавець встановлюють можливість проведення випробувань за погодженням показником, а взаємовідносини між ними базуються на взаємній довірі. Це обумовлено тим, що за результатами випробувань можна формулювати рекомендації і використовувати їх, на розсуд замовника, для внесення змін в конструкцію продукції з метою її удосконалення і/або підвищення якості. Програма випробувань розробляється індивідуально, а терміни проведення випробувань не регламентуються.

Методи випробувань, за нового підходу, можуть бути як простими, так і наукоємними, комплексними. Вони повинні базуватися на науковому осмисленні і обґрунтуванні нових визначальних показників, розробці образів і моделей їх визначення, і результатах перевірки можливості їх використання. Крім цього, повинні бути обґрунтовані і встановлені межі і значення метрологічного допуску на показники, критерії їх оцінювання з точки зору забезпечення безпеки і функціональності продукції.

Інструментом для досягнення встановлених цілей є адаптивна інформаційно-логістична система метрологічного забезпечення випробувань. Це система, яка акумулює в собі усі необхідні елементи для забезпечення якості проведення випробувань і здатна своєчасно реагувати, адаптуватися і ухвалювати відповідні рішення в залежності від потреб, як окремих замовників, так і суспільства в цілому. Вирішення указаних задач можливе лише у разі застосування системного підходу з використанням адаптивного управління, що дасть можливість вирішувати задачі з урахуванням конкретних умов. Адаптація у такій постановці являє собою вибір

оптимального варіанту в умовах недостатньої апріорної інформації, а адаптивний алгоритм розглядається як алгоритм, що дозволяє уточнювати прийняте рішення у міру надходження нової інформації.

Формування і прийняття рішень при розробці нових методів випробувань є складною погано формалізуємою задачею, тобто задачею, яка в окремих випадках вимагає побудови оригінального алгоритму вирішення в залежності від конкретної ситуації, для якої можуть бути характерні невизначеність і динамічність вхідних даних і знань. Це пов'язано з тим, що розв'язання указаної задачі відбувається в умовах невизначеності, внаслідок браку інформації необхідної для формалізації процесів. Крім того, невизначеність може бути пов'язана із відсутністю апріорної інформації, а саме знань законів протікання процесів внаслідок їх складності. Це призводить до неможливості побудови формальних аналітичних моделей, що враховують специфіку більшості впливаючих факторів.

Основою методології розробки нових методів випробувань (рис.3) є окремі елементи системного і процесного підходів, що сприяють розробці ефективної стратегії дослідження об'єкту, вивчення взаємозв'язків і синтезу адекватної моделі методу випробувань. Ефективність розробленого методу випробувань визначається правильністю вибору сукупності концептів і їх взаємозв'язків і взаємовпливів.

В якості математичного апарату, для опису методів випробувань, можна застосовується нечітке когнітивне моделювання, що дає змогу проводити дослідження в умовах невизначеності і ризику.

Нечітка когнітивна карта розробки методу випробувань являє собою причинно-наслідкову мережу, що відображає придатність методу. Формальний вид 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). Нечітка когнітивна карта будується на інформації, якою володіє особа, що розробляє метод випробувань.

Інформаційну модель розробки нових методів випробувань можна представити універсальною алгеброю:

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

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;

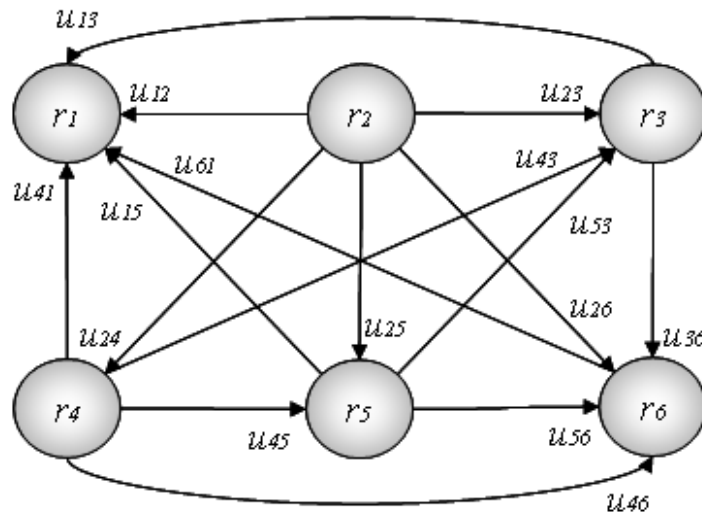
P – множина критеріїв для визначення достатності кількості спостережень (вимірювань);

S – множина правил, за якими приймаються рішення;

D – множина показників придатності методу;

F – множина параметрів зовнішнього впливаючого фактору.

Нечітку когнітивну карту (рис. 2) зручно представити у виді 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} .



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)

Рисунок 2 – Зважений орієнтований граф управління процесом розробки методу випробувань

Кінцевим результатом є значення показників придатності методу і їх відповідність встановленим вимогам. На показники придатності будуть впливати, узагальнено, два фактори: методика випробувань з 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. В свою чергу, методика випробувань буде впливати на кількість спостережень і, відповідно, похибку і невизначеність вимірювання.

Метою випробувань є отримання достовірної інформації про досліджуваний об'єкт, а також інформації про поведінку об'єкту при різних зовнішніх впливаючих факторах. Мета формується на етапі постановки задачі.

Створення моделі випробувань є складним і працезатратним етапом. Умовно його можна розділити на декілька процесів: розробка і обґрунтування математичної моделі і схеми випробувань, розробка методики випробувань, вибір або проектування випробувального устаткування, тощо.

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

примірного порядку кількісних значень показників, що визначаються.

На основі цього формуються вимоги до випробувального устаткування, за необхідності проводиться його класифікація. Воно може бути вибране із уже наявного з його модернізацією для забезпечення повної спостережності або проектуватись заново.

Наступний етап – експериментальна перевірка можливості практичної реалізації методу. Для цієї цілі вибирається об'єкт випробувань, якість якого підтверджена іншими (стандартними) методами. Визначаються показники правильності і прецизійності методу. Інформація, отримана на цьому етапі, аналізується і, в залежності від рівня досягнення поставленої мети, приймається одне із двох рішень:

- метод є придатним для використання: показники точності, невизначеності і спостережності відповідають встановленій меті;
- метод потребує доопрацювання: вибір нового випробувального устаткування, перегляд методики, тощо.

У разі прийняття рішення про придатність методу випробувань, проводиться нормування показників, встановлюється метрологічний допуск на них. Після цього проводиться стандартизація методу та обґрунтовуються і встановлюються показники придатності методу із врахуванням фактичних значень показників.

Процес прийняття рішення за новим методом випробувань складається із чотирьох основних етапів:

- аналізування проблем;
- формування мети і задач;
- формування і аналіз множини альтернатив;
- формування керуючої дії.

Кожен етап розділяється на підетапи, які є окремими задачами. Деякі задачі розв'язуються на основі припущень і нестрогих роздумів, що закладаються в модель випробування; формуються обмеження щодо застосування методу. Складність виникає при експериментальному дослідженні 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 розповсюдження як такої, що відповідає певним вимогам.

Розроблено інформаційно-логістичну систему метрологічного забезпечення випробувань. Метрологічне забезпечення випробувань є складною системою з багатьма входами і виходами (рис. 3) та охоплює нормативну, матеріальну, організаційно-трудову базу, базу оцінювання і забезпечення якості випробувань і підсистему інформаційно-логістичну.

Підсистема «Нормативна» охоплює ряд організаційних питань. Це, в першу чергу умови допуску продукції, що випробовується, до експлуатації з точки зору параметрів технічного стану. Виходячи з указаних умов обґрунтовуються і встановлюються показники, що визначаються, їхні номінальні і допустимі значення, метрологічний допуск, точність з якою вони повинні визначатись і контролюватись. Указана інформація є входом усієї системи метрологічного забезпечення. Підсистема «Нормативна» також забезпечує проведення науково-дослідних робіт

щодо розробки нестандартизованих методів випробувань, методик виконання вимірювання та оцінювання їх придатності, засобів вимірювальної техніки і випробувального устаткування.



Рисунок 3 – Система метрологічного забезпечення

Підсистема «Організаційно-трудова» забезпечує підготовку і наявність кадрів відповідної кваліфікації і категорії. Це випробувачі (метрологи) і інженерно-технічний персонал, який забезпечує необхідні умови для проведення випробувань.

Підсистема «Якість» призначена для реалізації забезпечення якості випробувань і забезпечує використання лише придатних методик випробувань, придатних засобів вимірювальної техніки і випробувального устаткування, а також періодичне підтвердження їх придатності. На виході з підсистеми маємо, відповідно, валідовані методи випробувань і устаткування.

Підсистема «Технологічно-технічна» направлена на безпосередньо проведення метрологічних робіт. Технічна складова підсистеми призначена для розробки і підтримання засобів вимірювальної техніки і випробувального устаткування у справному стані, охоплює питання, що стосуються вибору, калібрування засобів вимірювальної техніки, тощо.

Уся інформація яка необхідна для реалізації процесу випробувань акумулюється у підсистемі «Інформаційно-логістична». Це автоматизована система з базами даних щодо методик випробувань, засобів вимірювальної техніки і випробувального устаткування, персоналу, результатів вимірювань і випробувань. На основі цієї інформації розробляються і впроваджуються відповідні рішення щодо оптимізації діяльності випробувальної лабораторії і коригувальні дії. Інформаційно-логістична підсистема приймає рішення опираючись на факти з урахуванням можливих ризиків, а також розраховує помилки I і II-го роду при впровадженні того чи іншого рішення. Виходом запропонованої системи метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії є результати випробувань, що відповідають встановленим (передбачуваним – для нестандартизованих методик) нормативам щодо точності і невизначеності вимірювання, тощо.

Умовно, роботу інформаційно-логістичної підсистеми метрологічного

забезпечення випробувань можна розділити на наступні етапи: формування ситуації (стан системи управління випробувальної лабораторії на поточний момент); прийняття рішення, керуюча дія щодо реалізації прийнятого рішення. Прийняття рішень проводиться з використанням логічного регулятора з можливістю адаптації, тобто з можливістю запам'ятовувати прийняті рішення і створювати, так звані, прецеденти для наступних рішень.

Логічний регулятор проектується як багатокритеріальна задача оптимізації з нечіткою постановкою. Формалізація на кількісних шкалах якісних понять вирішується з урахуванням оцінювання параметрів і елементів моделі регулятора. Модель отримання керуючої дії представляється у вигляді ієрархічної структури, елементами якої є вхідні перемінні, лінгвістичні правила управління і якісні значення вхідних величин. В якості правила нечіткого виходу пропонується вибирати значення, що мають максимальну функцію приналежності. У загальному випадку, роботу логічного регулятора можна представити у виді ієрархії прийняття рішення на основі аналізування вхідної інформації. Результатом роботи логічного регулятора може бути не лише позитивний вихід. Якщо від впровадженої коригувальної дії не відбулось покращення, то цей факт також зберігається в базі даних можливих варіантів, з метою недопущення подібних неефективних дій у майбутньому.

Запропоновано з використанням мислєдїяльностї методологїї принцип побудови систем управління випробувальної лабораторїї та її віртуальної моделі. Рівні ієрархії визначаються рівнем встановлених вимог. Фази визначаються послїдовністю впровадження нових редакцій нормативних документів, що регламентують діяльність випробувальної лабораторїї, і визначаються редакцією (версією) цих документів. Види функцій визначають роль окремих елементів системи управління в загальній системі. Основою побудови віртуальної випробувальної лабораторїї є вимоги до її структури, технічних даних (засоби вимірювальної техніки і випробувальне устаткування) та вимоги до системи якості. В залежності від встановлених вимог (ВВ) в період тієї чи іншої фази (Ф) (початкова фаза – ПФ, теперішня фаза – ТФ, майбутня фаза – МФ), основна функція (ОФ) реалізується із забезпеченням допоміжної функції (ДФ) і контролюється керівною функцією (КФ). На основі аналізу діяльності формуються передбачувані вимоги (ПВ). Отже, досягнутий результат (ДР) формується за наступною послїдовністю

$$ДР = \left(\underbrace{ВВ}_{\Phi} \Rightarrow ОФ \right) \begin{matrix} \swarrow ДФ \\ \searrow КФ \end{matrix} \cdot \overbrace{\hspace{1cm}}^{ПВ} \quad (3)$$

Запропонований віртуальний тренажер випробувальної лабораторїї призначений для використання у навчальному процесі при навчанні фахівців випробувачів. Його застосування направлене на формування у студентів професійних знань, умінь і навичків самостійно приймати рішення та формування індивідуальних рішень розв'язання ситуацій, здобуття надпрофесійних навичків

(soft skills), здобуття професійних навиків роботи з нормативними документами (зокрема, стандартами), випробувальним устаткуванням, засобами вимірювальної техніки, роботи з адміністрування систем управління якістю.

Запропоновано методологію класифікації та оцінювання ризиків випробувальної лабораторії шляхом застосування мислєдіяльностної методології, що дозволяє встановити залежність між рівнем ризику, його джерелом і періодом впливу. Це дає змогу визначити найуразливіші на даний момент часу елементи системи управління та намітити шляхи для покращення і пошуку можливостей. Запропоновано показники і критерії їх оцінювання при дослідженні «ризик-профіль» лабораторії.

У третьому розділі удосконалено методологію встановлення нормативних (номінальних) значень показників при розробці нових методів випробувань, що базується на використанні похибок і невизначеності вимірювання; введено поняття метрологічного допуску, суть якого інтервал в межах якого вважається, що показник відповідає певному рівню; із застосуванням теорії невизначеності вимірювання синтезовано критерії оцінювання відповідності теоретичних моделей методів випробувань експериментальним, що дає змогу встановити їх співпадіння у кількісному виді.

При встановленні нормативного значення показника, необхідно жадати, щоб невизначеність була якнайменшою.

Алгоритм встановлення нормативного значення показника і метрологічного допуску на його визначення наступний:

- обґрунтування методу і методики його реалізації; аналітичні розрахунки з використанням теорії чутливості; встановлення орієнтовних значень довірчого інтервалу і невизначеності вимірювання;

- попередня серія вимірювань: експериментальне встановлення попередніх даних про точнісні характеристики методу (невизначеність вимірювання, оцінювання результату вимірювання і його похибка, середньоквадратичне відхилення результату вимірювання і його похибка, коефіцієнт варіації) шляхом проведення серії попередніх випробувань за розробленою методикою, аналітичне визначення необхідного числа вимірювань для встановлення нормативного значення із заданою невизначеністю. Випробування проводяться на технічно-справному (новому) об'єкті, що підтверджено результатами випробувань іншими (стандартизованими) методами; на цьому етапі нормування, в наявності у випробувача є лише дані про похибку засобу вимірювальної техніки, яким проводиться вимірювання, або про невизначеність його калібрування.

- основна серія вимірювань: експериментально-аналітичне визначення нормативного значення показника, визначення метрологічного допуску на контрольований показник;

- коригування (за необхідності) вимог до методу випробувань у частині похибки (невизначеності) засобу вимірювальної техніки, що використовується при випробуваннях.

Попередня серія вимірювання складається з одного або декількох етапів. Кількість вимірювань на першому етапі залежить від кількості перемінних факторів, що призводять до випадкової похибки вимірювання, які можна врахувати,

орієнтовно проводиться 10-20 вимірювань. Критерієм придатності попередньої серії є виконання умови, за якої похибка середньоарифметичного значення показника повинна бути меншою систематичної похибки вимірювання Δ_c

$$\Delta \bar{x}_{n1} \leq \Delta_c / 3, \quad (4)$$

де

$$\Delta \bar{x}_{n1} = \pm t \frac{\sigma_{n1}}{\sqrt{n_{n1}}}; \quad (5)$$

t – коефіцієнт Стюдента, що залежить від числа вимірювань за довірчої ймовірності $P=0,95$;

σ_{n1} , n_{n1} – середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань і число вимірювань у попередній серії на першому етапі, відповідно.

У разі невиконання умови (4), необхідно здійснити ще один етап вимірювань в кількості $n_{n2}=10-20$.

На наступному етапі проводяться розрахунки коефіцієнту варіації v_n та розширеної невизначеності U_n . Коефіцієнт варіації використовується в якості додаткової перевірки. Його значення не повинно перевищувати 15 %. У разі перевищення коефіцієнтом варіації допустимого значення, проводять нові вимірювання попередньої серії випробувань.

Основна серія вимірювань проводиться з метою звуження інтервалу, в якому може знаходитись нормативне значення показника, для уникнення труднощів при формулюванні висновку із наближенням значення показника до допустимого або граничного значення. Кількість вимірювань n_o в основній серії визначається виходячи із значень середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту варіації при довірчій ймовірності $P=0,99$ (таке посилення вимог до точності дає змогу звужити інтервал у якому буде знаходитись нормативне значення показника)

$$n_o = \frac{t^2 \sigma_n^2}{\Delta \bar{x}_n^2}, \quad (6)$$

де σ_n , $\Delta \bar{x}_n$ – середньоквадратичне відхилення і похибка визначення середнього значення показника у попередній серії вимірювань, відповідно.

Метрологічний допуск на контрольований параметр доцільно встановити в межах $\pm 2U_o$, але не більше ніж $\pm U_n$. Це забезпечить врахування невизначеності від факторів, що змінюються від досліду до досліду. За реалізації нового методу, невизначеність вимірювання не повинна перевищувати U_o .

Теоретична (математична) модель випробувань складається на основі, і є результатом, ґрунтовних наукових досліджень. Така модель має певні допущення і тому вона не буде в повній мірі відповідати реальному процесу протікання явища, що досліджується. Використовуючи теоретичну модель проводяться певні

розрахунки і формуються попередні висновки. Теоретична модель (модельне рівняння) вимірювання показника, що досліджується має вид

$$y_t = f(X \pm U_X), \quad (7)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина значень величин, що входять у модельне рівняння вимірювання теоретичного значення досліджуваного показника y ;

$U_X = \{U_{x1}, U_{x2}, \dots, U_{xn}\}$ – множина значень розширених невизначеностей з якими вимірюються показники X , що входять у модельне рівняння вимірювання досліджуваного показника y ;

n – кількість величин, що входять у модельне рівняння вимірювання досліджуваного показника y .

Результат теоретичного вимірювання можна представити у виді розподілу з числом вимірювань, що наближається до безкінечності. Такі результати розподіляються за нормальним законом, а математичне очікування $\bar{y}_t$ (середнє значення) буде рівнятись результату розрахунку за (7) без врахування невизначеності вимірювання U_X :

$$\bar{y}_t = y_t. \quad (8)$$

За теоретичного дослідження на результат вимірювання за (7) не буде впливати випадкова похибка, а методична, апіорі, рівняється нулю. У цьому разі значення U_X будуть визначатись невизначеностями типу В.

Умовні межі зміни теоретичного значення показника y будуть визначатись величиною його невизначеності вимірювання

$$y_{t \max} (y_{t \min}) = \bar{y}_t \pm U_{yt}. \quad (9)$$

де $y_{t \max}, y_{t \min}$ – максимальне і мінімальне теоретичне значення показника y ;

U_{yt} – невизначеність вимірювання показника y .

Похибка визначення середнього теоретичного значення

$$m_{yt} = \frac{U_{yt}}{3}, \quad (10)$$

При здійсненні вимірювань в реальних умовах на їх результат будуть впливати випадкова і систематична похибки. За рахунок дії випадкової похибки розширюється інтервал (у порівнянні з теоретичними даними вимірювань), в якому може знаходитись дійсне значення вимірюваної величини. Крім цього, за рахунок недосконалості математичної моделі (модельного рівняння) вимірювання показника (методична похибка), математичне очікування експериментальних даних може відрізнятись від теоретичного

Для оцінювання впливу методичної похибки на результат вимірювання

визначаються межі можливих відхилень теоретичних даних $\bar{y}_T$ від експериментальних $\bar{y}_e$ (Δy) в долях від похибки визначення різниці між цими величинами m_y

$$k_M = \frac{\Delta y}{m_y}. \quad (11)$$

де

$$\Delta y = |\bar{y}_T - \bar{y}_e|; \quad (12)$$

$$m_y = \sqrt{m_{yT}^2 + m_{ye}^2}. \quad (13)$$

Показник k_M може бути кількісним показником вираження методичної похибки і характеризує ймовірність з якою теоретична модель не відповідає експериментальній. За значень $k_M=0,68$ ймовірність співпадіння теоретичних і експериментальних результатів буде 50 %. За значень $k_M=1$ ймовірність неспівпадіння теоретичних і експериментальних результатів буде 68 %. Якщо різниця середніх значень буде більш ніж в два рази перевищувати похибку їх визначення (ймовірність неспівпадіння 95 %), то методичну похибку можна назвати суттєвою і необхідно прийняти міри для удосконалення математичної моделі. Якщо $k_M < 1,3$ (ймовірність співпадіння результатів більше 80 %) то можна вважати, що методична похибка незначно впливає на результати, а самі результати є співставними.

Для визначення ймовірності P_c з якою теоретична модель відповідає експериментальній необхідно знайти величину

$$P_c = 1 - P_{kM}. \quad (14)$$

де P_{kM} – ймовірність співпадіння теоретичних і експериментальних даних.

Для оцінювання впливу випадкової похибки порівнюються між собою значення невизначеності теоретичного розподілу і експериментального

$$k_B = \frac{U_{ye}}{U_{yT}}. \quad (15)$$

За значень $k_B \geq 2$ значення випадкової похибки буде перевищувати значення систематичної похибки, тобто, випадкова похибка суттєво впливає на результат вимірювання. Зменшити її можна шляхом здійснення ще однієї серії вимірювань. Якщо після додаткових вимірювань значення k_B не зменшилось, то необхідно здійснити міри з усунення зовнішніх факторів, що впливають на точність вимірювання.

У четвертому розділі наведено спосіб визначення просторово-часової орієнтації об'єктів випробувань – мобільних машин.

Для проведення випробувань на ділянках, що мають подовжній і поперечний ухили, доцільно використовувати вимірювальні системи на гіроскопічній платформі, які мають функцію вимірювання лінійного прискорення і кутової швидкості (рис. 4).

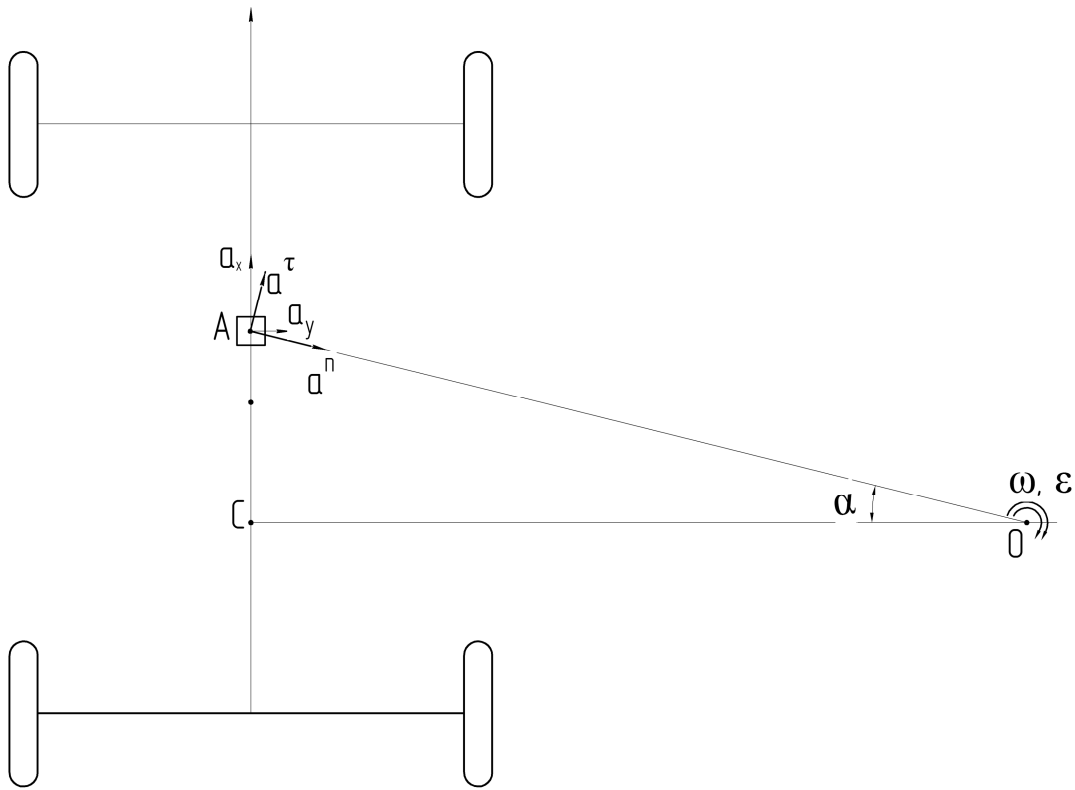


Рисунок 4 – Схема лінійних прискорень, що виникають при русі об'єкту

Компоненти просторово-часової орієнтації об'єкту випробувань
– кутове прискорення

$$\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}, \quad (16)$$

де ω_1, ω_2 – значення кутової швидкості виміряні в поточний і попередній моменти часу відповідно;

Δt – проміжок часу з яким здійснюється вимірювання кутової швидкості.

– миттєвий радіус повороту

$$R = \frac{a_y \omega_2^2 \Delta t^2 - a_x \Delta t (\omega_2 - \omega_1)}{\omega^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2}, \quad (17)$$

де a_x, a_y – компоненти лінійного прискорення об'єкту випробувань;

– лінійна швидкість

$$v = \frac{a_y \omega_2^3 \Delta t^2 - a_x \Delta t \omega_2 (\omega_2 - \omega_1)}{\omega^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2}. \quad (18)$$

Похибка вимірювання швидкості трактора визначається наступним чином

$$\varepsilon_v = \left(\left| \frac{\partial v}{\partial a_y} \right| + \left| \frac{\partial v}{\partial a_x} \right| \right) \varepsilon_a + \left(\left| \frac{\partial v}{\partial \omega_2} \right| + \left| \frac{\partial v}{\partial \omega_1} \right| \right) \varepsilon_\omega + \left| \frac{\partial v}{\partial \Delta t} \right| \varepsilon_{\Delta t}. \quad (19)$$

де ε_a , ε_ω , $\varepsilon_{\Delta t}$ – абсолютні похибки вимірювання лінійного прискорення, кутової швидкості і часу відповідно.

Структурно система для визначення просторово-часової орієнтації об'єктів, що реалізує спосіб містить (рис. 5): 1 – вимірювальний блок, 2 – обчислювальний блок, 3 – пристрій візуалізації, 4 – клавіатура, 5 – друкувальний пристрій, 6 – блок живлення, 7 – модуль підключення до об'єкту. Вимірювальний блок 1 складається з давача лінійного прискорення 1.1 і давача кутової швидкості 1.2. Живлення обчислювального блоку 2 забезпечується від бортової електромережі об'єкту або від автономних елементів живлення за допомогою блоку живлення 6. Обчислювальний блок має модуль підключення до рухомого об'єкту 7, через який на об'єкт передається інформація управління ним в залежності від інформації отриманої вимірювальним блоком (зворотній зв'язок).

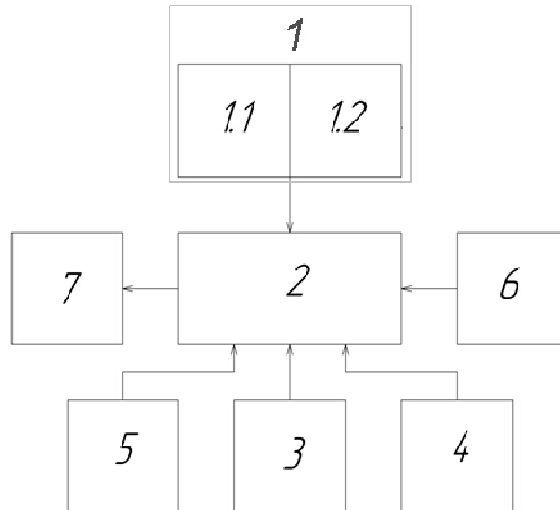


Рисунок 5 – Структурна схема системи для визначення просторово-часової орієнтації об'єктів

Запропонована вимірювальна система реалізує принципи методу парціальних прискорень, її можна застосувати під час випробування різних видів машин: тракторів, сільськогосподарських машин, автомобілів, зокрема, під час випробувань спортивних автомобілів – засобів, що рухаються з великими швидкостями та значними прискореннями, як у подовжньому, так і у поперечному напрямках.

У п'ятому розділі наведено результати розробки методу випробувань гідрооб'ємного рульового керування тракторів та встановлення і нормування визначального показника якості.

Нормування показників кваліметрії технічного стану гідрооб'ємного рульового керування проводилось на тракторах тягового класу 3 з шарнірно-зчленованою рамою, що пройшли приймальні і сертифікаційні випробування. В якості вимірювального устаткування використовувався реєстраційно-вимірювальний комплекс, що складається з лінійних акселерометрів і спеціального програмного забезпечення. Згідно програми досліджень було встановлено, що достатньо використання одного акселерометра, закріпленого на задній напіврамі з лівого боку. На основі філософського осмислення процесу роботи рульового керування трактора, аналізу його несправностей і ймовірності їх появи та експериментального визначення, що характер протікання процесу зміни лінійних прискорень при русі трактора і на нерухомому подібний, було визначено математичну модель (узагальнену) випробувань. В якості кваліметричних показників вибрані наступні параметри: час здійснення циклу повороту направляючих коліс, амплітуда прискорень, що виникають, площа під кривою прискорень

$$\begin{cases} f(\bar{t}; a_{\max \min}; S_a); S_a = \int_t a dt \\ \Delta_t; \Delta_a \end{cases}, \quad (20)$$

де $\bar{t}$ – середній час повороту направляючих коліс, с

$a_{\max \min}$ – максимальне і мінімальне значення прискорення, м/с²;

S_a – площа під кривою прискорень, м²;

Δ_t, Δ_a – абсолютна похибка вимірювання часу і прискорення, відповідно.

На основі встановленої залежності між амплітудою прискорень повороту направляючих коліс і технічним станом гідроприводу рульового керування трактора, опосередковано, будується номограма технічного стану (рис. 6), яка для будь-якого об'єкту випробувань будується за

$$T = k \cdot e^{b \left(\frac{a_i}{a_{\max}} \right)}, \quad (21)$$

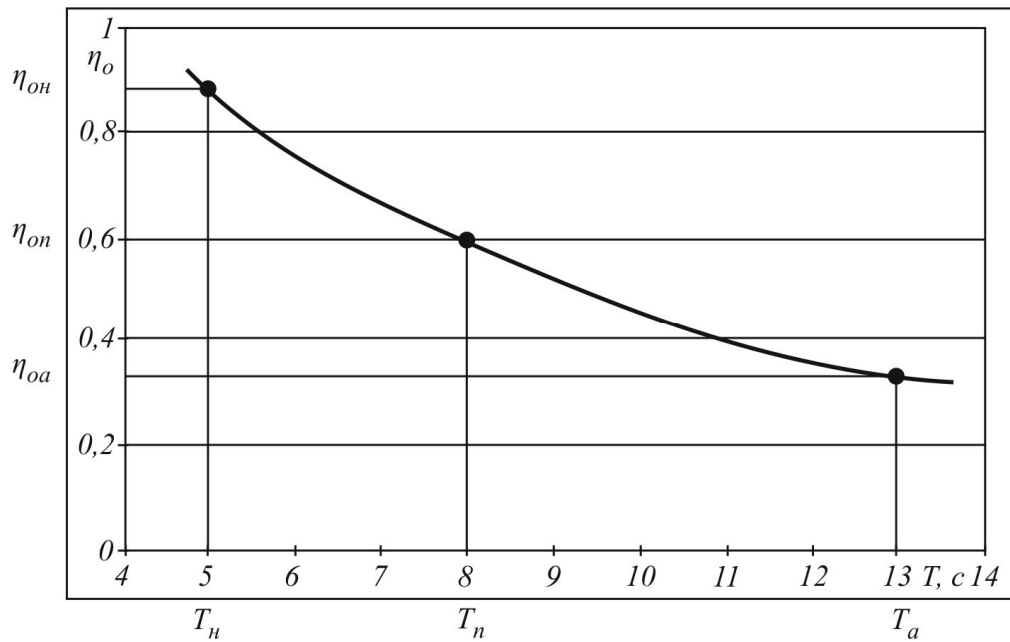
де k, b – постійні коефіцієнти;

$a_i, a_{\max}$ – прискорення повороту відповідно за реального і номінального технічного стану.

Таку номограму необхідно будувати для кожного типу трактора на етапі дослідницьких визначальних випробувань. Дані заносити в технічну документацію. Допуск на контрольований параметр встановлюється в межах $\pm 3\sigma$.

В результаті нормування показника час здійснення циклу повороту направляючих коліс було встановлено, що в основній серії необхідна кількість вимірювань в межах 50-60, невизначеність вимірювання основної серії U_o не

перевищувала 0,50 с, за довірчої ймовірності $P=0,95$, метрологічний допуск $\pm 0,50$ с.



T_n, T_n, T_a – час повороту відповідно за номінального $\eta_{он}$, гранично допустимого $\eta_{он}$, аварійного $\eta_{оа}$ (теча у з'єднаннях)

Рисунок 6 – Номограма визначення об'ємного ККД (η_o)

гідрооб'ємного рульового керування тракторів
серії ХТЗ-170 від часу повороту на місці (T)

На основі експериментальних досліджень було встановлено, що трудомісткість технічного діагностування гідрооб'ємного рульового керування тракторів серії ХТЗ-170 склала $T_1=0,25$ люд.-год., що у 3,28 рази менше ніж за існуючою методикою. Крім того, знижується витрата робочої рідини на 2,7 кг, так як за запропонованою технологією усувається операція демонтажу агрегатів.

У шостому розділі наведено результати розробки методу випробувань гальмівних систем тракторів, встановлення і нормування визначального показника якості та розробки вимог до випробувальних стендів.

На основі філософського осмислення процесу роботи гальмівних систем, аналізу їх несправностей і ймовірності їх появи було визначено математичну модель (узагальнену) випробувань

$$\left\{ \begin{array}{l} j_{уст}; \psi = \iint_t j dt \\ \alpha \\ \Delta P_{T1}; \Delta P_{T2} \\ \sigma; v \end{array} \right., \quad (22)$$

де $j_{уст}$ – усталене сповільнення, м/с²;

α – кут нахилу прямої наростання уповільнення;

ΔP_{T1} , ΔP_{T2} – бортова нерівномірність гальмівних сил на колесах передньої і задньої вісі, Н;

ψ – кут відхилення подовжньої вісі машини;

t – час здійснення гальмування, с;

σ , v – середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації показників, що визначаються, відповідно.

Обґрунтування показника ефективності за критерієм працездатності гальмівних осей базується на методі парціальних прискорень, що передбачає розкладання сумарного сповільнення при гальмуванні в ряд парціальних сповільнень, які є результатом дії кожної із зовнішніх сил.

Згідно з розробленою методикою проводились дорожні випробування тракторів. Випробування проводились на трьох тракторах класу 3 кН ХТА-200. Трактори були у стандартному виконанні, нові, пройшли приймальні і сертифікаційні випробування. Гальмування здійснювалися з різних швидкостей руху, а також за імітації несправності пневмоприводу (зменшувався тиск, що створюється компресором) і використанні гальмівних накладок з різним ступенем зносу.

Отримані гальмівні діаграми розділяються на ділянки: наростання уповільнення, стає уповільнення, зниження уповільнення. Кожна ділянка апроксимується відповідною кривою. Отримані в результаті декількох заїздів в умовах повторюваності гальмівні діаграми усереднюються. Таким чином, отримуємо близьку до ідеальної для даного випробовуваного трактора, «шліфовану гальмівну діаграму». Здійснюючи певну кількість випробувань на тракторі однієї моделі, отримуємо нормативні гальмівні діаграми з відповідними допусками на встановлені її показники (темپ наростання уповільнення, усталене уповільнення).

Визначальним параметром визначено показник – темп наростання сповільнення. В результаті нормування цього показника було встановлено, що нормативне значення у справного трактора має значення $2,5 \text{ м/с}^3$, невизначеність вимірювання основної серії U_o не перевищувала $0,35 \text{ с}$, за довірчої ймовірності $P=0,95$, метрологічний допуск $\pm 0,35 \text{ м/с}^3$.

Розроблений експрес-метод випробувань гальмівних систем тракторів, що був апробований на тракторах серії ХТА-200, дозволяє зменшити у порівнянні з відомими технологіями трудомісткість в 3,3 рази.

Аналіз відомих методів випробувань стоянкових гальмівних систем показав можливість застосування показника еквівалентного зусилля, суть якого мінімальне значення гальмівної сили, яку має реалізувати гальмівна система трактора за заданого кута α подовжнього ухилу опорної поверхні

$$P_E = G \sin \alpha. \quad (23)$$

де G – вага трактора, Н.

Указане твердження дає можливість визначити вимоги до випробувального устаткування. При конструюванні стенду на початковому етапі необхідно вибрати номенклатуру тракторів за показниками маси і імітованого кута ухилу поверхні. Далі розраховуються значення максимального та мінімального еквівалентних

зусиль, які необхідно реалізувати.

Для створення необхідного еквівалентного зусилля на стенді з гідравлічним приводом необхідно в гідроциліндрі створити тиск

$$p = \frac{G \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}}{(S_n - S_{ш})}, \quad (24)$$

де β – кут відхилення поздовжньої вісі приводу стенду від горизонтальності;

S_n – площа поршня гідроциліндра, м^2 ;

$S_{ш}$ – площа штока, м^2 .

Виміряти кут β можна за допомогою акселерометра, встановленого, наприклад, на гідроциліндрі.

За значення кута β 12° відносна похибка в заданні еквівалентного зусилля складе 2 %.

Структурно до стенду для випродувань стоянкових гальмівних систем методом еквівалентного навантаження входять (рис. 5): формувач навантаження, обмежувач навантаження, засоби вимірювальної техніки, блок прийняття рішень, програмне забезпечення, аварійний вимикач. Конструктивно стенд повинен складатися з силового контуру (механізму підйому-опускання, балка основи, каретка, гідроциліндр, демпферна пружина, гідронасос, соленоїдний редукційний клапан, електроманометр, масляний бак), контуру реєстрації переміщення (двоосьовий акселерометр, канал передачі даних), аварійного контуру (обмежувальний пристрій, калібрувальна балка) і блоку керування. Для калібрування стенду в його конструкції повинна бути передбачена калібрувальна балка, яка закріплюється на обмежувальних пристроях. Різниця між розрахунковими і реальними значеннями еквівалентного зусилля при калібруванні будуть характеризувати абсолютну похибку стенду.

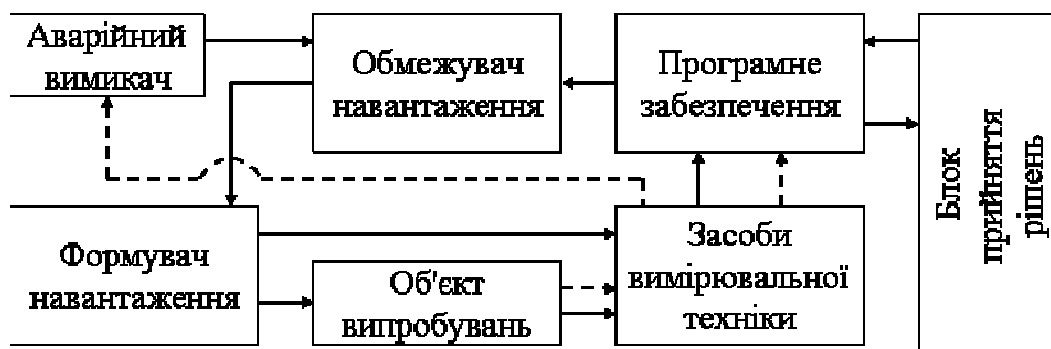


Рисунок 5 – Структурна схема стенду для випробувань стоянкових гальмівних систем методом еквівалентного навантаження

Обґрунтування вимог до стендів для випробувань стоянкових гальмівних властивостей причіпних машин базувалось на припущенні, що під час знаходження машини на ухилі відбувається перерозподіл її ваги на вісі. Принцип роботи випробувального стенду може базуватись на двох режимах: визначення

ефективності стоянкових гальмівних систем за імітації нормованого ухилу опорної поверхні або визначення максимального значення гальмівних сил з послідуочим розрахунком величини кута ухилу опорної поверхні, на якій машина буде утримуватись нерухомою за заданих значень гальмівних сил.

У випадку дії стоянкової гальмівної системи причепа (причіпної машини) на колеса двох осей, гальмівна сила на більш навантаженій вісі повинна бути не менше

$$P_{Г1} = (m_1 + m_2 \sin \alpha) g \sin \alpha, \quad (25)$$

де m_1 – маса, що доводиться на довантажену вісь причепа (причіпної машини) за горизонтального розташування машини, кг;

m_2 – маса, що доводиться на розвантажену вісь причепа (причіпної машини) за горизонтального розташування машини, кг;

g – прискорення вільного падіння, $g=9,81 \text{ м/с}^2$;

α – кут нахилу опорної поверхні, град.

За імітації зворотного положення причепа (причіпної машини) гальмівна сила повинна бути не менше

$$P_{Г1} = (1 - \sin \alpha) m_1 g \sin \alpha. \quad (26)$$

Для другої вісі розрахунок мінімального значення гальмівної сили для різних положень причепа (причіпної машини) проводиться за наступними залежностями:

$$P_{Г2} = (1 - \sin \alpha) m_2 g \sin \alpha; \quad (27)$$

$$P_{Г2} = (m_2 + m_1 \sin \alpha) g \sin \alpha. \quad (28)$$

За дії стоянкової гальмівної системи на колеса однієї вісі

$$P_{Г1} = m_m g \sin \alpha, \quad (29)$$

де m_m – маса машини, кг.

На випробувальному стенді, крім іншого, повинен відтворитися нормативний режим перевірки і визначення статусу параметрів, що вимірюються: чи входять вони в допустимі межі.

Конструктивно стенд повинен складатися з двох (на кожне колесо вісі) рухомих опорних майданчиків з контактними поверхнями, давачів маси, давачів переміщення майданчиків, системи приводу, що складається із силового циліндру і пневмо- (гідро-) системи, блоку керування із засобами вводу-виводу і візуалізації інформації, противідкантих опор.

Зусилля в приводі стенду, яке необхідно реалізувати на кожній опорній площадці за випробування в режимі імітації нормованого значення кута ухилу опорної поверхні

$$N = \frac{m_i^*}{2} g \sin[\alpha] + \delta N, \quad (30)$$

де m_i^* – маса i -ї вісі машини з урахуванням перерозподілу ваги машини на ухилі, кг;
 $[\alpha]$ – нормоване значення ухилу опорної поверхні, град.
 δN – абсолютна величина похибки визначення зусилля в приводі стенду

$$\delta N = \frac{\delta m_i}{2} g \sin[\alpha], \quad (31)$$

δm_i – абсолютна величина похибки вимірювання маси вісі машини.

За такого врахування похибки (зі знаком «+») заздалегідь буде виконано умову створення стендом мінімально необхідного зусилля.

При випробуванні в режимі визначення максимального значення гальмівних сил величина прикладеного зусилля в момент початку руху опорної поверхні $N_{\max i}$ буде рівнятись значенню реалізованої на колесі гальмівної сили P_{Ti}

$$N_{\max i} = P_{Ti}. \quad (32)$$

Похибка вимірювання гальмівної сили у цьому випадку буде визначатись похибкою реалізації зусилля.

Запропоновані конструкції випробувальних стендів і методик випробувань стоянкових гальмівних систем забезпечують підвищення безпеки проведення випробувань за рахунок відсутності необхідності в маневруванні тракторного поїзду, зниження тиску в системі приводу стенду за рахунок почергового випробування кожної вісі і розділення тиску за кожним опорним майданчиком, відсутність необхідності в розагрегативанні тракторного поїзду, вимірювання нерівномірності дії гальмівних механізмів; силовий циліндр приводу стенду двосторонньої дії виключає необхідність в повторюванні операцій процедури випробувань за встановлення машини на стенд в зворотному напрямку. Крім цього конструкції стенду дозволяють встановлювати їх в потокову лінію контролю технічного стану.

У сьомому розділі наведено результати розробки методу випробувань елементів приводу активних робочих органів сільськогосподарських машин.

На основі філософського осмислення процесу роботи приводу активних робочих органів машин, аналізу їх несправностей і ймовірності їх появи було визначено математичну модель (узагальнену) випробувань

$$\begin{cases} N_{\text{гак}} \\ a \\ \sigma; v \end{cases}, \quad (33)$$

де $N_{\text{гак}}$ – потужність на гаку трактора, кВт;

a – прискорення трактора, м/с^2 ;

σ , v – середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації показників, що визначаються, відповідно.

Першим етапом дослідження є визначення еталонної для вибраного трактора сили тяги. Другим етапом проводиться розгін машино-тракторного агрегату з відключеним валом відбору потужності на агрофоні відповідному технологічній операції. Так як рух з сільськогосподарською машиною, що агрегується здійснюється на деформівній поверхні, що викликає збільшення часу розгону і зменшення вибігу, то порівнявши ці показники з еталонною діаграмою сили тяги можна визначити потужність двигуна, яку можна реалізувати через вал відбору потужності. Третім етапом проводиться розгін машино-тракторного агрегату з включеним валом відбору потужності. Опір робочих органів сільгоспмашини уповільнює набір швидкості, як наслідок порівнявши всі три діаграми можна отримати тяговий опір сільгоспмашини і потужність двигуна витрачену на привід валу відбору потужності.

Розроблений метод випробувань дозволяє зменшити у порівнянні з відомими технологіями трудомісткість випробувань у 2,9 рази.

У восьмому розділі наведено результати розробки методу вимірювання кута поперечної стійкості машин.

Метод випробувань з визначення кута поперечної стійкості машин базується на припущенні, що при розташуванні машини на поверхні з поперечним ухилом відбувається перерозподіл її ваги між бортами за лінійною залежністю (рис. 6). За досягнення кута ухилу, за якого вектор сили тяжіння буде проходити через точку опори, наступить момент «байдужої рівноваги», коли уся вага трактора буде розподілена на борт, що знаходиться нижче за схилом (реакція розвантаженого борту буде дорівнювати нулю).

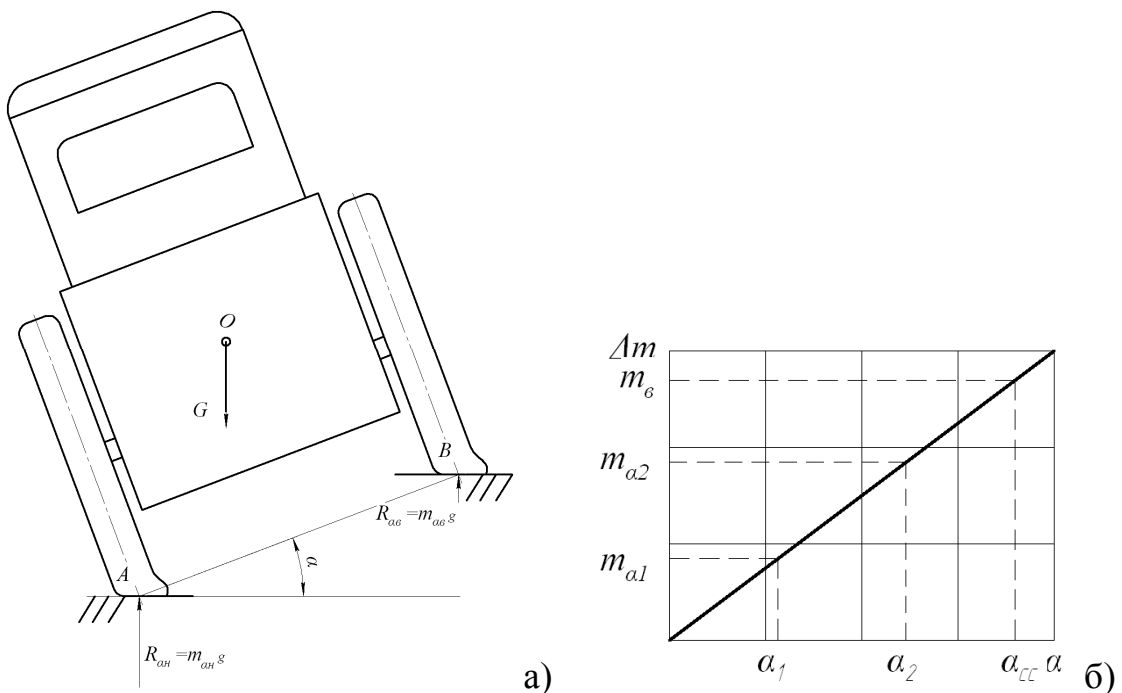


Рисунок 6 – Схема перерозподілу ваги трактора за бортами а) та залежність величини приросту маси від кута ухилу б)

Закон перерозподілу ваги за бортами є індивідуальним для кожного трактора і залежить від колії і координат центру мас

$$\alpha_{cc}^* = k_1 k_2 \left(\frac{\Delta m_{\alpha_2}}{m_B} \right)^{-1} \alpha_2, \quad (34)$$

де m_B – маса борту трактора розташованого вище за схилом, виміряне при горизонтальному положенні трактора, кг;

Δm_{α_2} – приріст маси борту трактора при знаходженні його на поперечному ухилі з кутом α_2 , кг;

α_2 – кут, на який здійснюють підйом борту машини, град;

k_1 – похибка прямих вимірювань маси і кута нахилу машини;

k_2 – поправка на деформацію шин, підвіски, тощо, яка визначається на основі статистичних даних.

Параметр $\Delta m_{\alpha_2}/m_B$ змінюється в межах $[0; 1]$, зі збільшенням кута α змінюється в межах $[\infty; 1]$ і є оціночним показником поперечної статичної стійкості.

Похибка вимірювання кута поперечної статичної стійкості методом послідовного зважування

$$\varepsilon_{\alpha_{cc}} = \varepsilon_m + \varepsilon_{\alpha_2}, \quad (35)$$

де ε_m – абсолютна похибка вимірювання мас машини;

ε_{α_2} – абсолютна похибка вимірювання кута підйому борту машини α_2 .

Для зручності користування методом запропоновано таблицю визначення кута поперечної стійкості (рис. 7).

	α , град	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\Delta m_{\alpha_2}/m_B$	0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,15	33	40	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,2	25	30	35	40	45	–	–	–	–	–	–
	0,25	–	–	28	32	36	40	44	–	–	–	–
	0,30	–	–	–	26	30	33	36	40	43	–	–
	0,35	–	–	–	–	25	28	31	34	37	40	43
	0,40	–	–	–	–	–	25	27	30	32	35	37
	0,45	–	–	–	–	–	–	–	26	29	31	33
	0,50	–	–	–	–	–	–	–	–	26	28	30
	0,55	–	–	–	–	–	–	–	–	–	25	27
	0,60	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	25

Рисунок 7 – Таблиця визначення кута поперечної стійкості

Під час валідації методу (з проведенням натурних випробувань) визначались:

зони можливих значень складових формули (34) для реальних машин; вплив на результат вимірювання похибки зважування; непевність від похибки вимірювання кута підйому борту машини; сумарна похибка вимірювання кута поперечної стійкості

В результаті валідації встановлено, що за значень похибок вимірювання кута нахилу машини не більше $\pm 0,1^\circ$ і вимірювання маси машини – не більше ± 4 кг сумарна абсолютна похибка методу, в залежності від маси машини, становить не більше: 2000–2300 кг – $1,5^\circ$; 2300–10000 кг – $1,0^\circ$; 10000 кг – і більше – $0,5^\circ$. Діапазон значень кута поперечної стійкості, що вимірюються – 25° – 45° ; кут, на який піднімається борт машини – 5° – 15° .

Експериментальні дослідження з вимірювання кута поперечної стійкості проводились на машинах різних конструкцій та мас: трактор з шарнірно-складеною рамою 3-го класу ХТА-200, причіп лісовозний з маніпулятором We-12D, бункер-накопичувач перевантажувальний ПБН-30. Вибрані машини відрізняються конструктивним виконанням, розмірами та масою, що дозволяє оцінити дієвість запропонованого методу у широкому спектрі. Результати вимірювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання кута поперечної статичної стійкості машин, градус $\pm$ похибка

№ п/п	Тип машини	Кут поперечної стійкості	Похибка вимірювання
1	трактор з шарнірно-складеною рамою 4-го класу	$35,0^\circ$	$\pm 1,5$
2	причіп лісовозний з маніпулятором	$43,5^\circ$	$\pm 1,5$
3	бункер-накопичувач перевантажувальний	$37,5^\circ$	$\pm 1,5$

З результатів випробувань видно, що при вимірюванні кута поперечної стійкості методом послідовного зважування отримані результати співставні з результатами, що визначені на стенді СУ-40 (дані з настанов з експлуатування). Тому можна зробити висновок про дієвість запропонованого методу.

Розроблений експериментально-аналітичний метод вимірювання кута поперечної стійкості трактора, порівняно з існуючими має переваги. А саме, не потрібно використовувати платформенні стенди і не потрібно розраховувати координати центру мас машини, відповідно зменшується похибка непрямих вимірювань.

Національним агентством з акредитації України було ухвалено рішення про внесення розробленого методу вимірювання кута поперечної стійкості машин до сфери акредитації випробувальної лабораторії та видачі відповідного атестата про акредитацію на відповідність ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019.

На рис. 8 і рис. 9 показано схему формування результату вимірювання при

випробуванні в режимі руху машини і на майданчиковому стендах, відповідно, вимоги до конструкції яких розроблено в дисертаційній роботі. Сектори позначені неперервними лініями – прямі вимірювання. Сектори позначені штриховими лініями – непрямі вимірювання. α_{cc} – кут поперечної стійкості машини; U_{acc} – невизначеність вимірювання кута поперечної стійкості машини; Δ_{acc} – похибка вимірювання кута поперечної стійкості машини.

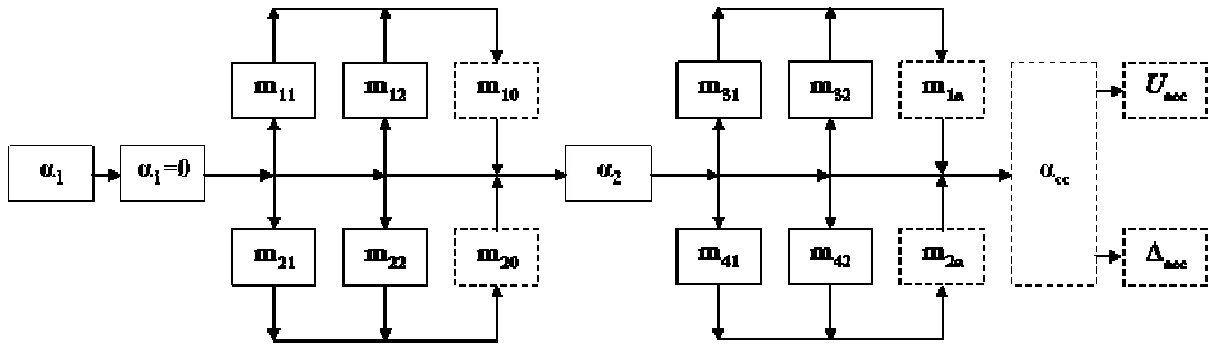


Рисунок 8 – Схема формування результату вимірювання в режимі руху

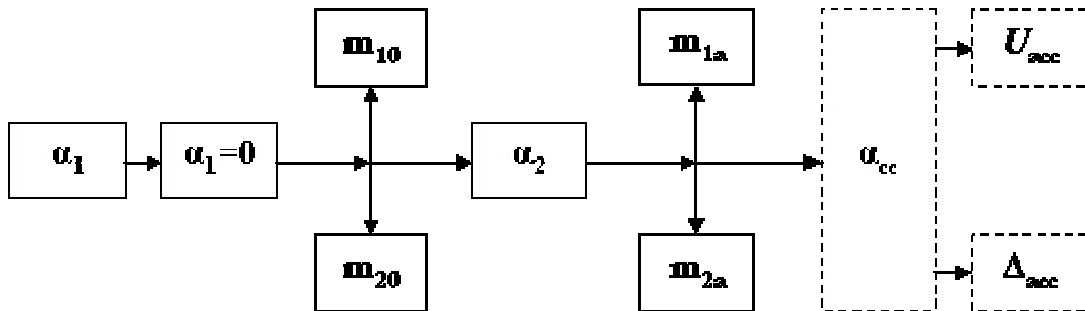


Рисунок 9 – Схема формування результату вимірювання на майданчиковому стенді

На рис. 8 позначено: α_1 – кут нахилу машини в початковий момент; m_{11} , m_{21} – маса машини, що виміряна під передніми колесами правого і лівого бортів, відповідно; m_{12} , m_{22} – маса машини, що виміряна під задніми колесами правого і лівого бортів, відповідно; α_2 – кут нахилу машини; m_{31} , m_{41} – маса машини, виміряна під передніми колесами правого і лівого борту, відповідно, у нахиленому положенні; m_{32} , m_{42} – маса машини, виміряна під задніми колесами правого і лівого борту, відповідно, у нахиленому положенні; m_{1a} – маса правого борту машини виміряна у нахиленому положенні; m_{2a} – маса лівого борту машини виміряна у нахиленому положенні.

На рис. 9 позначено: α_1 – показ датчика вимірювання нахилу машини після встановлення його на трактор; m_{10} , m_{20} – маса правого і лівого бортів машини, відповідно, за $\alpha_1=0$; α_2 – кут на який здійснився нахил машини; m_{1a} , m_{2a} – маса правого і лівого бортів машини за α_2 .

Запропоновані конструкції стендів для вимірювання кута поперечної стійкості тракторів підвищують безпеку випробувань за рахунок відсутності необхідності підйому трактора на критичний кут, утримування його у піднятому стані, забезпечують підвищення точності вимірювання кута поперечної стійкості за рахунок відсутності необхідності розрахунку координати положення центру мас.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні виконано теоретичне узагальнення і нове розв'язання важливої науково-прикладної проблеми оцінювання якості тракторів на етапі виробництва і експлуатації шляхом створення сучасної системи методів і організації випробувань. Результати досліджень дозволили сформулювати основні теоретичні та науково-практичні висновки:

1. Розроблено концепцію розвитку метрологічного забезпечення випробувань, що дало можливість синтезувати інформаційно-логістичну систему метрологічного забезпечення випробувань тракторів та сформувати адаптивний простір управління якістю продукції. На основі концепції розроблено методологію проектування нових методів випробувань з використанням нечітких когнітивних карт, що дозволяє описувати системи прийняття рішення в умовах ризику під час розробки нових методів випробувань та передбачає запис моделі нового методу випробувань кінечною множиною об'єктів, які є значимими для методу випробувань характеристиками, встановлення між об'єктами причинно-наслідкових зв'язків, що можуть позитивно/негативно впливати на характеристики методу, що розробляється.

2. Розроблено метод встановлення нормативних (номінальних) значень показників дає можливість експериментально-аналітичним способом встановити їхні базові, граничні і допустимі значення для кожного типу машини (трактора зокрема). При цьому, інтервал в межах якого вважається, що показник відповідає певному рівню доцільно встановити в межах подвійного значення невизначеності вимірювання отриманої в ході основної серії вимірювань ($\pm 2U_0$), але не більше ніж невизначеність попередньої серії вимірювань ($\pm U_n$). Для оцінювання впливу методичної похибки на результат випробувань в якості кількісного показника впливу запропоновано відношення різниці між теоретичними і експериментальними даними до середньої похибки їх визначення k_m . За значень $k_m=0,68$ ймовірність співпадіння теоретичних і експериментальних результатів буде 50 %. За значень $k_m=1$ ймовірність неспівпадіння теоретичних і експериментальних результатів буде 68 %. У випадку $k_m<1,3$ (ймовірність співпадіння результатів більше 80 %) можна вважати, що методична похибка незначно впливає на результати, а самі результати є співставними. В якості кількісного показника впливу випадкової похибки запропоновано відношення невизначеності вимірювання експериментальних даних до невизначеності вимірювання теоретичних даних k_v . За значень $k_v \geq 2$ значення випадкової похибки буде перевищувати значення систематичної похибки.

3. Обґрунтовано математичну модель вимірювання кінематичних параметрів руху трактора при випробуваннях (лінійне прискорення, лінійна швидкість, кутове прискорення, кутова швидкість, миттєвий радіус повороту), використовуючи в якості вхідних даних лінійне прискорення і кутову швидкість руху об'єкту випробувань. Технічний результат зменшення похибки вимірювання досягається за рахунок спрощення модельних рівнянь вимірювання указаних параметрів шляхом зміни складу інформаційного обладнання, яке використовується при вимірюванні.

4. Розроблений експрес-метод випробувань гідрооб'ємного рульового керування тракторів із застосування методу парціальних прискорень дозволяє без

наявності спеціального майданчика для ходових випробувань робити висновок про технічний стан елементів і вузлів його приводу. В якості діагностичних запропоновані показники – подовжня складова прискорення, що виникає при повороті направляючих коліс. Трудомісткість випробувань за цим методом у порівнянні з відомими знижується у 3,28 рази, також знижується витрата робочої рідини на 2,7 кг, так як усувається операція демонтажу агрегатів.

5. Удосконалено дорожній метод гальмівних випробувань робочих гальмівних систем та метод випробувань стоянкових гальмівних систем еквівалентним навантаженням. Дорожній метод випробувань робочих гальмівних систем, за рахунок використання нового інформаційного обладнання та введення нового показника ефективності – приріст наростання сповільнення – дозволяє робити висновок за результатами випробувань про технічний стан вузлів і агрегатів приводу гальмівної системи та визначати відхилення машини у процесі гальмування. Запропонований показник рекомендується виробникам для визначення і внесення його кількісного значення в технічну характеристику машини при проведенні приймальних випробувань і встановлення його нормативного значення. Розроблені рекомендації щодо випробувального устаткування для випробувань стоянкових гальмівних систем методом еквівалентного навантаження сприяють підвищенню безпечності випробувальних стендів.

6. Розроблений експрес-метод і технологічні засоби для оцінки якості агрегатів і вузлів приводу активних робочих органів через вал відбору потужності трактора дозволяють під час випробувань і в експлуатації прискорено оцінювати їх технічний стан і розробляти рекомендації про направлення машини на поглиблену діагностику. Розроблений метод дозволяє зменшити у порівнянні з відомими технологіями трудомісткість в 2,9 рази, так як за запропонованою технологією усувається операція демонтажу агрегатів.

7. Синтезовано експериментально-аналітичний метод вимірювання кута поперечної стійкості машин, що забезпечує похибку вимірювання указанного параметру на рівні існуючого методу ($1,5^\circ$ для машин масою 2000–2300 кг, $1,0^\circ$ для машин масою 2300–10000 кг, $0,5^\circ$ для машин масою 10000 кг і більше) за одночасного підвищення безпеки проведення експериментальних досліджень та збільшення мобільності методу.

8. Результати дисертаційної роботи використовуються ТОВ «Завод Кобзаренка» при проведенні заводських випробувань продукції, що виготовляється ними; акредитованими випробувальними лабораторіями Харківської та Львівської філій Державної наукової установи «Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого», Державним підприємством «Український державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва» при організації системи управління лабораторії та в практиці проведення випробувань; Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом у навчальному процесі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Коробко А. І., Лебедєв А. Т., Лебедєв С. А. Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів / Під. ред. А. Т. Лебедєва. Х. : Вид-во «Міськдрук», 2018. 394 с.
2. Коробко А. І. та ін. Розроблення нестандартизованих технічних засобів для випробувань сільськогосподарських машин та обладнання. *Науково-випробувальні дослідження сільськогосподарської техніки і технологій: розвиток і диверсифікація. Наукове видання*. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2018. С. 32–43.
3. Коробко А. І., Подригало М. А., Абрамов Д. В., Тарасов Ю. В., Оліярник Б. О., Власюк П. С. Спосіб вимірювання параметрів руху рухомих об'єктів : пат. на винахід 119037 Україна : МПК G01P 3/00, G01P 15/00, G01P 15/14 (3013.01), G01P 15/18 (2013.01), G01P 3/50 (2006.01). № а 2015 10855 ; заявл. 06.11.2015 ; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.
4. Korobko, A., Podrigalo, M., Turenko, A., Bogomolov, V., Klets, D., Sergiyenko, O., Vakarpenko, V., Gritsuk, I., Turenko, O., Bulgakov, N., Boboshko, O. “Increase of Stability for Motor Cars in Service Braking,” *SAE Technical Paper* 2018-01-1880, 2018, doi: 10.4271/2018-01-1880. (Scopus)
5. Korobko, A., Kashkanov, A., Kashkanova, A., Podrigalo, M., Klets, D., Saraiev, O., Mikhalevich, M. “Estimation Parameters of Braking of Vehicles Category M1 at Definition of Circumstances Road Accidents” *SAE Technical Paper*. 2022-01-1166, 2022, doi: 10.4271/2022-01-1166. (Scopus)
6. Korobko, A., Podrigalo, M., Bogomolov, V., Abramov, D., Tarasov, Y., Kholodov, M., Shein, V., Tkachenko, A., Efimchuk, V. “Increasing Energy Efficiency and Improving Dynamic Properties through Improved Vehicle Design Methods,” *SAE Technical Paper*. 2022-01-5076, 2022, doi: 10.4271/2022-01-5076 (Scopus)
7. Коробко А. І. Нормування показників при розробці нових методів випробувань. *Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць*. 2017. № 10 (1). С. 76–80.
8. Коробко А. Удосконалення методу вимірювання кута поперечної стійкості машин. *Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал*. 2017. № 4 (66). С. 32–35.
9. Коробко А. І. Методологія розроблення нових методів випробувань. *Журнал інженерних наук. Науковий журнал*. 2017. Том 4, Випуск 1. С. Н7–Н13.
10. Коробко А. І. Новий підхід до формування метрологічного забезпечення випробувань. *Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць*. 2017. № 11 (2). С. 53–57.
11. Korobko A. The system for measurement of the moving objects parameters. *Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал*. 2017. № 6 (68). С. 10–13.
12. Коробко А. І. Концептуальні основи метрологічного забезпечення випробувань: загальні положення. *Методи та прилади контролю якості*. 2017. № 2 (39). С. 75–82.

13. Коробко А. І. Оцінювання впливу випадкової і методичної похибок на результат вимірювання (в порядку обговорення). *Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць*. 2018. № 12 (червень). С. 87–92.
14. Коробко А. Вимоги до стенда для визначення кута поперечної стійкості методом послідовного зважування. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. Збірник наукових праць*. 2018. № 22 (36). С. 101–106. DOI: 10.31473/2305-5987-2018-1-22(36)-90-98.
15. Коробко А. І. Валідація методу вимірювання кута поперечної стійкості тракторів і сільськогосподарських машин. *Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал*. 2019. № 4 (78). С. 68–72.
16. Коробко А., Радченко Ю. Система управління лабораторії з випробувань дорожніх транспортних засобів. *Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал*. 2014. № 2. С. 39–43.
17. Коробко А., Подригало М., Радченко Ю. Система метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії. *Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал*. 2014. № 6 (50). С. 24–28.
18. Коробко А. І., Подригало М. А., Шуляк М. Л. Експрес-метод випробувань агрегатів і вузлів приводу активних робочих органів мобільної сільськогосподарської техніки. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2017. № 2 (9). С. 107–112.
19. Коробко А. І., Подригало М. А., Назарько О. О., Радченко Ю. А., Михайлова О. О. Стенд для випробувань стоянкових гальмівних систем. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2016. № 1 (5). С. 127–132.
20. Коробко А., Михайлова О., Радченко Ю. Стендові випробування стоянкових гальмівних систем сільськогосподарських тягових і причіпних машин. *Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал*. 2016. № 5 (61). С. 20–24.
21. Коробко А. І., Лебедев С. А., Подригало М. А., Шеїн В. С. Стенд для вимірювання кута поперечної стійкості машини методом послідовного зважування. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 2 (11). С. 84–89.
22. Коробко А. І., Михайлова О. О., Назарько О. О., Радченко Ю. А. Управління якістю випробувань автотракторної техніки з використанням нечіткої логіки. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2016. № 2 (77). С. 109–114.
23. Коробко А. І., Подригало М. А., Назарько О. О., Радченко Ю. А. Експериментально-аналітичний метод вимірювання кута поперечної статичної стійкості колісних машин. *Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць*. 2016. № 9 (2). С. 49–52.
24. Коробко А., Кравчук В., Погорілий В., Подригало М., Лебедев С., Диверсифікація метрологічного забезпечення випробувань сільськогосподарської техніки в умовах реформування технічного регулювання допуску продукції на ринок. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. Збірник наукових праць*. 2017. № 21 (35). С. 4–14.

25. Коробко А. І., Лебедев С. А., Козлов Ю. Ю. Нормативне і методичне забезпечення випробувань сільськогосподарських машин. Стан і перспективи. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Науковий журнал*. 2017. № 9. С. 42–49.

Наукові праці, які засвідчують апробацію наукових результатів

26. Коробко А. І., Шеїн В. С. Формування задач метрологічного забезпечення випробувань мобільних машин. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences : materials International research and practice conference*, December 27–28 2017. Radom, Republic of Poland : Radom Academy of Economics, 2017. С. 148–151. (дистанційна участь)
27. Korobko A. I., Shein V. S. Measuring the movement of moving objects. *The development of technical sciences: problems and solution : the international research and practical conference*, April 27-28 2018 : Proceedings of the Conference. Brno : European Network for Academic Integrity, 2018. P. 109–110. (дистанційна участь)
28. Korobko A. Measurement Uncertainty as a Test Model Assessment Tool. *Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL*2019: 2019 IEEE 8th International Conference with XVI Scientific Workshop "Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects" UM*2019 : Conference Proceedings*. Sozopol, Bulgaria 06-08 September 2019. P. 707–710. DOI: 978-1-7281-1814-7/19/31:00. (Scopus), (очна участь)
29. Коробко А. І., Радченко Ю. А. Точність і простежуваність вимірювання при випробуваннях стоянкових гальм мобільних машин. *Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку* : матеріали II-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції Луцького національного технічного університету, 6–7 жовтня 2016 р. Луцьк : ЛНТУ, 2016. С. 45–46. (очна участь)
30. Коробко А. І., Шатіхіна В. Є. Віртуальний тренажер метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії. *Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку* : IV Всеукраїнська науково-практична конференція : матеріали, 29-30 жовтня 2020 р.; Луцьк : ЛНТУ. С. 36–38. (дистанційна участь)
31. Коробко А. І. Диверсифікація випробувань сільськогосподарської техніки в умовах технічного регулювання. *Технічне регулювання, метрологія та інформаційні технології* : матеріали Сьомої Міжнародної науково-практичної конференції, 10–11 жовтня 2017 р. Одеса : ОДАТРА, 2017. С. 202–203. (очна участь)
32. Коробко А. І. Диверсифікація метрологічного забезпечення випробувань. *Metrology, information measuring technologies and systems MIMTS-2017* : тези доповідей VI-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 24–25 жовтня 2017. Харків : ХНУРЕ, ННЦ «Інститут метрології», 2017. С. 76. (очна участь)
33. Коробко А. І. Шляхи розвитку системи технічного регулювання в галузі з випробувань сільськогосподарських машин. *Якість та безпечність товарів* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та

студентів Луцького національного технічного університету, 23 березня 2018 р. Луцьк : ЛНТУ, 2018. С. 84–86. (очна участь)

34. Коробко А. І. До питання оцінювання співпадіння теоретичних і експериментальних досліджень. *Технічне регулювання, метрологія та якість: виклики сучасності* : матеріали Дев'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 17–18 травня 2018 р. Одеса: ОДАТРА, 2018. С. 41–42. (очна участь)
35. Коробко А., Назарько О., Радченко Ю. Удосконалення методів діагностування рульового керування шарнірно-зчленованих машин. *Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій* : XVI Міжнародна наукова конференція присвячена пам'яті академіка Л. В.Погорілого, 16–17 вересня 2015 р. : Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. Збірник наукових праць. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2015. № 19 (33). С. 136–141. (очна участь)
36. Коробко А., Лебедев С., Михайлова О., Радченко Ю. Визначення основних параметрів стенду для випробувань стоянкових гальмівних систем. *Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій* : XVII Міжнародна наукова конференція присвячена пам'яті академіка Л. В.Погорілого, 13–14 вересня 2016 р. : Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. Збірник наукових праць. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2016. № 20 (34). С. 23–29. (очна участь)
37. Коробко А. І. Оцінювання відповідності математичних і експериментальних моделей вимірювань при наукових дослідженнях. *Технічне регулювання, метрологія, якість та транспортні технології* : матеріали Десятої Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 16–17 травня 2019 р. Одеса : ОДАТРА, 2019. С. 30–31. (очна участь)
38. Коробко А. І. Система управління випробувальної лабораторії. *Технічне регулювання, метрологія, якість, інформаційні та транспортні технології* : матеріали Одинадцятої Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, 04-05 червня 2020 р., Одеса : ОДАТРА, 2020. С. 8–9. (дистанційна участь).
39. Коробко А. І., Подригало М. А., Назарько О. О., Радченко Ю. А. Конструкція стенду для випробувань стоянкових гальмівних систем. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали IV-ї Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 14–15 квітня 2016 р. Вінниця : ВНТУ, 2016. С. 13–14. (дистанційна участь)
40. Коробко А. І., Подригало М. А., Назарько О. О., Радченко Ю. А. Спосіб вимірювання кута поперечної стійкості машини. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали V-ї Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 13–14 квітня 2017 р. Вінниця : ВНТУ, 2017. С. 103–104. (дистанційна участь)

41. Korobko A. To the question of measuring the parameters of motion. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали VI-ї Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 12-13 квітня 2018 р. Вінниця : ВНТУ, 2018. С. 224–225. (дистанційна участь)
42. Коробко А. І., Подригало М. А. Управління процесом випробувань військової та спеціальної техніки. *Актуальні питання матеріального забезпечення військових формувань та правоохоронних органів* : збірник тез доповідей Науково-практичної конференції Національної академії Національної гвардії України, 26 жовтня 2017 р. Харків : НАНГУ, 2017. С. 77–79. (очна участь)
43. Коробко А. І., Козлов Ю. Ю. Удосконалення методу вимірювання кута поперечної стійкості автомобіля. *Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції ХНТУСГ ім. П. Василенка, 24-25 травня 2018 р. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2018. С. 9. (очна участь).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати

44. СОУ-П УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого 71.2-37-046043090-017:2015. Сільськогосподарська техніка. Визначення тягових показників тракторів. Метод парціальних прискорень. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2015. III, 9 с. (Стандарт організації України).
45. А. с. 62326. Твір науково-практичного характеру «Інформаційно-логістична система метрологічного забезпечення випробувальної лабораторії» / Подригало М. А., Коробко А. І., Назарько О. О., Радченко Ю. А. ; дата реєстрації 30.10.2015.
46. Коробко А. І., Подригало М. А., Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Шеїн В. С., Радченко Ю. А., Мазін О. С. Спосіб діагностування агрегатів і вузлів рульового керування шарнірно зчленованих машин : пат. 105176 UA : МПК G01M 17/007 (2006.01), G01M 17/06 (2006.01), G01P 15/00. № u 2015 07889 ; заявл. 07.08.2015 ; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
47. МВ 1-01:2017 Методика випробувань. Вимірювання кута поперечної стійкості машин. [Чинна з 2018-01-01]. // Коробко А. І. Харків : ХФ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 13 с.
48. Коробко А. І., Лебедев С. А., Подригало М. А., Радченко Ю. А., Тарасов Ю. В., Шеїн В. С. Стенд для випробування стоянкових гальм транспортних засобів : пат. 109002 UA : МПК B60T 17/22 (2016.01). № u 2016 00862 ; заявл. 03.02.2016 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
49. Коробко А. І., Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Назарько О. О., Подригало М. А., Радченко Ю. А. Спосіб діагностування агрегатів і вузлів гальмівних систем транспортних засобів : пат. 110316 UA : МПК G01M 17/00 (2016.01). № u 2016 01837 ; заявл. 26.02.2016 ; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19.
50. Коробко А. І., Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Михайлова О. О., Радченко Ю. А. Стенд для випробування стоянкових гальм мобільних (тягових) і причіпних сільськогосподарських машин : пат. 114957 UA : МПК B60T 17/22 (2006.01). № u 2016 10524 ; заявл. 17.10.2016 ; опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6.

51. Коробко А. І., Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Назарько О. О., Подригало М. А., Радченко Ю. А. Спосіб вимірювання кута поперечної стійкості тягово-транспортних і причіпних машин : пат. 119256 UA : МПК G01M 17/007, G01M 17/06 (2006.01). № у 2016 12010 ; заявл. 28.11.2016 ; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.
52. Коробко А. І., Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Подригало М. А., Стенд для вимірювання кута поперечної стійкості машин методом послідовного зважування : пат. 122871 UA : МПК G01M 1/00, G01M 17/00 (2017.01), G01B 5/24 (2006.01). № у 2017 08976 ; заявл. 08.09.2017 ; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
53. Коробко А. І., Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Подригало М. А. Стенд для вимірювання кута поперечної стійкості машин, що рухаються, методом послідовного зважування : пат. UA 122872 : МПК G01M 1/00, G01M 17/00 (2017.01), G01B 5/24 (2006.01). № у 2017 08979 ; заявл. 08.09.2017 ; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
54. Коробко А. І., Козлов Ю. Ю., Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Спосіб вимірювання тягового зусилля трактора в складі комбінованого агрегату з активними робочими органами : пат. UA 144883 : МПК G01M 17/00 (2020.01). № у 2020 03822 ; заявл. 25.06.2020; опубл. 26.10.2020, Бюл. № 20.

АНОТАЦІЯ

Коробко А. І. Науково-методологічні основи забезпечення якості тракторів на стадіях постановки на виробництво та експлуатації з використанням методу парціальних прискорень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2022.

Вирішено проблему підвищення якості тракторів за рахунок створення системи організації і методів їх випробувань. Сформульовано методологію нових підходів до проведення випробувань. Запропоновано спосіб вимірювання просторово-часової орієнтації об'єктів при випробуваннях. Розроблено методи випробувань рульового керування, гальмівних систем тракторів та елементів приводу активних робочих органів, що мінімальними матеріальними та часовими затратами на їх проведення. Розроблено метод визначення поперечної стійкості тракторів, який на відміну від відомих більш безпечний та точніший.

Ключові слова: трактор, якість, випробування, парціальні прискорення, нормування показника, рульове керування, гальмові властивості, поперечна стійкість.

ABSTRACT

A. Korobko. Scientific and Methodological Principles of Ensuring the Quality of Tractors at the Stages of Production and Operation Using the Partial Acceleration Method. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Doctoral thesis in Engineering Science in specialty 05.22.02 – cars and tractors. – Kharkiv National Automobile and Highway University of the Ministry of Education and Science, Kharkiv, 2023.

This thesis work addresses an urgent scientific and applied problem of improving the quality of tractors through the creation of a tractor testing organization and methods system. Information and logistic system of metrological support of tractor testing which enables an adaptive space of production quality management to be created has been synthesized. A methodology for new testing approaches based on fuzzy cognitive maps has been formulated. The theory of assessing the theoretical evaluation adequacy and the results of field tests by using the uncertainty approach has been further developed.

The method for establishing standard (nominal) values of the indicators that has been developed allows establishing their basic, limiting and permissible values for each vehicle type (in particular, for tractors) in an experimental and analytical manner. At the same time, it is expedient to set the interval within which the index is considered as corresponding to a certain level within the double value of the measurement uncertainty obtained in the course of the principal series of measurements, but no more than the uncertainty of the previous series of measurements. To assess the effect on the test result caused by the methodological error, the ratio of the difference between the theoretical and experimental data to the average error of their determination has been proposed as a quantitative indicator of such effect. The ratio of the measurement uncertainty of experimental data to the measurement uncertainty of theoretical data has been suggested as a quantitative indicator of the effect of random error.

We have substantiated a mathematical model for measuring kinematic parameters of tractor motion when testing (linear acceleration, linear speed, angular acceleration, angular speed, instantaneous turning radius), by using linear acceleration and angular speed of the test vehicle motion as input data. The technical result of reduced measurement error is achieved by simplification of the model equations for measuring the parameters specified through changes made to the composition of the information equipment used in the measurement.

The express method for testing tractor hydrostatic steering by using the partial acceleration method which has been developed allows to infer the technical condition of elements and units of its drive with no special test site available. Longitudinal acceleration component, which occurs during the rotation of the guide wheels, has been suggested as diagnostic indicators. The labor intensity of testing using this method is reduced by 3.28 times as compared to the well-known methods, the working fluid consumption is also reduced by 2.7 kg, since the operation of unit disassembly is omitted.

The road brake test method of service brake systems and the parking brake system test method with equivalent load have been improved. The road working brake system test method, due to the use of new information equipment and introduction of a new performance indicator – deceleration progression gain – enables us to draw a conclusion on the technical condition of the brake system drive units and assemblies and to determine vehicle deviations in the braking process based on the test results. We recommend that manufacturers use the indicator proposed to determine and quantify its value in the vehicle specification when conducting acceptance tests and to establish its standard value. The recommendations for testing equipment used in parking brake system tests with the

equivalent load method that have been developed contribute to improved safety of test benches.

The express method developed and technological means for quality assessment of units and drive assemblies of active working elements through the tractor's power take-off shaft allow to assess their technical condition faster in the process of testing and operation and to develop recommendations regarding the need for conducting an in-depth vehicle diagnostics. The method developed allows reducing the labor intensity by 2.9 times as compared to the well-known technologies, as the proposed technology eliminates the step of dismantling the units.

An experimental and analytical method for measuring the angle of transverse stability of vehicles, which provides for an inaccuracy of measuring the specified parameter: 1.5° for vehicles weighing 2000-2300 kg, 1.0° for vehicles weighing 2300-10000 kg, 0.5° for vehicles weighing 10000 kg and more, while improving the safety of experimental studies and increasing the mobility of the method, has been synthesized

Key words: tractor, quality, testing, partial accelerations, indicator standardization, steering, braking properties, lateral stability.

Коробко А. І. Науково-методологічні основи забезпечення якості тракторів на стадіях постановки на виробництво та експлуатації з використанням методу парціальних прискорень : реф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.22.02. Харків, 2023. 40 с.