

В.У. Ігнаткін, С.В. Алексеєнко, М.І. Горбійчук

**АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ БЕЗПЕКА**

Анотація. Автоматизація метрологічної служби підприємства дозволяє зменшити використання робочої сили для виконання завдань обслуговування засобів виміральної техніки і скоротити випадки помилок персоналу. У той же час процес створення відповідних автоматизованих систем вимагає рішення ряду завдань, пов'язаних з необхідністю оптимізації параметрів проекрованої системи, щоб забезпечити її найвищу ефективність.

У цій статті робиться спроба вирішити задачу охоплення різноманітних моделей в рамках синтезу і дослідження імітаційних комп'ютерних моделей, які активно використовують базу даних засобів вимірювання підприємств. Розроблено і програмно реалізовано модель, яка дозволяє в інтерактивному режимі, враховуючи характеристики, які надходять з калібрувальних лабораторій служби, та задавшись економічними і метрологічними критеріями, визначати значення оптимальних міжповірочних та міжремонтних проміжків, оптимального числа перевірок у міжремонтному проміжку та інші параметри. Шляхом імітаційного моделювання досліджена залежність показників надійності ЗВТ від якості проведення метрологічного обслуговування і ремонту. Досліджений вплив міжремонтного і міжповірочного інтервалів на економічну ефективність метрологічного обслуговування. В результаті отримані залежності, які дозволяють також досліджувати вплив параметрів якості обслуговування на комплексні показники надійності.

Використання результатів дослідження дозволяє в діалоговому режимі автоматизованого робочого місця метролога вирішувати задачі оптимізації параметрів метрологічного обслуговування за економічними критеріями та обмеженнями конкретного виробництва за показниками метрологічної надійності засобів вимірювання, проводити діагностику і прогнозувати метрологічну надійність засобів виміральної техніки з урахуванням впливу на систему управління якості підприємства, покращувати точність вимірювання і зменшувати ймовірність виникнення прихованих відмов.

Ключові слова: моделювання, метрологічне обслуговування, модель масового обслуговування, модель станів засобів вимірювальної техніки, автоматизована система керування.

Постановка проблеми. Під метрологічним обслуговуванням (МО) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) розуміють комплекс заходів, що забезпечують постійну здатність приладів до застосування з нормованою точністю, які включають до себе облік і планування приладів, планування перевірконо-ремонтних робіт, контроль стану приладів і вилучення з обігу непрацездатних ЗВТ, калібрування, метрологічну атестацію і ремонт засобів вимірювальної техніки.

Перед тим як приступити до автоматизації і розв'язку оптимізаційних задач, необхідно проаналізувати всю систему метрологічного обслуговування і спробувати побудувати моделі процесів обслуговування парку ЗВТ. Успіх при створенні ефективного програмно-алгоритмічного забезпечення автоматизованої, системи метрологічного обслуговування ЗВТ значною мірою залежить від детального аналізу структури операцій і видів процесів масового обслуговування, які протікають у системі.

Такі операції метрологічного обслуговування, як облік приладів, визначення термінів і планування періодичних перевірок, вибір ЗВТ за точністю і надійністю, планування поповнення парку ЗВТ, розрахунок чисельності обслуговуючого персоналу, визначення числа калібрувальних і ремонтних робочих місць, планування розподілу приладів між підрозділами підприємства, складання заявок на придбання ЗВТ, контроль за станом, перевіркою, ремонтом приладів здійснюються на підприємстві, як правило, ручним способом, що призводить до неефективного використання ЗВТ, зниження якості продукції, що випускається, до економічних втрат. Отже, проблема автоматизації розв'язання задач оптимізації параметрів системи метрологічного обслуговування є надзвичайно актуальною.

Для дослідження процесів експлуатації і МО ЗВТ, виявлення впливу метрологічної надійності ЗВТ на достовірність вимірювальної інформації повинні будуть розроблені методики автоматизованого розв'язку наступних задач:

- обробка статистичних даних про відмови, калібрування і ремонт ЗВТ;
- оцінка і аналіз рівня експлуатаційної надійності парку ЗВТ підприємства;

- визначення часу знаходження ЗВТ в системі МО, вибору оптимального числа повірочних і ремонтних установок, чисельності фахівців з перевірки і ремонту;
- динамічне корегування міжповірочних і міжремонтних інтервалів;
- оцінка допустимої похибки вимірів з врахуванням помилок 1-го і 2-го роду;
- оцінка вірності вибору і ефективного використання ЗВТ при контролі параметрів вимірювання;
- оцінка раціональної номенклатури контрольованих параметрів;
- визначення оптимальної кількості калібрувальних і ремонтних робочих місць;
- прогнозування можливої кількості відмов; оптимізація параметрів МО ЗВТ;
- розрахунок норм запасних частин, оцінка рівня метрологічного забезпечення; оцінка процесу експлуатації ЗВТ з врахуванням конкретних умов застосування;
- оцінка економічного ефекту від впровадження АРМ «Експерт-Метролог» на підприємстві;
- оцінка ефективності автоматизованих систем управління (АСУ) МО ЗВТ як інформаційно-довідкової системи;
- оцінки і дослідження впливу метрологічної складової надійності ЗВТ на якість продукції.

Перераховані задачі мають бути реалізовані програмно і вимагають для виконання наявності бази даних і технічних засобів автоматизованого робочого місця (АРМ) метролога.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Задачі метрологічного обслуговування ЗВТ, які підлягають автоматизації, повинні визначати вибір технічних засобів, що реалізують їх вирішення в рамках АСУ (режими:, локальної обчислювальної мережі), АРМ.

У разі застосування комп'ютерів може бути створено АСУ МО ЗВТ, яка дозволяє найбільш економічним шляхом вирішувати практично будь-які задачі метрологічного обслуговування ЗВТ, включаючи складні оптимізаційні задачі.

На даний час як за кордоном, так і в нашій країні розроблені системи, які автоматизують певні функції управління метрологічної служби. Такі системи різняться за складом задач, методам та принципам їх розв'язання та орієнтовані на конкретне підприємство.

Ряд наукових праць присвячений проблемам автоматизації діяльності метрологів. Наприклад, у [1] відмічається, що автоматизація процесу калібрування не є новою концепцією, навпаки, вона широко використовується і дає відчутні ефекти. Проте обов'язковою умовою проведення такого калібрування є наявність у платника мультиметра комунікаційного інтерфейсу. Щоб усунути це обмеження, використовується концепція алгоритмів розпізнавання зображень. Інтерфейс на основі комп'ютерного зору є основним елементом автоматизованої системи калібрування, така система адаптована до специфіки роботи військових метрологічних лабораторій.

У роботі [2] описана нова автоматична система для контролю і калібрування електричних джерел і вимірювальних приладів. Ця система дозволяє контролювати і калібрувати велика кількість різних моделей електричних джерел і вимірювальних приладів. Системне обладнання налаштовується оператором на основі конкретної калібрування, яку необхідно виконати. Детально обговорюється конструкція і реалізація програмного забезпечення системи.

У статті [3] розроблений метод визначення мінімального значення ймовірності правильної оцінки результатів вимірювань (PCEMR), використовуючи умовні алгоритми. Новизна методу полягає у застосуванні методів технічної діагностики до метрологічної служби систем зв'язку. Виведені рівняння підвищують точність оцінки математичного сподівання відхилення від дійсного значення, що характеризує технічний стан засобу.

Останнім часом суттєва увага приділяється застосуванню віртуальної метрології. Віртуальна метрологія (VM) – це метод оцінки якості виготовлення технологічного інструмента на основі даних, отриманих від технологічного інструменту, і без фізичних метрологічних операцій. У документі [4] визначаються рівні автоматизації віртуальних машин, пропонується концепція автоматичної віртуальної метрології (AVM) і розробляється система AVM для автоматичного розгортання віртуальних машин в масштабах всієї фабрики.

В [5] запропонована ідея використовувати віртуальну метрологію для прогнозування якості коліс на основі даних процесу, зібраних з верстата, з невеликим доповненням до фактичних метрологічних даними. Метою даного дослідження було запропонувати підхід до застосування системи AVM в масштабах всього підприємства для автоматизації обробки коліс (WMA) для досягнення повної перевірки всіх прецизійних елементів WMA в умовах масового виробництва.

Теоретичним питанням метрологічного обслуговування ЗВТ присвячена монографія [6]. Тут розглянуті типові метрологічні завдання, вирішення яких базується на теорії ймовірностей і математичній статистиці, теорії інформації. Наведені способи опису і нормування похибок вимірювань, досліджений вплив похибок вимірювання на достовірність допускового контролю, розглянуті засоби опрацювання результатів вимірювань у випадках повної і неповної апіорної інформації. Розглянуті питання оцінки точності інформаційних операцій, а також питання вибору, передавання, цінності та старіння інформації.

Задачі, які виникають при побудові автоматизованих систем управління метрологічним обслуговуванням засобів вимірювальної техніки можна класифікувати за трьома групами: інформаційно-довідкові, прості розрахункові і складні оптимізаційні. У роботі [7] розглянуті принципи побудови автоматизованих систем метрологічного забезпечення.

Такі розробки, як АС МОП ExaltMOP, версія 1.1, АРМ «Метролог» версії 5.0, комплекс АСМО (автоматизована система метрологічного забезпечення) – розробка ООО «Энергомаштаб», м. Санкт-Петербург, представлена фірмою РВ Soft – функціонуючі на більшості сучасних підприємствах являють собою інформаційно-пошукові системи, орієнтовані на обробку інформації про стан парку ЗВТ та автоматизації задач обліку і контролю, але, як правило, не враховують розв'язок оптимізаційних задач МО ЗВТ. Програмний комплекс АСМО дозволяє повністю перевести на програмні засоби автоматизації документообіг, пов'язаний з плануванням і обліком робіт з метрологічного обслуговування. Основу побудови системи складає єдина база даних ЗВТ підприємства. Для її підтримки і управління застосовують серверну систему управління базами даних (СУБД) Microsoft SQL Server 2000 або більш потужну редакцію MS SQL Server Enterprise Edition. Можливості АСМО дозволяють автоматично отримувати необхідну інформацію для проведення робіт з МО ЗВТ. Дана система експлуатується більш ніж на 120 підприємствах Російської Федерації, наприклад відкрите акціонерне товариство (ВАТ) «Всероссийский научно-исследовательский институт кабельной промышленности» м. Москва, ВАТ «Прибор» ОКБ «Авиаавтоматика» м. Курськ, ВАТ «Вибратор» приладобудівний завод м. Санкт-Петербург та ін. Дані системи є інформаційно-пошуковими системами, орієнтованими на обробку інформації про стан парку ЗВТ та автоматизації задач обліку і контролю, але не розраховані на розв'язок оптимізаційних задач МО ЗВТ.

Автоматизоване вирішення задач МО ЗВТ, крім традиційних методів, передбачає активне використання моделей існуючої системи метрологічного обслуговування (СМО) й результатів моделювання. АРМ «Експерт-Метролог» відноситься до класу адаптивних інформаційно-довідкових систем. Перед створенням даної системи необхідно виконати цілий комплекс попередніх робіт: обстеження парку приладів; дослідження процесу обслуговування ЗВТ; вивчення початкового стану парку приладів; виявлення джерел і споживачів інформації; виявлення закономірностей у фізиці процесів експлуатації приладів, їх відмов і відновлень.

База даних (БД) СМО ЗВТ є сховищем інформації про стан парку ЗВТ й повинна підлягати впливу з боку предметної області (тобто існуючої СМО ЗВТ), вираженої у вигляді даних щодо зміни стану парку ЗВТ; з боку моделей функціонування СМО ЗВТ – у вигляді відомостей про зміну складу збережених даних і відносин між ними. Програмне забезпечення системи розраховує вихідні показники, які характеризують діяльність СМО ЗВТ. Склад і визначеність таких критеріїв надходять з боку моделей функціонування системи. Структура вихідних документів може бути сформована відповідно до вимог замовника за допомогою універсальних програмних засобів [12].

Інформаційне забезпечення може будуватися як у вигляді системи лінійних наборів даних, так і із застосуванням сучасних СУБД. Для підприємств із парком ЗВТ до 30 тисяч штук, в якості технічних засобів, достатньо персонального комп'ютера, на базі якого можна обладнати автоматизоване робоче місце метролога – АРМ «Експерт-Метролог».

Програмне забезпечення АРМ «Експерт-Метролог» в перспективі буде функціонувати на базі розроблених алгоритмів у будь якій операційній системі, починаючи з Windows 98 і вище, та на популярних СУБД.

При створенні такої системи, тобто визначенні її структури і характеристик, керуються визначеною, правильно вибраною метою. З метою управління пов'язаний критерій ефективності (критерій якості) функціонування системи управління (цільова функція). Визначення правильно вибраної і реальної цільової функції є непростю і відповідальною задачею, оскільки вона повинна служити оцінкою якості роботи системи управління, будучи мірою того, наскільки добре забезпечується досягнення мети і, в той же час, (у більшості випадків), якою ціною це забезпечується.

Міра необхідності створення системи знаходиться в прямій залежності від кількості ЗВТ в обслуговуваному парку підприємства. При цьому, розрахував-

ши її ефективність, оцінюють час окупності. Критерієм доцільності автоматизації обслуговування ЗВТ є об'єм парку (мінімальна кількість ЗВТ), при якому система окупається за 3 роки.

Метою роботи є постановка задачі охоплення вже створених розрізнених моделей в рамках синтезу та дослідження імітаційних комп'ютерних моделей, які активно використовують базу даних підприємств, експлуатуючих ЗВТ.

Найбільш суттєвими рисами такої постановки задачі є:

- створення програмних засобів, які дозволяють синтезувати і досліджувати моделі на робочому місці метролога;
- можливість синтезу моделей з різним числом станів і конфігурацій зв'язків, у залежності від наявної достовірної інформації і мети аналізу;
- можливість досліджувати моделі експлуатації як у статичі, так і в динаміці з явним урахуванням затримок руху ЗВТ на різних ділянках технологічного процесу та інших обмежень [8,9,11];
- широке використання в аналізі накопиченої в базі даних підприємства інформації;
- використання відібраних у ході дослідження моделей і рішень при зіставленні планів в АСУ підприємства [7, 8, 9, 13, 14, 15, 16].

Викладення основного матеріалу. Як відомо, від якості метрологічного обслуговування ЗВТ залежить точність технологічного устаткування і результатів випробувань, отже, якість продукції, що випускається, тому початкові характеристики АСУ МО ЗВТ (наприклад, рівень дефектності, час перебування в обслуговуванні, своєчасне поповнення парку ЗВТ та ін.) повинні визначатися на основі вимог виробництва і випробувань. А це означає, що перераховані початкові характеристики повинні визначатися на основі аналізу впливу метрологічного обслуговування на виробництво і формулюватися в технічних завданнях на розробку подібних систем. Маючи такі вимоги, за допомогою згаданих вище моделей можливо визначити всі необхідні характеристики.

Оптимізація вироблення управляючих рішень в АСУ МО ЗВТ ґрунтується на базі моделей (або однієї комплексної багатопараметричної моделі) процесів обслуговування ЗВТ за конкретними критеріями згідно з методом декомпозиції загальної мети функціонування системи.

Вибір цільової функції відображає змістовну постановку задачі. Поряд із цим розробляється модель задачі, тобто дається її формалізований опис. На-

ступний крок – розробка алгоритму рішення і, нарешті, розробка програми або інструкцій (при ручному способі виконання робіт).

Як цільову функцію при створенні вказаної системи доцільно вибрати функцію вартості (приведених витрат), яка враховує витрати на експлуатацію системи і втрати основного виробництва. Це пояснюється тим, що при розв’язку задач автоматизації обслуговування зі сторони «метасистеми» задаються різноманітні характеристики методів розв’язку (об’єм пам’яті, тривалість розв’язку, надійність системи та ін.). У цих умовах одним задовольняючим показником, який дозволяє створити економічну систему, є вартість. Тому найбільш прийнятним критерієм є мінімум вартості.

На оптимізацію і автоматизацію розв’язку вищезгаданих задач метрологічного обслуговування ЗВТ для досягнення певної цілі направлено систему АРМ «Експерт-метролог».

Критерій ефективності, за яким оцінюється можливість застосування засобів автоматизації, залежить від багатьох чинників, зокрема, від об’єму парку ЗВТ, його вартості

До чинників, що впливають на критерій, також відносяться частота повірок приладів, інтенсивність їх експлуатації, вимоги до стану парку ЗВТ із боку виробництва та ін. У загальному випадку застосування засобів автоматизації можливе, коли економічний ефект ϵ визначається як

$$\epsilon = \left(\frac{C_1}{W_1} - \frac{C_2 + E_n K_2}{W_2} \right) W_2 > 0 \quad (1)$$

де C_1 , C_2 – собівартість річного випуску продукції (1 – за відсутності засобів автоматизації, 2 – за наявності автоматизованої системи); K_2 – одноразові витрати на створення автоматизованої системи; E_n – нормативний коефіцієнт відшкодування капітальних вкладень; W_2 – річний випуск продукції в першому і другому варіантах.

Для більшості підприємств машинобудування ця умова виконується при кількості приладів у парку порядку 10000 одиниць і більше. При цьому слід пам’ятати, що в собівартості продукції (C_1 , C_2) повинні бути враховані збитки від браку, інакше річний економічний ефект із великою ймовірністю виявиться негативним.

При локальній оптимізації за допомогою аналітичних моделей експлуатації (спрощена модель експлуатації, марківська модель з дискретними станами і безперервним часом, дискретно-безперервна модель експлуатації ЗВТ) застосовують таку цільову функцію [7–10]:

$$C_1 = \frac{1}{P_1 + P_2} (C_{зв} + C_n(P_3 + P_4) + C_p P_5 + C_{ш} P_2) \Rightarrow \min \quad (2)$$

де P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 – ймовірності знаходження ЗВТ у станах відповідно:

- працездатний і застосовується за призначенням;
- з прихованою відмовою і застосовується за призначенням;
- працездатний на повірці;
- з прихованою відмовою на повірці; очікування ремонту;
- ремонт.

$C_{зв} = E_n C_{зв}$ – одноразові витрати на придбання ЗВТ; C_n – витрати на проведення однієї години повірочних робіт; C_p – вартість однієї години ремонтних робіт; $C_{ш}$ – плата штрафу (наприклад, собівартість продукції, що пішла в брак або повернулася з рекламацією внаслідок проведення недостовірних вимірів).

Розроблено і програмно реалізовано модель, яка дозволяє в інтерактивному режимі АРМ, керуючись параметрами МО ЗВТ, враховуючи характеристики, які надходять з перевірочних лабораторій метрологічної служби, та задавшись економічними показниками, коефіцієнтами готовності, достовірності, технічного використання, визначати значення оптимальних міжпівірочних проміжків, міжремонтних проміжків, часу безвідмовної роботи ЗВТ, числа перевірок у міжремонтному проміжку та інші параметри ЗВТ та МО ЗВТ [7, 8, 9].

Як параметри СМО ЗВ використовуються: T_n – період повторення перевірочних робіт; τ_n – час виконання перевірки; $\tau_{в}$ – час відновлення ЗВ в ремонті; α_n – імовірність помилкової діагностики схованої відмови при перевірці; β_n – імовірність пропуску (невиявлення) схованої відмови при перевірці; β_p – імовірність повернення ЗВ з ремонту зі схованою відмовою (передбачається, що явна відмова при ремонті усувається безумовно).

Як характеристики відмов використовуються: $T_{я}$ – середній наробіток (напрацювання) на явну відмову; $T_{с}$ – середній наробіток на сховану відмову.

Зазначені величини використовуються як параметри розподілів імовірностей виникнення відмов.

Можна визначити показники надійності ЗВ [8,9]:

а) коефіцієнт готовності: $K_r = \frac{P_1}{P_1 + P_2 + P_3}$

б) коефіцієнт вірогідності: $K_B = \frac{P_1}{P_1 + P_2}$

в) коефіцієнт технічного використання: $K_{TB} \approx P_1 + P_2$

Можна також визначити цикл ЗВ: $T_{\text{ц}} = \frac{\tau_B}{P_5}$

Міжремонтний інтервал: $T_M = T_{\text{ц}} - \tau_B \left(\frac{1}{P_5 - 1} \right)$

На рис. 1 – 6 приведені результати досліджень залежностей показників надійності ЗВТ K_r , K_b , K_{TB} і T_{MP} від якості проведення метрологічного обслуговування і ремонту для експоненціальної (1), дифузійно-монотонної (2) та дифузійно-немонотонної (3) моделей відмов. Розрахунки проведені для значень $T_a = 10000$ год, $T_m = 5000$ год, $T_n = 4000$ год, $\alpha_n = 0,05 \dots 1$, $\beta_n = 0,05$, $\beta_p = 0,25$.

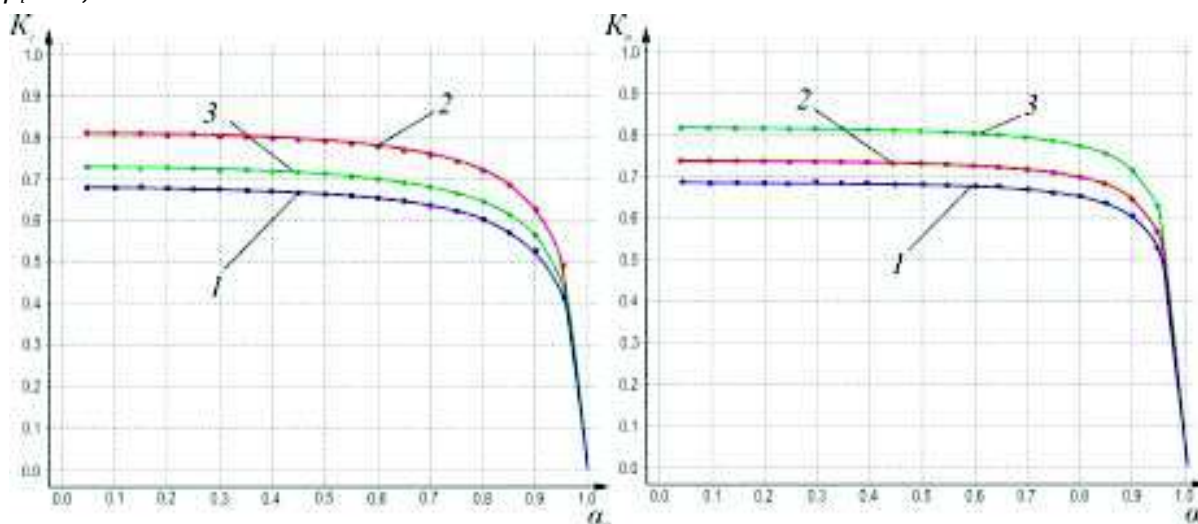


Рисунок 1 – Залежність K_r і K_b від α_n

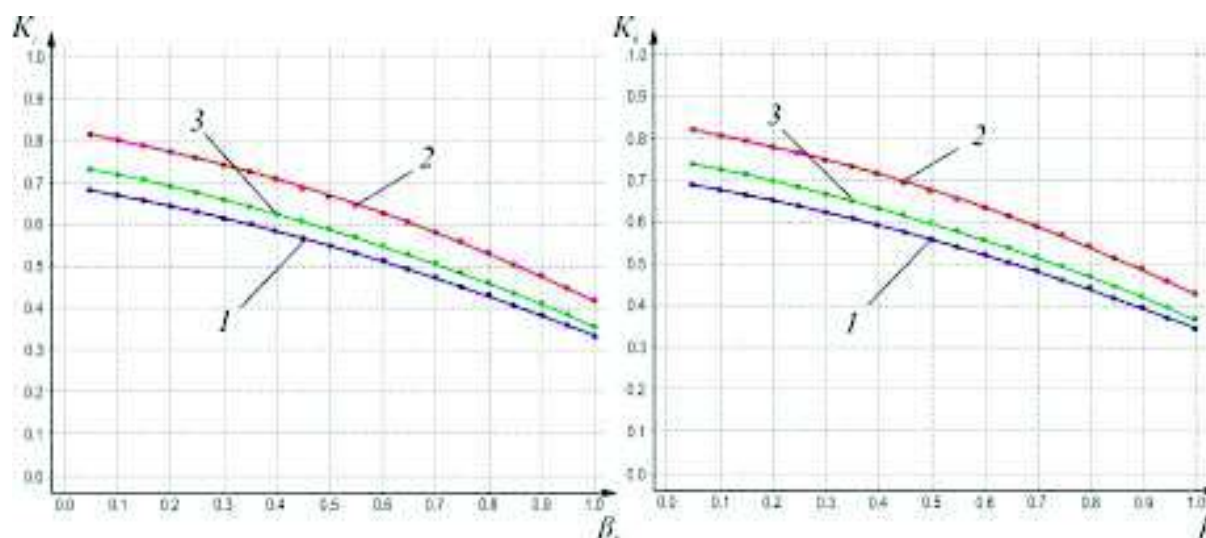


Рисунок 2 – Залежність K_r і K_b від β_n

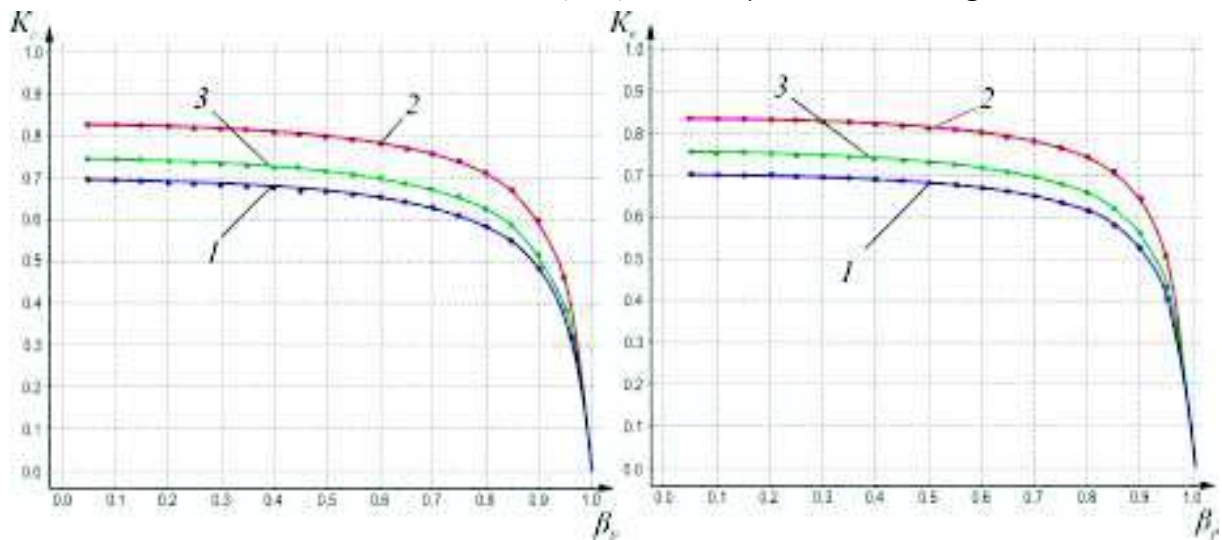


Рисунок 3 – Залежність K_r і K_v від β_p

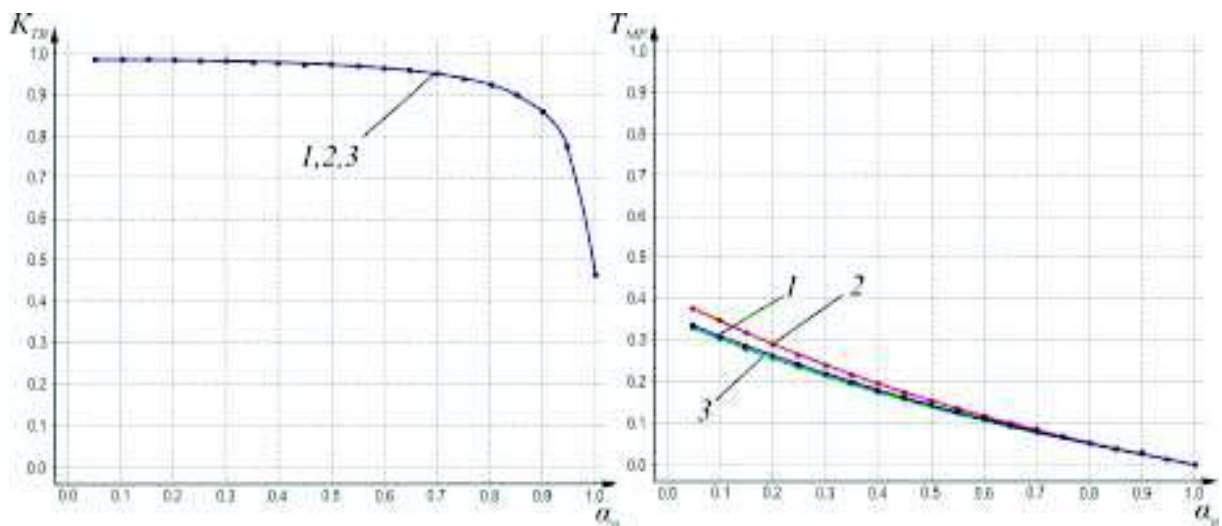


Рисунок 4 – Залежність K_{tv} і T_{mr} від α_n

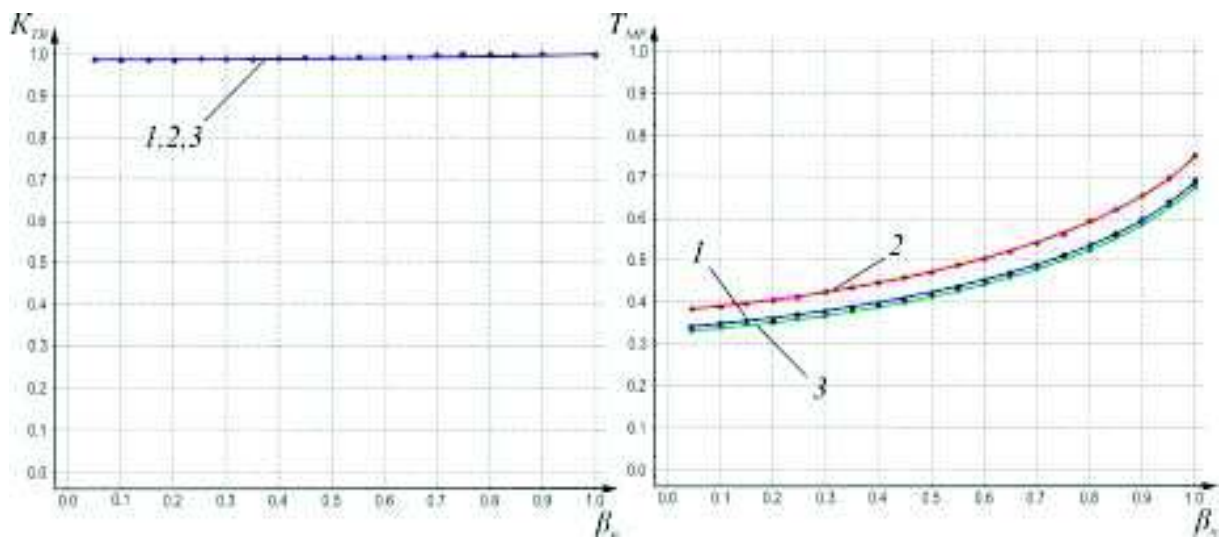


Рисунок 5 – Залежність K_{tv} і T_{mr} від β_n

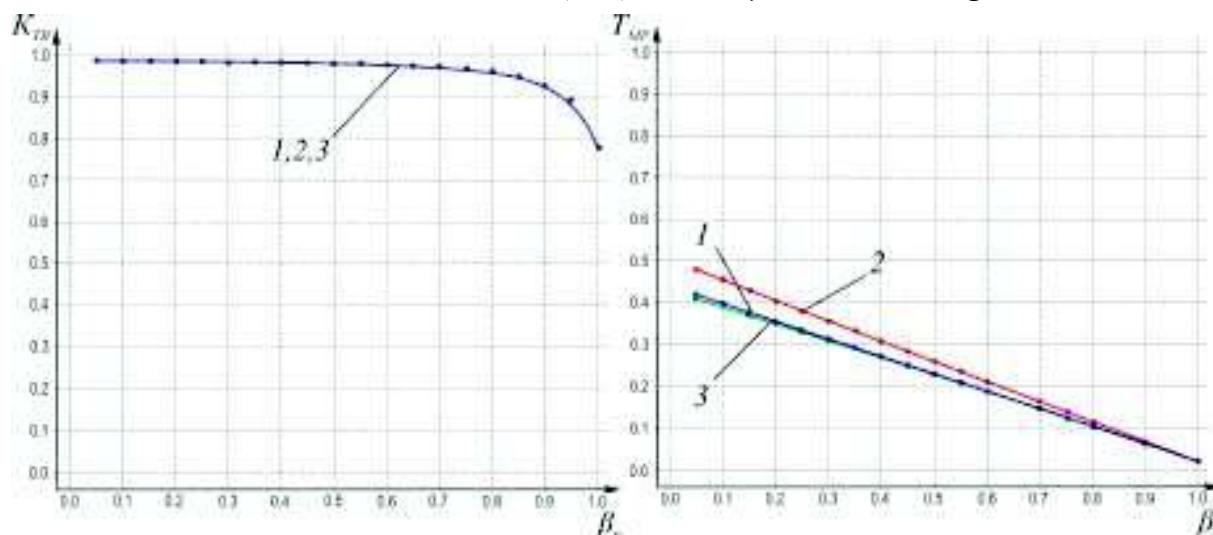


Рисунок 6 – Залежність K_{TV} і T_{Mp} від β_p

Для визначення області оптимальних значень періоду проведення повірочних робіт і напрацювань на приховані відмови подамо цільову функцію в такому вигляді:

$$C_{ЗВТ} = f(T_m, T_n) \quad (3)$$

Розрахунки були проведені для випадку $C_{ЗВ} = 0,025$; $C_{п} = 1,4$; $C_p = 3,0$; $C_{ш} = 1,0$; $\alpha_n = 0,050$; $\beta_n = 0,05$; $\beta_p = 0,25$; $\tau_p = 8$ год; $\tau_{оч} = 40$ год; $T_{пн} = 10$ год (початкове значення T_n); $\tau_n = 2$ год; $T_я = 10000$ год; для 40 значень T_n і 20 значень T_m (початкове значення $T_c = 100$ год), використовуючи розроблені алгоритми для моделей експлуатації ЗВТ. На рис. 7 та 8 наведені побудовані поверхні цільової функції.

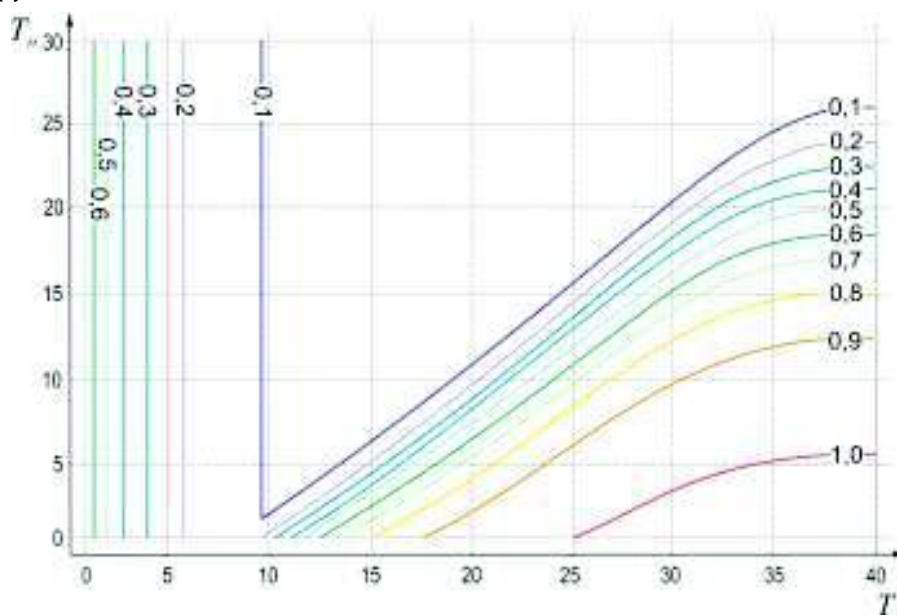


Рисунок 7 – Контурний графік поверхні цільової функції вартості для випадку дифузійної моделі відмов

На рис. 9 зображено діалогове вікно модуля оптимізації параметрів надійності ЗВТ, функціонуючого в рамках АСУ МО ЗВТ. Модуль синтезований за допомогою сучасних мов СУБД. Алгоритм розрахунку написаний мовою PHP 5.3. В області програмування для інформаційних мереж PHP – одна з популярних скриптових мов (разом з JSP, Perl і мовами, які використовуються в ASP.NET) завдяки своїй простоті, швидкості виконання, багатій функціональності і розповсюдженню початкових кодів на основі ліцензії PHP. PHP відрізняється наявністю ядра і модулів розширень, що підключаються, для роботи з базами даних, сокетом, динамічною графікою, криптографічними бібліотеками, документами формату PDF. Будь-хто бажаючий може розробити своє власне розширення і підключити його.

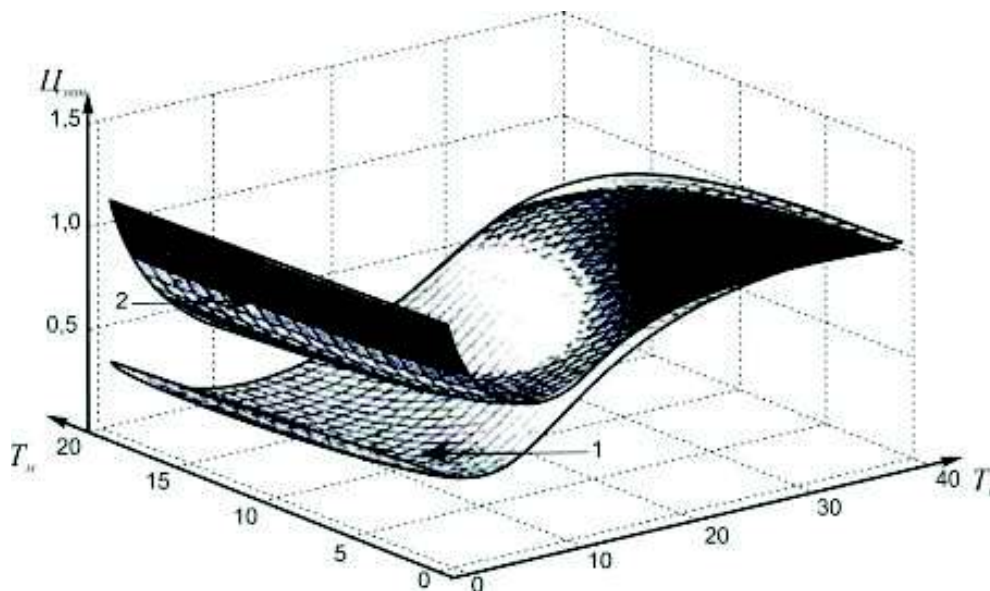


Рисунок 8 – Поверхня цільової функції $U_{zm} = f(T_m, T_n)$:

1 – марківська модель експлуатації; 2 – дискретно-безперервна модель
(розв'язок отримано для експоненціальної моделі відмов)



Інтерпретатор PHP підключається до веб-сервера або через модуль, створений спеціально для цього сервера (наприклад, для Apache або IIS), або як CGI-додаток. Окрім цього, він може використовуватися для вирішення адміністративних задач в операційних системах UNIX, GNU/Linux, Microsoft Windows, Mac OS X і AmigaOS.

Розрахунки для тестового набору параметрів (фіксоване $T_m=5000$ год) показують, що мінімум $U_{звт}=0,2523$ відповідає точці $T_n/T_a=0,0631$, при цьому коефіцієнт готовності дорівнює $K_r = 0,751$, а коефіцієнт достовірності $K_b=0,8238$.

Ця програма дозволяє також досліджувати вплив параметрів якості обслуговування на комплексні показники надійності (рис. 10).

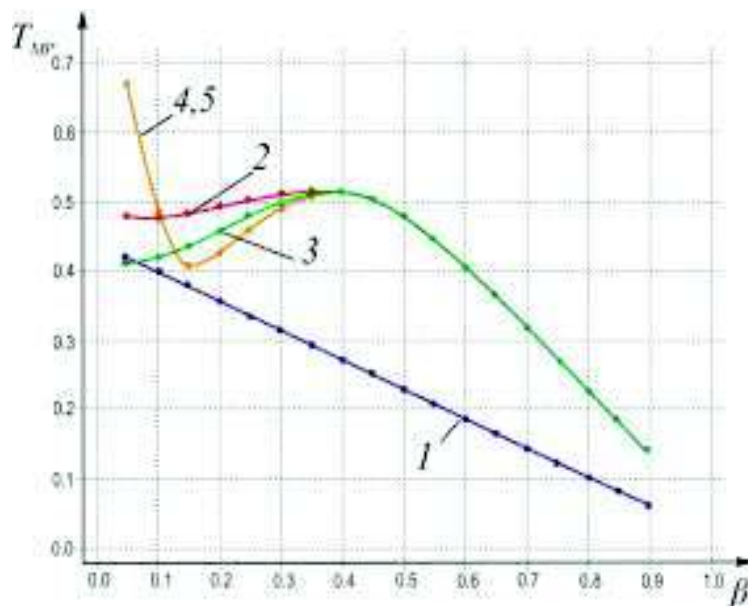


Рисунок 10 – Сімейство залежностей міжремонтного інтервалу $T_{\text{мр}}$ від β_p :

1 – експоненціальна модель відмов; 2, 3 – дифузійні моделі при коефіцієнті варіації $v = 1$, криві 4, 5 – при $v = 0,2$

Висновки. Використання комплексу взаємопов'язаних моделей дозволяє в діалоговому режимі автоматизованого робочого місця метролога вирішувати задачі оптимізації параметрів метрологічного обслуговування за економічними критеріями та обмеженнями конкретного виробництва за показниками метрологічної надійності засобів вимірювання, проводити діагностику і прогнозувати метрологічну надійність засобів з урахуванням впливу на систему управління якості підприємства, покращувати точність вимірювання і зменшувати ймовірність виникнення прихованих відмов. Отримані результати можуть свідчити на користь того, що на цей час існують достатні напрацювання для постановки і розв'язку задачі комп'ютерного синтезу і аналізу різноманітних моделей експлуатації ЗВТ.

Наукова новизна. Запропоновано системний підхід до вирішення завдань метрологічного обслуговування (МО) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) з використанням бази даних про стан ЗВТ конкретного підприємства (організації тощо) в режимі системи підтримки прийняття рішень задач МОЗВТ (СППР МОЗВТ) на підставі моделей і процедур вирішення задач МОЗВТ, приклад рішення однієї з котрих наведено в цій статті, як завдання комп'ютерного аналізу і синтезу при визначенні та прогнозуванні експлуатаційної та метрологічної надійності, визначення виду ЗВТ з певними

показниками і обмеженнями конкретного виробництва і законів розподілу відмов ЗВТ і об'єктів контролю.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Grzeczka G, Klebba M. Automated Calibration System for Digital Multimeters Not Equipped with a Communication Interface. *Sensors* (Basel). 2020 Jun 29;20(13):3650. DOI: 10.3390/s20133650.
2. Abdelmegeed, H. Automatic calibration system for electrical sourcing and measuring instruments / Hala Abdelmegeed, Ali M. El-Rifaie // 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2013. DOI: 10.1109/EEEIC.2013.6549578
3. Ryzhov, Ye. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin // *Measurement*, 2018, Volume 123, Pp.19-25. DOI:10.1016/j.measurement.2018.03.055.
4. Cheng, Fan-Tien. Developing an Automatic Virtual Metrology System / Fan-Tien Cheng, Hsien-Cheng Huang, Chi-An Kao // *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. – 2012. – No 9(1). – Pp.181–188. DOI: 10.1109/TASE.2011.2169405.
5. Haw-Ching Yang, Hao Tieng, Fan-Tien Cheng. Automatic virtual metrology for wheel machining automation // *International Journal of Production Research*. 2016. – V. 54:21. – Pp. 6367-6377, DOI: 10.1080/00207543.2015.1109724
6. Ігнаткін, В.У. Математичне забезпечення технічних засобів вимірювання і контролю : Монографія / В.У. Ігнаткін. – м. Кам'янське : ДДТУ, 2019. – 350 с.
7. Автоматизация метрологического обслуживания средств измерений промышленного предприятия / В. У. Игнаткин и др.: под ред. В. У. Игнаткина. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 208 с.
8. Определение и анализ зависимости показателей надежности средств измерений / Игнаткин В.У. и др. // *Измерительная техника*. – 1989. – № 7. – С. 11–13.
9. Оценка, контроль и прогнозирование метрологической надежности средств измерений / В. У. Игнаткин и др.: под ред. В. У. Игнаткина. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 190 с.
10. Манко, Г.И. Математическое моделирование метрологической надежности средств измерения с целью оптимизации межповерочных интервалов / Г.И. Манко, Н.М. Смунёва // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2005. – № 4. – С. 181–184.
11. Ігнаткін, В.У. Особливості аналізу динамічної погрішності при оцінці метрологічної надійності засобів вимірювання / В.У. Ігнаткін // *Метрологія і*

прилади. – 2019. – № 2 – С. 36–42. DOI: 10.33955/2307-2180(2)2019. С. 36–42

12. Мартин, Дж. Организация баз данных в вычислительных системах : пер. с англ. / Дж. Мартин . – 2-е изд., доп . – М. : Мир, 1980 . – 662 с.

13. Horbiychuk, M.S. The Use of Petri Networks for the Optimal Complexity Empirical Models Building Parallel / M.S. Corbiychuk. O.T. Bila. I lumeniuk T.V. // Algorithm Synthesis on the Genetic, June 2019. – Issue 89. – Pp. 123–128.

14. Horbiychuk, M.I. Neural network identification technology for manufacturing operations of drilling rig / M.I. Horbiychuk, T.V. Humeniuk // Науковий вісник національного гірничого університету. – 2017. – №3 (159). – С. 107 – 113.

15. Методичні вказівки до обчислення та про-гнозування показників метрологічної надійності засобів вимірювання при виконанні курсової роботи з дисципліни «Метрологія й технологічні вимірювання» для студентів II- IV курсів спеціальності 21.03. Частина I ; упоряд. В. У. Ігнаткін та ін.; під ред. В. У. Ігнаткіна. — Дніпропетровськ : УДХТУ, 1994. — 40 с.

16. В.У. Ігнаткін «Автоматизована система метрологічного обслуговування на промислових підприємствах». «Міжнародна науково-практична конференція» Прикладні «науково-практичні дослідження», м.Івано-Франківськ «Симфонія», 2017-5-7 квітня, 1с 86.

REFERENCES

1. Grzeczka G, Klebba M. Automated Calibration System for Digital Multimeters Not Equipped with a Communication Interface. Sensors (Basel). 2020 Jun 29;20(13):3650. DOI: 10.3390/s20133650.

2. Abdelmegeed, H. Automatic calibration system for electrical sourcing and measuring instruments / Hala Abdelmegeed, Ali M. El-Rifaie // 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2013. DOI: 10.1109/EEEIC.2013.6549578

3. Ryzhov, Ye. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin // Measurement, 2018, Volume 123, Pp.19-25. DOI:10.1016/j.measurement.2018.03.055.

4. Cheng, Fan-Tien. Developing an Automatic Virtual Metrology System / Fan-Tien Cheng, Hsien-Cheng Huang, Chi-An Kao // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2012. – No 9(1). – Pp.181–188. DOI: 10.1109/TASE.2011.2169405.

5. Haw-Ching Yang, Hao Tieng, Fan-Tien Cheng. Automatic virtual metrology for wheel machining automation // International Journal of Production Research. 2016. – V. 54:21. – Pp. 6367-6377, DOI: 10.1080/00207543.2015.1109724

6. Ignatkin, V.U. Matematichne zabezpechennya tekhnichnih zasobiv
130

vimiryuvannya i kontrolyu : Monografiya / V.U. Ignatkin. – m. Kam'yans'ke : DDTU, 2019. – 350 s.

7. Avtomatizaciya metrologicheskogo obsluzhivaniya sredstv izmerenij promyshlennogo predpriyatiya / V. U. Ignatkin i dr.: pod red. V. U. Ignatkina. – M. : Izd-vo standartov, 1988. – 208 s.

8. Opredelenie i analiz zavisimosti pokazatelej nadezhnosti sredstv izmerenij / Ignatkin V.U. i dr. // Izmeritel'naya tekhnika. – 1989. – № 7. – S. 11–13.

9. Ocenka, kontrol' i prognozirovanie metrolo-skoj nadezhnosti sredstv izmerenij / V. U. Ignatkin i dr.: pod red. V. U. Ignatkina. – M.: Izd-vo standartov, 1991. – 190 s.

10. Manko, G.I. Matematicheskoe modelirovanie metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmereniya s cel'yu optimizacii mezhpoverochnyh intervalov / G.I. Manko, N.M. Smunyova // Voprosy himii i himicheskoy tekhnologii. – 2005. – № 4. – S. 181–184.

11. Ignatkin, V.U. Osoblivosti analizu dinamichnoï pogrishnosti pri ocinci metrologichnoï nadijnosti zasobiv vimiryuvannya / V.U. Igiatkin // Metrologiya i priladi. – 2019. – № 2 – S. 36–42. DOI: 10.33955/2307-2180(2)2019. S. 36–42.

12. Martin, Dzh. Organizaciya baz dannyh v vychislitel'nyh sistemah : per. s angl. / Dzh. Martin. – 2-e izd., dop. – M. : Mir, 1980. – 662 s.

13. Horbiychuk, M.S. The Use of Petri Networks tor the Optimal Complexity Empirical Models Building Parallel / M.S. Corbiychuk. O.T. Bila. I lumeniuk T.V. // Algorithm Synthesis on the Genetic, June 2019. – Issue 89. – Pp. 123–128.

14. Horbiychuk, M.I. Neural network identification technology for manufacturing operations of drilling rig / M.I. Horbiychuk, T.V. Humeniuk // Науковий вісник національного гірничого університету. – 2017. – №3 (159). – С. 107 – 113.

15. Metodichni vkazivki do obchislennya ta pro-gnozuvannya pokaznikov metrologichnoï nadijnosti zasobiv vimiryuvannya pri vikonanni kursovoï roboti z disciplini «Metrologiya j tekhnologichni vimiryuvannya» dlya studentiv II- IV kursiv special'nosti 21.03. CHastina I ; uporyad. V. U. Ignatkin ta in.; pid red. V. U. Ignatkina. – Dnipropetrovs'k : UDHTU, 1994. – 40 s.

16. V.U. Ignatkin «Avtomatizovana sistema metrologichnogo obslugovuvannya na promislovih pidpriemstvah». «Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya» Prikladni «naukovo-praktichni doslidzhennya», m.Ivano-Frankivs'k «Simfoniya», 2017-5-7 kvitnya, 1s 86.

Received 04.10.2021.

Accepted 07.10.2021.

***Автоматизация решения задач оптимизации параметров системы
метрологического обслуживания средств измерительной техники***

Автоматизация метрологической службы предприятия позволяет уменьшить использование рабочей силы для выполнения задач обслуживания средств измерений и со-

кратить случаи ошибок персонала. В то же время процесс создания соответствующих автоматизированных систем требует решения ряда задач, связанных с необходимостью оптимизации параметров проектируемой системы, обеспечивающие ее высокую эффективность.

В этой статье делается попытка решить задачу охвата различных моделей в рамках синтеза и исследования имитационных компьютерных моделей, которые активно используют базу данных средств измерения предприятий. Разработан и программно реализована модель, которая позволяет в интерактивном режиме, учитывая характеристики, которые поступают из калибровочных лабораторий службы, и задавшись экономическими и метрологическими критериям, определять значение оптимальных межповоротных и межремонтных промежутков, оптимального числа проверок в межремонтном промежутке и другие параметры. Путем имитационного моделирования исследована зависимость показателей надежности ЗСТ от качества проведения метрологического обслуживания и ремонта. Исследовано влияние межремонтного и межповоротный интервал на экономическую эффективность метрологического обслуживания. В результате получены зависимости, позволяющие также исследовать влияние параметров качества обслуживания на комплексные показатели надежности.

Использование результатов исследования позволяет в диалоговом режиме автоматизированного рабочего места метролога решать задачи оптимизации параметров метрологического обслуживания по экономическим критериям и ограничениями конкретного производства по показателям метрологической надежности средств измерений, проводить диагностику и прогнозировать метрологическую надежность средств измерительной техники с учетом влияния на систему управления качеством предприятия, улучшать точность измерения и уменьшать вероятность возникновения скрытых отказов.

Automation of solving problems of optimization of parameters of metrological maintenance system of measuring equipment

Automation of the metrological service of the enterprise allows to reduce the use of labor to perform tasks of maintenance of measuring equipment and reduce staff errors. At the same time, the process of creating appropriate automated systems requires solving a number of problems related to the need to optimize the parameters of the designed system to ensure its highest efficiency.

This article attempts to solve the problem of covering various models in the synthesis and study of simulation computer models that actively use the database of measuring instruments of enterprises. Developed and software implemented a model that allows interactive mode, taking into account the characteristics coming from the calibration laboratories of the service, and given economic and metrological criteria, to determine the values of optimal calibration and repair intervals, the optimal number of inspections in the repair interval and other parameters. The dependence of FTA reliability indicators on the quality of metrological maintenance and repair was investigated by simulation. The influence of inter - repair and inter - calibration intervals on economic efficiency of metrological service is investigated. As a result, the dependences are obtained, which also allow to investigate the influence of service quality parameters on complex reliability indicators.

The use of research results allows in the dialog mode of the automated workplace of the metrologist to solve problems of optimization of parameters of metrological service on economic criteria and restrictions of concrete production on indicators of metrological reliability of measuring instruments, to carry out diagnostics and to forecast metrological reliability of measuring instruments. measurement accuracy and reduce the likelihood of hidden failures.

Ігнаткін Валерій Устинович – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Алексєнко Сергій Вікторович – д.т.н., доцент, завідувач кафедри механотроніки, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна.

Горбійчук Михайло Іванович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна.

Игнаткин Валерий Устинович – д.т.н., профессор, профессор кафедр автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.

Алексєнко Сергей Викторович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой механотроники, Днепроvский национальный университет имени Олеся Гончара, Украина.

Горбийчук Михаил Иванович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина.

Ignatkin Valeriy – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Ivano-Frankovsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Alekseyenko Sergey – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanotronics, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Gorbiychuk Mikhail – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Ivano-Frankovsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.