



Веселовська Н. Р.
д.т.н., професор

**Вінницький національний
аграрний університет**

Veselovska N.
Doctor of Technical Sciences,
Professor

**Vinnitsia National Agrarian
University**

УДК 621: 631.3:519.711.3

DOI: 10.37128/2306-8744-2022-1-9

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИПРОБУВАЛЬНО- ДІАГНОСТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

Верстати з ЧПК, в тому числі багатоцільові верстати (центри, що обробляють вироби), отримали широке застосування у зв'язку зі створенням гнучких виробничих систем і значним прогресом в розробці і підвищенні надійності багатоцільових вільнопрограмованих, багатопроцесорних і малогабаритних приладів числового програмного керування (ЧПК), тому розробка алгоритмічного забезпечення для практичної реалізації випробувально-діагностичного комплексу та застосування систем діагностування, як засобу автоматизації інформаційної технології є одним з генеральних напрямків підвищення ефективності машинобудівних підприємств. Разом з тим, для прийняття рішень про обсяги, етапи і доцільність використання тієї або іншої системи діагностування для обраного об'єкта дослідження на конкретному підприємстві необхідно оцінити її переваги, які очікуються.

Застосування діагностики в процесі експлуатації верстата накладає свій вплив на засоби і методи діагностики, які повинні бути зручні для застосування в заводських умовах, забезпечити здійснення процесу діагностування за мінімальний час, володіти вірогідністю показань, особливо при високих вимогах до надійності виробу, здійснювати діагностику без розкомплектування, а в окремих випадках і без порушення роботи механізму, бути економічно доцільними. Конструкція верстата при цьому пристосовується для потреб діагностики і повинна: мати вбудовані прилади, які оцінюють його параметри (тиск в гідросистемі, температуру енергонапружених вузлів, точність обробки деталі, швидкість); періодично підключатися до спеціального обладнання, що буде здійснювати діагностику основних параметрів верстата і видавати дані про його стан. Параметрами технічного стану (діагностичними ознаками), за якими можна судити про ОД і які діагностуються в процесі експлуатації верстата, є: параметри верстата, що безпосередньо характеризують його дієздатність; пошкодження і дефекти, які виникають в процесі експлуатації і призводять або можуть призвести до відмови; побічні ознаки, які функціонально або стохастично зв'язані з вихідними параметрами.

***Ключові слова:** верстатний комплекс, функціональні можливості, діагностування, обладнання, процес механічної обробки, верстати.*

Вступ. Діагностування верстатного (на якому діагностувався функціональний вузол). комплексу з ЧПК виконується на трьох рівнях: До тестів при діагностуванні виносилися наступні алгоритмічному, функціональному і вентильному вимоги: простота аналізу результатів проходження



тесту; мінімальна довжина тесту; можливість перестановки ідентифікаторів; інваріантність до відмінностей типових схем систем, що перевіряються. При розробці системи діагностування враховувалося, що більшість відмов ЧПК відноситься до збоїв або часткових відмов і не вимагає виконання ремонтних робіт і не завжди виявляється при періодичному тестуванні. Тому одного тестового діагностування приладів з ЧПК недостатньо і воно доповнюється іншими видами контролю. Для тестової діагностики без застосування зовнішніх приладів (що характерно для періоду експлуатації обладнання з ЧПК) необхідно, як і при діагностуванні будь-якої іншої складної системи, наявність «ядра», що повинно відрізнятися високою надійністю.

Основна частина. Випробування дослідних зразків обладнання з ЧПК є глибоким експериментальним дослідженням його характеристик з застосуванням сучасних метрологічних і діагностичних засобів. Однак в нинішній час основними принциповими недоліками випробування даного обладнання є наступні:

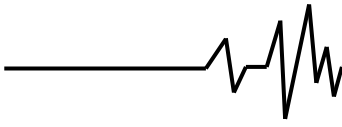
- всі види випробувань проводяться відокремлено;
- не враховується ймовірнісна природа всіх явищ;
- не застосовуються тестові засоби діагностування, що дозволяють дати інформацію про стан верстата при різноманітних спектрах навантажень;
- не застосовуються засоби прогнозування;
- практично не використовуються можливості ЕОМ для управління процесом

прийняття рішення при випробуванні, прогнозуванні і діагностиці.

Для усунення перерахованих недоліків був розроблений випробувально-діагностичний стенд (рис.1), що істотно полегшив і підвищив вірогідність контролю і глибину діагностування приладів ЧПК при прийнятті рішення про оцінку їх ефективності. За об'єкт діагностування виберемо круглошліфувальний горизонтальний верстат з ЧПК (SIW-3/1CAC (комп'ютерно-адаптивна система)) при виробництві підшипників, тобто технологічний процес обробки деталі. Для імітації обертання деталі (заготовки), що обробляється шліфувальним верстатом, служить імітатор частоти обертання валу, що розташований на випробувально-діагностичному стенді, а для отримання результатів вимірювання внутрішніх або зовнішніх діаметрів виробів - прилад активного контролю ЕЛЕКОН-3, що також може бути використаний для вимірювання розмірів виробів з переривчастою поверхнею. Прилад складається з двох однакових вимірювальних головок, командного блока, установчого кронштейна і з'єднувального кабеля (для заводів підшипникової промисловості кожний прилад комплектується монтажним пристосуванням для установки кронштейна з вимірювальними головками на певний шліфувальний верстат). Прилад проводить вимірювання розмірів двома одноконтактними вимірювальними головками зі складанням сигналів. Вимірювальні головки вимірюють розмір, перетворюють його в електричний сигнал, що перетворюється за допомогою вимірювальних перетворювачів в показання величини припуску і в команди прийняття рішення про обробку деталь.



Рис. .1. Випробувально-діагностичний стенд



До складу випробувально-діагностичного стенда входить об'єкт діагностування – верстат, програмні навантажуючі прилади, вимірювальний комплекс для оцінки параметрів і комплекс для вимірювання діагностичних сигналів. Стенд є основним джерелом інформації про вихідні параметри зразка, що діагностується. Після кожного циклу випробувань в пам'ять машини вводяться параметри кожного прийнятого рішення в різноманітних ситуаціях. Після проведення всіх N циклів випробувань створюється масив даних за параметрами прийнятих рішень, що після статистичної обробки дає значення ефективності при прийняттю рішення в залежності від ситуації в якій проводилося діагностування.

За допомогою діагностичної апаратури, що знаходиться на розробленому стенді (рис.1), оцінюється стан окремих елементів верстата (інструмента, шпінделя, приводів і приладів ЧПК) і деталі, яка обробляється на верстаті. Аналіз діагностичних сигналів за допомогою ЕОМ дозволяє судити про причини відхилень тих або інших параметрів від їх номінальних значень.

ЕОМ управляє формуванням всіх циклів, обробляє результати вимірювань і, з урахуванням апріорної інформації, здійснює прогноз про можливе застосування параметрів при тривалій експлуатації верстата.

В робочій програмі верстата реалізуються наступні алгоритми:

- алгоритм управління верстатом від приладу активного контролю за припуском кільця;
- алгоритм управління верстатом без приладу активного контролю;
- алгоритм управління верстатом по потужності шліфування.

При проведенні самодіагностування системи на дисплей виводяться наступні дані:

- коди несправностей, що виникають;
- номер мікросхеми ПЗУ і ОЗУ, які вийшли з ладу.

При виникненні несправності верстата система фіксує:

- коди алгоритмів підпрограм, які виконуються;
- коди останніх блоків алгоритму.

(Коди виводяться на дисплей за запитом оператора).

Випробування проводяться в автоматизованому режимі і складаються з послідовних циклів, кількість яких повинна бути достатньою для статистичної обробки результатів. Кожний цикл здійснюється при певному поєднанні чинників, які впливають на параметри верстата. Параметри визначаються з допомогою вимірювального комплексу,

приймається рішення і вводяться в ЕОМ, де виробляються необхідні розрахунки, результати яких зберігаються в пам'яті комп'ютера.

Найбільший ефект від випробувань, які проводяться за допомогою розробленого комплексу, можна отримати:

1) при проведенні їх в такому обсязі, що дозволяє застосовувати статистичні засоби оцінки вихідних параметрів;

2) при застосуванні прогнозування можливі зміни вихідних параметрів в часі;

3) при застосуванні засобів діагностики для оцінки причин, що впливають на параметри верстата;

4) при здійсненні прийняття рішення про оптимізацію тих параметрів верстата, які визначають його технічні характеристики (вихідні параметри).

Для вирішення перерахованих задач, на базі математичного апарату другого розділу, розроблена структурна схема інформаційних зв'язків системи «ОД-СД» і випробувально-обчислювального процесу, що включає в себе великий обсяг окремих обчислень і циклів випробувань, їх логічну побудову, застосування різноманітних засобів і розробки математичних моделей, використання низки підпрограм (і спеціальних, і стандартних), організацію взаємодії процесів діагностування і випробувань, обробки інформації і обчислення, яка впроваджена в реальне виробництво.

Розробка алгоритмічного забезпечення. Технологічне обладнання (ТО), а саме верстат (ОД), що входить до складу складної системи «ОД-СД», взаємопов'язане шляхом механічних, електронних і програмно-інформаційних інтерфейсів, які забезпечують тимчасові і інформаційні зв'язки всередині системи, передачу сигналів по каналах зв'язку, діалог між системою управління і підсистемами. Отже, управління програмним випробуванням є досить складним процесом, що включає в себе процедури, пов'язані з обробкою інформації, отриманої при діагностуванні і випробуванні, з розрахунком показників ефективності верстатів, з прийняттям рішень, з прогнозуванням, моделюванням і оптимізацією. Послідовність і логічні зв'язки етапів, необхідних для прийняття рішення при діагностуванні і випробуванні верстатів, відображені в розробленому і впровадженому на ТОВ Агромаш-Калина алгоритмі програмного випробування верстатів (рис.2), що є основою для розробки засобів діагностування і програмного забезпечення для оцінки ефективності.

Розглянемо окремі блоки алгоритму (рис.2) і їх взаємодію.

Окрім вхідних даних велике значення має інформація, розміщена в банку даних ЕОМ, де містяться наступні дані:



- параметри технологічних процесів (розміри деталей, матеріал, режими обробки, інструмент), дані про частоту їх застосування для вибраної моделі верстата;
- спектри силових (вібраційних) і теплових зовнішніх дій на верстат, що враховуються при розрахунку вихідних параметрів;

- дані по матеріалах тих пар тертя, що визначають точність верстата;
- інформація про необхідну точність обробки і про похибки, що вносяться іншими компонентами технологічної системи, а також вимоги стандартів і нормативів, що використовуються для розрахунку областей дієздатності, тобто областей допустимих значень вихідних параметрів точності верстата;

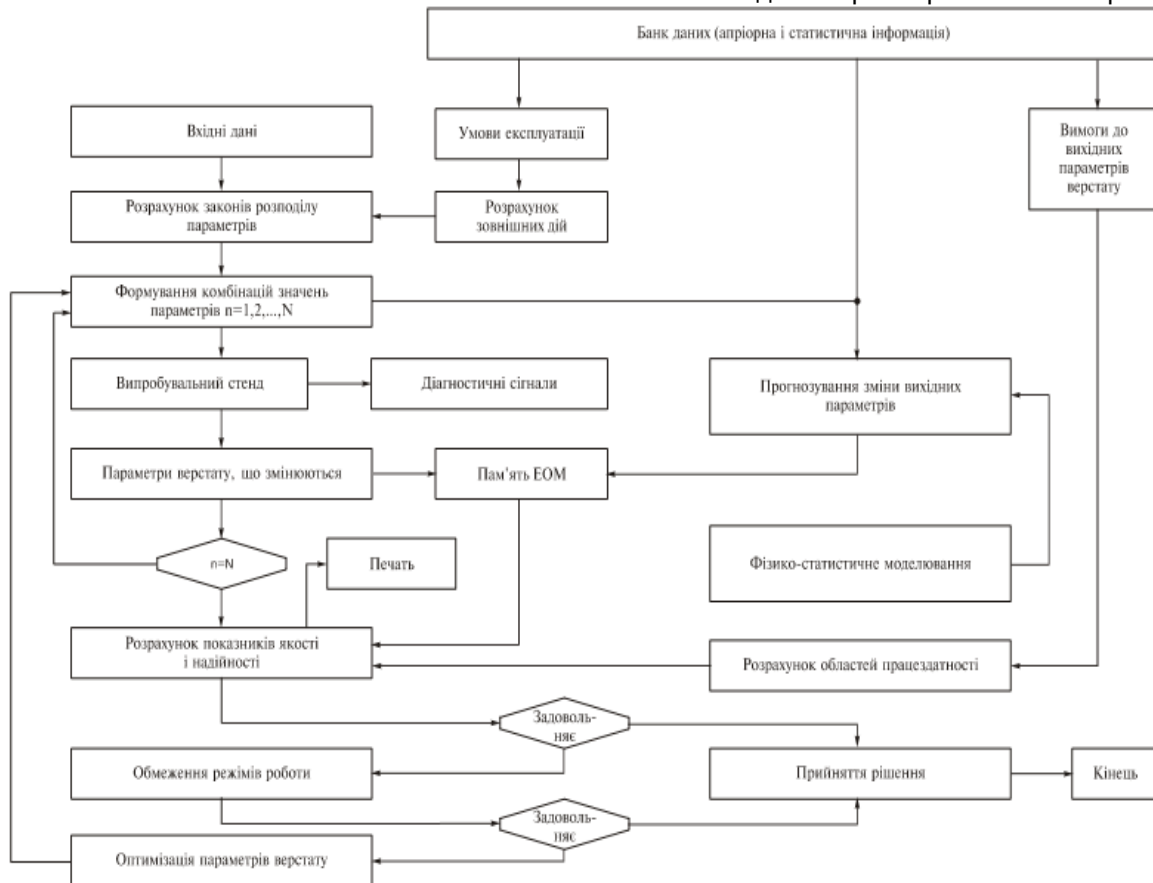
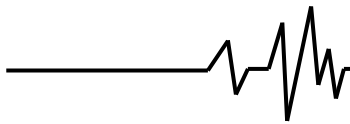


Рис. 2. Алгоритм діагностування

В пам'ять машини також вводяться значення діагностичних сигналів, які спроможні виявити причини тих або інших характерних особливостей, що виникають в процесі роботи верстата.

Задачі діагностування, що вирішуються автоматичним вимірюванням деталі, інструмента і введенням корекції, відносяться до діагностування при неповній апріорній інформації. Для діагностування параметрів, що ідентифікуються, часто необхідно одночасно оцінювати декілька факторів. За результатами аналізу визначають похибку, місце її виникнення і необхідність корекції програми обробки. Отже, розробка універсальних алгоритмів і програм діагностики, придатних для верстатів різноманітних типів, вимагає чіткого розподілу між безпосередньою програмою і діагностичними даними, характерними для конкретних верстатів. В

основу алгоритму покладена низка умов і процедур, які оцінюють значення змінних. Алгоритм дозволяє в моменти часу, що розглядаються і які відповідають різним подіям (початок і кінець обробки, підхід транспортного засобу до накопичувача або складу), виконання всіх операцій, пов'язаних з відповідною реакцією алгоритму на подію, яка виникла в цей момент часу. Стан об'єкта в довільний момент часу описується наступними змінними (рис.3). Алгоритм відноситься до класу асинхронних алгоритмів, що моделюється з прийняттям рішення про стан об'єкта і включає ряд логічних умов і процедур, що знаходяться в блоках ПРИЙОМ, ОБСЛУГОВУВАННЯ, ПОДАЧА, ПРОСТІЙ і ВІДМОВА. Розглянемо події і умови, що можуть виникати в алгоритмі і дії, що приймаються програмою для продовження функціонування системи (рис.3).



Умова 1: $t'=0$. Можливі дві ситуації: i -а система зайнята ($ind=1$) або вільна ($ind=0$). У першій ситуації i -а система повинна прийняти деталь (заготовку) у вхідний накопичувач і спрогнозувати час до приходу наступної деталі на обслуговування. В другій ситуації i -а система повинна прийняти деталь вже на обслуговування і спрогнозувати час до підходу наступної деталі. Ці процедури виконуються блоком ПРИЙОМ.

Умова 2: $t'=0$. В алгоритмі вирішуються задачі: оброблена деталь переходить у вихідний накопичувач i -ої системи, звільнивши робочу позицію, приймається рішення про подальшу поведінку i -ої системи. Ці задачі вирішуються блоком ПЕРЕДАЧА.

Умова 3: $t \geq 0$ і $E > 0$. Деталь приймається на обслуговування, i -а система переходить в режим зайнятості. В алгоритмі вирішуються задачі: приймається на обслуговування деталь з вхідного накопичувача і приймається рішення про обслуговування деталі в залежності від ситуації, при цьому визначається значення $tobc$ (блок ОБСЛУГОВУВАННЯ).

Умова 4: $t \geq 0$ і $E=0$. При цьому i -а система знаходиться в режимі простою (блок ПРОСТІЙ).

Умова 5: $t'=0$ і $E < E+1$ відповідає переповненню вхідного накопичувача або його відмові. Призначений для цієї умови блок ВІДМОВА зменшує значення E на одиницю (при переповненні).

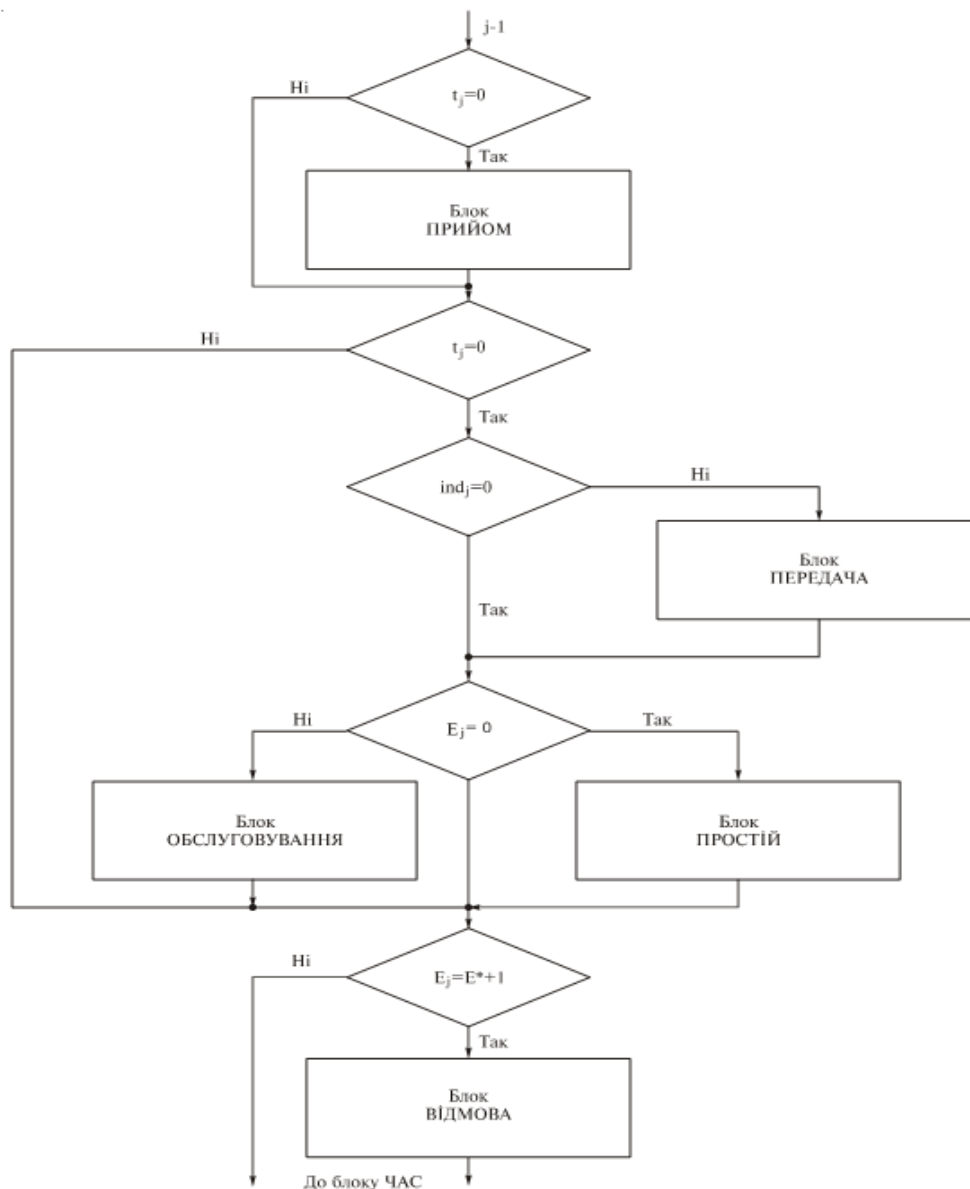


Рис.3. Події і умови, що можуть виникати в алгоритмі і дії, що приймаються програмою для продовження функціонування системи



Передача деталей, врахування особливостей структури системи, алгоритмів управління і дисципліни обслуговування, реєстрація вихідних параметрів здійснюються за рахунок включення в кожний блок алгоритму спеціальних додаткових процедур, що виконуються після основних процедур в блоках ПРИЙОМ, ОБСЛУГОВУВАННЯ, ПРОСТІЙ, ПЕРЕДАЧА, ВІДМОВА. Будь-яка несправність визначається в результаті послідовності перевірок, що зображається у вигляді структурної схеми або дерева несправностей. Дерево для n несправностей описується у вигляді матриці, що має n рядків результатів перевірок і m стовпчиків тестів. У матрицю входять всі дані, які необхідні для пошуку несправностей. Програма пошуку потрібного рядка і визначення типу несправності є універсальною і використовується для різноманітного технологічного обладнання.

Аналіз експериментальних даних. Опис обчислювального процесу.

Управління обчислювальним процесом є досить складним процесом, що включає

процедури, пов'язані з обробкою інформації, яка отримується при випробуванні, з розрахунком показників якості верстата, з прийняттям рішення про оцінку ефективності, прогнозуванням, моделюванням та оптимізацією.

В самому загальному вигляді схема для діагностування верстата (рис.4) з використанням ЕОМ включає верстат як ОД, комплект вимірювальних перетворювачів, аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП), що пов'язані через проміжні прилади з процесором ЕОМ і його оперативною пам'яттю. При управлінні експериментом від ЕОМ керуючі сигнали проходять скрізь цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) і надходять на прилади задання навантажень і керуючих дій, які імітують зовнішні і внутрішні процеси, що відбуваються при обробці деталі на верстаті. Введення даних, реєстрація і спостереження за ходом випробування проходить за допомогою клавіатури, графічного дисплею. Для здійснення наступних процедур:

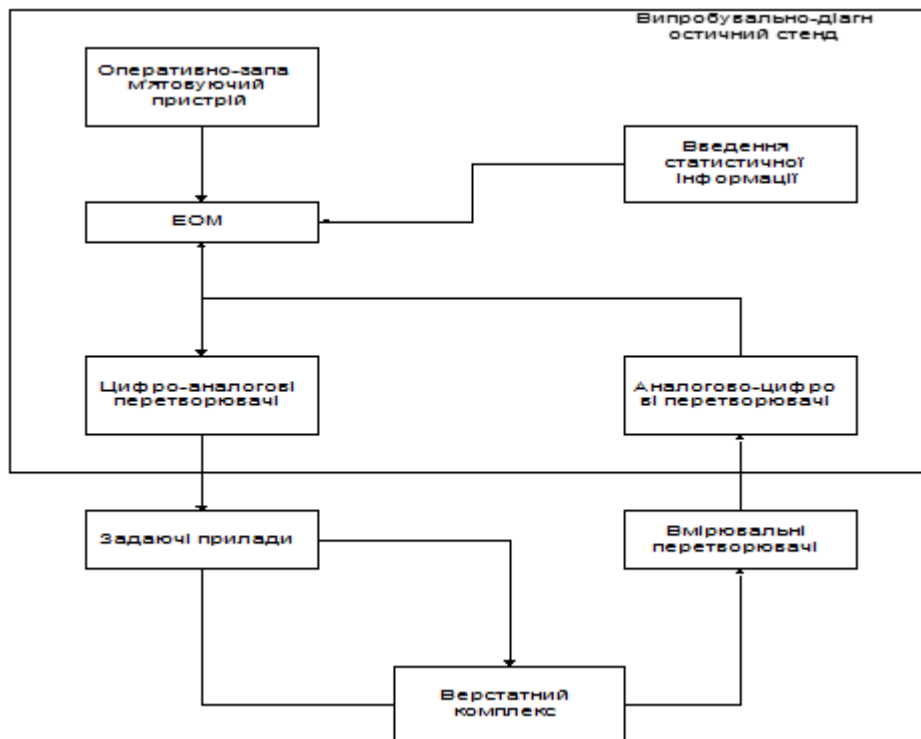
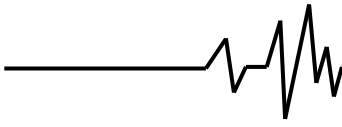


Рис4.. Структурна схема стенду

- 1.Формування вхідних даних:
 - розрахунок робочих навантажень;
 - розрахунок законів розподілу;
 - формування комбінацій значень параметрів, що діагностуються;
 - керування експериментом.
- 2.Обробки результатів випробувань та діагностичних сигналів:

- розрахунок регламентованих параметрів;
- статистична обробка результатів N випробувань;
- розрахунок функцій та законів розподілу вихідних параметрів;
- оцінка ефективності прийняття рішення .



3. Прогнозування втрат ефективності при виникненні несправностей:

- визначення закономірностей зношування та експлуатаційних факторів.

4. Розрахунку надійності:

- оцінка параметрів областей станів верстата;

- розрахунок дієздатності для кожного з параметрів;

- оцінка основних факторів, які впливають на якість, ефективність та надійність верстата.

5. Оптимізації параметрів верстата:

- оптимізація технологічних допусків на геометричні параметри верстата;

- оптимізація режимів обробки в області експлуатації;

- оцінка ефективності для підвищення стійкості механізмів верстата

- розроблені прикладні програми повного циклу проведення процедури прийняття рішення при діагностуванні верстата.

Дослідження та аналіз експериментальних даних при проведенні діагностування.

Формування і дослідження вхідних даних, що включає створення банку вхідної інформації, розрахунок законів розподілу варіації параметрів і вибір їхніх значень для формування діагностування, оцінки ефективності прийняття рішення, є одним з основних етапів. Основним джерелом інформації для розрахунку і створення тих або інших дій на верстат служить виробничий процес і вимоги замовника.

Під час експлуатації виникають приховані пошкодження, які не виникають в довільні моменти часу, а проявляються як збіг накопичених, не знайдених пошкоджень. Накопичення неусунених пошкоджень знижує живучість систем та може призвести до повного їх виходу з ладу. Під живучістю розуміють здатність системи до виконання деяких основних функцій, які характеризують працездатний стан системи, з можливою повною чи частковою втратою інших другорядних функцій. Живучість загалом пов'язують із впливом на систему катастрофічних факторів зовнішнього середовища, що виходять за межі проектних умов експлуатації. Тому стоїть задача своєчасного виявлення та усунення ушкоджень для підвищення ефективності, оптимальності, якості та надійності прийнятих рішень не тільки про стан ОД, а всієї системи в цілому. Як було зазначено в попередніх розділах, необхідно використання методів та засобів технічної діагностики та математичного апарату для проведення досліджень.

Дослідження проводилися під час експлуатації з припущенням, що ушкодження проявляються в один і той же час, для:

- верстатного комплексу з ЧПК без системи діагностування;

- верстатного комплексу з ЧПК з системою діагностування;

- верстатного комплексу з ЧПК з періодичним діагностуванням.

Вхідні параметри:

- технічні характеристики верстата з ЧПК, які визначені замовником:

- конструкторські характеристики: компоновка, геометричні характеристики деталей,

- властивості матеріалів деталей, інерційні характеристики;

- технологічні характеристики: похибки; умови експлуатації: зовнішні навантаження, частота обертання, параметри змашування, теплові характеристики деталей,

- температура зовнішнього середовища ; ймовірнісні характеристики;

- варіанти конструкторсько-технологічної реалізації верстата та його вузлів;

- варіанти рішень виготовлення деталей;

- вартість верстата з ЧПК та СД;

- габарити верстата з ЧПК та СД;

- статистичні данні отримані при проведенні досліджень:

- кількість зразків системи на початку експлуатації – 12 верстатів (легкої і середньої маси до 10т) з ЧПК;

- коефіцієнт змінності верстата 1зміна–0.87(2зміни-1.74), 1985 роб.год./рік;

- середня тривалість роб. люд./місяць – 165;

- кількість зразків, які вийшли з ладу, на протязі місяця – 9 верстатів;

- загальний час роботи одного верстата в рік – 3453.9 годин;

- прийнятий інтервал часу для планової профілактики – 287.8 годин;

- 1 зміна – 2000 роб./годин за рік;

- час, на протязі якого відмовляють всі зразки – 662 години (2.3 місяця);

- час безвідмовної роботи системи між відмовами - 1.4 місяця;

- сумарна напрацьованість 13 годин;

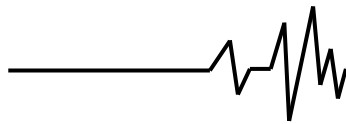
- сумарний час відновлення 18 годин;

- 2 оператори на 3 верстати (середня зарплата 169-41грн.) та 2 налагоджувачі на 6 верстатів (119-52 грн.);

- амортизаційні відрахування, плата за фонди, коефіцієнт цехових накладних витрат по 15%;

- витрати на енергоносії на 1 місяць: тепло 237.; вода-128 ; світло-292 (т.грн.);

- річні витрати на матеріали і



комплектуючі, пов'язані з експлуатацією СД – 320 т.грн.;

- вартість верстата - 125 т.грн.; вартість системи діагностування - 55 т.грн.;

- вага верстата – 4.1 т.; вага СД - 250 кг;

- габарити одного верстата- 200x2000x2200 (мм), глибина- 1200 мм;

- продуктивність верстата (1 зміна) – 2 дет/хв., (%браку 0.8%);

- ціна деталі (виробу) 2 грн 50 коп;

- конденсатори (керамічні і електролітичні)-1598 шт.; мікросхеми – 1531 шт.; процесори – 3 шт.; резистори - 71 шт.; транзистори – 106 шт.; діоди – 304 шт.; світлодіоди – 639 шт.

- параметри верстата, які діагностуються:

- тиск мастила в системі верстата – 5 кг/см²,

- зношення шліфувального круга +/- 5 мм,

- початковий стан вузлів верстата,

- дієздатність системи керування,

- дієздатність допоміжних приладів (перетворювачів, ОЗП, КВП).

Практика показала, що верстатний комплекс без системи діагностування після виникнення одного, двох чи більше пошкоджень може частково чи повністю вийти з ладу. Для поновлення його роботи необхідні досить великі витрати часу на знаходження пошкодження, потім на його усунення, що веде до додаткових витрат і значно знижує ефективність. При використанні системи діагностування, яка була розглянута вище, можна зробити висновок, що СД дозволяє своєчасно та без затримок знаходити пошкодження в ОД і він практично не виходить з ладу, що підвищує ефективності. При періодичному діагностуванні, тобто при обслуговуванні комплексу в конкретно призначені моменти часу, витрати на експлуатацію дешевші, але існує ризик накопичення прихованих пошкоджень, які через деякий час призведуть

до повного виходу з ладу, і разом з цим, значних витрат на його поновлення.

Використовуючи математичний апарат та синтезовані алгоритми, модифікований і синтезований критерій оцінки ефективності прийняття рішень при діагностуванні, проведемо розрахунки ефективності в різноманітних ситуаціях для:

- верстатного комплексу з ЧПК з існуючою системою діагностування;

- верстатного комплексу з ЧПК з розробленою системою діагностування.

1) Визначаємо ентропію кожної системи ОД та СД до діагностування за формулою (1)

$$H_0 = -p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0), (1)$$

де p_0 - апіорна імовірність (визначена за допомогою проведених досліджень) появи ситуації "немає норми" від 0 до 1 (відомо, що $p_0 = 1 - p_1$, де p_1 - апіорна імовірність появи ситуації "норма");

3) Визначаємо ентропію ОД та СД з урахуванням ентропії після діагностування, яка зумовлена помилками при діагностуванні за формулою (2)

$$H_1 = -p_v \cdot \log_2 p_v - (1-p_{0t}) \cdot \log_2 (1-p_{0t}), (2)$$

де p_v - апіорна ймовірність прийняття вірного рішення,

p_{0t} - апіорна ймовірність прийняття помилкового рішення ($p_v = 1 - p_{0t}$).

3) Вартість системи діагностування та об'єкта визначена виробником.

Враховуючи всі припущення, вартості ОД та СД, а також вираз для знаходження помилок першого та другого роду, отримаємо загальний вираз для розрахунку оцінки ефективності прийняття рішень



$$\begin{aligned}
 E &= \frac{(H_0 - H_1) \cdot C_{i \min}}{H_0 \cdot \sum_{i=1}^3 C_{iz}} = \frac{(-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)) \cdot \log_2 (1-p_0)}{(-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)) \cdot \log_2 (1-p_0)} - \\
 & \frac{\left[p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right] \log_2 \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) -}{-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)} - \\
 & \frac{-\left(1 - \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) \right) \cdot \log_2 \left(1 - p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) \cdot C_{i \min}}{-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)} \cdot \sum_{i=1}^3 C_{iz} = \\
 & = 1 - \frac{\left[p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right] \log_2 \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) -}{(-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)) \cdot \log_2 (1-p_0)} - \\
 & \frac{-\left(1 - \left(p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) \right) \cdot \log_2 \left(1 - p_0 \cdot \alpha + (1-p_0) \cdot \beta \right) \cdot C_{i \min}}{-p_0 \cdot \log_2 p_0 - (1-p_0) \cdot \log_2 (1-p_0)} \cdot \sum_{i=1}^3 C_{iz}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Підставивши всі вхідні данні в (3) та зробивши розрахунки за допомогою редакторів EXCEL і MATHCAD, отримуємо зведені залежності.

Висновки. Аналіз експериментальних даних оцінки ефективності алгоритмів прийняття рішень в двоальтернативній ситуації "норма"- "немає норми" при діагностуванні верстатного комплексу з ЧПК з існуючою системою діагностування та з розробленою системою показав, що ефективність $E_{сд}=0.95$, а без $E_{бсд}=0.75$, при $\alpha=0.005$ (помилка першого роду), $p_0=0.65$, $\beta=0.008$ (помилка другого роду) - $E_{сд} > E_{бсд}$, тобто можна зробити висновок про доцільність розробки та впровадження системи діагностування, яке дозволило ліквідувати суб'єктивні помилки людини-оператора. В результаті заміни ролі оператора діями СД, процеси прийняття рішення при діагностуванні в різноманітних ситуаціях, що виконувалися раніше оператором, виконує СД, значно зменшився час пошуку пошкодження та підвищилась ефективність оцінки прийняття рішень при діагностуванні верстатного комплексу з ЧПК практично в 1.26 рази, що свідчить про доцільність використання

запропонованого математичного апарату та синтезованих алгоритмів прийняття рішень для різних галузей народного господарства.

Список використаних джерел

1. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Natalia R. Veselovska, Wojciech Surtel, Samat Sundetov. "Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080860 (1 October 2018). DOI: 10.1117/12.2501526.
2. Пістунів І.М. Проектування інформаційних систем. Дніпро: Національний гірничий університет, 2008.71 с.
3. Харченко В.С., Складар В.В., Тарасюк О.М. Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения. Харьков.2004.158с.
4. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. Киев: Наукова Думка.2006.260с.



5. Струтинський В.Б., Веселовська Н.Р., Зелінська О.В. Автоматизація проектування технологічних процесів та систем. *Всеукраїнський НТЖ «Вібрації в техніці та технологіях»*. №3(52). 2008.С.22-30.

References

1. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Natalia R. Veselovska, Wojciech Surtel, Samat Sundetov. "Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080860 (1 October 2018). doi: 10.1117/12.2501526.

2. Pistunov I. M. (2008), Proektuvannia informatsiinykh system [Tekst], D.: Natsionalnyi hirnychiy universytet, Ukraine.

3. Kharchenko V. S., Skliar V. V., Tarasiuk, O.M. (2004), Metody modelyrovanyia y otsenky kachestva y nadezhnomy prohrammnoho obespechenyia, Kharkov, Ukraine.

4. Kuntsevych V.M. (2006), Upravlenye v uslovyakh neopredelennosti: harantirovannyye rezultatyv zadachakh upravlenyia y ydentyfikatsyy, Kyev Naukova Dumka, Ukraine.

5. Strutynskiy V. B., Veselovska N.R., Zelinska, O.V. (2008), «Avtomatyzatsiia proektuvannia tekhnolohichnykh protsesiv ta system», Vseukrainskyi NTZh «Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh». Vol.3(52), pp.22-30

DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC SUPPORT FOR PRACTICAL IMPLEMENTATION OF TESTING AND DIAGNOSTIC COMPLEX OF CNC MACHINES

CNC machines, including multi-purpose machines (product processing centers), have been widely used in connection with the creation of flexible production systems and significant

progress in developing and improving the reliability of multi-purpose freely programmable, multiprocessor and small numerical program control devices (CNC) , so the development of algorithmic software for the practical implementation of the test and diagnostic complex and the use of diagnostic systems as a means of automation of information technology is one of the general directions of improving the efficiency of machine-building enterprises. However, in order to make decisions about the scope, stages and feasibility of using a particular diagnostic system for the selected object of study at a particular enterprise, it is necessary to assess its expected benefits.

The use of diagnostics during operation of the machine imposes its influence on the means and methods of diagnosis, which should be convenient for use in the factory, to ensure the diagnosis process in the shortest time, to have reliable readings, especially with high requirements for product reliability. and in some cases without disrupting the mechanism, to be economically feasible.

The design of the machine is adapted to the needs of diagnostics and must: have built-in devices that evaluate its parameters (pressure in the hydraulic system, temperature of energy-intensive units, accuracy of machining, speed); periodically connect to special equipment that will diagnose the basic parameters of the machine and provide data on its condition. The parameters of the technical condition (diagnostic features), which can be judged on the OD and which are diagnosed during operation of the machine, are: machine parameters that directly characterize its efficiency; damage and defects that occur during operation and lead or may lead to failure; side effects that are functionally or stochastically related to the initial parameters.

Keywords: machine complex, functionality, diagnostics, equipment, machining process, machines.

Відомості про автора

Веселовська Наталія Ростиславівна – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Veselovska Nataliia - Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Machines and Equipment of Agricultural Production of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsia, Ukraine, 21008, e-mail: wnatalia@ukr.net).