

УДК 004.896 : 004.942

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗІ ЗМІНОЮ СТРАТЕГІЙ**А. В. Ярмілко**Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
бул. Шевченка, 81, м. Черкаси, 18000, Україна. E-mail: a-ja@ukr.net**Д. С. Приходько**

QATestLab, м. Черкаси, Україна. E-mail: darkfenix@uch.net

Розглянута проблема підвищення ефективності експлуатації виробничих модулів з інтелектуальними функціями. Дана проблема розглядається в контексті сучасних концепцій створення виробничих систем і вимог до їх експлуатації. Авторами охарактеризовано особливості функціонування гнучких технологічних модулів високоенергетичної обробки матеріалів. У статті пропонується використання методу управління із зміною стратегії функціонування модуля за комплексною оцінкою ефективності, концепція якого поєднує принципи адаптивності та оптимальності. Досліджено основні властивості методу за імітаційною моделлю процесу функціонування виробничого модуля, розробленою з використанням підходів теорії надійності на основі імітованих даних моніторингу виробничого середовища. У статті представлено оцінки очікуваного зростання економічної ефективності інтелектуального модуля, отримані при варіації параметрів моделі виробничої системи. Автори надають рекомендації щодо забезпечення оптимального використання розроблених методів і засобів, обговорюються можливості їхнього впровадження у вбудованих системах управління реального часу.

Ключові слова: інтелектуальний виробничий модуль, імітаційне моделювання, критерії ефективності.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СО СМЕНОЙ СТРАТЕГИЙ**А. В. Ярмилко**Черкасский национальный университет имени Богдана Хмельницкого
бул. Шевченко, 81, г. Черкасы, 18000, Украина. E-mail: a-ja@ukr.net**Д. С. Приходько**

QATestLab, г. Черкасы, Украина. E-mail: darkfenix@uch.net

Рассмотрена проблема повышения эффективности эксплуатации производственного модуля с интеллектуальными функциями. Данная проблема рассматривается в контексте современных концепций создания производственных систем и требований к их эксплуатации. Авторами представлена характеристика особенностей эксплуатации гибких технологических модулей высокоэнергетической обработки материалов. Предложено применение метода управления со сменой стратегий функционирования модуля по комплексной оценке эффективности, концепция которого предусматривает сочетание принципов адаптивности и оптимальности. Исследованы основные свойства метода с использованием имитационной модели производственной ситуации, разработанной на основе подходов теории надежности с использованием имитированных данных мониторинга производственной среды. В статье представлены оценки ожидаемого возрастания экономической эффективности интеллектуального модуля, полученные при вариации параметров модели производственной системы. Представлены рекомендации по обеспечению оптимального использования разработанных методов и средств, обсуждены возможности их внедрения во встраиваемые системы реального времени.

Ключевые слова: интеллектуальный производственный модуль, имитационное моделирование, критерии эффективности.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Одним із провідних напрямів підвищення ефективності виробництва на сучасному етапі технічної цивілізації є інтелектуалізація виробничих систем. Концепції, пов'язані з упровадженням на всіх етапах життєвого циклу системи інформаційних технологій, знайшли відображення у розробці теоретичних та практичних рішень у галузі гнучких виробничих систем (ГВС) і комп'ютеризованих інтегрованих виробництв (КІВ), сприяли виникненню поняття інтелектуальної виробничої системи (ІВС). Розвиток автоматизації виробництва призвів до появи якісно нових систем технологічних машин з керуючими засобами. Так, у ГВС використовується технологічне обладнання, здатне до автоматичної адаптації до змін у програмі виробництва.

На рівні управління технологічними процесами та виробництвами інформаційна підтримка прийняття рішень здійснюється автоматизованими систе-

мами керування технологічними процесами (АСК ТП) та автоматизованими системами керування підприємством (АСКП).

Функції моніторингу обладнання та технологічних процесів і безпосереднє управління ними забезпечують розподілені системи спостереження та керування SCADA. Безпосереднє програмне управління технологічним обладнанням здійснюється системами CNC на базі промислових комп'ютерів, убудованих у технологічне обладнання з числовим програмним керуванням.

Для забезпечення ефективного управління сучасними виробничими системами необхідно залучати великі обсяги інформації та виконувати її обробку в узгодженому з виробничими процесами темпі. Переважно, з огляду на технологічну складність та економічні параметри цих процесів, кількісний та якісний рівень залучення матеріальних, енергетичних та інформаційних ресурсів, необхідно забезпе-

чувати обробку даних в реальному часі, особливо для виявлення небезпечних ситуацій та проведення заходів, які дозволяють уникати виникнення проблем та зберігати здатність реагувати на виникнення відмов і усувати їх. Пошук нових рішень в окресленій області є одним із пріоритетних напрямів міжнародної програми “Інтелектуальні виробничі системи” (Intelligent Manufacturing Systems – IMS) [1]. Концептуальні засади цієї програми, яка уособлює консолідацію зусиль провідних промислових держав задля спільних досліджень та розробки науково-практичних проєктів за всіма аспектами автоматизації, інтеграції та інтелектуалізації виробництва, для забезпечення функціонування інтелектуальних систем управління передбачають збирання та обробку різноманітних видів інформації з усіх можливих джерел, як внутрішніх, так і зовнішніх [2].

Комплексні системні стратегії управління виробництвом та експлуатацією особливо актуальні для складних наукоємких виробів, оскільки витрати на їхнє підтримання у працездатному стані часто тотожні або перевищують витрати на придбання [3].

У даному контексті актуальною задачею є забезпечення гнучкості адаптації виробничої системи до зміни зовнішніх і внутрішніх умов роботи на тактичному та стратегічному рівнях. Передумовою реалізації даних підходів є зростання можливостей сучасних інформаційних технологій. Проте доцільність впровадження нових методів управління має ґрунтуватися на з’ясуванні їхніх загальносистемних характеристик і, зокрема, економічної ефективності.

Метою даної роботи є дослідження властивостей запропонованого підходу при використанні його у системі управління технологічним модулем високоенергетичної обробки матеріалів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У контексті зазначених концепцій та згаданих обставин нами була запропонована концепція формування економічно ефективного керування інтелектуальним технологічним модулем на основі вибору оптимальної стратегії функціонування [4].

Даний підхід поєднує принципи адаптивності та оптимальності управління та використовує математичний апарат теорії ігор для вибору поточної стратегії. Прототипами таких технологічних модулів можуть бути установки лазерної, електронно-променевої, плазмової обробки, які широко використовуються у процесах зварювання, поверхневої обробки матеріалів та інших технологіях. Визначальною ознакою таких процесів часто є підвищена вимогливість до забезпечення якості обробки.

При цьому доводиться зважати також на те, що дані технології часто використовуються при виготовленні унікальних виробів та обробці деталей, на попередніх стадіях виробництва яких здійснено значні витрати.

Інший аспект проблеми – можливість забезпечення високих показників готовності обладнання, яке використовується у високоенергетичних проце-

сах обробки. Як правило, воно визначається високим рівнем складності та значними вимогами до якості регулювання і обслуговування. Особливо дана обставина ускладнюється у випадку унікального малосерійного обладнання, для якого не завжди вдається забезпечити ефективне (за часом або якістю) сервісне обслуговування. У таких випадках особливо актуальним стає питання належного рівня автоконтролю та самодіагностики обладнання, його здатності до модифікації експлуатаційних режимів з метою підвищення показників готовності, збільшення частки продуктивних інтервалів у загальному експлуатаційному періоді, їх ефективне використання і, в цілому, забезпечення найвищої економічної ефективності експлуатації обладнання.

Попереднє дослідження дозволило отримати підтвердження припущення про збільшення економічної ефективності виробничої системи при використанні методу зі зміною стратегій відносно контрольного експерименту, в якому використовувався оптимальний режим, визначений на початку продуктивного періоду виробничого модулю [4]. Проте отримані результати на дозволяли виявити весь потенціал запропонованого методу, оскільки у виконаній серії імітаційних дослідів перехід на один з трьох альтернативних технологічних режимів не супроводжувався зміною поточної моделі залишкового ресурсу виробничого модуля.

Удосконалена модель (модель А) виробничої системи передбачала три режими виконання технологічної операції, які характеризувалися різним рівнем навантаженості виробничого модуля (у співвідношенні 3:5:7) і, відповідно, різними показниками залишкового ресурсу та переходу у граничний стан (рис. 1).

Модель виробничого завдання передбачала отримання максимального прибутку від експлуатації модуля і полягала у виготовленні деталей одного виду на будь-якому з можливих експлуатаційних режимів. На початку продуктивного періоду модуля обирався оптимальний режим за стандартною методикою на підставі прогнозу стану виробничої системи [4]. У ході комп’ютерного експерименту імітувався процес моніторингу із заданою періодичністю поточного стану системи, який мав на меті виявлення відхилень від прогнозних показників.

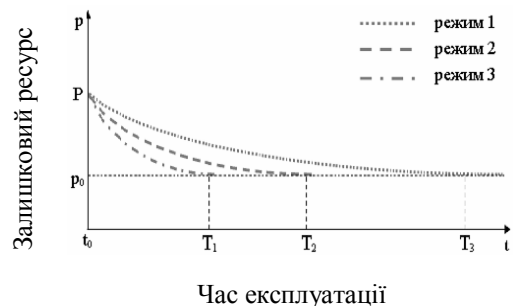


Рисунок 1 – Характеристики залишкового ресурсу та напрацювання на відмову для трьох режимів виконання технологічної операції

При перевищенні ними заданих порогових значень проводилося дослідження гіпотези про доцільність зміни стратегії експлуатації виробничого модуля з визначенням найбільш ефективного для конкретної стратегії режиму.

У реалізованій моделі інтелектуального аналізу виконувалося співставлення критеріальних оцінок, отриманих при застосуванні наступних критеріїв відбору: критерію песимізму (Уолда), критерію надзвичайного оптимізму, критерію коефіцієнта оптимізму (Гурвіца), критерію сприятливого в середньому рішення (Лапласа), критерію жалкування (Севіджа). Відповідно до результатів здійснювалася модифікація поточних параметрів моделі виробничої системи, яка передбачала перехід на відповідну обраному експлуатаційному режиму функціональну характеристику ресурсного показника (рис. 2).

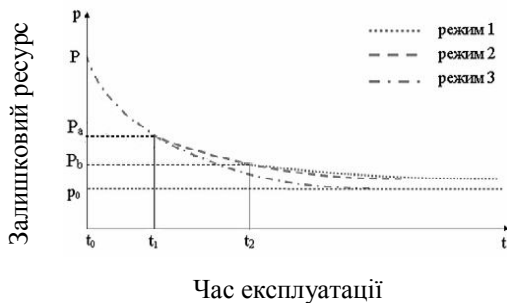


Рисунок 2 – Графік характеристики залишкового ресурсу при зміні експлуатаційного режиму відповідно до поточної стратегії у моменти t_1 та t_2

Проте, зміна експлуатаційного режиму має привести до підвищення надійності виробничої системи за рахунок зменшення навантаження на її компоненти або зменшення тривалості виконання одиначної технологічної операції [5]. Зважаючи на цю обставину, до програми експерименту було включено дослідження модифікованої моделі виробничої системи (модель Б), яка передбачала деяке збільшення початкового значення залишкового ресурсу при переході на альтернативний технологічний режим (рис. 3). У представленій моделі це зростання було встановлено на таких рівнях: при переході з режиму 1 на режим 2 ($1 \rightarrow 2$) і з режиму 2 в режим 3 ($2 \rightarrow 3$) – 5% відносної втрати ресурсу на попередніх стадіях продуктивного періоду, при переході $1 \rightarrow 3$ – 10%, а при переходах $3 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 1$ і $3 \rightarrow 1$ – 30, 30 і 60 % відповідно. Дані параметри мають оціночний характер і ґрунтуються на припущеннях щодо зміни інтенсивності відмов компонентів виробничого модуля (приводу та джерела енергетичного впливу) при модифікації експлуатаційних режимів обладнання та спостережені їхнього впливу на кількісні та якісні параметри продуктивності.

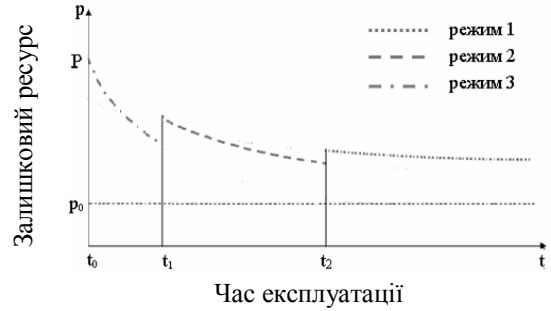


Рисунок 3 – Характеристика залишкового ресурсу з урахуванням ефекту зростання надійності

Дослідження отриманих у ході імітаційного експерименту даних проводилося шляхом співставлення економічних оцінок наслідків експлуатації виробничої системи за обома розробленими моделями зміни ресурсу з базовими даними попереднього експерименту [4].

Для підвищення надійності експериментальних даних обсяг серій випробувань було збільшено до 1000 продуктивних циклів. Зважаючи на те, що економічна оцінка проводилася для продуктивних фаз експлуатації без урахування фаз відновлення функціональних можливостей виробничого модуля, співставлення результатів виконувалося за числом вироблених деталей. На рис. 4 і рис. 5 поведінка виробничої системи в імітаційних експериментах представлена сумарною продуктивністю у послідовних серіях зі 100 продуктивних циклів.

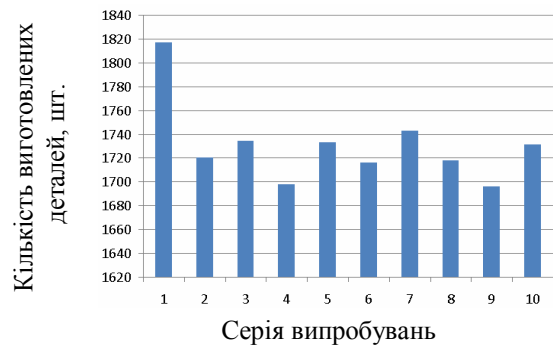


Рисунок 4 – Гістограма продуктивності виробничого модуля (модель А)

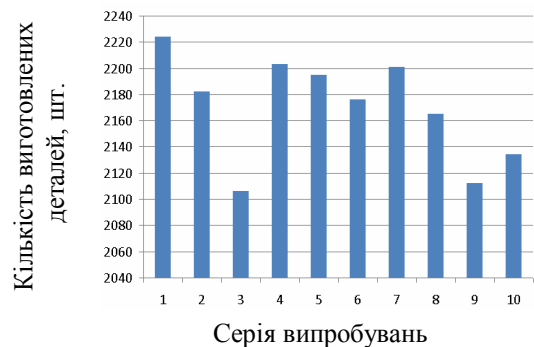


Рисунок 5 – Гістограма продуктивності виробничого модуля (модель Б)

Аналіз отриманих даних модельного експерименту засвідчив суттєве зростання продуктивності виробничого модуля при застосуванні методу управління зі зміною стратегій.

Характеристики середньої продуктивності за період до відмови для заданої моделі виробничої функції для базового (оптимального) режиму і спрощеної моделі виробничої системи [4], а також описаних вище моделі А та моделі Б подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Продуктивність виробничого модуля

Модель виробничої системи	Середня продуктивність (шт.)	Середнє відхилення (шт.)	Приріст продуктивності, %
Базовий режим	16,16*	1,9680*	–
Спрощена модель	16,67*	2,0632*	3,16*
Модель А	17,306	1,9875	7,09
Модель Б	21,698	9,0602	34,27

* за даними для 100 продуктивних періодів

Суттєве зростання відхилення від середнього для кількості деталей, які можуть бути вироблені протягом продуктивного періоду за моделлю Б, пояснюється збільшенням варіантів прийняття рішень при виборі стратегії функціонування модуля за поточною оцінкою залишкового ресурсу.

ВИСНОВКИ. Проведене дослідження дозволило отримати експериментальні дані, які характеризують властивості методу управління інтелектуальним виробничим модулем зі зміною стратегій. У дослідженні використано імітаційні моделі, які забезпечують варіацію властивостей виробничого модуля і спираються на понятійний апарат теорії надійності.

Аналіз результатів експерименту підтвердив попередні висновки про зростання економічної ефективності виробничої системи при впровадженні управління за запропонованою у [4] схемою для всіх варіантів моделі виробничої системи. Варіація результатів у межах серій імітаційних експериментів (табл. 1) є цілком відповідною даним спостереження реальних технологічних процесів, в яких тривалість продуктивних періодів обладнання залежить від характеристик надійності конкретних екземплярів змінних компонентів (наприклад, ламп накачки твердотільних технологічних лазерів) та якості проведення ремонтних або регламентних робіт у конкретний період відновлення, а також впливу випадкових чинників виробничого середовища.

У наведеному дослідженні питання способу формування прогнозної характеристики ресурсу виробничої системи та її поточних значень не розглядалися, однак існуючі методи моніторингу параметрів технологічних процесів і методики визначення показників надійності за даними спостереження цілком придатні для вирішення цієї задачі. У даному контексті для високоенергетичних процесів обробки перспективним є використання візуального каналу отримання даних для експрес-діагностики [6]. Разом

із тим варто зазначити, що у даному дослідженні було використано до певної міри спрощену модель надійності виробничого модуля, яка базувалася на експоненціальній залежності. У подальшому плануються дослідити запропонований метод управління із залученням більш досконалих моделей надійності складних технічних систем [7, 8].

Запропонований метод управління передбачає виконання у реальному масштабі часу значного обсягу операцій, пов'язаних з обрахунком оцінок ефективності альтернативних експлуатаційних стратегій, їхнім аналізом та прийняттям рішень щодо вибору поточної стратегії. Додаткової витрати ресурсів потребують процедури визначення прогнозу станів виробничої системи за моніторинговими даними, формування керуючих впливів, т. і. Проте способи та засоби технічної реалізації перелічених задач з прийнятними показниками продуктивності, адекватними вимогам потенційної цільової платформи та реальних технологічних завдань, на цей час існують і мають прогнозовані параметри для конкретного типу математичної моделі [9].

Отримані результати узгоджуються з концепціями ГВС та ІВС і можуть бути використані при розробці виробничих модулів та технологічних процесів різного призначення. Найбільш високого ефекту від впровадження запропонованого методу можна очікувати стосовно складного, наукоємкого устаткування, яке здатне забезпечити альтернативні режими виконання виробничих операцій. Також можна передбачити суттєве зростати ефективності виробництва деталей з тривалим неперервним циклом виконання технологічної операції в умовах потенційної нестабільності стану виробничої системи. Мінімізація втрат буде особливо помітною при обробці деталей з великою часткою попередніх затрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. Intelligent Manufacturing Systems [Електронний документ]. – Режим доступу: <http://www.ims.org>.
2. Jorge Gamboa-Revilla and Miguel Ramirez-Cadena. Intelligent Manufacturing Systems: a methodology for technological migration [Електронний документ]. – Режим доступу: www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008_pp1257-1262.pdf
3. Информационные системы и технологии в экономике и управлении: учебник для бакалавров / Под ред. проф. В.В. Трофимова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 521 с. – Серия: Бакалавр.
4. Ярмілко А.В. Формування стратегії керування технологічним модулем за даними поточного моніторингу та експрес-діагностики // Математичні машини і системи. – 2013. – № 1. – С. 102–110.
5. Методы повышения надежности сложных систем / Основы промышленной безопасности [Електронний документ]. – Режим доступу: www.gendocs.ru/v1429/лекции_-_основы_промышленной_безопасности?page=6
6. Експрес-діагностика виробничих процесів за результатами відеоспостережень / А.В. Ярмілко,

А.Ю. Небилиця // Матеріали Шостої науково-практичної конференції з міжнародною участю "Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2011". – Чернігів: ФОП Васюта В.В., 2011. – С. 209–212.

7. Стрельников В.П. Оценка ресурса изделий электронной техники // Математичні машини і системи. – 2004. – № 2. – С. 186–195.

8. Оценка надежности бортовой авионики на ос-

нове диффузионного DN-распределения / А.А. Зеленков, А.П. Голик // Електроніка та системи управління. – 2009. – № 2 (20). – С. 12–17.

9. Забезпечення швидкої зміни моделі поведінки у вбудованих системах реального часу / А.В. Ярмілко, М.Ю. Багінський // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2/2013 (79). – С. 51–55.

EFFICIENCY INVESTIGATION OF THE CONTROL SYSTEM WITH STRATEGIES CHANGING

A. Yarmilko

Bohdan Khmelnytsky National University at Cherkasy
blv. Shevchenko, 81, Cherkasy, 18000, Ukraine. E-mail: a-ja@ukr.net

D. Prykhodko

QATestLab, Cherkasy, Ukraine. E-mail: darkfenix@uch.net

The article focuses on the problem of operation efficiency increasing of a production module with smart features. This problem is considered in the context of modern concepts of production systems creation and their operation requirements. The authors have characterized special operation features of flexible process modules of high-energy machining and offered the control method with changing in strategies of the module's functioning by a comprehensive assessment of effectiveness. The method concept involves a combination of adaptivity and optimality principles. The main properties of the method were analyzed using a simulation model of an operation process of a production module. The operation model was developed using an approach of reliability theory and simulated monitoring data of the production environment. Also the estimation of the expected increase in economic efficiency of intelligent modules with parameters variation of the production system model is presented. In the end of the paper the authors provides recommendations to ensure the optimal use of the developed methods and means, and the prospects of their implementation in the embedded real-time control systems.

Key words: intelligent production module, simulation modeling, criteria of efficiency.

REFERENCES

1. "Intelligent Manufacturing Systems", available at: <http://www.ims.org/>

2. Jorge Gamboa-Revilla and Miguel Ramirez-Cadena. "Intelligent Manufacturing Systems: a methodology for technological migration", available at: http://www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008_pp1257-1262.pdf

3. Trofimov, V.V., Ilina, O.P., Trofimova, Ye.V., Kiyayev, V.I., Prihodchenko, A.P. (2012), *Informatisionnyie sistemy i tekhnologii v ekonomike i upravlenii: uchebnyk dlya bakalavrov* [Bachelor: Directory], ed. by V.V. Trofimov, 3d edition, Urait, Moscow, Russia.

4. Yarmilko, A.V. (2013), "The formation of the control strategy of the technological unit based on the current monitoring and rapid diagnosis", *Mathematical machines and systems*, no. 1, pp. 102–110. IMMSP NASU, Kyiv, Ukraine.

5. Yarmilko, A.V., Nebylytsia, A.Yu. (2011), "Rapid diagnosis of the manufacturing processes as a result of video surveillance", *Proceedings of the 6th*

scientific-practical conference with international participation "Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS'2011", Chernihiv, FOP Vasiuta V.V., pp. 209–212.

6. Strelnikov, V.P. (2004), "Estimation of a resource of products of electronic techniques", *Mathematical machines and systems*, no. 2, pp. 186–195. IMMSP NASU, Kyiv, Ukraine.

7. A.A. Zelenkov, A. P. Golik (2009), "The onboard system reliability estimate on the base of DN-distribution", *Electronics and Control Systems*, no. 2, pp. 12–17. National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

8. Yarmilko, A.V., Bahinskyi, M.Yu. (2013), "Ensuring the rapid changing of behavior models in imbedded real-time control systems", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 79, iss. 2, pp. 51–55, KrNU, Kremenchuk, Ukraine.

Стаття надійшла 25.06.2013.