

УДК 621.865.8

С.В.КОВАЛЕВСЬКИЙ, О.С.КОВАЛЕВСЬКА

КОНЦЕПЦІЯ ДІАГНОСТИКИ МЕХАНІЗМУ МОБІЛЬНОГО ВЕРСТАТА – РОБОТА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЙОГО ЕТАЛОННОЇ МОДЕЛІ

Пропонується концепція діагностики механізму мобільного верстата-робота на основі нейромережевої моделі, що дозволяє оперативно враховувати змінну виробничу середовище. Запропоновано новий підхід із застосуванням спектрального аналізу функцій поглинання механізмом верстата - робота збудженої акустичної хвилі в заданому діапазоні. Встановлено, що спектр власних порушених коливань об'єкта є найбільш інформативним щодо різних властивостей і параметрів об'єкта. Представлені зразки амплітудно-частотних характеристик при позиціонуванні механізму експериментальною стану по характерних точках робочого простору.

Ключові слова: діагностика, еталонна модель, верстат-робот, акустичний аналіз.

Предлагается концепция диагностики механизма мобильного станка-робота на основе нейросетевой модели, позволяющая оперативно учитывать переменную производственную среду. Предложен новый подход с применением спектрального анализа функций поглощения механизмом станка - робота возбужденной акустической волны в заданном диапазоне. Установлено, что спектр собственных возбужденных колебаний объекта является наиболее информативным относительно различных свойств и параметров объекта. Представлены образцы амплитудно-частотных характеристик при позиционировании механизма экспериментальною стану по характерным точкам рабочего пространства.

Ключевые слова: диагностика, эталонная модель, станок - робот, акустический анализ.

The concept of diagnostics of the mechanism of the mobile machine-robot on the basis of the neural network model is proposed, which allows to quickly taking into account the variable production environment. A new approach is proposed with the use of spectral analysis of the absorption functions of the machine-robot mechanism of an excited acoustic wave in a given range. It is established that the spectrum of the object's own excited oscillations is the most informative concerning various properties and parameters of the object. Samples of amplitude-frequency characteristics are presented in the positioning of the mechanism of the experimental stand by the characteristic points of the working space.

Keywords: diagnostics, reference model, machine-robot, acoustic analysis.

Вступ. Удосконалення обладнання, методів, способів здійснення процесів з його участю, супроводжуються поглибленням інтеграції механічної частини обладнання з системою контролю, діагностики та управління (при цьому, контроль є частиною діагностики, попередньої управління), що пояснюється законами еволюції технічних систем [1,2,3 і ін.]. Для технологічних процесів і обладнання проблема створення та ефективної експлуатації таких інтегрованих мехатронних систем на будь-якому етапі їх життєвого циклу залишається вкрай актуальною, особливо для нового обладнання, такого, як мобільні верстати-роботи [4,5,6,7,8,9,10].

Для точного позиціонування робочих органів виконавчих механізмів при оптимальних швидкостях і прискореннях їх рухів по заданій траєкторії, необхідно мати інформативні системи ідентифікації об'єктів. Літературні дані, присвячені завданню кінематики і динаміки виконавчих механізмів, свідчать про необхідність оптимізації управління механізмами технологічних машин. Так як основні переваги обладнання з паралельною кінематикою найбільш яскраво проявляються в умовах великих швидкостей переміщення виконавчих механізмів при заданій точності траєкторії переміщення інструменту і його позиціонування, то необхідно також враховувати ефективність процесів за критеріями витрат енергії.

Раніше, в роботах [4,5,6], було висловлено і частково підтверджено припущення про те, що в якості інформативного джерела діагностичного сигналу слід використовувати його амплітудно-частотну характеристику власних коливань об'єкта в акустичному діапазоні.

Серед активно розвиваються методів діагностики об'єктів і процесів слід виділити методи їх акустичної діагностики і створення на цій базі систем управління

[5, 11]. У зв'язку з цим, метою представленого дослідження є підтвердження можливості багатокомпонентного аналізу параметрів об'єктів (процесів і обладнання).

Матеріали та результати дослідження.

З огляду на особливу важливість, проблеми авторами статті пропонується комплексний підхід, при якому процеси контролю і діагностики представляють собою процедуру створення еталонної моделі об'єкта управління і підтримки цієї моделі в актуальному стані протягом технологічної операції. Основою такого підходу є спектр акустичного сигналу, відбитий від елементів технологічної системи і система його перетворення (рис. 1).

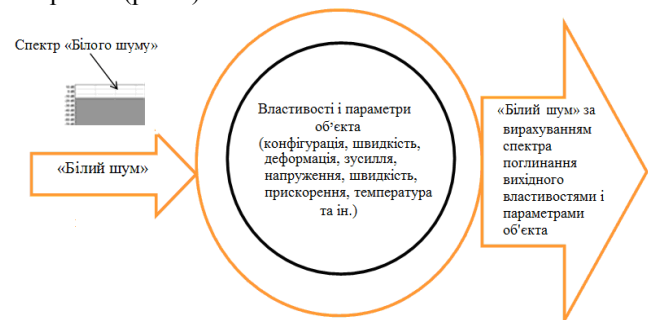


Рис. 1 – Структурна схема створення еталонної моделі мобільного верстата-робота

В основу створення еталонної моделі покладена гіпотеза про інформативних можливостях спектра акустичного сигналу як джерела даних про властивості і параметри об'єкта. Як показано в роботах [5, 8,9,10], спектр власних порушених коливань об'єкта є найбільш інформативним щодо різних властивостей і параметрів об'єкта. Однак, інформативні можливості діагностичного спектру акустичного сигналу значно розширюються шляхом збудження спектрів вимуше-

© С.В. Ковалевський, О.С. Ковалевська, 2017

них коливань «білим шумом», що наводиться випромінювачем в тестовому діапазоні.

Для реалізації такого підходу прийняті наступне:

- $W(f)$ – сигнал збудження об'єкта «білим шумом»;

- $R[W(f)]$ – реакція об'єкта на збудження «білим шумом»;

$X_k, X_1, \dots, X_r, \dots$ – властивості і параметри об'єкта (конфігурація, швидкість, деформація, зусилля, напруження, швидкість, прискорення, температура і т.п.) $R[W(f)] = F\{X_k, X_1, \dots, X_r, \dots\}$

Завданням діагностики і створення еталонної моделі об'єкта є визначення властивостей і параметрів об'єкта $X_k, X_1, \dots, X_r, \dots$ по реакції $R[W(f)]$ (рис.2).

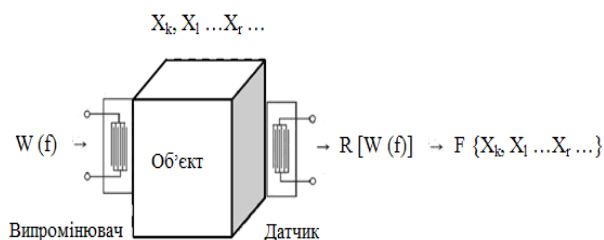


Рис. 2 – Інформаційна модель визначення властивостей і параметрів об'єкта: $W(f) \rightarrow \text{Object} \rightarrow R[W(f)] \rightarrow F\{X_k, X_1, \dots, X_r, \dots\} \rightarrow X_k, X_1, \dots, X_r, \dots$

Випромінювач і приймач діагностичного пристрою є оборотні п'єзоелектричні елементи, на які подаються (випромінювач) і з яких знімаються (датчик) посилюються сигнали. Оскільки діагностика об'єкта проводиться щодо опорного сигналу «білого шуму», то такий підхід дозволяє нормувати вихідні діагностичні сигнали щодо опорного сигналу.

На рис.3 (а, б, в, г) представлені зразки амплітудно-частотних характеристик при позиціонуванні механізму експериментального стенду характерних точках робочого простору механізму.

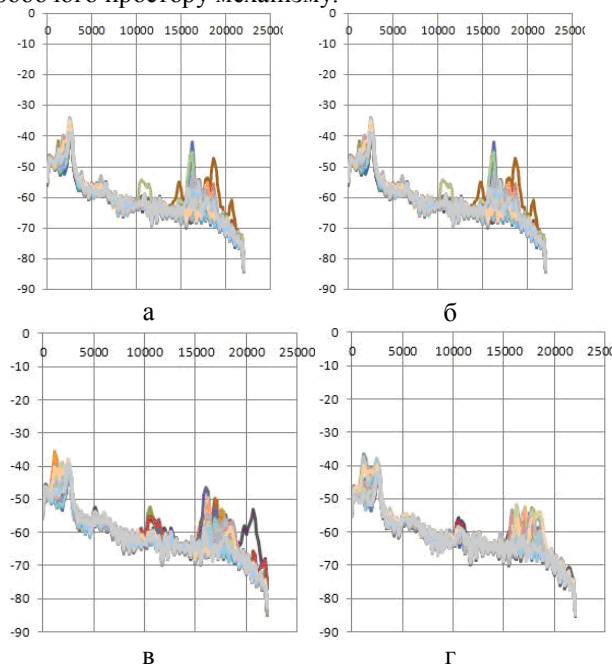


Рис. 3 - Зразки АЧХ при позиціонуванні механізму експериментального стенду: а - 37 точок $Z=5$ mm; б - 37 точок $Z=50$ mm; в - 37 точок $Z=150$ mm; г - 37 точок $Z=200$ mm.

У роботах [7,8,9,10,11] нами показано, що рішення перетворення $X_k, X_1, \dots, X_r, \dots = F\{X_k, X_1, \dots, X_r, \dots\}$ рекомендується виконувати із застосуванням нейромережевого моделювання.

Кожен вимір мало максимально можливий захист від випадкових флуктуацій сигналу. Це досягалося тим, що при кожній реалізації елементів плану експерименту вимірювання усереднюють в циклі з 100 послідовних сканувань спектра з дискретністю спектра в 178,3 від 0 до 20000 Гц. Повно факторного експерименту. рандомизацією сполучень факторів дозволив сформувати базу даних, де факторами були координати позиціонування виконавчого механізму експериментального стенду.

Значення характерних точок робочого простору представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Математичний опис нейромережної моделі, побудованої на даних АЧХ

Характерні точки		
Позначення характерних точок	Частота, Гц	Рівень значущості
S7	1206	0,90
S8	1378	0,60
S60	10336	0,47
S68	11714	0,58
S86	14815	0,46
S89	15332	0,70
S90	15504	0,47
S93	16021	0,69
S95	16365	0,41
S106	18260	0,36
S108	18605	0,48
S111	19121	0,71
S113	19466	0,51
S115	19811	0,42
S116	19983	0,53
S120	20672	0,92
S123	21189	0,49
S126	21705	1,00
S127	21878	0,44

У таблиці представлені найбільш значущі точки. Акустичний спектр відгуку, що представляє собою суму збуджених, поглинених і відображених акустичних хвиль піддається обробці на глибоких нейронних мережах. Результатом такої обробки є модель, що інтегрує особливості багатоваріантних перцептронів і карт Кохонена. Таке об'єднання можливе за допомогою нейронних мереж каскадної конфігурації і модифікованим нейроподібним елементом.

У програмному пакеті NeuroPro [8,9,10] надана можливість застосувати отриману модель для прогнозування властивостей і параметрів об'єкта по АЧХ і тим самим забезпечити функціонування еталонної моделі, яка використовується для інтелектуального управління верстатом - роботом.

Фрагмент вербального опису нейромережної моделі позиціонування механізму експериментального

стенду по характерних точках робочого простору наведено нижче.

Поля бази даних (вихідні синдроми):

S7, S8, S60, S68, S86, S89, S90, S93, S95, S106, S108, S111, S113, S115, S116, S120, S123, S126, S127

Поля бази даних (кінцеві синдроми): Z

Предобробка вихідних полів БД для подачі мережі:

S7= (S7--42,555)/7, 935001

S8= (S8--45, 1)/8, 17

S126= (S126--70, 73)/6, 700001

S127= (S127--70,695)/6,445

Функциональные перетворювачі:

Сигмоїда 1 (A)=A/(0,1+|A|)

Синдроми 1-го рівня:

Синдром1_1=Сигмоїда1(-0,2786306*S7-0,39386*

S8+0,164519*S60-0,3653027*S68+0,3126704*S86-

0,03144212*S89-0,06509873*S90+0,3476969

*S93-0, 1654247*S95-0, 3095458*S106+0, 2062864*

S108+0, 1001174*S111-0, 2285762*S113+0, 1377052

*S115+0, 08191856*S116-0, 1922183*S120+

0, 09077964*S126-0, 1923114)

Синдром 1_20=Сигмоїда1(0,2446884*S7+0,0500133

*S60-0, 1570076*S68+0, 06861026*S86-0, 2121315*

S89-0, 03423228*S90+0, 6315479*S93-0, 2464655*

S95+0, 006158689*S106-0, 2421574*S108+0, 3484654

*S111+0, 01279015*S113+0, 1337698*S115-0, 3317453

*S120-0, 007852481*S123+0, 08879511*S126-0, 2048413

*S127-0, 1658072)

Кінцеві синдроми:

Z=0,9342992*Синдром1_1-0,8471334*Синдром1_2+

0,7881347*Синдром1_3-0,9805002*Синдром1_4+

0,8393618*Синдром1_5-0,796478*Синдром1_6+

0,9282416*Синдром1_7+0,9115893*Синдром1_8-

0,7316513*Синдром1_9+0,8834189*Синдром1_10+

0,8092021*Синдром1_11+0,742706*Синдром1_12+

0,7383921*Синдром1_13+Синдром1_14-0,8908381*

Синдром1_15+0,8708463*Синдром1_16-0,6654512*

Синдром1_17+0,8319975*Синдром1_18-0,9760703*

Синдром1_19-Синдром1_20-0,3083902

Постобробка кінцевих синдромів:

Z=((Z*245)+255)/2)

Таким чином, після обробки інформації щодо позиціонування у кожному з характерних положень виконавчого органу, маємо еталонну модель, що дозволяє коригувати координати переміщення при обробці або складанні у верстатах – роботах. Отримані результати дослідження підтверджують можливості многокомпонентного аналізу параметрів об'єктів (процесів і обладнання) за допомогою еталонних моделей, побудованих на основі нейронних мереж.

Висновки. Запропоновано концепцію діагностики механізму мобільного верстата-робота на основі нейромережевої моделі, що дозволяє оперативно враховувати змінну виробничу середовище.

Проведені експерименти підтвердили гіпотезу, висунуту спочатку, про інформативних можливостях спектра акустичного сигналу як джерела даних про властивості і параметри об'єкта, які до того ж мають тенденцію розширюватися при порушенні спектрів

вимушених коливань «білим шумом», що наводиться випромінювачем в тестовому діапазоні.

Спектр власних порушених коливань об'єкта є найбільш інформативним щодо різних властивостей і параметрів об'єкта.

Розроблено методику створення нейромережевої еталонної моделі на основі акустичного спектру, застосування якої дозволяє використовувати акустичну діагностику для механізмів технологічних машин, що дозволяє розширити діапазон можливостей підвищення точності і продуктивності їх роботи.

Показана можливість використання запропонованого підходу до управління складними технологічними машинами, такими, як верстати з механізмами на основі паралельної кінематики для підвищення точності позиціонування виконавчих механізмів, забезпечення їх динамічної настройки і оптимізації траєкторій переміщень робочих органів обладнання (ріжучого інструменту).

Вирішено комплекс науково-технічних завдань, впровадження яких, вносить значний внесок у розвиток систем механообробки, що полягає у розширенні функціональних можливостей мобільних верстатів-роботів в складі ділянок механічної обробки.

Пропонується використання даного підходу до управління складними технологічними машинами, такими, як верстати з механізмами на основі паралельної кінематики для підвищення точності позиціонування виконавчих механізмів, забезпечення їх динамічної настройки і оптимізації траєкторій переміщень робочих органів обладнання.

Список литературы:

1. Хубка. Теория технических систем. – Г.: Мир, 1987. – 208 с.
2. Кузнецов Ю. М., Луцев И. В., Дубняк С. А. Теория технических систем. Под общей ред. проф. Ю. М. Кузнецова. – К., – Тернополь, 1997. – С. 6–9.
3. Селиванов С.Г., Гузаиров М.Б. Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2012. – 568 с.
4. Ковалевский С. В. Диагностика технологических процессов и проблемы их упорядочения / С. В. Ковалевский, В. Б. Черненко // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем : тезисы докладов 6-й международной научно-технической конференции. – Краматорск: НКМЗ, 1995. – С. 29-30.
5. Ковалевский С. В. Диагностика остаточных напряжений в изделии / С. В. Ковалевский, А. В. Колот // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. – Краматорск, 1996. -№. 6. - С. 155-157.
6. Ковалевский С. В. Диагностика качества управления системами на основе анализа временных отклонений / С. В. Ковалевский, В. Б. Гитис // Придніпровський науковий вісник. Донбаський випуск. – Дніпропетровськ, 1998. - № 110 (177) грудень 1998. - С. 96-99.
7. Диагностика качества технологической системы с применением нейросетевых моделей / С. В. Ковалевский, И. Н. Стародубцев, К. В. Носков, А. С. Янушкин, Д. В. Лобанов // Нейросітові технології і їх застосування : збірник праць Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – С. 40–45.
8. Ковалевський С. В. Акустическая диагностика качества сборки и работоспособности изделий управляющей гидравлики / С. В. Ковалевский, Р. Ю. Кулик // Нейромережеві технології та їх застосування НМТІЗ-2016 : збірник наукових праць міжнародної наукової конференції / за заг. ред. С. В. Ковалевського. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – С. 73–78.
9. Kovalevskyy S. Neural network analysis of natural frequencies spectrum of products for the diagnosis of their parameters / S.

- Kovalevskyy, I. Starodubcev // 12th International conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2012, 13-17 September. – Vrnjčka Banja, Serbia, 2012. – Vol. 1. – P. 230–234.
10. Kovalevskyy S. V. Acoustic Monitoring with Neural Network Diagnostics / S. V. Kovalevskyy, O. S. Kovalevska // American Journal of Neural Networks and Applications. – 2015. – Vol. 1, No. 2. – P. 39–42. – doi: 10.11648/j.ajna.20150102.12
 11. Diagnostics of Technological Systems and Engineering Products (using neural network approach) : scientific monography / S. V. Kovalevskii, O. S. Kovalevska, P.V. Dašić. – Vrnjačka Banja : SaTCIP, 2016. – 169 p
 6. Kovalevskiy S. V., Gitis V. B. Diagnostika kachestva upravleniya sistemami na osnove analiza vremennykh otkloneniy [Diagnostics of quality management systems based on the analysis of temporal deviations] Pridniprovs'kiy naukoviy visnik. Donbas'kiy vipusk. Dnipropetrovs'k, 1998. № 110 (177) 12.1998. pp. 96–99.
 7. Kovalevskiy S. V., Starodubtsev I. N., Noskov K. V., Yanyushkin A. S., Lobanov D. V. Diagnostika kachestva tekhnologicheskoy sistemy s primeneniym neyrosetevykh modeley [Diagnostics of the quality of the technological system using neural network models]. Neyrosit'ovi tekhnologii i ih zastosuvannya zbirnik prats' Vseukraïns'koï naukovoï konferentsii z mizhnarodnoyu uchastyu. Kramatorsk. DDMA, 2013. pp. 40–45.
 8. Kovalevskiy S. V., Kulik R. YU Akusticheskaya diagnostika kachestva sborki i rabotosposobnosti izdeliy upravlyayushchey gidravliki [Acoustic diagnostics of assembly quality and working capacity of control hydraulics products] Neyromerezhevi tekhnologii ta ikh zastosuvannya NMTIz-2016 zbirnik naukovikh prats' mizhnarodnoï naukovoï konferentsii. Kramatorsk. DDMA, 2016. pp. 73–78.
 9. Kovalevskyy S., Starodubcev I. Neural network analysis of natural frequencies spectrum of products for the diagnosis of their parameters. 12th International conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2012, 13-17 September. – Vrnjčka Banja, Serbia, 2012. Vol. 1. pp. 230–234.
 10. Kovalevskyy S. V., Kovalevska O. S. Acoustic Monitoring with Neural Network Diagnostics. American Journal of Neural Networks and Applications. 2015. Vol. 1, No. 2. P. 39–42. doi: 10.11648/j.ajna.20150102.12
 11. Kovalevskii S. V., Kovalevska O. S., Dašić P.V. Diagnostics of Technological Systems and Engineering Products (using neural network approach) : scientific monography. Vrnjačka Banja. SaTCIP, 2016. – 169 p

Поступила (received) 01.07.17

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Концепція діагностики механізму мобільного верстата – робота для створення його еталонної моделі
/ С.В. Ковалевський, О.С. Ковалевська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 56–59. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

Концепция диагностики механизма мобильного станка – работа для создания его эталонной модели
/ С.В. Ковалевский, Е.С.Ковалевская // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 56–59. – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-004X.

The concept of diagnostics of the mechanism of a mobile machine-robot for creating its reference model
/ S. Kovalevskyy E. Kovalevska // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No. 26 (1248). – P.56–59. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-004X.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковалевський Сергій Вадимович – доктор технічних наук, професор, кафедра технології машинобудування ДДМА, Краматорськ, тел. (0626) 41-47-70, e-mail: kovalevskii@dgma.donetsk.ua;

Ковалевский Сергей Вадимович – доктор технических наук, профессор, кафедра технологии машиностроения ДГМА, Краматорск, тел. (0626) 41-47-70, e-mail: kovalevskii@dgma.donetsk.ua;

Kovalevskyy Serhiy Vadimovich – Dr. Sc., Professor, Department of Manufacturing Engineering DSEA, Kramatorsk, tel. (0626) 41-47-70, e-mail: kovalevskii@dgma.donetsk.ua;

Ковалевська Олена Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології машинобудування ДДМА, м. Краматорськ, тел. (0626) 41-47-70, e-mail: olenakovalevska@gmail.com;

Ковалевская Елена Сергеевна - кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии машиностроения ДГМА, г. Краматорск, тел. (0626) 41-47-70, e-mail: olenakovalevska@gmail.com;

Kovalevska Olena - Ph.D., Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering DSEA, Kramatorsk, tel. (0626) 41-47-70, e-mail: olenakovalevska@gmail.com.