



ЛУЦЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

VII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

З ПРОБЛЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ І НАУКИ

ТК-2022

«ПРОГРЕСИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ
АВТОМАТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ»

м. Луцьк, УКРАЇНА

28-30 травня 2022 року



LUTSK
NATIONAL
TECHNICAL
UNIVERSITY

**З ВІРОЮ У ПЕРЕМОГУ
ТА УКРАЇНУ!**

COLLECTION OF SCIENTIFIC REPORTS

of VII-th INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL
CONFERENCE DEVOTED TO PROBLEMS OF
HIGHER EDUCATION AND SCIENCE

TK-2022

«PROGRESSIVE DIRECTIONS OF TECHNOLOGICAL
COMPLEXES DEVELOPMENT»

Lutsk, UKRAINE

May 28-30, 2022

МИ РАДІ ВІТАТИ ВАС У ЛНТУ!

Починаючи з 2010 року, науковці з різних куточків України та світу збираються для обговорення прогресивних напрямків розвитку автоматичних технологічних комплексів та мехатронних роботизованих систем. Цьогоріч теж не стали відмовлятися від онлайн-зустрічі, адже в умовах війни спілкування є дуже важливими як і для науковців, так і для підтримки наших Збройних Сил України.

Особливості проведення наукових досліджень в Україні в умовах військового стану заслуговують на повагу та допомогу міжнародного товариства. Плідна, конструктивна робота, в ім'я здоров'я, збереження сили духу всіх нас і нашої патріотично налаштованої молоді тільки сприятиме розвитку України та науки зокрема.

Сьогодні наука, особливо технічна, виступає на своєму фронті, поруч з нашою армією, у війні з російськими окупантами.

Кращі доповіді будуть рекомендовані до публікації у науковому журналі «Перспективні технології та прилади» за 2022 рік.

Адміністрація Луцького національного технічного університету, науковці нашого ЗВО та команда VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 «Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів» щиро вітає учасників конференції та впевнена у цікавій, науковій, корисній роботі, впевненості миру нам у завтрашньому дні і перемозі України.

***Ми впевнені, що наступного разу всі зустрінемося
у мирному форматі!***

*Колектив VII Міжнародної науково-технічної конференції
з проблем вищої освіти і науки ТК-2022
«Прогресивні напрямки розвитку
автоматичних технологічних комплексів»*

ГОЛОВА ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ:

ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ Богдан Олексійович, *д.т.н., проф.*,
Луцький національний технічний університет



ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ:

ПОВСТЯНОЙ Олександр Юрійович, *д.т.н., проф.*,
Луцький національний технічний університет

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ:

prof. **Luis RIBEIRO** (PORTUGAL);
prof. dr hab. inż. **Antoni ŚWIĆ** (POLAND);
prof. dr hab. inż. **J. Lipski**, (POLAND);
prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. **Uwe Heisel** (GERMANY);
prof. Dr. **Mehmed Emin Yüksel** (TURKEY);
prof., Dr. Ing. **Angel Vachev**, (BULGARIE);
prof. Dr. **Emil Manoach**, (BULGARIE);



НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ:

д.т.н., проф. **СТРУТИНСЬКИЙ В.Б.** (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»)
д.т.н., проф. **КУЗНЕЦОВ Ю.М.**, (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»)
д.т.н., проф. **ЛАРШИН В.П.** (Одеський національний політехнічний університет);
д.т.н., проф. **ЛУЦІВ І.В.** (Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя);
д.т.н., проф. **КИРИЛОВИЧ В.А.** (Державний університет «Житомирська політехніка»);
д.т.н., проф. **РЕГЕЙ І.І.** (Українська академія друкарства, м. Львів);
д.т.н., проф. **СЕНЬКІВСЬКИЙ В.М.** (Українська академія друкарства, м. Львів);
д.т.н., проф. **СТОЦЬКО З.А.** (Національний університет «Львівська політехніка»);
д.т.н., проф. **ПІСТУН Е.П.** (Національний університет «Львівська політехніка»);
д.т.н., проф. **ФЕДОРИШИН Р.М.** (Національний університет «Львівська політехніка»);
д.т.н., проф. **МАРЧУК В.І.** (Луцький національний технічний університет);
д.т.н., проф. **ПОЛІЩУК Л.К.** (Вінницький національний технічний університет);
д.т.н., проф. **РУДЬ В. Д.** (Луцький національний технічний університет);
д.т.н., член-кор. НАН України, **БАГЛЮК Г.А.** (ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України)
к.т.н., доц. **ЗАБОЛОТНИЙ О.В.** (Луцький національний технічний університет).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:

к.т.н., доц. **РЕДЬКО Р. Г.** (кафедра прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ)
к.т.н., доц. **ЛАПЧЕНКО Ю. С.** (кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ)
к.т.н., доц. **ВАЛЕЦЬКИЙ Б. П.** (кафедра прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ)
к.т.н., доц. **ДЕНИСЮК В. Ю.** (кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ)
к.т.н., доц. **ПОЛІНКЕВИЧ Р. М.** (кафедра прикладної механіки та мехатроніки ЛНТУ)
к.т.н., доц. **МАРЧУК І. В.** (кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ)

PROGRAM COMMITTEE CHAIRMAN:

Bogdan PALCHEVSKIY, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Lutsk National Technical University.



PROGRAM COMMITTEE DEPUTY CHAIRMAN:

Oleksandr POVSTIANOI, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Lutsk National Technical University.

INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE:

prof. **Luis RIBEIRO** (PORTUGAL);
prof. dr hab. inż. **Antoni ŚWIĆ** (POLAND);
prof. dr hab. inż. **J. Lipski**, (POLAND);
prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. **Uwe Heisel** (GERMANY);
prof. Dr. **Mehmed Emin Yüksel** (TURKEY);
prof., Dr. Ing. **Angel Vachev**, (BULGARIE);
prof. Dr. **Emil Manoach**, (BULGARIE);



NATIONAL PROGRAM COMMITTEE:

Prof. **V. STRUTYNSKYI** (National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”);
Prof. **Y. KUZNIETSOV** (National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”);
Prof. **V. LARSHYN** (Odessa National Polytechnic University);
Prof. **I. LUTSIV** (Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University);
Prof. **V. KYRYLOVYCH** (Zhytomyr Polytechnic State University);
Prof. **I. REHEI** (Ukrainian Academy of Printing, Lviv);
Prof. **V. SENKIVSKYI** (Ukrainian Academy of Printing, Lviv);
Prof. **Z. STOTSKO** (Lviv Polytechnic National University);
Prof. **R. FEDORYSHYN** (Lviv Polytechnic National University);
Prof. **V. MARCHUK** (Lutsk National Technical University);
Prof. **Leonid POLISHCHUK** (Vinnitsa National Technical University);
Prof. **Viktor RUD** (Lutsk National Technical University);
Prof. **G. BAHLIUK** (IPMS of the National Academy of Sciences of Ukraine)
Assoc. prof., Ph.D. **O. ZABOLOTNYI** (Lutsk National Technical University).

ORGANIZATIONAL COMMITTEE:

Assoc. prof., Ph.D. **R. REDKO** (Department of Applied Mechanics and
Mechatronics LNTU)
Assoc. prof., Ph.D. **Y. LAPCHENKO** (Department of Automation and Computer
Integration technologies of LNTU)
Assoc. prof., Ph.D. **B. VALETSKYI** (Department of Applied Mechanics and
Mechatronics LNTU)
Assoc. prof., Ph.D. **V. DENYSIUK** (Department of Automation and Computer
Integration technologies of LNTU)
Assoc. prof., Ph.D. **R. POLINKEVYCH** (Department of Applied Mechanics and
Mechatronics LNTU)
Assoc. prof., Ph.D. **I. MARCHUK** (Department of Automation and Computer
Integration technologies of LNTU)

ЗМІСТ

CONTENTS

Секція 1. Інтелектуальні виробничі системи та застосування інформаційних технологій для їх проектування**Section 1. Intelligent production systems and the use of information technology for their design**

<i>V. Andrusyshyn, V. Ivanov, I. Pavlenko, S. Lusinski, M. Malaga</i> Using machine vision systems to increase the flexibility of smart factories	13
<i>Гуменюк П. О., Гуменюк Л. О., Лотиш В. В.</i> Аналіз зв'язку між рівнями та концепціями автоматизації	15
<i>Гуменюк Л. О., Лотиш В. В., Гуменюк П. О.</i> До застосування методів інженерії знань при розробці САПР	17
<i>Іванишин Т. В., Озимок Ю. І., Капраль Ю. Р.</i> Формалізація показників ефективності функціонування автоматизованої двоверстатної системи машин з жорстким агрегуванням обладнання	19
<i>Лещенко О. І.</i> Способи діагностики проблемних місць у програмних засобах	21
<i>Лучко Ю. А., Белей О. І.</i> Теоретичні передумови створення системи пастеризації молока MilkSystem	23
<i>Сапон С. П.</i> Модель цифрового двійника шпindelного вузла з гiдростатичними опорами	25
<i>Сацук В. О., Решетило О. М., Смолянкін О. О., Маркіна Л. М.</i> Технології та протоколи передачі даних на короткі відстані в IoT мережах	28
<i>Федік Л. Ю., Смолянкін О. О., Грудецький Р. Я.</i> Аналіз технологічного процесу отримання карбаміду як об'єкта керування з використанням промислових контролерів	30

Секція 2. Механотронні та роботизовані виробничі системи в машинобудуванні**Section 2. Mechanotronic and robotic production systems in mechanical engineering**

<i>N. Hulieva, Z. Hulieva</i> Regulatory and legal basis of robotic systems in the mechanical engineering industry	34
---	----

УДК 621.9.02

С. П. Сапон, канд. техн. наук., доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка»

МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА З ГІДРОСТАТИЧНИМИ ОПОРАМИ

Сучасний рівень розвитку машинобудівних та цифрових технологій, сприяє формуванню нових потенційних можливостей у галузі обміну інформацією та управління технологічними системами і процесами. Сучасне технологічне обладнання оснащується різними чутливими елементами (датчиками, сенсорами) та засобами ідентифікації стану виконавчих елементів. Це дозволяє отримувати оперативну інформацію про властивості та стан елементів технологічної оброблюючої системи, а також здійснювати адаптивне управління. Однією з найбільш перспективних цифрових технологій є розробка моделей цифрових двійників (digital twin) систем, процесів, обладнання тощо. Цифровий двійник (ЦД) являє собою ансамбль математичних моделей, що достовірно описують робочі процеси, властивості, стан елементів технологічної системи та обмінюються даними між собою та з фізичним об'єктом-прототипом у режимі реального часу [1].

В роботі проаналізовано вимоги до ШВ, як функціональних елементів сучасної технологічної оброблюючої системи в умовах Industry 4.0.

Аналіз робочих процесів у ШВ на гідравлічних опорах засвідчив доцільність застосування системного підходу до управління керованими та реакції на некеровані і важкокеровані процеси. Для подальшого розвитку і удосконалення розрахункових методів визначення оптимальних конструктивних та експлуатаційних параметрів ШВ потрібно одночасно враховувати анізотропію властивостей, похибки форми, пружні, температурні деформації опорних поверхонь, стохастичність технологічних навантажень та експлуатаційних параметрів шпindelних гідравлічних опор.

Такий підхід вимагає розглядати ШВ виключно як взаємопов'язану систему компонентів, процесів і явищ, що впливають на критерії ефективності ШВ. Застосування моделі цифрового двійника ШВ дає змогу найбільш адекватно описати і

прогнозувати робочі процеси, що відбуваються у конкретному ШВ з врахуванням його технологічних особливостей, показників точності та експлуатаційних параметрів.

Відмічено, що існуючі на сьогодні роботи з розробки, дослідження та практичного впровадження моделей ЦД металорізальних верстатів, їх вузлів та систем мають переважно концептуальний і фрагментарний характер. Тому наразі існує потреба в розробці систематизованої методології розробки ЦД елементів технологічних оброблюючих систем. Модульне компонування сучасних верстатів обумовлює актуальність наукової проблеми створення методології розробки цифрових двійників окремих вузлів верстатів.

Розробка моделі цифрового двійника шпindelного вузла дозволить отримувати оперативну інформацію про робочі процеси, властивості, стан його компонентів, а також здійснювати адаптивне управління з метою підвищення ефективності процесу обробки різанням.

Для побудови моделі цифрового двійника ШВ запропоновано застосувати шпindelний вузол прецизійного токарного верстата з гідростатичними опорами шпинделя.

Показано, що найбільш адекватна модель цифрового двійника шпindelного вузла з гідростатичними опорами шпинделя являє собою ансамбль взаємопов'язаних цифрових моделей шпинделя, приводу, шпindelних опор та їх системи живлення побудованих із застосуванням апарату штучних нейронних мереж. Перспективність і доцільність застосування штучних нейронних мереж зумовлена тим, що математичні моделі, які описують робочі процеси та компоненти шпindelного вузла з гідростатичними опорами переважно є достатньо громіздкими, багатофакторними і нелінійними. Частина складових, що входять до цих математичних моделей є нелінійними із суттєво стохастичним характером. Це потребує чисельних методів розв'язку нелінійних диференціальних рівнянь, що значно ускладнює їх практичне застосування.

Для вибору оптимальної структури штучних нейронних мереж здійснювали імітаційне моделювання, порівнюючи результати з існуючими даними експериментальних досліджень. Вибрано оптимальні структури штучних нейронних мереж для цифрових двійників компонентів шпindelного вузла. Зокрема в якості оптимальної приймалася структура нейронної мережі, що

забезпечувала найменшу максимальну похибку за певний час навчання.

Здійснено моделювання показників точності шпindelного вузла. Порівняння статистичних характеристик траєкторій шпindelа, отриманих за допомогою моделі цифрового двійника з експериментальними результатами показало достатньо високу їх подібність.

Розроблена модель цифрового двійника шпindelного вузла дозволяє з достатнім рівнем достовірності прогнозувати і управляти траєкторіями просторового руху шпindelа залежно від характеру технологічного навантаження, експлуатаційних параметрів, випадкових зовнішніх збурень та стану складових компонентів і систем шпindelного вузла. Метою подальших досліджень є доопрацювання і адаптація цифрового двійника для прогнозування та визначення інших показників ефективності ШВ.

Список використаних джерел:

1. Кабалдин Ю.Г. Интеллектуальное управление технологическими системами в условиях цифрового производства. / Ю.Г. Кабалдин, Д.А. Шатагин, М.С. Аносов, А.М. Кузьмишина // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2020. – № 1. – с. 3–12.