

Міністерство освіти і науки України  
Національна Академія Наук Вищої Освіти України  
Донбаська державна машинобудівна академія,  
J.J.Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty (Хорватія)  
University of Zielona Góra (Польща)  
Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Сербія)  
DAAAM International Vienna  
Belgrade University Faculty of Mechanical Engineering in Podgorica (Montenegro),  
Міжнародний університет безперервної освіти  
ГО «Юнацький технопарк»  
ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»  
ТОВ Corum Group  
Кафедра «Інноваційних технологій і управління»  
Студентське наукове товариство з технологій машинобудування  
Мала академія наук з науково-промислового профілю



# **МОЛОДА НАУКА - РОБОТИЗАЦІЯ І НАНО-ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

міжнародної молодіжної науково-технічної конференції  
14-15 квітня 2021 р.

За загальною редакцією  
д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського and  
Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Краматорськ  
ДДМА  
2021

Ministry of Education and Science of Ukraine  
National Academy of Higher Education of Ukraine  
Donbass State Engineering Academy (DSEA)  
J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty (Croatia)  
University of Zielona Góra (Poland)  
Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia)  
DAAAM International, Vienna (Austria)  
University of Montenegro, Faculty of Mechanical Engineering in Podgorica (Montenegro)  
International University Continuing Education  
Public Organization "Junior Industrial Park"  
JSC "Machine Building Plant Novokramatorsky"  
Corum Group Ltd.  
Department of Innovative Technologies and Management  
Student Society Technology Engineering  
Small Academy of Sciences for Scientific and Industrial Profile



## **YOUNG SCIENCE - ROBOTICS AND NANO- TECHNOLOGY OF MODERN MECHANICAL ENGINEERING**

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS  
International Youth Scientific and Technical Conference  
April 14-15, 2021

According to the general edition  
Doctor of Technical Sciences, Prof. SV Kovalevsky and  
Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Kramatprsk  
DSEA  
2021

УДК 621  
М 75

### Рецензенти - Reviewers :

*Соколов В.І.*, д-р техн. наук, проф., Head of the Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University;

*Sokolov V.I.*, Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics of the Ukrainian National University of Volodymyr Dal;

*Самотугін С.С.*, д-р техн. наук, проф., зав. каф. металорізальних верстатів ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».

*Samotugin S.S.*, Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Department of Metal-Cutting Machines, Azov State Technical University.

Затверджено на засіданні вченої ради ДДМА (протокол № 9 від 25.03.2021 р.)

Approved at the meeting of the Academic Council of the DSEA (protocol № 9 from 25.03.2021)

М 75 Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 14-15 квітня 2021 р. / за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 291 с.

Young science - robotics and nano-technologies of modern mechanical engineering: a collection of scientific papers of the International Youth Scientific and Technical Conference, April 14-15, 2021 / for general. ed. S.V. Kovalevsky, Dr. Tech. Science, Prof., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić - Kramatorsk: DSEA, 2021. - 291 p.

ISBN 978-966-379-982-7

У збірнику опубліковано матеріали праць аспірантів, магістрантів, студентів і учнів – членів Малої академії наук з науково-промислового профілю. Пропонуються перспективні ідеї, аналіз конкретних проблемних питань автоматизації машинобудування, створення робочих функціональних поверхонь деталей машин; подано розробки, готові до впровадження. Призначений для використання в практичній діяльності студентів, магістрів ВНЗ і фахівців машинобудівних підприємств.

The collection contains materials of works of graduate students, undergraduates, students and pupils - members of the Small Academy of Sciences in science and industry. Perspective ideas, the analysis of concrete problematic questions of automation of mechanical engineering, creation of working functional surfaces of details of cars are offered; ready-to-implement developments are submitted. It is intended for use in practical activity of students, masters of high school and experts of the machine-building enterprises..

ISBN 978-966-379-982-7

УДК 621  
© ДДМА, 2021

## Програмний комітет конференції:

**Dašić Predrag** - Hon.D.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - Department in Trstenik (Serbia);

**Jenek Mariusz** - Dr. inż (Polska, Uniwersitet Zielonogorski);

**Marušić Vlatko** - Dr.Sc., Prof., J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (Croatia);

**Sandra Poirier** - Doctor of Education, CFCS, LD/N Professor (Middle Tennessee State University, USA);

**Đorđević Milan, president** - Dr.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia)

**Guida Domenico** - Dr.Sc., Prof., University of Salerno, Department of Industrial Engineering (DIIn), Fisciano (Italy);

**Zdravko Krivokapić** - Dr.Sc., Prof., Faculty of Mechanical Engineering, Podgorica, Montenegro;

**Karabegović Isak** - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo (Bosnia and Herzegovina)

**Mirjanić Dragoljub** - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ANURS), Banja Luka (Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina)

**Nedeff Valentin** - Dr.Sc., Prof., University of Bacău, Faculty of Engineering, Bacău (Romania)

**Pele Alexandru-Viorel, dean** - Dr.Sc., Prof., University of Oradea, Faculty of Management and Technological Engineering, Oradea (Romania)

**Zhelezarov S. Piya, rector** - Dr.Sc., Prof., Technical University of Gabrovo, Gabrovo (Bulgaria)

**Анділахай О.О.** - д.т.н., проф. (ПДТУ, м.Маріуполь, Україна);

**Волошин О.І.** - головний інженер ПрАТ НКМЗ (м.Краматорськ, Україна);

**Залюга В.О.** - д.т.н., проф. (СумДУ, м.Суми, Україна);

**Кіяновський М.В.** - д.т.н., проф. (КНТУ, Кривий Ріг, Україна);

**Ковалевська О.С.** - к.т.н., доц., (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

**Ковалевський С.В.** - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

**Ковальов В.Д.** - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

**Коржов Є.О.** – к.є.н., начальник бюро перспективного розвитку ПрАТ «НКМЗ» (м.Краматорськ, Україна);

**Мазур М.П.** - д.т.н., проф.(ХНУ, м.Хмельницький, Україна);

**Макаренко Н.О.** - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

**Марков О.Є.** - д.т.н., проф. (ДДМА, м.Краматорськ, Україна);

**Марчук В.І.** - д.т.н., проф. (ЛНТУ, м.Луцьк, Україна);

**Новіков Ф.В.** - д.т.н., проф., (ХНЕУ, м.Харків, Україна);

**Оргіян О.А.** – д.т.н., проф. (ОНПУ, м.Одеса, Україна)

**Петраков Ю.В.** - д.т.н., проф. (НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського, м.Київ, Україна);

**Самотугін С.С.** - д.т.н., проф. (ПДТУ, м.Маріуполь, Україна);

**Сапон С.П.,** - к.т.н., доц. (ЧНТУ, м. Чернігів) Україна).



## Program Committee:

**Dašić Predrag** - Hon.D.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - – Department in Trstenik (Serbia);

**Jenek Mariusz** - Dr. inz (Polska, Uniwersitet Zielonogorski);

**Marušić Vlatko** - Dr.Sc., Prof., J.J. Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (Croatia);

**Sandra Poirier** - Doctor of Education, CFCS, LD/N Professor (Middle Tennessee State University, USA);

**Đorđević Milan**, president - Dr.Sc., Prof., Academy of Professional Studies Šumadija - Kragujevac (Serbia)

**Guida Domenico** - Dr.Sc., Prof., University of Salerno, Department of Industrial Engineering (DIIn), Fisciano (Italy);

**Zdravko Krivokapić- Dr.Sc., Prof., Faculty of. Mechanical Engineering. Podgorica, Montenegro;**

**Karabegović Isak** - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo (Bosnia and Herzegovina)

**Mirjanić Dragoljub** - Dr.Sc., Prof., Academy of Sciences and Arts of the Republika Srpska (ANURS), Banja Luka (Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina)

**Nedeff Valentin** - Dr.Sc., Prof., University of Bacău, Faculty of Engineering, Bacău (Romania)

**Pele Alexandru-Viorel**, dean - Dr.Sc., Prof., University of Oradea, Faculty of Management and Technological Engineering, Oradea (Romania)

**Zhelezarov S. Iliya**, rector - Dr.Sc., Prof., Technical University of Gabrovo, Gabrovo (Bulgaria)

**Andilahi O.O.**- Dr.Sc., prof. (PDTU, Mariupol, Ukraine);

**Voloshin O.I.** - Chief Engineer of NKMZ (Kramatorsk, Ukraine);

**Zaloga V.O.** - Dr.Sc., prof. (Sumy State University, Sumy, Ukraine);

**Kyanovsky M.V.** - Dr.Sc., prof. (KNTU, Kryvy Rih, Ukraine);

**Kovalevska O.S.** - Ph.D., ass.prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine)

**Kovalevskyy S.V.** Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

**Kovalev V.D.** - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

**Korzhov Ye.O.** – Ph.D., NKMZ (Kramatorsk, Ukraine);

**Mazur M.P.** - Dr.Sc., prof. (ХНУ, м.Хмельницький, Україна);

**Makarenko N.O.** - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

**Markov O.E.** - Dr.Sc., prof. (DSEA, Kramatorsk, Ukraine);

**Novikov F.V.** - Dr.Sc., prof. (KhNEU, Kharkiv, Ukraine);

**Orgiyan O.A.** - Dr.Sc., prof. (ONPU, Odessa, Ukraine);

**Petrakov U.V.** - Dr.Sc., prof. (NTUU "KPI" them. I. Sikorsky, Kiev, Ukraine);

**Samotugin S.S.** - Dr.Sc., prof. (PDTU, Mariupol, Ukraine);

**Sapon S.P.**, - Ph.D., ass.prof. (ChNTU, Chernigov, Ukraine).

## ЗМІСТ - CONTENT

	Стр.
1. <b>Haitof Anas, Yuan Fang, Wang Yaoyao, Shkvar Ye.O.</b> ( <i>P.R.China, Jinhua, College of Engineering, ZJNU</i> ). <b>IMPROVEMENT OF AERODYNAMICS AND DYNAMICS OF HIGH-SPEED VEHICLES WITH THE USE OF MICROBLOWING AND CLUSTERED NVIDIA GPU-ACCELERATED EMBEDDED PLATFORM</b>	<b>128</b>
2. <b>Gordana V.Jelić<sup>1</sup>, Vladica Stojanović<sup>2</sup>, Dejan Stošović<sup>1</sup></b> ( <i>Serbia, University of Kosovska Mitrovica, <sup>1</sup>Faculty of Technical Sciences, <sup>2</sup>Faculty of Sciences and Mathematics</i> ) <b>КРИВИЕ В МЕХАНИКЕ</b>	<b>18</b>
3. <b>Slobodan Adžić<sup>1</sup>, Marijana Milunović<sup>1</sup>, Bojan Branković<sup>2</sup></b> ( <i><sup>1</sup>Faculty of Management FAM, University Union-Nikola Tesla, Belgrade, Serbia; <sup>2</sup>University in Belgrade, Faculty of Political Sciences, Belgrade, Serbia</i> ). <b>TOWARD AN ECOLOGICAL LEADERSHIP</b>	<b>24</b>
4. <b>Xianning SHE, Stupnytskyy V.</b> ( <i>Ukraine, Lviv, Lviv Polytechnic National University</i> ) <b>ANALYSIS OF CUTTING FORCE AND FRICTION COEFFICIENT INFLUENCE ON TITANIUM</b>	<b>30</b>
5. <b>Xuhong Wei, Vorontsov B.S.</b> ( <i>Ukraine, Kyiv, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"</i> ). <b>PROCESS SIMULATION OF AUTOMATIC PRODUCTION LINE BASED ON TECNOMATIX</b>	<b>36</b>
6. <b>Slobodan Adžić<sup>1</sup>, Marijana Milunović<sup>2</sup>, Goran Đoković<sup>3</sup></b> ( <i><sup>1,2</sup>University Union-Nikola Tesla in Belgrade, Faculty of Management, Sremski Karlovci; <sup>3</sup>Modern Business School, Belgrade, Serbia</i> ) <b>MOTIVATION AND CULTURE AS FACTORS OF DEVELOPMENT OF MULTINATIONAL COMPANIES</b>	<b>40</b>
7. <b>Gordana V. Jelić, Vladica Stojanović, Dejan Stošović, Ivan Božović</b> ( <i>Faculty of Technical Sciences, University of Kosovska Mitrovica, Serbia</i> ) <b>SUSTAINABLE DEVELOPMENT: DEVELOPMENT PERSPECTIVE OF SERBIA</b>	<b>47</b>
8. <b>Duško Laković<sup>1</sup>, Ognjen Bakmaz<sup>2</sup>, Biljana Bjelica<sup>2</sup></b> ( <i>Independent University of Banja Luka (NUBL), Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, <sup>2</sup>High School for Service Business, Sokolac-Istočno Sarajevo, Bosnia and Herzegovina</i> ) <b>THE ROLE OF HUMAN RESOURCES MANAGEMENT IN THE PROCESS OF IMPLEMENTATION OF TRAINING AND EDUCATION OF EMPLOYEES</b>	<b>54</b>
9. <b>Snežana Topalović<sup>1</sup>, Olivera Živković<sup>1</sup>, Jelena Čeperković<sup>2</sup></b> ( <i><sup>1</sup>University of Kragujevac, Faculty of Economics, Kragujevac; <sup>2</sup>Singidunum University, Faculty of Tourism and Hospitality Management, Belgrade, Serbia</i> ) <b>CUSTOMER RELATIONSHIP MARKETING (CRM) AS A BASIS FOR ACHIEVING SUSTAINABLE COMPETITIVE ADVANTAGE</b>	<b>61</b>

10. **Milica Tufegdžić<sup>1</sup>, Goran Miodragović<sup>2</sup>, Slobodan Aleksandrov<sup>3</sup>, Dragan Mijatović<sup>4</sup>** (*Academy of Professional Studies Šumadija - Department of Trstenik, Serbia*) **HYBRID FRAMEWORK FOR AUTOMATED TESTING OF WEB APPLICATION FOR ADVERTISEMENT** 68
11. **Husein Mehmedović<sup>1</sup>, Narajan Mehmedović<sup>2</sup>** (*<sup>1</sup>International University of Travnik (IUT), Travnik, <sup>2</sup>Public Institution Mixed Secondary School "Gračanica", Gračanica, Bosnia and Herzegovina*) **FINANCING OF TRANSITION COUNTRIES WITH THE HELP OF FOREIGN DIRECT INVESTMENTS WITH SPECIAL REFERENCE TO BOSNIA AND HERZEGOVINA** 75
12. **Антіюшко Д.П.** (*Україна, Київ, КНТЕУ*). **СУТНІСТЬ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ОСВІТИ УПРОДОВЖ ЖИТТЯ** 86
13. **Васильєв Б.В., Назарова О.С.** (*Україна, Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка»*). **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС БАГАТОПАРАМЕТРИЧ-НОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА** 90
14. **Величко М.В., Єфименко О.В., Пługіна Т.В.** (*Україна, м. Харків, ХНАДУ*). **АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ БДМ НА ДІЛЯНЦІ БУДІВНИЦТВА** 95
15. **Вовненко В. В., Руденко В. М.** (*Україна, м. Краматорськ, ДДМА*). **СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ РОСЛИН НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ З ВИЗНАЧЕННЯМ ЇХ ЛІКАРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КОРИСНОСТІ** 102
16. **Гонтар В.Г.** наук.кер. к.т.н., ст.викл. **Купчук І. М.** (*Україна, Вінницький національний аграрний університет*). **АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ** 108
17. **Городчук Т.В.** наук. кер. к.т.н., доц. **Гонсьор О.Й.** (*Україна, м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»*). **ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ НАНОСЕНСОРІВ ОКСИДУ ОЛОВА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВИСОКОЧУТЛИВИХ ТОКСИЧНИХ ГАЗІВ ТА ЇХ 3D СИСТЕМНА ІНТЕГРАЦІЯ** 114
18. **Грищенко Д.І., Бейгул О.О., Бейгул В.О.** (*Україна, м. Кам'янське, ДДТУ*). **СТІЙКІСТЬ ЗБУРЕНОГО РУХУ ЗЧЛЕНОВАНОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА З БУГЕЛЬНОЮ РАМОЮ У ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩИНІ** 119
19. **Гутник А.З., Сомов Д.О., Гао Сін'мін** (*Україна, м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського*). **МОРФОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ ШИРОКОДІАПАЗОННИХ І ШВИДКОПЕРЕНАЛАГОДЖУВАЛЬНИХ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК** 124
20. **Дук В.Г.**, наук. кер.: к.т.н. **Гущин О.В.** (*ДДМА, м. Краматорськ, Україна*) 129

**СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ РОЛИКОМ З КЛИНОВИМ ПРОФІЛЕМ ПРИ ПОВЕРХНЕВОМУ ЗМІЦНЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

21. Ємець В.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА) **СТРУКТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЗІ СТРУКТУРОЮ ПАРАЛЕЛЬНОЇ КІНЕМАТИКИ** 135
22. Зуєв І.О., наук.кер. д.т.н., проф.Кіяновський М.В., к.т.н., доц. Цивінда Н.І. (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна) **ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ВУЗЛІВ МАШИН ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ** 141
23. Іванова Ю. О., Приходченко А.С. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА). **ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОКОВОК ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ ВРАХУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВКИ** 145
24. Карпенко Б. О., наук. кер. д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (Україна, м. Київ, НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського") **АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ ДЕФОРМАЦІЙ** 146
25. Квашнін В. О., Бабаш А. В., Квашнін В. В., Маслаков М. В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА) **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СУЧАСНИХ СИСТЕМ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОТОР-ШПІНДЕЛЯ З МЕТОЮ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА** 148
26. Кобилянська І.В., Красій Р.М., Панчук В.Г. (Україна, Івано-Франківськ, ІФНТУНГ). **ЗВОРОТНА ЗАДАЧА КІНЕМАТИКИ НАВЧАЛЬНОГО РОБОТА** 154
27. Колєсник Я.П., Славик А.О. (Україна, м. Харків, ХНАДУ). **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СОРТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА СКЛАДІ** 158
28. Коренєв І.В., наук.кер. Бондаренко О.В. (Україна, м.Краматорськ, КФКПІТБ, ДДМА). **ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАЙКИ ХВИЛЕПРОВІДНИХ ТРАКТІВ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ** 160
29. Крейда Р.М.<sup>1</sup>, Сапон С.П.<sup>2</sup>, Крейда А.М.<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Україна, м. Черкаси, ДП НВК «Фотоприлад»; <sup>2</sup>Україна, м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»; <sup>3</sup>Україна, м. Черкаси, Черкаський державний технологічний університет). **ВПЛИВ ПОХИБКИ РОЗМІРНОГО НАЛАГОДЖЕННЯ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ НА ТОЧНІСТЬ ФОРМИ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ** 165
30. Кузенко О.А., Стратєєв Д.О. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА). **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУМІЩЕНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З** 169

## ДВОСТОРОННЬОЮ ПОДАЧЕЮ

31. **Купченко О.С., Осадчий В.В., Назарова О.С.** (Україна, Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка»). **ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ РІДИНИ** 171
32. **Куратнік Т.В.** (Україна, м. Полтава, Комунальний заклад Полтавська гімназії «Здоров'я» №14 Полтавської міської ради Полтавської області). **РЕАЛІЗАЦІЯ STEAM- ПРОЕКТІВ ЗАДЛЯ РОЗВИТКУ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВСЬКОЇ МОЛОДІ В ОСЕРЕДКУ МАН** 177
33. **Луца Ю.В., Чернокол А.В.** наук.кер. д.т.н., проф.Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА) **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ МАШИН** 182
34. **Луца Ю.В.,** наук.кер. д.т.н., проф.Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА). **ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ З НАКЛАДАННЯМ ПОСТІЙНОГО ТА ЗМІННОГО МАГНІТНИХ ПОЛІВ** 187
35. **Мосорко В. С., Копей В. Б.** (Україна, м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ). **MODELICA- МОДЕЛІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ТОЧІННЯ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ** 190
36. **Найчук Р.Ю.** наук. кер. д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»). **ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО УЧАСТКУ** 196
37. **Панібратченко Ю.А., Козоріз В.А.** (Україна, м. Краматорськ, ДДМА).. **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ** 202
38. **Пірогов Д.О.,** наук. кер. д.т.н. проф Воронцов Б.С. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»), д.т.н. проф. Іванов В.О. (Україна, м. Суми, СумДУ). **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВЕРСТАТ – ПРИСТРІЙ – ІНСТРУМЕНТ – ДЕТАЛЬ ПРИ ОБРОБЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРСТАТІ** 203
39. **Пунда М.С., Горецька А.Є., Назарова О.С.** (Україна, Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка») **ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОЛОВНОГО РУХУ ПОЗДОВЖНЬО-СТРУГАЛЬНОГО ВЕРСТАТА** 208
40. **Сеник Н.Ю.** наук. кер. к.т.н., доц. Стецько А.Є. (Україна, м. Львів, Українська академія друкарства). **ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН КОМПЛЕКСНИМ** 213

## МЕТОДОМ ДИФУЗІЙНОГО НАСИЧЕННЯ

41. Сидюк Д.М., наук.кер. д.т.н., проф.Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА) СИГНАТУРНИЙ ПІДХІД У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ. 219
42. Сидюк Д.М.,Ємець В.В., Пилипенко Д.О. наук.кер. д.т.н., проф.Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА) ПРОЕКТ ХАБ-ЦЕНТРУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 224
43. Скірпічнікова А., наук. кер. к.п.н., доц. Кошева Л.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА) РОБОТИЗАЦІЯ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЯ – ВПЛИВ НА ФІЗИЧНУ КУЛЬТУРА ТА ФОРМУВАННЯ КОМПЕТЕНЦІЙ МОЛОДІ 229
44. Токарь Д.В., Єфименко О.В., Плугіна Т.В. (Україна, м. Харків, ХНАДУ) РЕСУРСНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ СУПУТНИКОВИХ НАВІГА-ЦІЙНИХ СИСТЕМ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ 232
45. Цибуленко В.О., Воронцов Б.С., (Україна, м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського) ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ SELECTIVE LASER MELTING. 239
46. Шишмило А.Д. наук.кер. к.т.н. Тулупов В.І. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА). АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ЗУБЧАТИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН. 244
47. Шматко В.А. наук. кер.: к.т.н. Олійник С.Ю. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА). АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДРІБНИХ ВАЛІВ 246

## СЕКЦІЯ 2 - SECTION 2

(МАН з науково-промислового профілю)

1. Гай Б. Т., Кульбачко О.М. учні 10 класу (Україна, Маріуполь. Комунальний заклад «Маріупольський технічний ліцей» Маріупольської міської ради Донецької області) МАГІЧНИЙ КВАДРАТ І МЕТОДИ ЙОГО ПОБУДОВИ 254
2. Діхтенко І.Р., учениця 11кл., наук.кер. учитель фізики та математики Колесников С.О. (Україна, С. Андріївка, Андріївський ЗЗСО) I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.) ІСТОРИЧНІ НОТАТКИ ВІДКРИТТЯ ЕФЕКТУ ДОПЛЕРА ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ 255
3. Казакевич У. З., учениця 10 класу, наук.кер. к.т.н., доц. Карнаух С.Г. (Україна, м. Словянськ, ЗОШ № 6, м.Краматорськ, ДДМА) РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЩОДО ВИБОРУ СПОСОБУ РОЗДІЛЕННЯ ПРОКАТУ НА МІРНІ ЗАГОТОВКИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ І СИНЕРГЕТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ 257

4. **Марченко А.М., учениця 11кл., наук.кер. учитель історії Шевченко О.М. 260**  
(Україна, с. Андріївка, Андріївський ЗЗСО) I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.) **ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНОЇ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В 20-ті рр. ХХІ ст. В КОНТЕКСТІ ІСТОРІЇ ЇЇ ФОРМУВАННЯ**
5. **Мешков А.І. наук.кер. к.т.н., доц Суботін О.В., учитель хімії Аксенкова Е.В. 264**  
(Україна, м. Краматорськ, ЗОШ № 16, ДДМА) **ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ ЯК ДЖЕРЕЛО ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА**
6. **Номер Л.О., учениця 11кл., наук.кер. учитель математики Діхтенко С.І. 268**  
(Україна, с. Андріївка, Андріївський ЗЗСО I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.) **ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ КОМБІНАТОРИКИ ТА ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ**
7. **Олійник Д. Я. , Кульбачко О.М. учні 10 класу (Україна, Маріуполь. 271**  
Комунальний заклад «Маріупольський технічний ліцей» Маріупольської міської ради Донецької області) **ПОБУДОВА ЕКОНОМІЧНОЇ МОДЕЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ ІГОР**
8. **Перепелиця Г., учень 11 кл., наук.кер. учитель інформатики Беш А.М. 273**  
(Україна, м. Краматорськ ЗЗСО №22) **RFID ТА ЗАМОК НА ARDUINO**
9. **Подколзина А., учениця 10 кл., наук.кер., к.т.н. Кулік Т. О. (Україна, 275**  
м. Слов'янськ, ЗОШ№6, м. Краматорськ, ДДМА) **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПРОКАТУ**
10. **Прокидянич Д.Д., наук.кер. учитель математики Білявська В.В. 279**  
(Україна, м. Краматорськ, ЗОШ №26) **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ КОМПЛЕКСНИХ ЧИСЕЛ У ФІЗИЦІ ТА ТЕХНІЦІ**
11. **Сорокіна К.Ф., учениця 9 кл., наук.кер. учитель математики Калініна О.М. 284**  
(Україна, Вугледарський навчально-виховний комплекс «Політехнічний ліцей-загальноосвітня школа I-II ступенів» Вугледарської міської ради Донецької області) **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАМІНИ ТРАДИЦІЙНИХ ПІДРУЧНИКІВ НА ЕЛЕКТРОННІ**
12. **Торський І.М., Кінденко М. І. (Україна, м. Слов'янськ, ЗОШ№6) 286**  
**ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ СТІЙКОСТІ ОСЬО-ВОГО ІНСТРУМЕНТУ ІЗ ШВИДКОРІЖУЧОЇ СТАЛІ Р6М5 ПІСЛЯ ОБРОБКИ В ІМПУЛЬСНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ**
13. **Шульга Ю.О., учениця 10 кл., наук.кер. учитель математики Рябошапка Л.В. 290**  
(Україна, с. Андріївка, Андріївський ЗЗСО I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.) **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ**

**Haitof Anas, Yuan Fang, Wang Yaoyao, Shkvar Ye.O.** (P.R.China, Jinhua, College of Engineering, ZJNU).

## **IMPROVEMENT OF AERODYNAMICS AND DYNAMICS OF HIGH-SPEED VEHICLES WITH THE USE OF MICROBLOWING AND CLUSTERED NVIDIA GPU-ACCELERATED EMBEDDED PLATFORM**

*The advantages of high-speed train as an object of the intermittent micro-blowing application through the streamlined surface are introduced. The corresponding mathematical model is elaborated and the computations of the external flow around a train body are performed. The promising new concept of real-time visual data processing for improvement of flight controllability during take-off and landing, based on MPI and massively-parallel GPU-accelerated technologies of computations and clustering NVIDIA Jetson Nano embedded platform is proposed.*

*Наведені переваги високошвидкісного поїзда як об'єкта застосування переривчастого мікродуву через обтічну поверхню. Розроблено відповідну математичну модель на основі RANS наближення і виконані розрахунки зовнішнього обтікання корпусу швидкісного потягу. Запропоновано нову перспективну концепцію обробки візуальних даних в реальному часі для підвищення керованості польоту на зльоті та посадці, засновану на MPI та масивно-паралельних технологіях GPU-прискорених обчислень на кластеризованій вбудованій платформі NVIDIA Jetson Nano.*

The perfect aerodynamic design of modern high-speed vehicles is one of the most relevant aspects of their aerodynamic performance, energy consumption efficiency and controllability. Due to the highly optimized shape of modern high-speed vehicles, currently the promising research directions in this field are associated with aerodynamic drag reduction by changing the structure of turbulent energy exchange in the neighborhood of streamlined surface. The semi-empirical mathematical models of near-wall turbulent exchange processes, developed by prof. Shkvar Ye.O. [1], allow to reliably describe the mechanism of manipulating the properties of turbulence and mean flow in cases of both separate and combined application of the mentioned above drag reduction methods and the optimal superpositions of their parameters and functioning modes can be reasonably chosen. These methods have been successfully applied for providing the numerical analysis of aerodynamic drag of different vehicles. In particular, the perspectives of promising method of microblowing (injecting a small amount of air through the streamlined surface into the boundary layer) have been analyzed from different points of view, associated with its advantages and technical problems that should be solved for its successful and efficient implementation for both aircraft high-speed train design elements.

Numerous studies [1-3] give grounds to assert that already traditional for the aviation industry blowing technologies are perspective in railway transport, especially for high-speed trains. The use of blowing technologies in the railway sector has several advantages:



- the proposed blowing technology does not affect the stability of the railway vehicle, since the direction of motion is determined by the fixed direction of the rails and under normal operating conditions (in the absence of a strong side wind) it does not cause dangerous flow separation modes;

- the application of blowing technologies is expedient, first of all, for high-speed trains, since it most effectively acts on friction drag  $D_f$ . The shape of the streamlined surface of the aircraft fuselage or the underwater part of the ship's hull, submarine or torpedo is very similar to the shape of the head part of the car, but the train is much more stretched and, accordingly, the aerodynamic drag to the movement of the high-speed train will be formed to the greatest extent due to the friction component, which determines the feasibility of using blowing exactly to minimize  $D_f$ ;

- the effects associated with the effect of air compressibility, such as the appearance of shock waves and their strong interaction with the boundary layer, which are unavoidable in the flow around the outer surfaces of the most common transonic airplanes in civil transport aviation, are not relevant and should not be taken into account as factors that negatively affect the efficiency of blowing technology realization;

- for blowing the air can effectively be bled from the frontal part of the head car, and then to redistribute it along the streamlined surface. It allows to reduce the overpressure near the stagnation point and, in addition, to reduce the pressure drag  $R_p$  due to the centralized air bleeding required for blowing system operation, in the vicinity of the forward stagnation point.

Thus, the microblowing seems to be efficient, reasonable and practically applicable to high-speed trains (Fig. 1) and mathematical modelling of its intermittent realization and further efficiency analysis is the goal of the presented research.

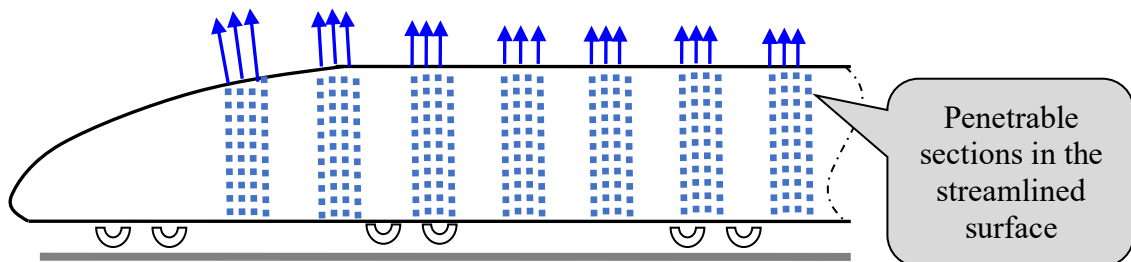


Fig. 1. The principal idea of intermittent microblowing realization through the array of permeable sections of streamline surface (or its part) of high-speed train

The conducted research was based on a unified and simplified high-speed train geometry and working conditions, namely: 8 carriages  $25 \text{ m} \times 3.4 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$  (length  $\times$  width  $\times$  height) train with total length  $25 \times 8 = 200 \text{ m}$  (Fig. 1),  $100 \text{ m/s}$  ( $360 \text{ km/h}$ ) cruising speed and symmetrical flow around it. The most important problem is to get the aerodynamic characteristics of a long ( $200 \text{ m}$ ) high-speed (about  $100\text{-}125 \text{ m/s}$  and more) train with presence of small value of locally distributed blowing velocity (about  $0.1 \text{ m/s}$ ). This problem has been solved by its effective decomposition into two following conjugate parts: (1) Modeling of the flow around 3D high-speed train without considering the blowing effect in a big

domain, covering the whole train body; (2) Independent modelling the turbulent boundary layer in small enough domain, localized in the vicinity of train external surface. Such decomposition is possible because of two reasons: (1) Blowing effect, due to its localization near streamlined surface, affects effectively only on the skin friction coefficient, which under non-separation conditions can't change the parameters of pressure distribution over train body. So, pressure distribution can be calculated only once for the case of blowing absence; (2) The boundary layer parameters can be determined independently for different kinds of blowing influence on the base of known pressure distribution, when blowing is absent.

The developed turbulent flows over a flat plate with a single perforated section (Fig. 2a) and through the set of three penetrable sections (Fig. 2.b), experimentally studied by Kornilov, Boiko [3], has been simulated numerically.

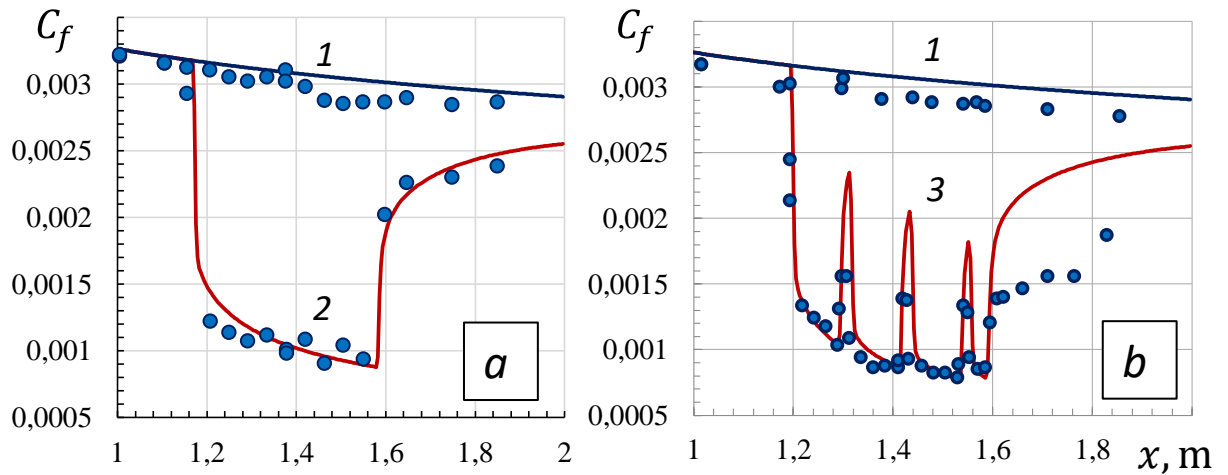


Fig. 2. Local skin friction coefficient distribution  $C_f(x)$  along the flat plate with different kinds of penetrable sections: lines – numerical prediction of without blowing (line 1), with uniform blowing,  $C_b=0.00277$  (line 2) and non-uniform blowing,  $C_b=0.00344$  (line 3). Circles – corresponding experimental data, obtained by Kornilov, Boiko [3]

The applicability of intermitted microblowing has been tested for the high-speed train in the form of a set of transversal penetrable sections with  $\Delta x_{por} = 10$  m, intermitted by impenetrable sections, with the same width  $\Delta x$  (Fig. 1). The obtained distributions of  $C_f(x)$  are illustrated by Fig. 3 ( $C_b=0.0025$ ). The obtained distributions of  $C_f$  allow to get the total skin friction coefficient of train's body

$$C_F = \frac{S_{extern}}{S_{mid}} \frac{1}{L} \int_0^L C_f dx$$
, where  $S_{extern} = 2420 \text{ m}^2$  - area of external streamlined surface of a train,  $S_{mid} = 12 \text{ m}^2$  - area of its middle section,  $L=200$  m – train length. For the flow without microblowing this coefficient is  $C_{F0} = 0.2916$ , for the uniform microblowing  $C_{Fu} = 0.04351$  and in case of non-uniform intermitted microblowing  $C_{Fn-u} = 0.1336$ . Thus, uniform microblowing with  $C_b=0.0025$  allows to reduce skin friction drag in  $C_{F0} / C_{Fu} = 6.7$  times, but can't be realized practically due to high risk of flow separation. Nevertheless, periodically intermitted microblowing with the same intensity  $C_b$  is not so dangerous and requires only a half of secondary air

flux. Moreover, as it can be seen from Fig. 3, the distribution  $C_f(x)$  for intermittent blowing (line 3) is localized closer to line 2 that corresponds to uniform blowing than to line 1, which is related to no blowing case. According to the results of numerical predictions it allows to achieve the skin friction drag reduction in  $C_{F0} / C_{Fn-u} = 2.18$  times. In real physical conditions the intermittent microblowing expected to be even more effective due to lower relaxation rate over impermeable sections of streamlined surface than it was predicted on the base of the developed numerical model.

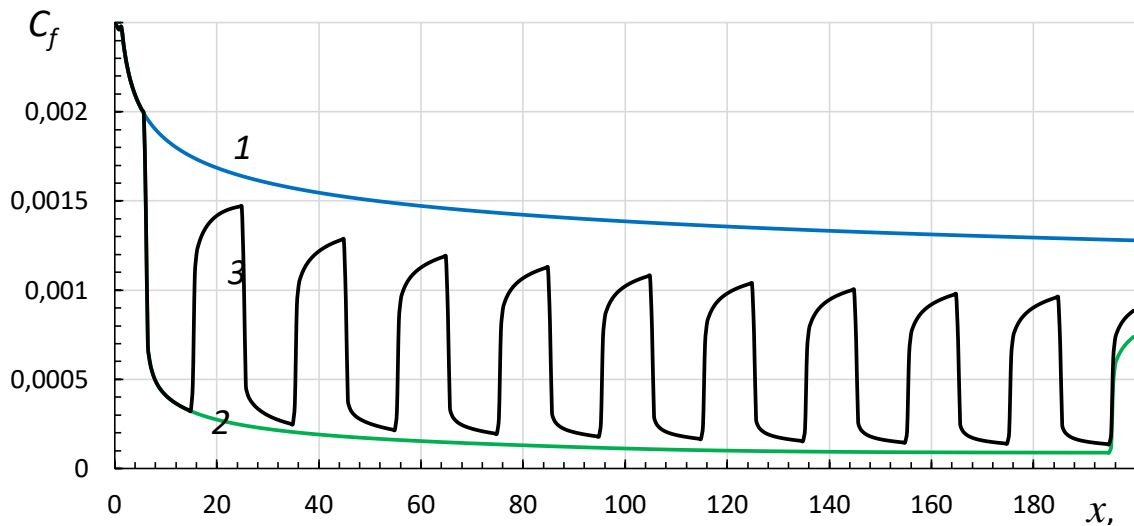


Fig. 3. Local skin friction coefficient as a function of the length of perforated section for: 1 – no blowing; 2 – uniform blowing  $C_b=0.0025$ ; 3 – intermittent blowing  $C_b=0.0025$

In addition, the principally new concept of improvement of flight controllability and safety, based on realization of multi-channel continuous automatic visual monitoring of high-speed vehicle surrounding, massively-parallel GPU-accelerated NVIDIA Jetson platform, Message-Passing Interface (MPI), CUDA and Artificial Intelligence data processing and functioning in real-time mode, is proposed as a perspective additional source of flight state information and for coordinating the current flight data from other sensors and reasonable synthesizing the required control laws. Previous research results in this field under the guidance of prof. Shkvar Ye.O. were associated with multithreaded implementation of GPU-accelerated processing of visual content and the developed OpenMP-based algorithm demonstrated low efficiency losses (up to 6.7%) for GPU-accelerated visual data processing of several (up to 4) independent threads, coming from 4 differently located identical video- cameras using the embedded computational platform NVIDIA Jetson TX1 [4]. In the current stage of this research direction we have changed the computing paradigm from OpenMP multithreading to multiprocessing based on a combination of MPI technology for scaling computational resources. As a result, the computational platform was modified to more scalable clustering system, consisting of several very compact NVIDIA Jetson Nano nodes with 128 GPU cores and 4GB RAM each, linked by Gigabit Ethernet switch (Fig. 4).



Fig. 4. Design of architecture of the distributed computational NVIDIA GPU-accelerated

The triple-channel mode of MPI-based visual-data processing is demonstrated by Fig. 5.



Fig. 5. MPI GPU-accelerated processing of video data for horizon recognition in real-time mode

Obviously, the reliability of the proposed clustering system is much higher compared to any multicore computing device, because even if one node of this cluster fails, the rest of nodes will work and interact each other independently, so in this case we simply get a failure of one of several information sources without losing the functionality of the computing device as a whole.

### Conclusions

1. The conducted numerical predictions of turbulent boundary layers over flat plate with both uniform and non-uniform microblowing demonstrated quite good agreement to the corresponding experimental data.

2. The periodically intermitted microblowing through the streamlined surface of high-speed train, simulated numerically, demonstrated its promising potential that will be further studied in details theoretically and experimentally.

3. The proposed MPI-based scalability of parallelism of NVIDIA Jetson GPU-accelerated real-time processing of video-content is more productive and reliable in comparison with its previously realized multithreaded version, so it can be recommended for use in various modern high-speed vehicles.

## REFERENCES

1. Shkvar Ye.O., Shi-ju E, Jian-Cheng Cai, Kryzhanovskyi A.S., Jamea Ali Effectiveness of blowing for improving the high-speed trains aerodynamics. In *J.: Thermophysics & Aeromechanics*, 2018, Vol. 25, No. 5, - pp. 675-687, DOI: 10.1134/S0869864318050049
2. US Patent No. 5,803,410 Skin friction reduction by micro blowing technique. 08.08 1998, IPC (1995) B64D 21/04.
3. Kornilov V.I., "Problems of reducing turbulent friction by active and passive methods (review)", *"Thermophysics and Aeromechanics"*, 2005, Vol. 12, No. 2, UDC 532.526.4 + 533.6.071, p.183-208.
4. Shkvar Ye.O., Dai Zhechen, E Shi-ju, Cai Jian-Cheng A New Concept of GPU-Accelerated On-Board Visual System for Aerial Vehicles. In *J.: Engineering Science & Technology*, 1(2), 2020, - pp. 84-93. DOI: 10.37256/est.122020451

**Gordana V.Jelić<sup>1</sup>, Vladica Stojanović<sup>2</sup>, Dejan Stošović<sup>1</sup>** (Serbia, University of Kosovska Mitrovica, <sup>1</sup>Faculty of Technical Sciences, <sup>2</sup>Faculty of Sciences and Mathematics)

## КРИВЫЕ В МЕХАНИКЕ

*В работе рассматривали движение тела в силовом поле. Сила  $F$ , действующая на материальную точку, является векторной функцией точки пространства  $r$ , вектора скорости движения  $\frac{dr}{dt}$  и времени  $t$ , т.е.  $F = F(r, \frac{dr}{dt}, t)$ . В одних случаях функция  $F$  зависит только от  $r$ , как, например, сила тяготения неподвижного центра, в других случаях  $F$  зависит только от скорости  $\frac{dr}{dt}$ , как например, в случае свободного движения тела в сопротивляющейся среде. Рассматривали отдельные случаи, нпр. движение в центральном силовом поле, движение в параллельном силовом поле, движение материальной точки в поле сил тяготения, движение частицы с электрическим зарядом в электромагнитном поле, движение частицы в постоянном электромагнитном поле.*

*The paper considers the motion of a body in the field of forces. The force  $F$  acting on a material point is a vector function of a point in space  $r$ , a vector of the velocity  $dr / dt$  and time  $t$ , ie.  $F = F(r, dr / dt, t)$ . In some cases the function  $F$  depends only on  $r$ , such as, for example, the gravitational force of a stationary center, in other cases  $F$  depends only on the velocity  $dr / dt$ , as, for example, in the case of free motion of a body with resistance from the environment in which it is located. We have considered individual cases, for example, motion in the central force field, motion in the parallel force field, motion of a material point in the gravitational force field, motion of electrically charged particles in an electromagnetic field, motion of particles in a constant electromagnetic field.*

### Введение

Пусть материальная точка движется по векторной кривой  $\gamma$  в пространстве. Пусть параметр  $t$  обозначает время,  $s$  – длину дуги на кривой. Можем рассматривать длину дуги как функцию времени  $t$ . Тогда величина  $\frac{ds}{dt}$  является величиной скорости движения точки по кривой. Вектор скорости  $v$  направлен по касательной прямой к кривой  $\gamma$ :

$$v = r'_t = r'_s \frac{ds}{dt}.$$

Вектор ускорения  $\frac{dv}{dt}$  лежит в соприкасающейся плоскости кривой

$$\frac{dv}{dt} = r''_{tt} = r''_{ss} \left(\frac{ds}{dt}\right)^2 + r'_s \frac{d^2s}{dt^2}.$$

Так как по закону Ньютона ускорение пропорционально действующей на тело силе  $F$ , то чем больше искривлена траектория движения, тем большая сила действует на движущуюся точку. Если материальная точка движется по кривой с постоянной скоростью  $v = \frac{ds}{dt} = c$ , то вектор ускорения направлен по главной нормали кривой, причем величина ускорения равна  $Kc^2$  где  $K$  кривизна кривой. Такое движение описывает, например, частица с электрическим зарядом в магнитном поле.

Тело движется под действием как внешних сил (в силовом поле), так и под действием внутренних сил, например реактивных сил.

Рассмотрим движение тела в силовом поле. Будем считать, что сила  $\mathbf{F}$ , действующая на материальную точку, является векторной функцией точки пространства, вектора скорости движения и времени  $t$ , т.е.  $F = F\left(r, \frac{dr}{dt}, t\right)$ . В одних случаях функция  $\mathbf{F}$  зависит только от  $\mathbf{r}$ , как, например, сила тяготения неподвижного центра, в других случаях  $\mathbf{F}$  зависит только от скорости  $\frac{dr}{dt}$ , как, например, в случае свободного движения тела в сопротивляющейся среде. Запишем уравнения движения в общем виде:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = F\left(r, \frac{dr}{dt}, t\right).$$

Рассмотрим отдельные случаи.

### Движение в центральном силовом поле

Пусть сила  $\mathbf{F}$ , приложенная к точке, проходит через фиксированную точку пространства, например через начало координат. Это означает, что  $F = \lambda(r, v) r$ , где  $\lambda(r, v)$  скалярная функция. Тогда траектория движения лежит в некоторой плоскости, проходящей через начало координат.

Уравнение движения имеет вид

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = \lambda(r, v) r. \quad (1)$$

Покажем, что векторное произведение  $\left[r, \frac{dr}{dt}\right]$  есть постоянный вектор. Действительно в силу (1) имеем

$$\frac{d}{dt} \left[r, \frac{dr}{dt}\right] = \left[r, \frac{d^2 r}{dt^2}\right] = \frac{\lambda}{m} [r, r] = 0.$$

Итак,  $\left[r, \frac{dr}{dt}\right] = c$ . Умножая это уравнение скалярно на  $r$ , получаем

$$\left(\left[r, \frac{dr}{dt}\right], r\right) = 0 = (c, r).$$

Следовательно, координаты точки траектории удовлетворяют уравнению плоскости, проходящей через начало координат. Эта плоскость определяется начальным положением точки и начальным вектором скорости. Имеет место и обратное утверждение: *Если все траектории материальной точки, находящиеся в постоянном силовом поле, являются плоскими кривыми, то все силы поля проходят через одну и ту же неподвижную точку или параллельны постоянному вектору.*

### Движение в параллельном силовом поле

Пусть сила  $\mathbf{F}$  параллельна постоянному вектору  $\mathbf{a}$ , т.е.  $F = \lambda(r, v) \mathbf{a}$ , где  $\lambda(r, v)$  – скалярная функция. Тогда кривая лежит в плоскости, параллельной вектору  $\mathbf{a}$ .

Вдоль траектории движения  $\mathbf{r}(t)$  функция  $\lambda(r, v)$  будет некоторой функцией времени  $t$ .

Обозначим

$$\varphi(t) = \int_{t_0}^t \lambda(r(t), v(t)) dt.$$

Интегрируя уравнение (1), получаем

$$m \frac{dr}{dt}(t) = \frac{dr}{dt}(t_0)m + a\varphi(t).$$

$$mr(t) = r(t_0)m + mv_0t + a \int_{t_0}^t \varphi(t)dt.$$

Следовательно, траектория лежит в плоскости вектора  $a$  и начального вектора скорости  $v_0$ .

### Движение материальной точки в поле сил тяготения

Положим  $F = -\frac{\mu r}{r^3}$ , где  $\mu$  - некоторое постоянное положительное число.

Уравнение движения

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{\mu r}{r^3}$$

умножим скалярно на  $dr/dt$ . Тогда получим

$$m \frac{d}{dt} \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 = -\frac{\mu}{r^3} \frac{dr^2}{dt} = \mu \frac{d}{dt} \frac{1}{|r|}. \quad (2)$$

Введем координаты в пространстве так, чтобы плоскость  $x, y$  совпала с плоскостью движения точки, и в этой плоскости введем полярные координаты  $\rho$  и  $\varphi$ . Положим

$$x = \rho \cos \varphi, \quad y = \rho \sin \varphi$$

Тогда

$$\left( \frac{dr}{dt} \right)^2 = \left( \frac{d\rho}{dt} \right)^2 + \rho^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2.$$

Интегрируя уравнение (2), найдем

$$m \left[ \left( \frac{d\rho}{dt} \right)^2 + \rho^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right] = A + \frac{\mu}{\rho}, \quad (3)$$

где  $A$  - некоторая постоянная. Выше мы нашли соотношение  $\left[ r, \frac{dr}{dt} \right] = c$ .

Проектируя его на ось  $z$ , получаем уравнение

$$x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = c_0.$$

В полярных координатах оно записывается просто:

$$\rho^2 \frac{d\varphi}{dt} = c_0. \quad (4)$$

Выразим отсюда  $\frac{d\varphi}{dt}$  и подставим в (3). Тогда получим

$$m \left[ \left( \frac{d\rho}{dt} \right)^2 + \frac{c_0^2}{\rho^2} \right] = A + \frac{\mu}{\rho}.$$

Отсюда найдем  $\frac{d\rho}{dt}$ , полученное выражение умножим на  $\frac{dt}{d\varphi}$  и, учитывая

(4), найдем

$$\left( \frac{d \frac{1}{\rho}}{d\varphi} \right)^2 = -c_1 \left( \frac{1}{\rho} + c_2 \right)^2 + c_3,$$

где  $c_i$  - постоянные. Интегрируя это уравнение, получаем уравнение траектории

$$\frac{1}{\rho} = c_4 + \sqrt{c_3} \cos(\varphi - \varphi_0),$$

Где  $\varphi_0$  - начальное значение угла  $\varphi$ . Это уравнение конического сечения с фокусом в полюсе.



### Движение частицы с электрическим зарядом в электромагнитном поле

Пусть частица массы  $m$  и с электрическим зарядом  $e$  движется в пространстве под действием электрического поля  $\mathbf{E}$  и магнитного поля  $\mathbf{H}$ . Электрическая сила, действующая на частицу со стороны магнитного поля, по закону Лоренца равна  $\frac{e}{c} \left[ \mathbf{H}, \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right]$ , где  $c$  – скорость света. Следовательно, можно записать уравнение движения:

$$m \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = e\mathbf{E} + \frac{e}{c} \left[ \mathbf{H}, \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right]. \quad (5)$$

Умножая это уравнение скалярно на  $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ , получаем

$$\frac{dv^2 m}{2} = e(E, d\mathbf{r}),$$

где  $v$  – скорость частицы. Отсюда вытекает следующее утверждение.

Если электрическое поле равно нулю, т.е. частица с электрическим зарядом движется в магнитном поле, то скорость движения постоянна:  $v = \text{const}$ .

Тогда можно исключить время, используя дугу  $s$  кривой, описываемой точкой:  $s = v_0(t - t_0)$ .

Допустим, что магнитное поле  $\mathbf{H}$  создается единственным магнитным полюсом. Расположим начало координат в магнитном полюсе. Тогда  $\mathbf{H}$  имеет силовую функцию  $U = \frac{k}{\rho}$ , где  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ , т.е.  $\mathbf{H} = -\frac{r}{\rho^3} k$ ,  $k = \text{const}$ .

Уравнение движения имеет вид

$$\mu \frac{d^2 \mathbf{r}}{ds^2} = \left[ \mathbf{r}, \frac{d\mathbf{r}}{ds} \right] \frac{1}{\rho^3},$$

где  $\mu$  – постоянное число. Умножим это уравнение векторно на  $\mathbf{r}$ . Получим

$$\mu \frac{d}{ds} \left[ \frac{d\mathbf{r}}{ds}, \mathbf{r} \right] = \frac{1}{\rho^3} \left\{ r^2 \frac{dr}{ds} - \frac{r}{2} \frac{dr^2}{ds} \right\} = \frac{1}{\rho} \frac{dr}{ds} - \frac{r}{\rho^2} \frac{d\rho}{ds} = \frac{d}{ds} \left( \frac{r}{\rho} \right).$$

Интегрируя это уравнение, найдем

$$\mu \left[ \frac{d\mathbf{r}}{ds}, \mathbf{r} \right] = \frac{r}{\rho} + a,$$

где  $a$  – постоянный вектор. Умножая скалярно на  $\mathbf{r}$ , находим

$$\rho + (a, \mathbf{r}) = 0. \quad (6)$$

Это уравнение показывает, что отношение расстояния от движущейся точки  $(x, y, z)$  до начала координат к расстоянию от этой точки до плоскости  $(a, \mathbf{r}) = 0$  постоянно, т.е. (6) – уравнение кругового конуса. Следовательно, траектория точки лежит на круговом конусе с вершиной в начале координат – в магнитном полюсе. Эта траектория не может быть произвольной кривой на конусе: *траектория является геодезической линией конуса, т.е. линией, которая после разворачивания конуса на плоскость перейдет в прямую.*

### Движение частицы в постоянном электромагнитном поле

Пусть поля  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  постоянны во времени и в пространстве. Запишем уравнения движения

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = \epsilon E + \mu \left[ H, \frac{dr}{dt} \right] = \epsilon E + \mu \frac{d}{dt} [H, r],$$

где  $\epsilon$  и  $\mu$  - постоянные. Интегрируя уравнение, найдем

$$m \frac{dr}{dt} = \epsilon E t + \mu [H, r] + c.$$

Далее удобно использовать специальный выбор координат в пространстве. Направим ось  $z$  в доль вектора  $\mathbf{H}$ , ось  $y$  - ортогонально плоскости векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ . При таком выборе координат

$$E = \{E_1, 0, E_3\}, H = \{0, 0, H_3\}.$$

Тогда можно записать

$$m \frac{dx}{dt} = \epsilon E_1 t - H_3 \mu + c_1,$$

$$m \frac{dy}{dt} = H_3 \mu + c_2, \tag{7}$$

$$m \frac{dz}{dt} = \epsilon E_3 t + c_3.$$

Дифференцируя первое уравнение и используя второе, находим

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -a^2(x + p), \quad a = \frac{H_3 \mu}{m},$$

где  $a$  и  $p$  - некоторые постоянные. Введем функцию  $x + p = u$ , которая удовлетворяет уравнению

$$\frac{d^2 u}{dt^2} = -a^2 u.$$

Решая это уравнение, получаем

$$x = -p + \sin(at + \alpha)A.$$

Подставляя это выражение во второе уравнение (7) и затем интегрируя, находим

$$y = -qt + b - \cos(at + \alpha)A.$$

Наконец, третье уравнение дает

$$z = \lambda t^2 + \nu t + \tau,$$

где величины  $p, q, b, \lambda, \nu$  и  $\tau$  постоянные. Полученное движение можно представить в виде суммы движений - равномерного движения по окружности

$$x = A \sin(at + \alpha),$$

$$y = -A \cos(at + \alpha).$$

и движения окружности, центр которой перемещается по кривой  $x = -p, y = -qt + b, z = \lambda t^2 + \nu t + \tau$ . При этом окружность все время остается параллельной плоскости  $x, y$ . В том случае, когда постоянные  $\lambda$  и  $q$  равны нулю, частица движется по винтовой линии.

## Заключение

Тело движется под действием как внешних сил в силовом поле, так и под действием внутренних сил, нпр. реактивных сил. Рассмотрели движение тела в силовом поле.

Координаты точки траектории удовлетворяют уравнение плоскости которая проходит через начало координат. Это плоскость определяется начальным вектором скорости. Обратно, если все траектории материальной точки, находящиеся в постоянном силовом поле, являются плоскими

кривыми, то все силы поля проходят через одну и ту же неподвижную точку или параллельны постоянному вектору.

Если электрическое поле равно нулю, т.е. частица с электрическим зарядом движется в магнитном поле, то скорость движения постоянна.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ю.А.Аминов, *Дифференциальная геометрия и топология кривых*.
2. *Halfman, R.L.: Dynamics, Massachuset–London (ruskiprevod, Moskva, 1972).*
3. *Starzhinskii, V.M.: An Advanced Course of Theoretical Mechanics, Moscow, 1982..*
4. *Leron, U., Armon, U.: How to explain a cycloid to a turtle?, J. of Computers in Math and Sci. Teaching, VII (3), pp. 55–58, 1988.*
5. *Armon, U.: Representing Trochoid Curves by DUOPOLY procedure, Int. J. of Math Educ. in Sci. and Technology, 27 (2), pp. 177–187, 1996.*

**Slobodan Adžić<sup>1</sup>, Marijana Milunović<sup>1</sup>, Bojan Branković<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>*Faculty of Management FAM, University Union-Nikola Tesla, Belgrade, Serbia;* <sup>2</sup>*University in Belgrade, Faculty of Political Sciences, Belgrade, Serbia*).

## **TOWARD AN ECOLOGICAL LEADERSHIP**

*The authors aim to explain the connections between ecology, democracy, and leadership in a green economy. The ecology and the economy could be of equal importance with the assistance and guidance of a democratic eco leader. Ecological leadership builds on the knowledge of how to recognize environmental opportunity costs of underutilized resources and achieve eco-friendly innovation. Democracy is the basis of leadership because it is the only system that can win in the process of changing modern organizations towards green development. The eco leader is the fuel of the green economy development process.*

### **1.INTRODUCTION**

This paper aims to point out the strong bonds among ecology, democracy, and leadership. In the first part, we will show that ecology and economy are not inevitably on the opposite poles, as the Holland flower industry and the new technologies for pollutant reduction cases can prove. In the next part, we will deal with the greatest of all social experiments, democracy. It is the only system able to cope with the challenges of the ecological environment. Finally, the last part has a focus on the eco leader and his/her focal point.

### **2.ECOLOGICAL ENVIRONMENT IMPACT ON LEADERSHIP**

Porter [1], the greatest expert for competition, showed in one of his works how leadership effectively responds to dynamic changes of environment. Many people have fixed opinion that economy and ecology are on opposite poles. On one hand, here is a social advantage of a clean environment and, on the other, the costs of private capital for preventing pollution and improving environment. This statistical approach neglects the fact that companies constantly find innovative ways how to adapt themselves to changes under pressures of competition, consumers and legislation. These innovations lead to more productive use of inputs – from raw materials to energy and labor force and the increased productivity makes companies more competitive and more green [2]. These improvements in productivity reject greater yield for companies than additional costs based on new regulations. The Holland flower industry was under great pressure of the public and State because of land pollution caused by artificial fertilizers [1]. The producers, under the pressure, ceased growing flowers on the land and started to grow flowers on water and stones - and improved their productivity, competitiveness and share in world market. The pollution, releasing toxic and waste matters into environment, should be considered as uneconomical and ineffective use of resources. In this is a key of the story why the Holland flower

industry today is not an exception in the world economy but ever more a rule. Also, the blame for uneconomical use of resources has been shifted to direct consumers through prices. For many leaders this concept has opened new roads towards the increase in productivity both through closed production technologies and through substitution of materials. As leaders have made a deviation from the costs of ecology, because of legal regulations, towards opportunity costs of ecology – the loss of resources, loss in profitability, diminished value of products for consumers, the ecology and economy have found themselves at the same level. The sustainable economy of the 21st Century will be green economy [3].

In researches of 29 leading chemical plants [1], 181 new technologies for pollutant reduction have been discovered. Only one of them has caused increase of costs. Out of 70 activities on products, 68 has shown rise of productivity, 7% of them at annual level. 48 activities have been carried out without capital, two thirds of the remaining activities paid off within 6 months or in shorter time. In the mass of these activities, 1 dollar of expenditure for preventing pollution has brought 3.49 dollars of increased revenue. In 1990, the prohibition of the CFC because of ozone brought about disturbing titles in newspapers on disappearance of refrigerator, but luckily the companies dealt with innovations and not with reading black forecasts. The modern industry is based on propane-isobutene. The results are: 10% greater power efficiency and 5% lower final prices for consumers. What stand should the leaders and business organization take in these industries? The authors message is the following:

- Direct and indirect impacts on environment are to be compared.
- It should be learnt how to recognize opportunity costs of insufficiently used resources.
- Atmosphere in an organization stimulating innovative solutions increasing production should be created.
- They should be proactive in defining new type of relationships with regulation makers and ecologists.

We would like to add another one, the primary one [4]. They should, with the assistance of leaders of changes, on a democratic basis, create a high-performance organization. That type of leader named eco leader would be a champion of green development.

### **3.DEMOCRACY AND LEADERSHIP**

The democracy, the greatest of all social experiments, has not yet been rounded up nor finalized either. The democracy is being transformed. And it supports transformation. The democracy is related to people [4] and the rule how we live our lives, how we behave at work, what principles and values we adhere to, what kind of authorities we have on local and higher levels, and what are our hopes for the future. The democracy inspires the freedom, equality, individual values, justice, and openness. The democracy is open and sensitive to changes. A democratic organization is based on people who are free, intelligent and

competent. The democracy is not one man – one voice, everyone-does-what-he-pleases, chaos and anarchy. It is highly organized, purposeful, accountable and disciplined.

The democracy is inevitable because it is the only system able to cope with the requirements of the modern civilization changes, both in business and in political sense [5]. In the past the business leaders were of opinion that the democracy was beautiful but not efficient in the business world. Their attitude was the “democracy is a good thing for good people, but they do not work for me”. The history has shown that nations with democratic systems have had relatively richer and more stable development than those with authoritative regimes that have been suffocating either in blood or in poverty. The democracy has been the only one that has coped with the requirements of the modern civilization changes, and it may be said that it is the only one capable of adapting itself to changes in the future as well. The practice also shows that growing number of business organizations are aware of efficiency of the democracy, not only the newly founded ones but also those with a long tradition, and they implement it successfully.

It is well known that most of the scientific institutions have always had a democratic system of organization. In the atmosphere of equality, liberalism and pluralism the forms stimulating new and more advanced ideas have been built. This is necessary to be done in the green economy as well – particularly when a change is omnipresent and when new creativity is needed. For these organizations the democracy is not an idealistic concept but an everyday reality based on effectiveness. The democracy is becoming a necessity whenever a social system strives for survival under the conditions of chaotic changes. For the organization to subsist and survive, it has to be prepared to everything and to be future-oriented, it has to develop products, services and technologies irrelevant for the present, if they may be relevant for the future.

The leader who is required to create a business environment of high-performance is undoubtedly a democratic leader [6]. Democracy is the basis of leadership because it is the only system that can cope with the demands of changes of modern civilization. The success of sustainable economic reforms depends on a series of small steps towards the establishment of high-performance with smaller organizations, organizations on the basis of a new philosophy, functions and forms of leadership, as well as the vision and values, change the strategy, structure and system of the organization.

The ideal of an organization of the future is a model preparing an enterprise to successfully face many complex problems and to respond to them in a manner which would be of utmost benefit for it [7]. In such an organization the power is not on the top but in leader's working teams. The power lies in the position, but the root of power is in expert knowledge of the team members. Such teams and organizations may not be managed in an autocratic manner.

A new leader is certainly not an autocrat but a democrat. A democrat will succeed to stimulate and motivate. A democrat will know how to use all potentials. A democrat will allow the leader's jobs to descend from the top level to the team

level. A democrat will strengthen teams and team work. Such approach is the right approach that will contribute creating high performance organizations because such organizations are a set of strengths of all teams and team members in them. It may not be designed by a wish of any brilliant individual in the top position; it may be designed only if a vision of all people in the organization is a common one. Thus, the democracy lies in the core of high performance organization and a democratic leader - the leader eliminating the worn-out hierarchical systems in management, is the right type of leader for a high performance organization.

#### **4.ECO LEADER**

The best way to obtain an answer about an eco leader would be by doing researches on leaders of effective companies [8]. Out of 1,435 companies from the Fortune 500 in the period 1965-1995, by using the process of selection, it was found that there were companies which had index of growth at least three times greater than the New York Stock Exchange average, and they maintained it for at least 15 years. Such companies are called great companies. They had to be good companies that had rate of growth of shares at least 1.25 times greater than the Stock Exchange rate. They had to be the companies already existing and not the newly established ones, while their success should have not stemmed out of the economic branch success. The final number of such companies was 11, with an average growth of 6.9 times greater than the average growth of American economy. A dollar invested in these companies in 1965 after 30 years was worth 471 dollars, while investing in general markets would have rejected 56 dollars. In the paper they were compared with good companies of similar size and age, in the same branch and with similar products and services. Also, a group of unstable companies was introduced having some similarities but which had a distinctive peak in growth and fell fast, with the cycle that lasted less than 10 years. It is important to notice that with great companies the criterion was to further maintain the growth of shares at the time of researches.

The greatest shock for researchers was that all 11 great companies had leaders which were of the “same kind” [9]. The leaders leading great companies are called the level 5 leader. Level 1 includes individual competency, level 2 the team work skills, level 3 a competent manager, level 4 a traditional leader. Level 5 contains all from the preceding levels along with an “extra dimension”: paradoxical mixture of personal modesty and professional will. A level 5 leader directs his ego further from himself setting as his higher goal the creation of a great company. This does not mean that he is not ambitious, he is actually very ambitious, however, his ambitions are directed towards the institutions and not towards his own self. An interesting dual character of personality is reflected with them: modest, but willful, humble, but fearless. They as a rule do not speak about themselves but about the organization. The researches show that they as a rule come “out of home” contrary to the leaders of the compared and vanished companies. The compared companies have engaged six times more outsiders for the leadership position. Also, compared to them a level 5 leader appoints his

successor at quite early stage and trains him for a successor. They will stoically and uncompromisingly do all that is necessary for the existence and growth of their organization. They are fanatically infected with producing results. When they speak about their success they say that they have been lucky. When they speak about failures they blame only themselves. Level 4 leaders do the very opposite, for their failures they blame bad luck, while they ascribe a success to their credit. I would like to notice once again that level 5 leader is not an ideological guideline, but an empirical fact.

Collins [10] has gathered a great base of level 5 leaders from all spheres of society. He has concluded that in human population there are much more of such leaders than of egocentric ones who are more represented in media. Our culture and media like leaders who are greater-than-life, and those quiet, modest and effective ones. The problem is not in shortage of the level five leaders. They are actually everywhere around us. The dynamic changes expected in this century will condition our attention towards them so that green economy and sustainable society could successfully cope with changes, because they are the key to overcoming them effectively. The task of society will be to identify, cultivate and develop them.

Effective eco leaders [11]:

- Define mission of an organization as a framework for performing environmental activities.
- Create eco-friendly environment in which people are not only esteemed but also encouraged to achieve their full potential, where everyone is treated equally.
- Shape corporate culture in order to replace conformity, obedience and mechanical behavior with eco-friendliness, creativity, autonomous and continual learning.
- Transform organizational forms from a rigid pyramid towards the fluid circle, towards the developed network of autonomous units.
- Encourage innovating, experimenting and risk taking.
- Anticipate the future by reading the present.
- Make new bonds within organizations and new connections within collaborating teams.
- Establish new alliances outside their organizations.
- Constantly study organizational forms of both their own organizations and those advanced in ecologically sustainable environment.
- Identify environmentally hazardous links and replace them.
- Think globally rather than nationally or locally.
- Identify and respond to new and unforeseeable needs of collaborators.
- They are proactive, not reactive, and comfortable towards ambiguity and uncertainty.
- For them eco-friendliness is not an option, but the focal point.



## 5. CONCLUSION

Very vivid connections among ecology, democracy, and leadership have built a clear path toward an ecological leadership. The eco leaders are a basis for democratic development in modern green economy, in which the power is distributed and not concentrated. It is crucial that he/she accepts the human nature as such and to respond to it. A level 5 eco leader will succeed in responding to changes of this century. Eco leader would be a champion of the green development and an engine of the green economy. For them eco-friendliness is not an option, but the focal point of their vision.

## REFERENCES

- [1] M. Porter and C. Van der Linde, "Green and Competitive: Ending the Stalemate," in *Strategy and Competition: The Porter Collection*, M. Porter and J. Magretta, Eds. Harvard Business Review Press, 2014, pp. 347–372.
- [2] T. Janovac, M. Brzaković, P. Radanov, and P. Brzaković, "Ekološke inovacije u službi održivog razvoja," *Ecologica*, vol. 25, no. 89, pp. 41–46, 2018.
- [3] J. Premović, N. Đokić, L. Arsić, and R. Micić, "Zelena ekonomija - održiva ekonomija XXI veka," *Ecologica*, vol. 25, no. 91, pp. 512–516, 2018.
- [4] S. Adžić, *Leadership in the High Performance Organizations*. Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2017.
- [5] E. Markopoulos and H. Vanharanta, "Project teaming in a democratic company context," *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, vol. 19, no. 6, pp. 673–691, Nov. 2018, doi: 10.1080/1463922X.2018.1439543.
- [6] Z. Kaličanin and M. Kaličanin, "The importance of leadership for sustainable development of Serbia," *Ecologica*, vol. 21, no. 74, pp. 232–236, 2014.
- [7] M. Petković, N. Janićijević, and B. Bogićević Milikić, *Organizacija: teorije, dizajn, ponašanje, promene*. Beograd: Ekonomski fakultet, 2014.
- [8] J. Collins, *Good to Great: Why Some Companies Make the Leap...And Others Don't*. Harper Business, 2011.
- [9] J. Collins, "Level 5 Leadership," in *The Jossey-Bass Reader on Educational Leadership*, John Wiley & Sons, 2009, pp. 27–50.
- [10] J. Collins, "Good to Great - (Why Some Companies Make the Leap and others Don't)," *NHRD Network Journal*, vol. 2, no. 7, pp. 102–105, Oct. 2009, doi: 10.1177/0974173920090719.
- [11] W. Bennis and W. G. Bennis, *On Becoming a Leader*. Createspace Independent Pub, 2010.

**Xianning SHE, Stupnytskyy V.** (Ukraine, Lviv, Lviv Polytechnic National University)

## **ANALYSIS OF CUTTING FORCE AND FRICTION COEFFICIENT INFLUENCE ON TITANIUM**

*Based on some studies results of the author, this paper reviews the machinability of titanium alloys and its development status. The study results mainly based on the finite element method to simulate the machining of titanium alloys and the actual machining are introduced. The influence of machining force and friction coefficient parameters on titanium alloys machining are analyzed emphatically. The final conclusions pointed out some current research trends and the author's future research directions.*

### **1. Introduction**

The excellent combination of high specific strength and fracture toughness as well as low density and exceptional corrosion resistance are unique properties of titanium alloys. Titanium alloys are substantial engineering materials used in aerospace, aircraft, automotive, chemical, and biomedical industries. However, due to their low thermal conductivity, low elasticity modulus, high chemical reactivity and high hardness at elevated temperature. The machinability of titanium alloys is poor, they are classified as hard-to-cut materials. Currently, machining of titanium alloys still remains as one of the major industrial concern [1,2]. From these perspectives, it is of great significance to study the machining of titanium alloys. A paper on bibliometric analysis of machining of titanium alloys research shows that the annual growth rate in machining of titanium alloy research is 16.94%, which indicates that machining of titanium alloy research has gained rapid attention since 2016 and gradually evolved over the years. This study also shows that China is the leading country in this research field[3]. Titanium has two types of crystal structure namely Alpha ( $\alpha$ ) and Betta ( $\beta$ )[4]. In temperatures below 882°C, titanium can be found in  $\alpha$  phase crystal structure. While temperature goes beyond 882°C, the  $\alpha$  phase undergoes an allotropic transformation to  $\beta$  phase. This phase remains stable up to the melting point of titanium (1,668°C)[5]. Titanium alloys are classified into five main groups: $\alpha$ ; near  $\alpha$ ;  $\alpha+\beta$ ;  $\beta$ ; near  $\beta$ .

Based on the author's research results, this article also compares and analyzes the views of different scholars on the same issue. The research results based on the finite element method to simulate the titanium alloy machining process and the actual machining process are introduced, and these studies are analyzed to obtain the influence of different parameters. The parameters to be discussed mainly include cutting force and friction coefficient. To understand the current status of titanium alloy machining, the purpose is to guide further research and increase machining efficiency and optimize economic benefits in the actual machining of titanium alloys.

## **2. Details analysis of Titanium alloys machining process**

Many scholars' studies have determined that when machining titanium alloys, most tool materials that exhibit excellent performance when machining other materials, exhibit moderate to poor performance. A. Hosseini et al. concluded that the difficulties in machining titanium alloys are caused by the combination of the following features: poor thermal conductivity, low modulus of elasticity and the consequent spring back, chemical reactivity, Hardening due to diffusion and plastic deformation, mechanism of chip formation[7]. Machining is a manufacturing process with a large number of interacting variables. The produced geometry is influenced by many variables, except tool geometry and coating on machinability titanium alloys, such as cutting speed, feed, cutting depth etc. Machinability of a material is usually determined based on criteria such as tool life, tool wear, cutting force, chip formation, cutting temperature[8]. The fabricated parts for high tech industries require, generally, high dimensional accuracy and good surface integrity, being the machining an essential production process for reaching these requirements[9]. However, machining titanium alloys is not easy[10]. Implementation of such technologies should be carried out on the basis of functional-oriented technologies (FOT) [11]. Modelling and simulation can significantly enhance the understanding of complex manufacturing processes. Using finite element modelling (FEM) , cutting tool geometries can be investigated replacing the need for expensive experimental works leading to software defined manufacturing. In addition, they can help making informed and data driven decisions for planning machining experiments[12]. Cutting simulations using 2D/3D FEM software (such as DEFORM, ABAQUS, LSDyna, or AdvantEdge) can significantly accelerate and reduce the cost of analyzing the use of new wear-resistant coatings for different tool materials[13]. This obviously also applies to the analysis of other parameters. At present, Ti-6Al-4V, an  $\alpha+\beta$  titanium alloy which was first developed in the 1950s [14], is the most used titanium alloy, so the study object is mainly based on Ti-6Al-4V.

The author studied the details of titanium alloys machining process, in which analysis of the parameters that affect the machinability include cutting force, cutting depth, cutting speed, cutting tool, cutting temperature, chip formation, friction coefficient. The parameters to be discussed in this paper mainly include cutting force and friction coefficient.

### **2.1 Cutting force**

According to the author's research, the cutting force has a relationship with cutting speed, cutting depth, and coefficient of friction, and is positively correlated. It has the same relationship with cutting tools, but it is more complicated, which involves the tool geometry, material etc. The dynamics of the cyclic change in the cutting force is a consequence of the adiabatic shear in the chip formation zone and is confirmed by the sawtooth shape of the chip[15]. The cutting forces and therefore the cutting power required to machine the material thus increase with strain hardening of the titanium alloy and decrease with increasing cutting

temperature. Model M2 developed by Ozel and Karpat [16] Predicted the cutting forces with good correlation to the experiments indicating its superior material constants found by evolutionary computational algorithms[17]. The cutting forces, stresses and temperature extracted in the DEFORM-2D and AdvantEdge are different and incomparable. In particular, AdvantEdge calculates the dynamic equilibrium in time by an explicit time integration method using a Lagrangian finite element formulation whilst DEFORM is an Implicit solver employing the Newton Raphson technique. Liu, Cen, et al. concluded in their research on cutting force on cutting force based on three basic forms of constitutive equations.: one variant of the Johnson-Cook model seems to provide the most consistent values for the uniaxial tensile simulations and scratch tests, a proximity within an error of 5%[18]. At the same time, some scholars have proposed new alternative machining methods that can reduce cutting force and reduce machining costs, such as laser-assisted machining (LAM)[19], ultrasonic machining (USM), electrical discharge machining (EDM), ultrasonic-assisted turning (UAT), hot ultrasonic-assisted turning (HUAT) and cryogenic-ultrasonic assisted turning (CUAT) etc. LAM and hybrid machining can reduce the cutting forces and provide substantial improvements in machinability of titanium alloys[20]. UAT can significantly improve the machining performance of these intractable alloys, and the cutting force can be reduced by more than 70% on average during the machining of titanium alloys[21].

Experimental study showed that 42% reduction in cutting force was observed in UAT method with respect to conventional turning (CT) while this reduction was observed as 46% in the simulations[22]. UAT changes the relationship between tool and work piece thus reduces cutting force and temperature on the cutting zone. UAT provides better surface finish and roundness for work piece[23]. But cutting speed is the main disadvantage of UAT. In the thermally assisted machining of Ti-6Al-4V, reduction in forces are observed with the increase in heating temperature [24]. Ra values under the CUAT process are reduced significantly in comparison to UAT and processes, respectively. UAT and CUAT processes resulted in discontinuous chips having smaller chip thickness in comparison to the CT process.[25]

## **2.2 Friction coefficient**

The author studied the influence of tribological factors on the stress-strain and thermal state of the workpiece in titanium alloys machining. The main goal is to study how different friction coefficients affect the formation of product stress-strain and thermal state under certain cutting conditions and parameters. The comprehensive analysis of these factors will help to analyze and evaluate the effectiveness and feasibility of measures to improve the machining conditions of titanium alloys in terms of tribology, so as to increase machining productivity and ensure the specified quality of the surface layer to be processed. The study carried out shows that the friction coefficient significantly affects the load parameters of titanium alloy machining.

The friction coefficient has a significant effect on the cutting force. As the friction coefficient increases, the cutting force is positively correlated. Strangely enough, the coefficient of friction has virtually no effect on the shear angle during cutting, and thus also on the chip thickness (compression) ratio. The provided friction coefficient has a significant influence on tool wear both on the rake and on the flank faces when machining titanium alloy. In addition, it should be noted that regardless of the cutting speed and the friction cutting conditions provided, the maximum wear rate of the rake face is stronger than the maximum wear rate of the side surface.

This also verified that the tool flank side is the main subject of tool wear in most of the cases in both coated and uncoated tools[26]. The majority of tool failure mechanisms were due to flank wear and excessive chipping on the tool flank edge[27]. The performance of a cutting tool is normally assessed in terms of its life on the basis of certain wear criterion, mostly flank wear that largely affects the stability of the cutting edge and consequently the dimensional tolerance of the machined work surfaces[28]. Based on the comparison with the known experimental data, it can be concluded that, compared with Archard model, the Usui model is more adequate for describing the process of tool wear when machining a titanium alloy. The most effective method for reducing the friction coefficient when cutting titanium alloys is the use of special wear-resistant and antifriction coatings[29], as well as the use of lubricant-cooling liquids[30]. Several technologies, such as cryogenic cooling, solid coolants/lubricants, minimum quantity lubrication (MQL)/near-dry machining (NDM), high-pressure coolants (HPC), internal tool cooling and compressed air/gases have been developed in recent years to reduce temperature in the cutting zone and increase the overall effectiveness of the cooling and lubrication process [31].

### **3. Conclusion**

By consulting the articles on titanium alloy machining in the Scopus and WoS scientific databases, it can be concluded that the machining field of titanium alloys has broad prospects in the areas of MQL, nanofluid, cryogenic machining, cutting temperature, CFD, microstructure, sustainable machining, green machining, tool wear, nano machining, optimization, tool life with major machining process like turning, milling, grinding, drilling, UAT, CUAT, HUAT, EDM and WEDM etc[3].

Regarding titanium alloys machining, in addition to studying cutting force, cutting tools and friction coefficient, the author also studies cutting depth, cutting speed, chip formation, and machining methods. At this stage, it is only finite element simulation analysis, and the actual machining is in progress. The simulation conclusions that have been drawn will be verified in the actual machining process. The influence of lubrication/cooling mode and cutting tool material will be studied in the actual machining. And UAT machining technology will be studied. The UAT is a truly novel and feasible machining technology, which has important industrial significance for its research and improvement.

## REFERENCES

- [1] C. Veiga, J. P. Davim, A.J.R. Loureiro (2013) Review on machinability of titanium alloys: the process perspective, *Rev. Adv. Mater. Sci.* 34 (2013) 148-164.
- [2] J. Paulo Davim (2014) *Machining of Titanium Alloys*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014 doi: 10.1007/978-3-662-43902-9.
- [3] Gaurav G, Sharma A, Dangayach G S, et al. Bibliometric analysis of machining of titanium alloy research[J]. *Materials Today: Proceedings*, 2020. doi:10.1016/j.matpr.2020.10.217 2214-7853/
- [4] Ezugwu E, Wang Z (1997) Titanium alloys and their machinability—a review. *J Mater Process Technol* 68(3):262–274.
- [5] oskoboinikov R, Lumpkin G, Middleburgh S (2013) Preferential formation of Al selfinterstitial defects in c-TiAl under irradiation. *Intermetallics* 32:230–232.
- [6] Hosseini A., Kishawy H.A. (2014) Cutting Tool Materials and Tool Wear. In: Davim J. (eds) *Machining of Titanium Alloys. Materials Forming, Machining and Tribology*. Springer, Berlin, Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-662-43902-9\_2
- [7] Niknam S A, Khettabi R, Songmene V. Machinability and machining of titanium alloys: a review[J]. *Machining of titanium alloys*, 2014: 1-30.
- [8] L. C. Zhang, *Precision Machining of Advanced Materials (KeyEngineering Materials, 2001)*.
- [9] A. Amin, A.F. Ismail and M. Nor Khairusshima // *Journal of Materials Machining Technology* 192 (2007)
- [10] Stupnytskyy V., Hrytsay, I.: *Simulation Study of Cutting-Induced Residual Stress*. In: *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE-2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019, 341-350 (2020)
- [11] Hall, Stephanie, et al. "Computational and experimental investigation of cutting tool geometry in machining titanium Ti-6Al-4V." *Procedia CIRP* 86 (2019): 139-144.
- [12] V. Stupnytskyy, She Xianning. "Comparative Analysis of Simulation Results of Hard-to-Cut Materials Machining by Coated Cutting Tools", *Journal of Mechanical Engineering - Strojnícky časopis*, vol. 70, no.2, pp. 153 – 166, 2020
- [13] *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications[M]*. John Wiley & Sons, 2003.
- [14] Q. Yang, Z. Liu, Z. Shi, et al. Analytical modeling of adiabatic shear band spacing for serrated chip in high-speed machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71:1901–1908, 2014. doi.:10.1007/s00170-014-5633-x
- [15] Ozel, T. and Karpat, Y., 2007, "Identification of constitutive material model parameters for high strain rate metal cutting conditions using evolutionary computational algorithms", *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 22, pp. 659-667.
- [16] Vijay Sekar, K. S., and M. Pradeep Kumar. "Finite element simulations of Ti6Al4V titanium alloy machining to assess material model parameters of the Johnson-Cook constitutive equation." *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 33.2 (2011): 203-211.
- [17] Liu, Cen, et al. "Benchmarking of several material constitutive models for tribology, wear, and other mechanical deformation simulations of Ti6Al4V." *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 97 (2019): 126-137.
- [18] Zitoune R, Krishnaraj V, Davim JP (2013) Laser assisted machining of titanium alloys. *Mater Sci Forum* 763:91–106. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.763.91
- [19] Ezugwu E (2005) Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. *Int J Mach Tools Manuf* 45:1353–1367. doi:10.1016/j.ijmachtools.2005.02.003
- [20] Maurotto, Agostino, et al. "Analysis of machinability of Ti-and Ni-based alloys." *Solid state phenomena*. Vol. 188. Trans Tech Publications Ltd, 2012.

- [21] Patil Sandip, Joshi Shashikant, Tewari Asim, Joshi Suhas S. (2014) *Modelling and simulation of effect of ultrasonic vibrations on machining of Ti6Al4V*. *Ultrasonics* 54., 2014, p.694-705.
- [22] Cakir, Fatih Hayati, et al. "Finite element modeling of ultrasonic assisted turning of Ti6Al4V alloy." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 195 (2015): 2839-2848.
- [23] Parida, Asit Kumar, and Kalipada Maity. "FEM and experimental analysis of thermal assisted machining of titanium base alloys." *Measurement* 152 (2020): 107292.DOI: 10.1016/j.measurement.2019.107292
- [24] Khanna, Navneet, et al. "Inconel 718 machining performance evaluation using indigenously developed hybrid machining facilities: experimental investigation and sustainability assessment." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 106.11 (2020): 4987-4999.
- [25] Haron C, Ginting A, Arshad H (2007) *Performance of alloyed uncoated and CVD-coated carbide tools in dry milling of titanium alloy Ti-6242S*. *J Mater Process Technol* 185:77–82. doi:10.1016/j.jmatprotec.2006.03.135.
- [26] Che-Haron CH (2001) *Tool life and surface integrity in turning titanium alloy*. *J Mater Process Technol* 118:231–237. doi:10.1016/S0924-0136(01)00926-8.
- [27] Zoya Z, Krishnamurthy R (2000) *The performance of CBN tools in the machining of titanium alloys*. *J Mater Process Technol* 100:80–86. doi:10.1016/S0924-0136(99)00464-1
- [28] Yongsheng Su, Liang Li, Gang Wang, Xiangqiang Zhong. *Cutting mechanism and performance of high-speed machining of a titanium alloy using a super-hard textured tool*. *Journal of Manufacturing Processes*, 34(A): 706-712, 2018. doi:10.1016/j.jmapro.2018.07.004
- [29] R.B. Da Silva, J.M. Vieira, R.N. Cardoso, H.C. Carvalho, E.S. Costa, A.R. Machado and R.F. De Ávila. *Tool wear analysis in milling of medium carbon steel with coated cemented carbide inserts using different machining lubrication/cooling systems*. *Wear*, 271(9–10): 2459-2465, 2011. doi:10.1016/j.wear.2010.12.046.
- [30] Shane Y Hong, I. Markus and Woo-cheol Jeong. *New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(15):2245-2260, 2001. doi:10.1016/S0890- 6955(01)00041-4

**Xuhong Wei, Vorontsov B.S.** (Ukraine, Kyiv, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”)

## **PROCESS SIMULATION OF AUTOMATIC PRODUCTION LINE BASED ON TECNOMATIX**

*On the basis of tecnomatix software technology, through mathematical modeling, assist the existing equipment to establish a flexible automated production line, establish a production line simulation environment<sup>[1]</sup>, based on the simulation environment, simulate the process flow, and form an innovative production plan. Analyze the problems in the simulated production process, propose optimization plans and improvement suggestions, improve the visibility and predictability of the production process, thereby reducing the impact of product changes, greatly reducing the testing and installation process, reducing the root cause analysis time, and refer to the standard Mathematical modeling to analyze production quality errors.*

### **1 INTRODUCTION**

Tecnomatix software is a comprehensive set of digital manufacturing solutions that can digitally transform the process flow through simulation. Tecnomatix simulation is to use software to simulate and debug a flexible automated production line composed of existing equipment. It can accurately formulate the manufacturing process and realize automatic data collection at the manufacturing end, thereby shortening the planning time and better ensuring the reasonable planning of process plans and resources. Optimize the allocation of resources to lay the foundation for the establishment of a complete digital system<sup>[2]</sup>. Inspection of the manufacturing process in a virtual environment can reduce and reduce actual errors and delays, make reasonable planning, improve the resource utilization rate of the entire manufacturing system, increase production efficiency, reduce corresponding costs, and increase competitiveness.

The overall simulation process of the automated production line

The Tecnomatix software simulation process includes production line layout and optimization, equipment modeling, production line basic model creation, mechanism motion planning and simulation, part process implementation process, production process planning and logic simulation, and operational data collection and verification.

The basic idea of simulating the process of automated production line is: firstly, the actual two-dimensional layout of the production line is surveyed and mapped, and then according to the actual production line equipment model, a 1:1 three-dimensional model is established using software such as NX, and the three-dimensional layout is performed according to the two-dimensional drawing.



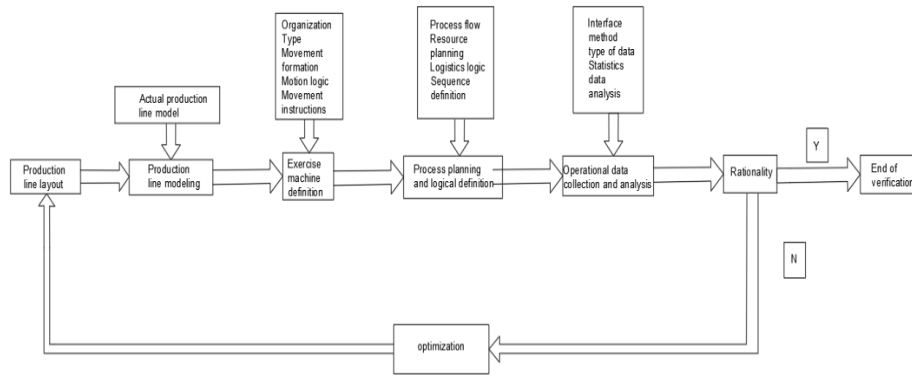


Figure1:Production flow chart

Each equipment in the bureau assigns organization definition and logic control, and then simulates the operation of the overall production line, collects and analyzes the data, analyzes its rationality, compares the simulation plan with actual production, and draws expected conclusions.

## 2AUTOMATIC PRODUCTION LINE SIMULATION AND PROCESS VISUALIZATION ESTABLISHMENT

- 2.1.Create a virtual environment
- 2.2. Actual size surveying and mapping
- 2.3. Establish a preliminary layout

## 3 IMPORT RESOURCE FILES

Import resource files such as structural parts, machine tool equipment, production line environment, fixtures, transmission lines and robots into the resource library

### 3.1 Establish process planning and simulation

The actual planned production process is verified on the simulated production line, and planning and simulation are carried out in the simulated production line to achieve rationalization and standardization, and achieve the expected process planning effect. The Tecnomatix software classifies and manages the imported resources. After the model conversion is completed, the resources are loaded in the navigation tree window, etc., and the corresponding operation commands (Device operation,Gripper operation and other operating instructions), equipment, tooling and other models are allocated to the corresponding processes according to the process tasks, and the process timeliness are formed.

### 3.2 Process line path planning and design

After the simulation production line is established, in a visual environment containing the required tooling, tools, and product 3D models, follow the process steps to plan the zero

Process procedures and processing paths of components, such as robots grasping and processing workpieces, movement of machine tool spindles, opening

and closing of equipment doors, disappearance and appearance of logistics, etc., and form the process operation path of the entire production line

Plant Simulation is used to optimize throughput, relieve bottlenecks and minimize work-in-process. The simulation models take into consideration internal and external supply chains, production resources and business processes, allowing you to analyze the impact of different production variations. You can evaluate different line production control strategies and verify synchronization of lines and sublines. The simulation model lets us define various material flow rules and check their effect on the line's performance by comprehensive analysis tools, including bottleneck analyzer, Sankey diagrams and Gantt charts.

### 3.3 Process path simulation

According to the process path design, simulate the process process to ensure the feasibility of the path and verify the processing sequence, process path, and components of the parts

Whether the operation process of moving and clamping is reasonable <sup>[4]</sup>, to ensure that the parts can move along the expected processing path without interference, and to check the rationality of the processing process, and form a process chronology diagram. The process can be adjusted, and the process can be optimized through simulation verification, and finally a reasonable processing path can be obtained. After verifying the rationality of the actual machining process on site through simulation simulation, the same process flow is operated on the actual production line equipment, and combined with the actual production situation, the final more optimized process flow is obtained, and then applied to the final production process.

### 3.4 Interference analysis during processing

Tecanomtix software has a collision and interference check function. There are many types of interference inspection, and the corresponding interference inspection method can be selected according to different inspection objects.

Method: Set the minimum gap between parts and perform interference checking during the movement of the simulation model to verify whether there is interference between parts during the machining process<sup>[5]</sup>, during the movement of each equipment model, and during the transfer process of converting machining positions. According to the interference detection results, adjust the processing sequence or processing path to achieve optimization and improve the rationality of the process.

## 4 SYSTEM IMPLEMENTATION

In the traditional manufacturing process, planning, production, quality, and statistics are basically controlled by humans. The manufacturing is difficult, the production organization is difficult, the integration between equipment is poor, and the two-dimensional drawings and text descriptions in the traditional manufacturing process, It may be due to poor understanding of production personnel, resulting in process understanding deviation, affecting efficiency and quality. Through Tecnomatix software simulation process, process documents and

animations are associated, effective management<sup>[6]</sup>, production and layout are realized, the utilization rate of the overall production line is improved, and the layout and staffing are optimized.

## 5 CONCLUSION

Through the application of Tecnomatix software, the process simulation and verification of the automated production line is realized, the visualization level is improved, and the manufacturing enterprise can better adapt to the new products and new management models, through simulation and verification, provide some optimization and improvement ideas for planning and construction, optimize resource allocation, and lay a solid foundation for the establishment and improvement of digital systems. From a global perspective, automated production is the future Development direction, while automated production simulation can also improve and upgrade traditional automated intelligent manufacturing.

## REFERENCES

- [1] Liu Weicheng, Zhou Weijiang, Mao Guohua, etc. *Automated assembly production based on RaLC Line virtual simulation verification*[J]. *Electromechanical Information*, 2019, (11): 47-48.
- [2] Ondrej Kurkin and Michal Simon. *Optimization of Layout Using Discrete Event Simulation*. IBIMA Publishing, Vol. 2011 (2011), Article ID 180343, 10 p.
- [3] Yuan Yongjian, Zhou Yaohua, Wang Yingjian. *Tecnomatix-based assembly process design and*
- [4] *Simulation*[J]. *Aviation Manufacturing Technology*, 2016, (7): 97-100.
- [5] Luan Hao, He Wensong, Fang Honggen. *Three-dimensional assembly process planning based on Tecnomatix Research* [J]. *Combined extra bed and automated processing technology*, 2014, (4): 42-45.
- [6] Antonelli, D.; Stadnicka, D. (2018). *Combining factory simulation with value stream mapping: acritical discussion*, *Procedia CIRP*, Vol. 67, 30-35, doi:10.1016/j.procir.2017.12.171

**Slobodan Adžić<sup>1</sup>, Marijana Milunović<sup>2</sup>, Goran Đoković<sup>3</sup>** (<sup>1,2</sup>*University Union-Nikola Tesla in Belgrade, Faculty of Management, Sremski Karlovci;* <sup>3</sup>*Modern Business School, Belgrade, Belgrade, Serbia*)

## MOTIVATION AND CULTURE AS FACTORS OF DEVELOPMENT OF MULTINATIONAL COMPANIES

*Motivation and culture are a significant factor for the progress and development of the business of multinational companies. By analyzing examples from practice, the paper presents the business and results of the multinational company Enron. The authors in the paper, through the business of Enron, point out the specifics of motivation and culture from many available sources. By presenting the example, the authors want to point out the importance of business ethics in corporate governance, changes that need to be introduced in theory and practice to reduce the likelihood of negative action, which includes greed and deception.*

### 1. The rise and fall of Enron

During the late 1990s and early 2000s, Enron was a trading powerhouse [1]. The firm started as a gas pipeline company, started trading energies, then metals paper, water, weather and bandwidth. That was the time of Reaganomics in USA and Thatcherism in UK, when government seeks to replace government regulation by that of the market [2]. That was the New Economy, a decisive period of transformation, and the first since Taylor, Fayol and Ford [3].

Kenneth Lay formed the company by merging Houston Natural Gas and InterNorth in 1985, with a mountain of debt. He attracted subordinates who wanted to seize the opportunities of the rapid deregulation of energy market, as Rebecca Mark, “Mark the Shark”, the CEO of Enron International and Jeff Skilling, “Darth Vader”, the CEO of Enron Finance Corp, then of whole corporation. A fierce rivalry developed between them. Skilling came with the idea of forming a “gas-bank”. His vision was to trade energies the way Wall Street trades capital. Mark’s biggest deal was power plant in Dabhol, India, the electricity four times as expensive as other available electricity. Project collapsed in 1996, but using political influences, in year 1988 the project was a stunning success, and she made the cover of Forbes magazine, together with over \$20 million bonuses.

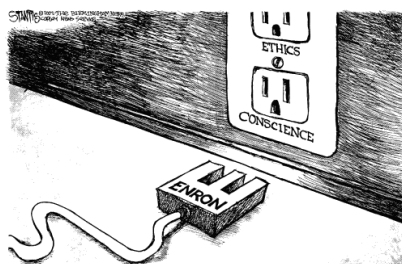


Fig. 1. Enron cartoon [4]

Enron start with hiring spree, and Skilling established a harsh corporate culture that pitted employees against one another, with help of Performance Review Committee, also known as “rank and yank”. In 1993 Enron had formed JEDI and in 1997 Chewco Investment. Chewco would allow Enron to keep JEDI’s debt off its balance sheet. The creator was Andrew Fastow, CFO. In 1998, Mark paid \$2.2 billion for Wessex Water in UK, wishing to enter water trading market and to be as far as possible from Skilling. New venture, Azurex, after Mark resigned in August 2000, was sold for a fraction of the price Enron had paid.

Skilling and Fastow were carefully played the game with investments bank, whose equity analysis must rate a stock for investors at the same time its investment bankers are wooing that firm as a client. Enron played the game skillfully, constantly doing deals: buying, selling and merging firms, so every firm on Wall Street rated Enron’s stock a “buy”. They had also excellent connections with politicians, Enron and its executives paid \$5.8 million for many political campaigns. Press and media just loved them, HBR praised [5]: “Like the outlaw Willie Sutton, who robbed banks because that’s where the money was, Enron managers embraced uncertainty because that’s where the juicy opportunities lay.” Luckily we don’t have nowadays Robbers Behaviour as an elective on our MBA.

To hide the further losses, Fastow proposed in 1999 a new venture LJM, after the initials of his wife and two sons. The company was managed by him. Larger and dubious ventures followed: LJM 2 and Raptors I, II, III, and IV. In February 2001, Lay passed the title of CEO to Skilling, but on 13<sup>th</sup> July, Skilling resigned. In August Lay received an anonymous memo that opened: “Has Enron become a risky place to work?”, but he was assuring everybody that Enron is in a good shape. In October, Enron had write-off \$1.2 billion shareholders equity. By the end of October, Enron was under investigation by the SEC, and Fastow left the company. SEC discovered more debts, \$2.6 billion. To save the company Enron proposed a merger deal with Dynergy, but its credit rating downgraded to below investment grade. That day 182 million shares of Enron stock changed hands, setting a record for one-day volume in a single stock on the NYSE. On 2<sup>nd</sup> December, Enron filed for bankruptcy.

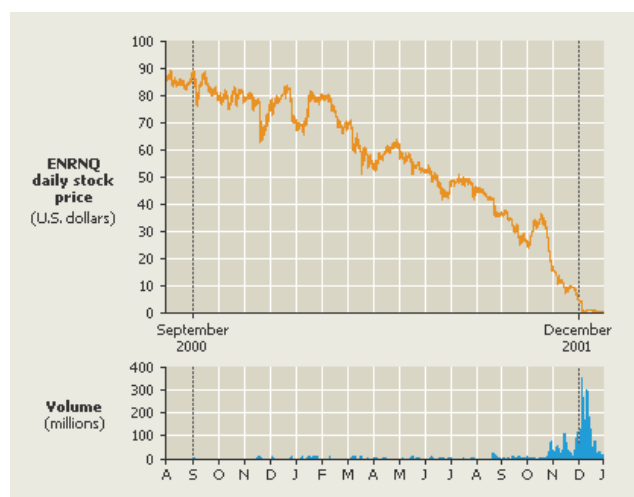


Fig. 2. Enron stock report [6]

Company who was 7<sup>th</sup> in Fortune 500, with 21,000 employees, crashed. Stock price dropped from \$90.56 on 23<sup>rd</sup> August 2000 to \$0.29 on 2<sup>nd</sup> December 2001. Enron's auditor, Arthur Andersen, is just a ruin of a former firm.

### 3. Motivation in Enron

What was the reason for getting out of bed in the morning for Enron employees? Whether that reasons have been the same for workers and executives? There are several models suitable for explanations of motivation factors in Enron. First, we can start with Maslow's model. According to Maslow we can differentiate five basic human needs [7]:

1. *Physiological*: salaries, wages and working conditions.
2. *Security*: job tenure, career paths, pension and health care plan.
3. *Social*: interactions with colleagues, social and sport facilities.
4. *Ego*: achievement, responsibility, works enhancing, recognitions and promotions.
5. *Self actualizing*: encouragement of complete employee commitment.

Enron was paid well and much, about 2000 people become millionaires in Enron era. Rise of Enron was paradise for sport cars' dealers in Houston. Almost all employees loved the thrill of the job. When Sherron Watkins wrote her famous warning letter to Enron Chairmen Kenneth Lay, warning him of the impending scandal, she stays at the company, desperately trying to climb the ladder to bigger perks and bonuses [8]. For her, Enron was an electrical place to work, limited only by what its employees could imagine [9]. Watkins is today a lionized hero in America, everywhere except in her home town, Enron's residence, Houston. She said [10]: "They blame me for spoiling all the fun". It was not just about money, it was something more. We can find Enron employees on fourth level of Maslow's hierarchy of needs; they did fulfill their egos in Enron's environment, especially the top MBA all-risks-taking recruits.

We can define the way Enron employees worked on job as "emotion" work [11], because the risky way in which employees deliver its service in Enron, its eighteen hours working days, was important aspect of the service itself.

Enron brokers were the high-need individuals according to Ritchi and Martin motivation profile theory [12]. They developed 12 motivational drivers, and the sequence of the drivers fit into Enron's employees drivers: interest and achievement are far ahead money. Jan Avery, sacked employer, actually missed the thrill of the job, not \$300,000 salary. "Rank and yank" policy definitely resulted in sacking of the low-need individuals from Enron, the individuals who had no motivation for achievement and who were indifferent to money as a motivator.

"The *process* through which outcomes become desirable is explained by the expectancy theory of motivation [13]." The theory assumes that human behaviour is rational, and that humans are conscious of their motives. The force (F) of motivation to work is the result of the product of valence (V), instrumentality (I), and expectancy (E), or:

$$F = \sum_{i=1}^n (V_i \cdot I_i \cdot E) \quad (1)$$

Enron employees perceived that they will be ranked or yanked every year as result of its effort and outcomes. To achieve seven figures bonuses, many of them spent hours and hours on job. The 1/7 of employees was culled every year, 15-20% was damaged goods, they deserved to go out immediately, or to move in the Office of Shame, if they had the luck.

For some of employees the company was above everything, they changed wife for strippers, the work was centre of life, and they identified self with Enron toxic culture totally. There are potential benefits of identification, as: enhancing self esteem, transcending self, meaning, belonging, and raising aspirations, but “identification that becomes rigid idolatry is harmful to the individual, and can also harm the focal entity by tolerating or encouraging rigidity, overconformity, group-enforced tyranny, stereotyping, and demonization of outgroups [14].” We can find that identification in Enron case actually goes wrong.

Irrationality plays an important role in human decision-making [15]. Psychoanalysis takes seriously the unconscious motivation and from Freud to the present they claim that irrationality is at the centre rather than the periphery of human being. Cognitive psychologists claim that perceptions as well as mental processes take place below the level of conscious awareness. Theory of cognitive dissonance holding that the human mind has an innate drive to maintain consistency between its pre-existing attitudes and the information it receives. This dissonance manifests in various types of bias, what was more then evident in Enron case [16]:

1. Confirmatory bias, which involves misreading of evidences that contradict one’s initial beliefs.
2. Belief perseverance, which is tendency of people to construct “theories” and then to disregard evidence that contradicts their first impressions.
3. Entity effect, whereby peoples’ hypotheses often take on a life on their own.
4. Motivated reasoning, which refers to the tendency of people to believe they privately already desired to obtain.
5. Group cohesion, which is strong motivation to resist evidence that a group course of action wrong move.
6. False consensus effect, a tendency to think that others share one’s own attitudes, beliefs and inferences.

How could they fool so many people so long? One reason is the halo effect; another is that most people have a self-serving bias that influences the way that they interpret information [17].

But, when Enron situation start to change from a rosy one, executives start to sell their shares. 29 key executives sold 17-million Enron shares for \$1.1 billion

in last 3½ of Enron years [18]. They lost the thrill; it was just the hunger for money, need for security, and a fall on second level of Maslow’s hierarchy of needs. For workers, that were definitive the maintaining of psychological needs, they just struggled for life; many of them lost houses, families ... and some of them even lives.

#### 4. Culture in Enron

Organisational culture is “the system of meanings which are shared by members of an organisation and which defines what is good and bad, right and wrong and what are the appropriate ways for the members of the organisation to think and behave [6].” In Enron, culture was oriented towards the purposes of executives’ staff and key players.

Literature is very rich, but precious, about Enron’s culture:

- A culture of arrogance and greed was evident among Enron’s top executives, its board of directors, and key employees [19].
- ...the unbridled greed, the byzantine financial deals. At Enron, he (Skilling) inspires an “almost cultlike” loyalty among followers by giving talented but sometimes eccentric employees free rein to chase new ideas and megabonuses for their successes [20].
- Start with arrogance. Add greed, deceit, and financial chicanery [21].
- ...contained the seeds of its collapse, a culture of highly questionable financial engineering, misstated earnings and persistent efforts to keep investors in the dark [22].
- A culture of secrecy and a remarkable lack of transparency prevented any realistic assessment of the company’s financial risk [23].
- ...different and mysterious world [24].

William C. Powers, the chairman of a special committee on Enron’s board, stated in his final report [25]: “A flawed idea, self-enrichment by employees, inadequately designed controls, poor implementation, inattentive oversight, simple and not-so-simple accounting mistakes, and overreaching in a culture that appears to have encouraged pushing the limits”.

For exploring the culture phenomena in Enron, we will use Edgar Schein’s model of culture (Fig. 3) [26].

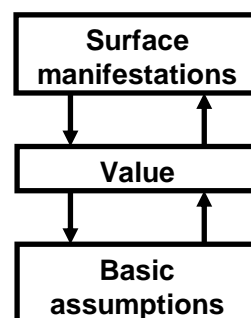


Fig. 3. Schein’s three levels of culture [26, p. 644]



Culture is fundamentally based on the sharing of basic assumptions. Pattern of assumptions are learned, discovered or developed during past learning process in coping with problems, and new members should be taught to them. Assumptions lie behind the values, which determine the behaviour pattern and surface manifestations of organization culture.

The best way of understanding the assumptions of organisation is to start with surface manifestations in Enron case. Enron's employees loved expensive sport cars; they always stayed in best hotels; executives heavily used company's jets; they had the Office of the Shame, as well as Hottie Board, or the rank of sexiness of female employees, all that we can recognise like artefacts. Their ceremonies were expensive Christmas parties and stripper clubs visiting after hard work. Skilling was a hero; he was inspiration for all employees, especially newcomers. Their norms were cruel, but in the same time rewarding; that was Rank and Yank policy. Former CIA and FBI agents were used for espionage of employees, mail was read, and phone calls were listened. Language was also specific; they were influenced by the movie *Stars Wars*. Employees referred to the corporate headquarter as the *Death Star* and to Skilling as *Darth Vader* [27]. SPE [28] or Special Purpose Entities (read: debt laundering firms) received names as JEDI or Chewco (from Chewbacca, movie character). Jokes in Enron were based on mental toughness; they played a parody of *The Wizard of Oz* [29], or how to trade without heart and brain, just with courage, like Lion from the story. Their rituals were something as work hard, play hard, risk everything; and the main motto was: *World Leading Company*.

## Conclusion

Enron's culture was morally flexible, in line with the needs of his leaders. Today, *Enronomics* has become synonymous with a culture of fast spending and short-term orientation. All that influenced his collapse. The culture and motivation of multinational companies must be in line with legal and ethical principles. Growth and development can only be achieved by companies that operate without conflicts of interest, companies that are focused on preserving and increasing assets.

## REFERENCES

- [1] Web site: <http://www.riskglossary.com/link/enron.htm> (17.12.2020.).
- [2] Du Gay, P. and Salaman, G. (1992): "The cult[ure] of the customer", *Journal of Management Studies*, 29(5), p. 427.
- [3] Thompson, P. and McHugh, D. (2002): *Work Organisations. A Critical Introduction* (3<sup>rd</sup> Edition), Palgrave, UK, p. 149.
- [4] Web site: <http://politicalhumor.about.com/od/enroncartoons/>.
- [5] Eisenhardt, K. M. and Sull, D. N. (2001): "Enron: Simple Rules and Opportunity Logic", *Harvard Business Review*, January 2001, p. 114.
- [6] Web site: <http://www.cnn.com/SPECIALS/2002/enron/> (3.12.2020.).
- [7] Morgan, G. (1986): *Images of Organizations*, Sage Publications, USA, p. 43.
- [8] Zellner, W. (2003): "An Insider's Tale of Enron's Toxic Culture", *Business Week*, 31/03/2003.

- [9] Collof, P. (2003): "The Whistleblower", *Texas Monthly*, April 2003, p. 142.
- [10] Collof, P. (2003): "The Whistleblower", *Texas Monthly*, April 2003, p. 121.
- [11] Noon, M. and Blyton, P. (1997): *The Realities of Work*, Macmillan Press, UK, p. 121.
- [12] Buchanan, D. and Huczynski, A. (2004): *Organisational Behaviour: An Introductory Text (5th Edition)*, FT Prentice Hall, UK, p. 247-249.
- [13] Buchanan, D. and Huczynski, A. (2004): *Organisational Behaviour: An Introductory Text (5th Edition)*, FT Prentice Hall, UK, p. 253.
- [14] Meal, F. A. and Ashforth, B. (2001): "Identification in work, work sport and religion: contracting the benefits and risks", *Journal of the Theory of Social Behaviour*, 31(2), p. 215.
- [15] Cohan, J. A. (2002): "'I Didn't Know' and 'I Was Only Doing My Job': Has Corporate Governance Careened Out of Control? A Case Study of Enron's Information Myopia", *Journal of Business Ethics*, 40(3), p. 275-299.
- [16] Cohan, J. A. (2002): "'I Didn't Know' and 'I Was Only Doing My Job': Has Corporate Governance Careened Out of Control? A Case Study of Enron's Information Myopia", *Journal of Business Ethics*, 40(3), p. 283-285.
- [17] Dowling, G. R. (2004): "Corporate Reputations: Should You Compete on Yours?", *California Management Review*, 46(3), p. 23.
- [18] Watson, T. J. (1997): *Sociology, Work and Industry*, Routledge, UK, p. 276.
- [19] Rezaee, Z. (2002): "The Three Cs of Fraudulent Financial Reporting", *Internal Auditor*, October 2002, p. 58.
- [20] Zellner, W. (2003): "An Insider's Tale of Enron's Toxic Culture", *Business Week*, 31/03/2003.
- [21] McLean, B. at al. (2001): "Why Enron Went Bust", *Fortune (Europe)*, 24/12/2001.
- [22] Emshwiller, J. R. and Smith, R. (2001): "Corporate Veil: Behind Enron's Fall, A Culture of Operating Outside Public's View", *The Wall Street Journal (Eastern Edition)*, 5/12/2001.
- [23] Editorial (2001): "Enron: Let Us Count the Culprits", *Business Week*, 17/12/2001.
- [24] Dowling, G. R. (2004): "Corporate Reputations: Should You Compete on Yours?", *California Management Review*, 46(3), p. 23.
- [25] Cohan, J. A. (2002): "'I Didn't Know' and 'I Was Only Doing My Job': Has Corporate Governance Careened Out of Control? A Case Study of Enron's Information Myopia", *Journal of Business Ethics*, 40(3), p. 277.
- [26] Buchanan, D. and Huczynski, A. (2004): *Organisational Behaviour: An Introductory Text (5th Edition)*, FT Prentice Hall, UK, p. 643-650.
- [27] Web site: <http://www.riskglossary.com/link/enron.htm> (17.12.2020.).
- [28] Tonge, A. et al. (2003): "The Enron Story: You Can Fool Some of the People Some of the Time...", *Business Ethics: A European Review*, 12 (1), p. 6.
- [29] Stewart, T. A. (2004): "Laughter, the Best Consultant", *Harvard Business Review*, February 2004, p. 35.

**Gordana V. Jelić, Vladica Stojanović, Dejan Stošović, Ivan Božović** (*Faculty of Technical Sciences, University of Kosovska Mitrovica, Serbia*)

## **SUSTAINABLE DEVELOPMENT: DEVELOPMENT PERSPECTIVE OF SERBIA**

*The paper analyses the strategic documents adopted by Serbia, the extent to which the basic ideas and principles of sustainable development are present in these strategies. By adopting the National Strategy for Sustainable Development, Serbia has accepted that sustainable development should become its permanent development commitment. Having in mind the traditional approach to the concept of sustainable development, it can be determined that most of the adopted strategic documents are in line with the National Strategy for Sustainable Development. The reasons for that are certainly in the fact that the state or administrative structures have understood the essence of sustainable development and the opportunities it provides, and therefore the idea of sustainable development should be approached strategically because sustainable development strives to establish a balance between different dimensions of development: economic, environmental and social.*

### **1. Introduction**

Sustainable development is not a matter of choice, but the necessity of the principles of sustainability that have to be integrated into all development plans, primarily because Serbia bases its development on sectors that depend on natural resources. In order to ensure more intensive, long-term sustainable economic development and improve the competitiveness of the economy, structural changes must be made in the economic sphere of Serbia. World Economic Crisis 2008-2011 showed strong structural problems and became a challenge for science and the political structures of the country. The global economic crisis has exposed the weaknesses of our economy and its institutions to take appropriate measures.

### **2. Sustainable Development**

The concept of sustainable development connects environmental protection with social development planning, economic and political issues [1, 3, 5]. It represents a new development program, a new strategy of social development which implies a balanced relationship of natural resources, economic development and ecology, in order to preserve the health of present generations, and preserve the economic wealth of the planet for future generations. There are many reasons for accepting the concept of sustainability as a condition for the survival and progress of humanity, and in the first place there are strong moral reasons for today's generations to leave their descendants an equal chance for development, as they existed in the past and today. Today's generations must not endanger the same right to future generations by exploiting resources and the environment. Nature is a value in itself and that is the reason why man has a responsibility to nature as a whole and not only to future generations, therefore preserving the diversity of the whole living world, there is justification in the view that man as a part of nature

has no right to change it and any activity that disrupts the diversity of the living world or the richness of resources is unacceptable.

Justifying the concept of sustainability, with economic arguments, leads to inefficient economic development, in the sense of increasing waste of natural resources and energy. The fact is that the global economy depends on the stability of the biosphere to provide the constant reserves of resources necessary to meet the basic human needs for life as they live today, such as food, water and energy.

The pursuit of raw materials as a source of food, building material or energy is a constant aspiration of human society. In order to ensure the sustainability of human society, three topics prevail:

- the exploitation of ores, especially coal and wood;
- the exploitation of surface soil resources, especially forests and
- the effects of population growth [4].

The concept of sustainable development requires balancing economic, social and environmental requirements for the benefit of both present and future generations. To ensure the integration of sustainability requirements into development policies and their implementation in practice, Serbia has prepared and implemented the National Strategy for Sustainable Development Serbia (NSSD-S). NSSD-S considers the main challenges facing Serbian society and formulates a vision for sustainable development. The vision of sustainable development of Serbia is derived from: economic development, ethical, cultural and finally ecological vision, i.e., the requirements for environmental protection and sustainable management of natural resources, while promoting joint action between development and environmental protection and bearing in mind the right of future generations to the quality of life.

To ensure the sustainable development of a society, a comprehensive approach to the management of complex social processes and a careful balancing of economic, social and environmental goals and natural resources is necessary. Sustainable development also requires the engagement of all social actors and constant dialogue in order to overcome the patterns of unsustainable growth and development, and provide the final results that will bring the greatest benefit to society as a whole, taking into account the future and prosperity. NSSD-S contributes to the improvement of regional cooperation, which is a precondition for peace and stability, i.e., for sustainable economic development and environmental protection.

The process of drafting the NSSD-S is a step in that direction, in the direction of sustainability and responsibility. By establishing the Environmental Protection Agency, the Government of Serbia has made a significant step in implementing EU goals and standards regarding environmental protection, and finding answers and solutions to a large number of environmental problems, which are increasingly present with the development of human society.

### **3. Definition of Sustainable Development**

There are several definitions of sustainable development, what is meant by this term and process. The most appropriate definition is given in the National Strategy for Sustainable Development of Serbia. Thus, sustainable development is defined "as a long-term concept that implies constant economic growth which, in addition to economic efficiency, technological progress, cleaner technology, innovation of the whole society and socially responsible business, provides poverty reduction, long-term better use of resources, health and quality of life and reducing pollution to a level that can be withstood by environmental factors, preventing new pollution and preserving biodiversity" [7]. This definition of sustainable development greatly expands the original understanding of sustainable development. The most commonly cited definition, which has managed to avoid such pitfalls, is the one given in the book *Our Common Future*, created as a 1987 report by the World Commission on Environment and Development. According to this definition, sustainable development is "the development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" [8].

We can accept this as an official definition of sustainable development, even if there are many different interpretations of what sustainable development is and what it actually refers to. The same is the case with the criteria that must be met and constantly applied in practice, social, economic and environmental, in order for the process of sustainable development to gain efficiency. Thus, the interpretation of the principles of sustainable development comes from the United Nations and the Declaration on Environment and Development from Rio, the definition of sustainable development is expanded by listing 18 principles of sustainability.

### **4. Dimensions of Sustainable Development**

Sustainable development combines three dimensions: environmental sustainability, economic efficiency and social responsibility. This concept of the term is known as the "three-pillar model" [2].

The ecological dimension deals with the preservation of the diversity of all living beings on the planet, the preservation and rational use of natural resources, the reduction of environmental pollution, the care of endangered species, their habitats, and the like. There are five areas on which the ecological dimension of sustainable development is monitored: atmosphere, land, oceans, seas, water and biodiversity.

The social dimension refers to social relations, respect for human rights, achieving social well-being, transparency of social activities, involvement of people in decision-making and it is monitored through five areas: health, social justice, education, population, security and housing.

The economic dimension of sustainable development is based on the principles of harmonization of economic development with resources and

production capacities and it is observed through two areas, namely: production and economic structure and consumption [6].

The National Strategy for Economic Development of the Republic of Serbia also recognizes these three pillars of sustainable development. In the part of the Strategy that deals with the economic dimension of sustainable development, the basic assumptions are given, when it comes to the economy of the Republic of Serbia, which are based on knowledge, as the most important resource of today. Further, specific goals and selection of appropriate economic policy, further transition flows, sustainable production and consumption, education and other areas included in the concept of sustainable development within the economic pillar were presented.

The part of the Strategy that deals with the social dimension of sustainable development analyses social values, quality of life and social well-being, population policy, social security, poverty, gender equality, public health and many other indicators.

The third pillar of sustainable development presented in the Strategy is the ecological dimension and it analyses the issues of protection of natural resources: air, water, land, biodiversity, forests, mineral resources and renewable energy sources.

All three dimensions of sustainable development are connected by the existence of an adequate institutional framework, which is a necessary precondition for the implementation of goals, measures and policies of regional development. That is why in recent scientific analyses and conclusions, the institutional framework has been highlighted as the fourth dimension of sustainable development.

## **5. National Strategy for Sustainable Development of Serbia (NSSD-S)**

The first National Strategy for Sustainable Development of Serbia (NSSD-S), adopted in 2007, was a step in the effort to concretize and implement Serbia's declarative commitment. In the period when it was drafted, it relied on the guidelines and goals of the then strategic documents, the Strategy for Development and Poverty Reduction at the national level, as well as the Mediterranean Strategy for Sustainable Development, the conclusions of two world summits on sustainable development and their key documents.

Since its adoption, the NSSD-S has undergone a revision through the evolution process in the part of its Action Plan when a number of objectives have been revised.

By adopting the UN Agenda in 2015, Serbia has made a decisive turn on the path of accelerated and sustainable development, because the principles of the Agenda provide an opportunity to shape and realize all the goals of sustainable development through a broad social dialogue.

Accordingly, the National Sustainable Development Strategy integrates its three "pillars": the knowledge-based economy, socio-economic conditions and perspectives, and the environment and natural resources. The key influence on the

harmonious functioning of the system is certainly exerted by the economy, which has a decisive influence on the social structure, but also on the quality of the environment. In order to achieve the vision of development of the Republic of Serbia determined by the Strategy, five development priorities have been defined:

- the development of a competitive market economy, balanced growth and a knowledge-based economy;
- the human resources development, increasing employment and social inclusion;
- the infrastructure development and balanced regional development;
- the rational use of natural resources and protection and improvement of the environment and
- the EU membership.

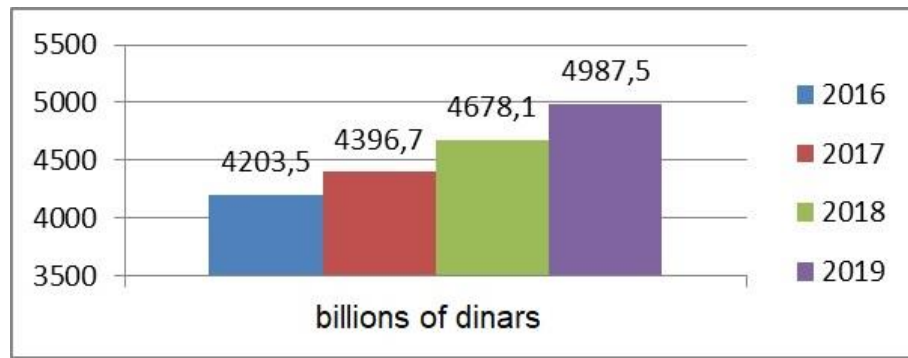
The main strategic goal of the Republic of Serbia is integration into the European Union and in accordance with that it is necessary to adapt to the trends defined in the Lisbon Strategy (2007): greater investment and the possibility of applying science, technology and education by the private and public sector; investing in training of workers and management with the aim of creating more and better jobs; flexible domestic labour markets with strong and active labour and social security policies; liberalization of trade and knowledge-based services; orientation towards the most successful models in the EU in the ability to quickly adapt to new conditions and circumstances based on:

- a) a society in which competitiveness supports social security, an efficient, flexible and accountable government;
- b) cooperation and harmonization of actions of the government and the business sector in a way that respects competitiveness and sustainable development;
- c) the need to invest in lifelong learning and training.

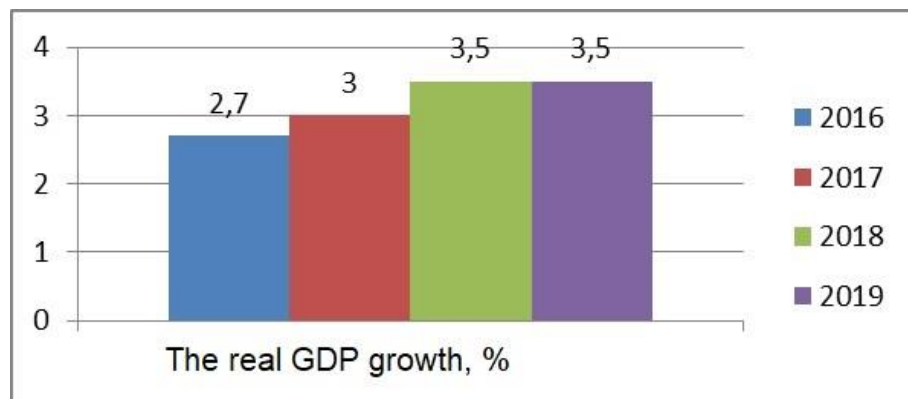
By implementing the Agenda until 2030, with the set goals in all three key elements of sustainable development, Serbia is making progress in its development which is shown in Table 1 and Figures 1-3.

**Table 1.** Projection of basic macroeconomic indicators of the Republic of Serbia

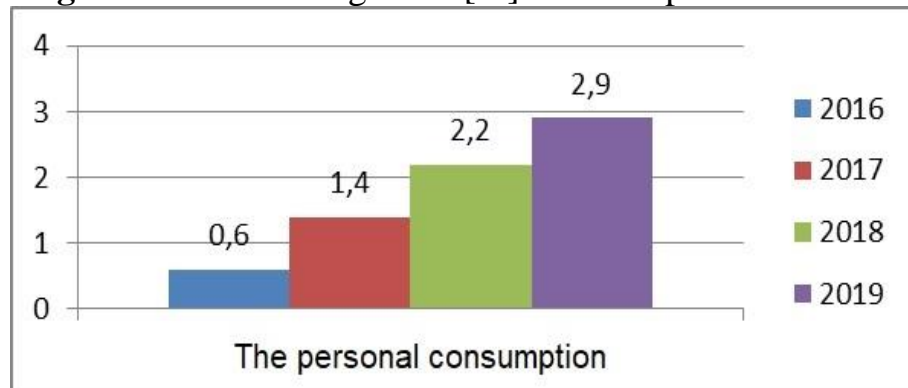
	2016	2017	2018	2019
GDP, billion dinars (current prices)	4.20 3,5	4.39 6,7	4.67 8,1	4.98 7,5
The real GDP growth [%]	2,7	3,0	3,5	3,5
The personal consumption	0,6	1,4	2,2	2,9



**Fig. 1.** Gross domestic product (GDP) of the Republic of Serbia in billion dinars (current prices)



**Fig. 2.** The real GDP growth [%] of the Republic of Serbia



**Fig. 3.** The personal consumption of the Republic of Serbia

It is clear that knowledge is the basis of everything and that human capital is the basic driver of Serbia's successful integration into world and European trends, so the knowledge-based economy must have its foundations and support in the education system. The education system, which is in many ways outdated and inefficient in Serbia, can catch up with European trends in education only if we start thinking ahead, i.e., if the principles of sustainability are built into the system, which are increasingly recognized as a necessity that has no alternative.

Sustainable development is no longer a matter of choice as it was considered in previous decades, nor is it more a matter of will, but a matter of survival. The solutions given in the National Strategy for Sustainable Development of Serbia are in line with European integration: the EU Sustainable Development Strategy and the Lisbon Strategy. The strategy is in line with the development goals of the



United Nations and the National Development Goals of Serbia, which were adopted by the Government of Serbia.

## 5. CONCLUSION

There are strong moral reasons for today's generation to leave their descendants no less chance for development than they have now. This means that the planet Earth, with its potential, must not be degraded by existing people, but deny the right of the current generation to use resources and the environment, which would jeopardize such a right for future generations.

The drafting of the text of the Sustainable Development Strategy of Serbia began at the end of 2007, within the projects assisted by the EU, which was realized through the United Nations Development Program UNDP. The development of the Strategy was preceded by the process of determining development priorities. The basic priorities have been identified, the fulfilment of which will enable the realization of the vision of sustainable development to the greatest extent by 2017, after which the UN Agenda was adopted.

## REFERENCE

- [1] Baker, S. (2006), *Sustainable development*, Routledge, London, New York.
- [2] Giddings, B., Hopwood, B., & O'Brien, G. (2002). *Environment, economy and society: Fitting them together into sustainable development*. *Sustainable Development*, 10(4), 187–196.
- [3] Harris, Jonathan M. (June 2001), *Basic Principle of Sustainable Development*, *Global Development and Environment Institute, WORKING PAPER 00 - 04*, Tufts University.
- [4] Jovanović, B. (2013). *The emergence and shaping of the concept of sustainable development*. Belgrade: Tesla Centre.
- [5] Marković, D.Ž. (2005), *Social Ecology, V revised and supplemented edition*, Institute for Textbooks and Teaching Aids, Belgrade.
- [6] Miltojević, V. (2011). *Culture as a dimension of sustainable development*. *Topics*, 35(2), 639–653.
- [7] [7] *Platform for drafting the National Strategy for Sustainable Development 2014-2020*.
- [8] United Nations. *Report of the World Commission on Environment and Development*. [online] *General Assembly Resolution 42/187*, New York, 11 December 1987 (<http://daccess-dds-ny.un.org/doc/RESOLUTION/GEN/NR0/514/19/IMG/NR051419.pdf>).

**Duško Laković<sup>1</sup>, Ognjen Bakmaz<sup>2</sup>, Biljana Bjelica<sup>2</sup>** (*Independent University of Banja Luka (NUBL), Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, <sup>2</sup>High School for Service Business, Sokolac-Istočno Sarajevo, Bosnia and Herzegovina*)

## **THE ROLE OF HUMAN RESOURCES MANAGEMENT IN THE PROCESS OF IMPLEMENTATION OF TRAINING AND EDUCATION OF EMPLOYEES**

*People as the potential of the organization represent its greatest driving and creative force. Companies are increasingly investing money in the education of their employees. Employee education is a very complex process and requires quality implementation of each individual phase. This paper will explain from a theoretical and practical point of view, how training affects an organization's performance if it is aligned with the organization's strategic goals and if it is integrated into the human resources function and how training can be an investment rather than a cost if planned, implemented and implemented. Training needs analysis is the first step and the transfer of learning to the work environment is the crown of the entire educational process in the organization, which consists of the selection and motivation of participants, planning and programming of educational content, methods and evaluation. The evaluation of the training determines whether the knowledge, skills, abilities have been applied to the workplace and whether there has been an improvement in performance and greater employee satisfaction, which affects the positive outcomes of the organization in order to achieve a competitive advantage.*

### **1. Introduction**

In modern society, there is more and more talk about the "knowledge society", lifelong learning, learning in different life contexts as an imperative that every organization should adopt if it wants to be a leader in a competitive environment. In addition to employers who are interested in continuing education due to increased productivity and profits and due to competition, employees must also take responsibility for their own education. From year to year, the competition on the world market is getting bigger, and in order to survive in such a reality, the company must adapt and change faster than the competition. This means that she should be proactive, anticipate events and readily adapt to them, set the conditions and rules of the game on the market, that is, keep an eye on what is happening in the environment. The precondition for the success of a company in difficult conditions is its readiness to see the environment, the opportunities it has and to build a competitive advantage on it. One of the most important initiatives in the world is certainly the concept of lifelong learning, which has become the main determinant of social, economic and educational policies in the world. The most profitable investment today is investing in education. That investment is returned to the investor in a few years, bringing him safe capital and profit. Learning leads to gaining an advantage of the organization in relation to the environment and competition. However, education can have a real effect on the quality of work only if it is aligned with the needs of a particular company or institution. The goals of education and training in companies are directly related to the goals and development needs of employees and the company as a whole. In order to better

understand the role of human capital in the business system, as well as its role in the emergence and development of a new theory of organization, it is necessary to analyze in detail its constituent elements. All elements of human capital affect the satisfaction of users, employers, managers, employees and society as a whole. It is about systematic thinking and connecting all the elements and activities that are undertaken in the organization in order to optimally harmonize the wishes and abilities of employees on the one hand, and the goals of the organization, on the other hand. Education is considered an elixir of longevity for the organization because it allows it to adapt, to be more flexible, able to withstand new and increasingly complex scenarios in the environment. People represent the great potential of every company, while the way they are managed becomes a decisive factor in the competitive advantage and further development of the company. If the basis for achieving and maintaining a competitive advantage is the knowledge economy and the knowledge worker, it is necessary to change the function of human resource management in the direction of formulating a business strategy that will focus on talented, innovative and creative people, ie to make people and the right knowledge time put in the right place. If people are the most important resource for achieving competitive advantage, and if employees are a key factor in organizational success, that is, organizations need to have a developed learning and development strategy to meet their business goals. Training and development support the organizational vision, mission and strategic goals by enabling positive changes in knowledge, skills, behavior and attitudes of employees that will be reflected in performance at work, which thus improved, contributes to overall organizational performance and creating a positive organizational climate.

## **2. Employee training as an integral part of the company's business strategy**

A business strategy is a plan that integrates company goals, policies and actions. Strategy affects how a company uses physical capital, financial capital and human capital. Business strategy directly helps the company's activities (production, finance, marketing, human resources) to achieve specific goals. The goals are what the company hopes to achieve in the medium and long term. Most company goals include financial goals, but companies also have other goals related to employee satisfaction, competitiveness in industry, and social responsibility [3, p. 55). Managers are becoming aware of the importance of employee training and development as a means of supporting the company's business strategy, which is profitability, market share and quality. There are direct and indirect links between training and company strategy and goals. Training that helps employees develop the skills needed to do the job directly affects business. Giving employees the opportunity to learn and develop creates a positive work environment, which supports business strategy by attracting talented and motivated employees, while retaining existing employees. The business strategy has a major impact on the type and amount of training to be organized and has an impact on the resources (money, coaching time, and program development) to be allocated and invested in training.

Also, the strategy affects the type, degree and variety of skills needed in the company. The strategy has a particularly strong influence on determining:

- ❖ the amount of training dedicated to current or future skills needed to do the job;
- ❖ the extent to which training is tailored to the specific needs of the employee or developed based on the needs of a team, unit or division;
- ❖ whether the training is limited to certain groups of employees (such as persons identified as having managerial talent) or is open to all employees;
- ❖ whether the training is planned and systematically applied, provided only when problems arise, or develops spontaneously in response to what is being done in competition;
- ❖ the importance given to training in relation to other human resource management practices, such as selection and compensation [3, pp. 55-57].

Strategic training and development initiatives are learning actions that a company needs to take to help achieve a business strategy. The initiatives are based on the business environment, understanding the company's goals and resources, potential training and development options, and show how the training function will help the company achieve its goals (and thus show how the training function will add value). The implications of strategic training and development initiatives on training practices are:

- *Diversification of learning* means that companies need to provide more learning opportunities than just traditional training programs. These learning opportunities include non-formal learning that comes at work through interaction with colleagues; new work experiences; personalized learning opportunities with mentors, trainers and feedback tailored to the needs of employees; and the use of technologies (including Web-based training).
- *Expanding the knowledge* of training participants means that employees, bearing in mind that they are in direct contact with clients, should have the same if not more training than managers. To be successful, companies must be able to cope with changes in technology, customer needs and global markets. Training needs must be identified quickly and effective training must be provided.
- *Accelerating* the pace of employee learning means that companies must increasingly rely on electronic performance support systems and provide employees with direct access to information, advice and guidance.
- *Improving the service* provided to clients refers to the fact that employees must be aware of the products or services that their companies have in their portfolio; should have the skills necessary to work with clients; and to give them some autonomy in negotiating with clients.

- *Providing development* opportunities means that employees should be informed about these opportunities so that they understand that they have the opportunity to develop and learn new skills. Such opportunities are important for attracting and retaining talented workers.

- *Gathering and sharing knowledge* ensures that essential knowledge about customers, products or processes is not lost if the employee leaves the company.

- *Alignment of training* and development with the strategic commitment of the company is important to provide training that contributes to business needs. Companies need to identify which employee skills are needed and which training programs are adequate to improve those needs.

- Finally, the *support* of the work environment is necessary to motivate employees to participate in educational activities, to use what they learn at work, and to share their knowledge with others. Support includes both time and money for training and learning, as well as a work environment that encourages employees to meet and discuss ideas. Psychological support regarding training and learning by managers and colleagues is very important [7, pp. 62-65].

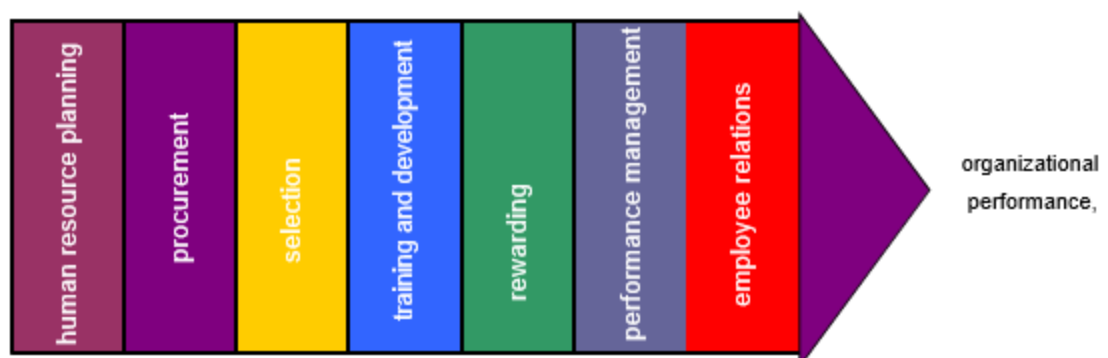
As the organization selects its strategic training and development initiatives, and in connection with its business strategy, identifies specific trainings and development activities that will enable these initiatives to be achieved, these are the use of new technologies in training, increasing access to educational programs for certain groups of employees. reducing the time required for development as well as developing new or expanding existing training programs on offer. In order for the training to function successfully, the support of all employees is necessary, from top management to executors and people who are employed in Human Resource Management. Top management should provide clear guidelines regarding the importance of training for both the firm and the employee. If managers are not involved in the training process, it may happen that the training will not be related to business needs. If managers perceive training as a “necessary evil” and do not contribute to the effectiveness of the training, the potential impact of the training on company goals will also be jeopardized. But if they are aware of all the advantages and benefits of training and development on the performance of the organization and the satisfaction of employees and if they are rewarded in accordance with their expectations for support and contribution to the educational process then their full participation and contribution can be expected.

The function of human resources management, ie the function of training will never reach its full potential until it shows what and how much its role is in creating organizational value and its return on investment. Training, as part of the human resources management (HRM), should have a comprehensive approach by which to direct its activities towards organizational strategy. The ultimate goal is for HRM to support the organization through human capital management which is the basis of competitive advantage. It is necessary that the human resource management function is well organized in order to play a major role in the strategic

planning of the organization, that is, it should ensure that human assets are effectively aligned with the strategy chosen by the company [1]. Coordinating the strategy of HRM and the strategy of the organization begins with employees who should be strategically focused, which is the task of this function. Any HRM practice from employment, benefits, training and development, etc., should be developed in order to expand human capital. In order to gain strategic importance, HRM must put the right people in the right place, to define what knowledge, skills and abilities are in order to contribute to the company's business strategy. HRM should assess its impact on organizational strategy, to measure its efforts in creating programs to better manage the human capital development of the organization. Training is not assessed on the basis of the number of implemented training programs in the organization, but on the basis of whether the training programs have influenced the improvement of knowledge, skills and abilities that can affect the performance of the organization and employee satisfaction. Training can play a key role in achieving a competitive advantage and respond to these challenges only if it is aligned with the strategic goals of the organization and if it is integrated into the human resource management function. Training and development can be the responsibility of professionals in the field of human resources, human resources development, or organizational development and regardless of who has the responsibility and authority to manage training practices, it should be consistent with the business strategy and should support business needs by developing the skills, knowledge and abilities needed to perform a business that has a direct impact on the business. Part of the business strategy should be to create a climate in which knowledge will be valued, workers motivated and satisfied and where human resource management, which is responsible for the issue of human capital, is a part of strategic management and equally participates in defining the business strategy and goals of the company.

### 3. The role of human resource management in the employee training program

Education and training are considered an elixir of longevity for the organization because they allow it to adapt, be more flexible and able to withstand new and increasingly complex scenarios in the environment. Training and education could affect an organization's performance if they are aligned with strategic goals and integrated into the human resource management function.



**Fig. 1.** Human resource management [4]

As Fig. 1 shows, HRM identifies human resource needs through planning, trains employees to be able to perform the task successfully and prepare for future activities, rewards employees according to performance, evaluates their performance, and creates a positive work experience environment. According to Nonaka [5, pp. 14-37], those organizations that use the creative model of HRM can cause developmental transformation by using the imagination, commitment of their employees in the implementation of business strategy. In a sense, all managers are human resource managers (HR managers) as they are all involved in recruiting, interviewing, selecting and training employees [2, p. 3]. Employee training and education is the backbone of what we call human resource development because it gives employees the information and skills they need to do their jobs successfully. In today's business environment, a highly skilled and educated workforce is a fundamental support and pillar of the organization [8, pp. 28-45]. Many employees with longer work experience have sufficient knowledge and skills to do the job. In contrast, the knowledge of newly hired workers is not even enough to get started. Although the former have a slight advantage over the latter, the same rule applies to both: they should undergo training and education until their knowledge, skills and abilities are at the level required for independent and efficient performance of work duties. In order for an organization to succeed in this, it is necessary to understand the meaning and process of education, identifies the needs and goals of education, designs effective training programs, implements them, evaluates and the like. The process of educating employees in organizations is a complex and responsible job. It is a process that is carried out within the management of human resources and for the success of which the greatest responsibility lies with the management of the organization. Aware of the importance of the education process, some organizations do not regret the effort or resources to provide their employees with quality educational programs for the development of knowledge and skills. Practice has shown that employee education is no longer just a privilege and obligation of high-ranking staff in the organization, but of all employees. In this regard, organizations that pay attention to the development of their staff, strive to offer a variety of training programs to acquire specific knowledge and skills [9, pp. 251-273]. In addition, it is recommended to test the candidates, in the form of "inconspicuous" questionnaires, which would check, better to say, measure their willingness to learn, ie their motivation and their intellectual abilities. In order to raise the level of personal knowledge and abilities to a satisfactory level, conscientious employees do not rely only on the organization and educational programs that it offers and prepares, but they constantly expand their knowledge and skills on their own initiative. Who wants to be successful and leave good results, must believe in himself and his opportunities for self-education [6].

#### **4. Conclusion**

Training or education affects the individual, the organization and society as a whole. States have become aware that the economic strength of a country depends

on human capital. In order for a society to prosper, it must have quality human resources. Quality is also encouraged by investing in formal and non-formal education that contributes to the community as a whole. More and more countries have national policies where education / training is encouraged and encouraged at the national level. The goal of such policies is to strengthen human capital through various types of training and education, which will result in economic prosperity. The interest of the state is reflected in helping companies themselves, where people spend more than half of their lives, to support the education and development of employees through their national policies, and companies are becoming aware that investing in human capital development is not just a matter of survival / market leadership. rather, it becomes socially responsible to communities and affects economic prosperity. Many studies have confirmed that training has an impact on the organization as a whole and its benefits are reflected in improving organizational performance: profitability, efficiency, productivity, cost reduction, improving quality and quantity, reducing employee turnover, organization reputation, etc.

## REFERENCES

- [1] Becker, B. E., & Huselid, M. A. (1998, July). *Human resources strategies, complementarities, and firm performance. In Presentation to the Academy of Management Annual Meeting.*
- [2] Dessler, G., (2007), *Osnovi menadžmenta ljudskih resursa, DATA STATUS, Beograd.*
- [3] Noe, R. A. (2010). *Employee training and development. McGraw-Hill/Irwin.*
- [4] Noe A. R., Hollenback R.J; Gehart B, Wright M P.: *Menadžment ljudskih potencijala, treće izdanje, MATE d.o.o. Zagreb, Hrvatska, 2006.*
- [5] Nonaka, I. (1994). *A dynamic theory of organizational knowledge creation. Organization science, 5(1).*
- [6] Savić Tot, T., Tot, V., (2010): *Strategijski menadžment ljudskih resursa kao ambijent kreativnog korišćenja ljudskog kapitala, Monografija sa Pokrajinskog projekta, Inovativnost, kreativnost, učenje-svakodnevno iskustvo uspešnog biznisa: projekat Inovaciona kultura kao faktor u formiranju i razvoju inovacionih sistema, Fakultet za menadžment, Novi Sad.*
- [7] Tannenbaum, S.I.; Beard, R.; McNall, L.A. & Salas, E. (2010). *Informal learning and development in organizations. In: Learning, Training and Development in Organizations (pp. 303-332). New York, NY: Routledge.*
- [8] Thang, N. N., Quang, T., & Buyens, D. (2010). *The relationship between training and firm performance: A literature review. Research and practice in human resource management, 18(1).*
- [9] Tharenou, P., Saks, A. M., & Moore, C. (2007). *A review and critique of research on training and organizational-level outcomes. Human Resource Management Review, 17(3).*



**Snežana Topalović<sup>1</sup>, Olivera Živković<sup>1</sup>, Jelena Čeperković<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>*University of Kragujevac, Faculty of Economics, Kragujevac;* <sup>2</sup>*Singidunum University, Faculty of Tourism and Hospitality Management, Belgrade, Serbia*)

## **CUSTOMER RELATIONSHIP MARKETING (CRM) AS A BASIS FOR ACHIEVING SUSTAINABLE COMPETITIVE ADVANTAGE**

*In recent years, companies have faced the problem of how to gain and maintain a competitive advantage. The acquired advantage over the competition must not be short-term and must be based on elements of sustainability. CRM (Customer Relationship Marketing) as the most important strategy in the development and establishment of good relations with consumers, based on the information collected about them is one of the crucial conditions for sustainable competitive advantage. The aim of this paper is to point out the effect of successful implementation of CRM in providing long-term competitive advantage. The basis of marketing relations with consumers is the retention of current consumers with long-term profit, in order to develop long-term relations with consumers and achieve a sustainable competitive advantage in the market.*

### **1. Introduction**

Gaining a competitive advantage requires companies to be able to make strategic changes within their business as well as in the environment. One of the strategies that enables a company to be better than the competition is CRM. CRM is a business philosophy based on the identification, understanding and comprehension of consumer needs, attitudes and expectations. Consumer relationship marketing is a business strategy that starts from the understanding that consumers should be viewed as key collaborators, with whom modern organizations strive to achieve and build long-term relationships. Traditional marketing theory and practice has primarily focused its activities on the process of attracting, rather than retaining existing consumers. The bigger focus was on securing the transaction, rather than building a relationship. Pre-sales activities and the sales activities themselves captured the attention of managers from after-sales activities. Nowadays, marketing companies are increasingly understanding the importance of retaining existing consumers and are focusing on building relationships with them [10, p. 476]. Successful implementation of CRM requires from the company a greater focus on consumers in relation to the focus on market share, the growing importance of customer satisfaction and loyalty, respect for individual consumers and their requirements, the growing need to retain existing customers, development of communication technology and database management

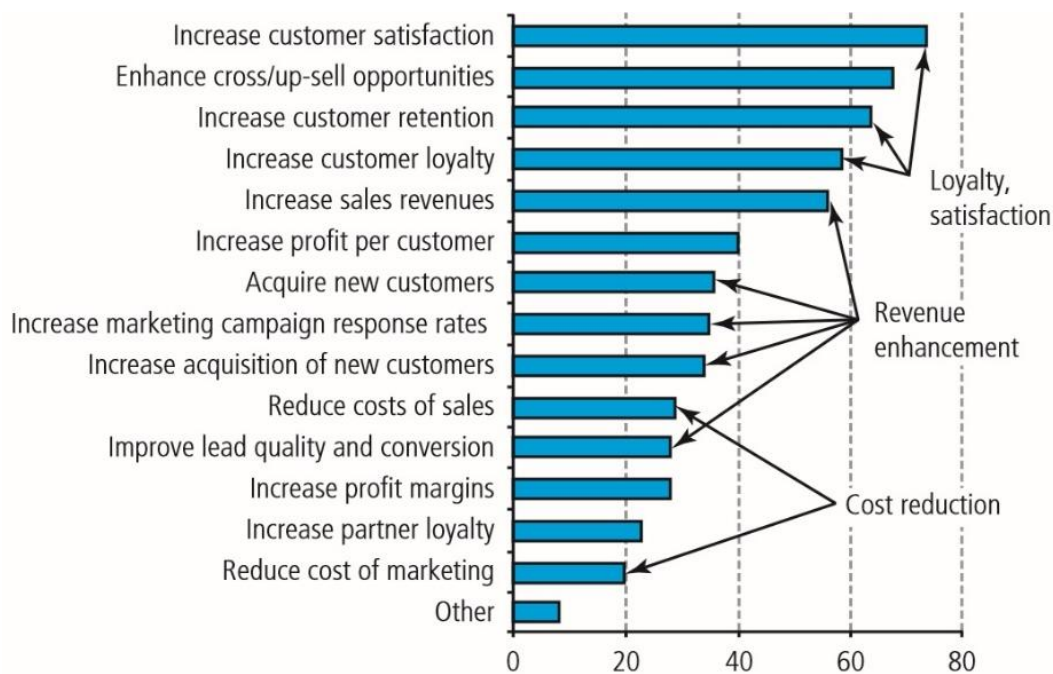
systems data [5]. The essence is to identify consumers who are worth the effort and strive to fulfil and meet their needs and expectations. In the literature, the concept of Relationship Marketing (RM) is often equated with the concept of Customer Relationship Marketing (CRM), since both concepts are focused on the development of long-term customer relations. The term relationship marketing is much more comprehensive because it is aimed at building and developing close relationships between companies and consumers, but also companies with other stakeholders (employees, suppliers, the state). Unlike marketing relationship based on strategic activities, CRM is more tactically oriented. In addition, relationship marketing is a business philosophy that focuses on developing relationships, trust and reciprocity, while the focus of CRM is on managing customer relationships through attracting, developing, maintaining and improving relationships with them.

## **2. The theoretical framework of CRM**

CRM is such a concept of marketing relationship that is based on the use of information technology in order to identify and select key consumers and meet their expectations through the production and / or service offer of the company. CRM can be seen as a new approach to business strategies, information technology and marketing management. Success in managing relationships with consumers requires a rich information base. Consumers are treated as valuable assets of modern companies. Sales are no longer the end of marketing activities, but the beginning of establishing and developing long-term relationships between companies and consumers. There are numerous definitions of CRM in the modern marketing and management literature. One definition states that CRM is the process of establishing and improving customer relationships on a long-term basis [13]. Kotler and his associates point out that CRM is a process of developing and maintaining profitable relationships with consumers by delivering superior value and their satisfaction [10, p. 481]. CRM is a business focused on creating, developing and improving individual relationships with consumers, primarily with target segments that increase the overall value of consumers [9]. Christopher and his associates view CRM as an approach aimed at improving value for shareholders, through the development of relationships with key consumer segments. CRM connects information technology and strategies for creating profitable long-term relationships with consumers [6]. One definition states that CRM is the process of building and maintaining profitable relationships with consumers through delivering superior value to consumers and achieving their satisfaction with the goal of improving business relationships with consumers [18]. CRM can be seen as a process aimed at building and improving relationships with the individual consumer, i.e., targeted consumers and groups that maximize the total value of consumers are carefully selected [14]. As a process, CRM increases

value for consumers through marketing strategies and information technology integration [8].

Companies strive to direct overall marketing activities towards establishing, maintaining and strengthening relationships with consumers. Fig. 1 shows the goals of marketing relations with consumers, which are classified into the following groups: satisfaction and loyalty increase, revenue increase or costs reduction. Several primary goals of CRM can be singled out that are profitable in the long run. It is extremely important to achieve the total value during the lifetime of each consumer.



**Fig. 1.** Strategic goals for CRM (Customer Relationship Management) [3, p. 69]

Pointed out as the second goal is the increase of the life value of consumers from year to year, while the third goal is to use the excess profits to attract and acquire new consumers, with the lowest possible costs. The strategic, operational and analytical level of CRM can be distinguished [3, p. 3-5]. It has been theoretically and practically proven that organizational culture is an important factor in achieving long-term business results [1]. The basis of *strategic CRM* lies in the formation of an organizational culture that is consumer-oriented. The main goal is to attract and retain consumers through the delivery of superior value. It is important to develop an appropriate reward system for all employees who are successful in achieving this goal. Thanks to strategic CRM, companies realize that the precondition for long-term profitability is in building long-term relationships

with loyal consumers [16] [12]. CRM requires the introduction of IT managers in the basic principles of marketing relations with consumers [2]. *The operational level of CRM* involves the use of software to automate marketing and sales. Software applications enable quality data processing, which leads to successful segmentation and communication with consumers. With the advent of CRM technology, there has been a significant improvement in modern organization in understanding consumer behaviour in the future, as well as the level of sales in the coming period. Operating systems are the ones that facilitate socialization with consumers. *The analytical CRM* is based on the proper use of the consumer database in order to increase mutual benefits (for the consumer and the company). The analysis of the data leads to the answer as to who are the most valuable consumers with whom special treatment should be developed, to which consumers have the potential to surrender to the competition.

The effective implementation of CRM strategy is achieved through the following marketing activities:

- ✓ Identification of existing consumers and their socio-demographic, geographical, psychographic and other characteristics, as well as the attitudes and expectations;
- ✓ Differentiation of consumers based on the degree of their profitability in order to identify those that will significantly contribute to the growth of profitability of the company over a longer period of time.

In today's value creation process, consumers are crucial for engaging in a number of marketing activities (from product development to final sales) thus providing useful feedback. By establishing and building long-term relationships with consumers, companies provide a competitive advantage in the market and long-term profitability.

### **3. Competitive advantage**

Advantage over competition can be seen as the sum of differences between companies that gives some advantage over other companies. Competitive advantage is the advantage over competition that is achieved by offering higher value or lower prices to consumers or by providing more benefits that justify higher prices [10, p. 494]. It can be the result of organizational skills or resources. Based on the marketing concept, competitive advantage is achieved by providing offers that are aimed at meeting the needs of the target consumer better than the offers of other companies. The basis for achieving competitive advantage is based on development, innovation and change. In the battle for competitive advantage, it is necessary to analyse the competition in detail. Competition analysis involves several steps. The first step is to identify key competitors, their goals, strategies and most common reactions. Then it is necessary to formulate an appropriate strategy in case of the competition. It is crucial to choose a superior strategy that will provide an advantage over the competition. The next step involves preparing

for the reactions expected from the competition, and finally finding an adequate way to react against the attack of the competition.

In order to achieve a competitive advantage, several activities should be undertaken [5]:

- ✓ Creating a unique competitive advantage
- ✓ All activities tailored to the strategy
- ✓ Clear balancing and choice in relation to the competition
- ✓ Competitive advantage stems from the coherence of activities
- ✓ Sustainability of competitive advantage is a result of the advantage of a set of activities
- ✓ Operational activity is given

Competitive advantage is a dynamic concept that requires the company to continuously work on innovations and improve its market position. Innovation is the key basis of modern business that ensures sustainable growth and strengthening competitive advantage.

#### **4. The link between CRM and competitive advantage**

In the modern world of business, it is necessary to apply a new concept of marketing that is not so much focused on attracting and acquiring new, as on retaining existing consumers through the application of appropriate loyalty programs. The philosophy of traditional business is replaced by the principles of modern marketing, which point to satisfaction and loyalty as key factors of successful business. Unlike traditional marketing, which involves a short-term transaction, consumer relationship marketing is based on maximizing revenue from each consumer over their lifetime [20]. In modern market conditions, companies strive to find the best solution to ensure high customer satisfaction and loyalty. In case of dissatisfaction, the consumer can be lost and left to the competition. Modern companies must focus on preventing the departure of existing consumers to competition and retaining them, and only after that to be based on attracting new consumers. Numerous studies have confirmed that retaining existing consumers is cheaper than attracting new ones [4]. In addition, consumers want to have continuous cooperation with one organization, rather than constantly looking for value from one company to another. By adopting the CRM concept, modern companies are trying to increase the attraction and retention of consumers [17]. CRM represents such a concept of marketing relationship whose basic idea is to treat different groups of consumers in different ways.

Companies need to understand that consumers are the centre of business and that only those who are able to respond to consumer demands can increase profits and survive in a competitive market. CRM improves innovation, as it implies the adoption of something new or the improvement of the existing in response to modern market conditions [11]. This ensures positive business results and

strengthens the competitive advantage. The three most common indicators of CRM implementation success are increased sales, customer retention, and customer satisfaction [19]. CRM activities aim to maximize profits, improve customer satisfaction, deliver products and services in line with consumer needs and expectations, and maintain customer loyalty. The implementation of CRM leads to an increase in customer satisfaction and loyalty, which results in ensuring long-term profitability and sustainable competitive advantage [7].

## 5. Conclusion

The basic philosophy of CRM is based on attracting, retaining and improving relationships with existing consumers in order to achieve a competitive advantage in the market in the long run. The CRM concept treats consumers as partners of the company with which it seeks to establish long-term cooperation. CRM is not a technology, but a business orientation that aims to achieve a long-term competitive advantage through the process of increasing value for consumers. In order to gain and maintain a competitive advantage, companies must develop long-term relationships with their key customers, thus ensuring long-term customer loyalty and long-term profitability.

## REFERENCES

- [10] Ariyani, S.; Rahyuda, K.; Sukaatmaja, P. & Kertiyasa, N.: *Mediating role of customer relationship marketing improve business performance base on culture organizations: Case study on computer hardware industry in Indonesia*. *International Business Management*, Vol. 10, Issue 1 (2016), pp. 32–37. ISSN 1993-5250. doi: [10.3923/ibm.2016.32.37](https://doi.org/10.3923/ibm.2016.32.37).
- [11] Bose, R.: *Customer relationship management: Key components for IT success*. *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 102, Issue 1-2 (2002), pp. 89–97. ISSN 0263-5577. doi: [10.1108/02635570210419636](https://doi.org/10.1108/02635570210419636).
- [12] Buttle, F.: *Customer relationship management: Concepts and technologies*. 2nd Edition. Oxford (United Kingdom): Butterworth-Heinemann, 2009. – 500 pp. ISBN 978-1-85617-522-7.
- [13] Camarero Izquierdo, C.; Gutiérrez Cillán, J. & San Martín Gutiérrez, S.: *The impact of customer relationship marketing on the firm performance: A Spanish case*. *Journal of Services Marketing*, Vol. 19, Issue 4 (2005), pp. 234–244. ISSN 0887-6045. doi: [10.1108/08876040510605262](https://doi.org/10.1108/08876040510605262).
- [14] Celep, E., Zerenler, M. & Sahin, E.: *Customer relationship management as a tool for sustainable competitive advantage and exemplar companies with worldwide success*. *Mediterranean Journal of Social Sciences MCSEER Publishing, Rome-Italy*, Vol. 4, Issue 10 (2013), pp. 731–36. ISSN 2039-9340.
- [15] Christopher, M., Payne, A. & Ballantyne, D.: *Relationship Marketing*, Butterworth-Heinemann: Oxford, 2008. ISBN: 978-0750648394.
- [16] [Chung, Y., Hsu, Y., Tsai, S., Huang, H. & Tsai, C.: \*The correlation between business strategy, information technology, organisational culture, implementation of CRM, and business performance in a high-tech industry\*. \*South African Journal of Industrial Engineering\*, Vol. 23, Issue 2 \(October, 2012\), pp. 1-5. ISSN 2224-7890. doi: 10.7166/23-2-326.](https://doi.org/10.7166/23-2-326)
- [17] Ghadim, K.M. & Khosravian, M.S.M: *A novel model for customer relationship management pathology*. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 5, Issue 9 (2012), pp. 1-4. ISSN: 0974-6846. doi: [10.17485/ijst/2012/v5i9.21](https://doi.org/10.17485/ijst/2012/v5i9.21).

- [18] Kaur, G.: *Is obsession with data and analytics making future marketers analytical researchers? A conceptual customer relationship marketing model for customized marketing education.* *Journal of Education for Business*, Vol. 94, Issue 8 (November 2019), pp. 569–575. ISSN 0883-2323. doi: [10.1080/08832323.2019.1580245](https://doi.org/10.1080/08832323.2019.1580245).
- [19] Kotler F., Vong V., Sonderson J. & Armstrong G.: *Principles of marketing.* Belgrade (Serbia): Mate, 2007. ISBN 978-86-86313-03-4.
- [20] Le Boulch, G. & Oudghiri, R.: *Chapter 13: Sustainable development, a new source of inspiration for marketing innovation? Focus on five major trends and one innovative project in customer relationship marketing.* In: *Strategies for Sustainable Technologies and Innovations.* Cheltenham (United Kingdom): Edward Elgar Publishing Ltd., 2013, pp. 262–276. ISBN 978-1-78100-682-5. doi: [10.4337/9781781006832.00024](https://doi.org/10.4337/9781781006832.00024).
- [21] Leverin, A. & Liljander, V.: *Does relationship marketing improve customer relationship satisfaction and loyalty?.* *International Journal of Bank Marketing*, Vol. 24, Issue 4 (March 2006), pp. 232–251. ISSN 0265-2323. doi: [10.1108/02652320610671333](https://doi.org/10.1108/02652320610671333).
- [22] Meena, P. & Sahu, P.: *Customer relationship management research from 2000 to 2020: An academic literature review and classification.* *Vision*, Vol. 25 (2021). ISSN 0972-2629. doi: [10.1177/0972262920984550](https://doi.org/10.1177/0972262920984550).
- [23] Payne, A. & Frow, P.: *Strategic Framework for Customer Relationship Management.* *Journal of Marketing*, Vol. 69, Issue 4 (October 2005), pp. 167-176. doi: [10.1509/jmkg.2005.69.4.167](https://doi.org/10.1509/jmkg.2005.69.4.167).
- [24] Payne, A. & Frow, P. (2013). *Strategic customer management.* Cambridge University Press: Cambridge, 2013. ISBN 978-1-107-64922-4. doi: [10.1017/CBO9781139057417](https://doi.org/10.1017/CBO9781139057417).
- [25] Rigby, D.K., Reichheld, F. & Davidson, C.: *Winning customer loyalty is a key to winning CRM strategy,* *Ivey Business Journal*, (March/April 2003), pp. 1-5.
- [26] Saravana-Kumar, M. & Kumar, B.S.: *Impact of customer relationship marketing strategy and customer loyalty – A study of banking sector in South India.* *Life Science Journal*, Vol. 10, Suppl. 5 (2013), pp. 431–441. ISSN 1097-8135.
- [27] Soltani, Z. & Navimipour, N.J.: *Customer relationship management mechanisms: A systematic review of the state of the art literature and recommendations for future research.* *Computers in Human Behavior*, Vol. 61 (August 2016), pp. 667–688. ISSN 0747-5632. doi: [10.1016/j.chb.2016.03.008](https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.03.008).
- [28] Soltani, Z., Zareie, B., Milani, F. S. & Navimipour, N.J.: *The impact of the customer relationship management on the organization performance.* *Journal of High Technology Management Research*, Vol. 29 (2018), pp. 237–24. ISSN 1047-8310. doi: [10.1016/j.hitech.2018.10.001](https://doi.org/10.1016/j.hitech.2018.10.001).
- [29] Wilson, H., Daniel, E. & McDonald, M.: *Factors for success in Customer Relationship Management (CRM) systems.* *Journal of Marketing Management*, Vol. 18, Issue 2 (2002), pp. 193–219. doi: [10.1362/0267257022775918](https://doi.org/10.1362/0267257022775918).



**Milica Tufegdžić<sup>1</sup>, Goran Miodragović<sup>2</sup>, Slobodan Aleksandrov<sup>3</sup>, Dragan Mijatović<sup>4</sup>** (*Academy of Professional Studies Šumadija - Department of Trstenik, Serbia*)

## **HYBRID FRAMEWORK FOR AUTOMATED TESTING OF WEB APPLICATION FOR ADVERTISEMENT**

*Web application testing, as a critical element in the quality assurance process, is conducted to detect defects and errors and to verify that the application is running correctly. A large number of tools have been developed for automated testing, which are implemented in an appropriate framework that implies the existence of an environment in which tests are designed, created and executed. Testing is shown on the example of a web application for advertising, in a hybrid framework, as combination of linear and a keyword-driven framework, with Selenium module as its integral part. Test scripts for application units, created on the basis of test scenarios, are generated automatically using Katalon Recorder and exported in Java programming language. After successful test execution, the test results were analyzed, in order to verify the set of test objectives.*

### **1. Introduction**

Modern web applications are sophisticated, interactive programs with a complex graphical user interface and a large number of components in the background, which are integrated using new methods [1,2]. Web applications use a large number of different programming languages, such as for example HTML, CSS, Javascript, supported by almost all web browsers [3]. In order to fulfill high demands, such as running an application 24 hours a day, 7 days a week, 365 days a year, various technologies and programming models are used. Due the fact that this type of applications work in dynamic environment such as the web, applications must be developed, adapted, changed quickly, and their development cycle is significantly shorter compared to traditional software development [1,3]. Therefore, special attention must be paid to the design, modeling, development, analysis and web applications testing [1].

Manual testing of such complex applications requires great human effort and a lot of time. In most cases, testing is performed automatically, with much greater accuracy, reliability and much faster, which reduces human effort and avoids the possibility of errors [1,4-8]. The choice of the appropriate testing tool depends on its compatibility with the application being tested [6]. An issue that should also be considered is the possibility of recording test suites and reproducing generated test scripts [2,5].

There are a large number of tools available for testing web applications, such as e.g. Selenium IDE (Integrated Development Environment), Katalon, Sahi, Watir, Windmill, JMeter, Junit, TestNG, UFT (Unified Functional Testing, formerly known as QuickTest Professional), Ranorex, TestComplete, Telerik Test Studio, Coded UI, SOAtest, Testsigma and many others [2,4,8-10]. Junit and TestNG are frameworks based on the Java programming language are used for unit



testing, Selenium, Watir, UFT and Sahi are used for functional testing, JMeter and HP LoadRunner are used as load testing tools [9].

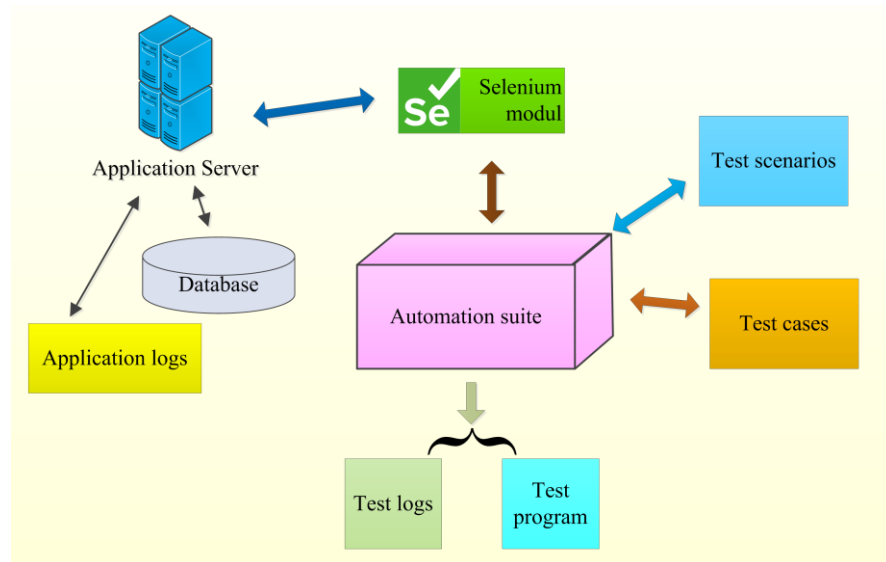
Significantly better results can be achieved if automatic testing is implemented in an appropriate framework, as a combination of tools and routines that will help conduct the testing process as efficiently as possible [11]. A test automation framework is a collection of abstract concepts, processes, procedures, and environments in which automated tests are designed, created, and executed. It also covers the logical interactions of its components, as well as the physical structures used to create the tests and its implementations [6,11].

According to the Automated Testing Institute (ATI), there are three different generations of automated testing frameworks. Linear frameworks belong to the first generation. The second generation consists of two types of frameworks, data-driven, and framework based on functional decomposition. The third generation includes keyword-driven and model-based frameworks [11]. In order to overcome the disadvantages of one type of framework, using the advantages of others, hybrid frameworks have been developed as combinations of two or more frameworks. Each application is different, so the testing processes and frameworks will always be different [7].

For the purpose of this study, web application for advertising is selected. The testing was performed within a hybrid framework, created as a combination of a linear and a keyword-based framework. A key component of the chosen framework is the Selenium module. The testing was conducted through seven steps that are performed sequentially. The testing plan includes units of the web application that will be tested and based on that, test scenarios are created. The test cases, based on test scenarios, were recorded and reproduced in Katalon Recorder. After confirming the expected results for the tested units, generated test scripts are exported in Java programming language, using the JUnit working framework. The generated code is run in the Eclipse IDE environment in order to verify the defined functionality of the application. Created tests allow quick checking of the selected functionalities of web application, whenever it is necessary, for a very short time.

## **2. Framework for automated testing**

A hybrid framework that represents a combination of a linear and a data-driven framework were chosen to automate testing. The structure of the selected framework for testing web application for advertising is shown in Fig. 1. Selenium module is used to establish connection between the framework and the application under testing [6,11].



**Fig. 1:** Framework structure for test automation (adapted from [6])

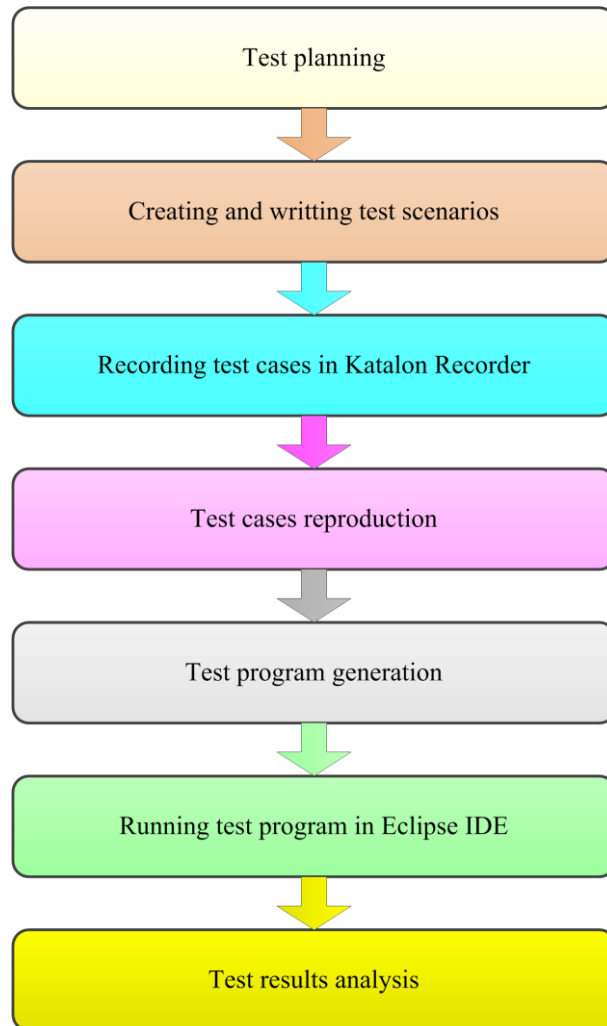
Selenium supports web application testing across most commonly used web browsers. Test scripts can be written in various programming languages such as C #, Java, Ruby, Python and Perl and run on Windows, MacOS or Linux platforms [2,4,6,8,9]. Selenium is open source software, and it could be used completely free of charge [12].

Basic components of Selenium environment are: Selenium IDE (Integrated Development Environment), Selenium WebDriver and Selenium Grid [4-6,9]. Selenium IDE is a tool for creating test scripts that run automatically. It is, in fact, a Mozilla Firefox or Chrome plugin that allows saving, modifying and test script debugging. It also allows recording actions in the order of testing [2,6,9,10,13]. Scripts can be written manually, manually or automatically recorded, because each test script in Selenium is actually a series of commands that represent actions. A special Selenium language for writing test scripts, Selenese, is used to generate scripts. The Selenese set of commands allows testing different functionalities of web applications from different views and aspects. Recorded test scripts are saved by default in HTML format. However, depending on the user's needs, test scripts can be exported in the format of supported programming languages, such as C#, Java, Python, Ruby, and are usually upgraded with libraries of the selected programming language. The Selenium IDE is used to record and execute test scripts in Firefox and Chrome web browser, but Selenium WebDriver provides execution of recorded test scripts in some other web browsers [9,14].

Katalon Recorder as Selenium IDE heir contains a recording module that is based on Selenium. It allows test recording, automated test managing, debugging and creating test scripts in Java, Python, Ruby, XML and Robot Framework programming languages, even without extensive knowledge of programming languages. It does not require additional installation and is added as an extension to Chrome or Firefox web browser [15].

### 3. Testing methodology

Testing was conducted through seven steps that are performed sequentially: testing planning, creating test scenarios, test cases recording in Katalon Recorder, test cases reproduction, test program generation (exporting test cases in Java programming language), running test programs in Eclipse IDE and analysis of test results. Testing methodology is presented in Fig. 2.



**Fig. 2:** Testing methodology

The purpose and type of application are defined, as well as the scope of the test plan. The selected web application "KupujemProdajem" provides access to the largest Serbian advertisement for buying and selling. It is a web application that returns the results of certain actions to the appropriate web window. The scope of the test plan defines the units and functionalities that will be tested, after which a test scenario is created.

The test scenario includes: testing the login to site KupujemProdajem, login by clicking on "my account" button and advertisement setting in the sense of advertising sales for a given item. Testing was performed using Katalon Recorder, version 5.3.1. Some preparations for testing were made, such as access to "KupujemProdajem" application, opening an application form, website registration, entering a username and password, as well as the user's login.

After successful registration and login, proper functioning of the "Moj kp" button was checked. Proper functioning of tabs like "postavi oglas", "izbor promocije" and "identifikacija", together with drop-down menu "izaberi", has been tested. Text input field "Unos teksta", data entry field "podaci" and data entry field for "kontakt" were tested by entering the appropriate text and numbers. The expected results of the steps defined by the test scenario are: successful login to the Web application, opening the application form for "Mojkp" account is successful, access to forms like Moji oglasi, Poruke, Obaveštenja, Moj nalog, Postavi oglas, Izbor kategorije and Unos oglasa are successfully. Advertisement text setting, setting images, data identification entries, and personal data protection are also successful, as well as advertisement setting at all.

All previously defined steps were recorded and then played back in Katalon Recorder. After playing, i.e. running the test script in the Firefox browser, it was stated that all steps in the test scenario have the expected results, and the test has the status of execution - passed. Upon successful execution, the test script was exported to the Java programming language, which has JUnit, an open source framework for creating and executing automated unit tests. Code validation was also performed in the Eclipse IDE environment, with integrated JUnit.

For proper program execution, it is necessary to import the following packages: `java.util`, which contains a large number of classes, or collections of classes used to work with objects; `org.openqa.selenium.WebDriver`, which refers to the Web driver interface and is required to activate the new web browser; `org.openqa.selenium.firefox.FirefoxDriver`, which points to the `FirefoxDriver` class required to activate a Firefox-specific driver; `org.openqa.selenium.support.ui.Select` for enabling browser automation; `org.testng.annotations.*`, which is used in Selenium to control the next method to be performed and `org.testng.Assert.*` which allows the use of assert methods within the `Assert` class.

In our case a large number of tests have a common initialization. Since it is demanding in terms of computer resources, the necessary optimization is done using the method with annotation `@BeforeClass`. Releasing the occupied resources after performing all tests in the class is provided with the method with annotation `@AfterClass`. Using `public void` in both annotations allows executions of both methods exactly once before and after performing tests in that class.

All steps defined by the test scenario are shown in the `testKupujemProdajem` test class and are performed in sequential order, following the linear framework. Methods `findElement()` and `By()` give instructions to `WebDriver` to locate a `WebElement` on a web page. Locating elements on a particular page is enabled via ID, name, text link, or x- path. Performing certain actions at a given web page is enabled by methods `clear()`, `sendKeys()` and `click()`, which also represent the base of the keyword-driven framework.

Fig. 3 shows a piece of code that describes commands to find website `KupujemProdajem` in Google search, log in to the site by entering username and password in order to place an advertisement.

The generated Java program is running in the Eclipse environment for additional verification. The test results show the proper functioning of all tested units.

```
@Test
public void testKupujemProdajem() throws Exception {
    driver.get("https://www.google.com/");
    driver.findElement(By.name("q")).clear();
    driver.findElement(By.name("q")).sendKeys("Kup");
    driver.findElement(
        By.xpath("(//*[normalize-space(text()) and normalize-space(.)='Жош од Google-a'])[1]/following::b[1]"))
        .click();
    driver.findElement(By.xpath(
        "(//*[normalize-space(text()) and normalize-space(.)='Веб-результат са линковима до сајтова'])[1]/following::h3[1]"))
        .click();
    // ERROR: Caught exception [ERROR: Unsupported command [selectWindow | win_ser_1
    // | ]]
    driver.findElement(By.linkText("Postavite oglas ▶")).click();
    driver.findElement(By.name("data[email]")).clear();
    driver.findElement(By.name("data[email]")).sendKeys(" ");
    driver.findElement(By.id("inputPassword")).clear();
    driver.findElement(By.id("inputPassword")).sendKeys(" ");
    driver.findElement(By.id("remember")).click();
    driver.findElement(By.xpath("(//input[@name='submit[login]'])[2]")).click();
}
```

**Fig. 3:** Part of the code for testing web application for advertisement setting

#### 4. Conclusion

At the example of setting of an advertisement on the site "KupujemProdajem", testing of the correctness of the web application, through seven sequential steps is presented. The scope of the test plan defines the units, activities and functionalities that will be tested, after which a test scenario is created. The test scenario includes: testing the login to the site KupujemProdajem, login by clicking on the "moj nalog" button and setting advertisement for particular item selling. Testing was performed using Katalon Recorder, version 5.3.1. Some preparations for testing were needed: access to the site and opening the application form, registration on the site, entering the username and password, as well as the user log itself.

All the steps defined by the test scenario were recorded and then reproduced in the Katalon Recorder. After playing/running the test scripts in Firefox browser, it was stated that all steps in the test scenario have the expected results, and the test has the status of execution - passed. After successful execution, the generated unit test scripts are combined and exported to the Java programming language. Code validation was also performed in the Eclipse environment. By restarting the program at any time, it is possible to check whether the web application or its parts, are functioning properly, to determine whether it is necessary to make certain corrections and eliminate faults and errors in functioning.

#### REFERENCES

- [1] Brar, AS & Jalota, A.: *Implementation of an optimal approach to testing web based applications. Asian Journal Of Computer Science And Information Technology, Vol 3, Issue 2 (2013), pp. 26–28. ISSN 2249-5126.*
- [2] Monier, M & El-mahdy, M.M.: *Evaluation of automated web testing tools. International Journal of Computer Applications Technology and Research, Vol 4, Issue 5 (2015), pp. 405–408. ISSN 2319–8656.*

- [3] *Difference between Website and Web Application*, [Online], available at: <https://www.guru99.com/difference-web-application-website.html>, last access 07 June 2020.
- [4] Gojare, S.; Joshi, R. & Gaigaware, D.: *Analysis and Design of Selenium WebDriver Automation Testing Framework*. *Procedia Computer Science*, Vol 50 (2015), pp. 341–346. ISSN 1877-0509. doi: [10.1016/j.procs.2015.04.038](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.038).
- [5] Shrivani, P. & Sreeveda. K.: *Selenium: An Automated Testing Tool For Web Applications and its Locating Strategies*. *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology (IJAERT)*, Vol 5, Issue 11 (2017), pp. 854–859. ISSN 2348-8190.
- [6] Wilson, RD & Manjuprasad, B.: *A Comprehensive Review on Selenium Automation Testing Tool*. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 5, Issue 20 (2017), pp. 1–4. ISSN 2278-0181.
- [7] Umar, MA. & Zhanfang, C.: *A Study of Automated Software Testing: Automation Tools and Frameworks*. *International Journal of Computer Science Engineering (IJCSE)*, Vol 8, Issue 6 (November-December 2019), pp. 217–225. ISSN 2319-7323.
- [8] Popov, B.; Koteska, B. & Mishev, A.: *Recent Trends in Software Testing - A Case Study with Google Calendar*. In: *Proceedings of the SQAMIA 2019: "8th Workshop on Software Quality, Analysis, Monitoring, Improvement, and Applications"*; Ohrid, North Macedonia; 22-25. September 2019. pp. 11:1–11:9. Also published online by CEUR Workshop Proceedings (<http://ceur-ws.org/>).
- [9] Nazia, I.: *Comparative Study of Automated Software Testing Tools*. *Culminating Projects in Computer Science and Information Technology*. 12., September 2016. [Online], available at: [https://repository.stcloudstate.edu/csit\\_etds/12/](https://repository.stcloudstate.edu/csit_etds/12/), last access 05 June 2020.
- [10] Lundmark, S.: *Automatic Testing of Modern Web Applications in an Agile Environment. A case study of testing a Google Web Toolkit Web Application using Selenium*. Bachelor's Essay at CSC, KTH Royal Institute of Technology, School of Computer Science and Communication (CSC), Stockholm, Sweden. 2011.
- [11] García, B. & Duenas, JC.: *Automated Functional Testing based on the Navigation of Web Applications*. In: *"Workshop on Automated Specification and Verification of Web Systems (WWV 2011)"*, EPTCS 61; 2011. pp. 49–65. doi: [10.4204/EPTCS.61](https://doi.org/10.4204/EPTCS.61).
- [12] *Najbolji programski okviri (frameworks) otvorenog koda koji se koriste za automatsko testiranje*. [Online], available at: <https://internetzanatlija.com/2020/02/25/najbolji-programski-okviri-frameworks-otvorenog-koda-koji-se-koriste-za-automatsko-testiranje/>, last access 25 May 2020.
- [13] *Selenium IDE*. [Online], available at: <https://chrome.google.com/webstore/detail/selenium-ide/mooikfkahbdckldjjndioackbalphokd/>, last access 16 May 2020.
- [14] *Radotić, S.: Korišćenje Selenium-a za testiranje softvera vezanog za korisnički interfejs finansijske aplikacije*. Master rad, Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet, Beograd, septembar 2016.
- [15] *Katalon Automation Recorder Quickstart*. [Online], available at: <https://www.katalon.com/resources-center/blog/katalon-automation-recorder/>, last access 15 May 2020.

**Husein Mehmedović<sup>1</sup>, Narajan Mehmedović<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>*International University of Travnik (IUT), Travnik,* <sup>2</sup>*Public Institution Mixed Secondary School "Gračanica", Gračanica, Bosnia and Herzegovina*)

## **FINANCING OF TRANSITION COUNTRIES WITH THE HELP OF FOREIGN DIRECT INVESTMENTS WITH SPECIAL REFERENCE TO BOSNIA AND HERZEGOVINA**

*The importance of Foreign Direct Investment (FDI) is shown by the percentage of investment from this source in the total amount of investment. Especially countries in transition base their economic development in part on this form of project financing. This paper will, among other things, present the financing of countries in transition, and one of the sources of funding is foreign direct investment. The countries of the Western Balkans are mainly transition countries that base their development in part on foreign direct investment, which is confirmed by numerous projects financed from this source. We will present some of the transnational companies operating in these countries with the total amounts of financial resources they have invested so far. We will look at countries that have not used these resources enough to date. Bosnia and Herzegovina is one of the countries that could make much more use of these project financing opportunities in order to accelerate the implementation of reforms and faster economic development.*

### **1. Introduction**

Investing is part of the global problem of development as a continuous process by which every company and enterprise ensures its progress and future business. Every organization is forced to invest because every further development is conditioned by the efficient realization of investments. Foreign direct investment refers to the cross-border flow of capital for the purpose of purchasing land and businesses. They represent a long-term investment and less represent an expense from the country. Direct investments abroad are a form of capital investment that provides a foreign investor with the acquisition of property rights, control and management on the basis of invested capital. The purpose of these investments is to create an economic and legal interest in which the aspiration of the investor to make a profit through the control and management of the invested capital is contained. These are entrepreneurial investments, for which it is not necessary for the investor's influence to be complete and absolute, but it is enough for the degree of management to influence the business policy of the company. UNCTAD, the Capital Movement Code, defines FDI as investments that involve a long-term relationship and lasting interest, as well as control over the entity's resident in an economy. Foreign direct investment is often equated with portfolio investment, but the basic difference between these two types of international capital movements is that portfolio investment does not acquire ownership of the entity. Recently, most of the foreign direct investments are realized through transnational companies, so it can be added that they are the main carriers of globalization.

### **2. Significance of investment and investment**



Investments are a necessary condition for making progress and realizing the constant effort of man to master the forces of nature and use them as efficiently as possible for their own benefit, i.e. to meet their needs. Investing is part of the global problem of development as a continuous process by which every company and enterprise ensures its progress and future business. Every organization is forced to invest because every further development is conditioned by the efficient realization of investments. There are a number of definitions of the term investment and investment, although there is no general agreement on the definition, but the authors mostly agree that investment and investing represent sacrificing, giving up spending in the present, to get some benefit in the future.

P. Massé [1, 13] gives one general definition: *"Investing is the exchange of immediate and certain satisfaction from which one gives up, for the hope that one receives and which is based on the invested good"*.

H. Peumans [1] gives the following definition: *"Investing consists in procuring real goods, that is, paying a certain price at the present time, with the aim of having a certain income in the future. It is therefore an exchange of something certain for a series of hopes spread over time"*.

The sacrifices made in the present, that is, the income that is expected in the future, represent one of the basic characteristics of investments and the investment process.

This characteristic marks investments as a time connection between the future and the present. One of the most significant characteristics of investing is the time in which the investment process takes place, which entails both uncertainty and risk. The longer the investment process, the greater the uncertainty.

In everyday practice, investments are considered to be:

- Cash invested in certain production goods;
- The process of transformation of monetary goods into productive goods;
- The subject in which the investment is made and which is obtained as a result of the investment process.

Foreign investment from one country to another has deep historical roots. However, a more significant investment of capital at the international level followed the industrial revolution, i.e. the emergence and development of the capitalist mode of production [3].

In the 19th century, Great Britain was the largest exporter of capital to other European countries. Most investments go to the production of agricultural products and the exploitation of mineral resources in order to produce raw materials for the greater needs of domestic industry.

In the 20th century, the United States took over the role of the world's leading investor. The original motives for investing in international capital movements depended on supply. In addition to being a key factor in international politics, the United States is also the country that invests the most capital in the world and thus influences the economic and social direction of development of the modern world.



Of the total foreign investment of the United States, 70% of the funds were invested in the developed countries of the world, and the remaining 30% in the underdeveloped countries of the world. The developed countries of the world are the largest source of FDI because they are home to the largest number of transnational companies (TNCs). The dynamic growth of FDI in the post-war period is attributed to the extensive network of TNCs in the world economy.

The FDI trend for different regions and countries is presented in [2, 5-12, 15-16, 20].

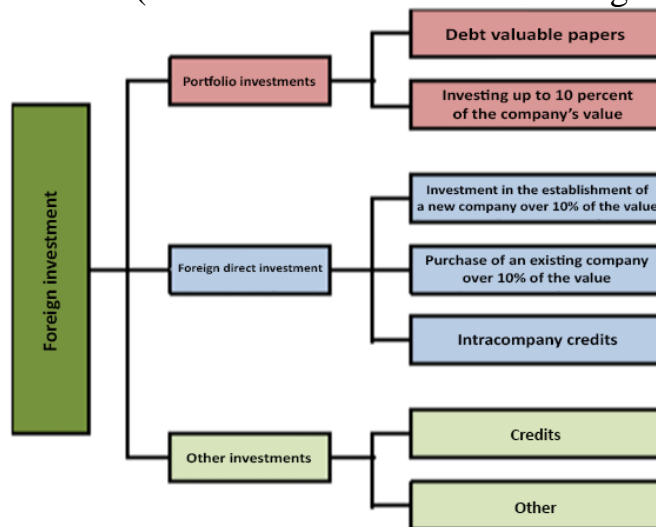
### 3. International movement of capital

The movement of capital from the economy of one country to another is a process that is defined in economic theory as international capital flows.

International movement of capital initially represented the inflow and outflow of capital from the aspect of financing the deficit or investing the surplus of current transactions of the state balance of payments.

The term, international movement of capital implies three basic forms of movement of capital (Fig. 1) [17]:

- Movement of loan capital (loans, credits);
- Portfolio investments (shares and bonds without the right to manage the company);
- Direct investment (forms of investment with the right to manage).



**Fig. 1.** Forms of capital movements [17]

The difference between foreign direct investments and portfolio investments is that with FDI the right to manage a certain company is acquired, and with portfolio investments the purchase of securities and loans is made to a level that does not give the investor a majority decision and control over the investing entity. If the investments are less than 10% of the value of the capital, they are treated as portfolio investments.

### 4. Foreign direct investment (FDI)

Foreign direct investments are understood as investments of a foreign person in a domestic legal entity (enterprise), with which a foreign investor acquires a share or shares in the share capital of that legal entity and in accordance with the law acquires all other rights based on such investment [14]. According to the definition of the Secretariat of the World Trade Organization's (WTO) foreign direct investment means the resulting relations when an investor from one country (the home country) acquires an asset in another country (the host country) with the intention to manage these assets [3]. Almost identical to the definition adopted by the International Monetary Fund and that foreign direct investment is defined as investment that is undertaken in order to acquire a lasting interest and profit in the company, with the intention to participate in the management of this company.

In essence, according to the IMF definition, foreign direct investment exists when a foreign investor acquires more than 10% or more of the ownership share of an economic entity with the intention of achieving lasting business interests and participation in management in a company in which he has no ownership share.

According to the UNCTAD Capital Movement Code, foreign direct investment includes three essential features:

1. Full ownership of a particular project in the host country;
2. percentage share in the capital of an existing or newly established company;
3. long-term loans of at least five years.

Foreign investment is nothing new because it appears in the very beginnings of the development of international cooperation, with the fact that the forms and goals of foreign investment have changed throughout history. Today, foreign direct investments are mostly realized in underdeveloped countries and countries in transition. Less developed countries are obliged to accept any form of international cooperation in order to employ labor force and improve the economic situation in the country due to the lack of domestic accumulation.

## **5. Transnational companies as carriers of foreign direct investments**

One of the more complete definitions defines a transnational company as a parent company that: *Performs production and other activities in its own branches located in several different countries, has direct control over the business policies of its branches and adopts and implements business strategies in production, marketing, finance and other functions. which transcend national borders, becoming global, world-oriented.* In addition to this, there are many other definitions of transnational companies, and one of them is that transnational companies are companies that have their headquarters in one country, but have significant fixed investments in other countries. The first company that could be included in the definition of a transnational company was the British East India Company, founded in 1600, which performed a wide range of activities, from production to distribution and sale of goods from the British colonies. It is the first transnational company and the largest company of the 17th and 18th centuries. Most transnational companies are organized as a joint stock company because it is

the most convenient way to raise the capital needed for their business. The number of these corporations is increasing due to the process of globalization of the world economy and the large number of mergers of companies, i.e. their mergers. As already mentioned, TNCs consist of the parent company and its subsidiaries (branches). A parent company is a company that has control over other branches located in other countries. A branch abroad is a company in which the investor, who is a resident of another country, has a share that provides him with a lasting interest in the management of the company. The following table shows the top 10 transnational companies in the world by revenue (Table 1) [19].

Transnational companies (TNC) are the bearers of foreign direct investment, as well as the most important participants in international trade. The word trans is of Latin origin and translates as "over", which actually means a business activity that crosses the borders of the country in which the company was founded. As much as TNCs affect the foreign trade of their home countries, so they affect the host countries of their branches.

**Table 1.** Top 10 transnational companies by revenue [19]

No.	Company	Revenue (\$ M)
1.	Walmart	514,405 \$
2.	Sinopec Group	414,649 \$
3.	Royal Dutch Shell	396,556 \$
4.	China National Petroleum	392,976 \$
5.	State Grid	387,056 \$
6.	Saudi Aramco	355,905 \$
7.	BP	303,738 \$
8.	Exxon Mobile	290,212 \$
9.	Volkswagen	278,341 \$
10.	Toyota Motor	272,612 \$

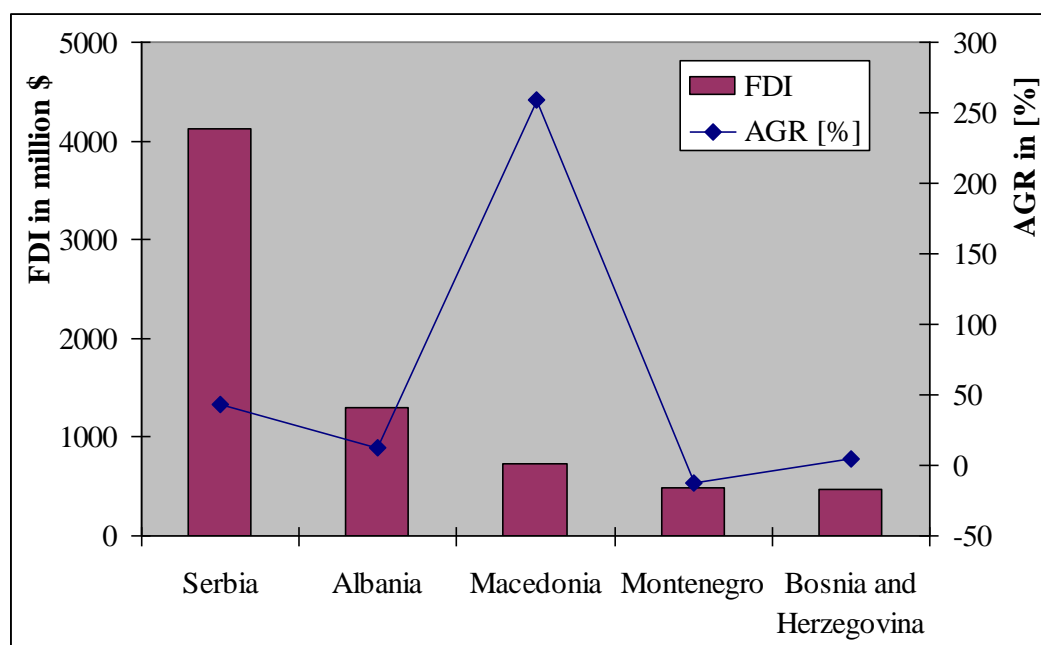
Developed countries are the most common and home countries and host countries of transnational companies, while the Earth's central Europe usually only host and a lot fewer home country. Inflows of foreign direct investments in these countries are significantly higher than outflows from them, as well as their share in FDI inflows in relation to outflows. For host countries, the opening of a branch of a transnational company in its territory means that, instead of importing from its home country, TNC will procure products from the branch that produces them in its territory. In addition to the large number of positive effects that TNCs have as FDI carriers, there are also negative ones such as the loss of state sovereignty. Countries during the transition process cannot achieve competitiveness in the international market using only their own resources. The processes of liberalization and privatization have contributed the most to the initiation of foreign capital inflows into transition countries [10]. The existence of net foreign capital it is possible to realize the state competition, the effects of foreign capital in this country are different. Some countries have successfully competed on the

international market and joined international production flows and technological chains, while other foreign direct investment funds are used for disinvestment, i.e. financing of domestic consumption.

Foreign direct investment (FDI) of Western Balkan countries in transition in million \$ in the period 2013-2018 is given in Table 2 [12]. The Western Balkans region in 2018 recorded an increase in foreign direct investment (FDI), while in the world it decreased (Fig. 2). According to the UN Conference on Trade and Development (UNCTAD) "World Investment Report 2019", the highest growth in the Western Balkans was recorded in Northern Macedonia, where the inflow of foreign direct investment increased by 260% from \$ 205 million in 2017 to \$ 737 million last year. Serbia, which has the largest inflow of foreign direct investment in the region, grew by 44% to \$ 4.1 billion [8, 12, 16, 20]. Montenegro is the only one in the region saw a decrease - 12% to 490 million dollars, while Bosnia and Herzegovina has had a growth of 4% to 468 million dollars, and Albania from 13 percent to 1.3 billion US dollars. In the countries in the region that are in Europe, Slovenia had the largest inflow of FDI (81%) to \$ 1.4 billion, while Croatia (43%) and Bulgaria (21%) recorded a decline. Greece grew 9% to \$ 4.3 billion and Romania to \$ 5.9 billion. In 2018, Serbia was the second largest recipient of foreign direct investments among transition countries, which includes the countries of the former Soviet Union, with the growth of share capital, according to the UNCTAD report [12].

**Table 2.** FDI of Balkan countries in transition in million \$ in the period 2013-2018 [12]

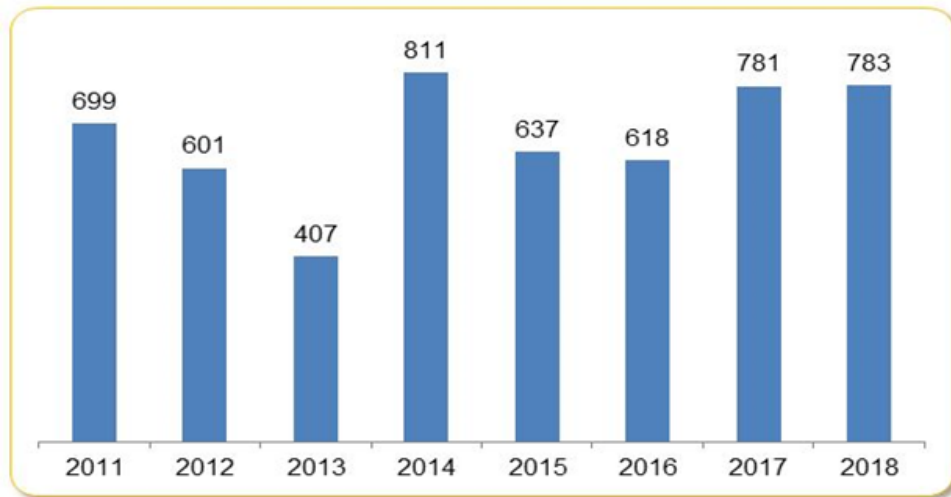
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Albania	1266	1110	945	1100	1146	1294
Bosnia and Herzegovina	276	550	361	319	448	468
Bulgaria	1837	461	2661	1110	2608	2059
Croatia	961	2879	270	1808	2037	1159
Greece	2817	2683	1268	2763	3611	4257
Macedonia	335	272	240	374	205	737
Montenegro	447	497	699	226	557	490
Romania	3601	3211	3839	4997	5406	5888
Serbia	2053	1996	2347	2350	2871	4126
Slovenia	-151	1050	1674	1245	782	1419



**Fig. 2.** FDI of Western Balkan countries in transition in million \$ in the 2018 with annual growth rate (AGR) [9]

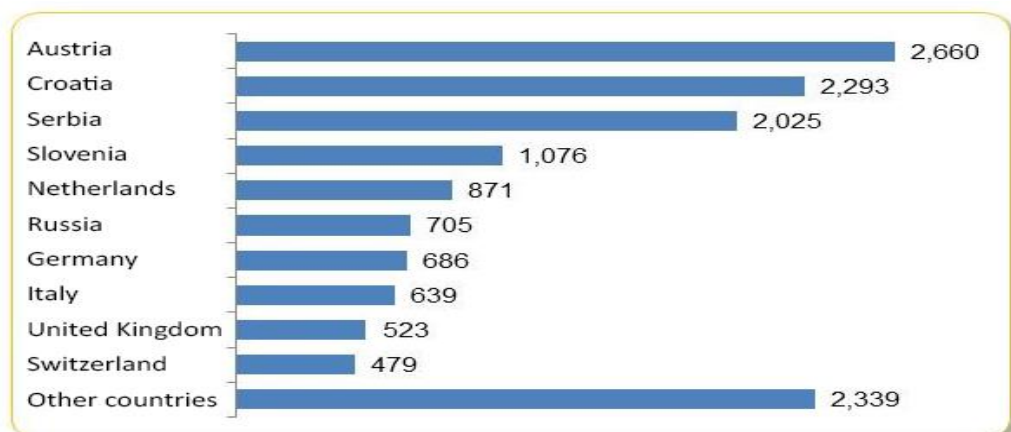
### 5. Foreign direct investments in Bosnia and Herzegovina

Testimonies or "success stories" of foreign investors confirm that Bosnia and Herzegovina is a favorable destination for foreign investment and that one should be optimistic about the inflow of foreign direct investment in the coming period. Expectations to increase the level of foreign investment are based on investment opportunities, the privatization plan of strategic companies, the expressed interest of potential investors, as well as projects that are in the implementation phase [14]. Based on the data published in the Global Location Trends and Facts & Figures report for 2019, BiH is in sixth place in the world based on the number of enabled jobs through foreign direct investment to one million inhabitants, a third to investments for export. According to the data of the Central Bank of BiH [4] from August 2019, in total FDI they amount to KM 14.296 million or KM 14.3 billion (EUR 7.309 million or EUR 7.3 billion) (Fig. 3). In 2018, foreign direct investment amounted to KM 783.4 million or EUR 400.6 million, and maintained a positive trend with a slight increase of 0.4% compared to 2017. According to revised data, foreign direct investment for 2017, amounted to KM 780.6 million or EUR 399.1 million and increased by 26.2% compared to the amount in 2016. FDI in 2018, with modest growth compared to the previous year, indicate an increase in foreign investment by 20.4% compared to the five-year average (period 2011-2018).



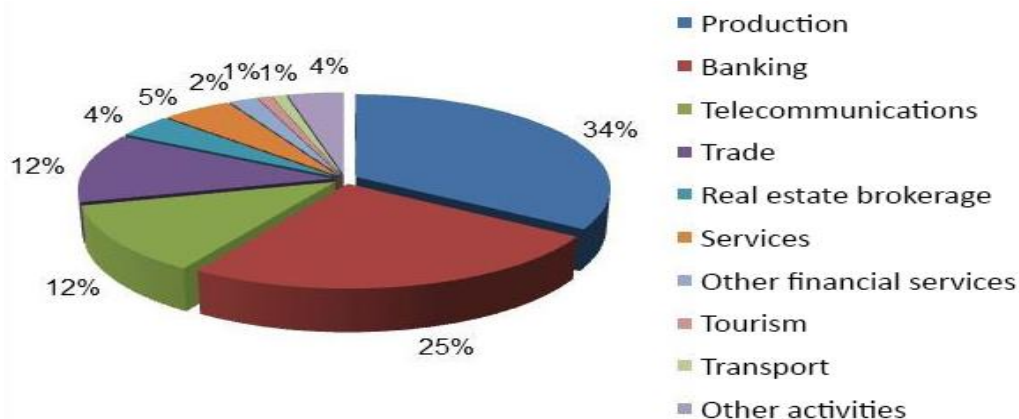
**Fig. 3.** FDI in the Bosnia and Herzegovina for the period 2011-2018 [4]

In 2007, Bosnia and Herzegovina had the largest amount of FDI in the amount of 2.6 billion KM, due to the privatization of state-owned enterprises. In 2008, the inflow amounted to 1.3 billion KM and was satisfactory, without significant privatization and with a positive structure. The global economic crisis affected a significant reduction in investment in 2009. The increase in foreign direct investment was registered in 2010 and 2011, but unfortunately, despite promising estimates, FDI flows in 2012 and 2013 did not maintain a positive trend. In 2014, it brings the largest amount of FDI in the last five years. In 2014, 811 million KM were registered, which is an increase of 99.2% compared to the previous year. According to the revised data of the Central Bank of BiH, FDI in 2015 amounted to 637 million KM, which is a decrease of 21.5% compared to 2014, and foreign investments in 2016, with 618 million KM, were lower by 2.9% compared to 2015. In 2017, with an increase in foreign investment of 26.2%, the negative trend was stopped and a modest growth of foreign investment was recorded in 2018. Based on data for January-March 2019, FDI amounted to 231 million KM or 118 million euros. The Fig. 4 presents the countries that have invested the most in BiH (May 1994-December 2018) [4].



**Fig. 4.** Main foreign investors in the Bosnia and Herzegovina [4]

According to the total investments from 1994 to December 2018, the aging country that has invested the most, the Republic of Austria with 2.7 billion (1.4 billion euros), followed by Croatia, Serbia and Slovenia. Thanks to a good reputation and a long industrial tradition in BiH, the most significant amount of FDI was invested in the manufacturing sector (34%). The banking sector also has a significant share in the total inflow of foreign direct investment (25%) (Fig. 5) [18].



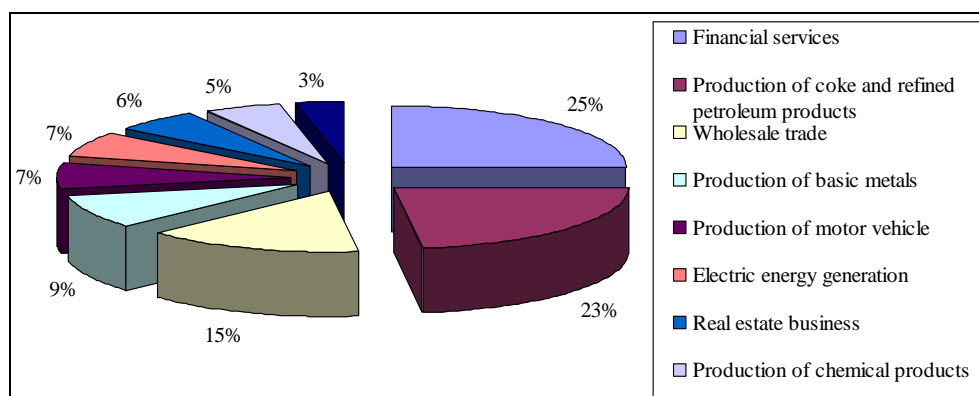
**Fig. 5.** State of FDI by sectors

## 6. Foreign investments in Bosnia and Herzegovina in 2018

According to official data CBBiH of Foreign Direct Investment in Bosnia and Herzegovina in 2018 amounted to 783.4 million KM or 400.6 million Euro. In the structure of direct foreign investments, ownership shares refer to 547.7 million KM (or 280.0 million Euro), retained earnings amounted to 383.0 million KM (or 195.8 million Euro), while other capital was negative and amounted to -147.3 million KM (or -75.3 million Euro). Registered ownership shares were higher compared to the previous year (350.6 million KM in 2017), retained earnings were slightly lower (401.5 million KM in 2017), while other capital (unlike the previous year with 28.6 million KM) recorded a significant negative amount (possible liabilities on the basis of borrowings) and influenced the total FDI to be with a modest growth of 0.4%. Ownership shares accounted for 69.9% of total foreign direct investment in BiH in 2018. The countries that invested the most in Bosnia and Herzegovina in 2018 were: Russia with 140 million KM, Croatia 106 and the Netherlands with 94 million KM. The following countries registered significant capital increases (over 20 million KM): Austria (87 million KM), Germany (84), Great Britain (81), Switzerland (40), Slovenia (33) and Italy (23 million KM). In 2018, the activities within which most foreign investments were registered (over 20 million KM) are: financial service activities other than insurance and pension funds with 145.6 million KM, production of coke and refined petroleum products with 135.8 million KM, wholesale trade, except of motor vehicles and motorcycles 87.7 million KM, production base metals 52.0 million KM, production of motor vehicles, trailers and semitrailers with 39.0 million KM, production and supply electric. gas, steam and air conditioning 36.8 million KM, real estate business 33.4 million KM, production of chemicals and chemical production water with 32.8



million KM and production of drinks 30.7 million KM. Also, we can conclude that the FDI in 2018th year had a constant growth that continued since 2017 and in 2018, reached an amount of as much as 800 million KM, an increase compared to 2017 th year, as the man will also be seen in the previous figures. In Fig. 6 is given FDI by sectors in 2018 [4].



**Fig. 6.** FDI by sectors in 2018 [4]

## 7. Conclusion

Globally observed, the financing of projects in developing countries and developing countries would not be possible without cross-border capital. Thanks to capital from abroad, today many countries are in an enviable economic, political, cultural, sports, social and every other position. Respectable investments include Foreign Direct Investment (FDI). They have made a significant contribution to the development of countries in transition, such as the countries of the Western Balkans. Many projects in these countries have been implemented thanks to Foreign Direct Investment (FDI). If we analyze the total amount of investment with the help of Foreign Direct Investment (FDI), we can come to the conclusion that countries like the United States and European Union countries are the largest investors in transition countries. Within the transition countries, Bosnia and Herzegovina is one of the countries that has very promising and "success stories" of foreign investors who confirm that Bosnia and Herzegovina is a favorable destination for foreign investment. We should be optimistic about the inflow of foreign investments in the coming period if the state makes a little more effort and provides a more favorable business environment for their smooth operation without major administrative barriers that would lead to attracting new Foreign Direct Investment (FDI). In this way, better conditions would be created for the country to accelerate its economic development.

## REFERENCES

- [16] Bardarova, S.; Jakovlev, Z. & Koteski, C.: *Investment of human capital in tourism and hospitality with a specific reference of R. Macedonia. Journal of Process Management – New Technologies, International (JPMNT), Vol. 1, No. 4 (2013), pp. 74–81. ISSN 2334-735X.*
- [17] Bevan, A.A. & Estrin, S.: *The determinants of foreign direct investment into European transition economies. Journal of Comparative Economics, Vol. 32, Issue 4 (December 2004), pp. 775–787. ISSN 0147-5967. doi: [10.1016/j.jce.2004.08.006](https://doi.org/10.1016/j.jce.2004.08.006).*



- [18] Bodiroza, M.: *International economics. 6th Revised and Updated Edition*. Travnik (Bosnia and Herzegovina): International University of Travnik, 2022. – 474 pp.
- [19] Central Bank of BiH (CBBH), August 2019.
- [20] Buckley, P.J.; Clegg, L.J.; Cross, A.R.; Liu, X.; Voss, H. & Zheng, P.: *The determinants of Chinese outward foreign direct investment*. *Journal of International Business Studies*, Vol. 38, Issue 4 (July 2007), pp. 499–518. ISSN 0047-2506. doi: [10.1057/palgrave.jibs.8400277](https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8400277).
- [21] Cheng, L.K. & Kwan, Y.K.: *What are the determinants of the location of foreign direct investment? The Chinese experience*. *Journal of International Economics*, Vol. 51, Issue 2 (August 2000), pp. 379–400. ISSN 0022-1996. doi: [10.1016/S0022-1996\(99\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1996(99)00032-X).
- [22] De Mello, L.R. Jr.: *Foreign direct investment in developing countries and growth: A selective survey*. *Journal of Development Studies*, Vol. 34, Issue 1 (1997), pp. 1–34. ISSN 0022-0388. doi: [10.1080/00220389708422501](https://doi.org/10.1080/00220389708422501).
- [23] Dudić, B.; Smoleň, J.; Dudić, Z. & Mirković, V.: *Support for foreign direct investment inflows in Serbia*. *Economic Annals – XXI*, Vol. 169, Issue 1-2 (July 2018), pp. 4–11. ISSN 1728-6220. doi: [10.21003/ea.V169-01](https://doi.org/10.21003/ea.V169-01).
- [24] Globerman, S. & Shapiro, D.: *Global foreign direct investment flows: The role of governance infrastructure*. *World Development*, Vol. 30, Issue 11 (November 2002), pp. 1899–1919. ISSN 0305-750X. doi: [10.1016/S0305-750X\(02\)00110-9](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00110-9).
- [25] Grgurević, N.: *Uticaj direktnih stranih investicija na zemlje u tranziciji*. *Anali poslovne ekonomije*, Vol. 5, No. 8 (2013), pp. 17–24. doi: [10.7251/APE0813017G](https://doi.org/10.7251/APE0813017G).
- [26] Kogut, B. & Chang, S.J.: *Technological capabilities and Japanese foreign direct investment in the United States*. *Review of Economics & Statistics*, Vol. 73, Issue 3 (1991), pp. 401–413. doi: [10.2307/2109564](https://doi.org/10.2307/2109564).
- [27] Kvirgić, G.; Čilerdžić, V. & Lutovac, B.: *Analysis of foreign direct investments of Balkan countries*. In: *Proceedings of the 9th International Conference "Economics and Management-Based on New Technologies" (EMoNT-2019)*; Vrnjačka Banja, Serbia; 23-26 June 2019. Vrnjačka Banja: SaTCIP Publisher Ltd., 2019, pp. 54–63. ISBN 978-86-6075-067-1.
- [28] Massé, P.: *Les dividendes du progrès, rapport du Secrétaire General du Plan*. Paris, France, 1964.
- [29] Mehmedović, H.: *Fundamentals of monetary and international finance*. International University Grass, Meadow, 2020. – 170 pp.
- [30] Shaver, J.M. & Flyer, F.: *Agglomeration economies, firm heterogeneity and foreign direct investment in the United States*. *Strategic Management Journal*, Vol. 21, Issue 12 (December 2000), pp. 1175–1193. ISSN 0143-2095.
- [31] Simeunčević, S.: *Foreign direct investment impact on environment in Serbia in the period 2000-2008*. *Spatium*, Vol. 24 (2011), pp. 63–70. ISSN 1450-569X. doi: [10.2298/SPAT1124063S](https://doi.org/10.2298/SPAT1124063S).
- [32] Web page: <http://www.fipa.gov.ba/informacije/statistike/investicije/default.aspx?id=180&langTag=bs-BA> (Access date 19/05/2020).
- [33] Veljović, L.: *Medjunarodno kretanje faktora*. Presentation on the Internet.
- [34] Web page: <https://fortune.com/fortune500/2020/> (Access date 18/05/2020).
- [35] Živković, S.; Karić, D.; Barjaktarović, M. & Zečević, R.: *Analysis of trends in foreign direct investment in Serbia as a factor of the industrial development*. *Technics Technologies Education Management*, Vol. 7, Issue 4 (December 2012), pp. 1847–1855. ISSN 1840-1503.

Антюшко Д.П. (Україна, Київ, КНТЕУ)

## СУТНІСТЬ І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ОСВІТИ УПРОДОВЖ ЖИТТЯ

*Проаналізовано актуальність застосування безперервної освіти в системі підготовки висококваліфікованих фахівців, сутність, основні форми та складові її реалізації, проведено дослідження методологічних і практичних засад практичного використання даного виду навчання. Базуючись на одержаних результатах дослідження встановлено перспективність безперервної освіти для досягнення загально соціального ефекту та реалізації особистісного потенціалу розвитку представників населення.*

*The relevance of the continuing education in the training highly qualified specialists' system usage, its essence, basic forms and components of practical implementation were analyzed. The study of this type of training methodological and practical principles was conducted. Basing on the results of provided research, the prospects of continuing education to achieve a general social effect and the realization of personal development potential of the population were established.*

Сучасні активні процеси розвитку суспільства у сферах глобалізації, технологізації й інформатизації сучасного світу обумовлюють необхідність змін сутності соціальної, трудової та професійної діяльності. Як результат цього, спостерігаються важливі кардинальні видозміни щодо одержання, накопичення та передачі інформації, даних і знань, значного підвищення їхніх обсягів. Підтвердженням цього є факт, що згідно з аналітичними даними [1] щороку відбувається оновлення близько 5% загально теоретичних і 20% спеціалізованих даних. Це, у свою чергу, може у деяких випадках призводити до того, що знання та навички, які здобуваються упродовж терміну навчальної підготовки, можуть виявлятися вже застарілими на момент початку трудової діяльності здобувачів навчальних компетентностей.

Динаміка, сутність і масштаби проаналізованих явищ [1, 2] підтверджують необхідність визначення та реалізації радикально нового підходу до здійснення освітнього процесу, заснованого на універсальності, безперервності та врахування потреб, позицій і інтересів суспільства й конкретних його індивідуумів. В аспекті розв'язання даної ситуації важлива роль відводиться безперервній освіті впродовж усього життя, що направлена на формування та досягнення необхідних компетентностей спеціаліста в аспекті соціально орієнтованої системи [3]. Це, у свою чергу, дозволить забезпечити максимальну суспільну затребуваність усього широкого комплексу можливостей та знань кожної особистості з урахуванням її інтересів і прагнень. Підвищено важлива роль реалізації даної концепції безперервного навчання упродовж усього життя відводиться з огляду на сучасні процеси інтеграції вітчизняної системи освіти до глобальних вимог міжнародного ринку праці загалом та Болонської системи зокрема. Зважаючи

на проаналізований матеріал, концепція безперервної освіти упродовж усього життя набуває все більшої актуальності.

Значний внесок в аналіз сутності, розкриття основних принципів та особливостей реалізації, підходів до забезпечення безперервної освіти зробили вітчизняні та закордонні вчені С. Сисоєва [4], В. Кремень [5], С. Adams [6], Р. Layne [7], D. Swanger [8]. У той же час, незважаючи на значну кількість робіт у даному напрямку, питання дослідження методологічних засад реалізації безперервної освіти залишається актуальними.

Метою дослідження є детальний аналіз сутності, форм, основних складових, методологічних і практичних засад реалізації безперервної освіти упродовж життя.

Результати аналізу історичної парадигми [1–3, 10] свідчать, що ідея освіти упродовж усього життя визначалася ще в роботах стародавніх філософів, зокрема Сократа та Платона, але особливої актуальності набула у наш час. Дослідження досвіду ЄС у сфері її застосування дозволяє констатувати, що дана концепція реалізації освіти визначена цільовою Програмою навчання упродовж життя (Lifelong Learning Programme) [10], що замінила попередні програми професійного й дистанційного навчання, розроблені до 2006 року. У даному документі цей вид освіти був визначеним одним із базових компонентів реалізації соціальної моделі розвитку ЄС і критичним фактором розвитку сфер зайнятості та забезпечення суспільства, зростання рівня економіки та конкурентоздатності [10]. Крім того, відповідно до Європейської стратегії зайнятості [11], прийнятої 22.07.2003, було визначено основні принципи політики навчання упродовж усього життя, що:

- ✓ розкривають проблему нестачі кваліфікованих робочих спеціалістів із відповідним рівнем знань і навичок, необхідності налагодження чітко відпрацьованої практики передачі їхнього досвіду молодим спеціалістам

- ✓ стимулюють до здійснення різноманітних заходів щодо забезпечення населення потрібними освітою та компетентностями,

- ✓ визначають важливість і необхідність підвищення рівня інвестицій в людські трудові ресурси, зокрема шляхом реалізації організаціями навчальних програм.

На основі проведеного аналізу літературних джерел [10,12] встановлено, що залежно від форм реалізації та кінцевого результату, який має бути одержаний, виділяють 3 наступні форми безперервної освіти:

- формальне – здійснюється в навчально-освітніх закладах різного рівня та завершується одержанням певного підтверджуючого документа (дошкільна, шкільна, вища, друга вища, аспірантура, докторантура, підвищення кваліфікації, перепідготовка),

- неформальне – реалізується в професійно орієнтованих установах додаткової освіти та професійного навчання, на різноманітних курсах, у тому числі дистанційної форми навчання, та, у більшості випадків, не підтверджується офіційним документом про їх завершення,

➤ спонтанне (неофіційне) – індивідуальна освітня діяльність, що визначається як природна складова різноманітного життєвого досвіду (самоосвіта, спілкування, читання, перегляд наукового й пізнавального аудіо-, відеоматеріалу, різноманітні культурні та просвітницькі заходи та інші івенти).

Базуючись на результатах проведеного аналітичного дослідження визначено, що залежно від цілей, які встановлюються при здобутті неперервної освіти, виділяють наступні її складові:

➤ професійно додаткова – орієнтована на забезпечення додаткових (у багатьох випадках допоміжних) професійних вмінь і навиків реалізації людського потенціалу для досягнення поставлених цілей певної організації, установи або держави в цілому,

➤ адаптативна – спрямована на створення для працівників можливостей адаптуватися до технічних новацій і інших новацій суспільного та побутового життя, набуття практично орієнтованих навичок використання ними у повсякденному житті,

➤ необхідна згідно з індивідуальними потребами та інтересами – направлена на задоволення індивідуальних потреб чи запитів представників соціуму для підвищення інтелектуального, духовного й культурного рівня (лінгвістичні курси, культурологічні, психологічні тренінги та зустрічі, комунікативні майстер-класи, інше).

Таким чином, проаналізований матеріал щодо концепції безперервної освіти упродовж життя свідчить про доцільність його ідентифікації як перспективного напрямку підвищення професійного, інтелектуального, творчого та соціального рівня життя й реалізації потенціалу населення.

Базуючись на результатах дослідженого матеріалу [1, 2, 9–12] встановлено, що застосування даного виду освітньої діяльності є актуальним напрямом для реалізації міжнародними та вітчизняними освітніми закладами, зокрема вищими, а особливо у загально світовому тренді забезпечення європейської політики щодо безперервного розвитку та самовдосконалення, поширення трудової мобільності населення. Розвиток дослідженого сегменту навчальної діяльності дасть змогу забезпечити та суттєво підвищити якість профільної підготовки й перепідготовки фахівців на ринку, у тому числі у сфер управління й адміністрування, інформаційних та комп'ютерних технологій, аналізу інформаційних даних, торговельної діяльності, розкриття здібностей фахівців різних сфер економіки та господарської діяльності. Широка імплементація даного підходу дозволить суттєво підвищити рівень індивідуальних, національних і міжнародних трудових ресурсів.

Перспективним напрямом подальших досліджень є аналіз і встановлення сучасних інноваційних методів і форм реалізації безперервної освіти, що дозволять одержувати високу ефективність засвоєння інформації та набуття нових навиків і здібностей здобувачами.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Освіта протягом життя: світовий досвід і українська практика. Аналітична записка. URL : <http://www.niss.gov.ua/articles/252/>
2. Panitsidou E., Griva E., Chostelidou D. European Union policies on lifelong learning: in-between competitiveness enhancement and social stability reinforcement. *Procedia – social and behavior sciences*. 2012. V. 46. P. 548-553.
3. Нигматуллина И.А. Готовность к обучению в течение всей жизни : монография. Chisinau : LAP Lambert Academic Publishing Gmb H&Co. 2012. 214 с.
4. Сисоева С. О. Интерактивні технології навчання дорослих. Київ: ЕКМО, 2016. 324 с.
5. Кремень В. Постулати філософсько-освітньої діяльності. Рідна школа. 2013. № 1–2. С. 3-7.
6. Adams C. Character Education Seen as Student-Achievement Tool. URL: <http://68.77.48.18/RandD/Education%20Week/Character%20Ed%20Seen%20as%20Achievement%20Tool.pdf>
7. Layne P., Lake P. *Global innovations of teaching and learning in higher education*. New York: Springer International Publishing. 2015. 368 p.
8. Swanger D. *Innovations in higher education: can colleges really change?* Edinburg: PBS Newshour. 58 p.
9. Стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі (ESG). Київ: ТОВ "ЦС". 2015. 32 с.
10. Ворошилова О.С. Сущность и особенности обучения в течении всей жизни. URL : <http://web.snauka.ru/issues/2016/04/66529>
11. Education and training 2020. URL : [https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/ba/Policy\\_recommendations\\_ESL2015.pdf?61edra](https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/ba/Policy_recommendations_ESL2015.pdf?61edra)
12. European Employment Strategy. URL : <http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=101&langId=en>.
13. Ниязбекова А.Б. Обучение в течении всей жизни. URL : [http://www.rusnauka.com/10\\_DN\\_2014/Pedagogica/4\\_165613.doc.htm](http://www.rusnauka.com/10_DN_2014/Pedagogica/4_165613.doc.htm)

**Васильєв Б.В., Назарова О.С.** (Україна, Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка»)

## **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС БАГАТОПАРАМЕТРИЧ-НОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА**

*Підвищено ефективність процесу керування шляхом використання впорядкованої інформації з метою формування технічних і технологічних вимог щодо удосконалення технологічного обладнання станів холодної прокатки. Доповнено математичну модель процесів, пов'язаних із силою натягу та відносним подовженням смуги металу, що прокатується, шляхом доповнення моделі функціональними залежностями передаварійної роботи обладнання, з метою підвищення надійності систем керування, скорочення часу і вартості налаштування технологічного процесу.*

**Вступ.** При вимірюванні, контролюванні і дослідженні параметрів технологічного процесу висновки про якість роботи обладнання і систем автоматичного керування робляться на підставі аналізу величин, які отримані при вимірюванні його параметрів. Однак на практиці часто буває важко вимірювати деякі параметри безпосередньо внаслідок конструктивних або технологічних особливостей, тому отримання вимірювальної інформації про ці параметри непрямим шляхом, використовуючи математичні моделі, обумовлюють актуальність цієї роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Системи автоматизованого контролю, крім кількісного оцінювання параметрів стану об'єкта, дають також якісну його характеристику: чи об'єкт (його параметри) в нормі, чи ні [1]. Однією з нових технологій є технологія віртуальних приладів, що дозволяє створювати системи вимірювання, керування і діагностування різного призначення практично будь-якої продуктивності, включаючи математичне моделювання та тестування цих систем [2]. Також, крім вирішення завдань вимірів / управління, відразу ж можуть вирішуватися і завдання обробки вимірювальної інформації та представлення результатів (автоматизоване формування звітів), що також дозволяє заощадити значну кількість часу [3-4]. Використання цієї технології при практичній реалізації сучасних автоматизованих вимірювальних систем (АІС) є на сьогоднішній день світовою тенденцією [5-7].

**Метою даної роботи** є розширення можливостей існуючого інформаційно-вимірювального комплексу, на прикладі стана холодної прокатки, шляхом розроблення засобів непрямого вимірювання і контролю сили натягу і відносного подовження смуги металу, що прокатується, для дослідження і використання отриманої інформації при побудові нових і модернізації існуючих систем автоматичного керування станами холодної прокатки.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасне металопркатне виробництво характеризується інтенсифікацією навантажень на технологічне обладнання, збільшенням швидкості прокатки, обтиску і т.д. У цих умовах зростає роль різних систем автоматичного діагностування, контролю і регулювання, що забезпечують підвищення продуктивності і якості продукції, що випускається [8].

ВАТ «Запоріжсталь» приділяє увагу оперативності отримання інформації з виробництва, обробки та аналізу отриманих результатів. На території цеху холодної прокатки №1 (ЦХП-1) організована локальна мережа персональних комп'ютерів, що дозволяє відслідковувати зміну поточних значень електромеханічних параметрів з будь-якого ПК, а також використання архівних матеріалів для їх вивчення.

Для вирішення завдання вимірювання електромеханічних параметрів в умовах металопркатного виробництва існує діагностичний багатоканальний комплекс [8]. Комплекс використовує інформацію, отриману від датчиків швидкості, струму і напруги. По кожному з чотирьох електроприводів контролюються такі координати: напруга двигуна, струм збудження, струм якоря, а також швидкість кліті, яка береться з урахуванням каліброваного коефіцієнта пропорційно напрузі тахогенератора.

Проміжок металу між сусідніми агрегатами (рис. 1) [9,10], де,  $v_{kl2}$  – лінійна швидкість руху металу через перший та другий агрегат;  $l$  – це відстань між сусідніми агрегатами;  $C_p$  – жорсткість пружного елемента (транспортований матеріал);  $F_c$  – сила натягу смуги.

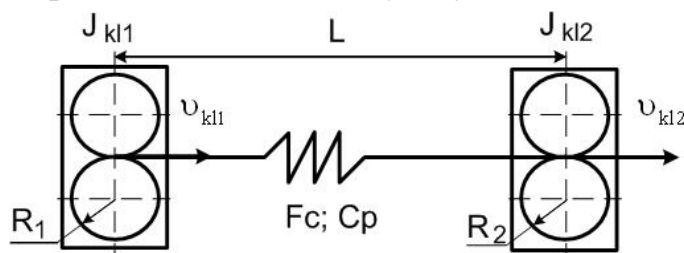


Рисунок 1 – Двомасова електромеханічна система прокатного механізму з кружностями другого роду

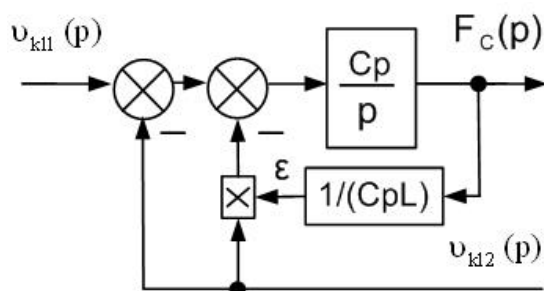


Рисунок 2 - Структурна схема пружного зв'язку другого роду

Згідно з рисунками 1 і 2 деформація матеріалу на ділянці довжиною  $l$  описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{v_{kl1}}{l} - (1 + \varepsilon) \frac{v_{kl2}}{l}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – відносне подовження;  $v_{kl1}$  і  $v_{kl2}$  – лінійні швидкості матеріалу на виході першого та другого агрегату.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

Сила натягу, яка виникає в матеріалі:

$$F_C = C_p \Delta l = C_p l \varepsilon \quad (3)$$

Використовуючи (1) – (3) отримаємо систему рівнянь в операторній формі:

$$\left. \begin{aligned} F_C(p) &= \frac{C_p}{p} \{v_{kl1}(p) - [1 + \varepsilon(p)]v_{kl2}(p)\}; \\ \varepsilon(p) &= \frac{1}{C_p l} F_C(p); \\ v_{kl1}(p) &= R_1 \omega_1(p); \quad v_{kl2}(p) = R_2 \omega_2(p), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $R_1$ ,  $R_2$  і  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  – відповідні радіуси і кутові швидкості першого та другого агрегату.

Використовуючи дані кривої діаграми розтягу [11] відомий математичний опис доповнимо гранично допустимими умовами для сили натягу:

$$0,8F'_{C \max} < F'_C < 0,9F'_{C \max} \quad (5)$$

$$F'_{C \max} = K_r \cdot F_{C \text{rab}}, \quad (6)$$

де  $K_r$  – коефіцієнт межі міцності матеріалу ( $K_r = 1,5$ );  $F_{C \text{rab}}$  – сила натягу смуги металу при робочих режимах прокатування.

Величини  $K_r$ ,  $F_{C \text{rab}}$  визначаються з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу і геометричних розмірів смуги, що прокатується.

Лінійна швидкість визначається з урахуванням кутової швидкості і поточного значення радіуса рулона:

$$v = \omega R_p / i, \quad (7)$$

де  $v$  – лінійна швидкість руху смуги ( $v = \text{Const}$ ),  
 $i$  – передаточний коефіцієнт редуктора.



Кутову швидкість визначимо з рівняння:

$$\omega = \frac{U_m - I_y R_y}{C_m \Phi} \quad (8)$$

Таким чином отримано математичний опис для непрямого визначення сили натягу та відносного подовження смуги, що прокатується з урахуванням існуючих встановлених датчиків та встановленого діагностичного комплексу.

Практична цінність полягає в підвищенні ефективності процесу управління якістю продукції на етапах освоєння і вдосконалення виробництва. Шляхом використання повної упорядкування інформації і досвіду експлуатації сортових станів можна формувати технічні і технологічні рішення по модернізації діючого і розробці нового технологічного обладнання на станах.

**Висновки.** Пропонується вдосконалити існуючий інформаційно-вимірвальний комплекс стана холодної прокатки шляхом розширення кількості контрольованих електромеханічних параметрів цього стана, а саме, вимірювати непрямым шляхом силу натягу та відносного подовження смуги металу, що прокатується, з метою дослідження і використання отриманої інформації при побудові нових і модернізації існуючих систем автоматичного керування станами холодної прокатки.

Використання математичних моделей стану смуги металу, що прокатується, дозволить отримати непрямым шляхом інформацію про силу натягу та відносного подовження смуги металу без використання додаткових датчиків, що обумовить економічну ефективність зазначеного вдосконалення і сприятиме підвищенню якісних показників систем керування станами холодної прокатки.

На основі аналізу отриманих результатів вимірювання можна виділити такі основні етапи напрямків дослідження: аналіз технологічного обладнання; виявлення «проблемних» режимів; дослідження режимів прокатки і їх вдосконалення. Використовуючи дані інформаційно-вимірвального комплексу можна оптимізувати системи керування як окремими каналами, так і багатопараметричною технологічною системою в цілому.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Основи метрології та електричних вимірювань: підручник : затв. МОНУ / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Херсон : Олді-плюс, 2013. – 538 с.*
2. *Евдокимов, Ю.К., Маливанов Н.Н., Курсанов А.. Разработка и создание региональной дистанционной автоматизированной учебной лаборатории коллективного пользования по общетехническим дисциплинам для ВУЗов и средних учебных заведений республики Татарстан на базе технологии National Instruments // Сб. тр. Междунар. науч. практич. конф. «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments». Москва. 17-18 ноября, 2006. - С. 5-10.*

3. Баран, Е.Д., Захаров, П.М., Любенко, А.Ю. *Web-лаборатория «Микроконтроллеры и сигнальные процессоры» // Современные технологии автоматизации, 2005. - Т. 1. - С. 128-135.*
4. Кирсанов, А.Ю. *Методика экспериментального исследования динамики работы системы дистанционного управления экспериментом через информационные сети общего пользования // Электронное приборостроение. Научно-практический сборник, 2005.- № 3(44). - С. 42-49.*
5. Buckman, B. *VI-Based Introductory Electrical Engineering Laboratory Course // International Journal of Engineering Education, 2000. - Т. 16. - № 3. - С. 25-30.*
6. Liu, J. *Distributed Distance Measurement for Large-Scale Networks // Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications, 2003. - Т. 41. - № 2. - С. 177- 192.*
7. Ponomarev, D.U. *Tensor Analysis for Investigation Next Generation Networks // Proceedings of IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, Tomsk, 20 november, 2005. - С. 53-57.*
8. Назарова, Е. С. *Исследование электромеханических процессов дрессировочного стана с помощью диагностирующего многоканального комплекса [Текст] / Е. С. Назарова // Вісник КДПУ. – 2009. – Вип. 3(56). – Ч. 1. – С. 103-106.*
9. Sadovoi O., Nazarova O., Bondarenko V., Pirozhok A., Hutsol T., Nurek T., Glowacki Sz. *Modeling and research of electromechanical systems of cold rolling mills. Monograph. – Krakow: Traicon, 2020. – 138 p.*
10. Nazarova Olena. *Computer Modeling of Multi-Mass Electromechanical Systems. The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020), Vol. 2608, pp. 489-498. CEUR-WS.org/Vol-2608/paper36.pdf*
11. Грудев, А. П. *Теория прокатки / А. П. Грудев – М: «ИНТЕРМЕТ ИНЖИРИНГ», 2001. – 280 с.*

Величко М.В., Єфименко О.В., Плугіна Т.В. (Україна, м. Харків, ХНАДУ).

## **АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОЧОГО ОРГАНУ БДМ НА ДІЛЯНЦІ БУДІВНИЦТВА**

*У статті проводиться аналіз інформаційно-програмного інструментарію для рішення завдань позиціонування робочого органу машини у сучасному дорожньому будівництві. Обґрунтовано елементну базу систем позиціонування та переваги впровадження. Висунуто пропозиції щодо використання програмного забезпечення у системах позиціонування, що забезпечує адаптивну оптимізацію робочих процесів.*

*The task of analysis of information and software tools for solving problems of positioning the working mechanism of the machine in modern road construction is considered. The element base of positioning systems and benefits of implementation are substantiated. Proposals for the use of software in positioning systems, which provides adaptive optimization of work processes.*

### **Постановка проблеми.**

Загальна ефективність інформаційної підсистеми керування БДМ впливає на забезпечення швидкості й точності виконання робочих операцій. Система позиціонування є фундаментальною частиною автоматизованої системи управління, оскільки при будь-яких операціях має бути відомо положення всього обладнання у просторі. Система управління повинна забезпечувати операторів обладнання безперервною і поновлювальною інформацією про їхнє становище. Ці завдання можливо вирішити тільки завдяки програмно-інформаційного інструментарію.

Аналіз сучасного програмно-інформаційного інструментарію систем позиціонування робочого органу машини у сучасному дорожньому будівництві у повній мірі не проводився. Щоб надати найбільш точні оцінки й можливі прогнози щодо напрямків використання систем позиціонування, необхідна комплексна ітеративна методологія дослідження, спрямована на мінімізацію відхилень. Для створення безпечного, високоякісного, стійкого середовища в будівельній галузі необхідно застосовувати рентабельні й ефективні методи керування [1].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У відкритих кар'єрах найпродуктивнішою технологією є просторове позиціонування за допомогою супутникової системи GPS [2]. Нові системи управління БДМ, розроблені за останні роки, об'єднують досягнення в області супутникового позиціонування GPS і відповідні засоби SAPR. Вони дозволяють оператору обладнання в звичайних умовах бачити створений комп'ютером об'єкт та постійно оновлювати топографічну інформацію про нього [3]. Ці системи можуть зберігати схеми виконаних робіт і відразу передавати результати проектувальнику для перевірки. Кінцева мета системи - повністю виключити етап розбивки об'єкта традиційними методами,

здійснити електронну передачу проектних даних в транспортне обладнання відразу з офісу і безперервно оновлювати дані про переміщення машин і матеріалів [4].

Поглиблений конкурентний аналіз інформаційного інструментарію систем позиціонування БДМ на ринку України дозволив указати тенденції розвитку основних напрямків [5].

Мета роботи та постановка задач дослідження.

Метою даної роботи є підвищення ефективності використання систем позиціонування робочого органу БДМ за рахунок аналізу інформаційно-програмного інструментарію для рішення завдань позиціонування у сучасному дорожньому будівництві.

Задачі роботи: обґрунтувати ефективність впровадження систем позиціонування робочого органу БДМ; обґрунтувати елементну базу систем позиціонування робочого органу БДМ; провести аналіз сучасного програмно-інформаційного інструментарію систем позиціонування робочого органу машини; провести оцінку результатів та пропозицій щодо дорожнього будівництва України.

### **Основний матеріал дослідження.**

Саме від етапів проектування залежить якість і вартість будівельного проекту. Вибір технологічного рішення визначає ефективність впровадження систем позиціонування робочого органу БДМ. Цей факт дозволяє обмежити кількість вершин множини можливих станів системи автоматичного керування робочого органу, яка збільшується у часі, що значно зменшує вимоги до обчислювальної потужності та пам'яті бортової ЕОМ. З іншого боку, з'являється можливість побудови множин можливих станів системи автоматичного керування робочим органом, що еволюціонують у часі.

Насамперед, варто вибрати графічну платформу, на якій повинні працювати прикладні системи. Це повинен бути досить потужний редактор з функціональними можливостями, що постійно розширюються. Крім того, варто вибирати відкриту систему, що надає користувачеві можливість розробки власних додатків, що збільшують можливості базових систем.

Початок моделювання робочої ділянки пов'язане з підготовкою топогеодезичної основи, у якості якої можуть служити електронні карти (як растрові, так і векторні) або зображення, отримані з космосу. Потім "піднімається" рельєф, на якому будуть розташовуватися моделі об'єктів. Тут на допомогу приходять ГІС, що обробляють дані дистанційного зондування землі.

При цьому застосовується цифрова фотограмметрія по стереопарах аеро- або космічних фотознімків або ж будується рельєф по ізолініях оцифрованих паперових карт. Паралельно з розрахунком і створенням об'єктів йде робота з інформаційного наповнення залежно від специфіки застосування моделі.

Програмний продукт повинен автоматизувати всі етапи будівельного проектування й містити інструментальні засоби, необхідні геодезістам, топографам, розроблювачам генерального плану, шляховикам та іншим фахівцям.

Важливий момент будь-якого будівництва на місцевості - одержання інформації про землю, тому обраний продукт повинен мати інструмент аналізу поверхні з наступною побудовою цифрової моделі місцевості, використовуючи крапки геодезичної зйомки, крапки із планшетів, векторизовані горизонталі, структурні лінії різних типів.

Продукт повинен забезпечувати роботу всіх учасників проекту в єдиному інформаційному середовищі, що дозволяє поліпшити взаємодію між різними організаціями й підрозділами.

Інформацію про всіх спроектований 3D-об'єктах необхідно зберігати в базі даних проекту. При цьому потрібен зручний засіб для їхньої візуалізації.

У цей час на ринку програмних продуктів є безліч систем, що дозволяють автоматизувати процес планування будівництва й побудувати віртуальну модель майбутньої забудови, а також управляти БДМ.

Розглянемо декілька з них. Модуль Полевих Даних Terramodel (FDM) - початковий рівень системи Terramodel [6] . FDM стандартно поставляється з усіма тахеометрами Trimble і надає безліч функцій підтримки, керування даними й для додатків. Дані можуть бути передані з інструментів Trimble на додаток до різноманітних інструментів інших виробників і програмних систем. Передбачено наступні функції: обчислення, перегляд і аналіз геодезичних даних, попередній перегляд графіки, креслення проекту зйомки, генерація звіту й запити даних. FDM може бути модернізований за допомогою додавання інших модулів Terramodel для рішення різноманітних геодезичних завдань. Засоби САД редагування включають вирізку, продовження, приєднання, підключення, розбивку, переміщення, обертання й зсув.

Інтелектуальні засоби цифрового моделювання заощаджують час, автоматизуючи створення ЦММ (цифрова модель місцевості). Склад ЦММ: кожний шар може бути незалежною цифровою моделлю; кілька шарів можуть бути згруповані для формування багатошарової ЦММ; побудова за один крок криволінійних горизонталей; швидка побудова профілів для оцінки місцевості; 3D візуалізація моделі поверхні; обчислення площі поверхні; вимір обсягів може бути зроблено між двома ЦММ; terramodel автоматично створює вид поперечника й табличний шар з декількох креслень поперечників; підземні й наземні об'єкти можуть бути автоматично розміщені на кресленнях поперечників - наприклад, труби, кабелі й т.п.

Система Leica ConX дозволяє відслідковувати робочий процес у режимі реального часу за допомогою будь-якого пристрою. Дані візуалізують, обробляють за допомогою хмарного рішення й вебінтерфейсу. Leica ConX дозволяє візуалізувати і перевіряти проектні моделі, дані зйомки

й хід будівництва за допомогою інструментів аналізу з метою моніторингу й ведення звітності щодо продуктивності ділянки (Рис.1).



Рис.1. Інструментарій Leica ConX



Рис.2. Інструментарій PA10

Для підвищення інформативності операторів машин та робітників робочої ділянки створене безпечне робітниче середовище Leica PA10 (Рис.2). PA10 - система виявлення небезпечного зближення об'єктів, що надає інформацію про робітників навколо транспортних засобів і машин на ділянках для будівництва великих споруджень. Мітка PA забезпечує звукову, візуальну й тактильну навігацію, а анкер забезпечує операторові машини або водієві візуальну й звукову навігацію.

iCON office забезпечує передачу даних з офісу на ділянку будівництва завдяки інтеграції програмного інструментарію у систему Leica ConX. В iCON office можна відобразити доступні машини та їхнє розташування. Інтеграція дозволяє обмінюватися проектними даними безпосередньо між iCON office і встаткуванням на ділянці.

Програма Leica iCON office сумісна із системами керування машинами. Програмне забезпечення підтримує ряд систем керування й вимірювальними датчиками від Leica Geosystems, а також інших виробників: AutoCAD DWG і DXF; IFC; мікростанцій DGN; LandXML; MX / Moss; REV. Опціональний модуль моделі рельєфу місцевості в Leica iCON дозволяє розрахувати обсяг виконуваних робіт на поверхні й на висоті для складання кошторису. Цей модуль дозволяє повністю контролювати моделі поверхні, використовувани для розрахунку, включаючи границі й лінії розриву. Модуль також можна використовувати для створення профілів і ділянок місцевості, формування різних стандартних звітів контролю якості. На додаток до користувальницького інтерфейсу Leica iCON office працює, використовуючи убудований механізм AutoCAD® для відкриття й редагування власних креслень AutoCAD®. HxGN SmartNet - це інтегрована цілодобова GNSS мережа, для забезпечення GNSS і RTK вимірів, побудована на найбільш



референтній мережі, що дозволяє пристроям з підтримкою GNSS вимірів, швидко визначити точне місце розташування (Рис.3 – 4).

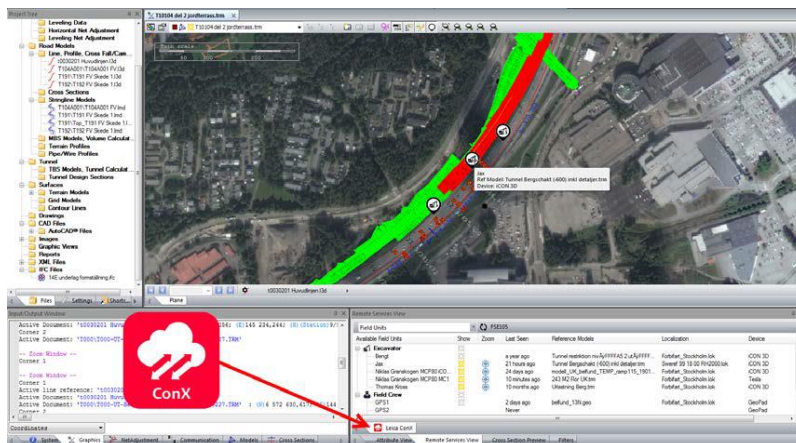


Рис.3. Інструментарій iCON office



Рис.4. Інструментарій HxGN Smartnet

HxGN SmartNet - це служба корекції місця розташування, яку можна використовувати з будь-яким пристроєм ГНСС, її постійно перевіряють на цілісність, доступність і точність. Володіючи більш ніж 4500 референтними станціями на основі технології Leica Geosystems, які забезпечують точність визначення місця розташування в будь-якому додатку, система HxGN SmartNet забезпечує одержання максимально швидких і точних координат.

Програма iCON site призначена для підвищення продуктивності, дозволяє перевірити й визначити роботу на правильній глибині, із правильним профілем, ухилом або поверхнею. iCON site розроблений для повної інтеграції з будь-якими сенсорами й рішеннями для машин Leica iCON.

Можливість обміну встаткуванням і даними із пристроїв установлених на машинах і поза ними, проектами й персоналом на ділянці, підвищує гнучкість і зменшує можливі простоя в роботі. Особливості програми: інформація про проект і статистика в реальному часі на ділянці; мінімізація помилок і доробок; збільшення коефіцієнта використання машини й зниження витрат на паливо; розрахунок точного обсягу ґрунту або інших матеріалів; вимір і калібрування на ділянці; зниження часу простою машини й підвищення продуктивності.

### Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

В умовах сталої конкуренції в будівельній галузі України використання системи позиціонування робочого органу БДМ надзвичайно вигідно для робітників на будівельних майданчиках у довгостроковій перспективі, оскільки ця система скорочує час простою машин і допомагає ефективно використовувати ресурси [11]. Обґрунтовано обчислювальну ефективність

використання математичного апарату для побудови множин можливих станів системи автоматичного керування робочим органом, що еволюціонують у часі. Програмний інструментарій завдяки методу розрахунку керуючого впливу, дозволяє бортовій ЕОМ визначити керування за 1 програмний цикл у порівнянні з багатьма циклами наявними методами. Зокрема, в гідроприводі екскаватора MH-City застосована мікропроцесорна адаптивна система контролю і регулювання робочих об'ємів насосів за допустимим навантаженням двигуна (система PMS – Pump-Managing-System), що забезпечує [11]: можливість вибору одного з трьох режимів використання потужності приводного ДВЗ за рахунок зменшення подачі насосів; автономне регулювання насосів з автоматичним об'єднанням потоків при необхідності підвищення швидкості робочого органу; переклад регуляторів насосів на мінімальне значення робочого об'єму при досягненні тиску спрацьовування відповідного запобіжного клапана, що сприяє зниженню нагрівання робочої рідини та економії палива; автоматичне зменшення частоти обертання вала ДВЗ до значення холостого ходу при перервах у роботі більш ніж 10 с; діагностування гідропривода екскаватора; контроль і регулювання температури охолоджуючої рідини у ДВЗ.

З іншої сторони існують фактори, що стримують розвиток систем позиціонування. Екскаватори, бульдозери й грейдери є дорогими машинами, а використання інформаційного інструментарію позиціонування в будівельному встаткуванні збільшує витрати на установку й інтеграцію. Таким чином, будівельним компаніям будівельних організацій потрібен великий капітал для покупки, встановлення та обслуговування БДМ, інтегрованого з технологіями позиціонування. Виникає потреба у висококваліфікованих кадрах щодо інформаційних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Ефективний інструментарій позиціонування забезпечує більш високу точність, допомагає прискорити завершення проектів і вимагає менших витрат на технічне обслуговування, високі первісні інвестиції є стримуючим чинником для розвитку цих систем.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ефименко А.В. *Инновационная система ЗТМ для разработки грунта на основе GPS технологи* / А.В. Ефименко, Т.В. Плугина, *Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование – Днепр: ГБУЗ «ПГАСА», 2018, С. 69-74.*
2. *Comhuri S., Mai A.T., Zaman M. Calibration Procedures for the Intelligent Asphalt Compaction Analyzer. ASTM Journal of Testing and Evaluation, 37(5), 2009.*
3. *Kahmen H., G. Retscher. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. in: Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21-23, 1999, Bangkok, Thailand, pp. 5A.2.1-5A.2.5.*
4. *Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.*
5. *Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>*



6. *Spectra Precision. The Next Dimension in Machine Control: Spectra Precision BladePro 3D and GPS 3D. Technical Notes, Spectra Precision Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.splp.com/BladePro3D.HTM> (дата звернення: 22.03.2021).*
7. *Ким Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2007. – Т. 2.*
8. *Kahmen H., G. Retscher. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. in: Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21-23, 1999, Bangkok, Thailand, pp. 5A.2.1-5A.2.5.*
9. *Salychev O. Inertial Systems in Navigation and Geophysics. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.*
10. *Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm> (дата звернення: 23.03.2021).*
11. *Гурко А. Г. Оценка энергоэффективности траекторий рабочего оборудования в виде манипулятора // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харьков, 2016. Вып. 73. С. 138–144. ([Index Copernicus](#), [DOAJ](#))*

**Вовненко В. В., Руденко В. М.** (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

## **СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ РОСЛИН НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ З ВИЗНАЧЕННЯМ ЇХ ЛІКАРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КОРИСНОСТІ**

*У наш час існує безліч технологічних досягнень які поліпшують роботу систем та компаній, формуючи зв'язок між дрібними ланками підприємства за допомогою яких система виконує свою чітку роботу. Але людство завжди залежить від часу та ресурсів. Швидкість виробництва та використання ресурсів є головним питанням у кожній системі, їх правильне використання та оптимізація роботи надасть кращий результат без втрат. Застосування НМ, вирішує більшу частину проблем, а її можливість поступово навчатися на помилках, зменшує варіацію помилки майже до мінімуму.*

### **Постановка проблеми.**

На сьогоднішній день керівники від малих підприємств і до гігантських корпорацій впроваджують нейронні мережі (НМ) у свій бізнес та системи. Їх використовують для вирішення різних класів задач: від формування глобальних контурних карт та деталей машин, до сканерів і розрахунків економічної бази даних. Головним плюсом таких систем є робота з великою кількістю даних майже без втрати часу, а їх навчання та сфера використання викреслює надлишкові витрати підприємств. Наприклад можливість визначати і розпізнавати різні елементи оточення людини, де вона не була б, за декілька секунд, робить цю технологію мінімально витратною і дає відмінні результати навіть у ідентифікації рослин, які оточують людину.

У даній сфері існує безліч розробок і проектів таких компаній як Google, Microsoft, Amazon, Salesforce та інших, які використовують нейронні мережі для безлічі системних рішень, але як і будь-яка автоматизована система, вона має свої недоліки і похибки, тому розглядаються можливості покращення нейронної мережі у розпізнаванні, моделюванні бази даних, та її навчанні на багатоелементних моделях рослин. Різновид рослин – колір, розмір і структура, їх оцінювання – є трудомістким процесом. При створенні поліпшеної системи розпізнавання, використовуються різного роду моделі розпізнавання, такі як InceptionV3 з використанням бібліотеки машинного навчання TensorFlow, аугментація та інше, які працюють на основі аналізу часу розпізнавання, колірної гами рослини і їх елементів, таких як листя і квітки.

### **Аналіз результатів досліджень.**

В даний час існує значна кількість публікацій, присвячених питанням розробки архітектури НМ для розпізнавання об'єктів за зображенням для різних цілей, також зокрема для розпізнавання рослин [1-5]. При цьому питання застосування нейронної мережі для ідентифікації і класифікації лікарських рослин є мало розглянутими, та заздалегідь використовують мало

чіткі системи розпізнавання, такі як ResNet та VGG з математичною моделлю градієнтного спуску та стохастичного градієнтного спуску. Таким чином існує необхідність подальших досліджень для поліпшення розпізнавання компактних (точкових) об'єктів.

### **Формування рішень.**

Для підвищення чіткості розпізнавання та раціонального використання часу та ресурсів використано систему розпізнавання InceptionV3 на основі бібліотеки для машинного навчання TensorFlow. Inceptionv3 – це широко використовувана модель розпізнавання зображень, яка показала точність набору даних ImageNet більш 78,1% [6]. Модель є кульмінацією багатьох ідей, розроблених багатьма дослідниками за ці роки. Являється прямим аналогом ResNet і VGG-19 та 16, тобто архітектура і метод переднавчання являється аналогічним – створення шарів щодо введеного зображення, але результат розпізнавання має свої переваги.

Наступним важливим моментом побудови системи розпізнавання рослин є використання міні-пакетного градієнтного спуску при використанні сформованого датасету, а також методу зворотного розпізнавання помилки, та аугментації.

**Метою роботи** є розробка програмного продукту, який має змогу швидко, точно та без втрат ідентифікувати рослину, яка знаходиться перед людиною, при використанні переднавченої та класифікованої нейронної мережі на основі Inceptionv3 з бібліотекою TensorFlow на прикладі датасету лікарських рослин, як об'єкту з великою кількістю варіацій та елементів, поліпшення ідентифікації для мінімізації похибки точності та втрат часу і ресурсів.

### **Основний матеріал.**

Для створення системи розпізнавання та ідентифікації використано 4 метрики: основну метрику, запроповану організаторами, а також 3 топ-метрики — Top 1, Top 3, Top 5. Топ-метрики, також як і основна, застосовуються до спостереження (набору фотографій з однаковим Observation Id), а не окремого зображення.

В процесі роботи об'єднано результати декількох моделей, щоб ще більше покращити якість класифікатора (всі моделі бралися з однаковою вагою). Порівняльний аналіз ефективності сформованих моделей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 Порівняння ефективності моделей:

Мо д.	Мережа	Цільова метрика (rank)	Top 1	Top 3	Top 5	Епохи
1	VGG16	0.55382	0.45873	0.61260	0.666996	49
2	VGG19	0.56301	0.47053	0.61930	0.682585	62
3	ResNet50	0.58195	0.49596	0.63880	0.716630	46
4	Incept.V3	0.61573	0.53567	0.67139	0.723992	38

Сама модель складається з симетричних і асиметричних будівельних блоків, в тому числі згорток, середнього пулу, максимального пулу, випадіння і повністю пов'язаних шарів. Batchnorm широко використовується в моделі і застосовується для входів активації. Збиток розраховується через Softmax. Загальна структурна схема мережі пошарового вводу зображення до системи наведена на рис. 1

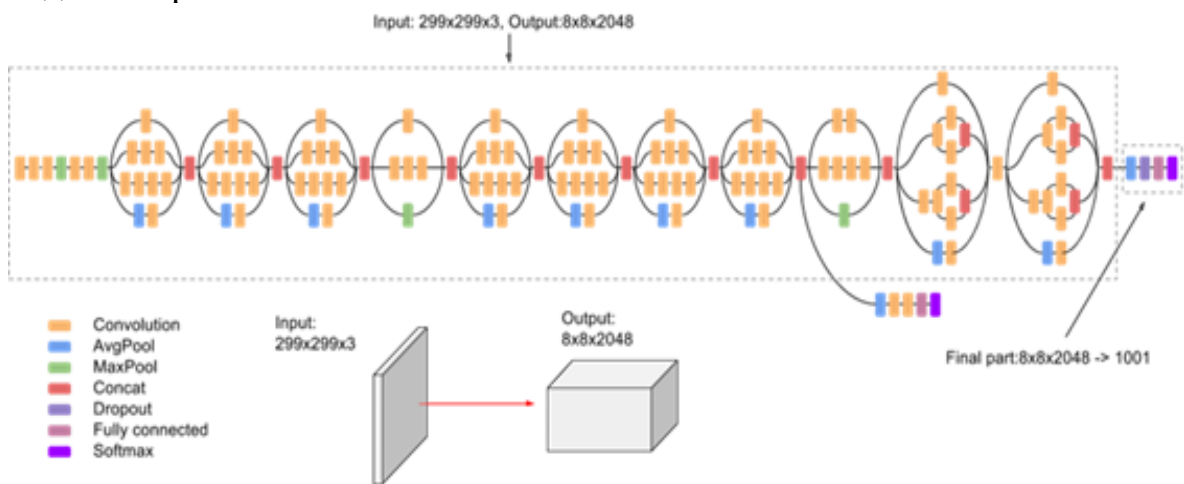


Рисунок 1 – Мережа вводу зображень в систему по шарам

Під зображенням розуміється матриця пікселів, кодованих в моделі RGB:

$$C = \left\{ \begin{array}{l} c_{ij} | c_{ij} = (r_{ij}, g_{ij}, b_{ij}), \\ 0 \leq r_{ij}, g_{ij}, b_{ij} \leq 299, \\ 1 \leq i \leq h, 1 \leq j \leq w \end{array} \right\} \quad (1)$$

де  $c$  – введене зображення;

$h$  – висота зображення;

$w$  – ширина зображення.

На вхід шару conv1 подаються RGB зображення розміру 224x224. Далі зображення проходять через стек згорткових шарів, в яких використовуються фільтри з дуже маленьким рецептивним полем розміру 3x3 (який є найменшим розміром для отримання уявлення про те, де знаходиться право/ліво, верх/низ, центр).

Одним з найпопулярніших методів оптимізації, що застосовуються для оптимізації нейронних мереж, є методи засновані на обчисленні градієнта. Зокрема градієнтний спуск. Але для більш точного результату обрано міні-пакетний градієнтний спуск. Він є «золотою серединою» між пакетним

градієнтним спуском і стохастичним градієнтним спуском, і розраховується за формулою:

$$\theta = \theta - \eta \nabla_{\theta} C(\theta; x^{(i:i+n)}; y^{(i:i+n)}) \quad (2)$$

$\theta \in \mathbb{R}^d$  – параметри моделі, шляхом оновлення параметрів у напрямі, протилежному градієнту цільової функції  $\nabla_{\theta} C(\theta)$ ;

$\eta$  – швидкість навчання – крок градієнтного спуска, який виконується в напрямі локального мінімуму;

$(x^{(i)}, y^{(i)})$  – навчальна вибірка.

Таким чином, міні-пакетний градієнтний спуск зменшує флуктуації під час оновлення параметрів, що може призвести до кращої збіжності. Типовий розмір міні-пакету обирається між 50 і 256 екземплярами. Для подальшого поліпшення можна використати декілька методів:

- Метод Адам (дозволяє регулювати швидкість навчання залежно від параметра, виконуючи більші оновлення для рідких параметрів і маленькі оновлення для частих параметрів);

- Метод зворотного розповсюдження помилки (ітеративний алгоритм (повторення) - повторенням викоринює грубі помилки в залежності від ваги шару).

Надалі система починає своє навчання за допомогою бібліотеки TensorFlow, що являє собою відкриту програмну бібліотеку для машинного навчання цілій низці задач. Головною ціллю даної бібліотеки є навчання сформованого датасету, тобто надання йому точності у ідентифікації – присвоєння певній рослині індексу, який відносить її до певного класу, або виду, де вказані вказівки по використанню певної лікарської рослини. Переваги TensorFlow[7]:

- безкоштовне використання;

- швидкість роботи і пропускна здатність (можна налаштувати для обробки великого обсягу даних. Оптимізація пропускну здатності зазвичай виконується для «автономної» пакетної обробки, де жорсткі межі затримки не є суворою вимогою);

На заключному кроці здійснюється навчання мережі цілком. На цьому етапі використовується аугментацію. Для аугментації обираємо ті перетворення, які можуть відбуватися в реальному житті, наприклад, дзеркальне відображення фото (по горизонталі), повороти, збільшення, зашумлення, зміна яскравості і контрастності.

Наприклад, якщо взяти п'ять найбільш реалістичних перетворень, застосувати їх до зображень отримаєм передбачення вже не для однієї картини, а для шести. Потрібно аугментувати зображення у 80% випадках, тоді мережа зможе побачити і реальне зображення. З огляду на те, що навчання займає кількох десятків епох, є дуже великий шанс, що мережа побачить кожне зображення в оригіналі.

Після цього осереднюється отриманий результат. Приклад аугментації зображення наведено на рис. 2.

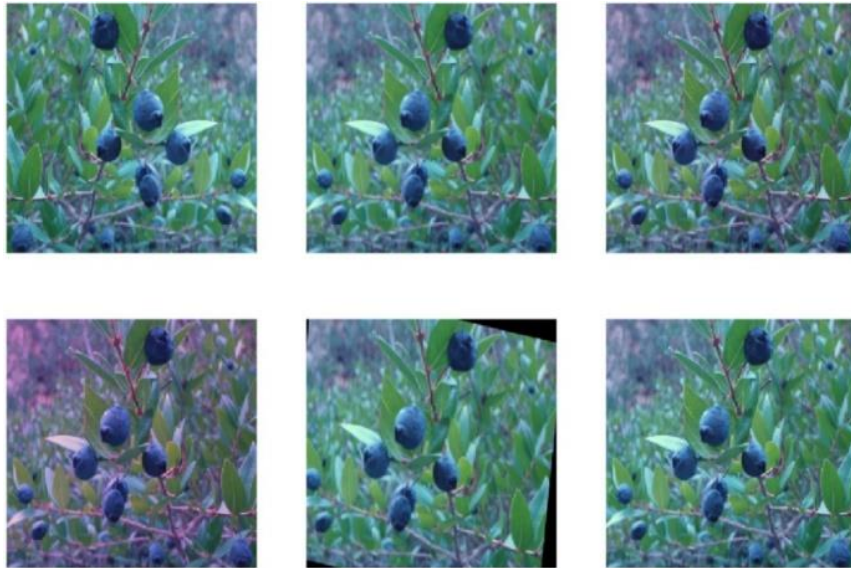


Рисунок 2 – Приклад аугментації на пророкуванні

Реалізація означених процедур надає можливість створити систему, яка дозволяє здійснювати розпізнавання та ідентифікацію рослин за їх зображенням, отриманих навіть за несприятливих умов формування зображення рослини та ракурсу зображення, та формувати за визначеними індивідуальними видовими ознаками рекомендації щодо її корисності та лікарських властивостей.

### Висновки

Використання нейронної мережі для розпізнавання рослин дозволяє створити систему, спроможну фактично без затримок у часі здійснювати розпізнавання та ідентифікацію рослин навіть за умов введення до системи неякісного зображення рослини. Гнучка структура запропонованої системи розпізнавання та використання разом з нею визначених процедур покращення розпізнавання зображень дозволяє стверджувати, що система може використовуватися не тільки для розпізнавання та ідентифікації рослин, а і в інших галузях людської діяльності де може бути реалізовано процес розпізнавання зображень з використанням нейронних мереж.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ.

1. *Automatic plant identification* [Електронний ресурс] [[https://www.researchgate.net/publication/263931628\\_Automatic\\_plant\\_identification\\_from\\_photographs](https://www.researchgate.net/publication/263931628_Automatic_plant_identification_from_photographs)] Authors: [Berrin A. Yanikoglu](#), [Erchan Aptoula](#), [Caglar Tirkaz](#)
2. *Plant Species Identification Using Computer Vision Techniques* [Електронний ресурс] [<https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-016-9206-z>] Authors: [Patrick Mäder](#), [Jana Wäldchen](#).
3. *Fine-grained recognition of plants* [Електронний ресурс] [<https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-017-0265-4>] Authors: [Milan Sulc](#), [Jiří Matas](#).
4. *Flowers, leaves* [Електронний ресурс] [<https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-019-0462-4>] Authors: [Michael Rzanny](#), [Patrick Mäder](#), [Alice Deggelmann](#), [Minqian Chen](#), [Jana Wäldchen](#).

5. *Automated plant species identification* [Электронный ресурс]  
[<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5886388/>] Authors: [Jana Wäldchen](#), [Michael Rzanny](#), [Marco Seeland](#), [Patrick Mäder](#).
6. *Inception-v3 модель* [Электронный ресурс]  
[<https://cloud.google.com/tpu/docs/inception-v3-advanced#:~:text=Inception%20v3%20is%20a%20widely,multiple%20researchers%20over%20the%20years.>]
7. *Tensorflow* [Электронный ресурс] [<https://habr.com/ru/post/305578/>]

**Гонтар В.Г.** наук.кер. к.т.н., ст.викл. Купчук І. М. (Україна, Вінницький національний аграрний університет)

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

*Стаття присвячена розробці обладнання для подрібнення рослинної біомаси та обґрунтуванні його конструктивно-режимних параметрів, принцип роботи якого базується на послідовному застосуванні різання, удару та стирання рослинного матеріалу, із поступовим збільшенням ступеня подрібнення по мірі проходження ним робочого простору. Такий комплексний і водночас поступовий технологічний вплив на сировину дозволяє реалізувати процес подрібнення від грубого до тонкого за один прохід матеріалу крізь робочий простір подрібнювача – одностадійне подрібнення, цим самим зменшуючи енерговитрати виробництва та номенклатуру обладнання.*

### Постановка проблеми.

Після переходу України до так званого «комплексного управління твердими відходами» національна стратегія відходів до 2030 р. сигналізує про повне відмовлення від захоронення звалищ із посиленою увагою на утилізацію та переробку деяких видів відходів, тоді як відходи які не переробляються утилізують на звалищах, що відповідають Європейським стандартам. У ній пропонується збільшення охоплення населення організованому роздільному збору відходів, та поступовий рух до збільшення рівня переробки та відновлення.[1]

Точніше, Національна стратегія поводження з відходами передбачає досягнення цілей у коротко-, середньо- та довгострокові перспективи (табл. 1).

Таблиця 1 Короткострокові, середньострокові та довгострокові цілі згідно з Національною стратегією управління відходами на 2030 рік.

Стратегічні цілі встановлені в Національній стратегії відходів	2016 рік	2017-2018 роки	2019-2025 роки	2026-2030 роки
<b>Запобігання відходів</b>				
Центри впровадження більш чистого виробництва (технологія)	0	5	10	20
Зменшення обсягів використання первинної сировини	90%	85%	80%	70%
<b>Повторне використання</b>				
Мережі збору відходів	0	25	100	250
Населені пункти з окремим збором відходів	575	800	2500	5000



Центри збору відходів для відновлення з метою повторного використання	0	25	100	250
Збільшення обсягів відходів, відновлених для повторного використання	5%	7%	8%	10%
<b>Відновлення та переробка відходів</b>				
Відходи для переробки	3%	5%	10%	20%
Об'єкти для переробки	65	100	250	800
Створення установок для компостування рослинних відходів	20	70	150	500
Відходи, що направляються на переробку	3%	5%	15%	50%
<b>Інше використання</b>				
Відходи для спалювання	2.4%	5%	7%	10%
Установки для спалювання	1	3	15	20

Ситуація в секторі поводження з відходами України постійно визначається як критична в останніх дослідженнях ринку, офіційних документах, звітах та аналітиці НУО / ОГС з точки зору стану та тенденцій утворення, скупчення, зберігання, переробки та утилізації відходів. Сучасна ситуація характеризується зростанням ризиків екологічних загроз. Питання поводження з відходами в Україні є особливо важливим через традиційне домінування ресурсномістких та невідходних технологій у національній економіці, що і визначає актуальність представлених досліджень.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Ратифікація Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом (ЄС), Кабінетом Міністрів України було схвалено та затверджено «Національну стратегію управління відходами в Україні до 2030 року», одним із напрямків реалізації якої визначено розробку матеріально-технічної бази використання сільськогосподарських відходів рослинного походження для переробки в паливні брикети. [2]

Оскільки відходи рослинного походження відносяться до структурно-неоднорідних матеріалів з різними фізико-механічними характеристиками окремих анатомічних частин (вологівміст, твердість, крихкість тощо), це зумовлює певні складнощі в процесі механічного подрібнення, що на даний час є однією з ключових технологічних операцій переробки. Які проявляються в зниженні енергоефективності застосування того чи іншого відомого способу руйнування.

Таким чином в сучасних реаліях, не зважаючи на законодавчі ініціативи Уряду, стосовно формування техніко-технологічного підґрунтя для забезпечення ефективного управління відходами, питання їх ефективної переробки, зокрема на стадії механічного подрібнення і досі залишається відкритим, та вимагає вирішення, що і визначає мету даної статті.

**Метою досліджень** є формування підґрунтя та вибір техніко-технологічних орієнтирів для розробки енергоефективної матеріально-технічної бази для

переробки сільськогосподарських відходів рослинного походження, шляхом аналізу та узагальнення сучасного досвіду та результатів наукових досліджень стосовно до подрібнення рослинної біомаси.

### Виклад основного матеріалу.

Серед відомих способів руйнування (рис.1) , що може бути застосований до рослинної біомаси варто відзначити: розломом, розколювання, роздавлювання, різання, стирання, обмеженим ударом, високошвидкісний вільний удар, які знайшли своє застосування в різних конструктивних виконаннях (рис.2).

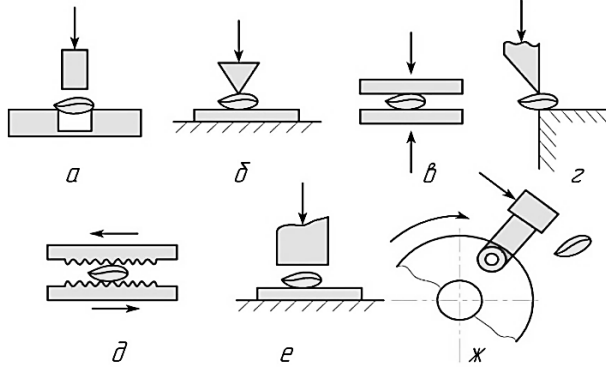


Рис. 1 - Відомі способи руйнування: розломом (а), розколювання (б), роздавлювання (в), різання (г), стирання (д), обмеженим ударом (е), високошвидкісний вільний удар (ж).

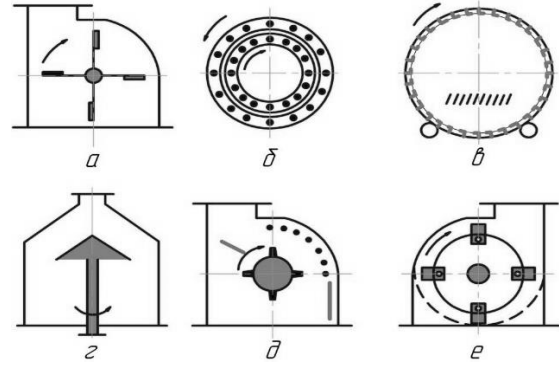


Рис. 2 - Схеми машин ударної дії: а – хрестова; б – стрижнева (дезінтегратор); в – барабанна (гіраційна); г – тарілчаста; д – роторна; е – молоткова

У вальцьових млинах руйнування відбувається під дією стиснення і зсуву в клиновидному просторі, утвореному робочими органами.

Відмінною особливістю подібних подрібнювачів, є технологічна універсальність та малий вміст пилоподібної фракції в готовому продукті, а також можливість подрібнення вологих структур. Однак, в даному випадку з'являється потреба в збагаченні продукту плющення спеціальними добавками, а налипання матеріалу на робочі органи, великі габаритні розміри, висока вартість та складність обслуговування ставлять під сумнів широке застосування машин даного типу в середніх і малих фермерських господарствах.

Хрестові дробарки (рисунок 2, а) мають жорстко закріплені на роторі біла, окружна швидкість яких досягає 100 м / с. Машини такого виконання практично не застосовуються для дроблення неоднорідних мілкодисперсних структур через низьку продуктивність та нерівномірність гранулометричного складу вихідного продукту.

Стрижневі (пальцеві) дробарки (рис. 2, б) являють собою два обертові у взаємно протилежні сторони диски (корзини), на яких жорстко закріплені стержні (біла), розташовані на кожному диску концентричними колами в

кілька рядів перпендикулярно площині обертання.

Як альтернативу в розвитку процесу руйнування зернового матеріалу можна розглядати принцип дії та конструкцію барабанних подрібнювачів (рис. 2, в) де дроблення відбувається при обертанні корпусу, в наслідок удару падаючих тіл (сталеві кулі, стержні, кремнієва галька), якими на 25- 40% заповнена помольна камера.

Принцип тарілчастого (рис. 2, г), руйнування полягає в розгоні матеріалу, що подрібнюється диском з жорстко закріпленими лопатками, що швидко обертається. Розгін матеріалу реалізується за радіальним вектором з подальшим ударом об нерухому деку. Основне застосування дробарок такого типу пов'язане з переробкою структур високої міцності та є не ефективним для обробки біомаси.

Роторні дробарки (рис. 2, д) забезпечені масивним ротором, що містить біла з елементами їх кріплення, які служать для нанесення удару по оброблюваному матеріалу. Руйнування продукту в роторній дробарці відбувається за рахунок удару біла по матеріалу та внаслідок зіткнення продукту між собою.

До молоткових дробарок (рис. 2, е) відносяться подрібнювачі ударного принципу дії з шарнірно закріпленими на роторі ударними елементами – молотками. Молоткові дробарки характеризуються високим ступенем дроблення, при обробці твердих рослинних матеріалів та малопродатних для подрібнення м'яких та пластичних органічних структур.

Таким чином, як показує проведений огляд на даний час відсутнє технічне рішення, та конструктивне виконання обладнання, що дозволяє однаково ефективно подрібнювати матеріали з діаметрально протилежними структурно-технічними властивостями (тверді та більш пластичні), А тому нами було сформоване наукове завдання, яке полягає в розробці та обґрунтуванні конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача сільськогосподарських відходів рослинного походження, принцип роботи якого базується на послідовному застосуванні різання, удару та стирання рослинного матеріалу в процесі проходження ним робочого простору (рис. 2) зі збільшенням ступеню подрібнення в результаті застосування перелічених способів [3].

Як видно на схемі після надходження матеріалів в зону завантаження, рослинні відходи потрапляють у першу зону робочого простору де відбувається грубе подрібнення. Грубе подрібнення виконується за допомогою серповидного ножа одним із відомих способів подрібнення, опорним різанням. Далі подрібнена сировина потрапляє у другу зону в якій відбувається середнє подрібнення. Для крихкої сировини можна використати такий спосіб подрібнення як зіткнення, а для менш крихких та трішки

вологих використовується вільний удар. В третій зоні виконується помел способом стирання та зсуву, чим забезпечується тонке подрібнення сировини. Після механічної обробки матеріал потрапляє в зону розділення де відбувається сепарація та виведення готового продукту із зони робочого простору, або відправлення його на доподрібнення в зону тонкого помелу [4].

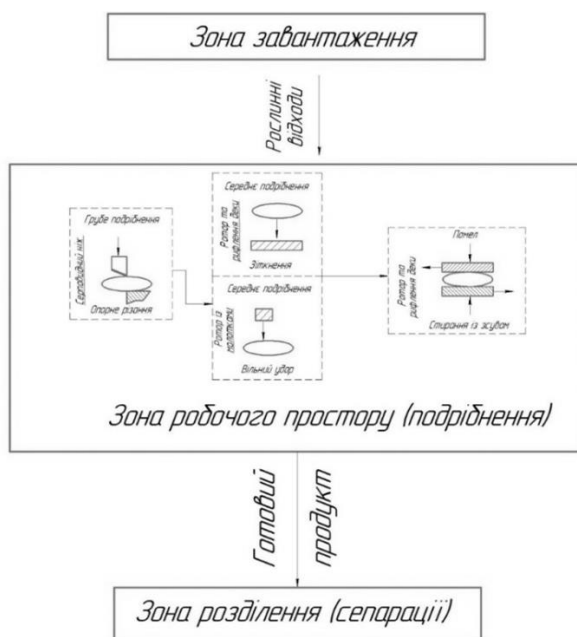


Рис. 3. - Узагальнена структурно-технологічна схема подрібнювача

## Висновки.

Таким чином, було встановлено вектор подальших досліджень в сфері енергоефективної переробки сільськогосподарських відходів, який полягає в розробці обладнання для подрібнення рослинної біомаси та обґрунтуванні його конструктивно-режимних параметрів, принцип роботи якого базується на послідовному застосуванні різання, удару та стирання рослинного матеріалу, із поступовим збільшенням ступеня подрібнення по мірі проходження ним робочого простору. Такий комплексний і водночас поступовий технологічний вплив на сировину дозволяє реалізувати процес подрібнення від грубого до тонкого за один прохід матеріалу крізь робочий простір подрібнювача – одностадійне подрібнення, цим самим зменшуючи енерговитрати виробництва та номенклатуру обладнання.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80%80> Управління відходами. Веб-сайт Міністерства екології та природних наук.

2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, від 27.06.2014 р. (ратифікована із Заявою Законом України від 16.09.2014 р. № 1678- VII). URL: [http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011/para81#n81](http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/984_011/para81#n81)

3. Тимчак В. С. Ефективність інновацій комплексного використання відходів харчової промисловості: дис. канд. екон. наук: 08.00.03 / Житомирський національний агроекологічний університет. Житомир, 2016. 227 с.

4. Купчук І.М. Обґрунтування технологічної схеми та конструктивної реалізації вібраційного подрібнення сировини спиртового виробництва: дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2017. 227 с.

Городчук Т.В. наук. кер. к.т.н., доц. Гонсьор О.Й. (Україна, м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)

## ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ НАНОСЕНСОРІВ ОКСИДУ ОЛОВА ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВИСОКОЧУТЛИВИХ ТОКСИЧНИХ ГАЗІВ ТА ЇХ 3D СИСТЕМНА ІНТЕГРАЦІЯ

*Станом на зараз світ технологій розвивається із шаленою швидкістю: з'являються нові способи та впроваджуються нові методи досліджень, які суттєво спрощують повсякденну людську діяльність та дозволяють автоматизувати певні процеси, до впровадження яких було складно усвідомити всю інноваційність підходів реалізації того чи іншого класу задач. Останнім часом особливого поширення набули наносенсорні системи, що почали активно використовуватись в різноманітних галузях людської діяльності. У даній роботі продемонстровано важливість використання чутливих датчиків до високотоксичних газів  $SO_2$  та  $H_2S$ .*

*At present, the world of technology is evolving at a breakneck pace: new ways and new research methods are being introduced that greatly simplify everyday human activities and automate certain processes, before the implementation of which it was difficult to understand the innovative approaches to a particular class of tasks. Recently, nanosensory systems have become especially widespread, which have begun to be actively used in various fields of human activity. This paper demonstrates the importance of using sensitive sensors to highly toxic gases  $SO_2$  and  $H_2S$ .*

### Вступ

Наносенсорні системи отримали широкий спектр застосування. Одним із проявів такого застосування є рання та високоточна діагностика захворювань, системи безпеки для тепло-вентиляції, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) або моніторинг в режимі онлайн промислових процесів. Усі ці способи застосування вимагають застосування компактних, але в той же час ефективних сенсорних систем.

Більше того, розумні наносенсорні системи впроваджені як функція безпеки у спортивних годинниках, мобільних телефонах або персональних цифрових асистентах, а також можуть встановити нові стандарти особистої

Важливість наносенсорних систем можна наочно побачити і у використанні газових сенсорів, однак ці пристрої є досить громіздкими і не можуть задовільнити сучасні вимоги до розумних додатків. Споживання електроенергії є основною проблемою звичайних газових датчиків, що протидіє їх використанню, наприклад, у бездротових мережах.

### Експериментальна установка

Виготовлення наносенсорів вимагає певних етапів для реалізації процесу. Найчастіше таких етапів виокремлюють три.

Перш за все, плівки, що сприймають  $SnO_2$ , виготовляються товщиною, що як правило складає 50 нм методом розпилювального піролізу на окислених підкладках Si. На наступному кроці плівки  $SnO_2$  структуруються

за допомогою мезо-фотолітографії та реактивного іонного офорту для досягнення бажаної структури датчика, а випаровування контактних площадок Ti – Au (товщиною 20 і 200 нм) з подальшим остаточним збереженням температури носія мікросхеми нижче максимально можливого значення, що найчастіше становить близько 40°C.

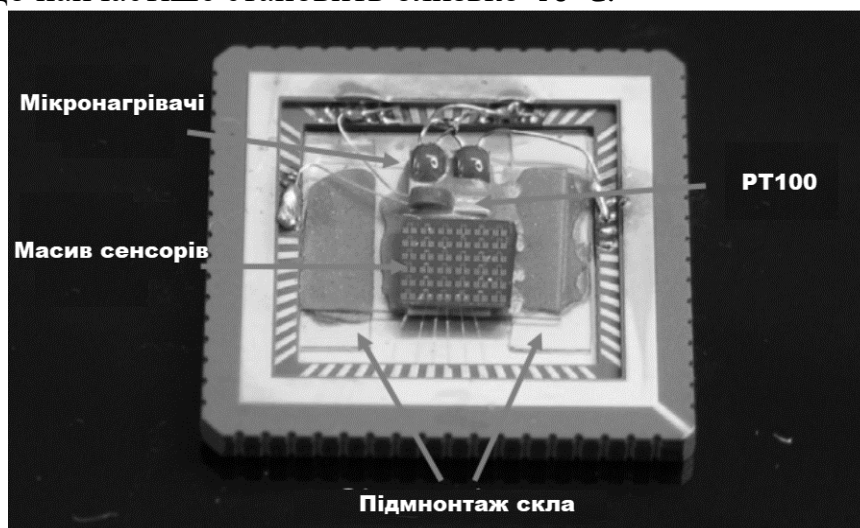


Рис.1 Налаштування газового датчика з мікронагрівачами та PT100 на скляній підставці

Далі оброблені зразки наклеюють на мікронагрівачі (102 PT 6.8–0.4, Delta-R GmbH) у поєднанні з терморпарою (41 Pt100B, Delta-R GmbH), які встановлені на спеціальному склі та мостовою конструкцією для забезпечення достатньої теплоізоляції, а також керамічним носієм для стружки (Kyocera 68 LCC J-Bend Ca580). Це специфічне налаштування (рис.1) дозволяє нагрівати датчики до 400 °C, тоді як температура носія мікросхеми залишається нижче максимально можливого значення 40° C.

#### **Ефективність зондування газу**

Ефективність зондування газів як правило досліджується в автоматизованому режимі, де синтетичне повітря використовується як фоновий газ. Випробовувані гази складають 1000 ч/млн SO<sub>2</sub> та 50 ч/млн H<sub>2</sub>S, відповідно, в азоті, які змішуються з фоновим газом.

На рис. 2 показаний опір наносенсора, що працює поетапно при 100°, 150°, 200°, 250°, 300°, 350° і 400° C під впливом SO<sub>2</sub>.

Після того, як датчик досяг бажаної температури, кожен крок вимірювання починається з потоку синтетичного повітря (1000 см<sup>3</sup> / хв), а потім послідовність випробуваного газу (50 см<sup>3</sup> / хв) досліджуваного газу (+950 см<sup>3</sup> / хв синтетичного повітря) та синтетичного повітря (1000 см<sup>3</sup> / хв), який повторюється тричі. Загальний потік залишається сталим при 1000 см<sup>3</sup> / хв. У випадку присутності SO<sub>2</sub> опір датчика буде зменшено. Датчик починає визначати газ SO<sub>2</sub> при 200° C і досягає максимального сигналу при 300° C, де опір зменшується на 40%. Цей високий рівень сигнал демонструє роздільну здатність в режимі з низькою часткою на мільйон.

Потік  $\text{H}_2\text{S}$   $50 \text{ cm}^3$  відповідає концентрації газу лише 2,5 мільйонних частин. Максимальний сигнал досягається при температурі  $400^\circ \text{C}$ , де опір становить зменшився до 85%. Цей дуже високий сигнал демонструє надзвичайну чутливість наносенсорів з роздільною здатністю в певному діапазоні.

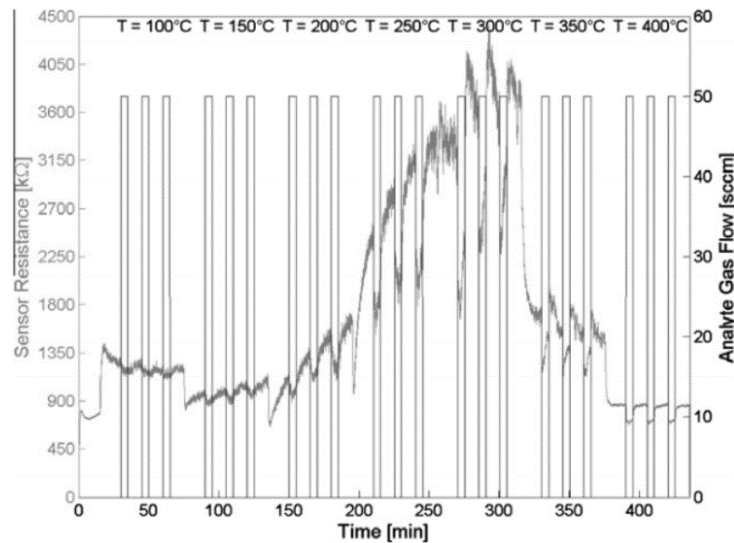


Рис.2 Опір датчика при  $100^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $200^\circ$ ,  $250^\circ$ ,  $300^\circ$ ,  $350^\circ$  і  $400^\circ \text{C}$

### Розробка мікро-конфорки

Сучасне налаштування пристрою (зовнішні мікронагрівачі з високим енергоспоживанням тощо) заважає сенсорному пристрою бути практичним рішенням, придатним для звичних повсякденних застосувань. Для реалізації розумних наносенсорних пристроїв в систему повинна бути інтегрована мікро-конфорка з енергоспоживанням значно нижче 10 мВт.

В якості першого підходу була створена імітаційна модель для прогнозування продуктивності стандартної конструкції мікро-конфорки. Для створення імітаційної моделі була використана програма методів скінченних елементів COMSOL MULTIPHYSICS. Модель включає мікро-конфорку, нагрівальний елемент, а також термопару і, власне, сенсорний шар  $\text{SnO}_2$ . Квадратна форма мікро-гарячої плита (розмірами  $100 \times 100 \text{ mm}$ ), що прикріплена до основи чотирма кріпильними балками ( $\text{SiO}_2$ ), ширина і довжина яких складає 10 мм, а товщина 1 мм.

На рис. 3 показаний розподіл температури одного мікро-елемента конфорки зі стандартними геометричними параметрами. Потужність 25 мВт потрібна для нагрівання мікро-конфорки до певної температури.

Очевидно, що буде спостерігатися значне відведення тепла біля основи, яка може бути значно зменшена за рахунок оптимізації кріпильних балок. Оптимізація конструкції показує, що температура  $400^\circ \text{C}$  може бути досягнута при споживанні енергії менше 5 мВт.



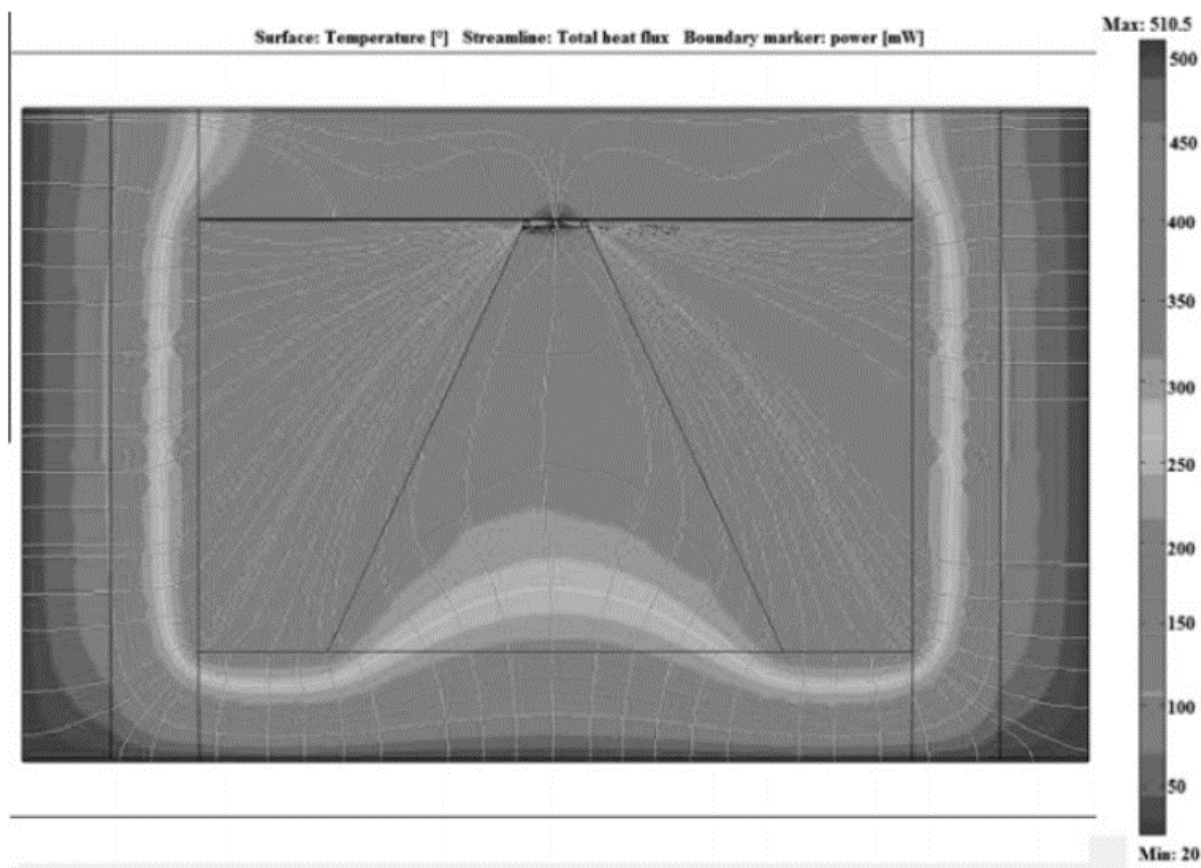


Рис.3 Розподіл температури окремого елемента мікро-конфорки зі стандартними геометричними параметрами

### Висновки

У даній статті було проведено дослідження характеристик та властивостей наносенсорів оксиду олова. Незважаючи на широкий спектр перспектив у застосуванні такого типу наносенсорів, все ж залишається актуальною їхня центральна проблема – вибірковість, що притаманна усім датчикам на основі оксиду металу.

Цю проблему можна вирішити незалежно від будь-яких інших аспектів системної інтеграції. Продемонстрований мною підхід включає легування плівок  $\text{SnO}_2$ , осадження кількох моношарів каталітичних металів та покриття функціональними наночастинками.

Завершальним кроком у розвитку розумних наносенсорних систем є інтеграція в мікросхему CMOS, яка містить необхідні схеми та електронні складові. Інтегровані 3D нано-системи можуть бути застосовані як функція безпеки в мобільних телефонах, тому перспективи та шанс на майбутнє у такого типу систем є. Дослідження такого типу наносенсорних систем триває й досі.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

[1] S. Semancik, R. Cavicchi, M. Wheeler, J. Tiffany, G. Poirier, R. Walton, J. Suehle, B. Panchapakesan, D.-L. DeVoe, *Sens. Actuators, B* 77 (2001) 579–591.

- [2] R. Cavicchi, R. Walton, M. Aquino-Class, J. Allen, B. Panchapakesan, D.-L. DeVoe, *Sens. Actuators, B* 77 (2001) 145–154.
- [3] T. Gessner, K. Gottfried, R. Hoffmann, C. Kaufmann, U. Weiss, E. Charetzinov, P. Hauptmann, R. Lucklum, B. Zimmermann, U. Dietel, G. Springer, M. Vogel, *Microsyst. Tech.* 6 (2000) 169–174.
- [4] S. Capone, P. Siciliano, N. Bârsan, U. Weimar, L. Vasanelli, *Sens. Actuators, B* 78 (2001) 40–48.
- [5] B. Dable, K. Booksh, R. Cavicchi, S. Semancik, *Sens. Actuators, B* 101 (2004) 284–294.
- [6] J. Jakovenko, T. Lalinsky, M. Drzik, M. Ivanova, G. Vanko, M. Husak, *Procedia Chem. No. 1* (2009) 804–807.
- [7] U. Lampe, E. Simon, R. Pohle, M. Fleischer, H. Meixner, H.-P. Frerichs, M. Lehmann, G. Kiss, *Sens. Actuators, B* 111–112 (2005) 106–110.
- [8] M. Fleischer, *Meas. Sci. Technol.* 19 (2008) 1–18.

Грищенко Д.І., Бейгул О.О., Бейгул В.О. (Україна, м. Кам'янське, ДДТУ)

## СТІЙКІСТЬ ЗБУРЕНОГО РУХУ ЗЧЛЕНОВАНОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА З БУГЕЛЬНОЮ РАМОЮ У ПОПЕРЕЧНІЙ ПЛОЩИНІ

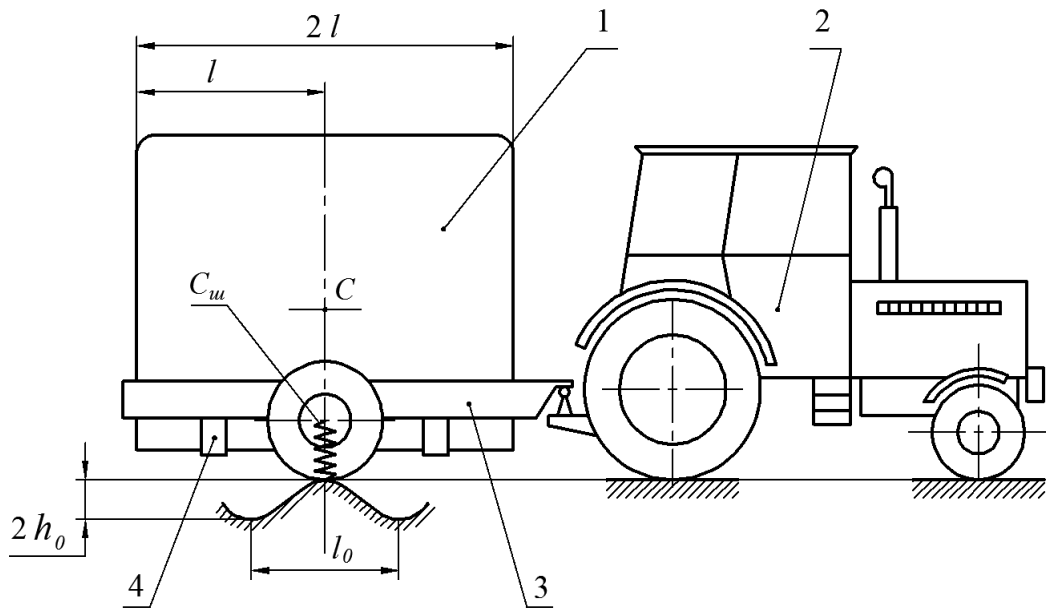
*Розроблена математична модель збуреного руху зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою при наявності асиметричних кінематичних збурень, викликаних нерівностями технологічних доріг. Отримана і обґрунтована умова поперечної стійкості контейнеровоза у збуреному русі методами аналітичної механіки, що дає можливість обирати режими руху контейнеровозів в умовах технологічних доріг.*

*The mathematical model of articulated container truck with band loop frame disturbance motion by asymmetrical kinematic disturbance of uneven technological roads has been worked out. The condition of cross stability for container truck under disturbance motion by methods of analytical mechanics has been receiver and based for selection conditions of container truck motion on the technological roads.*

Постановка проблеми. Здійснення технічного переозброєння та подальшого підйому продуктивності праці в чорній металургії нерозривно пов'язані з удосконаленням структури і якості промислового транспорту. На підприємствах, які будуються та розширюються, з'являються технологічні лінії, де традиційний залізничний транспорт витісняється більш гнучким у своєму використанні технологічним спецавтотранспортом.

Аналіз останніх публікацій. На ділянках перевезення крупногабаритних штучних вантажів, у тому числі контейнерів, пакетів, піддонів, використовуються спецавтотранспортні засоби з вантажопідйомними пристроями [1 - 3], підйомно-транспортні машини з порталною несучою системою [4,5], спецавтотранспортні засоби з бугельною у плані рамою [6,7]. Останні зі зчленованою компоновкою уявляються найбільш універсальними та перспективними, маючи на увазі багатопланове використання тягачів (рис.1).

Характерною особливістю контейнеровозів є наявність високо розташованого центра маси, що разом зі специфічним навантаженням додає проблеми стійкості збуреного руху у поперечній площині. Основним джерелом поперечних коливань системи є асиметричні кінематичні збурення з боку нерівностей дороги. Слід зазначити, що вузол зчіплювання розташовується на рівні осі підвіски напівпричепа, що конструктивно просто виконати, і у такому разі коливання напівпричепа та тягача у поперечній площині можна розглядати як незалежні. На цій підставі розглядаємо поперечні коливання напівпричепа зчленованого контейнеровоза без урахування тягача. Відомі роботи Веселова Г.П., Густомясова А.М., Колмакова В.І. [8], Лобаса Л.Г., Ващенко Ю.Л. [9] присвячені дослідженню динаміки системи «тягач-причіп», але вони не розглядають поперечні коливання окремих ланок.

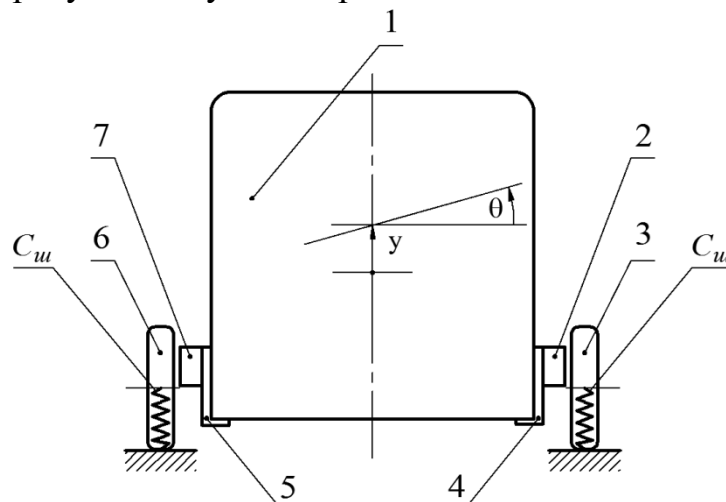


1 – контейнер; 2 – тягач; 3 – напівпричіп з бугельною рамою; 4 – ложемент  
Рисунок 1 – Зчленований контейнеровоз з бугельною рамою

**Формулювання раніше не вирішених частин.** На рівні розглянутих робіт невирішеною частиною загальної проблеми є обґрунтування умови поперечної стійкості зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою у збуреному русі.

**Метою роботи,** таким чином, є отримання та обґрунтування умови поперечної стійкості зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою у збуреному русі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На рис.2 зображений контейнеровоз на вигляді ззаду. Будемо вважати, що кінематичні збурення діють лише на праву підвіску напівпричепа.



1 – контейнер; 2 – правий лонжерон рами; 3 – праве колесо підвіски напівпричепа; 4 – правий ложемент; 5 – лівий ложемент;  
6 – ліве колесо підвіски напівпричепа; 7 – лівий лонжерон рами  
Рисунок 2 – Зчленований контейнеровоз на вигляді ззаду

Рівняння збуреного руху отримуємо у формі рівняння Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_j} + Q_j, \quad (1)$$

де  $T$  – кінетична енергія системи, Дж;

$\Pi$  – потенціальна енергія системи, Дж;

$q_j$  –  $j$ -а узагальнена координата, м (рад);

$Q_j$  –  $j$ -а узагальнена сила неконсервативного походження, Н (Н·м).

У такому разі  $q_1 = y$ ,  $q_2 = \theta$ , де  $y$  – вертикальне переміщення напівпричепа, а  $\theta$  – кут повороту напівпричепа у поперечній площині.

Кінетична енергія системи:

$$T = \frac{m_c \dot{y}^2}{2} + \frac{I_c \dot{\theta}^2}{2} + \frac{m_c v^2}{2}, \quad (2)$$

де  $m_c$  – сумарна маса напівпричепа, кг;

$I_c$  – сумарний момент інерції напівпричепа відносно поздовжньої осі, яка проходить через центр маси системи, кг·м<sup>2</sup>;

$v$  – швидкість руху системи, м/с.

Потенціальна енергія системи реалізується енергією стисненого повітря у шинах коліс, приймає наступний вигляд:

$$\Pi = \frac{C_{ш}}{2} (y - l_k \theta)^2 + \frac{C_{ш}}{2} (y + l_k \theta - h_n)^2, \quad (3)$$

де  $C_{ш}$  – радіальна жорсткість шини колеса напівпричепа, Н/м;

$l_k$  – половина колії напівпричепа, м;

$h_n$  – підйом правого колеса напівпричепа на нерівностях синусоїдального профілю, м.

У загальному вигляді можна записати

$$h_n = h_0 \sin \frac{2\pi x}{l_0}, \quad (4)$$

де  $h_n$  – висота нерівностей, м;

$h_0$  – амплітудне значення профілю нерівностей, м;

$x$  – абсциса апроксимуючої функції нерівностей, м;

$l_0$  – довжина синусоїди, яка апроксимує функцію нерівностей, м.

При русі системи

$$x = vt. \quad (5)$$

З урахуванням виразу (5) підйом правого колеса напівпричепа дорівнює

$$h_n = h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t. \quad (6)$$

Нехтуючи силами неконсервативного походження, підставляємо вирази кінетичної та потенціальної енергій у рівняння Лагранжа другого роду (1).

Об'єднуючи отримані вирази, записуємо перше і друге диференціальні рівняння:

$$m_c \ddot{y} + 2C_{uw} y = C_{uw} h_n. \quad (7)$$

$$I_c \ddot{\theta} + 2C_{wl_k} l_k^2 \theta = C_{wl_k} l_k h_n. \quad (8)$$

Перепишемо рівняння (7) і (8) з урахуванням виразу (6):

$$m_c \ddot{y} + 2C_{uw} y = C_{uw} h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t; \quad (9)$$

$$I_c \ddot{\theta} + 2C_{wl_k} l_k^2 \theta = C_{wl_k} l_k h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t. \quad (10)$$

Записуємо рівняння (9) та (10) з введенням нових позначень

$$\ddot{y} + p_y^2 y = \frac{C_{uw}}{m_c} h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t, \quad (11)$$

де  $p_y^2 = \frac{2C_{uw}}{m_c}$  – квадрат власної кругової частоти системи по узагальненій координаті  $y$ ,  $c^{-2}$ ;

$$\ddot{\theta} + p_\theta^2 \theta = \frac{C_{wl_k} l_k}{I_c} h_0 \sin \frac{2\pi v}{l_0} t, \quad (12)$$

де  $p_\theta^2 = \frac{2C_{wl_k} l_k^2}{I_c}$  – квадрат власної кругової частоти системи по узагальненій координаті  $\theta$ ,  $c^{-2}$ .

Розв'язання рівнянь (11) та (12) мають наступний вигляд:

$$y = C_1 \cos p_y t + C_2 \sin p_y t + \frac{C_{uw} h_0}{m_c \left( p_y^2 + \frac{4\pi^2 v^2}{l_0^2} \right)} \sin \left( \frac{2\pi v}{l_0} t - \psi_1 \right), \quad (13)$$

$$\theta = C_3 \cos p_\theta t + C_4 \sin p_\theta t + \frac{C_{wl_k} l_k h_0}{I_c \left( p_\theta^2 - \frac{4\pi^2 v^2}{l_0^2} \right)} \sin \left( \frac{2\pi v}{l_0} t - \psi_2 \right). \quad (14)$$

Перші два доданки у виразах (13) та (14) описують вільні коливання системи, які визначаються початковими умовами і через деякий час практично зникають. Лишаються вимушені коливання, які описуються наступним чином:

$$y = \frac{C_{uw} h_0}{m_c \left( p_y^2 - \frac{4\pi^2 v^2}{l_0^2} \right)} \sin \left( \frac{2\pi v}{l_0} t - \psi_1 \right), \quad (15)$$

$$\theta = \frac{C_{ш} l_{к} h_0}{I_c \left( p_{\theta}^2 - \frac{4\pi^2 v^2}{l_0^2} \right)} \sin \left( \frac{2\pi v}{l_0} t - \psi_2 \right). \quad (16)$$

Безпосередньо з виразу (16) отримуємо умову втрати стійкості напівпричепа у поперечній площині при асиметричному кінематичному збуренні

$$p_{\theta}^2 - \frac{4\pi^2 v^2}{l_0^2} = 0 \quad (17)$$

або після розкриття власної кругової частоти  $p_{\theta}$

$$\frac{2C_{ш} l_{к}^2}{I_c} - \frac{4\pi^2 v^2}{l_0^2} = 0. \quad (18)$$

Звідки отримуємо критичну швидкість  $v_{кр}$ , при якій настає втрата стійкості напівпричепа контейнеровоза у поперечній площині:

$$v_{кр} = \frac{l_{к} l_0}{\pi} \sqrt{\frac{C_{ш}}{2I_c}}. \quad (19)$$

**Висновки.** Таким чином, отримано і обґрунтовано умову поперечної стійкості зчленованого контейнеровоза з бугельною рамою у збуреному русі шляхом математичного моделювання методами аналітичної механіки, що дає можливість обирати режими руху контейнеровозів в умовах технологічних доріг. Подана робота має широкі перспективи подальших досліджень промислового транспорту з нетрадиційними компоновками на шляху створення довершених зразків.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Грифф М.И., Затван Р.А., Трофименко В.Ф. *Автотранспортные средства с грузоподъемными устройствами для перевозки грузов в контейнерах и пакетах.* М.: Транспорт, 1989. – 159 с.
2. Грушников В.А. *Выбор транспортных средств для контейнерной доставки строительных грузов.* Промышленный транспорт. 1987. №11. С. 7.
3. Пашков А.К., Полярин Ю.Н. *Пакетирование и перевозка тарно-штучных грузов.* М.: Транспорт, 2000. 254 с.
4. Беккер И.Г. *Портальные автомобили.* М.: Машиностроение, 1971. 316 с.
5. *Технологічні і конструктивні параметри несучих систем порталних підйомно-транспортних машин / О.О. Бейгул та ін.* Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. 167 с.
6. Золотарев А. Ф., Тоцкий И.А. *Контейнеровоз на базе трактора Т-150К.* Промышленный транспорт. 1979. №6. С. 22.
7. *Дослідження та вибір типу несучої системи автоскраповоза з U-подібною рамою / О.О. Бейгул та ін.: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., м. Дніпропетровськ, 28–31 жовт. 2013р.Д., 2013. С. 138–141.*
8. Веселов Г.П., Густомясов А.Н., Колманов В.И. *Аналитическое исследование колебаний системы тягач-прицеп.* Известия вузов. Машиностроение. 1988. №5. С. 92–97.
9. Лобас Л.Г., Ващенко Ю.Л. *Динамическое поведение двухзвенного автопоезда вблизи границы области устойчивости.* Прикладная математика. 1991. Т.27. №12. С. 85–91.

Гутник А.З., Сомов Д.О., Гао Сіньмін (Україна, м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського).

## МОРФОЛОГІЧНИЙ СИНТЕЗ ШИРОКОДІАПАЗОННИХ І ШВИДКОПЕРЕНАЛАГОДЖУВАЛЬНИХ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

*Запропоновано використовувати системно-морфологічний підхід при синтезу широкодіапазонних і швидкопереналагоджувальних затискних патронів.*

*It is proposed to use a system-morphological approach in the synthesis of wide-range and fast-adjusting clamping chucks.*

**Актуальність.** Розвиток нових наукових - технічних ідей суттєво впливає на суверенність держави і благополуччя народу завдяки забезпеченню високого технічного рівня устаткування для народного господарства. Останні роки уряди багатьох країн і, навіть, африканських почали більше приділяти уваги розвитку саме машинобудуванню. У машинобудуванні роль затискних механізмів верстатів складно переоцінити, але вони потребують постійного покращення та вдосконалення за рахунок пошуку нових технічних рішень, оскільки довгий час зберігають традиційні конструкції, відстаючи від постійного розвитку систем керування та приводів.

Практика роботи різних організацій, зайнятих розробкою і виготовленням новітньої техніки показує, що в багатьох випадках пошук кардинально нових технічних ідей спіткає цілий ряд труднощів, причиною яких є не стільки низький рівень кваліфікації, скільки відсутність системного підходу і незнання методології пошуку нових технічних рішень [2,3].

Тому рух в напрямку розвитку методології розробки новітніх затискних механізмів із застосуванням багаторівневого морфологічного синтезу є актуальною науково-технічною задачею, вирішення якої дозволить підвищити рівень техніко-економічних показників і розширити технологічні можливості верстатів нового покоління.

**Метою роботи** є використання методології розв'язку задач розробки затискних механізмів за допомогою багаторівневого системно-морфологічного підходу разом з принципами генетичного синтезу на прикладі морфологічного синтезу широкодіапазонних (ШДЗП) і швидкопереналагоджувальних (ШПЗП) затискних патронів для впровадження їх на токарних верстатах з ЧПК [1].

Морфологічний аналіз і синтез нових затискних патронів. Морфологічний аналіз базується на класифікації і спрямований на послідовний перебір всіх можливих варіантів рішення, які витікають із закономірностей будови (морфології) об'єкту, що удосконалюється, і тим самим врахувати, крім відомих, незвичайні варіанти, котрі при простому



переборі могли бути знехтувані, бо далекі від того, що лежить в полі зору. Морфологічний синтез передбачає вибір кращих рішень на морфологічній множині по заданим критеріям якості в умовах неповної вихідної інформації. В даній доповіді зроблені перші кроки морфологічного аналізу і синтезу ШДЗП і ШПЗП з побудовою морфологічних моделей у вигляді таблиць з основними ознаками по горизонталі і альтернативами по кожній ознаці по вертикалі (табл. 1 і 2).

В табл. 1 перетворювачі енергії (ПЕ): електромеханічні (ЕМПЕ); механічні (МПЕ); гідромеханічні (ГМПЕ); пневмомеханічні (ПМПЕ); термомеханічні (ТМПЕ); біомеханічні (БМПЕ); електронні (ЕПЕ); віброакустичні (ВАПЕ).

Таблиця 1

Морфологічна модель-таблиця широкодіапазонних затискних патронів (ШДЗП)

Структура					Спосіб				
1. Джерело енергії (ДЕ)	2.*Перетворення енергії (ПЕ)	3.Вхід	4.Перетвор. переміш. (ПП)	5.Затискний елемент (ЗМ)	6.Вихід	7.Об'єкт затиску	8.Розширення діапазона	9.Компенсація відцентрових сил	10.Призначення
1.1 Електр. струм	2.1 ЕМПЕ	3.1 Сила осьова	4.1 Важільний	5.1 Цанга	6.1 Сила осьова	7.1 Пруток	8.1 В приводі затиску	9.1 Додатковою силою	10.1 Для БТА
1.2 Сонце	2.2 МПЕ	3.2 Сила радіальна	4.2 Клиновий	5.2 Клин	6.2 Сила радіальна	7.2 Труба	8.2 Зміна положення ЗЕ	9.2 Додатковим моментом	10.2 Для ОТА
1.3 Повітря	2.3 ГМПЕ	3.3 Сила тангенц.	4.3 Спиральний	5.3 Кулачок	6.3 Сила тангенц.	7.3 Штучна заготовка	8.3 Зміна об'єму ЗЕ	9.3 Противагою	10.3 Для ТРВ з ЧПК
1.4 Вода	2.4 ПМПЕ	3.4 Момент осьовий	4.4 Плувжерний	5.4 Іншої форми	6.4 Комбінація	7.4 Фасонний пруток	8.4 Зміна ЗЕ	9.4 Замкненням силового контуру	10.4 Для ТВ з ЧПК
1.5 Людська сила	2.5 ТМПЕ	3.5 Момент радіальний	4.5 Гвинтовий	5.5 Не твердотільний		7.5 Фасон. штучна заготовка	8.5 Відсутній	9.5 Відсутній	
1.6 Інше	2.6 БМПЕ	3.6 Момент тангенц.	4.6 Зубчастий						
	2.7 ЕПЕ	3.7 Комбінація	4.7 Пружний						
	2.8 ВАПЕ		4.8 Комбінований						
			4.9 Відсутній						

Таблиця 2

Д затиск	Затискний патрон						Об'єкт затиску		10. Призна чення для верстата
	Передатно- підсилююча ланка		5. Вихід на сила		Затискний елемент		8. Вид	9. Кіль кість	
	3. Вид	4. Кути			6. Форма				
2. Вхід не навант аж	3.1. Плунжер	4.1. $\beta > 0$	5.1. Радіа льна $F_{r2}$	6.1. Призмагичн ий одноступ.	7.1. Автомати чна зміна	8.1. Шту чна заготовк а	9.1. Один	10.1. *ОТА	
2.2. * $M_{a1}$	3.2. Клин	4.2. $\beta = 0$	5.2. Осьо ва $F_{a2}$	6.2. Призмагичн ий багатоступ	7.2. Зміна положення поступ. рухом	8.2. Пруток (труба)	9.2. Два	10.2. *БТА	
2.3. $F_{a1} +$ $M_{a1}$	3.3. Комбінаці послідовна	4.3. $\beta < 0$	5.3. $F_{r2} +$ $F_{a2}$	6.3. Призм. 3 нахиленим отв.	7.3. Зміна положення поворотом	8.3. Комбіна ція			
	3.4. Комбінація паралельна	4.4. $\alpha > 0$		6.4. Фасон. 3 горизонт віссю	7.4. Зміна об'єму				
		4.5. $\alpha = 0$		6.5. Фасон. 3 нахилен. віссю	7.5. *ПППО				
		4.6. $\alpha < 0$							
		Комбіна ція $\alpha, \beta$							

	1. Перетв. енергії	1.1. Електр. механізм	1.2. Гідро механізм	1.3.Пневм о мехін.	1.4.Комбін ація			
--	-----------------------	-----------------------------	------------------------	-----------------------	--------------------	--	--	--

Морфологічна модель-таблиця швидкопереналагоджувальних затискних патронів (ШПЗП)

В табл. 2 Сила осьова ( $F_{a1}$ ); Крутний момент навколо осі ( $M_{a1}$ );

Для дотримання конфіденційності і подальшого вилучення непрацездатних або невідходящих до умов задачі варіантів будуємо повну і усічену морфологічні матриці з різною кількістю рішень. Наприклад, для табл.1 повна морфологічна матриця широкодіапазонних затискних патронів (ШДЗП):

$$M_{\text{шдзп}} = \begin{vmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 & 6.1 & 7.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 & 6.2 & 7.2 \\ 1.3 & 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 & 6.3 & 7.3 \\ 1.4 & 2.4 & 3.4 & 4.4 & 5.4 & 6.4 & 7.4 \\ 1.5 & 2.5 & 3.5 & 4.5 & 5.5 & & 7.5 \\ 1.6 & 2.6 & 3.6 & 4.6 & & & \\ & 2.7 & 3.7 & 4.7 & & & \\ & 2.8 & & 4.8 & & & \\ & & & & 4.9 & & \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 8.1 & 9.1 & 10.1 \\ 8.2 & 9.2 & 10.2 \\ 8.3 & 9.3 & 10.3 \\ 8.4 & 9.4 & 10.4 \\ 8.5 & 9.5 & \end{vmatrix}$$

Кількість варіантів

$$N_{\text{шдзп}} = 6 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 4 = 30\,240\,000$$

Скорочена морфологічна матриця ШДЗП:

$$M'_{\text{шдзп}} = \begin{vmatrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 & 6.1 & 7.1 \\ -- & 2.2 & -- & 4.2 & 5.2 & 6.2 & 7.2 \\ -- & 2.3 & -- & -- & 5.3 & 6.3 & 7.3 \\ -- & -- & 3.4 & 4.4 & -- & 6.4 & -- \\ -- & -- & -- & -- & 5.5 & -- & -- \\ -- & -- & -- & -- & -- & -- & -- \\ & -- & -- & -- & -- & -- & -- \\ & -- & -- & 4.8 & -- & -- & -- \\ & -- & -- & -- & -- & -- & -- \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} 8.1 & 9.1 & 10.1 \\ 8.2 & -- & 10.2 \\ 8.3 & 9.3 & 10.3 \\ 8.4 & 9.4 & 10.4 \\ 8.5 & 9.5 & \end{vmatrix}$$

Кількість варіантів:

$$N''_{\text{шдзп}} = 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 4 = 92\,160$$

Таким чином маємо 92 160 можливих варіантів впровадження широкодіапазонних затискних патронів (ШДЗП) в багатошпindelний токарний автомат.

Аналогічно згідно табл.2 можна побудувати морфологічні матриці і отримати нові технічні рішення, один з прикладів яких наведений на рис.1.

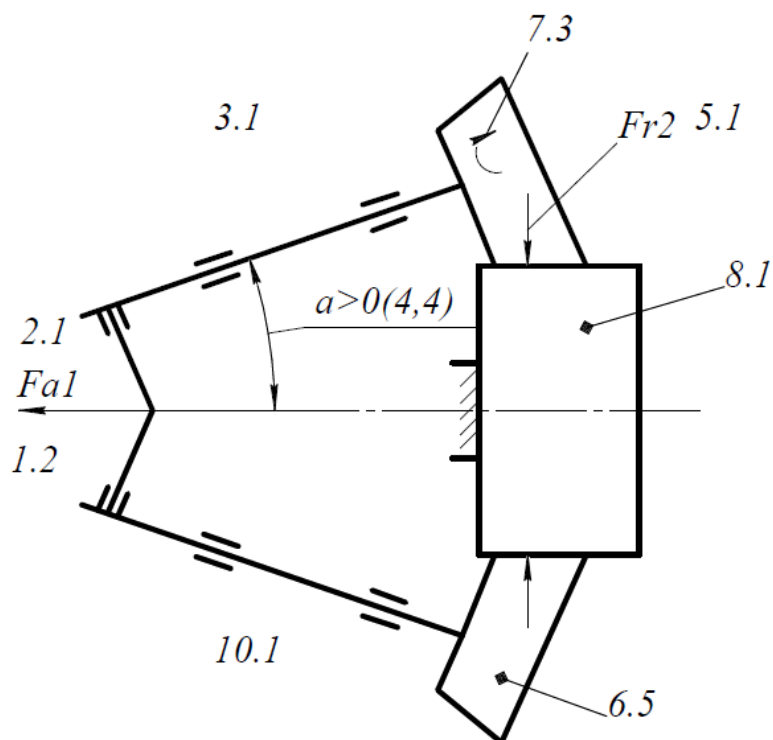


Рис.1. Клино-плужерный швидкопереналаджувальний затискний патрон (ШПЗП) з позначенням альтернатив ознак (табл.2) і структурною генетичною формулою на популяційному рівні  $F_{a1} - PL - F_{r2}$  [3]

Висновок. На прикладі морфологічного синтезу ШДЗП і ШПЗП було продемонстровано ефективність та полегшення генерування великої кількості найрізноманітніших технічних рішень однієї проблеми. Методологія розробки новітніх затискних механізмів дозволяє усучаснити верстатобудування та забезпечити верстати найновітнішими технологічними можливостями в умовах викликів «ІНДУСТРІЯ 4.0» [1].

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов Ю.Н. Вызовы четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» перед учеными Украины //Вестник ХНТУ, №2 (61), 2017.-с.67-75.
2. Кузнецов Ю.М. Теорія розв'язання творчих задач: Монографія /Ю.М.Кузнецов.-К.: ТОВ «ЗМОК»-ПП «ГНОЗИС», 2003.-294с.
3. Хамуйела Ж.А.Герра. Генетико-морфологический синтез зажимных патронов: Монографія /Герра Ж.А.Хамуйела, Ю.Н.Кузнецов, Т.О.Хамуйела; под ред. Ю.Н.Кузнецова.-Луцк: Вэжа-Друк, 2017.-328с.

## СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБКочУВАННЯ РОЛИКОМ З КЛИНОВИМ ПРОФІЛЕМ ПРИ ПОВЕРХНЕВОМУ ЗМІЦНЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*В статті розглядається математичне моделювання процесу обкочування клиновим роликом і побудова скінченно-елементної моделі.*

*Mathematical simulation of knurling with a wedge roller and making a finite-element model are being considering in the article.*

Одним із відомих напрямків підвищення надійності машин є отримання заданих властивостей поверхонь деталей методами поверхневого зміцнення, розвиток яких набув нового імпульсу на межі ХХ–ХХІ ст., коли було створено та впроваджено у практичну діяльність низку нових технологічних методів та способів поверхневого зміцнення деталей машин. Сучасні технологічні процеси і методи зміцнення дають змогу керувати показниками якості формуванням та оптимізацією параметрів поверхонь і приповерхневих шарів, зокрема мікро- та макровідхиленнями; мікротвердістю, глибиною і знаком залишкових напружень.

Поверхнева пластична деформація (ППД) це спосіб опоряджувально-зміцнювального оброблення без зняття стружки шляхом деформації мікронерівностей і мікрodefektів прилеглих до поверхні шарів матеріалу. Одним з найбільш важливих результатів ППД є виникнення у поверхневому шарі металу залишкових напружень стискання [1, 2].

На сьогоднішній день існує безліч методів ППД – вигладжування, вібровигладжування, дробоструминне оброблення, обкочування сферичним, циліндричним і круговим роликом та інші. Ці способи оброблювання поверхні мають свої переваги: забезпечують досить жорсткі вимоги по шорсткості, твердості поверхні, збільшують зносостійкість деталей машин і стійкість до корозійного впливу, знижує собівартість виготовлення продукції (економія матеріальних ресурсів і енерговитрат).

З усього різноманіття існуючих схем реалізації процесу поверхневого зміцнення шляхом пластичної деформації [1, 3-4] найбільш поширеним є обкочування роликом, що має круговий профіль. Для цієї схеми реалізації було проведено низку теоретичних і експериментальних досліджень, які підтверджують працездатність і адекватність отриманих результатів щодо можливості застосування їх на реальному виробництві. Мова йде про схему реалізації, що передбачає схрещування осей деформуючого ролика і заготовки, в результаті якого в деформованому шарі матеріалу заготовки окрім стискаючих напружень виникають ще і напруження зрізу, які призводять до зниження впливу внутрішніх напружень і сприяють підвищенню якості зміцнених поверхонь (рис. 1) [5-7]. Деформуючий ролик 1

налаштовується відносно напрямку дії деформуючої сили  $P$ . Таким чином встановлюється кут схрещення його вісі обертання з віссю обертання заготовки 3.

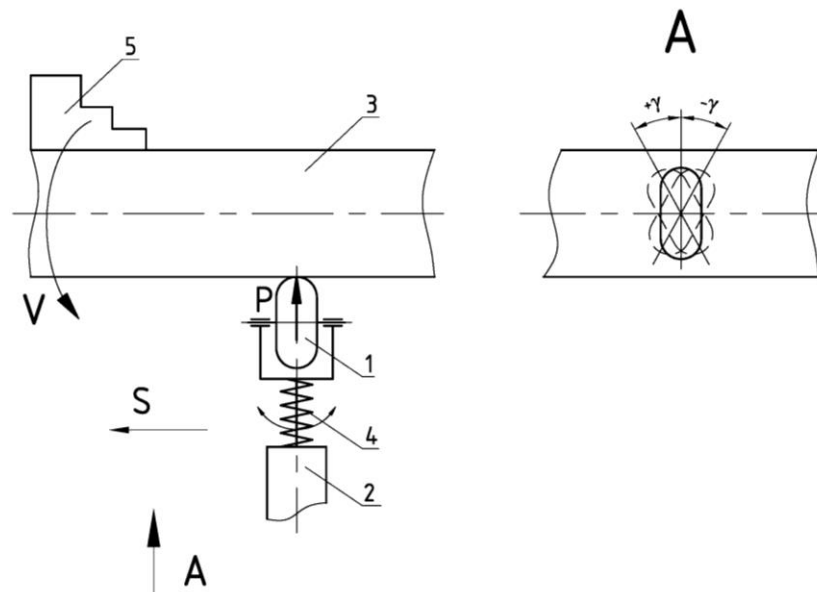


Рис. 1. Схема накочування роликом з круговим профілем зі схрещенням осей

Можливо два варіанти реалізації даного способу оброблення: подача здійснюється за рахунок повороту осі ролика, і подача задається примусово. Розглядати кінематику даного процесу можна на основі роботи з вивченням тертя дискових зразків з перехресними осями [8].

Різноманітність технологічних способів реалізації опоряджувально-зміцнювального оброблення поверхнево-пластичною деформацією в свою чергу робить необхідним використання різних методик і підходів для теоретичних досліджень, зокрема побудови скінченно-елементних моделей і для процесу обкочування роликом. Основним призначенням цих моделей є уточнення вихідних даних для експериментальних досліджень, а також розширення обсягів результатів за відповідними теоретичними методиками розрахунку та їх промислова адаптація.

Метою даної роботи є дослідження процесу обкочування поверхонь деталей машин роликом з клиновим профілем і побудова скінченно-елементних математичних моделей для розрахунку і дослідження вказаного процесу.

Метод скінченних елементів (МСЕ) – це найсучасніший і найбільш точний метод, що має широкі можливості і універсальність. МСЕ широко застосовується для вирішення задач аналізу пружних деформацій, пластичної деформації заготовок, розрахунку напружено-деформованого стану і температурних полів в технологічних завданнях механічного оброблення деталей і оброблення металів тиском [9-11]. Насправді МСЕ являє собою узагальнення варіаційного методу. Його відмінність від варіаційного методу

полягає в тому, що координатні функції вибирають у вигляді кусочно-лінійних функцій. Це розширює можливості методу і значно спрощує розв'язання задачі. Лінійність координатних функцій дозволяє звести вирішення системи складних диференціальних рівнянь до системи лінійних рівнянь. Метод дозволяє вирішувати як пласкі і осесиметричні, так і об'ємні завдання пластичного плину.

Результати чисельного аналізу можна уявити в зручному для сприйняття вигляді, наприклад, ліній плину часток металу, ізоліній розподілу температур, деформацій, напружень. Знаючи ці результати можна прогнозувати утворення дефектів форми і появу зон передчасного руйнування [9, 12]. Сьогодні для моделювання процесу поверхнево-пластичної деформації обкочуванням роликком методом скінченних елементів використовують як різні загально-інженерні пакети, так і програми, розроблені під реальну технологічну задачу. Сутність МСЕ полягає у розбитті об'єму тіла, що піддається деформації, на безліч простих геометричних елементів (пласкі і об'ємні елементи: прямолінійні і криволінійні, правильні і довільні трикутники і чотирикутники тощо). Елементом в цілому і кожному вузлу зокрема надають певні ступені свободи, а кожен елемент має властивості матеріалу дискретизованого середовища. Для пружно-пластичних матеріалів це, перш за все, механічні властивості середовища. Для процесів ОМТ основні співвідношення МСЕ ґрунтуються або на теорії пластичного плину, або на теорії пластичності [13-16]. Існує безліч спеціалізованих і загально-інженерних пакетів скінчено-елементного аналізу, для моделювання і розрахунку процесу обкочування при ППД, а також інших процесів ОМТ в комбінації з іншими видами інженерного аналізу (тепловий, динамічний та ін.). В основному використовують спеціалізовані програми, такі як ANSYS, ABAQUS, QFORM, DEFORM та ін. [12, 17, 18].

Усі процеси ППД, в тому числі і обкочування роликком, характеризуються дуже низькою величиною деформації. Вона настільки незначна, що фактичні розміри заготовки навіть не змінюються. Деформуванню піддаються лише поверхневі шари, які формують шорсткість поверхні, тому вказані процеси можна віднести скоріш до групи механічного оброблення, аніж до процесів оброблення тиском. Враховуючи це доцільно було б обирати ті програмні продукти, які мають модуль розрахунку механічного оброблення. Це такі пакети, як ANSYS, DEFORM 3D тощо.

Для побудови математичної моделі і розрахунку процесу обкочення роликком було обрано пакет розрахункових прикладних програм DEFORM 3D, в якому заготовка задавалась як пластичне тіло (рис. 2), та була поділена на сітку скінченних елементів з кількістю таких елементів 40000 шт. з мінімальним розміром елемента 3,7 мм і максимальним – 7,5 мм. Ролик був заданий як абсолютно жорстке тіло і має клиновий профіль з кутом при вершині 170°. Коефіцієнт тертя на контактній поверхні був заданий 0,12. В процесі моделювання ролик притискався до заготовки із зусиллям 1000 Н та мав подачу вздовж вісі заготовки  $S = 2,6$  мм/с.

Ті дані, що можуть бути отримані в результаті моделювання, будуть використовуватися для попереднього аналізу вказаного процесу і уточнення вихідних даних на наступних етапах досліджень. Зокрема скінченно-елементне моделювання процесу обточення роликом (рис. 3) дозволяє в першу чергу визначити глибину зміцненого шару, а також провести дослідження впливу різних вихідних факторів на параметри процесу та формування зміцненого поверхневого шару.

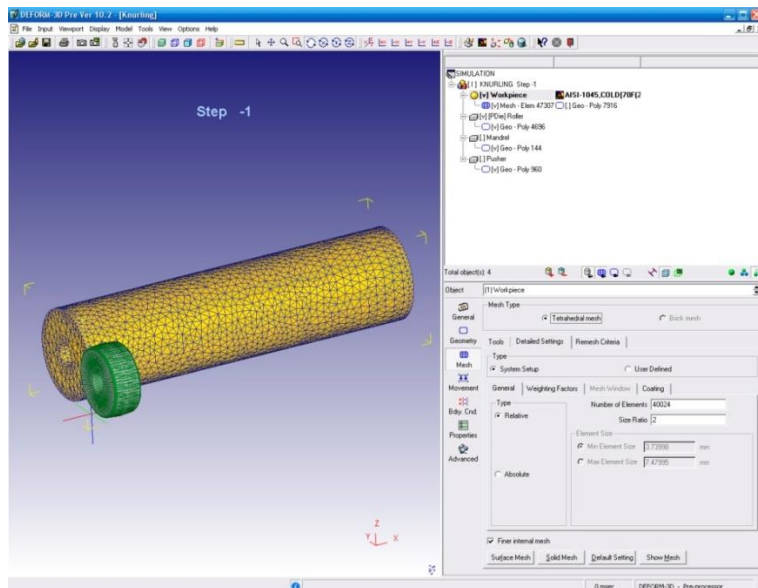


Рис. 2 – Скінченно-елементна модель процесу обточування роликом у пакеті розрахункових прикладних програм DEFORM 3D

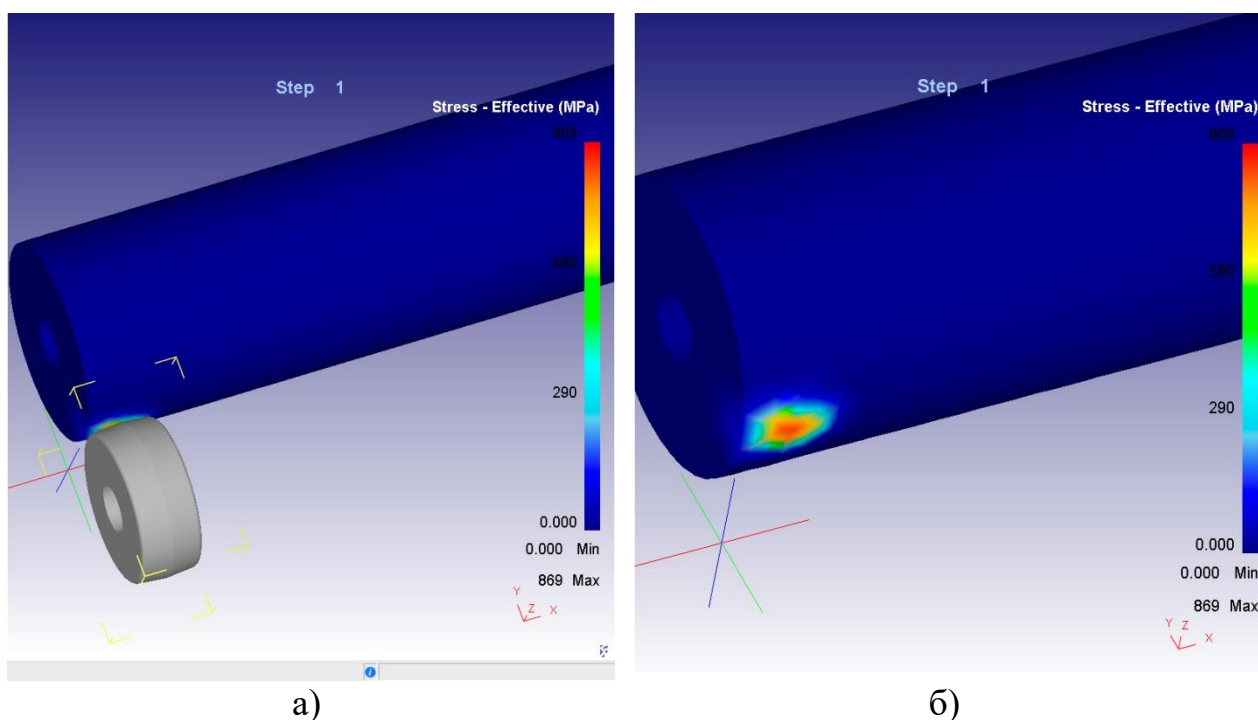


Рис. 3 – Моделювання процесу обточення роликом у пакеті розрахункових прикладних програм DEFORM 3D



Використання імітаційного моделювання процесу обкатування роликком за допомогою МСЕ є реальною альтернативою експериментальним дослідженням і теоретичному аналізу і може бути досить ефективним при аналізі процесів ППД і вирішенні поставлених завдань. Проте не слід забувати, що, по-перше, скінченно-елементні моделі процесу, що розглядається, як і будь-які інші теоретичні рішення, засновані на спрощених гіпотезах з низкою допущень, а отже вимагають остаточного підкріплення отриманих результатів досвідними даними [7, 10, 19]. По-друге, немає суперечності і в тому, що вихідні дані для постановки завдань за МСЕ, а також і за іншими методиками, доцільно і корисно уточнити за допомогою фізичного моделювання [6, 11].

## ВИСНОВКИ

Одним з найефективніших методів дослідження процесу обкочування поверхонь деталей машин роликком з метою зміцнення їх поверхневого шару є метод скінченних елементів. Побудова скінченно-елементної моделі дає змогу візуально оцінити напружено-деформований стан, розподіл напружень, а також визначити глибину деформованого стану. Використання вказаного методу моделювання також дозволяє уточнити і отримати додаткові вихідні дані для проведення експериментальних досліджень вказаного процесу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение, 2002. – 300 с.
3. Ежелев А. В. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием / А. В. Ежелев, И. Н. Бобровский, А. А. Лукьянов // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 6 (часть 3). – С. 642–646.
4. Кабатов А. А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием [Электронный ресурс] / А. А. Кабатов // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2013. – № 58. – С. 49–54. – Режим доступа : <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/OIKIT/2013/OIKIT58/p49-54.pdf>
5. Ковалевский С. В. Поверхностно-пластическая деформация наружных цилиндрических участков валов роликком со специальным профилем / С. В. Ковалевский, А. В. Гуцин // *Материалы V научно-технической конференции молодых специалистов «Энергомашспецсталь 2013»*. – Краматорск, 2013. – С. 129.
6. Ковалевський С. В. Особенности применения роликов при отделочно-упрочняющей обработке наружных поверхностей деталей типа тел вращения / С. В. Ковалевський, А. В. Гуцин // *Научный вестник ДГМА*. – № 3(15Е). – 2014. – С. 44–49.
7. Ковалевський С. В. Дослідження поверхневого зміцнення робочих поверхонь деталей машин на основі поверхнево-пластичної деформації при накочуванні роликком з круговим профілем / С. В. Ковалевський, О. В. Гуцин, А. О. Попов // *Обробка матеріалів тиском*. – 2016. – № 2 (43). – С. 94–97.
8. Смушкович Б. Л. Испытание на трение дисковых образцов со скрещающимися осями вращения / Б. Л. Смушкович // *Трение и смазка в машинах и механизмах*. – 2009. – № 6. – С. 18–20.

9. *Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич // М. : Мир, – 1975. – 541 с.*
10. *Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы / В.Н. Данченко, А.А. Миленин, В.И. Кузьменко, В.А. Гринкевич // Днепропетровск: Системные технологии, – 2005. – 448с.*
11. *Иванов К.М. Метод конечных элементов в технологических задачах / К.М. Иванов, В.С. Шевченко, Э.Е. Юргенсон // Учебн. пособие – СПб. : Изд-во ПИМаи, – 2000. – 224 с.*
12. *Биба Н.В. Применение программы QFORM 2D/3D для разработки 562 малоотходной технологии штамповки/ Н.В. Биба, С.А. Стебунов // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. – Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ : Системні технології, – 2002. – С. 221-226.*
13. *Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. – М.: Металлургия, 1972. – 408с.*
14. *Соколовский В.В. Теория пластичности. – М.: Высш. Школа, 1968. – 608с.*
15. *Качанов Л.Н. Основы теории пластичности. – М.: Наука, 1969. – 420с.*
16. *Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унксов. У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 598с.*
17. *Петров П.А. Моделирование выдавливания осесимметричной детали с помощью системы QFORM 2D/3D / П.А. Петров, Д.А. Гневашев, Ю.К. Филиппов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2003. – №12. – С. 26-27.*
18. *Модельовання зміцнення поверхні валів обкочуванням / Маковей В. А. Бородій Ю. П. Проценко П. Ю. Акімкін А. М. // Обработка материалов давлением. – 2013. – № 3 (36). – С. 46-52*
19. *Степанский Л.Г. Об опытной проверке результатов компьютерного моделирования процессов пластического деформирования / Л.Г. Степанский // КШП-ОМД. - 2001. - №6. - С. 36-40.*

Ємець В.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

## СТРУКТУРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ЗІ СТРУКТУРОЮ ПАРАЛЕЛЬНОЇ КІНЕМАТИКИ

*Представлений підхід, при якому оцінка якості технологічних систем, здатних виконувати складні операції механообробки виконується на підставі аналізу термоелектричних властивостей кінематичних пар в діапазоні змінних навантажень по у напрямку і по величині.*

*An approach is presented in which the evaluation of the quality of technological systems capable of performing complex machining operations is performed on the basis of the analysis of thermoelectric properties of kinematic pairs in the range of variable loads in the direction and magnitude.*

Одним з основних способів обробки деталей в одиничному виробництві, які мають складний профіль або які є тілами обертання зі складними конструкційними елементами є використання верстатів з ЧПК або оброблювальних центрів, які можуть відноситись та об'єднувати декілька верстатних груп.

З року в рік все гостріше стає питання щодо впровадження інноваційних методів, обладнання та пристосувань для виконання операцій механообробки з використанням сучасного обладнання. Ці процеси впливають на актуальність застосування верстатів з кінематикою паралельної структури (ВКПС).

Для підвищення ефективності виготовлення деталей потрібно використовувати технологічне обладнання, а саме верстати з кінематикою паралельної структури, новітній високошвидкісний інструмент (для високошвидкісної обробки).

Оскільки якість та складність геометричних форм, конструкційних елементів підвищується, паралельно чому зростають вимоги до виконуваних переходів та деталей в цілому.

Створення методів формоутворення складнопрофільних поверхонь, кінематичних схем базується на теорії формоутворення поверхонь. Це відображається в роботах Г. І. Грановського [1] Є. Г. Коновалова [2], А. А. Федотенка [3], П. Р. Родина [4], Б. А. Перепелиці [5], Н. Н. Попока [6], С. П. Радзевича [7], А. І. Голембієвського [8], Кузнецова Ю.М. [10,12,13,14], а також в багатьох роботах інших авторів.

Сучасним напрямком обробки деталей тіл обертання в сучасному виробництві є фрезоточіння для тіл обертання та об'ємне фрезерування [9].

Основними значними перевагами верстатів з ЧПК є ефективність їх використання з точки зору трудомісткості пов'язаної з підготовкою та налагоджуванням програми.

Верстати з кінематикою паралельної структури дозволяють виконувати остаточну обробку деталей складної геометрії, високошвидкісну обробку,

синхронну п'ятиосьову обробку, фрезерну обробку твердих матеріалів з високою швидкістю і точністю і багато іншого.

Найбільш перспективною сферою їх застосування є прецизійне верстатобудування. Результати структурного аналізу систем паралельної кінематики можуть бути використані при проектуванні нового типу автоматизованих технологічних систем.

Для того, щоб провести дослідження можливостей будь-якого механізму достатньою умовою є:

- Поняття про кінематичні пари та ланцюги;
- Поняття про механізми та його ступені свободи;
- Утворення механізму за Л. В. Ассуром.

CALS- технології покликані служити засобом, інтегруючим промислові автоматизовані системи в єдину багатофункціональну систему. Метою інтеграції автоматизованих систем проектування і управління є підвищення ефективності створення і використання складної техніки.

Для базового верстата - робота на базі дельта-механізму, а саме ВКПС типу трипод, з простих кінематичних пар можна скласти кінематичний ланцюг трипода, схема на рис. 1.

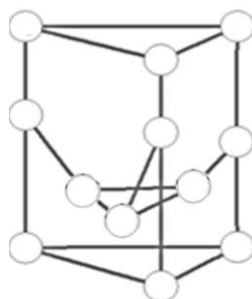


Рисунок.1 – Принципова кінематична схема ВКПС типу трипод

В нашому випадку кінематична схема триподу є замкнутим кінематичним ланцюгом. Якщо замкнутий кінематичний ланцюг має нерухому ланку, яка називається стійкою, то його можна назвати механізмом.

Переваги механізмів з паралельною структурою:

- при малій масі рухомого виконавчої ланки забезпечуються більш високі швидкості переміщень і прискорень;
- механізми відрізняються високою жорсткістю, що зумовлено роботою телескопічного пристрою на розтяг-стиск і рівномірним розподілом зусиль по всій структурі;
- суттєве зниження металоємності.

Робоча зона типового обладнання на виробництві опирається лише на одну паралельну структуру, що значно поступається робочій зоні верстата робота, який складається з декількох або ж комбінації гібридних структур, які засновані на елементах традиційної послідовної і паралельної кінематики [15,17], або реконфігуванням механізму паралельної кінематики в процесі виготовлення деталей [10, 18].

З аналізу схеми взаємозв'язку ВКПС та СТО (система технологічного оснащення) випливає, що треба провести розробку елементів, характеристики яких дозволяють забезпечити для застосування в різних

структурах. Відома формула Малишева має необхідність в доопрацюванні, так як вона не враховує якісних характеристик та залежністю між структурами ВКПС та СТО, функціями, які кладуться на ці структури.

Структури необхідно розглядати з боку побудови графічних характеристик ВКПС для функцій, які повинні виконувати ці структури без уточнення ланок цих структур. Переналаштування верстату-робота зі штангами постійної довжини здійснюється шляхом зміни кута нахилу напрямних, а відповідно і напрямку руху кареток [10].

Кожна конструкція ВКПС складається з базових елементів, які можна для оптимізації структурної схеми ВКПС формалізувати (елементи кінематичних пар: стрижні, ШВП, Гвинтові пари та ін.).

Для того, щоб оцінити якість системи, а також її можливості в базовому стані виконувати покладені на неї функції проведено складено таблицю вихідних даних, а також проведено вибірку з якою складено матрицю даних для охоплення всього можливо діапазону вихідних параметрів, що суттєво впливає на результат.

Для досліджуваного зразка було обрано сталевий зразок круглого прокату, який було поділено на відрізки різної довжини. Всього було отримано 15 позицій для вимірювання кожна позиція з якої відділяється від попередньої або наступної канавкою сталої ширини на всьому відрізку зразка для 15 позицій.

Термоелектричні явища, сукупність фізичних явищ, обумовлених взаємозв'язком між тепловими і електричними процесами в металах і напівпровідниках, таких як є ефекти Зеебека [19], Пельтьє і Томсона. Зеебека ефект полягає в тому, що в замкнутому ланцюгу, що складається з різнорідних провідників, виникає ЕРС (термо), якщо місця контактів підтримують при різних температурах.

Виникнення ефекту Зеебека викликано декількома складовими:

а) об'ємна різниця потенціалів - якщо уздовж провідника існує градієнт температури, то електрони на гарячому кінці набувають вищих енергій і швидкості, ніж на холодному; в напівпровідниках, на додаток до цього, концентрація електронів провідності зростає з температурою. В результаті виникає потік електронів від гарячого кінця до холодного. На холодному кінці накопичується негативний заряд, а на гарячому залишається некомпенсований позитивний заряд. Процес накопичення заряду продовжується до тих пір, поки що виникла різниця потенціалів не викличе потік електронів в зворотному напрямку, рівний первинному, завдяки чому встановиться рівновага.

б) контактна різниця потенціалів - контактна різниця потенціалів (в англійській літературі - потенціал Вольти) - це різниця потенціалів, що виникає при зіткненні двох різних твердих провідників, що мають однакову температуру. Розрізняють внутрішню і зовнішню різниці потенціалів в залежності від того, чи розглядаються потенціали еквіпотенційної обсягу контактують провідників або ж потенціали поблизу їх поверхні [20,21, 22].

Контактна різниця потенціалів не може бути виміряна вольтметром безпосередньо, проте може проявлятися на вольт-амперних характеристиках контакту.

При створенні контакту хімічні потенціали електронів стають однаковими, і виникає контактна різниця потенціалів:

$$U = \frac{F_2 - F_1}{e}$$

$F$  – енергія Фермі;

$e$  – заряд електрона.

На контакті тим самим існує електричне поле, локалізоване в тонкому приконтактному шарі. Якщо скласти замкнутий ланцюг з двох металів, то  $U$  виникає на обох контактах. Електричне поле буде направлено однаковим чином в обох контактах - від більшого  $F$  до меншого. Це означає, що якщо зробити обхід по замкнутому контуру, то в одному контакті обхід відбуватиметься по полю, а в іншому - проти поля. Циркуляція вектора  $E$  тим самим буде дорівнює нулю.

Якщо елементи системи мають ідеальний зв'язок, а дані змінюються дуже мало можна помітити, що параметри термоелектрорушійної сили виникають при контакті вузлів верстата, деталей, підшипників, завдяки різності матеріалів контактуючих деталей, а також обумовлено взаємозв'язком між тепловими процесами, які виникають в парах тертя: зубчасті передачі, підшипники кочення та ковзання, а також в передавальних механізмах й залежить від мастильних рідин та швидкості обертання [20].

Для виявлення поведінки системи та графічного зображення тензорної моделі системи верстата було проведено опрацювання характеристик системи при різних вихідних параметрах.

Весь блок вимірювань проводився для контрольних проходів без отримання якісно-кількісних параметрів виробу та для проходів обробки з отриманням якісно-кількісних параметрів виробу шляхом тестових проходів при різних параметрах системи для внесення даних в тензорну модель.

Запропонована тензорна модель системи для проектування ТП базується на показниках якості оснащення, які складаються з зазначених вище станів системи у комплексному вигляді. Завдяки такому підходу, при якому тензорна модель складається з еталонних моделей стану системи п. I та п. III, які є еталонними станами для тензорної моделі та станів системи п. II та п. IV, які є еталонними моделями похибок станів системи вдалось перенести тензорну модель для виготовлення виробу на ВКПС (верстат з кінематикою паралельної структури).

Згідно з тензорною моделлю, яка є багатокomпонентним алгебраїчним об'єктом системи, можна описати будь яку конструкцію ВКПС за закладеним комплексом станів системи, отриманих в ході проведення експериментального дослідження.

Використання в верстатах-роботах цих механізмів дозволяє досягти високої точності, малої металоємності та швидкості, достатньої для обробки заготовки на максимально можливих швидкостях при мінімальних витратах часу на виготовлення деталі [11].

Одними з найважливіших властивостей всіх металорізальних верстатів є форма і розмір їх робочого простору. Робочий простір верстатів з паралельною кінематикою являє собою складну геометричну фігуру, на

форму якої великий вплив мають: кількість штанг та їх розташування, а на розміри робочого простору впливають: кут розбіжності штанг, довжини штанг і діапазон їх зміни, рухливість шарнірів, діаметри підстави і платформи [16].

Для систематизації та аналізу вимірювань з 25 етапів проведення експериментальних вимірювань впливу вхідних параметрів, таких як швидкості, глибини та подачі при проведенні вимірювань та обробки 25 зразків, на стан системи, який було зафіксовано акустичним методом з фіксацією термоЕРС у вигляді спектрів стану, які відображують та включають в себе вихідні налаштування системи верстата, а також мають зв'язок з вихідними параметрами проведення обробки, тобто шорсткістю Ra та точністю T виконання поверхонь тіл обертання.

Для проведення нейромережевого аналізу таблицю даних було використано як файл даних, у якому провели дослідження від впливів вихідних параметрів на дисперсні стани системи, та з урахуванням який отримано якісні характеристики оброблюваних 25 зразків

Для досліджуваного ВКПС було проведено відповідні заміри щодо можливості виконання необхідних параметрів деталі на ВКПС.

Економічна ефективність було проведено для технологічного процесу виготовлення деталі «вал – шестерня».

Для визначення трудомісткості обробки деталей за базовим і новим варіантами було проведено об'єднання операцій (010 – 020, 040) базового, запропоновано дві операції (010 та 020) точіння на верстатах з кінематикою паралельної структури ВКПС.

Розрахунок економічної ефективності виконано за, що застосовують на підприємствах під час впровадження нововведень у діючі технологічні процеси, наприклад при заміні устаткування, при підвищенні продуктивності та впровадженні сучасних технологій та ін.

Розрахунок показує економію грошових коштів і зниження часу виробничого циклу за рахунок:

- зниження трудомісткості операцій;
- зниження заробітної платні основних робочих.

З наведеного розрахунку можна сказати про економію грошових коштів при впровадженні нового технологічного процесу за рахунок:

- 1) зниження трудомісткості та скорочення фонду оплати праці основних виробничих робітників (за рахунок скорочення кількості операцій);
- 2) економії за частиною накладних витрат (внаслідок обліку відсотка загальновиробничих витрат і транспортних витрат);
- 3) економії витрат на електроенергію (оскільки застосування ВКПС є менш енергоємним).

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Грановский, Г. И. Кинематика резания / Г. И. Грановский. М.: Машиз, 1948. 199 с.
2. Коновалов, Е. Г. Основы новых способов металлообработки / Е. Г. Коновалов. Минск: Изд-во АН БССР, 1961. 297 с.
3. Федотенок, А. А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А. А. Федотенок. М.: Машиностроение, 1970. 403 с

4. Родин, П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П. Р. Родин. Киев: Вища шк., 1977. 192 с.
5. Перепелица, Б. А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием / Б. А. Перепелица. Харьков: Вища шк., Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. 152 с.
6. Попок, Н. Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н. Н. Попок. Минск: Технопринт, 2001. 396 с.
7. Радзевич, С. П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории / С. П. Радзевич. Киев: Растан, 2001. 592 с.
8. Голембиевский, А. И. Системология способов формообразующей обработки в машиностроении / А. И. Голембиевский. Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2017. 236 с.
9. Данилов, В. А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В. А. Данилов. Минск: Наука и техника, 1995. 264 с.
10. Кузнецов Ю.М., Дмитриев Д. А., Диневич Г. Е. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры: Монография / Под общ. ред. Кузнецов Ю. Н. - Херсон:ПП Вишнемирский В. С., 2010 – 471с. - ISBN 978-966- 8912-44-3.
11. Емец В. В. Проектування та дослідження технологічних можливостей приводів інтелектуальних мобільних машин/ В. В. Емец, С. В. Ковалевский// «Нейромережеві технології та їх застосування НМТіЗ-2017» Краматорськ: ДДМА – 2017, 54-59 с.
12. Кузнецов Ю.М., Хамуйела Жоакім А.Г., Хамуйела Т.О. Морфологічний синтез верстатів і їх механізмів: Монографія / За ред. Кузнецов Ю.М. - К.: ТОВ «Гнозис», 2012р. - 416с. - ISBN 978-966-2760-03-3.
13. Кузнецов Ю.М., Хамуйела Жоакім А.Г., Хамуйела Т.О. Цангові патрони подвійного затиску: Монографія «теорія і практика» / Под ред. Кузнецов Ю.М. - К.: ТОВ «ГНОЗІС», 2013р. - 401 с. - ISBN 978-966- 2760-02-6.
14. Kuznetsov Yu.N., Joaquim A. Guerra Hamuyela, T.O. Hamuyela. Sintese morfologica de máquinas-ferramenta e seus mecanismos: Monografia / Sob redacção Yu.N. Kuznetsov. - Luanda: N'Zilua, 2013. - 441pag.
15. Рыбак Л. А., Ержуков В. В., Чичварин А. В. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики работа-станка параллельной структуры. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 148 с. - ISBN 978-5-9221-1296-3.
16. Щелкунов Е.Б., Виноградов С.В., Щелкунова М.Е., Пронин А.И., Самар Е.В., Савченко Р.Е. «Реконфигурируемый станок с параллельной кинематикой с управляемой зоной доступа» Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре, Ленина 27, 681013
17. Вайнштейн, И.В. Экспериментальные исследования жесткости пятикоординатного станка с параллельной кинематикой/ И.В. Вайнштейн, Н.А. Серков, Р.О. Сироткин, А.А. Мерзляков// СТИН – 2009 - № 1. - С. 6-11
18. Merlet, J.P. Parallel Robots (Solid Mechanics and Its Applications / J.P. Merlet. – Berlin:Springer, 2006. – 394 p.
19. Термoeлектричество, эффект Пельтье, эффект Зеебека Кухлинг Х. Справочник по физике. — М. : Мир. — 1982. — С.374-375.
20. Блатт Ф. Дж. Теория подвижности электронов в твёрдых телах / Пер. с англ. — М.: Физматлит, 1963. — 224 с.
21. Калашников С. Г. — Электричество. М: Физ. Мат. Лит 2008 г. — 624с.
22. Контактная разность потенциалов — <http://bse.sci-lib.com/article064081.html>



Зуєв І.О., наук.кер. д.т.н., проф.Кіяновський М.В., к.т.н., доц. Цивінда Н.І.  
(Україна, м. Кривий Ріг, Криворізький національний університет)

## ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ ВУЗЛІВ МАШИН ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

*Проаналізована особливість появи дефектів при спрацюванні деталей гірничо-металургійного обладнання на різних стадіях їх існування (зародження, розвиток, катастрофічний вплив). Проведений аналіз встановив, що рівень енергетичного навантаження деталей технологічного обладнання можна регулювати контролем динамічних реакцій механізмів.*

Перелік задач технологічного підготовки ремонту в Криворізькому регіоні необхідно розглядати з умов технічних можливостей підприємства та його готовності вкладати кошти в розвиток нових ідей, процесів та, що обов'язково, аналізу ринку запасних частин [1].

Швидкість втрати працездатності обладнання гірничо-металургійних виробництв обумовлена інтенсивністю процесів зносу та накопичення пошкоджень деталей функціональних вузлів та робочих поверхонь обладнання.

Поява дефектів на різних стадіях їх існування (зародження, розвиток, катастрофічний вплив) має одну особливість: вони не змінюють динамічну рівновагу елементів механізмів, але відповідно принципу Д'Аламбера змінюють енергетичний рівень процесів взаємодії цих елементів від появи примусових сил від дії відповідних дефектів:

$$\left[m - \frac{f_4(y^{**})}{y^{**}(t)}\right]y^{**}(t) + \left[r - \frac{f_3(y^*)}{y^*(t)}\right]y^*(t) + \left[c - \frac{f_2(y)}{y(t)}\right]y(t) = f_0 + f_1(t), \quad (1)$$

де  $f(y, y^*, y^{**}, t)$  – примусові сили, обумовлені появою дефектів, які прискорюють процеси спрацювання обладнання.

Розкриття природи примусових сил  $f(y, y^*, y^{**}, t)$ , в першу чергу в енергетичній площині, може дати відповідь про умови мінімізації швидкості спрацювання ресурсу обладнання [2].

Визначення і пояснення появи примусових сил  $f_1(t)$  від дії конструктивно-технологічних дефектів та пошкоджень механічних вузлів можливо на підставі аналізу коливальної активності зони збудження.

Оскільки динамічні реакції системи механізмів технологічного обладнання, які контролюються, для визначення процесів спрацювання її компонентів, зумовлені характеристиками коливань її  $i$ -ї точки, то доцільно розглянути рівняння цих коливань.

Рівняння коливань складається на основі загальних для коливальних систем методів. Коливання від впливу дефектів механізму звичайно описуються диференціальними рівняннями або рівняннями що приводяться до лінійних (для незначних коливань). Ці рівняння описуються на основі законів Ньютона або Д'Аламбера, що представляють при поступальних коливаннях рівність нулю геометричної суми сил реакції зв'язків і інерційних сил в будь-якій точці коливальної системи. Коливання будь-якої системи можуть описані рівнянням Лагранжа:

$$\frac{d\partial W_k}{dt\partial q_i} - \frac{\partial W_k}{\partial q_i} = Q_i (i=1,2,\dots,s), \quad (2)$$

де  $W_k$  – кінематична енергія системи;  $q_i$  – узагальнені координати, що однозначно визначають положення системи;  $Q$  – узагальнена сила, що діє в напрямі  $i$ -ї координати;  $s$  – число ступенів свободи [3].

При малих коливаннях від дії дефектів та пошкоджень, кінетична енергія системи, що містить зосереджену масу  $m_k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ), є квадратичною функцією їх швидкостей.

$$W_k = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n m_k v_k^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n m_k (x_k^2 + y_k^2 + z_k^2), \quad (3)$$

де  $v_k$  – швидкість руху  $k$ -ї маси;  $x_k, y_k, z_k$  – проекція вектора швидкості  $v_k$  – у декартових координатах.

Радіус – вектор  $k$ -ї точки коливальної системи зі стаціонарними зв'язками, що має  $n$  ступенів свобод, є функцією узагальнених координат  $q_i$  системи. Координати  $x_k, y_k, z_k$  можуть представлятися функціями  $x_k = x_k(q_1, \dots, q_s)$ ,  $y_k = y_k(q_1, \dots, q_s)$ ,  $z_k = z_k(q_1, \dots, q_s)$ . З урахуванням того, що

$$X_k = (\partial x_k / \partial q_1) q_1 + \dots + (\partial x_k / \partial q_s) q_s, \quad (4)$$

де  $\dot{q}_i = \partial q_i / \partial t$  (для  $y_k$  і  $z_k$  аналогічно), рівняння кінетичної енергії (в узагальнених координатах) має вигляд:

$$W_k = (1/2)(a_{1,1}q_1^2 + \dots + a_{ss}q_s^2 + 2a_{1,2}q_1q_2 + \dots + 2a_{s-1,s}q_{s-1}q_s), \quad (5)$$

де  $a_{ij} = a_{ji} = \partial^2 W_k / \partial q_i \partial q_j$  – коефіцієнти інерції, що визначаються масою (моментами інерції) елементів або що є їх функціями. Таким чином, кінетична енергія при малих коливаннях – це квадратична функція узагальнених швидкостей системи. Аналогічно потенційна енергія цієї системи є квадратичною функцією самих узагальнених координат  $q_i$ :

$$W_n = (1/2)(c_{1,1}q_1^2 + \dots + c_{ss}q_s^2 + 2c_{1,2}q_1q_2 + \dots + 2c_{s-1,s}q_{s-1}q_s), \quad (6)$$

де  $c_{ij} = c_{ji} = \partial^2 W_n / \partial q_i \partial q_j$  – коефіцієнти жорсткості системи. Для систем із загасанням коливань, зумовлених силами опору  $Q_{Vi}$  пропорційними швидкостям  $V_i$  системи, вводиться дисипативна функція втрат (функція розсіювання), яка також є квадратичною функцією узагальнених швидкостей.

$$\Phi = (1/2)(b_{1,1}q_1^2 + \dots + b_{ss}q_s^2 + 2b_{1,2}q_1q_2 + \dots + 2b_{s-1,s}q_{s-1}q_s), \quad (7)$$

де  $b_{ij} = b_{ji}$  – коефіцієнти втрат.

**Висновок:** Проведений аналіз встановив, що рівень енергетичного навантаження деталей технологічного обладнання гірничо-металургійних підприємств є квадратичною функцією швидкості коливальних рухів, яка обумовлена параметрами технологічного процесу і ступеню спрацювання механізму. У процесі експлуатації зменшення енергетичного навантаження без коригувань параметрів технологічного процесу досягається шляхом забезпечення мінімуму вектора динамічної рівноваги механізму, так як кінетична енергія елемента обладнання – це геометрична сума добутків неврівноважених мас на квадрат швидкості коливального руху. Тому зменшення неврівноважених мас, приведення осі інерції до осі обертання, розташування мас механізму у протилежних напрямках – це явний резерв зменшення енергетичного навантаження деталей, який виявляється при контролі динамічних реакцій механізмів і реалізується при побудові технічного обслуговування «за станом» [5].

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

*І.Зуєв І.О., наук.кер. д.т.н., проф.Кіяновський М.В., к.т.н., доц. Цивінда Н.І. Дослідження технологічних параметрів для вибору методу відновлення деталей гірничо-металургійного обладнання/ Молода наука - роботизація і нано-технології*

сучасного машинобудування: Збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції. 7-8 жовтня 2020 року/ за заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф. –Краматорськ : ДДМА, 2020.-С.49-54

2.Седякин Н.М. Об одном физическом принципе надежности [Текст] // *Техническая кибернетика*". 1966. N3. - М.: Изв. АН СССР. - 1966.

3.Кіяновський М. В. Діагностичне забезпечення технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) гірничо-металургійного обладнання [Текст]. – Кривий Ріг. Вид-во «Октянт принт», 216. -364 с.

4.Совершенствоование систем техобслуживания [Текст] //“Пуранто эндзиния/*Plant Eng*”, 1987. 19. N3, - с. 64-65.

5.Кіяновський М. В., Цивінда Н. І.,Пікільняк А. В., Третьяк В. В. Вибір моделей для адаптивного керування надійністю промислового обладнання «за станом» //Авіаційно-космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. Харків «ХАІ»,2020, Випуск № 7(167). С. 137-146

**Іванова Ю. О., Приходченко А.С.** (Україна, м. Краматорськ, ДДМА).

## **ПРОБЛЕМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОКОВОК ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ ВРАХУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВКИ**

На сьогоднішній день для України актуальним є питанням удосконалення технологічних процесів кування великогабаритних деталей. Основною проблемою при виготовленні великогабаритних поковок відповідального призначення є те, що дуже важко отримати деталь високої якості. Причиною цього є те, що великогабаритні деталі у важкому машинобудуванні виготовляються зі злитків. Внутрішня будова злитка має металургійні дефекти та низькі механічні властивості, які є наслідком дендритної структури і має вади усадочного походження.

Метою роботи є аналіз існуючих технологічних процесів виготовлення поковок відповідального призначення на основі врахування архітектури матеріалу заготовки.

У роботі було проведено літературний огляд досліджень у яких було запропоновано шляхи підвищення якості великогабаритних деталей відповідального призначення. Було проаналізовано, як впливає склад матеріалу заготовки та способи їх виготовлення на його внутрішню архітектуру та отримані властивості.

Було встановлено, що підвищити якісь деталей можливо за рахунок урахування внутрішньої архітектури матеріалу. Важливу роль на внутрішню архітектуру та отримані механічні властивості відіграє також розміри зерен, відсутність внутрішніх порожнин та склад матеріалу заготовки.

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що при куванні масивних поковок не враховуються питання впливу виду ковальських операцій, використовуваного інструменту на внутрішню архітектуру матеріалу, що могло б підвищити якість деталей відповідального призначення.

Застосування архітектурних матеріалів дозволило би кардинально розширити конструкційні та функціональні властивості конструкційних та інструментальних матеріалів.

Крім принципового поліпшення несучої здатності, мультимасштабна структура архімаків дозволяє надавати їм абсолютно нові фізико-механічні властивості.

**Карпенко Б. О.,** наук. кер. д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (Україна, м. Київ, НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського")

## **АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ ДЕФОРМАЦІЙ**

*Проведено порівняльний аналіз методів поверхневого зміцнення алюмінієвих сплавів. Підвищення механічних властивостей поверхневого шару дозволить підвищити експлуатаційні характеристики виробу такі як строк служби та надійність. Це особливо важливо для деталей машин, що працюють в складних умовах при високому терті та швидкостях.*

*The comparative analysis of methods of surface hardening of aluminum alloys is carried out. Improving the mechanical properties of the surface layer will improve the performance of the product such as service life and reliability. This is especially important for machine parts operating in difficult conditions with high friction and operating speeds.*

Завдяки оптимальному поєднанню фізико-механічних і хімічних властивостей (низька щільність, корозійна стійкість, висока питома міцність та ін.) алюмінієві сплави за обсягами виробництва поступаються тільки сплавам на основі заліза.

Недоліками алюмінієвих сплавів, в основному, являються їх порівняно низькі показники твердості та міцності. Тому розробка і застосування технологічних методів обробки, в першу чергу поверхневого зміцнення, що забезпечать підвищення механічних і службових властивостей деталей виготовлених з алюмінієвих сплавів є актуальною. [1, 2].

Вимоги щодо створення довговічних машин можна задовольнити не тільки розробкою сучасних конструкційних рішень і застосуванням нових високоміцних матеріалів, а й шляхом змін поверхневого шару деталей машин. Процесом, що забезпечує отримання стабільних показників по якості поверхні, є поверхневе пластичне деформування, яке підрозділяється на згладжує і зміцнюючі [3].

Поверхневе пластичне деформування (ППД) – це один з видів обробки деталей, метою якого є зміцнення матеріалу шляхом пружно-пластичного деформування поверхневого шару виробу без застосування різального інструменту та утворення стружки.

Даний вид обробки матеріалів працює за рахунок пружно-пластичної деформації та попутного локального нагріву, таким чином формується напружено-деформований стан поверхневого шару металу. Важливим елементом даного виду обробки являється зміна мікрогеометрії та фізико-механічних властивостей оброблюваної поверхні. Характеристики зносостійкості оброблених поверхонь зростають за рахунок підвищення твердості та залишковим напруженням.

Методи ППД являється надзвичайно економічними та простими в реалізації.

За своїм характером прикладених навантажень методи ППД поділяються на статичні та динамічні. Обробка поверхонь з використанням статичних методів ППД полягає у впливі на оброблювані поверхні постійним зусиллям з поступовим переміщенням робочого інструменту. До статичних методів відносять поверхневе дорнування, вигладжування, обкатування, вібраційне накатування, вібраційне вигладжування та інші. Динамічні методи ППД впливають на оброблювану поверхню багаторазово та зі змінними зусиллями в кожному циклі. До динамічних методів відносять дробоструминна, гідробоструминна, віброударна, ротаційна обробка, чеканка, обробка кулько-стрижневими зміцнювачами, віброконтактний наклеп та інші.

Вибір методів ППД полягає в забезпеченні відповідності технічним вимогам поверхонь виробу, аналізі складності оброблюваної поверхні, параметрів шорсткості та доступності поверхонь.

Попередні дослідження показали, що значне збільшення експлуатаційних властивостей алюмінієвих сплавів забезпечуються завдяки лазерній обробці поверхневого шару металу [4, 5]. Але присутня проблема з доступністю необхідного обладнання та науково-дослідницької бази.

В умовах реального виробництва більш доцільно звертатися до простих у реалізації методів ППД, таких як дорнування, обкатування та чеканка.

#### **СПИСОК ПОСИЛАНЬ:**

1. Бельский С. Е., Волчок И. П., Митяев А. А., Свидунович Н. А. *Производство алюминиевых сплавов: состояние и перспективы// Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – С. 130- 133.*
2. ГОСТ 30480-97. *Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. М.: Изд-во стандартов, 1997.*
3. Степанова Т. Ю. *Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Т.Ю. Степанова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2009. С – 4.*
4. Гиржон В.В., Танцюра И.В. *Формирование квазиэвтектической структуры в сплавах АК9 и АК12 после импульсной лазерной обработки// Металлофизика и новейшие технологии. – 2006. – т.28. – № 9. – С. 1249-1259.*
5. Мальцев М.В. *Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1970. С– 364.*

**Квашнін В. О., Бабаш А. В., Квашнін В. В., Маслаков М. В.** (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

## **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СУЧАСНИХ СИСТЕМ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МОТОР-ШПІНДЕЛЯ З МЕТОЮ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА**

*Проведений аналіз параметрів сучасного мотор-шпинделя типу 2SP1 ECS. На основі даних про параметри двигунів мотор-шпинделя типу 2SP1 ECS проведено підбір асинхронного двигуна вітчизняного виробництва. Для запропонованого аналогу асинхронного двигуна вітчизняного виробництва були проведені розрахунки та статичних механічних характеристик. Результати розрахунків статичних механічних характеристик при живленні асинхронного двигуна від частотного перетворювача наведені у вигляді діаграми. Також було досліджено різні режими роботи згідно технологічного процесу. На основі зіставлення отриманих результатів досліджень були наведені рекомендації щодо можливості заміни імпортованих електродвигунів вітчизняними аналогами.*

*The analysis of the parameters of the motor-spindle type 2SP1 ECS is made. Based on the available data on the parameters of the motor-spindle motors type 2SP1 ECS, a selection of analogues of domestic production was carried out. For the proposed analogues, static mechanical characteristics calculations were made. The static mechanical characteristic's calculation results with induction motor power supply by means of frequency converter are presented in the diagram. Based on a comparison of the results obtained, a preliminary conclusion is made about the possibility of replacing imported electric motors with domestic analogues.*

Розвиток сучасного машинобудування повинен здійснюватися на основі розробки нових технологій і відповідного обладнання. Застосування за кордоном компактних, вже стандартних мотор-шпинделів для фрезерних верстатів чорнової і чистової обробки, є гарною альтернативою шпинделям з пасовою або редукторною передачею.

Все частіше в головних приводах металорізальних верстатів застосовують мотор-шпинделі, що обумовлено їх відповідністю всім технологічним вимогам: точності числа обертів (1-2% від номінального числа обертів), значення биття шпинделя (менше 1 мкм) і ступеня жорсткості шпинделя.

Однак, дорожнеча сучасного імпортованого обладнання і відсутність достатніх коштів у відповідних підприємств, змушують шукати альтернативу по розробці і створенню аналогічних рішень, які доступні і мають відповідно більш низьку ціну [1].

Метою роботи є імпортозаміщення окремих частин та механізмів електрообладнання закордонного виробництва вітчизняним електрообладнанням, а саме безредукторного високошвидкісного мотор-шпинделя, що використовується в різноманітних металорізальних верстатах в якості заміни ремінної передачі.



Для досягнення поставленої мети були визначені і вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз технічних даних і характеристик мотор-шпинделя 2SP1 ECS;

- виконано визначення основних технічних вимог, що пред'являються до його електроприводу (електродвигуна);

- проведено розрахунок і виконано побудову статичних механічних характеристик обраного вітчизняного асинхронного двигуна;

- здійснено аналіз режимів роботи асинхронного двигуна мотор-шпинделя;

- здійснена обробка та аналіз отриманих результатів.

Об'єктом дослідження був мотор-шпиндель 2SP1 ECS.

Предметом досліджень була оцінка можливості досягнення обраними електродвигунами технічних показників, аналогічних показників двигунів, встановлених в мотор-шпинделях.

Мотор-шпиндель є шпиндельний вузол металорізального верстата, в який вбудований електродвигун, а вал двигуна є шпинделем верстата. Об'ємне зображення сучасного мотор-шпинделя у розрізі представлено на рис. 1, а влаштування мотор-шпинделя – на рис. 2.

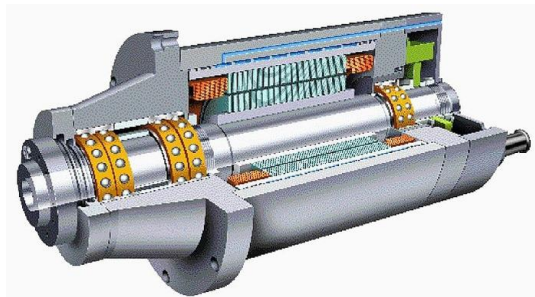


Рис. 1 – Об'ємне зображення сучасного мотор-шпинделя у розрізі

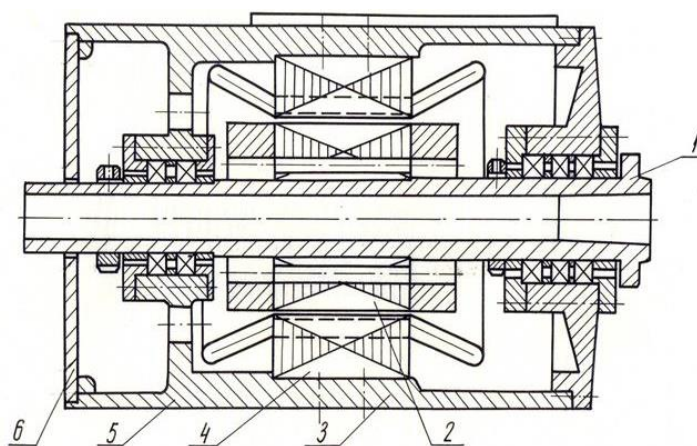


Рис. 2 – Влаштування мотор-шпинделя

На рисунку 2 позначені цифрами: 1 – шпіндель; 2 – ротор; 3 – корпус статора; 4 – статор; 5 – корпус; 6 – задня стінка.

Широке поширення мотор-шпінделі отримали в прецизійних багатоцільових верстатах (фрезерно-розточувальних верстатах з ЧПУ, шліфувальних, токарних верстатах та ін.). На практиці використовують електродвигуни двох типів: асинхронний і синхронний. Вони відрізняються показниками потужності і частоти обертання.

Перевагами мотор-шпінделя, в порівнянні з традиційною конструкцією шпіндельних вузлів, є невеликі габарити і вага, що досягаються шляхом специфічної компоновки двигуна і шпіндельного вузла.

Конструкція мотор-шпінделя дозволяє проводити безступінчасте регулювання частоти обертання і зменшити розміри і вагу шпіндельного вузла завдяки відсутності коробки передач і деяких інших механізмів, а також зробити роботу шпінделя практично безшумною. Однак такий пристрій є конструктивно складним та дорогим.

Мотор-шпіндель 2SP1 містить всі класичні елементи мотор-шпінделя, такі як вузол кріплення інструменту, механізм кріплення і розчеплення інструменту, підшипники шпінделя, відповідні для амортизації зусиль обробки, двигун приводу з водяним охолодженням, кожух шпінделя для кріплення і датчики для покрокового переміщення і контролю над зміною інструменту.

На рис. 3 у вигляді графіків зображені потужність і швидкість момент мотор-шпінделя серії 2SP1 з асинхронним електродвигуном [2].

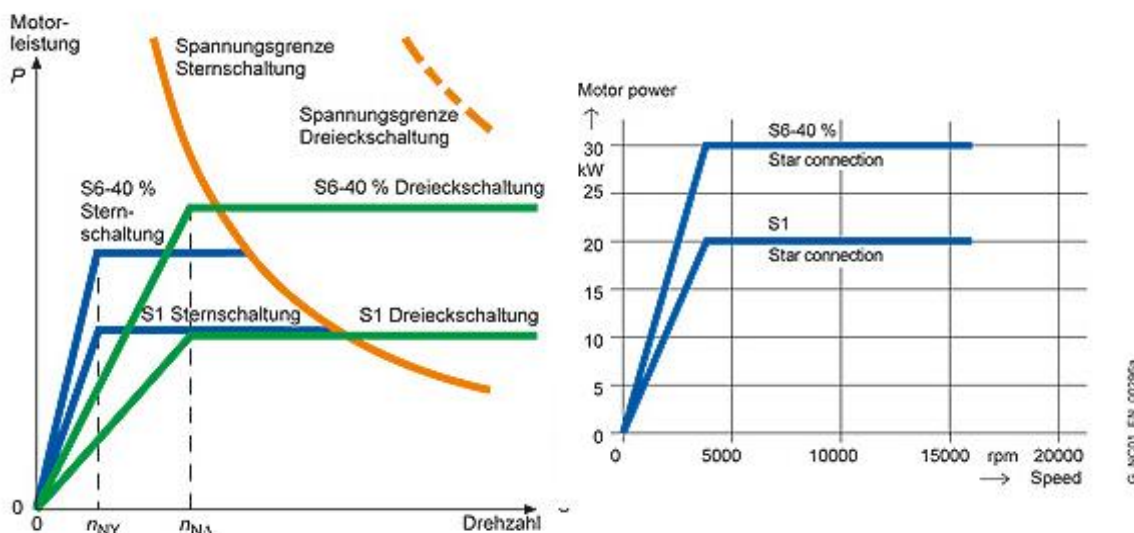


Рис. 3 – Потужність і швидкість момент мотор-шпінделя серії 2SP1 з асинхронним двигуном у режимах S1 та S6 (перемикання зірка/трикутник)

На рис. 4 представлені замовні дані двигунів серії 2SP1.

Spindle diameter mm (in)	Rated power Star/delta for duty type		Rated torque Star/delta for duty type		Rated speed Star/delta rpm	Maximum speed rpm	2SP1 motor spindles Standard type	Motor type (repeated)	Moment of inertia J kgm <sup>2</sup> (lb-in <sup>2</sup> )	Weight <sup>(1)</sup> approx. m (lb)	Rated current Star/delta for duty type		Voltage Protection Module	SINAMICS S120 Motor Module	
	P <sub>rated</sub> S1 kW (HP)	S6-40 % kW (HP)	M <sub>rated</sub> S1 Nm (lb-in)	S6-40 % Nm (lb-in)							I <sub>rated</sub> S1 A	S6-40 % A		Required rated current for S1 duty I <sub>rated</sub> A	Booksize format For additional versions and components, see SINAMICS S120 drive system Order No.
<b>Synchronous – Water cooling</b>															
200	12.0 <sup>o</sup> (16.1 <sup>l</sup> -)	12.0 <sup>o</sup> (16.1 <sup>l</sup> -)	42 <sup>o</sup> (372 <sup>l</sup> -)	55 <sup>o</sup> (487 <sup>l</sup> -)	2700 <sup>o</sup> -	15000	2SP1202-1HA0-0-1D-2	2SP1202-1HA...	0.015 (0.1327)	83 (183)	30 <sup>o</sup> -	43 <sup>o</sup> -	VPM 120	30	6SL312-1TE23-0AA3
	15.5 <sup>o</sup> (20.8 <sup>l</sup> -)	15.5 <sup>o</sup> (20.8 <sup>l</sup> -)	42 <sup>o</sup> (372 <sup>l</sup> -)	55 <sup>o</sup> (487 <sup>l</sup> -)	3500 <sup>o</sup> -	18000	2SP1202-1HB0-0-2D-2	2SP1202-1HB...	0.015 (0.1327)	83 (183)	42 <sup>o</sup> -	60 <sup>o</sup> -	VPM 120	45	6SL312-1TE24-5AA3
	26.4 <sup>o</sup> (35.4 <sup>l</sup> -)	26.4 <sup>o</sup> (35.4 <sup>l</sup> -)	84 <sup>o</sup> (744 <sup>l</sup> -)	110 <sup>o</sup> (974 <sup>l</sup> -)	3000 <sup>o</sup> -	15000	2SP1204-1HA0-0-1D-2	2SP1204-1HA...	0.023 (0.2035)	101 (223)	60 <sup>o</sup> -	86 <sup>o</sup> -	VPM 120	60	6SL312-1TE26-0AA3
	35.0 <sup>o</sup> (46.9 <sup>l</sup> -)	35.0 <sup>o</sup> (46.9 <sup>l</sup> -)	79 <sup>o</sup> (690 <sup>l</sup> -)	110 <sup>o</sup> (974 <sup>l</sup> -)	4300 <sup>o</sup> -	18000	2SP1204-1HB0-0-2D-2	2SP1204-1HB...	0.023 (0.2035)	101 (223)	79 <sup>o</sup> -	120 <sup>o</sup> -	VPM 120	85	6SL312-1TE28-5AA3
<b>Asynchronous – Water cooling</b>															
250	13.2/13.2 (17.7/17.7)	18.9/18.9 (25.3/25.3)	70/32 (620/283)	100/45 (885/398)	1800/4000	10000	2SP1253-8HA0-0-0-2	2SP1253-8HA0-0...	0.037 (0.3274)	130 (287)	29/29	39/39	-	30	6SL312-1TE23-0AA3
	13.2/13.2 (17.7/17.7)	18.9/18.9 (25.3/25.3)	70/32 (620/283)	100/45 (885/398)	1800/4000	15000	2SP1253-8HA0-0-1D-2	2SP1253-8HA0-1...	0.037 (0.3274)	130 (287)	29/29	39/39	-	30	6SL312-1TE23-0AA3
	11.7/11.7 (15.7/15.7)	16.7/16.7 (22.4/22.4)	140/82 (1239/549)	200/89 (1170/788)	800/1800	10000	2SP1255-8HA0-0-0-2	2SP1255-8HA0-0...	0.055 (0.4867)	165 (364)	30/29	40/37	-	30	6SL312-1TE23-0AA3
	11.7/11.7 (15.7/15.7)	16.7/16.7 (22.4/22.4)	140/82 (1239/549)	200/89 (1170/788)	800/1800	15000	2SP1255-8HA0-0-1D-2	2SP1255-8HA0-1...	0.055 (0.4867)	165 (364)	30/29	40/37	-	30	6SL312-1TE23-0AA3
<b>Synchronous – Water cooling</b>															
250	26.0 <sup>o</sup> (34.9 <sup>l</sup> -)	29.0 <sup>o</sup> (38.9 <sup>l</sup> -)	100 <sup>o</sup> (885 <sup>l</sup> -)	130 <sup>o</sup> (1151 <sup>l</sup> -)	2500 <sup>o</sup> -	10000	2SP1253-1HA0-0-0-2	2SP1253-1HA...	0.037 (0.3274)	130 (287)	53 <sup>o</sup> -	75 <sup>o</sup> -	VPM 120	60	6SL312-1TE26-0AA3
	35.0 <sup>o</sup> (46.9 <sup>l</sup> -)	38.0 <sup>o</sup> (50.9 <sup>l</sup> -)	100 <sup>o</sup> (885 <sup>l</sup> -)	130 <sup>o</sup> (1151 <sup>l</sup> -)	3300 <sup>o</sup> -	15000	2SP1253-1HB0-0-1D-2	2SP1253-1HB...	0.037 (0.3274)	130 (287)	69 <sup>o</sup> -	96 <sup>o</sup> -	VPM 120	85	6SL312-1TE28-5AA3
	46.3 <sup>o</sup> (62.1 <sup>l</sup> -)	55.0 <sup>o</sup> (73.7 <sup>l</sup> -)	170 <sup>o</sup> (1505 <sup>l</sup> -)	236 <sup>o</sup> (2089 <sup>l</sup> -)	2800 <sup>o</sup> -	10000	2SP1255-1HA0-0-0-2	2SP1255-1HA...	0.055 (0.4867)	165 (364)	95 <sup>o</sup> -	135 <sup>o</sup> -	VPM 120	132	6SL312-1TE31-3AA3
53.4 <sup>o</sup> (71.6 <sup>l</sup> -)	64.0 <sup>o</sup> (85.9 <sup>l</sup> -)	170 <sup>o</sup> (1505 <sup>l</sup> -)	236 <sup>o</sup> (2089 <sup>l</sup> -)	3000 <sup>o</sup> -	15000	2SP1255-1HB0-0-1D-2	2SP1255-1HB...	0.055 (0.4867)	165 (364)	129 <sup>o</sup> -	180 <sup>o</sup> -	VPM 200	132	6SL312-1TE31-3AA3	

Рис. 4 – Заомвні дані мотор-шпінделів серії 2SP1

Висока ціна мотор-шпінделів серії 2SP1 спонукає на пошук аналогів таких мотор-шпінделів на вітчизняному ринку.

За результатами виконаного аналізу закордонних мотор-шпінделів в якості альтернативи були обрані два двигуни, вітчизняного виробництва, серії АІР – АІР160S2 та АІР160S4 [3], технічні характеристики яких наведені на рис. 5.

Електродвигун	Потужність, кВт	Об/хв	Струм при 380 В, А	ККД, %	Коеф. Потужн.	Іп/Ін	Мп/Мн	Mmax/Мн	Jн, кг2
АІР160S2	15	2930	30	88	0,86	7,5	2,1	3,00	0,05
АІР160S4	15	1450	30	85	0,85	7,5	2,2	2,30	0,06

Рис. 5 – Технічні характеристики асинхронних двигунів серії АІР

Для оцінки обраних АД на відповідність пропонованим технологичним вимогам були виконані відповідні розрахунки [4,5] для побудови статичних механічних характеристик асинхронного двигуна при підключенні його до перетворювача частоти, наведені на рис. 6.

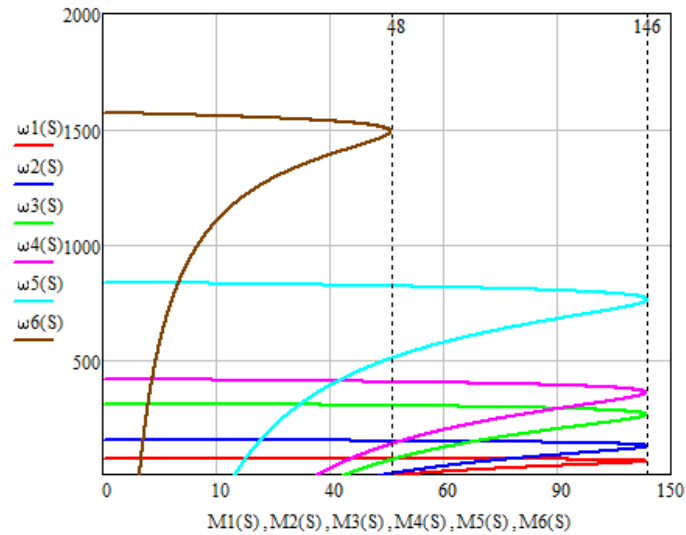


Рис. 6 – Результати розрахунків статичних механічних характеристик АД в програмі Mathcad при підключенні його до перетворювача частоти

На рис. 7 наведено графік залежності частоти від напруги.

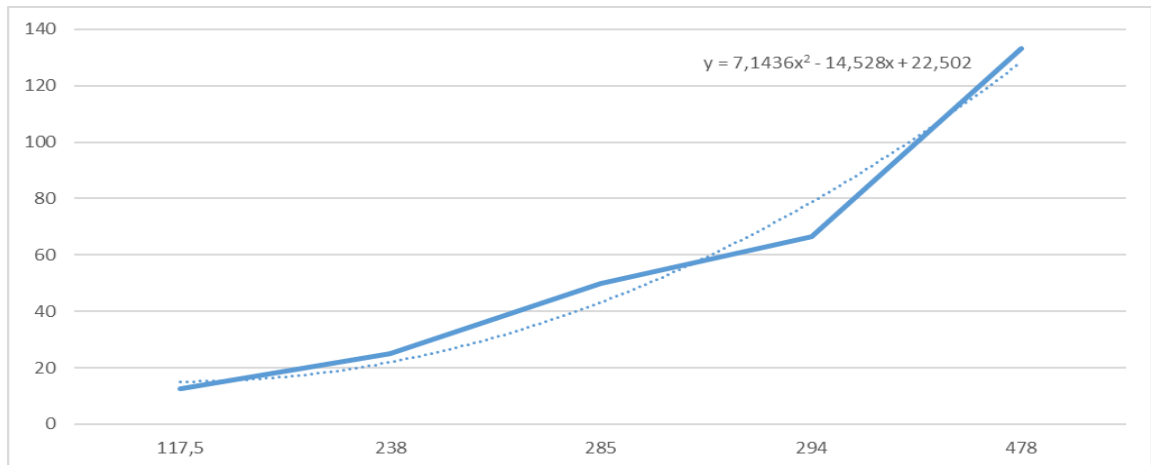


Рис. 7 – Графік залежності частоти (f) від напруги (U)

### ВИСНОВОК

Таким чином, при роботі асинхронного двигуна вітчизняного виробництва мотор-шпинделя на швидкості до 10000 об/хв. Можливе регулювання швидкості без зниження перевантажувальної спроможності асинхронного двигуна. На швидкостях більше ніж 10000 об./хв. Можливе регулювання зі зниженою перевантажувальною спроможністю. У даному режимі верстат може виконувати лише чистову обробку деталей, де навантаження незначне. Це обумовлено обмеженням підвищення напруги вище напруги мережі живлення. Але при розгоні двигунів до швидкостей на

рівні 15000 об./хв. можуть виникнути проблеми з підшипниковими вузлами асинхронних двигунів вітчизняного виробництва.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Косенко В. А., Квашин В. В., Федченко М. Д., Бабаши А. В., Квашин В. О. Разработка методики подбора электродвигателей для мотор-шпинделя 2sp1 ecs / *Нейромережеві технології та їх застосування НМТіЗ-2017: збірник наукових праць міжнародної наукової конференції «Нейромережеві технології та їх застосування НМТіЗ-2017» / за заг. ред. С.В. Ковалевського.* – Краматорськ: ДДМА, 2017. – С. 208-216.
2. Каталог технических данных моторшпинделя 2SP1 ECS, 2016, с. 12.
3. Электродвигатели АИР - основные технические характеристики. <http://electronpo.ru/production>.
4. Квашин В.О. Разработка методики определения статических механических характеристик асинхронных двигателей с повышенным пусковым моментом *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», – Харків: НТУ «ХПИ», 2005, №45.* – С. 378-381.
5. В.О. Квашин, А.В. Бабаши Разработка методики программного расчета и исследования статических механических характеристик асинхронного двигателя (в среде BORLAND DELPHI) *Вестник ДГТУ, Сборник научных трудов, Днепропетровск ДГТУ 2009.*

**Кобилянська І.В., Красій Р.М., Панчук В.Г.** (Україна, Івано-Франківськ, ІФНТУНГ)

## **ЗВОРОТНА ЗАДАЧА КІНЕМАТИКИ НАВЧАЛЬНОГО РОБОТА**

*Елементом практичної підготовки студентів є вирішення задач прикладної робототехніки з використанням дійчих моделей промислових роботів. В статті розв'язана зворотна задача кінематики навчального робота. Для перевірки результатів розрахунку розроблено імітаційну модель робота.*

*An element of practical training of students is solving problems of applied robotics using real models of industrial robots. The article solves the problem of inverse kinematics of a training robot. A simulation model of the robot has been developed to check the calculation results.*

Елементом практического обучения студентов является решение проблем прикладной робототехники с применением реальных моделей промышленных роботов. В статье разрешена задача обратной кинематики учебного робота. Для проверки результатов расчета разработана имитационная модель робота.

Постановка задачі. Одним із важливих завдань в навчальному процесі є організація практичної підготовки майбутніх інженерів шляхом розв'язання реальних технічних задач. Задача повинна бути нетривіальна, цікава і відповідати можливостям студентів. В процесі творчої самостійної роботи над проектом відбувається глибше розуміння теорії і можливостей її прикладного застосування. Робототехніка, яка має мультидисциплінарний характер [1], вимагаючи знань з механіки, математики, мікропроцесорної

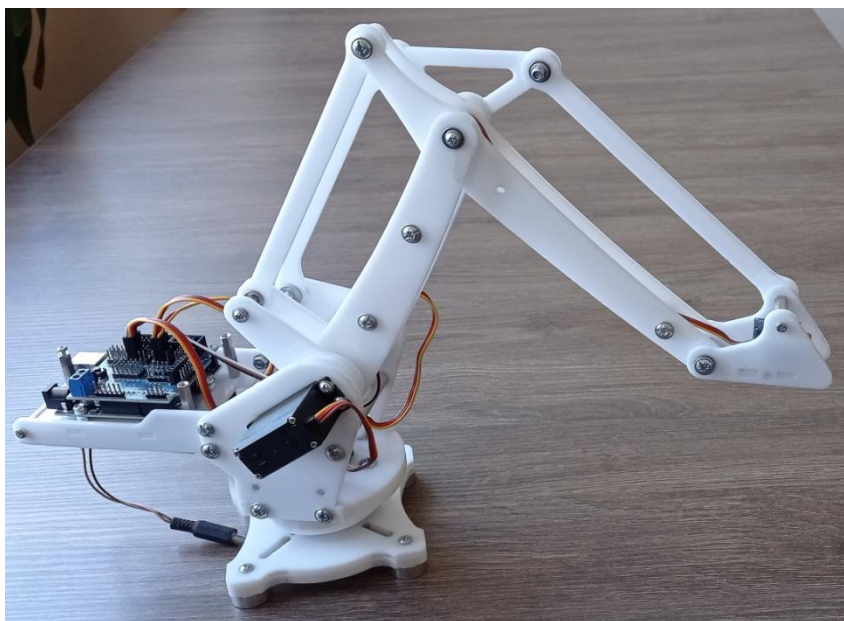


Рис. 1. Модель робота. Загальний вигляд.



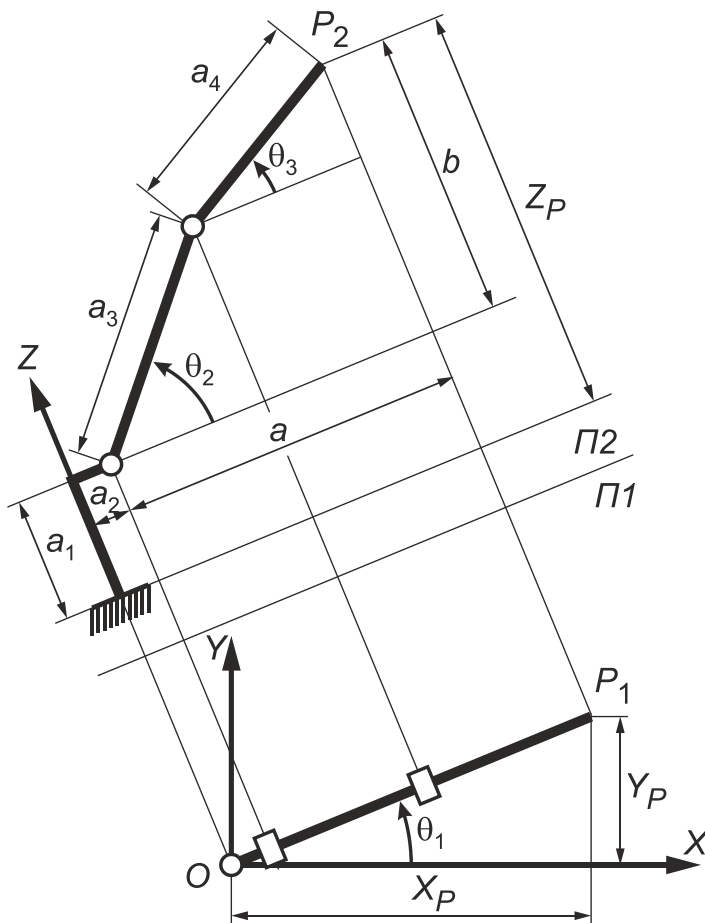


Рис. 2. Розрахункова схема маніпулятора робота

UNO на базі контролера ATmega 328 компанії AVR.

Для розробки алгоритму керування роботом необхідно знайти математичні залежності значень змінних з'єднань від заданих координат робочого органа робота. Така задача називається зворотною задачею кінематики робота.

Загально прийнятий алгоритм передбачає спочатку розв'язання прямої задачі кінематики з використанням методик Данавіта-Хартенберга і на основі отриманих залежностей наступного розв'язку зворотної задачі кінематики [1]. Але дана методика передбачає послідовну конструкцію маніпулятора робота. В нашому випадку в конструкції маніпулятора є замкнутий контур. Тому для розв'язку використаємо геометричний підхід.

Розрахункова схема показана на рис. 2. На схемі в проекційному зв'язку показано вигляд зверху (площина проекції  $\Pi_1$ ) і вигляд збоку ( $\Pi_2$ ). Точка  $P$  є кінцевою точкою маніпулятора.

Задано геометричні розміри маніпулятора  $a_1, a_2, a_3, a_4$  і координати точки  $P(X_p, Y_p, Z_p)$  в глобальній системі координат  $OXYZ$ . Потрібно знайти значення кутів  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ .

Відповідно до схеми на вигляді зверху маємо

$$\theta_1 = \text{atan2}(Y_p, X_p). \quad (1)$$

техніки і програмування, найкращим чином дозволяє реалізувати поставлене завдання.

В якості об'єкта дослідження було обрано модель 4-х осьового робота-палетизатора. Запозичена в інтернеті конструкція маніпулятора робота була доопрацьована і реалізована власними силами, рис. 1.

Метою даної роботи є розв'язок зворотної задачі кінематики і моделювання робота.

*Основна частина.* В якості приводів використовуються цифрові сервоприводи в кількості 4 шт. Робот має 4 степені вільності.

Керування приводами робота здійснюється керуючою платою Arduino

Відповідно до геометричних побудов на вигляді збоку можемо записати систему рівнянь

$$\begin{cases} a_4 \sin \theta_3 = b - a_3 \sin \theta_2 \\ a_4 \cos \theta_3 = a - a_3 \cos \theta_2 \end{cases} \quad (2)$$

де

$$\begin{aligned} b &= Z_P - a_1, \\ a &= \sqrt{X_P^2 + Y_P^2} - a_2. \end{aligned}$$

Для виключення змінної  $\theta_3$  підносимо обидва рівняння до квадрату і додаємо одне до другого. Після відповідних перетворень отримаємо тригонометричне рівняння

$$a \cos \theta_2 + b \sin \theta_2 = c, \quad (3)$$

де

$$c = \frac{b^2 + a^2 + a_3^2 - a_4^2}{2a_3}.$$

Відповідно до приведенного в [1] алгоритму розв'язку рівняння (5) результат рівний

$$\theta_2 = \operatorname{atan} 2 \left( \frac{c}{r}, \pm \sqrt{1 - \frac{c^2}{r^2}} \right) - \operatorname{atan} 2(a, b), \quad (4)$$

де

$$r = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Відповідно, рівняння (3) має два розв'язки якщо  $r^2 = a^2 + b^2 > c^2$ , один розв'язок якщо  $r^2 = c^2$  і не має розв'язків якщо  $r^2 < c^2$ .

Із системи рівнянь (2) отримуємо

$$\operatorname{tg} \theta_3 = \frac{Z_P - a_1 - a_3 \sin \theta_2}{\sqrt{X_P^2 + Y_P^2} - a_2 - a_3 \cos \theta_2}, \quad (5)$$

Описаний розрахунок реалізовано у вигляді функції в середовищі MATLAB:

```
function [Teta] = PR_4inv(Xp, Yp, Zp)
global a1 a2 a3 a4;
Teta(1) = atan2(Yp, Xp);
R_2 = Xp^2 + Yp^2; R = sqrt(R_2);
a = R - a2; b = -a1 + Zp;
c = (a^2 + b^2 + a3^2 - a4^2) / (2*a3);
r_2 = a^2 + b^2; r = sqrt(r_2);
Teta(2) = atan2(c/r, sqrt(1 - c^2/r_2)) - atan2(a, b);
if (Teta(2) < 0)
    Teta(2) = atan2(c/r, -sqrt(1 - c^2/r_2)) - atan2(a, b);
end
if (Teta(2) < 0) && ((Teta(2)*180/pi) > 120)
    disp "Помилка кута Teta2";
    return;
end
Teta(3) = atan2(-(a1 + a3*sin(Teta(2)) - Zp), R - a2 - a3*cos(Teta(2)));
```



Для оцінки правильності розрахунків і візуалізації роботи маніпулятора робота розроблена імітаційна модель. Програма реалізує циклічний алгоритм, який відтворює деяку траєкторію кінцевої точки маніпулятора і складається з чотирьох частин:

- генерування декартових координат кінцевої точки маніпулятора відповідно до запрограмованої траєкторії;
- розв'язок зворотної задачі кінематики;
- розв'язок прямої задачі кінематики і розрахунок положення кінцевої точки маніпулятора за визначеними значеннями змінних з'єднань;
- візуалізація положення маніпулятора і траєкторії переміщення кінцевої точки.

Приклад імітаційного моделювання приведено на рис. 3.

*Висновки.* В результаті виконаних робіт для навчального робота розв'язана зворотна задача кінематики. Алгоритм реалізований у вигляді програми. Для перевірки розрахунків і візуалізації роботи маніпулятора створена імітаційна модель.

На наступних етапах даний алгоритм буде використаний для керування роботом від ПК.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Reza N. Jazar *Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control. Second edition* — Springer Science+Business Media, LLC, 2006, 2010. — 893 p. Електронний ресурс <https://www.pdfdrive.com/theory-of-applied-robotics-kinematics-dynamics-and-control-2nd-edition-e175399330.html>

Колєсник Я.П., Славик А.О. (Україна, м. Харків, ХНАДУ).

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СОРТУВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА СКЛАДІ

*Вказані можливості робленої раніше системи для ідентифікації та сортування товарів на автоматизованому складі без втрати надійності ідентифікації типу та призначення об'єкту.*

*The possibilities of the previously made system for identification and sorting of goods in the automated warehouse without losing the reliability of identification of the type and purpose of the object are indicated.*

Концепція четвертої промислової революції (Industry 4.0) передбачає повну автоматизацію процесів виробництва, сортування, зберігання та доставки споживачам різноманітної продукції. Однак, на даний час на багатьох фасувальних і пакувальних лініях, а також технологічних лініях з безперервними потоками сировини та готової продукції, для контролю якості продукції все ще використовують людський візуальний контроль. Для автоматизації зазначених процесів впроваджуються системи машинного зору, зазвичай на базі відеокамер [1]. Однак, такі системи є достатньо коштовними та потребують великих обчислювальних потужностей для реалізації складних обчислювальних алгоритмів.

У [2, 3] запропоновано структуру та розроблено діючу модель системи для ідентифікації та сортування товарів на автоматизованому складі за кольоровими етикетками та RFID-мітками. Проте, тестування вказаної системи виявила низку недоліків підсистеми сортування за кольором. По-перше, при ідентифікації кольору етикетки часто трапляються помилки, особливо при зміні умов освітлення. По-друге, використання кольорових етикеток не має такої гнучкості та інформативності, як RFID-мітки, використання яких виявилось достатнім для виконання поставлених перед системою завдань. Тому було вирішено удосконалити зазначену систему для ідентифікації та сортування товарів за рахунок виключення підсистеми ідентифікації за кольором етикеток та додавання підсистеми контролю якості продукції.

Система складається із транспортерної стрічки з двигуном, мікропроцесорного блоку керування на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi, камери V2.1 NoIR, RFID-зчитувача, зіштовхувача та робота-маніпулятора (рисунок 1).

Принцип роботи системи полягає у наступному. По рухомій транспортерній стрічці рухаються об'єкти, на яких вже є попередньо нанесені RFID мітки з інформацією про тип та інші властивості об'єкту. Потрапляючи під зону зчитування зображення камерою, об'єкт сканується. Отримана інформація надходить до мікропроцесорного блоку керування та

оброблюється згідно певних еталонних зображень з бібліотеки. У разі виявлення пошкоджень (відхилення отриманого зображення від еталонного) сигнал з мікропроцесорного блоку керування надходить до зіштовхувача, який «збиває» бракований продукт до призначеного контейнеру. В іншому випадку, якщо система розпізнає об'єкт як непошкоджений, тоді продукт рухається далі до RFID-зчитувача. Інформація про об'єкт від RFID-зчитувача надається до мікропроцесорного блоку керування який, у свою чергу, надсилає сигнал до роботизованої руки на переміщення об'єкту до відповідного контейнеру.

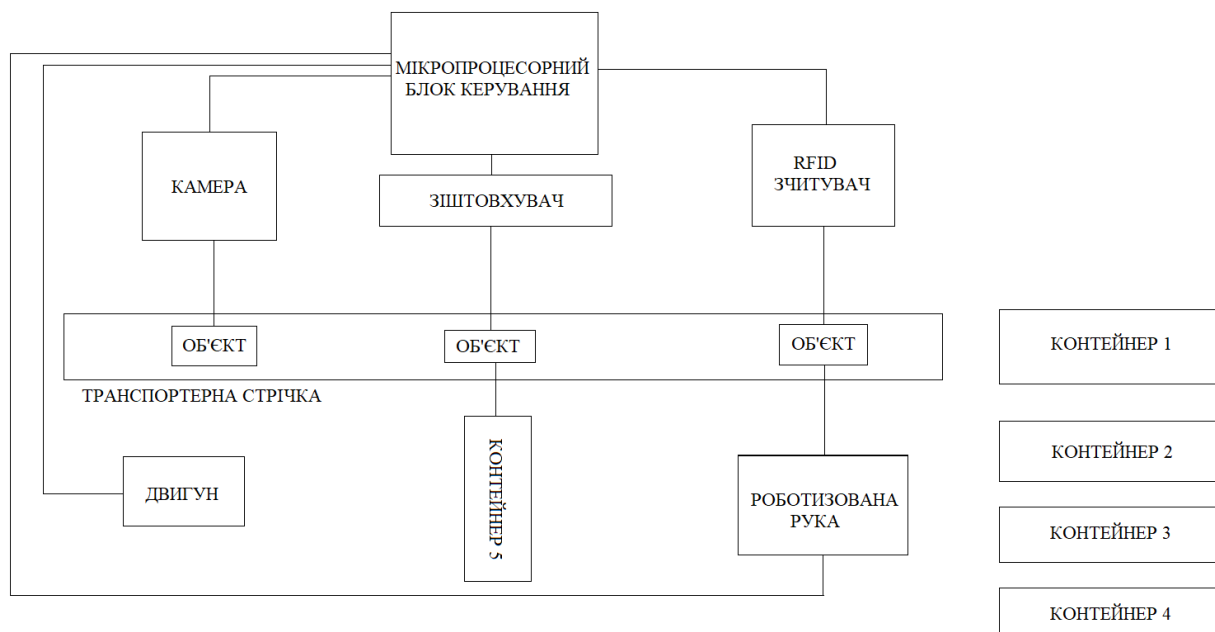


Рисунок 1 – Блок-схема автоматизованої системи контролю якості та сортування продукції

Таким чином, розширюються функціональні можливості робленої раніше системи для ідентифікації та сортування товарів на автоматизованому складі без втрати надійності ідентифікації типу та призначення об'єкту. Використання відеокамери підвищує гнучкість системи, а її комбінація з RFID спрощує алгоритми зображення образів.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

[1] Prince S. J. D. *Computer vision: models, learning, and inference*. – Cambridge University Press, 2012.

[2] Колеснік, Я. П. *Лабораторний стенд автоматизованого складу* / Колеснік Я. П., Славик А. О. // *Комп'ютерні технології і мехатроніка* : зб. наук. пр. за матеріалами II міжнар. наук.-практ. конф. – Харків : ХНАДУ, 2020. – С. 332–334.

[3] Колеснік, Я. П. *Модель автоматизованого складу на базі двох систем зчитування* / Колеснік Я. П., Славик А. О. // *Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві* : Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених, 25 листоп. 2020 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/handle/123456789/3235>

**Коренєв І.В.**, наук.кер. Бондаренко О.В. (Україна, м.Краматорськ, КФКПІТБ, ДДМА).

## **ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАЙКИ ХВИЛЕПРОВІДНИХ ТРАКТІВ К СМІЧНИХ АПАРАТІВ**

*Аналіз особливостей індукційної пайки дозволяє створити програмно-апаратний комплекс, що дозволяє точно відтворювати технологічний процес, тобто застосування пропонованої автоматизованої системи дозволить підвищити якість хвилепровідних трактів, знизити вплив людського фактору і поліпшити умови роботи персоналу.*

*Analysis of induction soldering allows you to create a software and hardware complex that allows you to accurately reproduce the process, ie the use of the proposed automated system will improve the quality of waveguide paths, reduce the impact of the human factor and improve working conditions.*

Хвилепровідні системи широко застосовуються в космічних апаратах, забезпечуючи функціонування як самого апарату, так і його бортової апаратури. В якості хвилеводів систем використовуються тонкостінні труби прямокутного перетину з алюмінієвих сплавів. Для їх виготовлення застосовується індукційна пайка. Аналіз основних досліджень: Індукційна пайка тонкостінних хвилеводів - складний технологічний процес, що має низку особливостей. Індукційна пайка тонкостінних хвилеводів - складний технологічний процес

Аналіз останніх досліджень виявив, що застосовуваний силуміновий припій має температуру плавлення, близьку до температури плавлення основного матеріалу. При швидкості індукційного нагріву 10-15°C/сек. потрібне точне дотримання технологічного режиму процесу пайки. Складові частини хвилепровідної системи в процесі індукційного нагріву є незалежні системи до моменту розплавлення припою між ними. Тобто між елементами практично відсутній теплообмін, і їх нагрівання відбувається незалежно один від одного. Виявлено, що при індукційному нагріванні хвилеводів трактів зони найбільшого тепловиділення в перетинах елементів (максимальна щільність індукованих вихрових струмів) не збігаються з зонами пайки.[1]

Велика номенклатура паяних виробів з різною вагою призводить до різниці по масі однойменних виробів до 25%. Також при нагріванні елементи хвилепровідних трактів не змінюють свій колір, що виключає візуальний контроль локальних перегрівів паяних виробів. [2]

Тому для індукційної пайки постає необхідність автоматизації технологічного процесу та створення програмно-апаратного комплексу, що дозволяє точно відтворювати технологічний процес.

Метою даної роботи є узагальнення досліджень програмного забезпечення керування індукційною пайкою тонкостінних хвилеводів

Розроблена автоматизована система управляє процесом нагріву виробу, змінюючи потужність, що подається на індуктор, на основі інформації про температуру із зони пайки.

Структура і алгоритми роботи ПО. Програмний продукт, пропонований для автоматизації процесу індукційної пайки, являє собою Windows-додаток, робота якого можлива в операційних системах Windows XP/7/8/8.1/10.

Програмний продукт розроблений на мові C ++ із застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу, що дозволило зробити сучасний додаток, що масштабується [3].

Робота з СОМ-портами реалізована за допомогою WinApi, робота з платою PCI1710 - за допомогою сторонньої бібліотеки bdaqctrl.h, поширюваної безкоштовно.[5]

Проект програмної системи складається з п'яти файлів вихідного коду:

- soldering.cpp - містить головну функцію програми WinMain (), яка реалізує запуск програмної системи;

- mainform.cpp - містить алгоритми роботи головного вікна програми;

- pyroform.cpp - містить алгоритми роботи форми з інформацією про пірометрах;

- bdaqctrl.h - містить алгоритми роботи інтерфейсу плати PCI1710, по якій здійснюються обробка даних термопар і управління уставкой потужності;

- Pyro\_class.cpp - містить опис класу пірометрів Pyro, алгоритми взаємодії з ними, а також алгоритми настройки пірометрів.

У системі реалізований один призначений для користувача клас - клас пірометру Pyro. Даний клас зберігає всю інформацію про підключення пірометру, а також його параметри.

З використанням даного класу можна проводити:

- включення лазера пірометра;

- вимикання лазера пірометра;

- запит про стан лазера пірометра (0 - вимкнено, 1 - включений);

- запит серійного номера пірометра;

- запит мінімальної температури, яка сприймається пірометром;

- запит максимальної температури, яка сприймається пірометром;

- запит поточної температури, вимірюваної пірометром;

- запит коефіцієнта емісії в пірометрами;

- установку коефіцієнта емісії в пірометрами;

- автоматичне обчислення коефіцієнта емісії.

На початковому етапі відбуваються ініціалізація всіх структур, даних і настройка портів і інтерфейсів. Також перед відкриттям основного вікна програми відбувається примусове відключення лазерів пірометрів, так як включений лазер істотно впливає на точність вимірювань.

При закритті програми відбуваються закриття всіх портів і відключення плати PCI171, по якій здійснюються обробка даних термопар і управління встановленням потужності;

- `Pygo_class.cpp` - містить опис класу пірометрів `Pygo`, алгоритми взаємодії з ними, а також алгоритми настройки пірометрів.

У системі реалізований один призначений для користувача клас - клас пірометра `Pygo`. Даний клас зберігає всю інформацію про підключення пірометра, а також його параметри.[7,8]

З використанням даного класу можна проводити:

- включення лазера пірометра;
- вимикання лазера пірометра;
- запит про стан лазера пірометра (0 - вимкнено, 1 - включений);
- запит серійного номера пірометра;
- запит мінімальної температури, яка сприймається пірометром;
- запит максимальної температури, яка сприймається пірометром;
- запит поточної температури, вимірюваної пірометром;
- запит коефіцієнта емісії в пірометрах;
- установку коефіцієнта емісії в пірометрах;
- автоматичне обчислення коефіцієнта емісії.

На початковому етапі відбуваються ініціалізація всіх структур даних і настройка портів і інтерфейсів. Також перед відкриттям основного вікна програми відбувається примусове відключення лазерів пірометрів, так як включений лазер істотно впливає на точність вимірювань.

При закритті програми відбуваються закриття всіх портів і відключення плати РС11710. Додатково до цього проводиться виключення індуктора.

На початковому етапі, ще до виведення форми на екран, відбувається послідовне опитування пірометрів і отримання з них такої інформації: серійний номер, мінімальна вимірювана пірометром температура, максимальна вимірювана пірометром температура, коефіцієнт випромінювальної здатності матеріалу, встановленої на пірометрах.

Далі вся отримана інформація виводиться в відповідні поля на формі.

При натисканні на кнопку «ПУСК» запускається процес автоматичної пайки, протягом якого управління нагрівом виробу здійснюється на основі пропорційного регулятора [7, 8] з метою підтримки необхідної швидкості нагріву [17], а при досягненні температури стабілізації з метою підтримки цієї температури протягом деякого часу - часу стабілізації.

В схемі управління процесом пайки прийняті наступні позначення:

- $W$  установка - уставка потужності генератора в вольтах; змінюється від 2В до 12В, де 2В - це 0% потужності генератора, 12В - 100% потужності;
- $T_{упр}$  - значення температури, отримане з пірометра, введеного в контур управління;
- $T_{стаб}$  - значення температури стабілізації, на якій відбувається розплавлення припою; задається як технологічний параметр процесу;
- $V_{нагр}$  - швидкість нагріву виробу;
- $V_{уст}$  - необхідна швидкість нагріву, яку необхідно витримувати; задається як технологічний параметр процесу;

- $t_{\text{початкуСтаб}}$  - відмітка про час, коли система почала процес стабілізації;
- Час стабілізації - час, протягом якого необхідно витримувати виріб при  $T_{\text{стаб}}$ .

Така схема управління, реалізована на базі пропорційного регулятора, дозволяє виробляти ефективне управління 20 раз в секунду. В результаті серії експериментів було виявлено, що такої дискретності керуючих впливів досить для ефективного управління процесом індукційної пайки.[5, 6]

#### Опис роботи з автоматизованою системою

В системі передбачені два рівня доступу:

- доступ оператора, при якому можливі управління комплексом обладнання та перегляд БД технологічних параметрів пайки хвилеводів;
- доступ технолога з можливістю перегляду і редагування БД технологічних параметрів пайки хвилеводів, а також управління комплексом обладнання.

При виникненні нештатного режиму нагріву можливе екстрене завершення роботи системи натисканням кнопки «СТОП».

Також оператор перед пайкою повинен вибрати технологічні параметри процесу з БД.

На відміну від оператора технологу додатково надається можливість ведення і зміни БД технологічних параметрів пайки. Для цього передбачена кнопка «Редагувати БД збірок», де технолог може переглянути в табличному вигляді дані технологічних параметрів збірок, а також їх редагування, а також додати нові збірки або видалити застарілі.

При необхідності перевірки підключення вимірювальних пристроїв, а також налаштування їх параметрів можливий перегляд інформації по пірометрах.

Для коригування значення випромінювальної здатності матеріалу надані два інструменти:

- ручне коректування при натисканні на кнопку «Змінити на» значення випромінювальної здатності матеріалу в пірометрах буде замінено внесеним в віконце праворуч від кнопки; дане значення представляється в форматі тисячних часток в інтервалі від 0 до 1;

- автоматичне налаштування при натисканні на кнопку «Налаштувати автоматично» буде запущений процес підбору найкращого значення випромінювальної здатності; даний процес вимагає підключення хоча б однієї термопари до системи; середній час автоматичної настройки варіюється від 40 до 50 секунд.

Розроблене ПЗ, що дозволяє здійснювати автоматизацію процесу пайки хвилепровідних трактів різних конструкцій, знижуючи вплив людського фактору.

Система має такими основними функціями:

- автоматизоване управління процесом нагріву спаюється виробів;
- візуалізація значень температури в зоні пайки;
- настройка параметрів процесу пайки;

- калібрування вимірювальних пристроїв - пірометрів;
- ведення БД технологічних процесів;
- розмежування прав доступу до системи.

Розроблене ПЗ допомагає оператору підбирати параметри індукційного паяння і забезпечує відтворюваність режимів нагріву в умовах різноманіття конструкцій елементів і їх характеристик.

Таким чином, зробивши аналіз особливостей індукційної пайки можна створили програмно-апаратний комплекс, що дозволяє точно відтворювати технологічний процес, тобто застосування запропонованої автоматизованої системи дозволить підвищити якість хвилепровідних трактів, знизити вплив людського фактору і поліпшити умови роботи персоналу.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Злобин С.К., Михнев М.М., Лаптенко В.Д., Зайцев Р.В. Особенности пайки элементов волноводно-распределительных трактов из алюминиевых сплавов с применением источника индукционного нагрева // Решетневские чтения: матер. XVI Междунар. научн. конфер. В 2 ч. Красноярск: Изд-во СибГАУ, 2012. С. 192–193.
2. Сильченко П.Н., Михнев М.М., Анкудинов А.В., Кудрявцев И.В. Обеспечение прочности и точности крупногабаритных волноводно-распределительных систем космических аппаратов связи // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2012. № 1. С. 112–117.
3. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в C++: учебник. СПб: Питер, 2011. 928 с.
4. Архангельский А.Я. Приемы программирования в C++ Builder 6. Механизмы Windows, сети: учебник. М.: Бином-Пресс, 2010. 992 с.
5. Работа с COM-портом с помощью потоков. URL: [http://usbsergdev.narod.ru/DOC/COM\\_port\\_potoki\\_TThread\\_WINAPI.pdf](http://usbsergdev.narod.ru/DOC/COM_port_potoki_TThread_WINAPI.pdf) (дата звернення: 03.04.2021).
6. Титов О. Работа с коммуникационными портами (COM и LPT) в программах для Win32. URL: <http://www.realcoding.net/article/view/2416> (дата звернення: 02.04.2021).
7. Типы регуляторов и законы регулирования. URL: [http:// automation-system.ru/main/15-regulyator/type-of-control.html](http://automation-system.ru/main/15-regulyator/type-of-control.html) (дата звернення: 01.04.2021).
8. Автоматические регуляторы и их типы. URL: [http:// mashmex.ru/metallurgi/104-osnovi-avtomatizacii.html?start=6](http://mashmex.ru/metallurgi/104-osnovi-avtomatizacii.html?start=6) (дата обращения: 02.04.2021).



**Крейда Р.М.<sup>1</sup>, Сапон С.П.<sup>2</sup>, Крейда А.М.<sup>3</sup>** (<sup>1</sup>Україна, м. Черкаси, ДП НВК «Фотоприлад»; <sup>2</sup>Україна, м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»; <sup>3</sup>Україна, м. Черкаси, Черкаський державний технологічний університет).

## **ВПЛИВ ПОХИБКИ РОЗМІРНОГО НАЛАГОДЖЕННЯ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПУ НА ТОЧНІСТЬ ФОРМИ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ**

*Проаналізовано процес формоутворення сферичних поверхонь при їх обробці на токарних верстатах з ЧПУ. Встановлено, що процес механічної обробки завжди супроводжується похибкою налагодження, яка впливає на відхилення від сферичності обробленої поверхні. Наведено схеми та формули для розрахунку відхилень від круглості в повздовжньому перерізі.*

*The process of forming spherical surfaces during their processing on CNC lathes is analyzed. It is established that the process of machining is always accompanied by a debugging error, which affects the deviation from the sphericity of the treated surface. Schemes and formulas for calculating deviations from roundness in longitudinal section are given.*

*Постановка проблеми.* Проблема забезпечення точності та якості обробки поверхонь в машинобудуванні завжди була актуальною, адже від цього залежить кінцева якість виробу. При обробці сферичних поверхонь на токарних верстатах з ЧПУ виникають різного роду похибки. Певним чином похибки взаємопов'язані та мають різний ступінь впливу на утворення похибки форми. Однією із них є похибка розмірного налагодження інструменту [1]. При обробці на токарних верстатах з ЧПУ точність форми циліндричних та плоских поверхонь практично не залежить від точності налагодження різального інструменту. Однак, при токарній обробці деталей з криволінійними поверхнями точність розмірного налагодження інструменту проявляється в більшій мірі. Особливо це проявляється на точності форми при обробці сферичних поверхонь.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Питаннями точності форми оброблюваних поверхонь займалися чимало вчених. Зокрема, А.М. Дальський, Б.М. Базров, А.Г. Суслов та ін. в своїх роботах [2, 3, 4] відмічали, що в процесі механічної обробки, деталі отримують специфічні відхилення від правильних геометричних форм в повздовжніх і поперечних перерізах. Існує чимало сучасних робіт, присвячених точності обробки на верстатах з ЧПУ [5, 6, 7]. Зокрема в роботі [5] досліджено вплив похибки налашки інструмента на програмну операцію при обробці на токарних верстатах з ЧПУ на точність обробки. В роботі [6] приділено увагу управлінню точністю формоутворення на етапі технологічної налашки на операцію верстата з ЧПУ. В статті [7] розглянуто питання формування похибок обробки на верстатах з ЧПУ, проаналізовані причини їх виникнення, можливість підвищення точності обробки тощо.

*Формулювання раніше не вирішених частин загальної проблеми.* Аналіз робіт з питань точності токарної обробки на верстатах з ЧПУ показав достатній обсяг досліджень впливу точності налагодження різального інструменту на точність розмірів, форми та відносного розташування поверхонь. Проте, в цих роботах приділено увагу в основному токарній обробці циліндричних та плоских поверхонь. Слід зазначити, що фактично відсутня інформація про вплив положення різальної кромки інструменту на точність форми сферичних поверхонь. Тому, це питання потребує конкретизації з метою пошуку шляхів досягнення необхідної точності форми сферичних поверхонь саме при токарній обробці.

*Формулювання цілей статті.* Метою даної роботи є визначення впливу похибки розмірного налагодження різального інструменту на точність форми сферичних поверхонь при токарній обробці.

*Виклад основного матеріалу.* При обробці на токарних верстатах з ЧПУ точність сферичних поверхонь забезпечується тільки тоді, коли співпадають центри двох взаємно перпендикулярних кіл. Спотворення форми любого з них призводить до виникнення відхилення від сферичності. Перше коло – це траєкторія руху інструменту, друге – обертання заготовки відносно інструменту. На практиці, в силу дії різних факторів, сумістити центри обох кіл фактично неможливо. Однією з причин є похибка налагодження інструменту. Величину компенсації довжини інструменту можна визначити різними способами. При обробці на сучасних верстатах з ЧПУ найбільш поширеним є спосіб автоматичного вимірювання, який потребує застосування спеціальних приладів (Tool setter). Також, досить часто при наладці користуються «ручним» способом. При цьому способі проточують пробну заготовку і, вимірявши діаметр обробленої поверхні, визначають положення вершини різального інструменту відносно осі обертання заготовки. Однак, яким би не був точним спосіб визначення довжини інструменту, точність обробки заданої поверхні деталі не може бути гарантовано забезпечена. В процесі обробки виникають сили різання, які зміщують елементи технологічної системи. В цьому випадку виникає необхідність додаткової наладки, яка буде враховувати величину пружного віджимання.

Похибкою налагодження  $\Delta_n$  називається випадкова величина, яка виникає в результаті впливу похибки регулювання  $\omega_{рег}$  положення різального інструменту і окремих вузлів верстата відносно устанавленого інструмента і від впливу похибки вимірювання  $\omega_{вим}$  пробних заготовок за якими проводиться налагодження верстата [8]:

$$\Delta_n = 1.2 \cdot \sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{вим}^2} \quad (1)$$

При обробці сферичних поверхонь точність розміру досягається за рахунок корекції радіуса інструмента, величина якої залежить від допуску на розмір. Форма профілю забезпечується траєкторією руху інструменту, але похибка його налагодження на виконання діаметральних розмірів призводить до виникнення відхилення від круглості в повздовжньому перерізі. Вказана похибка може мати, як від'ємне так і додатне значення, тому і форма профілю буде спотворена по-різному. При радіальному зміщенні інструмента

ближче до осі обертання заготовки, деталь приймає форму тор-лимона (рис. 1, а), а при зміщенні від осі – тор-яблуко (рис. 1, б).

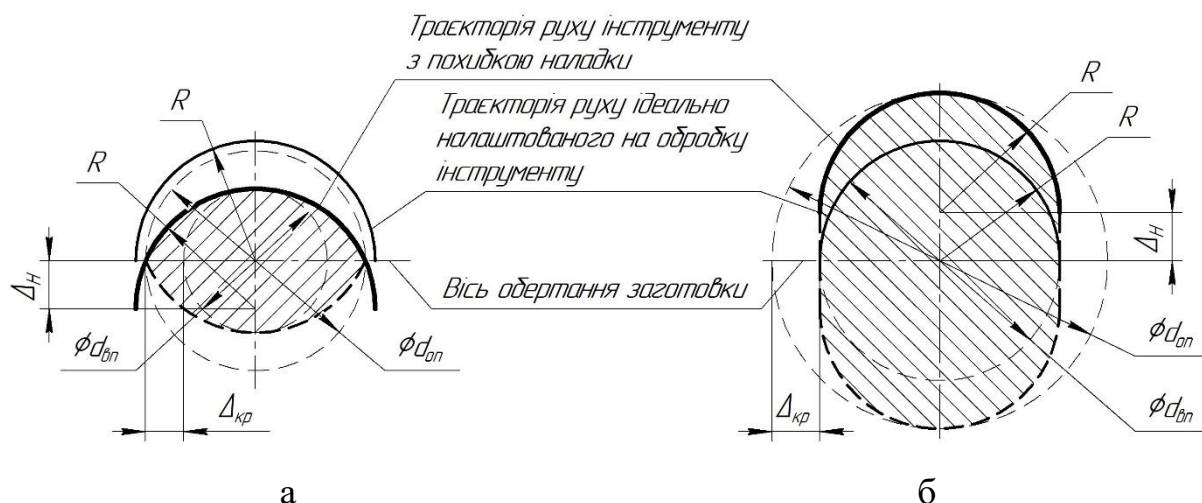


Рис. 1. Спотворення форми деталі при радіальному зміщенні інструменту до (а) і від осі (б) обертання заготовки:

$d_{оп}$  – діаметр кола описаного навколо профілю деталі;

$d_{вп}$  – діаметр кола вписаного в профіль деталі;

$R$  – радіус траєкторії руху інструменту.

Похибку круглості в даному випадку можна знайти за формулою [9]:

$$\Delta_{кр} = \frac{d_{оп} - d_{вп}}{2} \quad (2)$$

Виведемо аналітичні залежності відхилення круглості від похибки налагодження інструменту. Для цього спочатку знайдемо діаметри кіл вписаного і описаного навколо профілю деталі. Для випадку, який зображений на рис. 1, а отримаємо:

$$d_{оп} = 2 \cdot \sqrt{R^2 - \Delta_H^2} \quad (3)$$

$$d_{вп} = 2 \cdot (R - \Delta_H) \quad (4)$$

Підставивши формули 3 і 4 в 2 отримаємо:

$$\Delta_{кр} = \sqrt{R^2 - \Delta_H^2} - (R - \Delta_H) \quad (5)$$

Для рис. 1, б отримаємо:

$$d_{оп} = 2 \cdot (R + \Delta_H) \quad (6)$$

$$d_{вп} = 2 \cdot R \quad (7)$$

Підставивши формули 6 і 7 в 2 отримаємо:

$$\Delta_{кр} = \Delta_{н} \quad (8)$$

Тепер підставимо формулу 1 у формули 5 та 8. Отримаємо залежності:

- для рис. 1, а

$$\Delta_{кр} = \sqrt{R^2 - 1.44(\omega_{рег}^2 + \omega_{вим}^2)} - \left( R - 1.2 \sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{вим}^2} \right) \quad (9)$$

- для рис 1, б

$$\Delta_{кр} = 1.2 \cdot \sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{вим}^2} \quad (10)$$

Оскільки різниця в розрахунках похибки круглості за формулами 9 і 10 не суттєва (менше 1%), тому для спрощення розрахунків доцільно прийняти  $\Delta_{кр} = \Delta_{н}$ .

**Висновки.** Процес обробки сферичних поверхонь на токарних верстатах з ЧПУ завжди супроводжується похибками, які впливають на відхилення круглості профілю і, відповідно, сферичності поверхні. В роботі показано вплив похибки розмірного налагодження інструменту на відхилення форми поверхні. Встановлено, що відхилення від круглості, при врахуванні лише похибки налагодження, можна прийняти рівним самій похибці налагодження.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. / Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 588с.: ил.
2. Дальський А.М. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / А.М. Дальський, А.Г. Косилова, Р.К. Мецераков, А.Г. Сулов. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 912 с.
3. Сулов А.Г. Научные основы технологии машиностроение / А.Г. Сулов, А.М. Дальський – М. Машиностроение, 2002. 684 с. с илл.
4. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
5. Леценко, А. И. Анализ точности обработки фасонных поверхностей в зависимости от погрешности настройки инструментов на программную операцию / А. И. Леценко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – Вып. 18, Ч. 1. – С. 134–138.
6. Леценко А.И. Управление точностью обработки на этапе наладки станков с ЧПУ на программную операцию / А. И. Леценко // Вісник Житомирського державного технічного університету. – 2017. – Том 2, № 2(80). – С. 92–98.
7. Додонов В.В. Повышение точности обработки на станках с числовым программным управлением / В.В. Додонов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2016. – Вып. 6. – С. 1–17.
8. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Издательство: Лань, 2008 – 512 с.
9. ГОСТ 24642-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения.

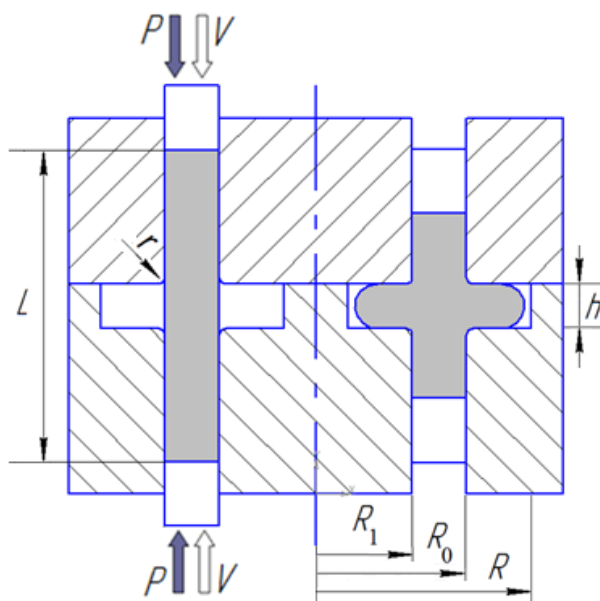
## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУМІЩЕНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ З ДВОСТОРОННЬОЮ ПОДАЧЕЮ

Метою даного дослідження є формозміна заготовки в процесі суміщеного радіального видавлювання з двосторонньою подачею, розподіл інтенсивності деформацій на основі методу скінченних елементів (МСЕ) в середовищі QForm 2D.

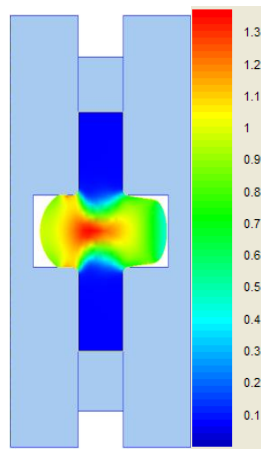
The purpose of this study is to change the workpiece in the process of combined radial extrusion with bilateral feed, the distribution of the intensity of deformation based on the finite element method (MSE) in QForm 2D.

Процес радіально-прямого видавлювання відноситься до групи нових маловивчених способів видавлювання з інтенсивною роздачею, що дозволяє отримати порожнисті вироби з поперечними розмірами, що перевищують розміри заготовки, а також складнопрофільовані стакани зі змінною і постійною товщиною стінки по висоті.

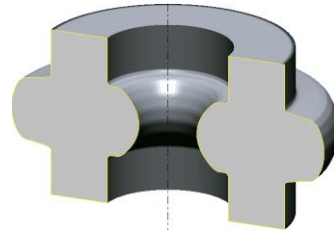
Формування зовнішніх та внутрішніх фланців за схемою суміщеного радіального видавлювання з двосторонньою подачею (рис. 1 - а) при відносно тонкій стінці  $t$  з формуванням відносно високих фланців висотою  $h$  – матеріал заготовки АМЦМ, ( $R_1/R_0=0,6; R_1=7,5; R_0=12,5; h/t=1,2; h=6; t=5$ ).



а)



б)



в)

Рис. 1. Схема суміщеного радіального видавлювання з двосторонньою подачею (а), розподіл інтенсивності деформацій (б), отриманий напівфабрикат (в)

Межа розподілу течії проходить приблизно по центру заготовки, трохи зрушуючи в бік зовнішнього фланця. Це пояснюється наявністю додаткових напружень, що розтягуються в процесі радіального плину металу. На торцях фланця утворюється сфера, що є наслідком пригальмовування зовнішніх шарів металу (які стикаються з інструментом) за рахунок контактної тертя. Максимальні значення інтенсивності деформації сягають  $\varepsilon_1 = 1,3$  (рис. 1 - б).

Купченко О.С., Осадчий В.В., Назарова О.С. (Україна, Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка»)

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ РІДИНИ

*Розроблено лабораторний стенд для дослідження мікропроцесорних систем керування рівнем рідини з урахуванням особливостей пуску та нелінійності характеристики насосної установки. Підтверджено адекватність запропонованої фізичної і комп'ютерної моделей, що дає підстави для її використання при синтезі та дослідженні систем автоматичного керування рівнем рідини. Використання лабораторного стенду в сукупності з адекватною йому імітаційною моделлю дозволяє знизити трудомісткість розробки систем керування для практичних застосувань.*

*The laboratory stand for research of microprocessor control systems of liquid level taking into account features of start-up and nonlinearity of the characteristic of pump installation is developed. The adequacy of the proposed physical and computer models is confirmed, which gives grounds for its use in the synthesis and study of automatic liquid level control systems. The use of a laboratory stand in conjunction with an adequate simulation model reduces the complexity of developing control systems for practical applications.*

**Вступ:** Застосування засобів обчислювальної техніки для автоматизації виробничих процесів виводить виробництво на якісно новий рівень, при якому керування здійснюється автоматичними і автоматизованими системами, які охоплюють повний цикл виробництва. Перед початком роботи над новим проектом зазвичай є загальне уявлення про функціонування об'єкта автоматизації. Тому основний акцент робиться на алгоритмічне, апаратне і програмне забезпечення проєкту. Алгоритм функціонування регулятора рівня рідини в резервуарі повинен бути достатньо гнучким і містити наступні завдання автоматизації: наповнення або злив до заданого рівня; підтримання рівня рідини; індикація рівня рідини; робота в режимах ручного і автоматичного управління. Отже, ідентифікація об'єкта керування з метою підвищення показників якості системи автоматичного керування є актуальною задачею, що має науковий інтерес та практичне значення.

**Метою виконання роботи** є розробка лабораторного стенда для дослідження мікропроцесорних систем керування рівнем рідини та комп'ютерної моделі, що враховує особливості пуску та нелінійність характеристики насосної установки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У промисловості важливий контроль рівня рідини в резервуарі, який можна здійснювати шляхом регулювання витрати рідини, щоб отримати відповідний рівень рідини. Для цього необхідно відповідно вибрати режим керування і метод настройки [1]. З поверхневої точки зору, контроль рівня рідини у резервуарі не представляє особливих складнощів [2]. З огляду на різні властивості об'єктів керування

аргументується застосування П [2], ПІ- [1], ПІД- [3, 4] і Фазі-регуляторів [5]. При дослідженні моделей резервуарів для рідини враховуються різні параметри: форма резервуара (циліндрична, конічна); одиночний резервуар або ж вони сполучені; теплові процеси; перемішування вмісту резервуара. Для синтезу системи автоматичного керування, що враховує індивідуальні особливості певної конструкції, рекомендується ідентифікувати об'єкт керування [3, 6-8], отримавши таким чином його наближений опис. Використовуючи математичний опис об'єкта керування розширюються можливості з використання віртуальних лабораторій [9, 10] для розробки і дослідження систем автоматичного керування цими об'єктами [11]. Відомо, що при перекачуванні забруднених рідин на висоту має місце спорожнення трубопроводу при відключенні насосу внаслідок неможливості встановлення зворотного клапану. В результаті чого при пуску присутнє транспортне запізнення, яке зникає при заповненні трубопроводу. Вказані особливості змушують зменшувати швидкодію системи керування в усталеному режимі з метою виключення автоколивальних режимів при пуску.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження особливостей пуску та нелінійності характеристики насосної установки розроблено лабораторний стенд, який складається з мікропроцесорного регулятора МІК-127 [12], двох ємностей (TANK1 і TANK2), автомобільного насоса склоомивача з двигуном постійного струму номінальною напругою живлення 12 В, gain керуючого сигналу (G), manual control unit (MCU) та level sensor (LS).

Структурна схема лабораторного стенду наведена на рисунку 1.

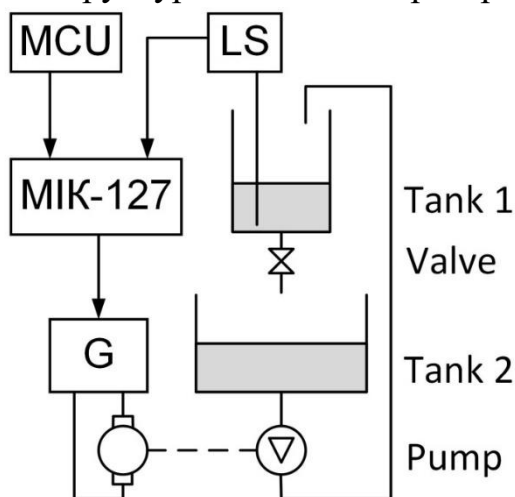


Рисунок 1 – Структурна схема лабораторного стенду для автоматичного керування рівнем рідини

Ємністю 1 є прозора труба довжиною 110 см та внутрішнім діаметром 2.5 см. Рівень рідини вимірюється гідростатичним методом за допомогою сенсору МРХ2010DP [13], що являє собою перетворювач диференційного тиску від 0 до 10 кПа в електричний сигнал 0-25 мВ при живленні напругою 10В.

Зовнішній вигляд стенду представлено на рисунку 2.

Мікропроцесорний контролер МІК-127 має широкий вибір структур керування та законів: аналогові та імпульсні ПІД-регулятори, ШІМ-контролери, каскадні контролери, співвідношення параметрів, контролери з корекцією, одно- та двоканальні контролери, контролери із заданою програмою тощо [12]. Контролер програмується за допомогою клавіш на передній панелі або



через інтерфейс за допомогою спеціального програмного забезпечення - візуального редактора програм ALDA ALPHA. Як мова програмування система реалізує блок-схему функцій (FBD), яка надає користувачеві механізм програмування візуального об'єкта. Редактор FBD-програм ALPHA має вбудований налагоджувач програм, систему логічного моніторингу стану програми, можливість документування програм, друк, представлення програми в таблиці тощо.

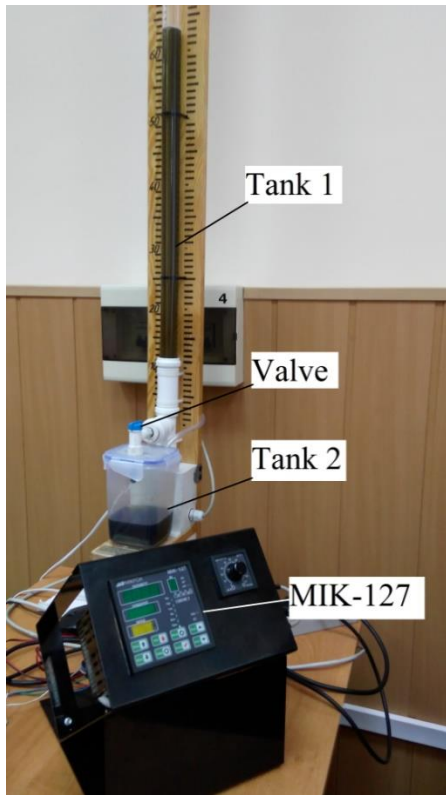


Рисунок 2 – Фото лабораторного стенду для автоматичного керування рівнем рідини

Для дослідження об'єкту системи автоматичного керування рівнем рідини у середовищі ALFA розроблено програму, яка дозволяє встановлювати сигнал керування на аналоговому виході 1 за допомогою блоку ручного завдання. Крім цього, сигнал з датчика рівня передається на аналоговий вихід 2, який використовується для запису зміни рівня рідини за допомогою осцилографа. Поточні значення сигналів видаються на передню панель регулятора за допомогою блоку 2.

В ході роботи визначена в табличній формі залежність продуктивності насоса від керуючого сигналу та аналітичний вираз залежності продуктивності витікання рідини від її рівня у ємності 1. Встановлюючи фіксовані значення завдання та фіксуючи проміжок часу, за який рідина підіймається від початкового до кінцевого рівня, отримано експериментальні дані.

З метою визначення залежності продуктивності витікання з баку 1 від рівня рідини у ньому проведено наступний експеримент. В процесі витікання від максимально рівня рідини у баку фіксувалися моменти проходження рівнем рідини відміток кратних 10.

Продуктивність витікання  $Q_i$ , середній рівень рідини  $H_{mid_i}$ , залежність продуктивності витікання  $Q$  від рівня рідини  $H$  розраховувалися за формулами (1), де  $D = 2,5$  см,  $H_i$  - висота стовпчика рідини, що відповідає кожній оцифрованій поділці шкали,  $t_i$  - час досягнення кожної оцифрованої поділки шкали

$$Q_i = \frac{(H_{i-1} - H_i) \cdot \pi \cdot D^2}{4 \cdot (t_i - t_{i-1})}, \quad H_{mid_i} = \frac{(H_{i-1} + H_i)}{2}, \quad Q = K \sqrt{H} \quad (1)$$

За результатами експериментів створена комп'ютерна модель об'єкта керування (рис.4) у Matlab/Simulink. Результати розрахунків таблиці 3.1 використано для встановлення параметрів блоку "Pump" (Lookup table).

Заповнення трубопроводу при пуску змодельовано блоком транспортного запізнення “Time delay” і перемикачем “Switch”. Умовою перемикання є додатне значення рівня продуктивності на виході блока “Time delay”. Таким чином організовано наявність транспортного запізнення при пуску і відсутність його в усталеному режимі. Для підтвердження адекватності розробленої комп’ютерної моделі об’єкта керування фізичному об’єкту (лабораторному стенду) проведено експеримент, в ході якого при закритому крані зливу рідини протягом певного часу встановлювався фіксований сигнал керування. Після чого кран зливу рідини відкривався.

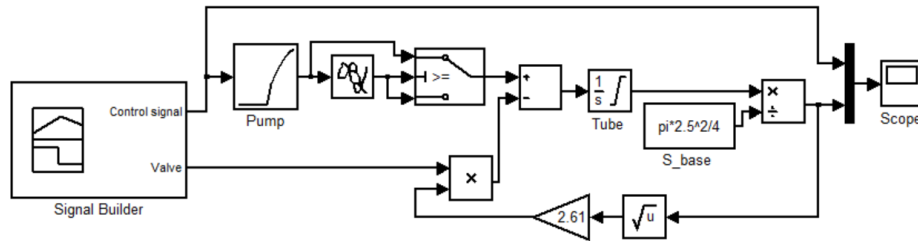


Рисунок 4 - Комп’ютерна модель об’єкта керування

Результати комп’ютерного моделювання показані на рисунках 5, а і 5, б. Осцилограми фізичного експерименту отримані за допомогою цифрового осцилографа OWON PSD 5022S і показані на рисунках 7, а і 7, б.

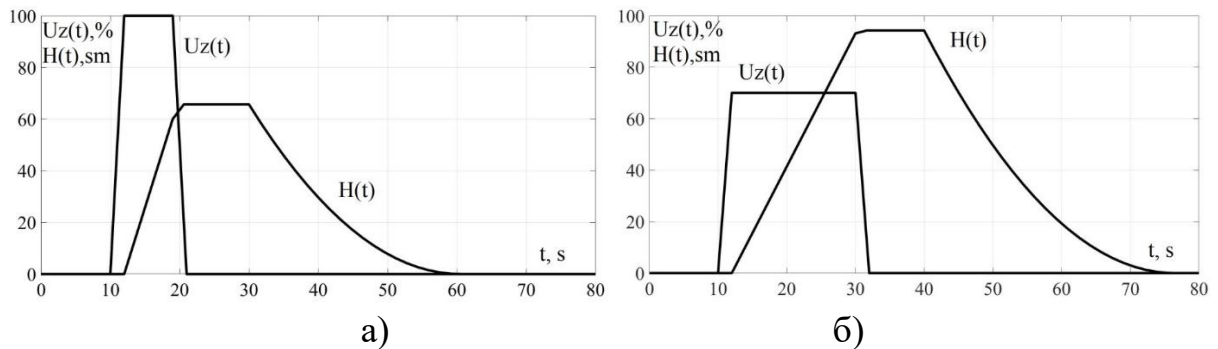


Рисунок 5 - Результати комп’ютерного моделювання при  $U_z=100\%$ ,  $t=10$  s (а), при  $U_z=70\%$ ,  $t=20$  s (б).

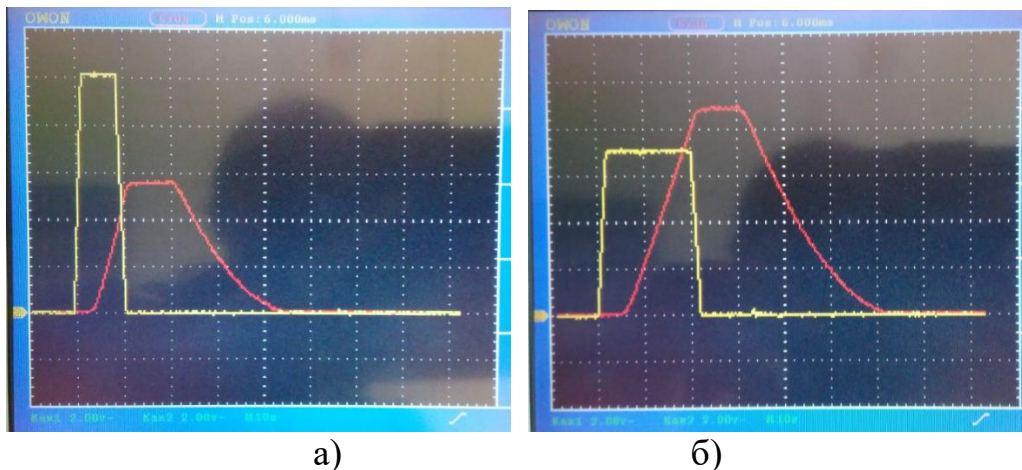


Рисунок 7 - Результати фізичного експерименту при  $U_z=100\%$ ,  $t=10$  s (а), при  $U_z=70\%$ ,  $t=20$  s (б)

Порівняння результатів комп'ютерного моделювання та фізичного експерименту підтверджує адекватність запропонованої математичної моделі і дає підстави для використання її при синтезі та дослідженні систем автоматичного керування рівнем рідини.

**Висновки.** Розроблений лабораторний стенд дозволяє досліджувати алгоритми керування рівнем рідини з урахуванням особливостей пуску та нелінійності характеристики насосної установки. Використання лабораторного стенда з адекватною йому імітаційною моделлю, що є комплексним інструментом з розробки, налагодження та оцінки ефективності систем керування рівнем рідини, дозволяє знизити трудомісткість розробки систем керування для практичних застосувань. Подальші дослідження будуть направлені на розробку системи керування, що поєднує стійкість при пуску та високу швидкодію в усталеному режимі.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Rahmawati, T. A., Fakhriy, N. A., Pratama, G. N. P., Cahyadi, A. I., Herdjunto, S. (2018), A remedy design of PI controller for liquid level control, *International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, Yogyakarta, pp. 661-666. <https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350821>
2. William L.Luyben, (2020) Liquid level control: Simplicity and complexity, *Journal of Process Control*, vol. 86, pp. 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2019.12.008>
3. Vojtesek, Jiri, Spacek, Lubos (2019), Modeling, Simulation And PID Control Of Water Tank Model Using Matlab And Simulink, *ECMS 2019 Proceedings European Council for Modeling and Simulation*. <https://doi.org/10.7148/2019-0177>
4. Patel, K.D., Patil, S. L. (2019), Non-linear tank level control using fractional PI, *3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, Tirunelveli, India, pp. 113-116. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862629>
5. Ünsal, A., Kabul, A. (2011), Matlab based fluid level control using PID and fuzzy logic controllers, *International Review on Modelling and Simulations*, vol.4, no.6, available at: <https://www.researchgate.net/publication/288642979>
6. Nazarova, O.S., Osadchyy, V.V., Shulzhenko, S.S. (2019), Accuracy improving of the two-speed elevator positioning by the identification of loading degree, *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, pp. 50-53. <http://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896414>
7. Назарова О. С. Ідентифікація кутової швидкості при завадах в оптичній системі енодера / О.С. Назарова, В. В. Осадчий, І. А. Мелешко, М. О. Олейніков // Вісник НТУ «ХПІ» - Харків, 2019. – С.65-69. <http://doi.org/10.20998/2079-8024.2019.16.12>
8. Осадчий, В. В. Лабораторный стенд для исследования микропроцессорных систем управления двухмассовым электроприводом / В. В. Осадчий, Е. С. Назарова, В. В. Брылистый, Р. И. Савилов // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2016. – № 22(98). – С. 33-38. <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.22.98.2016.05>
9. Galan, Daniel, Heradio, Ruben, Luis de laTorre, Dormido, Sebastian, Esquembre, Francisco. (2016), *Virtual Control Labs Experimentation: The Water Tank System*. *IFAC-Papers On Line*, vol. 49, Issue 6, , pp. 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.158>
10. Olejnik, P., Awrejcewicz, J. (2019), A mechatronic experimental system for control of fluid level in LabVIEW, *20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Krakow-Wieliczka, Poland, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765959>.

11. Leonow, S., Monnigmann M. (2013), *Automatic identification and controller synthesis for fluid level control using soft sensing*. 10th IFAC International Symposium on Dynamics and Control of Process Systems Proceedings, vol. 46, Issue 32, December 2013, pp. 732-737. <https://doi.org/10.3182/20131218-3-IN-2045.00076>

12. Programmable controller MIK-127  
[http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=garden\\_flypage.tpl&product\\_id=266&category\\_id=115&option=com\\_virtuemart&Itemid=71](http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=266&category_id=115&option=com_virtuemart&Itemid=71)

13. 10 kPa On-Chip Temperature Compensated and Calibrated Silicon Pressure Sensors  
<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX2010.pdf>

**Куратнік Т.В.** (Україна, м. Полтава, Комунальний заклад Полтавська гімназії «Здоров'я» №14 Полтавської міської ради Полтавської області)

## **РЕАЛІЗАЦІЯ STEAM-ПРОЕКТІВ ЗАДЛЯ РОЗВИТКУ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВСЬКОЇ МОЛОДІ В ОСЕРЕДКУ МАН**

*Переорієнтація освіти на таку, що відповідає запитам майбутнього, ґрунтується на міжпредметних знаннях та вміннях, передбачає застосування компетентностей у високотехнологічному, швидкозмінному та полікультурному суспільстві є головним вектором цілого ряду освітніх систем. На думку спеціалістів, зазначені цілі реалізуються шляхом впровадження так званої STEAM-освіти. У чому особливість STEAM-освіти і які можливості запровадження такої системи у навчально-виховний процес сучасних освітніх закладів, зокрема реалізацію STEAM-проектів задля науково-дослідницької діяльності учнівської молоді в осередках МАН представлено у даній статті.*

*The reorientation of education to one that meets the demands of the future, is based on interdisciplinary knowledge and skills, involves the use of competencies in a high-tech, fast-changing and multicultural society is the main vector of a number of educational systems. According to experts, these goals are realized through the introduction of so-called STEAM-education. What is the peculiarity of STEAM-education and what are the possibilities of introducing such a system in the educational process of modern educational institutions, in particular the implementation of STEAM-projects for research activities of students in the IAS centers are presented in this article.*

Перехід до інноваційної освіти європейського рівня передбачає підготовку фахівців нової генерації, здатних до сучасних умов соціальної мобільності, засвоєння передових технологій. За нинішніх умов в Україні затребуваними стають: ІТ-фахівці, програмісти, інженери, професіонали високо технологічних виробництв, фахівці біо- і нанотехнологій. Здобуття сучасних професій потребує всебічної підготовки із різних освітніх областей природничих наук, інженерії, технологій та програмування, напрямів, які охоплює STEM-освіта. Головна мета STEM-освіти полягає у реалізації державної політики з урахуванням нових вимог Закону України «Про освіту» щодо посилення розвитку науково-технічного напрямку в навчально-методичній діяльності на всіх освітніх рівнях; створенні науково-методичної бази для підвищення творчого потенціалу молоді та професійної компетентності науковопедагогічних працівників. STEM-освіта – категорія, яка визначає відповідний педагогічний процес (технологію) формування і розвитку розумово-пізнавальних і творчих якостей молоді, рівень яких визначає конкурентну спроможність на сучасному ринку праці. STEM-освіта здійснюється через міждисциплінарний підхід у побудові навчальних програм закладів освіти різного рівня. Акронім STEM (від англ. Science – природничі науки, Technology – технології, Engineering – інженерія, проектування, дизайн, Mathematics – математика) визначає характерні риси

відповідної дидактики, сутність якої виявляється у поєднанні міждисциплінарних практико орієнтованих підходів до вивчення природничо-математичних дисциплін. Водночас, у STEM-освіту активно включаються творчі, мистецькі дисципліни, об'єднані загальним терміном Arts (позначення відповідного підходу – STEM and Arts). Актуальними STEM and Arts напрямками є промисловий дизайн, архітектура, індустриальна естетика тощо. Використання провідного принципу STEM-освіти – інтеграції – дозволяє здійснювати модернізацію методологічних засад, змісту, обсягу навчального матеріалу предметів природничо-математичного циклу, технологізацію процесу навчання та формування навчальних компетентностей якісно нового рівня. Це також сприяє більш якій підготовці молоді до успішного працевлаштування та подальшої освіти, яка вимагає різних і більш технічно складних навичок, зокрема із застосуванням математичних знань і наукових понять. Основні ключові компетентності концепції «Нової української школи», а саме: спілкування державною та іноземними мовами, математична грамотність, компетентності в природничих науках і технологіях, інформаційно-цифрова грамотність, вміння навчатися впродовж життя, соціальні й громадянські компетентності, підприємливість, загальнокультурна, екологічна грамотність і здорове життя, гармонійно входять в систему STEM-освіти, створюючи основу для успішної самореалізації особистості і як фахівця, і як громадянина [2].

Серед факторів інноваційного розвитку в Україні важливе місце належить відновленню конкурентоспроможності української науки, формуванню майбутньої наукової еліти країни.

Однією з найефективніших форм науково-дослідної діяльності учнів є Мала академія наук (МАН), яка сприяє розвитку дослідницьких здібностей юних науковців, формуванню навичок ведення наукового дослідження, аналізу отриманих результатів, їх оформлення, розвиває вміння презентувати власні здобутки, формуючи навички конкурентоспроможності, вміння відстоювати власні погляди. У межах МАН старшокласники проходять перші етапи становлення як науковці.

Пріоритетним вектором організації науково-дослідницької діяльності юних науковців є STEAM-освіта, зорієнтована на винахідництво та інноватику. STEAM технології створюють оптимальну наукову платформу для учнівських досліджень, адже дозволяють інтегрувати знання різних дисциплін, проводити різноманітні дослідження, генерувати нові ідеї, створювати сучасні винаходи.

Активне впровадження STEAM-освіти в умовах становлення Нової української школи відбувається через реалізацію STEAM проектів.

Проект як засіб реалізації STEAM-освіти дозволяє органічно інтегрувати знання учнів з різних дисциплін під час розв'язання реальних проблем, обумовлює їх практичне використання, генерує при цьому нові ідеї, формує



всі необхідні життєві компетенції, зокрема, полікультурні, мовленнєві, інформаційні, соціальні [1; 6]

Технології є саме тим навчальним предметом, який якнайкраще демонструє інтеграцію знань та вмінь учнів з різних предметів. Виконуючи роботу над кожним навчальним проектом учням потрібно самостійно спроектувати майбутній виріб, при цьому використати знання з математики, фізики, хімії, інформаційних технологій, мистецтва, біології за для створення функціонального, цікавого та нового виробу. У такому випадку учні вбачають дієвий зв'язок теорії з практикою життя.

STEAM проекти можуть мати як навчальний так і експериментально-дослідницький характер. Існують певні вимоги щодо реалізації таких проектів: по-перше, тема проекту повинна бути актуальною та конкретною, спрямованою на вирішення визначеної проблеми; по-друге, учитель виступає керівником, організатором, консультантом, тьютором проекту, тобто націлює роботу учнів в потрібному напрямку, але не втручається в сам процес дослідження; по-третє, потрібно створити необхідні умови для проведення учнівського експерименту, звичайно, найкраще мати спеціально облаштовану STEM лабораторію, хоча можна і обмежитися забезпеченням дослідників необхідним обладнанням; по-четверте, в процесі роботи над проектом учні повинні самостійно застосовувати та вміти інтегрувати знання з різних наукових галузей або навчальних предметів, аналізувати отриману інформацію, робити власні висновки, і наостанок, підсумком будь-якого STEAM проекту повинен бути практичний результат, виріб, спрямований на вирішення обраної проблеми.

На сьогодні величезна увага держави, підприємців, меценатів прикута до виявлення та підтримки талановитої наукової молоді. Відповідно, для учнів відкриваються широкі можливості: участь у конкурсах та науково-технічних виставках, реалізація науково-дослідницьких програм, конкурси на отримання грантів.

В Україні така система почала розбудовуватися досить давно. Наприклад, Малою академією наук України у 2000 році була запропонована педагогічна система «Школа – МАН». Її основою є авторська методика Світлани Білоус – кандидата педагогічних наук, завідувачки науково-дослідної експериментальної лабораторії – філії НЦ «МАНУ» «Методика динамічного моделювання, або Дослідницькі ланцюжки».

Наступним кроком розвитку цього проекту стало створення філії – науково-дослідної експериментальної лабораторії. Також, аби підвищити ефективність запровадження «Школи – МАН» і залучити кожного з українських школярів до Малої академії наук України, було створено систему STEM-освіти під назвою «МАН-Юніор».

За цією системою конкурси «МАН-Юніор Ерудит» і «МАН-Юніор Дослідник» проходять за номінаціями «Техніка», «Астрономія», «Екологія»

та «Історія». На I етапі учні отримують мотивацію до пізнання в певній галузі, розширення світогляду, а наприкінці III етапу, набувши певних дослідницьких навичок, створюють завершений проєкт. За 10 років запровадження конкурсів «МАН-Юніор» не тільки сформувався певний перелік питань щодо організації пошукової діяльності учнів, а й утворилася спільнота вчителів та їхніх учнів, які постійно беруть активну участь у конкурсах.

Учні нашого навчального закладу є постійними учасниками конкурс-захисту МАН та неодноразово ставали переможцями на різних етапах, зокрема у секціях «Техніка», «Мистецтвознавство» (ті секції, де учні працюють з учителем технологій як науковим керівником). Кожна досліджувана робота є унікальною та науково-значимою, адже учні обирають актуальні цікаві теми. Пріоритет надається розгляду тих питань, які знаходять відголосок у власній творчості учнів (наприклад, розробка установок для виробітку тепла чи виготовлення речей із непотребу, як новий напрям дизайну). Також значна увага учнів приділяється вивченню базового предмета за для результативного написання контрольної роботи на конкурсі (у секції «техніка» – математика, «мистецтвознавство» – українська мова). Для ефективної організації науково-дослідницької діяльності ми використовуємо STEAM технології, які дозволяють з різних сторін проаналізувати проблему дослідження, інтегруючи необхідні знання учнів з різних предметів. У процесі роботи над власним науковим дослідженням учні здебільшого працюють над власним STEAM проєктом, результати якого стають підтвердження наукових гіпотез учнівської дослідницької роботи.

Окрім участі у конкурс-захисті науково-дослідницьких робіт МАН наші учні представляють свої STEAM проєкти на різних конкурсах. Так, два роки поспіль талановита учнівська спільнота нашої гімназії представляє свої STEAM проєкти на Всеукраїнському конкурсі екологічних проєктів, коміксів та есе Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», за результатами якого мають найвищі відзнаки /у 2019 році було представлено один проєкт - 1 місце, у 2020 році було представлено 3 учнівські проєкти, відповідно маємо два 1 місця та одне 2 місце/. Тематика представлених проєктів зумовлена рядом екологічних проблем сьогодення, що можуть бути вирішені в межах міста, закладу, домогосподарства. Наприклад, в одному з проєктів учні запропонували власне рішення повторного використання непотрібних речей задля поліпшення благоустрою міста, при цьому юними науковцями були розроблені експериментальні моделі таких виробів, проведено практичні випробування. У подальшому ці проєкти можуть стати основою для написання науково-дослідницької роботи МАН.

Одне з основних завдань сучасної школи – створити умови для різнобічного розвитку підростаючого покоління, забезпечити активізацію і



розвиток інтелекту, інтуїції, легкої продуктивності, творчого мислення, рефлексії, аналітико-синтетичних умінь та навичок з урахуванням можливостей кожної дитини. Сучасні методи навчання забезпечують активну взаємодію учнів і вчителя в навчальному процесі. Реалізація STEAM-проектів сприяє розвитку науково-дослідницької діяльності учнівської молоді, зокрема, в осередку МАН. Впровадження STEAM -освіти є вагомим вектором розвитку Нової української школи та майбутнього підростаючого покоління в цілому.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Андрієвська В.М. Проект як засіб реалізації STEM-освіти у початковій школі. [Ел. ресурс] // Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/.pdf>
  2. Батура Ю. STEAM — драйвер розвитку в учнів ключових компетентностей і навичок майбутнього. [Ел. ресурс] // Режим доступу: <https://naurok.com.ua/webinar/steam-drayver-rozvitku-v-uchniv-klyuchovih-kompetentnostey-i-navichok-maybutnogo>
  3. Методичні рекомендації щодо впровадження STEM-освіти у загальноосвітніх та позашкільних навчальних закладах України на 2017/2018 навчальний рік // Лист ІМЗО № 21.1/10-1470 від 13.07.17 року
  4. STEM-освіта / [Ел. ресурс] // Режим доступу: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita>
  5. 5 питань про STEM-освіту: що воно таке і чому змінює долю наших дітей / [Ел. ресурс] // Режим доступу: <http://hobbytech.com.ua>
  6. STEM-освіта. / [Ел. ресурс] // Режим доступу: <http://iteach.com.ua/news/mass-media/?pid=2621>
- 
-

Луца Ю.В., Чернокол А.В., наук. кер. Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*В роботі приводяться результати дослідження формування акустичного спектру відзвуку деталей в залежності від їх параметрів. Показано застосування амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) зразків при створенні моделей на базі нейромереж для визначення розмірів, шорсткості та твердості деталей. Встановлені найбільш значущі для ідентифікації параметрів частоти. Представлений аналіз експериментально отриманих результатів.*

*The paper presents the results of a study of the formation of signatures of parts depending on their parameters. The application of amplitude-frequency characteristics (AFC) of samples in the creation of models based on neural networks to determining the sizes, roughness and hardness of parts is shown. The most significant frequencies for identification of parameters are established. The analysis of experimentally obtained results is presented.*

Контрольні операції – невід’ємна складова технологічного процесу. Від ступеня досконалості контролю, його технічного оснащення й організації багато в чому залежить ефективність виробництва в цілому. Сучасне машинобудування потребує підвищення продуктивності випуску виробів, а скорочення витрат часу на контрольні операції – дієвий спосіб вирішення цієї задачі.

На вдосконалення процесу автоматизованого контролю спрямовано багато наукових праць [1, 2, 3]. Перспективними стають акустичні методи діагностики виробів машинобудування, засновані на взаємодії з контрольованим виробом пружних коливань і хвиль широкого діапазону частот [4]. Зокрема, встановлена можливість ідентифікації геометричних параметрів деталей на основі використання спектрів акустичних сигналів. Представлені роботи, що дозволили комплектувати групи пластин різальних інструментів для оснащення ними великогабаритних фрез, а також ідентифікувати абразивні круги [5, 6]. Однак, постає необхідність універсального методу вимірювання геометричних параметрів і характеристик якості деталей, тому проблема зниження трудомісткості контрольних операцій залишається актуальною.

Метою даної роботи є побудова моделі для ідентифікації параметрів деталей за їх сигнатурами на основі дослідження формування акустичного спектру відзвуку зразків у взаємозв’язку з їх геометричними та фізико-механічними характеристиками.

Кожна з деталей має свою сигнатуру. Оскільки формування сигнатур, тобто відзвуку, залежить від того, як переломляються всередині виробу хвилі впливу, від цього буде залежати і спектр відзвуку. Переломлятися ці хвилі

можуть по-різному. Якщо вони будуть когерентними, відзвуки будуть залежати від того, наскільки ця частота збігається з власною частотою коливання елементів деталі. Когерентний вплив може породжувати додаткові гармоніки більш високого порядку і їх взаємодія сформує спектральні характеристики цього об'єкта, але кожна наступна гармоніка за амплітудою значно менше попередньої, тобто вони зникаючі. Якщо ж впливати резонансною частотою на частини об'єкта так, щоб ця резонансна частота відгукнулася – вона навпаки посилиться. Тому з'явилося поняття широкосмугового впливу на об'єкт.

Для проведення експериментального дослідження використовуються спеціально отримані зразки (рис. 1) в кількості 99 штук.

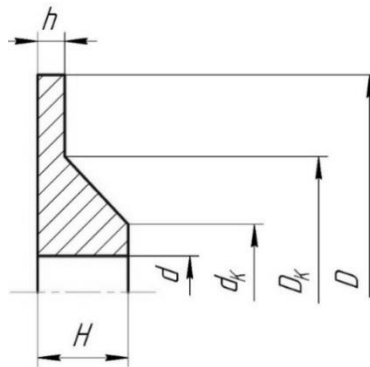
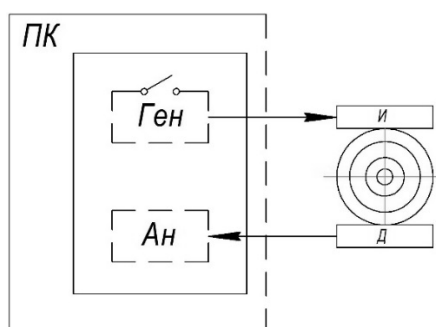


Рис. 1 Ескіз деталі-зразка

Для того, щоб можна було ідентифікувати відзвук не тільки з розмірами, враховуються й інші параметри. Шорсткості поверхонь деталей відрізняються (вплив зносу інструменту). Якщо шорсткість різна, то від того, куди будуть спрямовані відбиті хвилі, буде залежати і спектр, тобто він буде пов'язаний з шорсткістю. Так як деталі виготовлялися з різних частин прокату, який відрізався і розміри відрізуваної частини були різними, отже, можлива швидкість охолодження зразків могла бути різною, тому відрізнятися може і твердість. Таким чином, виходить комплекс параметрів: розміри, шорсткість, твердість.

На першому етапі роботи підготовлена інформаційна база: проведено вимірювання розмірів, шорсткості й твердості. Далі складена таблиця отриманих значень. Після цього проведено зняття АЧХ деталей-зразків за допомогою спеціального експериментального стенду (рис. 2).



## Рис. 2 Схеми експериментальної установки

Експериментальна установка працює наступним чином. Деталь-зразок з одного боку притискається п'єзоелектричним випромінювачем, а з іншого – п'єзоелектричним датчиком. Магнітне поле виконує роль закріплення. З генератора до випромінювача посиляється звуковий сигнал, який фіксується датчиком і подається на мікрофонний вхід аналізатора спектра частот, реалізованого на базі персонального комп'ютера програмним пакетом Spectrum Analyzer. Випромінювач – програмно реалізований генератор «білого шуму». Відсутність приймача виключає виникнення додаткових похибок. Зразок впливає на поведінку випромінювача. При підведенні білого шуму певної частоти зразок, притиснутий до випромінювача, починає вібрувати по-різному і змушує випромінювач випромінювати по-різному. Якщо встановити випромінювач і заміряти сигнал білого шуму, який іде на нього, можна проаналізувати, чи змінюється сигнатура у цього випромінювача. В результаті отримується відповідний прийнятий сигнал, на який відреагував зразок, і там, де він резонує з певною частотою білого шуму – ця частота безпосередньо відбивається. Невідповідні резонансним частоти гасяться. В результаті отримані АЧХ резонуючої деталі. Число частотних характеристик відповідає числу зразків. Далі спектр акустичного сигналу, наведеного в зразках у результаті відгуку на вимушені коливання у вигляді «білого шуму» підлягає обробці на нейронних мережах з використанням пакету NeuroPro 0,25.

Створена таблиця прецедентів у MS Excel містить вихідні дані – значення АЧХ, розмірів, шорсткості та твердості деталей-зразків. Для використання таблиці прецедентів у середовищі NeuroPro 0.25 вона сконвертована у формат .dbf. Далі створена нейромережа, що має 129 вхідних полів – значення сигнатур і 9 вихідних – параметри деталей-зразків: 6 розмірів, 2 значення шорсткості та твердості. Величина похибки встановлена наступним чином: для розмірних параметрів –  $\pm 0,1$ ; для шорсткості –  $\pm 0,5$ ; для твердості –  $\pm 1$ . При виборі структури мережі обрано 1 шар, що містить 100 нейронів. Далі проведено навчання нейромережі та подальше спрощення – скорочення числа вхідних сигналів. В результаті було видалено 122 входи зі 129. За вербальним описом нейромережі виявлені найбільш значущі для вихідних параметрів входи – вони відповідають значенням високих частот.

Для порівняння створена друга нейромережа за тим самим навчальним файлом, але вихідним призначений тільки один параметр – твердість. Інші 8 не використовувалися мережею. Межі точності залишені без змін –  $\pm 1$ . Структура мережі, як і в попередньому випадку – 1 шар, що містить 100 нейронів. Після навчання в результаті спрощення було видалено 124 входи зі 129. За вербальний описом нейромережі серед п'яти найбільш значущих для параметру твердості входів – одна низька, одна середня і три високих частоти.

Третя нейромережа аналогічна другій, але має іншу структуру: 3 шари, по 100 нейронів на кожному. Після навчання в результаті спрощення було

видалено 127 входів зі 129. Вербальний опис нейромереж показав, що серед найбільш значущих для параметру твердості входів залишилися дві частоти – низька і висока.

За результатами тестування нейромережі в кожному з трьох випадків прогнозування параметрів для всіх зразків виконане в межах заданої точності.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження підтверджено взаємозв'язок спектральних характеристик резонансних коливань деталей з такими їх параметрами як розміри, шорсткість і твердість. Побудовані нейромережеві моделі, які дозволяють за найбільш значущими АЧХ з достатньою точністю проводити акустичну ідентифікацію комплексу контрольованих параметрів деталей.

Таким чином, виникає можливість реалізувати спосіб акустичного контролю розмірів деталей шляхом створення вимірювального пристрою на базі мікропроцесору з застосуванням вербального опису нейромережевої моделі.

Встановлено, що амплітудно-частотні спектри резонансних коливань деталей, окрім геометричних параметрів, можуть відображати фізико-механічні властивості матеріалу, зокрема твердість, а також мікрогеометрію поверхні (шорсткість), що дозволяє проводити оцінку одночасно комплексу характеристик деталі.

При однаковій структурі нейромереж для випадку з дев'ятьма вихідними параметрами після спрощення залишилося 7 входів (модель 7-9), для випадку з одним – 5 входів (модель 5-1). Таким чином, різниця несуттєва, тобто збільшення кількості одночасно контрольованих розмірів не приводить до істотного збільшення складності моделі.

Зміна структури моделі 5-1 (встановлення замість одного шару зі ста нейронами, трьох шарів – по сто нейронів на кожному) після спрощення забезпечила задану точність визначення твердості лише за двома входами: одна низька частота і одна – висока. Отже, збільшення кількості шарів нейронів призводить до зменшення числа вхідних сигналів, необхідних для дотримання заданої точності.

За вербальним описом нейромереж встановлено, що для оцінки комплексу характеристик деталі, зокрема твердості, необхідні дані про значення амплітуд тільки певних частотних діапазонів. Це створює передумови подальших досліджень впливу таких частот при обробці деталей на зміну їх твердості.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ковалевская Е. С. Акустическая диагностика неперетачиваемых пластин для повышения качества сборных фрез / Е. С. Ковалевская, А. О. Кошевой, С. В. Ковалевский // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2017) : матеріали тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 24–27

квіт. 2017 р.) : у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко А. М. [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 61–62.

2. Ковалевский С. В. Использование карт Кохонена для комплексной оценки режущих свойств абразивных кругов / С. В. Ковалевский, А. С. Янюшкин, Е. В. Бугаёва // Механика XXI века. XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием : сборник докладов. – Братск : ФГБОУ ВПО «БрГУ», 2012. – С. 177–180.

3. Применение нейросетевых методов для акустического контроля состояния режущего инструмента / С. В. Ковалевский, Е. В. Ткаченко, Л. О. Тютюнник, Е. В. Бугаева, Predrag Dasic // Нейросітьові технології і їхзастосування: збірник праць Всеукраїнської наукової конференції з міжнародною участю. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – С. 51–54.

4. Диагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу) : монографія / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська, Є. О. Коржов, А. О. Кошевой ; за заг. ред. д.т.н., проф. С. В. Ковалевського. Краматорськ : ДДМА, 2016. 186 с.

5. Патент 80043 Україна МПК (2006), B23C 3/00 (2013.01). Спосіб комплектації ріжучих пластин при селективному складанні фрез / С. В. Ковалевський, Л. О. Тютюнник, Л. П. Колот ; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u201213568 ; заявл. 27.11.2012 ; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9/2013. – 4 с.

6. Патент 78854 Україна МПК (2006), G01N 29/04 (2006.01). Спосіб визначення залишкового ресурсу шліфувальних кругів / С. В. Ковалевський, О. В. Бугайова, Л. П. Колот ; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u201207178 ; заявл. 13.06.2012 ; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7/2013. – 3 с.

Луца Ю.В., наук. кер. Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

## ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ З НАКЛАДАННЯМ ПОСТІЙНОГО ТА ЗМІННОГО МАГНІТНИХ ПОЛІВ

*В роботі приводяться результати дослідження впливу обробки з накладанням постійного та змінного магнітних полів на зміну твердості матеріалу. Підтверджена ефективність запропонованого способу обробки виробу. Представлений аналіз експериментально отриманих результатів.*

*The paper presents the results of the study of the effect of processing with the imposition of constant and variable magnetic fields on the change in the hardness of the material. The effectiveness of the proposed method of processing the product is confirmed. The analysis of experimentally obtained results is presented.*

Формування властивостей матеріалу вже готових виробів – перспективний напрямок розвитку машинобудування і металообробки, який вимагає спеціальних технологій.

На сьогоднішній день відомі різні методи зміцнення деталей і металорізального інструменту, зокрема, магнітно-імпульсна обробка металів. Вона все частіше використовується на виробництвах, оскільки дає широкі можливості для підвищення якості продукції, що випускається [1]. Водночас при високій частоті розряду глибина проникнення магнітного поля невелика і обмежується поверхневим шаром виробу, а створення градієнту механічних властивостей веде до виникнення внутрішніх напружень матеріалу, в результаті чого знижується надійність виробу.

З огляду на це постає необхідність забезпечення об'ємної зміни властивостей матеріалу. Очікується, що вирішення цієї задачі може дати використання магнітного поля з суміщенням властивостей. Поєднання впливів постійного і змінного магнітних полів знайшло застосування в різних сферах [2, 3, 4]. Однак вплив такого комбінованого поля на властивості матеріалу вивчений недостатньо і потребує подальших досліджень.

Метою даної роботи є експериментальна перевірка зміни твердості виробу під впливом обробки з накладанням постійного та змінного магнітних полів.

Швидкість зміни магнітного поля зворотно пропорційна товщині захопленого шару матеріалу. У зв'язку з цим для досягнення об'ємного ефекту необхідна обробка виробу в сильному магнітному полі шляхом слабких амплітудних вібрацій. Безпосередньо магнітне поле є функцією самої машини, що створює вібрацію. В цьому випадку вібрації магнітного поля призводять до того, що починають вібрувати всі частинки металу в тілі деталі. Низькі амплітуди не дають можливості магнітному потоку розтікатися по поверхні, тобто це дозволяє усунути скін-ефект.

Для проведення дослідження використовувалися змінні твердосплавні різальні пластини CNMG 120408E-M Pramet [5]. Початкові значення

твердості нижньої та верхньої частин різні. Обробка виконувалася за допомогою спеціального експериментального стенду (рис. 1).

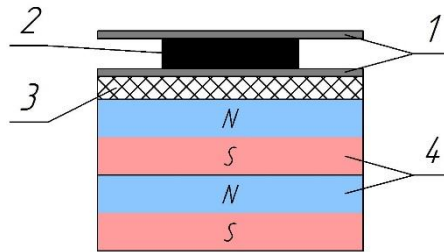


Рис. 1 Схема експериментальної установки

Між двох струмопровідних обкладок 1 встановлена різальна пластинка 2. Далі розташована гумова прокладка 3 для амортизації вібрацій неодимового магніту 4. По краях кожної обкладки встановлена клема, через яку з генератора підводиться змінний струм різної частоти. В результаті через виріб пропускається струм, що являє собою пакет «білого шуму». Проходження такого струму викликає появу різних за частотою полів. Магнітне поле, яке виникає в результаті руху змінного струму, взаємодіє з постійним магнітним полем. В результаті виходить, що кожна точка різальної пластини всередині і на поверхні коливається з резонансною частотою. Ця резонансна частота забезпечується малою амплітудою, тому що струм проходить через пластину, яка має великий опір. Проте навіть цього вкрай малого струму вистачає на те, щоб в результаті взаємодії поля, наведеного в різальній пластині, з магнітним полем неодимового магніту, можна було змінювати твердість різальної пластини в залежності від часу обробки.

Значення твердості в нижній частині і в верхній частинах різальної пластини знімалися через кожні дві хвилини. Результати обробки представлені на рис. 2.

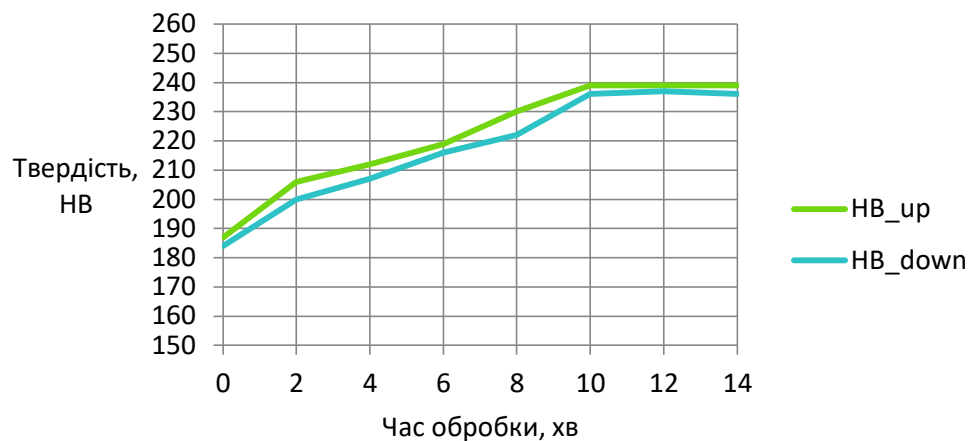


Рис. 2 Графік зміни твердості залежно від часу обробки



Вихідні значення твердості були різними. Далі вони підвищувалися, поступово досягаючи сталого значення. В результаті відбулося зростання з 187 НВ до 239 НВ, тобто на 52 одиниці. Отриманий результат підтверджує, що змінне магнітне поле в поєднанні з постійним магнітним полем дозволяє досягати позитивного ефекту.

Таким чином, з'являється можливість зміцнення виробів шляхом обробки магнітним полем. Для виробів більших габаритів можна застосовувати декілька магнітів. У випадку обробки такої деталі як ступінчастий вал можна зміцнювати його частини, пропускаючи через сам вал змінний струм у вигляді пакету «білого шуму» певної амплітуди. Якщо цю амплітуду підвищити, тобто посилити сигнал до 1 А при величині напруги 5 В, то потужність складе 5 Вт, у той час як витрати потужності при гартуванні СВЧ становлять близько 50 кВт, тобто в 10000 разів більше. Разом з тим в результаті реалізується зміцнення без залишкових напруг. Їх відсутність пояснюється тим, що одночасно з підвищенням твердості відбувається процес вібростабілізації.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження підтверджена можливість підвищення твердості матеріалу за рахунок обробки з накладанням постійного та змінного магнітних полів.

Використання магнітного поля в якості основної сили впливу веде до значної економії енергетичних ресурсів, підвищення екологічних показників і продуктивності виробництва, розширення списку матеріалів, з якими можна працювати. Обробка матеріалу в полі, утвореному накладанням постійного і змінного магнітних полів, має перспективи для можливості управління як зовнішніми, так і внутрішніми властивостями виробів машинобудування.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Магнитно-импульсная обработка металлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/magnitno-impulsnaya-obrabotka-metallov/>*
2. Ягло Г.И., Котенев А.С., Наследников Ю.С. *Формирование структуры магнитов из порошка феррита бария в переменном-постоянных магнитных полях. Тезисы докладов 7-ой Всесоюзной конференции по ферритам. ч.2. - Донецк. ВНИИ реактивэлектрон. 1983. - с. 76.*
3. Есауленко В.А. *Использование электромагнитных полей в устройствах формования ферритовых изделий. ДонНТУ. 2000. – с. 4.*
4. *Эффективность применения комбинированных магнитных полей при дуговой наплавке под флюсом / Д.Г. Носов, А.Д. Размышляев // Автоматическая сварка. – 2009. – № 4 (672). – с. 25.*
5. *ECatalog Dormer Pramet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecat.pramet.com/insertsGrid.aspx>*

Мосорко В. С., Копей В. Б. (Україна, м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ)

## MODELICA-МОДЕЛІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ТОЧІННЯ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

*Описано принципи побудови імітаційних моделей систем керування точністю точіння шляхом зміни жорсткості технологічної системи. Моделі розроблено в середовищі OpenModelica 1.16 мовою Modelica з використанням компонентів її стандартної бібліотеки. Шляхом успадкування розроблено компонент "пружина зі змінною жорсткістю". Зроблено висновок про необхідність починати моделювання з побудови простих ідеальних моделей та поступово їх ускладнювати та підвищувати рівень адекватності шляхом додавання потрібних компонентів з одночасною перевіркою результатів симуляції.*

*The principles of construction of simulation models of turning accuracy control systems by changing the rigidity of the technological system are described. The models are developed in the OpenModelica 1.16 environment in the Modelica language using components of its standard library. The component "spring with variable rigidity" is developed by inheritance. It is concluded that it is necessary to start modeling with the construction of simple ideal models and gradually complicate them and increase the level of adequacy by adding the necessary components while checking the simulation results.*

Системи адаптивного керування точністю [1] механічної обробки є необхідними компонентами сучасного машинобудівного виробництва та дозволяють значно підвищити точність і продуктивність обробки. Розроблення та удосконалення таких систем потребує створення адекватних їхніх імітаційних моделей за допомогою ефективних засобів побудови цих моделей, наприклад мови Modelica та її стандартної бібліотеки компонентів. Modelica – це сучасна об'єктно-орієнтована, декларативна мова моделювання для компонентно-орієнтованого моделювання складних мультидоменних систем, зокрема, систем, що містять механічні, електричні, електронні, гідравлічні, теплові, енергетичні компоненти, а також компоненти управління та компоненти, орієнтовані на окремі процеси [2].

Методи адаптивного керування точністю обробки основані на принципі зменшення діапазону розсіювання величини пружних деформацій  $y$  в технологічній системі, які можуть бути спричинені, наприклад, нерівномірністю припуску  $t$ , твердості матеріалу заготовки  $HB$ , жорсткості системи  $j$  [1, 3]. Для токарної обробки:

$$y = \frac{P_y}{j} = \frac{C \cdot s^{0.75} \cdot t \cdot HB^2}{j} = const, \quad (1)$$

де  $P_y$  – радіальна складова сили різання,  $s$  – подача,  $C$  – коефіцієнт, який залежить від умов обробки.

Одним із способів забезпечення рівності (1) є керування значенням жорсткості технологічної системи  $j$ . Наприклад відомо, що для довгого нежорсткого вала (рис. 1) значення  $P_y$  зменшується під час обробки центральної частини вала внаслідок зменшення жорсткості системи  $j$  (зміна  $j$  спричиняє зміну  $y$  та  $t$ ). Система керування точністю (СК) слідкує за значенням  $P_y$  і змінює значення  $j$  так, щоб виконувалась рівність (1).

В праці [1] описано конструкцію спеціального супорта токарного верстата, в якому під час обробки дія радіальної складової сили різання передається через різець на пружний елемент, який виконаний у вигляді плоскої пружини, яка вільно лежить на двох опорах. Опорами є гайки з правою і лівою різьбою, через які проходить гвинт. Електродвигун обертає гвинт і змінює відстань між гайками. Тим самим він змінює жорсткість пружного елемента і цілої технологічної системи. Супорт також має датчик контролю переміщень пружного елемента. Він може також служити датчиком сили  $P_y$ .

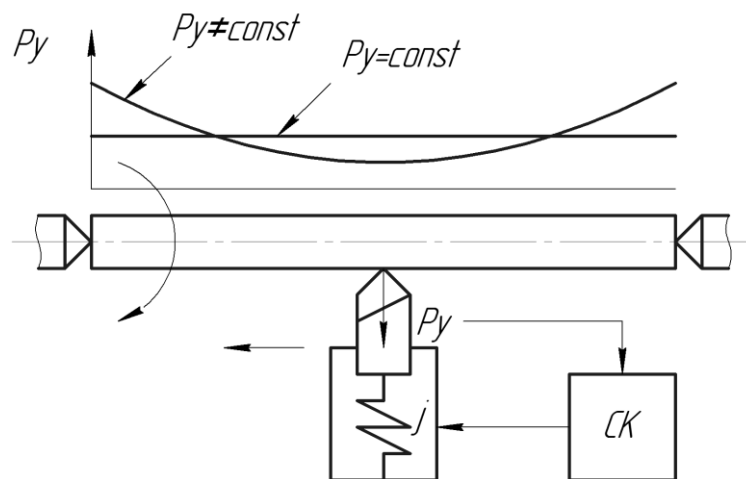


Рисунок 1 – Метод забезпечення постійності сили різання  $P_y$  шляхом зміни жорсткості технологічної системи

В праці [4] розроблено модель технологічної системи (токарний верстат-інструмент-деталь) з коефіцієнтом жорсткості  $j$  мовою Modelica та проведено симуляцію вільних коливань, які виникають під час різкого збільшення радіальної складової сили різання  $P_y$ . Описано два способи побудови моделі – з використанням компонентів стандартної бібліотеки Modelica та шляхом безпосереднього опису рівнянь моделі. Перший спосіб зазвичай є зручним для побудови складних моделей.

Проте немає праць з описом принципів побудови моделей систем керування точністю з використанням мови Modelica, зокрема для випадку токарної обробки, показаної на рис. 1.

Метою даної роботи є опис принципів побудови Modelica-моделей систем керування точністю точіння шляхом зміни жорсткості технологічної системи. Моделі розробляли у вільному середовищі OpenModelica 1.16.

У першу чергу потрібно розробити просту модель згаданого супорта зі змінною жорсткістю. В стандартній бібліотеці Modelica немає моделей пружин зі змінною жорсткістю. Тому авторами розроблено компонент "змінна пружина", коефіцієнт жорсткості якої буде залежати від вхідного дійсного сигналу. Для цього простіше скористатись можливістю успадкування наявного в стандартній бібліотеці базового класу Modelica.Mechanics.Translational.Components.Spring. В новому класі потрібно повторно задекларувати змінну "коефіцієнт жорсткості пружини"  $c$  за допомогою `redeclare replaceable`, додати об'єкт `u` класу Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput для отримання зовнішнього сигналу, а також додати рівняння  $c = u$ . Код моделі:

```
model VariableSpring
  extends Modelica.Mechanics.Translational.Components.Spring;
  redeclare replaceable Modelica.SIunits.TranslationalSpringConstant c;
  Modelica.Blocks.Interfaces.RealInput u;
equation
  c = u;
end VariableSpring;
```

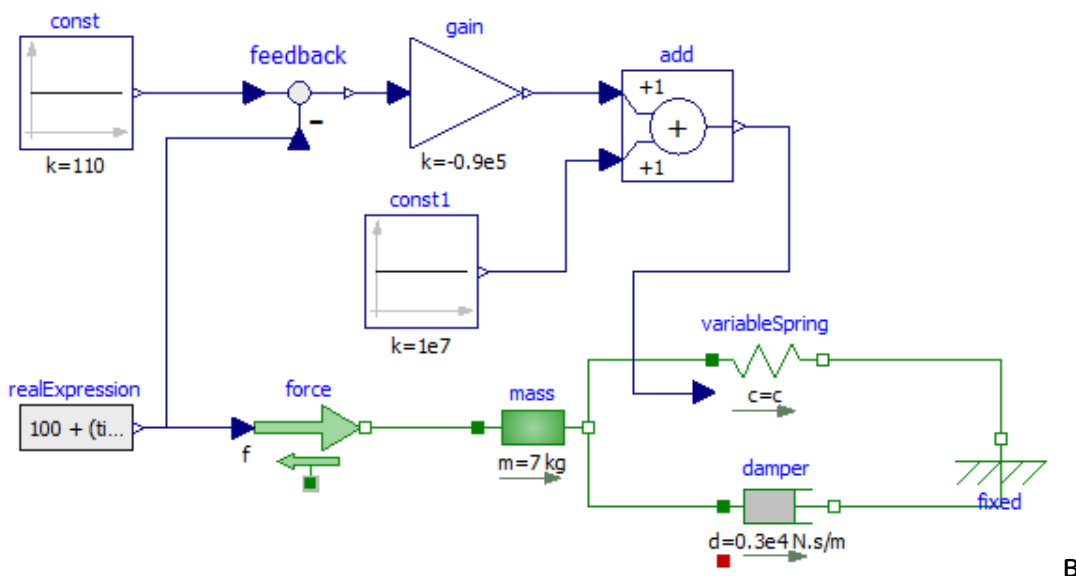
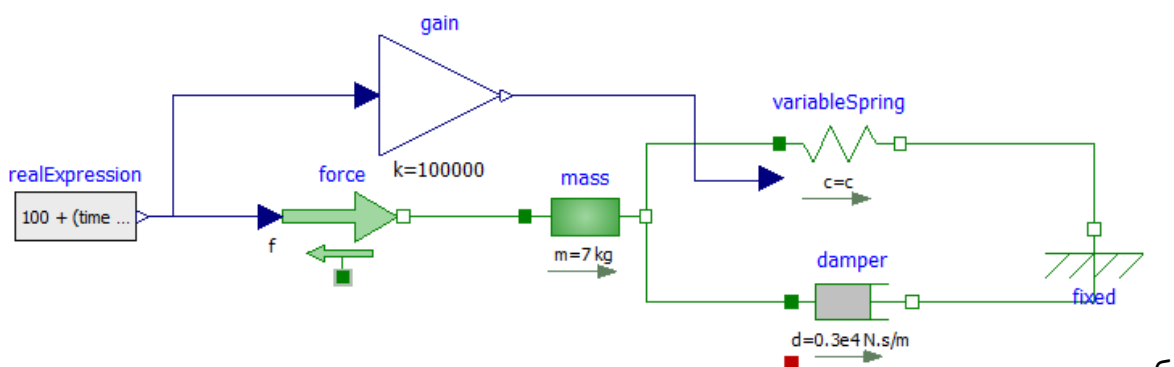
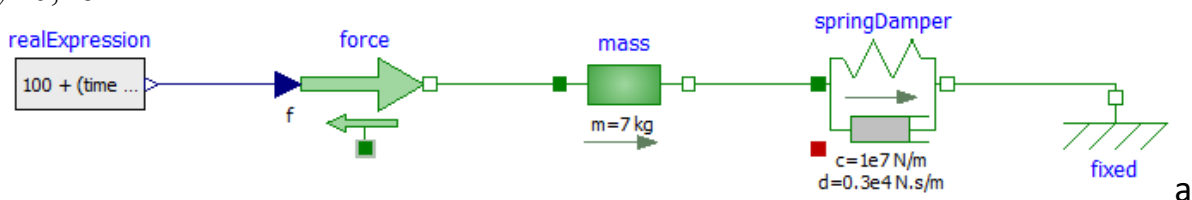
На рис. 2а показано модель технологічної системи без системи керування точністю відповідно для випадку токарної обробки довгого нежорсткого вала (рис. 1). В результаті зміни сили різання  $P_y$  в технологічній системі з постійною жорсткістю  $j$  буде змінюватись деформація  $y$  (рис. 3). Блоковий компонент `realExpression` повертає дійсний сигнал  $100 + (\text{time} - 5)^2$ , який передається компоненту `force` (сила). Сила діє на лівий фланець (`flange_a`) компонента `mass` (маса). А його правий фланець (`flange_b`) з'єднано з компонентом `springDamper` (пружина-демпфер), який правим фланцем з'єднано з нерухомим фланцем (`fixed`). Вибрано рекомендовані [5] значення параметрів технологічної системи: маса  $\text{mass.m} = 7$  кг, коефіцієнт жорсткості  $\text{springDamper.c} = 10^7$  Н/м, коефіцієнт демпфування  $\text{springDamper.d} = 3000$  Нс/м. Симуляція показує значну динамічну похибку обробки  $\Delta y \approx 2,5$  мкм (рис. 3).

Найпростіша ідеальна система керування точністю показана на рис. 2б. В ній організовано ідеальний зворотній зв'язок – значення сили різання  $P_y$  визначається ідеальним датчиком `i` передається в компонент `gain`, де множиться на `gain.k` `i`, таким чином, перетворюється в коефіцієнт жорсткості змінної пружини `variableSpring`.

У більш складній моделі (рис. 2в) значення сили різання передається в компонент `feedback`, який обчислює різницю заданої (в компоненті `const`) та вимірної сил. Ця різниця пропорційно змінюється компонентом `gain` `i` додається до середнього коефіцієнта жорсткості (`const1.k`) змінної пружини

variableSpring. Такі моделі забезпечують ідеальну постійність деформацій (рис. 3) та  $\Delta y \approx 0$ , але реалізувати їх важко. Зокрема в реальних системах буде певна затримка сигналів і межі зміни жорсткості пружини.

Більш реалістична система керування показана на рис. 2г. В ній перед компонентом gain розміщено ПІД-регулятор pid (з параметрами  $k=0.09$ ,  $T_i=1e9$ ,  $T_d=10$ ,  $N_d=10000$ ), який передає сигнал швидкості обертання на ідеальний двигун (speed), що з'єднаний з ідеальною передачею "гвинт-гайка". Поступальне переміщення гайки визначається сенсором positionSensor і обмежується заданим діапазоном в компоненті limiter. Зміна деформацій більш помітна (рис. 3), що пояснюється необхідністю більш точного налаштування параметрів ПІД-регулятора. Тут  $const1.k=1.12e7$ . Похибка  $\Delta y \approx 0,46$  мкм.



a

б

B

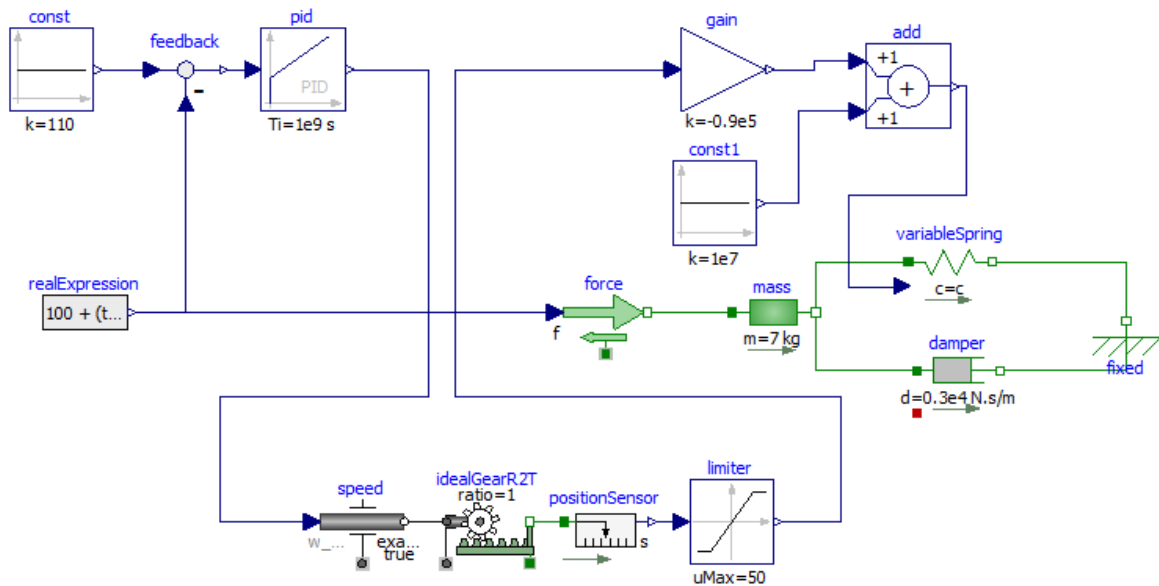


Рисунок 2 – Моделі технологічної системи: без системи керування точністю (а), ідеальні (б, в) та більш реалістична (г) системи керування

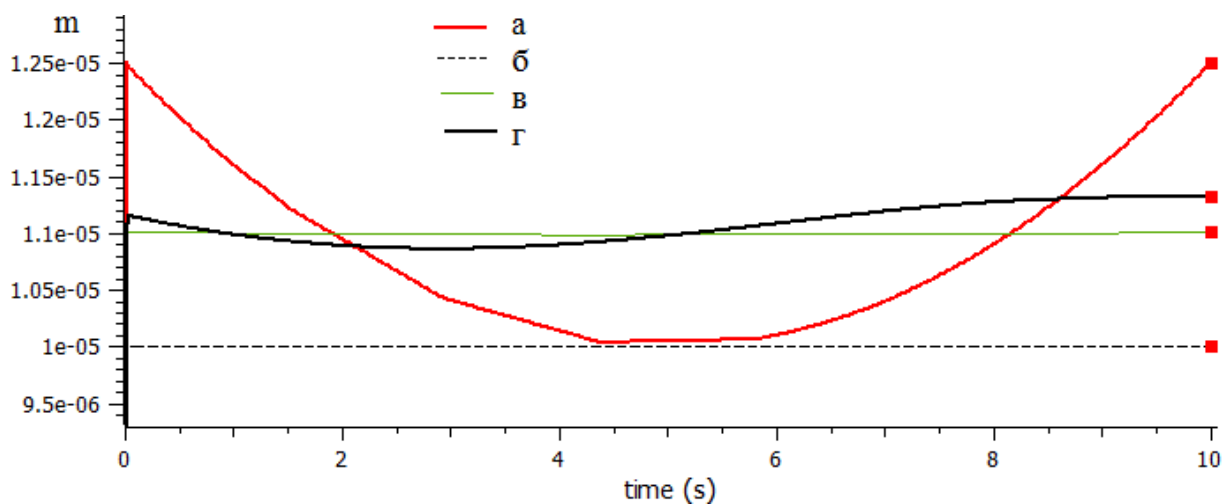


Рисунок 3 – Результати симуляцій – деформації  $y$  (м)

Висновки. Застосування мови Modelica та її стандартної бібліотеки значно спрощує побудову складних моделей систем керування точністю. Для уникнення помилок під час побудови моделей потрібно починати з простих ідеальних моделей та поступово їх ускладнювати та підвищувати рівень адекватності шляхом додання потрібних компонентів з одночасною перевіркою результатів симуляції. Остання розроблена авторами модель може бути основою для побудови ще більш реалістичних моделей систем керування. Зокрема можна: застосовувати реалістичні моделі двигунів (сервоприводи або крокові двигуни) замість компонента speed, моделювати пружність, тертя та інерцію ланок механізму для зміни жорсткості, замість

ідеального ПД-регулятора та сенсора сили різання застосувати мікроконтролер (бібліотека Arduino 0.1.0 [6]) та тензодатчики. Після побудови та відлагодження параметрів таких реалістичних моделей можна легко перейти до практичної реалізації систем.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Адаптивное управление станками. Под ред. Б. С. Балакишина. Москва : Машиностроение, 1973. 688 с.*
2. *Fritzson P. Principles of object oriented modeling and simulation with Modelica 3.3: a cyber-physical approach. 2nd edition. Wiley-IEEE Press, 2014. 1256 p.*
3. *Копей В. Б. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин: Конспект лекцій. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2011. 160 с.*
4. *Копей В. Б., Угринчук Р. В. Моделювання вільних коливань технологічної системи мовою Modelica // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 31 жовтня — 02 листопада 2018 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ : ДДМА, 2018. С. 93-95.*
5. *Жарков И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. Ленинград : Машиностроение, 1986. 184 с.*
6. *CATIA-Systems/Modelica-Arduino. URL: <https://github.com/CATIA-Systems/Modelica-Arduino>*

Найчук Р.Ю., наук. кер. д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (Україна, м. Київ, НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”)

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО УЧАСТКУ

*Планування виробничих потужностей є одним з найважливіших процесів на етапі проектування промислових комплексів і зі збільшенням використання обчислювальних технологій нового покоління, цей процес став більш ефективним, ніж раніше. Однак для використання експериментальних даних та інформації для планування, потрібні спеціальні знання та ресурси, здебільшого зосереджені в рамках великих підприємств.*

*Capacity planning is one of the most important processes in the design phase of industrial complexes and with the increasing use of new generation computing technologies, this process has become more efficient than before. However, the use of experimental data and information for planning requires specialized knowledge and resources, mostly concentrated within large enterprises.*

Малі та середні підприємства, як правило, не мають достатніх ресурсів для збору великого обсягу експериментальних даних та ресурсів для їх коректної обробки. Більше того, малі та середні підприємства часто не можуть впровадити передові методи та інструменти (наприклад, засоби оптимізації або програмне забезпечення для планування виробничих ресурсів) через брак специфічних знань та спеціально навченого персоналу.

Аналізуючи представлені роботи за схожою тематикою [1-3], робимо висновок, що доцільно додати до імітаційної моделі дослідження, виконанні за допомогою об'єктів *BottleneckAnalyzer* та *SankeyDiagram*. В ході роботи над даною статтею, за допомогою цих досліджень стає можливим наглядно переконатися в наявності вузьких місць у виробничому процесі та проаналізувати матеріалопотоки всередині участку.

Метою даної роботи є вирішення наступних питань, що мають місце при плануванні виробничих потужностей заготівельного участку промислового комплексу “Базис”:

- доцільність використання виробничого обладнання;
- розрахунок виробничих можливостей обладнання при виконанні заданого технологічного процесу;
- знаходження можливих шляхів підвищення продуктивності дільниці.

За вихідним плануванням виробничого комплексу створюємо візуальну 3D-модель заготівельного участку. Завдяки подібній візуалізації стає можливим розгляд питань ергономіки робочого місця, перегляд попередньо створеного плану розміщення обладнання з ціллю внесення корективів. На рисунку 1 наведено візуальну 3D-модель майбутнього цеху.



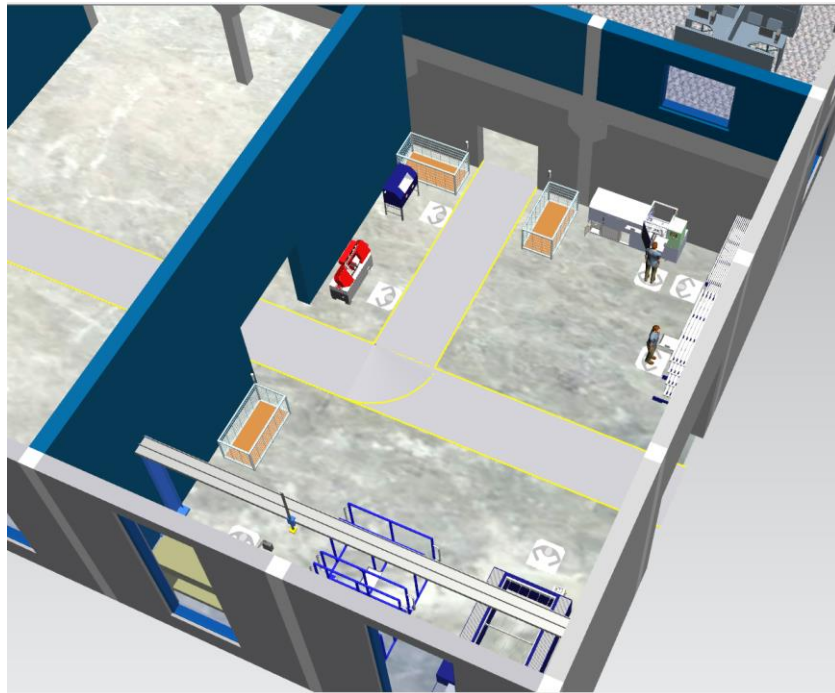


Рисунок 1 - Візуальна модель заготівельного участку

За вихідними даними технічного завдання на виробничий комплекс обрано тип та кількість виробничого обладнання. По отриманим кресленням деталей, що виготовлятимуться промисловим комплексом розроблено технологічні процеси виготовлення деталей, спроектовано та розраховано час оброблення кожної із заготовок, орієнтуючись на вимоги креслення до якості поверхні та матеріалу. За нормативами часу на заготівельні роботи [4], призначено час оброблення заготовок для кожної деталі майбутньої пакувальної машини. Розрахований час обробки заготовки для кожної операції складає:

- для деталі “Стінка” - контурне оброблення на верстаті гідроабразивної різки, матеріал - плита Д16, товщина - 20 мм - 12,21 хв;
- для деталі “Колодка” - контурне оброблення на верстаті гідроабразивної різки, матеріал - плита В95, товщина - 40 мм - 9,10 хв;
- для деталі “Штанга” - відрізання прутка на відрізному верстаті, матеріал - пруток СТ30, діаметр - Ø35 мм - 1,30 хв;
- для деталей рами - відрізання на відрізному верстаті з дискової пилою, матеріал - профільна труба СТ3, переріз - 60x60 мм - 2,40 хв, відрізання листового металу на гідравлічній гільйотині, матеріал - лист 12Х17, товщина - 1 мм - 1,21 хв, очистка на верстаті піскоструминної обробки, матеріал - профільна труба СТ3, переріз - 60x60 мм - 2,16 хв.

Для проведення моделювання створюємо імітаційну модель. За допомогою об'єкту *EventController* встановлюємо проміжок часу для моделювання в один календарний місяць. Засобом *ShiftCalender* призначаємо 12 - годинну робочу зміну та 5 - денний робочий тиждень.

На рисунку 2 представлено імітаційну модель заготівельного цеху.

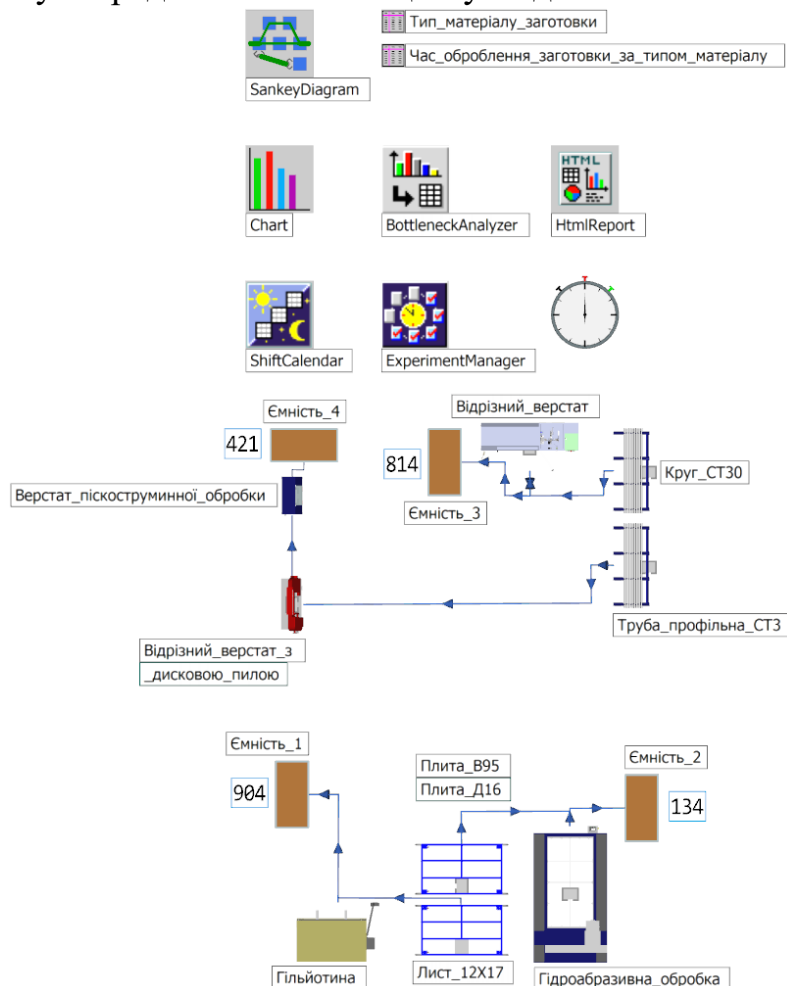


Рисунок 2 - Імітаційна модель заготівельного цеху

Використовуючи об'єкти *DataTable* задано можливість оброблення на верстаті гідроабразивної різки заготовок з плити Д16 та плити В95. В якості можливого варіанту вибору матеріалу заготовки обрано метод *Sequence cyclical*, що якнайточніше відповідає реальним умовам виробництва. Об'єкт *Display*, розміщений поряд з ємностями 1, 2, 3, 4, в яких розташовуються оброблені заготовки, використовуючи атрибут *StatThroughputPerDay*, здатний показувати кількість оброблених заготовок протягом одного робочого дня. Об'єкт *HtmlReport* виводить на екран звіт з результатами роботи участку протягом заданого періоду. Звіт представлено на рисунку 3.

Name	Mean Life Time	Throughput	Throughput per Hour	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Труба_профільна_СТ3	9:29.8239	13060	17.55	100.00%	0.00%	0.00%	51.95%	<div style="width: 51.95%;"></div>

Name	Mean Life Time	Throughput	Throughput per Hour	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Круг_СТ30	3:32.2814	25234	33.92	100.00%	0.00%	0.00%	42.40%	<div style="width: 42.40%;"></div>

Name	Mean Life Time	Throughput	Throughput per Hour	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Лист_12Х17	3:11.0683	28035	37.68	100.00%	0.00%	0.00%	42.39%	<div style="width: 42.39%;"></div>

Name	Mean Life Time	Throughput	Throughput per Hour	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
Плита_В95	25:16.7619	1765	2.37	100.00%	0.00%	0.00%	48.85%	<div style="width: 48.85%;"></div>
Плита_Д16	25:16.4178	1766	2.37	100.00%	0.00%	0.00%	36.27%	<div style="width: 36.27%;"></div>

Рисунок 3 - Звіт з результатами роботи участку

Аналізуючи звіт, можна зробити висновок, що виробництво заготовок нерівномірне, тобто існує велика різниця між кількістю отриманих заготовок з матеріалів Д16 та В95. Це пояснюється складнішим, у порівнянні з іншими, процесом отримання цих заготовок. Наступним кроком є перевірка завантаженості виробничого обладнання, створення візуалізації матеріалопотоків та перевірка виробничого процесу на наявність вузьких місць. Активувавши об'єкт *Chart* отримуємо гістограму завантаженості кожного обладнання. Попередньо встановлюємо величину корисної роботи обладнання відносно загальної роботи на рівні 85%, що означає, що верстат 85% від загального часу працює, а інші 15% часу знаходиться на ремонті чи обслуговуванні. Графік представлено на рисунку 4.

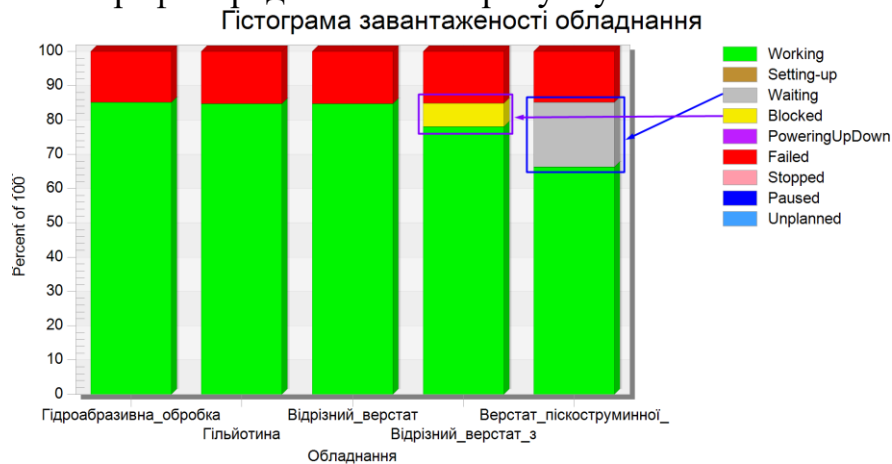


Рисунок 4 - Гістограма завантаженості обладнання

Проаналізувавши гістограму, робимо висновок, що верстат піскоструминної обробки деякий час знаходиться в очікуванні деталей з відрізного верстату з дисковою пилою. Водночас, відрізний верстат з дисковою пилою незначний проміжок часу знаходиться в стані блокування. В загальному випадку це значить, що продуктивність верстату недостатня для підтримання безперервного оброблення заготовок [5]. Наступним кроком є аналіз виробничого процесу на наявність вузьких місць за допомогою об'єкту *BottleneckAnalyzer*. Також завдяки вбудованому функціоналу, *BottleneckAnalyzer* здатний видати звіт з точними даними про час блокування, очікування тощо. Результати аналізу за допомогою *BottleneckAnalyzer* представлено на рисунку 5.

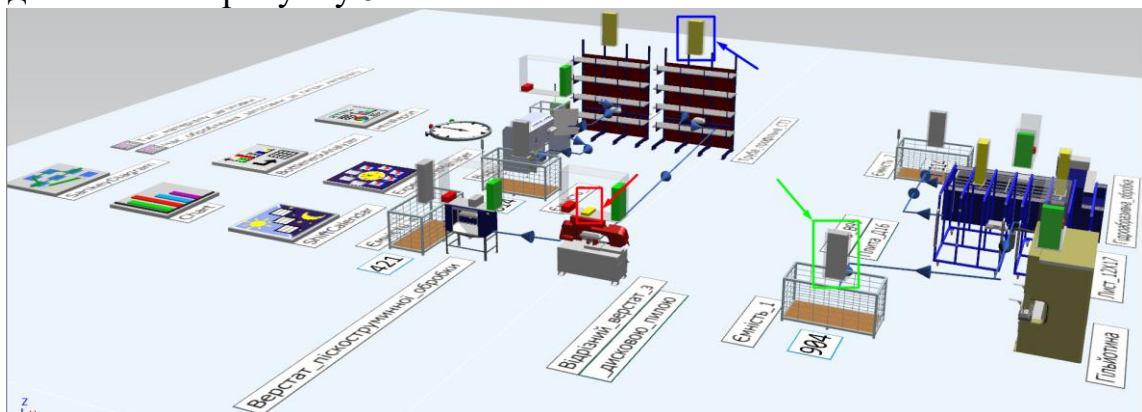


Рисунок 5 - Результати аналізу на наявність вузьких місць

*BottleneckAnalyzer* видає результати у вигляді 3D-гістограми, розміщеної безпосередньо над об'єктом моделі. Аналізуючи представлені графічні дані, робимо висновок, що вузьким місцем цього виробничого процесу є відрізний верстат з дисковою пилою. Найбільш корисну інформацію можна знайти у звіті. Звіт представлено на рисунку 6.

object	real	real	real	real	real	real	real	real	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
string	Верстат	Час корисної роботи	Налаштування	Очікування	Блокування	Запуск	Поломка	Зупинка	Пауза
1	root.Гідроабразивна_обробка	85.11	0.00	0.00	0.00	0.00	14.89	0.00	0.00
2	root.Відрізний_верстат	84.79	0.00	0.00	0.00	0.00	15.21	0.00	0.00
3	root.Гільйотина	84.79	0.00	0.00	0.00	0.00	15.21	0.00	0.00
4	root.Відрізний_верстат_з	78.03	0.00	0.00	6.90	0.00	15.07	0.00	0.00
5	root.Верстат_піскострумин...	66.32	0.00	18.81	0.00	0.00	14.87	0.00	0.00

Рисунок 6 - Звіт BottleneckAnalyzer

Час очікування для верстату піскоструминної обробки складає 18,81 % від загального часу роботи. Період блокування відрізного верстату з дисковою пилою складає 6,9 % від загального часу роботи. Завдяки об'єкту *SankeyDiagram* здійснюється візуалізація матеріалопотоків виробничого процесу. Візуалізацію матеріалопотоків представлено на рисунку 7.

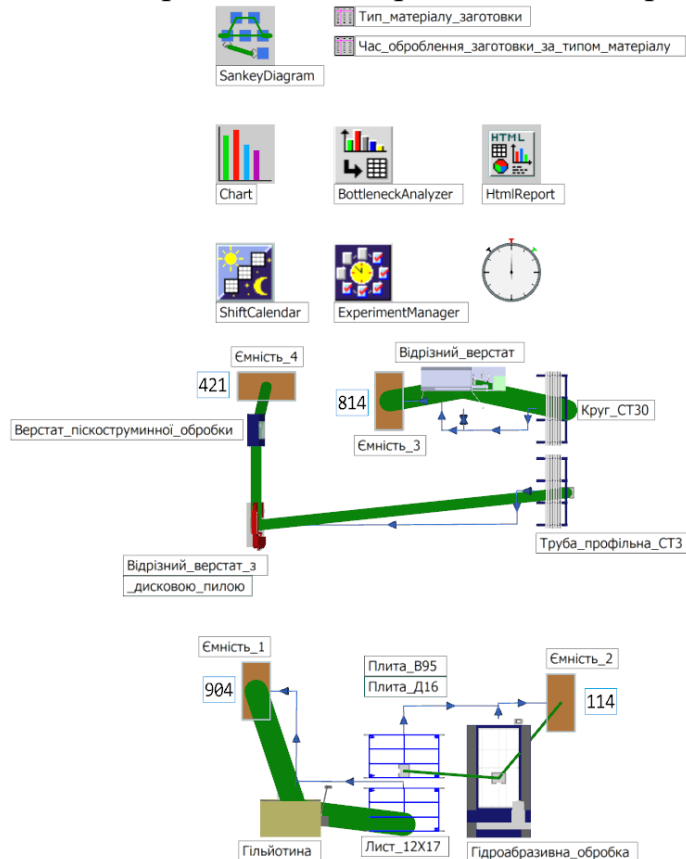


Рисунок 7 - Ілюстрація матеріалопотоків

Об'єкт *SankeyDiagram* представляє матеріалопотоки у вигляді зелених шляхів переміщення заготовок. Товщина шляху залежить від величини матеріалопотоку заготовок, тобто найширший лінії відповідає найінтенсивніший потік матеріалу.

## ВИСНОВКИ

На основі аналізу імітаційної моделі та проведених експериментів можна навести наступні рекомендації:

- необхідно підвищити продуктивність відрізного верстату з дисковою пилою або ж замінити його іншим обладнанням, адже цей верстат є вузьким місцем заготівельного участку;
- необхідно розмістити проміжний контейнер для заготовок між відрізним верстатом з дисковою пилою та верстатом піскоструминної обробки, адже останній верстат знаходиться в очікуванні деталей з відрізного верстату на протязі значного періоду робочого часу;
- необхідно замінити гідравлічну гільйотину на верстат гідроабразивної обробки та скомпонувати технологічний процес таким чином, щоб обробка заготовок з матеріалу В95 та 12Х17 виконувалася на одному верстаті, партіями, що змінюються за циклічною послідовністю. Цей крок здатний зменшити різницю між обсягом виробництва деталей з матеріалів СТ30, 12Х17, СТ3 та Д16, В95.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Furmannova.B., Gabajova.G., Vavrik.V. Design of logistic system using Tecnomatix software / Beata Furmannova, Gabika Gabajova, Vladimir Vavrik. – 2019. – <https://doi.org/10.24132/PI.2019.08948.043-049>.

2. Чижов М.И., Скрипченко Ю.С., Гусев П.Ю. Моделирование технологических процессов в Tecnomatix Plant Simulation / М.И. Чижов, Ю.С. Скрипченко, П.Ю. Гусев // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. — Том 7, № 12.2. — С. 18–20.

3. Ильин Р.А., Бусаров Е.И., Шурыгин А.Ю. Имитационное моделирование производственной системы с применением программного продукта TECNOMATIX Plant Simulation / Р.А. Ильин, Е.И. Бусаров, А.Ю. Шурыгин // Технические науки - от теории к практике. – Новосибирск: СибАК. - 2016. –№ 1(49). - С. 104 – 111.

4. Центральное бюро нормативов по труду при Научно-исследовательском институте труда Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам. Общемашиностроительные нормативы времени на заготовительные работы по металлоконструкциям; “Экономика”: Москва, 1991.

5. Bangsow S. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions / Steffen Bangsow. – Berlin: Springer - 2010. – 300 p.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ

Процеси зворотного видавлювання мають велику кількість схем і їх здійснення і відрізняються різноманітністю деталей. Характерною особливістю процесів зворотного видавлювання є простий і легкий режим силового впливу, як на деформується заготовку, так і на елементи штампового оснащення.

Метою даного дослідження є формозміни заготовки в процесі зворотним видавлюванням, викривлення ділильної сітки і розподіл інтенсивності деформацій на основі методу скінченних елементів (МСЕ) в середовищі QForm 2D [1].

Для моделювання процесу зворотного видавлювання були обрані механічні властивості матеріалу заготовки АД1. Обрані наступні геометричні параметри:  $L$  – висота заготовки ( $L = 25\text{мм}$ ),  $R$  – радіус заготовки ( $R = 25\text{мм}$ ),  $R_1$ ,  $R_0$  – радіусів стінки заготовки ( $R_1 = 7\text{мм}$ ,  $R_0 = 11\text{мм}$ ),  $r$  – радіус закруглення ( $r = 2\text{мм}$ ).

Схеми процесу в початковій і кінцевій стадії представлені на рис.1.

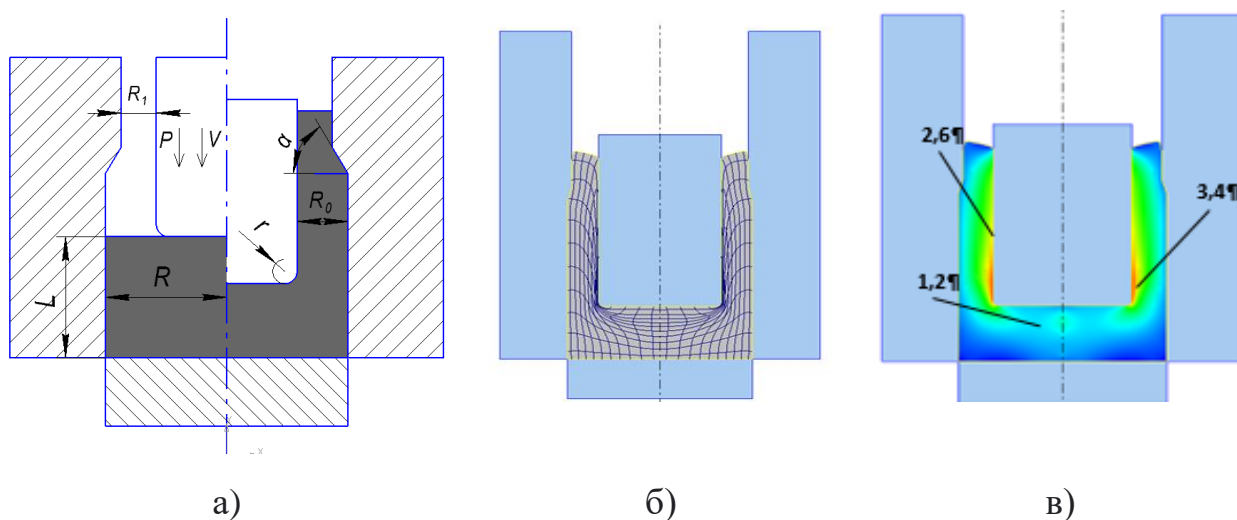


Рис. 1. Схеми процесу зворотного видавлювання (а), викривлення ділильної сітки (б), розподіл інтенсивності деформацій (в)

Як видно з рисунку 1в, найбільша інтенсивність деформацій зосереджена на стінки заготовки  $R_0 = 11\text{мм}$ . Максимальні значення інтенсивності деформації для процесу досягає  $\epsilon_i = 3,4$  (рис. 1в).

### Перечень літератури

1. Алиев И. С. Моделирование процесса штамповки в закрытых штампах методом конечных элементов / Алиев И. С., Абхари П. Б., Ерёмкина А. А. //Пластическая деформация металлов: сб. науч. тр. в 2-х т. - Т.1.-Днепропетровск: Акцент ПП.,2014.- с.192-196.

**Пірогов Д.О.**, наук. кер. д.т.н. проф Воронцов Б.С. (Україна, м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»), д.т.н. проф. Іванов В.О. (Україна, м. Суми, СумДУ)

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВЕРСТАТ – ПРИСТРІЙ – ІНСТРУМЕНТ – ДЕТАЛЬ ПРИ ОБРОБЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОМУ ВЕРСТАТІ**

*У статті розглянуто основні джерела виникнення автоколивань в системі ВПІД, які впливають на ефективність обробки деталі. Викладено методологію та вихідні дані для проведення численного моделювання за допомогою одного із сучасних програмних пакетів ANSYS, DEFORM, LS-DYNA. Дана робота спрямована на забезпечення заданої точності обробки, шляхом вибору оптимальних режимів різання та закріплення заготовки, які мають основний вплив на стійкість та жорсткість системи ВПІД, що в свою чергу впливає на якість оброблення та собівартість.*

The article considers the main sources of self-oscillations in the VPID system, which affect the efficiency of machining. The methodology and initial data for conducting numerous simulations with the help of one of the modern software packages ANSYS, DEFORM, LS-DYNA are presented. This work is aimed at ensuring a given accuracy of processing, by selecting the optimal modes of cutting and fixing the workpiece, which have a major impact on the stability and rigidity of the VPID system, which in turn affects the quality of processing and cost.

**Актуальність та постановка проблеми.** У наш час у промисловості широко використовуються верстати із числовим програмним керуванням (ЧПК), тому все більше уваги приділяється на оптимізацію методів механічного оброблення деталей. Оброблення різанням є одним із основних видів формоутворення в машинобудуванні, наукові знання в цій галузі досягли вершин, тому значний розвиток отримали технології віртуального чисельного моделювання, що дозволяє за найменший час, без витрат на заготовки та додаткову енергію виконати оптимізацію та змоделювати процеси оброблення [1].

Так як в сучасному машинобудуванні найбільш поширеним видом механічного оброблення є процес різання, виготовити деталь з абсолютною точністю неможливо. Порівнюючи дві деталі – реальну і задану кресленням, можна встановити, що вони мають відмінності. Ця відмінність визначається недосконалістю виготовлення реальної деталі, а ступінь відмінності характеризує точність оброблення. На появу відхилень дійсних розмірів і форми оброблюваної деталі від заданих на кресленні впливають безліч факторів [2].

Однією з основних причин виникнення похибок механічного оброблення є жорсткість технологічної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПІД)». Цю похибку можна поділити на дві основні групи:

1. Похибка статичного налаштування системи ВПІД.

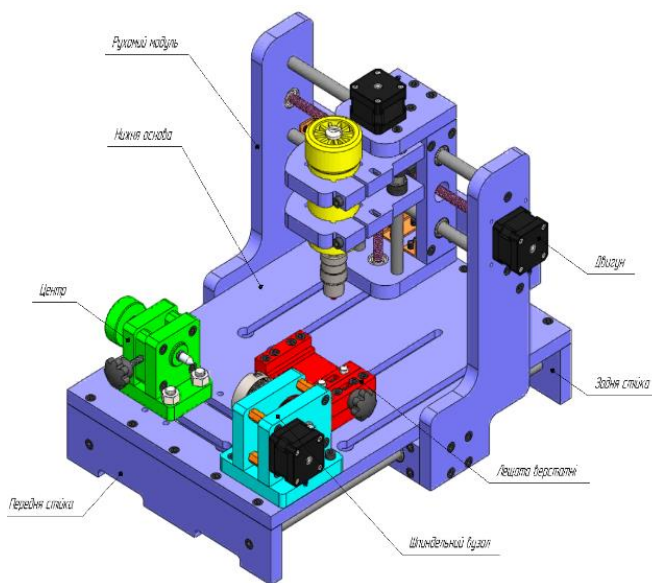
## 2. Похибка динамічного налаштування системи ВПД.

Ступінь впливу вказаних факторів залежить від характеру виконуваного оброблення. Похибка статичного налаштування системи в основному залежить від якості і стану технологічних засобів виробництва. Похибка динамічного налаштування системи ВПД найбільш сильно впливає на точність оброблення, викликає змінні пружні відхилення технологічної системи і залежить від жорсткості системи, стану технологічного обладнання та пристроїв, а також від процесу різання – якості оброблюваного матеріалу і інструментів, припусків на оброблення, зміну зусиль різання із-за пластичних деформацій при знятті стружки, теплових явищ в системі ВПД [3].

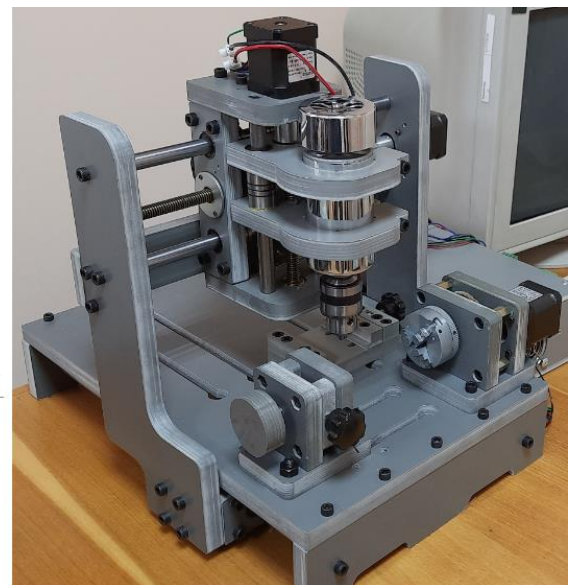
У процесі механічного оброблення всі вказані вище фактори змінюються і відповідно відображаються не тільки на фізико-механічному стані системи ВПД, але й впливають на точність оброблення. Для того, щоб забезпечити задану точність при відповідному режимі оброблення, необхідно знати сумарні похибки і жорсткість динамічної системи, а при наявності обладнання, заготовки і інструменту режими різання найбільш суттєво впливають на стан системи ВПД. Зі збільшенням яких, швидкості різання, подачі і глибини різання зростають і похибки оброблення. Тому визначення режимів різання із врахуванням заданої точності і жорсткості системи ВПД являє собою одну з основних проблем у технології машинобудування [2].

**Мета.** Метою даної роботи є забезпечення заданої точності виготовлення деталі шляхом вибору оптимальних умов оброблення та режимів різання.

**Методологія.** Для проведення роботи буде виконаний експеримент на вертикально-фрезерному верстаті (рис. 1) [6].



а)



б)

Рисунок 2 – Вертикально-фрезерний верстат:



а – просторова модель, б – експериментальна модель

Для експериментальних досліджень обрана деталь призматичної форми з габаритними розмірами довжина 55 мм, ширина 30 мм, висота 20 мм. Матеріал оброблюваної заготовки – дерево. Обробленню підлягають такі поверхні: циліндричні отвори діаметром до 6 мм; шпонковий паз із розмірами довжина 16 мм, ширина 5 мм, глибина 5 мм, уступ з розмірами довжина 55 мм, шириною 5 мм, глибиною 10 мм. Оброблення зазначених поверхонь потребує переустановлення заготовки (рис. 3). Для усіх варіантів використовуються машинні лещата з схемою базування «за трьома площинами».

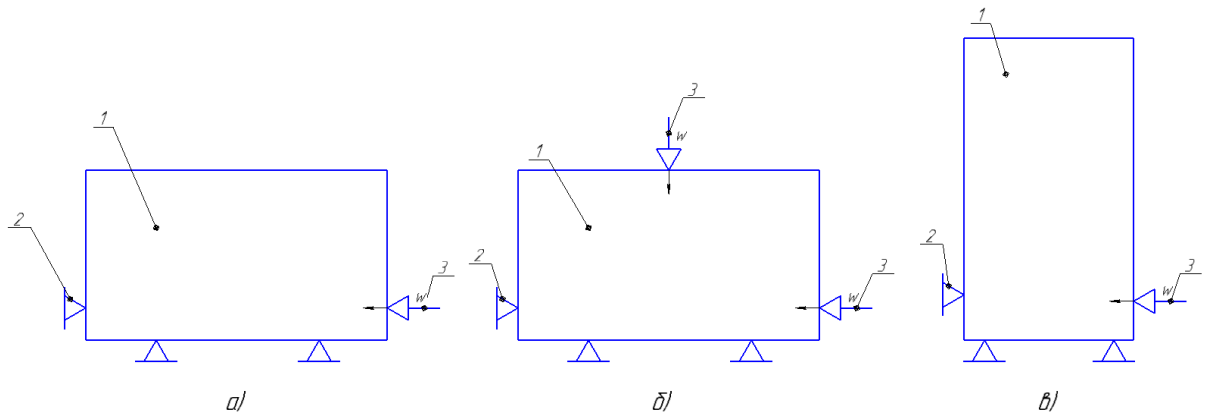


Рисунок 3 – Варіанти базування і закріплення заготовки:

а – затискання рухомою губкою лещат; б – затискання рухомою губкою лещат із додатковим затиском прихоплювачами; в – затискання рухомою губкою лещат; 1 – заготовка, 2 – опора пристрою, 3 – сила затиску від затискного механізму.

Обов'язковою умовою для проведення експерименту є перевірка всіх робочих вузлів верстата і покращена їх жорсткість шляхом підтягування гвинтів для кріплення. Буде проведено механічне оброблення деревини, фрезерування шпонкового пазу та уступу, а також свердління отворів. Залежність статистичних і динамічних відхилень деталі від швидкості різання та подачі, буде зафіксовано основний вплив цих факторів на точність виготовленої деталі, продуктивність оброблення та якість оброблених поверхонь, шляхом наочного визначення якості поверхні, а також за допомогою таких мікрометричних засобів вимірювання, як мікрометр, нутромір і глибиномір з індикатором часового типу, контроль шорсткості за допомогою профілометра, а також чи зберігається стійкість інструмента. По цим факторам можна судити наскільки раціонально і ефективно виконується оброблення заготовки. Під час виконання дослідів необхідно знати, як знайти складові режими різання на практиці, такі як глибина різання та подача. Режими різання будуть обиратися в залежності від ряду умов: припусків на обробку, міцності і жорсткості матеріалу заготовки, інструмента і потужності

верстата. Будуть розглянуті пружні деформації і навантаження при обробці, можливі температурні деформації та теплові явища, які можуть знизити точність оброблення.

У роботі буде виконано чисельне моделювання та експериментальні дослідження.

Для вирішення цих задач доцільним є використання сучасних програмних модулів, таких як ANSYS, LS-DYNA, DEFORM за допомогою яких буде виконане чисельне моделювання. Планується виконати дослідження напружено-деформованого стану за допомогою програмного комплексу ANSYS, де розраховуються переміщення вузлів верстата, напруження та сили реакції. Далі, виконається статичне моделювання для визначення переміщень та напружень при умові статичних навантажень як для лінійних так і нелінійних деформацій. При модальному аналізі досліджуються частоти власних коливань, а при гармонічному аналізі – амплітуди коливань, що виникають при обробленні. Спеціалізований інженерний комплекс DEFORM дозволить проаналізувати процеси механічного оброблення, оптимізувати технологічні процеси безпосередньо за комп'ютером, а не в ході проведення експерименту на верстаті. За допомогою LS-DYNA планується виконати динамічний аналіз, а саме реакцію матеріалів на короткоперіодичні навантаження із високою амплітудою.

Основна ідея запропонованого способу полягає у виконанні чисельного моделювання процесів вимірювання показників механічних властивостей оброблюваного матеріалу з подальшим зняттям показань з одержуваних зразків оброблених в реальних умовах, їх порівняння та аналіз, як результат буде запропоновано оптимальні умови оброблення та режими різання, використовуючи які ми зможемо визначити оптимальний критерій точності, для подальшого ефективного оброблення.

**Висновок.** У результаті використання даних сучасних інженерних комплексів та при порівнянні отриманих результатів чисельного моделювання із результатами оброблення, можливо зробити висновок про наявність деформацій, навантажень, теплових явищ, вібрацій у системі ВПД, запропоновано способи їх зменшення, як результат буде встановлено раціональні режими оброблення. Раціональними будуть ті режими оброблення, при використанні яких, можна значно зменшити їх вплив на жорсткість системи ВПД, не знижуючи продуктивності верстата і не підвищуючи собівартості виготовленої деталі. Тому необхідність дотримання режимів різання є ключовим у забезпеченні оптимальної жорсткості в системі ВПД.

Подальші плани полягають у наступному: підтвердити ефективність даних досліджень на виробництві, в умовах використання універсальних та багатоцільових верстатів із ЧПК.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] *Криворучко Д. В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы / Д. В. Криворучко, В. А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2012. – 496 с.*
- [2] *Мерданов Ш. М. Технология машиностроения / Ш. М. Мерданов, В. В. Шефер. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – 354 с.*
- [3] *Власов С. Н. Справочник молодого наладчика автоматических линий и специальных станков / С. Н. Власов, Б. И. Черпаков. – Москва: Высшая школа, 1977. – 248 с.*
- [4] *Колев К. С. Вопросы точности при резании металлов / К. С. Колев. – Москва-Киев: МАШГИЗ, 1961. – 130 с.*
- [5] *Филонов И. П. Инновации в технологии машиностроения : учеб. пособие / И. П. Филонов, И. Л. Баршай. – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 110 с.*
- [6] *Besedin M., Pirogov D., Ivanov V., Vorontsov B., Pavlenko I., Seminsky J. Assembling technology of vertical milling machine tool. PRINCIPIA CYBERNETICA 2020. 43 Stretnutie ústavov a katedier automatizácie, kybernetiky a informatiky technických vysokých škôl a univerzít z českej republiky a slovenskej republiky, September 2-4, 2020. Presov, Slovak Republic. P. 17-1–17.7.*

Пунда М.С., Горецька А.Є., Назарова О.С. (Україна, Запоріжжя, НУ «Запорізька політехніка»)

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОЛОВНОГО РУХУ ПОЗДОВЖНЬО-СТРУГАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

*Проведено аналіз технологічних особливостей поздовжньо-стругального верстата, вибір потужності електродвигуна і перевірку за нагрівом, розраховано параметри силової частини електроприводу, параметри математичної моделі контуру струму та швидкості, розроблено імітаційну модель, отримано перехідні процеси у пакеті Matlab, досліджено перехідний процес контуру швидкості при оптимізації коефіцієнтів ПІД-регулятора засобами Matlab.*

*The analysis of technological features of the longitudinal planing machine, the choice of electric motor power and heating test is carried out, the parameters of the electric part of the electric drive, parameters of mathematical model of current and speed circuit are calculated, the simulation model is developed, transients in Matlab package PID-regulator by means of Matlab.*

**Вступ.** Більша частина виробленої в усьому світі електричної енергії перетворюється за допомогою електродвигунів у механічну, що у свою чергу вимагає створення оптимальних систем автоматичного керування (САК). Тому у сучасному світі спостерігається стрімкий розвиток різноманітних методів побудови САК. Відповідно постає питання якісної перевірки таких систем, але не завжди зручно та вигідно, а деколи й не можливо, провести тестування модернізованої системи керування на реальному технологічному об'єкті. У цьому випадку рішення полягає у застосуванні різного роду імітаторів, моделей електроприводу промислового устаткування, які відтворюють і використовують різні чинники у моделі, тим самим спрощуючи умови тестування. Імітація або моделювання - це метод дослідження явищ і процесів, що ґрунтується на заміні оригіналу об'єкта досліджень іншим, подібним до нього, тобто його моделлю. Імітація процесів широко застосовується у таких галузях промисловості як машинобудівна, автомобільна, роботобудування, водно-морська, аерокосмічна, електрична інженерія тощо. При цьому тестуються розроблені програми керування системою на наявність помилок. Це дозволяє визначити якісні і кількісні показники роботи розроблених регуляторів. Тому під час процесу проектування метод імітації або моделювання є одним із найбільш актуальних кроків процедури тестування і перевірки нових систем.

**Метою виконання роботи** – розробка імітаційної моделі системи автоматичного керування електроприводом головного руху механізму переміщення столу поздовжньо-стругального верстату та проведення досліджень налаштування і оптимізації регулятора швидкості цієї системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У наш час комерційно випускаються платформи для реалізації імітації такими фірмами як Opal-RT, dSPACE, RTDS, Autobox, Mathwork xPC [1]. Ці системи програмуються безпосередньо на мові програмування С або у програмному пакеті Matlab/Simulink [2-3] та дозволяють подальшу компіляцію до мови С. Завдяки вбудованій функції контролю часу циклу моделювання гарантовано досягається імітація у режимі реального часу. Інший варіант реалізації системи імітації включає застосування програмної оболонки LabView [4], що потребує значно менших фінансових затрат та є більш доступним, але в цьому разі не має механізму гарантування відповідності до режиму реального часу.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Поняття «стругальний верстат» у перекладі з англійської мови - це тип металообробного верстата, який використовує лінійний відносний рух між заготовкою та інструментом для різання заготовки. Вони також призначені для утворення плоских поверхонь на заготовках, які або неможливо, або незручно обробляти на фрезерних верстатах. Заготовка, яка підлягає обробці закріплюється на столі верстаті, який робить зворотно-поступальний рух біля нерухомого різцевого супорта. Стружка знімається нерухомим різцем (або різцями) лише при робочому ході столу - хід уперед. Подача різця відбувається на кожен крок зазвичай під час реверсування столу зі зворотного ходу на робочий, так само перед початком робочого ходу столу. Такі верстати характеризуються найбільшою довжиною (хід столу) та найбільшою шириною стругання, а також найбільшою висотою підйому поперечини (траверси) з супортами: від цих величин залежать найбільші розміри заготовок, які можна оброблювати на даному верстаті [5].

У разі створення математичної моделі її відповідність до об'єкту також може визначатися з застосуванням елементів імітації. При ідеальному випадку процесу імітації для випробуваного обладнання об'єкт, що імітується, нічим не відрізняється від реального.

В ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink [6-7]. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків (рис.1).

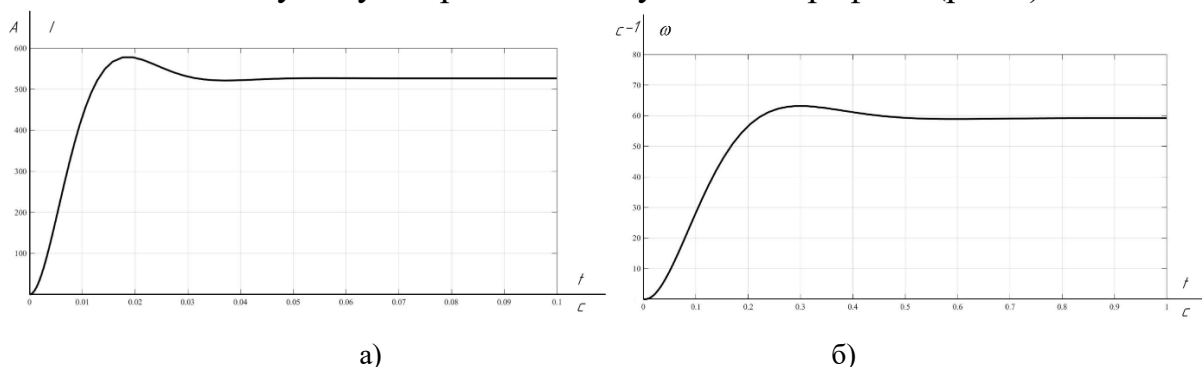


Рисунок 1 – Перехідний процес контуру струму (а) і швидкості (б).

Структурна схема САК з ПІД-регулятором показана на рис. 2, де  $g$  – вхідний сигнал,  $y$  – вихідний сигнал,  $x = g - y$  – помилка системи,  $u$  – керуючий сигнал,  $W_{ПІД}(s)$  – передаточна функція ПІД-регулятора,  $W_o(s)$  – передаточна функція підсилювача потужності, виконавчого органу та об'єкта керування [8].

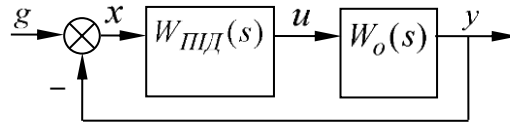


Рисунок 2 – Структурна схема САК з ПІД-регулятором

Передаточна функція ідеального ПІД-регулятора має вигляд

$$W_p(s) = K_{II} + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (1)$$

При цьому перша складова являє собою пропорційну ланку (П), друга складова – інтегруючу ланку (І), третя складова – диференціююча ланка (Д). На підставі цього регулятор має назву ПІД-регулятор. Існують також П-, ПІ-, та ПД-регулятори, структура яких залежить від того, які складові входять до регулятора. Для покращення заводозахищеності на практиці третю складову у (1) замінюють на диференціюючу ланку з уповільненням. Інерційна складова зі сталою часу виконує роль фільтра.

$$W_p(s) = K_{II} + \frac{K_I}{s} + \frac{K_D s}{T_\phi s + 1} \quad (2)$$

Включення П-частини дозволяє зменшити статичну помилку та час перехідного процесу. Включення І-частини дозволяє зробити систему астатичною. Включення Д-частини дозволяє зменшити швидкісні помилки. Загальний перехідний процес в ПІД-регуляторі є сумою процесів в П, І та Д-частинах.

За допомогою стандартних блоків Матлаб/Симулінк розроблено підсистему ПІД-регулятора, у якому використані буквені позначення коефіцієнтів регулятора з метою подальшого налаштування засобами Матлаб. Замінено П-регулятор швидкості з налаштуванням на модульний оптимум на ПІД-регулятор, додано блок Check Step Characteristics для використання оптимізації параметрів регулятора засобами Матлаб [9-11] (рис. 3).

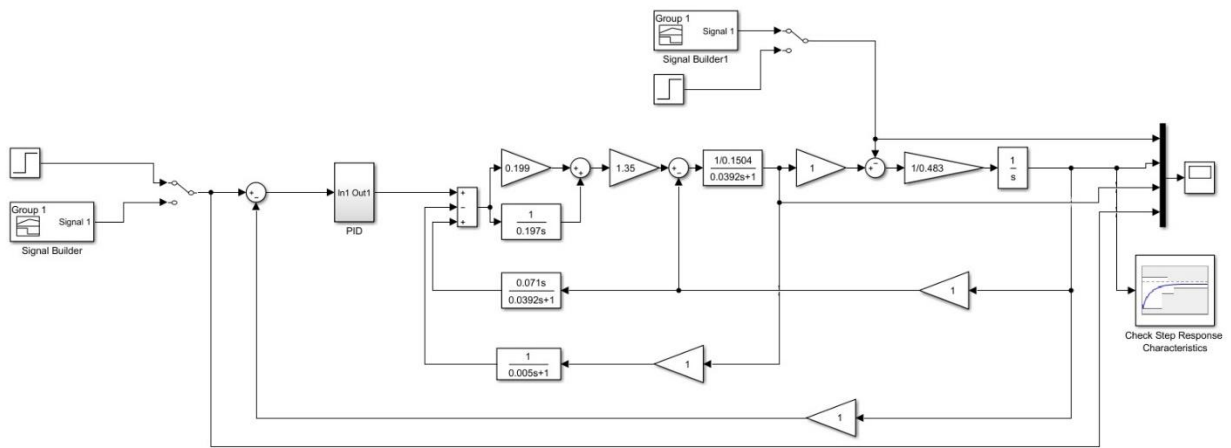


Рисунок 3 – Імітаційна модель підпорядкованої системи автоматичного керування з ПІД-регулятором швидкості, оптимізована засобами Матлаб

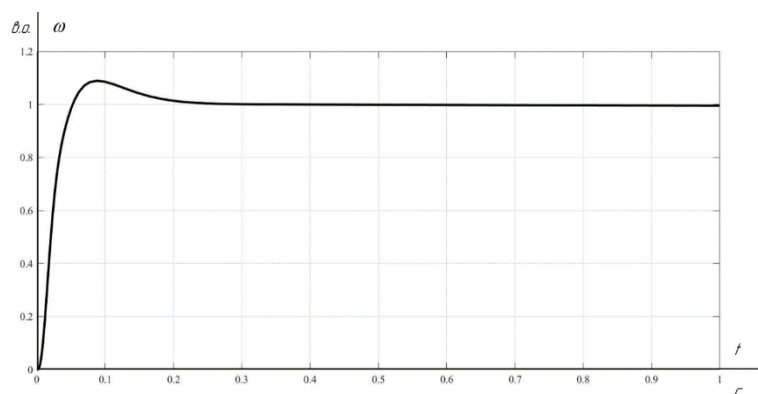


Рисунок 4 – Перехідний процес САК з ПІД-регулятором у контурі швидкості, що оптимізована засобами Матлаб

Для порівняння електромеханічних процесів систем автоматичного керування верстата [8] підпорядкованого типу з ПІ-регулятором струму у внутрішньому контурі та П-регулятором швидкості у зовнішньому контурі та оптимізованої засобами Матлаб з ПІД-регулятором швидкості у зовнішньому контурі розроблено комп'ютерні моделі (рис. 3) та отримані графік перехідного процесу конкурсу швидкості з розробленим регулятором (рис. 4).

Отже, система автоматичного керування оптимізована засобами Матлаб у порівнянні показників якості керування з підпорядкованою системою автоматичного керування показала кращі результати щодо швидкодії системи, але гірші результати щодо перерегулювання у порівнянні з налаштуванням на модульний оптимум.

**Висновок.** Складено функціональну схему САК регулювання швидкістю; розраховані регулятори струму та швидкості; розроблено комп'ютерні моделі САК швидкістю підпорядкованого типу з внутрішнім контуром струму і ПІ-регулятором струму, який налаштовано на модульний оптимум, та зовнішнім контуром швидкості з П-регулятором швидкості, який також налаштовано на модульний оптимум; розроблено комп'ютерні моделі САК швидкістю підпорядкованого типу з внутрішнім контуром струму і ПІ-

регулятором струму, який налаштовано на модульний оптимум, та зовнішнім контуром швидкості з ПІД-регулятором швидкості, який оптимізовано засобами Матлаб. Система автоматичного керування оптимізована засобами Матлаб у порівнянні показників якості керування з підпорядкованою системою автоматичного керування показала кращі результати щодо швидкодії системи, але гірші результати щодо перерегулювання у порівнянні з налаштуванням на модульний оптимум.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Galan, Daniel, Heradio, Ruben, Luis de laTorre, Dormido, Sebastian, Esquembre, Francisco. (2016), *Virtual Control Labs Experimentation: The Water Tank System. IFAC-Papers On Line*, vol. 49, Issue 6, , pp. 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.158>
2. *Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговой, Д.Й. Родькін, Г.Ю. Сисюк, О.В. Садовой – Кременчук, 2001. – 410 с.*
3. Бакаев В.Н. *Моделирование систем: учебное пособие / В.Н. Бакаев. – Вологда: ВоГТУ, 2013. - 159 с.*
4. Olejnik, P., Awrejcewicz, J. (2019), *A mechatronic experimental system for control of fluid level in LabVIEW, 20th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krakow-Wieliczka, Poland, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765959>.*
5. *Повздожньо-стругальні верстати – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Повздожньо-стругальні\\_верстати](https://uk.wikipedia.org/wiki/Повздожньо-стругальні_верстати).*
6. Nazarova Olena. *Computer Modeling of Multi-Mass Electromechanical Systems. The Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020), Vol. 2608, pp. 489-498.*
7. Sadovoi O., Nazarova O., Bondarenko V., Pirozhok A., Hutsol T., Nurek T., Glowacki Sz. *Modeling and research of electromechanical systems of cold rolling mills. Monograph. – Krakow: Traicon, 2020. – 138 p. ISBN 978-83-65180-22-3*
8. Назарова, О.С. *Процес обробки виробу на поздовжньо-стругальному верстаті / О.С. Назарова, А.Є. Горецька // Тиждень науки-20 Електротехнічний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С. 163-165.*
8. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Майданский И.Я. *Идентификация и оптимизация параметров электромеханической системы методом компьютерного моделирования // Вісник ХПІ, 2010, №28. - С.45-48.*
10. Чермалых А.В., Майданский И.Я., Михайлов А.А. *Оптимизация электромеханических систем с ПИД-регулятором методом компьютерного моделирования // Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» научно-технического журнала «Электроинформ». – Львов: ЕКОинформ, 2009. – С. 17-20.*
11. Жученко А. І., Ладієва Л. Р., Дубік Р. М. *Динамічна оптимізація з використанням MATLAB та SIMULINK. – К.: НТУУ “КПІ”, 2010. – 209с.*



**Сеник Н.Ю.** наук. кер. к.т.н., доц. **Стецько А.Є.** (Україна, м. Львів, Українська академія друкарства).

## **ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ ДИФУЗІЙНОГО НАСИЧЕННЯ**

*Подано нові розробки комплексного методу зміцнення спряжених поверхонь деталей поліграфічних та пакувальних машин. Розроблено нові рецептури хімічного покриття та економні режими їх нанесення і наступної хіміко-термічної обробки дифузійного карбонування та борування і карбонування для зміцнення швидкозношувальних поверхонь деталей машин тіл обертання.*

*New developments of a complex method of strengthening the conjugate surfaces of parts of printing and packaging machines are presented. New formulations of chemical coating and economical modes of their application and subsequent chemical-thermal treatment of diffusion carbonation and drilling and carbonization have been developed to strengthen the wear surfaces of machine parts of rotating bodies.*

У поліграфії багато машин, в яких цілі механізми чи окремі деталі працюють в умовах корозійного та корозійно-механічного зношування. Захистити виріб від корозії можна за рахунок зміни хімічного складу поверхневого шару при дифузії в нього металів чи елементів, які при взаємодії з основним металом будуть забезпечувати необхідний опір дії корозійного середовища. Такі поверхневі шари називаються дифузійними.

Дифузійні карбідні покриття є ефективним засобом захисту металів і сплавів від корозійного впливу агресивних середовищ. З допомогою дифузійних покриттів на поверхні виробу можна отримати дифузійні шари, які характеризуються не тільки підвищеною корозійною стійкістю, але і високими механічними властивостями. Це дозволяє застосовувати такі покриття в умовах корозійно-механічного зношування.

Попри це, використання ХТО обмежується фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу, і розроблення нового методу зміцнення з якісно та кількісно вищими характеристиками є актуальним завданням. Синтез методів та способів зміцнення для отримання робочих поверхонь деталей машин з новими якісними та кількісними характеристиками є одним із перспективних напрямків у розвитку сучасних зміцнювальних технологій.

Дослідження зі зміцнення швидкозношувальних деталей машин проводяться у всьому світі в досить широкому спектрі. Проведене дослідження дифузії вуглецю в залізному листовому матеріалі при газово-твердому знеуглецюванні в слабкій окислювальній атмосфері ( $\text{Ar} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ), мікроструктури залізовмісних матеріалів після знеуглецювання спостерігали за допомогою СЕМ [1]. У цьому дослідженні було виявлено градієнт вуглецю після знеуглецювання в залізному листовому матеріалі за

напрямок товщини. Результати показали, що лист заліза вздовж напрямку товщини після зневуглецювання складався з трьох шарів. Глибина шару зневуглецювання показала хорошу лінійну залежність від квадратного кореня часу зневуглецювання. Міграція вуглецю в зразку складалася зі стабільного розкладання вуглецю та вільної дифузії вуглецю. Міграція вуглецю на стадії  $S_2$  залізного листа була контрольним етапом усього процесу зневуглецювання.

Опубліковані дані [2] дифузії вуглецю в аустеніті відтворюються за оцінками в повністю аустенітному діапазоні, а потім екстрапольовані в діапазон температур фазового перетворення. Дані обмежені температурою вище  $750^\circ\text{C}$ . У цьому дослідженні проводяться нові експерименти для визначення коефіцієнта дифузії вуглецю в аустеніті при температурах до  $500^\circ\text{C}$ . Експерименти з цементації проводяться в аустенітному діапазоні для Fe-1,5 pct Mn 0,13 pct C і сплаву Fe-31 pct Ni (мас.%). Цей метод вперше затверджений на сталі Fe-C-Mn. Експерименти з цементації проводять на сплаві Fe-31-Ni при  $900^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$ ,  $700^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$  та  $500^\circ\text{C}$ .

Борування та цементація тонкозернистої надпластичної нержавіючої сталі досліджується в роботі [3]. Повідомляються про нові експериментальні результати для дрібнозернистого Ti88.5Al4.5V3Fe2Mo2. Досліджено дифузію бору в надпластичний сплав Ti88.5Al4.5V3Fe2Mo2.

У роботі [4] показано, що пластичне попереднє напруження посилює дифузію вуглецю та бору. Ми отримуємо цементовані бором шари з однорідною структурою та поліпшеними фізико-хімічними властивостями, зміцнені дрібно розділеними карбідами бору.

Авторами [5] були проаналізовані технологічні аспекти процесів свердління з урахуванням переваг та недоліків кожного методу. Вказано на вплив методів свердління на мікроструктуру борованих матеріалів. Найбільше уваги в цій главі було присвячено процесам нанесення порошку, електрохімічному боруванню в бурі, а також боронізації газу із застосуванням галогенідів бору або боранів.

У роботі [6] було виявлено, що дифузійний фронт боридного шару (BL) має пилкоподібну форму, тоді як у RE-боросульфідного шару (RBSL) пластинчастий. На відміну від шару BL, шар RBSL є компактним, безперервним і плоским. Утворення фаз FeS,  $\text{Fe}_2\text{B}$  та FeB на підкладках було підтверджено аналізом оже-електронної спектроскопії. Випробування на корозійну стійкість із використанням методу зношення показало, що корозійна стійкість шару RBSL є кращою, але зменшується швидше із часом, ніж шар BL.

Метою даної роботи є розроблення нового методу поверхневого зміцнення дифузійним насиченням, що забезпечує необхідні якісні та кількісні показники деталей поліграфічних та пакувальних машин.

Враховуючи вищенаведені дослідження, для забезпечення пластичності та збільшення дифузійного шару перед процесом ХТО слід провести хімічне Ni-Co-P осадження, що забезпечить присутність у зміцненому поверхневому

шарі нікелю, який одночасно підвищує і міцність і пластичність, а наявність фосфору виступатиме як твердорозчинний зміцнювач, конкурентноздатний щодо марганцю та кремнію. Також, хімічне осадження суттєво впливає на морфологію отриманих зміцнених шарів, – перш за все дозволяє добитися їхньої композитної будови значної товщини. Така комплексна зміцнювальна обробка є оптимальною для деталей, що працюють у важких умовах тертя в агресивних середовищах, для забезпечення їхнього максимального ресурсу.

Дифузійне насичення проводять на деталях, виготовлених із сталі (0,45 і 1,2% вуглецю). Комплексний метод складається з декількох етапів. Основними стадіями є хімічне осадження та дифузійне насичення поверхонь деталей машин.

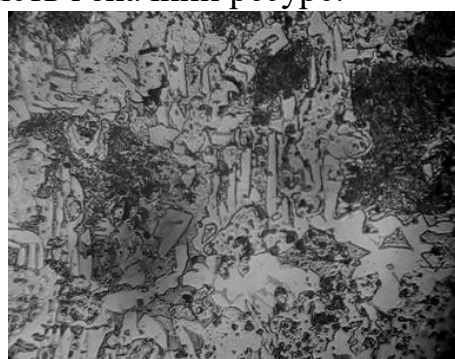
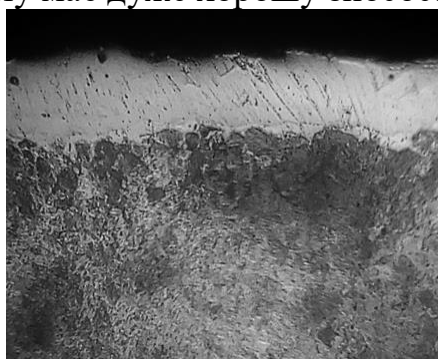
Механічна обробка поверхонь деталей проводиться до розміру, який враховує нарощування поверхні під час хімічного осадження та дифузійного насичення. Потрібне механічне очищення, знежирення, а потім декапіювання, що значно активізує поверхню до осадження. Декапіювання проводиться в кислотах з подальшим промиванням.

Під час хімічного осадження слід подбати про те, щоб підвішені зразки не контактували між собою і щоб середовище мало рН 9–10.

Хіміко-термічну обробку проводили в насичених порошкових сумішах у ретортах з плавкими затворами.

Товщина обложеного хімічного покриття становить приблизно 8-10 мкм. Нанесений хімічний шар має псевдоаморфну структуру. Експериментально встановлено, що температура плавлення цього хімічно нанесеного шару досягає 720–740°C. Завдяки низькій температурі плавлення хімічний шар значно прискорює дифузійні процеси під час хіміко-термічної обробки. При нагріванні хімічний шар спочатку плавиться плямами (при температурі 700–720°C), які вже є джерелами швидкої дифузії елементів, що насичують поверхневий шар.

Нанесений хімічний шар також є джерелом насичуючих елементів, які дифундують під час хіміко-термічної обробки. Наприклад, дифузія хімічного елемента Ni з хімічно нанесеного шару призводить до значного позитивного ефекту, оскільки Ni має властивості одночасно збільшувати твердість і пластичність. Нікель дифундує на поверхню і розміщується на кордонах зерен карбіду і бориду – обволікає їх (рис. 1). Така структура з армованого матеріалу має дуже хорошу зносостійкість і значний ресурс.



а) б) ×600

Рис. 1. Мікроструктура дифузійного зміцненого шару після хімічного осадження та дифузійного: а) корбонування, б) борування

Для деталей, виготовлених із конструкційної сталі та хімічно нанесених згідно запатентованих рецептур, застосовували дифузне насичення карбоном за режимами: температура насичення 950°C, час насичення 5 год., ізотермічна температура витримки 727°C, час ізотермічного витримування становить 1 год.

Після хімічного осадження та хімічного термічного насичення карбоном деталі машин отримують зміцнені шари значної товщини – до 250 мкм. Структура зміцнених шарів – цементит з твердістю не менше 8000 МПа (рис. 2, а). Такі шари мають значні переваги: низьку шорсткість та хвилястість поверхні, значну товщину та відсутність беззуглецевої поверхні під дифузійним шаром (рис. 2, б). У переважній більшості зміцнених таким чином деталей машин не буде необхідності в остаточній механічній обробці. Недоліком таких армованих шарів є їх крихкість, тому їх не можна застосовувати до деталей, що працюють при високих динамічних навантаженнях.

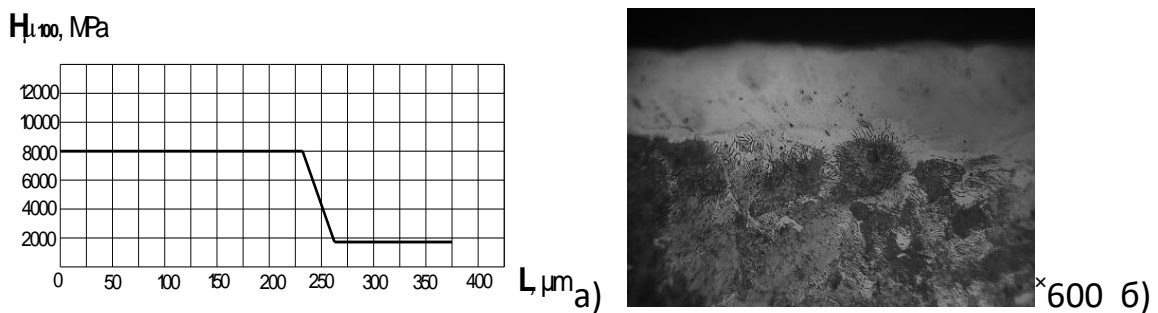


Рис. 2. а) мікротвердість цементитного дифузійного шару; б) мікроструктура дифузійного цементитного шару

Для усунення згаданого недоліку було проведено наступне посилення деталей машин: хімічне осадження запатентованими рецептурами та сумісне дифузійне насичення бором і карбоном.

Хімічне осадження проводили у водному розчині протягом 45 хвилин і отримали товщину 8-10 мкм. Хіміко-термічну обробку проводили при температурі 950°C протягом 5 годин. Під час нагрівання проводили ізотермічну витримку при 727°C протягом 1 години. На поверхнях деталей формуються дифузійні шари значної товщини (до 500 мкм) та твердості (до 14000 МПа інтегральної твердості) (рис. 3). Структура залежить від осадженого хімічного шару (рис. 4).

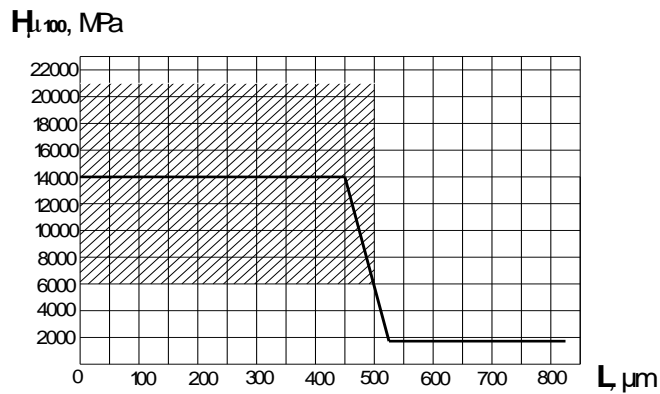


Рис. 3. Мікротвердість зміцненого шару деталей після дифузійного карбонування і борування

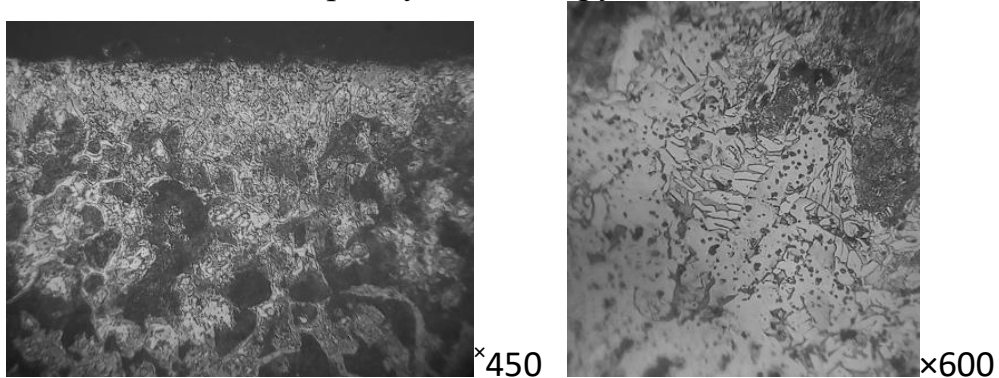


Рис. 4. Дифузійний зміцнений шар на поверхнях швидкозношувальних деталей, отриманих після ХП + ХТО (С-В).

### ВИСНОВКИ

Реалізація методу підвищення якісних характеристик робочих поверхонь деталей поліграфічних машин, виготовлених із середньовуглецевих та високовуглецевих сталей дозволяє отримувати зміцнені дифузійні шари композитної будови.

Хімічне осадження, нанесене на поверхню зміцнювальної частини перед хіміко-термічною обробкою (дифузійне насичення карбоном, дифузійне насичення бором і карбоном), суттєво змінює морфологію дифузійних шарів – товщина до 500 мкм і твердість до 14000 МПа.

Результати досліджень показують, що хімічні осадження та дифузія карбону повинні використовуватися для зміцнення деталей, що працюють при низьких динамічних навантаженнях та питомих тисках. Після обробки ХТО немає необхідності в механічній обробці. Для важких фрикційних та зношуваних деталей слід застосовувати хімічне осадження та дифузійне насичення бором та карбоном. Складова структура таких зміцнених шарів значно збільшує термін служби деталей машини.

Знеуглецьованої зони на зразках не спостерігається, що дозволяє працювати в умовах корозійно-механічного зношення, так як немає небезпеки продавлення дифузійного шару.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Hong, L., Cheng, R., Ai, L. et al. *Trans Indian Inst Met* (2019) 72: 335. <https://doi.org/10.1007/s12666-018-1484-8>
2. Thibaux, P., Métenier, A. & Xhoffer, C. *Metall and Mat Trans A* (2007) 38: 1169. <https://doi.org/10.1007/s11661-007-9150-5>
3. Masafumi Matsushita. *Boronization and Carburization of Superplastic Stainless Steel and Titanium-Based Alloys*. *Materials* 2011, 4(7), 1309-1320; <https://doi.org/10.3390/ma4071309>
4. Filonenko, N.Y., Bereza, O.Y. & Pilyaeva, S.B. *Mater Sci* (2015) 51: 172. <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9825-9>
5. (Kulka M. (2019) *Trends in Thermochemical Techniques of Boriding*. In: *Current Trends in Boriding*. Engineering Materials. Springer, Cham
6. Wang, D., Zhang, X., Zhao, H. et al. *Appl. Phys. A* (2013) 113: 115. <https://doi.org/10.1007/s00339-013-7714-3>

**Сидюк Д.М.**, наук. кер. Ковалевський С.В. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

## **СИГНАТУРНИЙ ПІДХІД У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ**

*У статті розглянуто контроль етапів виготовлення виробу на основі сигнатурного підходу, як метод забезпечення життєвого циклу виробів машинобудування. Проведено дослідження ідентифікації зображень структури матеріалу, деталей після механічної обробки та машина під час експлуатації.*

*The article considers the control of the stages of product manufacturing on the basis of the signature approach, as a method of ensuring the life cycle of mechanical engineering products. A study of the identification of images of the structure of the material, parts after machining and the machine during operation.*

У разі поламки, для встановлення відповідальної особи, потрібно встановити причини, що призвели до аварії. Серед них можуть бути причини, пов'язані як з суб'єктивним характером (неуважність оператора, некоректні умови експлуатації), так і причини, пов'язані з безпосереднім виготовленням (режими термічної обробки, внутрішні напруження, якість складання). У залежності від конструкції вузла і характеру його пошкодження, окрім робіт з діагностування та дефектування вузла, періодично виникає необхідність проведення фактографічних (встановлення механізму руйнування деталі за його характером), металографічних (визначення структури матеріалу деталі, його термообробки та хімічного складу).

Виплати збитків матеріального та морального характеру стають об'єктом судової суперечки. Саме висновок судового експерта є одним з видів доказів та може вплинути на рішення суду. Існуючі методи металографічного дослідження для розпізнавання структури або є суб'єктивними, або вимагають складного обладнання.

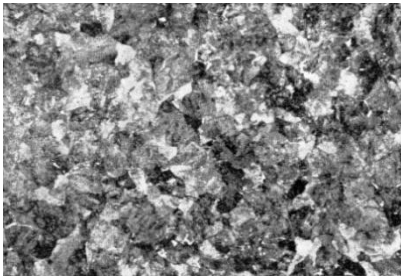
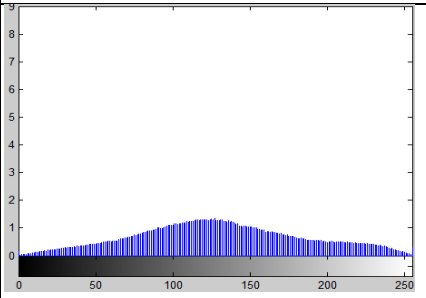

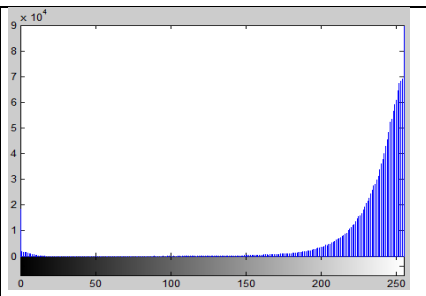
У дослідженні використано сигнатурний метод. Він широко застосовується у радіолокації, спектроскопії та медицині для пошуку, ідентифікації об'єкта та його характеристик. Сигнатура – це набір характеристик, отриманий шляхом відбиття сигналу від цілі. Підтвердженням цього є роботи [1, 2], у яких запропоновано методи визначення розмірів деталі по його акустичному сигналу, який представляє собою амплітудно-частотну характеристику їх власних коливань (частотному спектру або сигнатурі).

Для дослідження інформативності частотних спектрів діагностичних сигналів в ідентифікації поточного стану деталі використане моделювання на нейромережному базісі. Нейромережні моделі, при умові застосування оптимальних об'ємів навчальної та тестової множин, дозволяють встановити

зв'язок між об'єктом і технологічними параметрами [3, 4]. У цьому дослідженні застосовано програмне середовище NeuroPro 0.25.

Для першого етапу дослідження, зразків, обрано прецеденти термічної обробки сталей у вигляді зображень мікроструктур зразків [5]. Кількісні показники цих зображень запропоновано виконувати на підставі гістограм за яскравістю пікселів оцифрованих зображень. Гістограми зображень з кількістю інтервалів яскравості  $n=256$  надані в табл.1.

Таблиця 1 – Приклад зразків сталей після термічної обробки

Матеріал	Зразок	Зображення	Гістограма зображення
Сталь №118 (0,76% С)	1-1		
...			
Сталь №112 (0,057% С)	7-1		

Для визначення оптимальної кількості інтервалів гістограми запропоновано ентропійний підхід, згідно з яким максимальна інформативність відповідає найменшому значенню ентропії. Для кожного випадку розраховано показник ентропії [7].

$$H_a(x) = - \sum_{i=1}^n p_i(x) \cdot \log_2 p_i(x) \quad (1)$$

де  $H_a(x)$  – показник ентропії розподілу пікселів зображень зразків за яскравістю;

$p_i(x)$  – вірогідність  $i$ -ої ступені гістограми розподілу пікселів зображень зразків за яскравістю;

$n$  – кількість ступенів гістограми розподілу пікселів зображень зразків за яскравістю.

Доцільність використання ентропійного підходу згадується в роботі [7]. Це особливо важливо для діагностичних оцінок по сигнатурам зображень. Для умов проведених досліджень на основі розрахунків ентропії для різної кількості  $n$  прийнято рішення розраховувати ентропію для інтервалов яскравості  $n=10$ .



Відповідно до моделі (рис. 1) створено кортеж даних при різній температурі нагріву, однакового часу витримки та умов охолодження зразків. Після оптимізації нейронної моделі визначений інформативний, тобто найбільш значущий інтервал відповідно входу моделі X7. Це означає, що лише сьомий з 10 інтервалів інтенсивності пікселів зображення на гістограмі несе необхідну інформацію для визначення параметрів термічної обробки та відсотковий склад фаз.

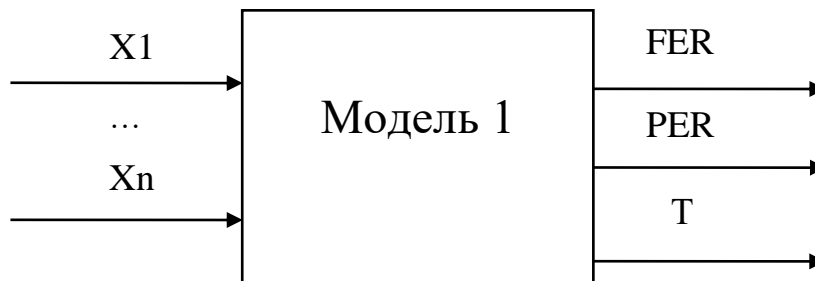


Рисунок 1 – Модель визначення фазового складу та початкової температури у залежності від входів зображення

Це дає змогу вирішити пряму задачу щодо можливості визначати структуру сталі від значень інтервалу x7 сигнатури зображень мікрошліфів (рис.2). У рамках дослідження для моделі 1 штучно створена тестова множина з заданим значенням інтервалу x7 у межах від 50000 до 1000000 з шагом 50000. Отриманні значення свідчать про наявність зворотного взаємозв'язку між складом фериту та перліту. Разом з тим, при яскравості пікселів на рівні 180000 одиниць приблизно, з'являється точка рівноваги фаз. Застосування такої моделі дозволяє вирішити проблему оцінки попередньої термічної обробки, шляхом проведення експертизи зразків.

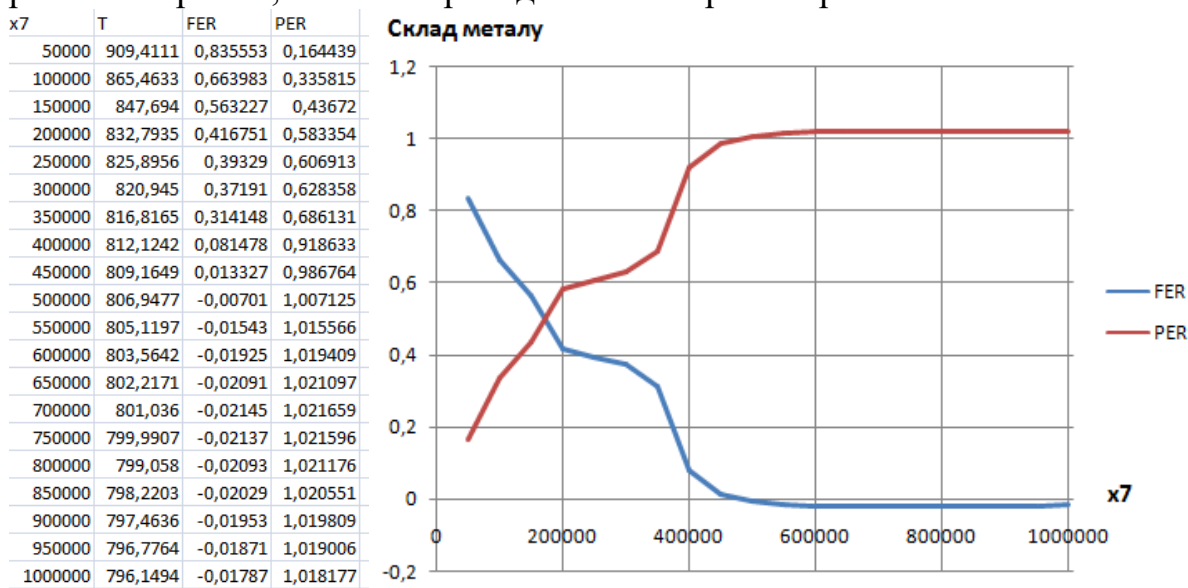


Рисунок 2 – Оцінка раніше виконаної термічної обробки зразків по складу фериту та перліту у залежності відзначень параметра зображення

Вирішенням зворотної задачі є визначення структури матеріали та його фізико-механічних властивостей на основі параметрів термічної обробки без

проведення апробації у реальному виробництві. Вхідним параметром виступає, у даному випадку, температура обробки. Вихідними параметрами є яскравість пікселів та рівень перліту та фериту (рис.2).

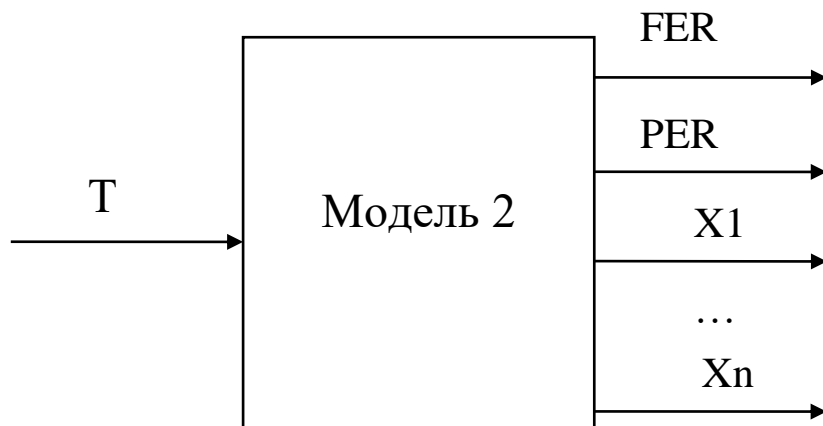


Рисунок 2 – Модель визначення фазового складу та входів зображення у залежності від початкової температури

Така модель, окрім можливості визначати фазовий склад матеріалу, дозволяє виконати зворотне перетворення входів, отримуючи зображення. Його точність та чіткість прямопропорційно залежить від кількості інтервалів. Таку модель можливо спростити, перетворивши на залежність «Температура-Фазовий склад» (рис.3). В табл.2 наведено значення похибки тестування моделі 2 та 3.

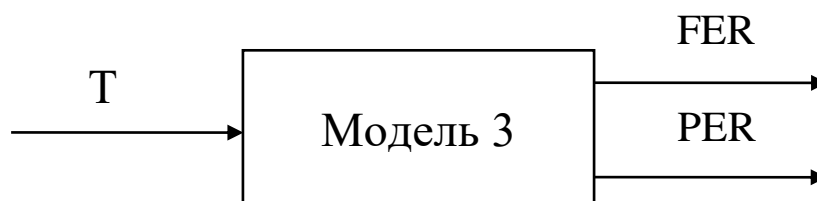


Рисунок 3 – Модель визначення фазового складу у залежності від початкової температури

Таблиця 2 – Похибки тестування моделі 2 та 3

Структура	Середня похибка		Максимальна похибка	
	Модель 2	Модель 3	Модель 2	Модель 3
Ферит	0,0517	0,067	0,0897	0,0926
Перліт	0,0669	0,0716	0,0887	0,937

З даних табл.2 слідує, що при навчанні моделі з використанням сигнатур результати тестування дають меншу середню і максимальну похибку.

## ВИСНОВКИ

Підтверджено гіпотезу про достатній рівень інформативності сигнатури зображення для встановлення зв'язку з попереднім термічним впливом та фазовим складом структури. Це дозволяє виконувати експертизу відповідності технології термічної обробки з дійсним результатом, а також пришвидшити металографічний аналіз на склад структур.

Побудовані моделі універсальні та матимуть подальше впровадження в експертних системах на будь-якому етап життєвого циклу виробу.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 100072 Україна. G01B 7/02. Спосіб безконтактного контролю розмірів деталей. Ковалевський С.В., Тулунова К.В. ДДМА. 2015.
2. Пат. 100097 Україна. G01M 13/00, G01N 29/1. Спосіб контролю розмірів деталі за допомогою сигналу резонансних коливань. Ковалевський С.В., Нагієва А.І., Ковалевська О.С. ДДМА. 2015.
3. Ковалевский С.В., Гитис В.Б., Мишура Е.В., Мишура В.Б. *Нейросетевые технологии в технологической подготовке производства: монография.* Краматорск: ДГМА. 2010. 144 с.
4. Ковалевский С.В., Гитис В.Б. *Новые нейроподобные элементы и сети: монография.* Краматорск: ДГМА. 2005. 88 с.
5. Шредер А., Розе А. *Металлография железа: В 3 т. Т.2. Структуры сталей.* Пер. с англ. В.П. Калинина, Н.А. Зоидзе, Н.В. Чаргришвили под ред. Ф. Н Тавадзе. Ленинград: Металлургия, 1972. 284 с.
6. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. *Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие.* Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО. 2008. 192 с.
7. Бардасов С.А. *Гистограммы. Критерии оптимальности: монография.* Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2014. 96 с.

**Сидюк Д.М., Ємець В.В., Пилипенко Д.О.,** наук.кер. д.т.н., проф.Ковалевський С.В. (Україна, м.Краматорськ, ДДМА)

## ПРОЄКТ ХАБ-ЦЕНТРУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*У статті розглянуто проблему існування і розвитку міста через розмір його бюджету, його утворення та витрачання, шляхи збільшення. Наповнення бюджету відбувається через розвиток молоді, ранньої профнавігації, використання нових технологій та створення стартапів. Для створення умов розвитку інноваційної інженерно-технічної спрямованості запропоновано створити хаб інноваційних технологій.*

*The article considers the problem of existence and development of the city through the size of its budget, its formation and spending, ways to increase. The budget is filled through the development of young people, early professional navigation, the use of new technologies and the creation of startups. To create conditions for the development of innovative engineering and technical orientation, it is proposed to create a hub of innovative technologies.*

Життя і майбутнє міста, як і його мешканців напряму залежить від обсягу місцевого бюджету. Бюджет міста – це план формування та використання фінансових ресурсів для забезпечення задач та функцій, що виконуються відповідно органами місцевого самоврядування протягом бюджетного періоду [1]. Окрім цього, грошові кошти витрачаються на:

- соціально-економічний розвиток регіонів;
- будівництво, ремонт та реконструкцію об'єктів соціально-культурної та житлово-комунальної сфери;
- будівництво та придбання житла окремим категоріям населення;
- вдосконалення карет швидкої допомоги, медичного обладнання;
- комп'ютеризація навчальних закладів;
- пільги для розвитку сільського господарства, малого та середнього бізнесу та багато іншого

Бюджет поповнюється, на прикладі м. Краматорська, за рахунок:

- надходжень загальнодержавних податків і зборів власних доходів згідно ст.64 Бюджетного кодексу України;
- субвенції з державного бюджету (наприклад, освітня та медична);
- дотації обласного бюджету;
- субвенції з обласного бюджету;
- субвенції з бюджетів інших міст на надання послуг (наприклад, медичних), тощо (рис.1) [1].

Також у бюджет складається з відсотка від спеціального користування лісовими масивами, води, надрами для видобутку корисних копалин, інших природних ресурсів. Окремо надходять кошти за видачу ліцензій та сертифікатів різної спрямованості, державну реєстрацію, відсоток від продажу земельних ділянок несільськогосподарського призначення,

дивіденди господарських об'єднань, у складі котрих є комунальна власність тощо.

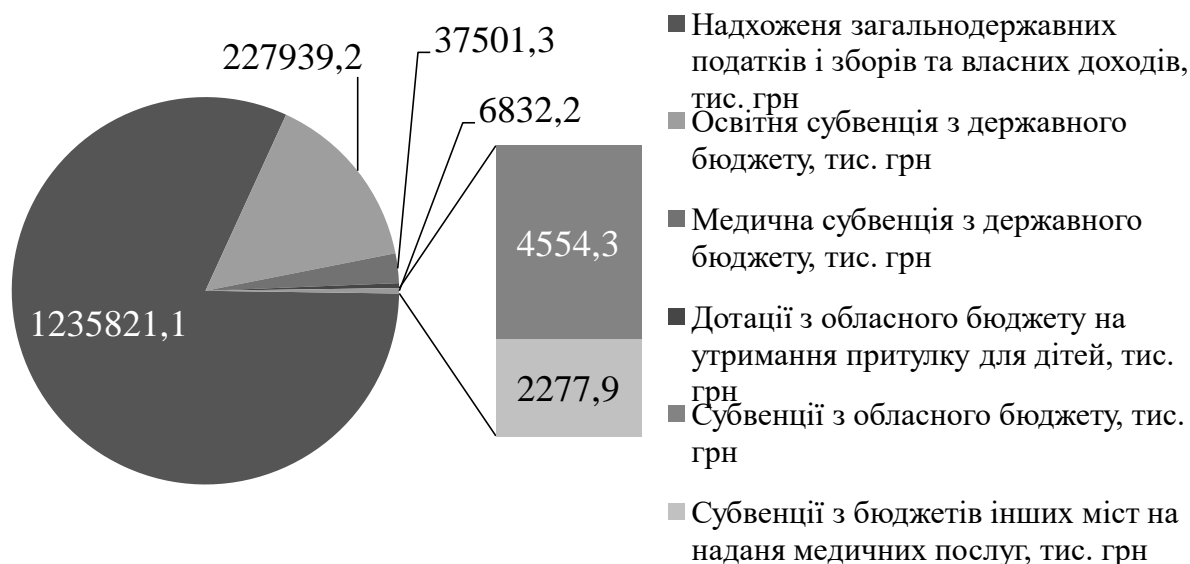


Рисунок 1 – Діаграма стану надходжень до міського бюджету м. Краматорськ за 2020 рік

Напряму збільшувати бюджет міста, окрім збільшення розміру субвенцій та дотацій, можливо або зменшенням пільг у різних сферах життя, або збільшити відсоток податків. Це можливо, оскільки у податковому кодексі вказується граничний розмір податку (не більше ніж), а конкретні величини визначаються місцевою радою. Окрім того, що це дозволить збільшити надходження, це зменшить кількість молодих спеціалістів, представників малого та середнього бізнесу, погіршить умови життя через нижчу заробітну плату.

Краматорськ – місто обласного значення, центр важкого машинобудування та ювелірного виробництва. Єдиним варіантом, який дозволить одночасно розвивати місто, збільшувати надходження та зменшити відтік спеціалістів згідно зі специфікою, є відкриття малого бізнесу, нових магазинів, фірм, підприємств. Однак, потреба міста у продовольчих та непродовольчих точках збитку, фітнес-центрів та салонів краси досить обмежена, як і потреба у фірмах обслуговуючого характеру (центри ремонту, надання юридичних послуг, медичні клініки тощо). Відкриття підприємства може відбутися або як філія, дочірнє підприємство, або для створення нового, унікального продукту (доглядова косметика, монетизація стартапу, інноваційне підприємство). Для цього потрібні спеціальні знання у декількох галузях, команда спеціалістів, ідея та можливість її попередньої апробації.

Саме тому місто потребує у просторі (мережі), яке буде сприяти розвитку технічного осередку та інноваційної діяльності молоді (рис.2). Розвиток інфраструктури, збільшення фінансування науки, закупка 3Д-

сканерів, принтерів, створення мікрофабрик дасть змогу молодому поколінню наочно побачити принцип роботи та придбати практичні навички роботи з сучасним обладнанням. Це дозволить більш свідомо підійти до вибору майбутньої професії для школярів та батьків, дати простір для особистого зростання та відпрацюванню навичкам школярам та студентам. Молоді спеціалісти зможуть займатися улюбленою справою та навчати дійсно зацікавлених слухачів, не виїжджаючи з міста. Існуючі підприємства зацікавлені в отриманні молодих спеціалістів високого класу з реальним досвідом використання прогресивного обладнання.



Рисунок 2 – Взаємозв’язок між наповненням бюджету та розвитком молодих спеціалістів у інженерно-технічній сфері

Тому постає проблема надання таких можливостей для особистого зростання, надбання практичних навичок, розвитку підприємств та міста, отримання гідної заробітної плати у межах міста для молодого покоління та спеціалістів у різних галузях.

Метою роботи є створення умов для формування у місті промислових виробництв, орієнтованих на використання нових технологій; розвиток нової компетенції підприємницької діяльності в області інженерних технологій; підтримка профнавігації учнівської молоді в інноваційній інженерно-технічній сфері. Тим самим Краматорськ зможе забезпечити молодим городянам широкі можливості для нової зайнятості, розвитку нового типу бізнесу, залучення в нову промисловість.

Пропонується створити хаб інноваційних технологій (ХІТ), який буде представляти собою мережу міських майданчиків для технічної творчості, оснащених сучасним обладнанням прикладної механіки і цифрового виробництва (3D-принтери, 3D-сканери, фрезерні, гравірувальні і лазерні верстати, ручний інструмент та ін.). ХІТи – це технічна майстерня для

представників шкільних і молодіжних бізнес-інкубаторів, які можуть виготовляти на обладнанні прототипи виробів.

Відмінною особливістю є те, що ХІТ не має замінювати вже існуючі програми, со-working інших громадських організацій, а створює загальний простір для професійного розвитку школярів та міста, об'єднуючи у собі інші проєкти. Навчання буде проходити за змішаною формою класичного метода та Белл-Ланкастерської системи, направленої на передачу знань від старших до молодших (від аспірантів до магістрантів, від магістрів до бакалаврів тощо).

Цільовою аудиторією хабу є:

- школярі;
- студенти та аспіранти;
- молоді підприємці.

Вони зможуть здобувати навички 3D програмування і моделювання, 3D прототипування, вчитися працювати на різному цифровому обладнанні, індивідуально або в рамках проєктних груп розробляти проєкти в сфері робототехніки, прикладної механіки, електроніки, ІТ-технологій, промислового дизайну, орієнтовані на кон'юнктуру світового ринку.

У межах хабу проводитимуться заходи, спрямовані на розвиток дитячої і молодіжної науково-технічної творчості з робототехніки, прикладної механіки, електроніки, біомеханіки, тривимірного моделювання і 3D-друку, промислового дизайну, наукової іграшки, світлотехніки, зондової мікроскопії, біомеханіка, дизайн одягу, дизайн предметів інтер'єру. Заняття будуть проводитись спеціалістами міста, представниками підприємств та навчальних закладів.

Змагання, семінари, кругли столи та майстер класи дозволять поглибити навички, ознайомитися з новими спеціальностями, а конкурси та виставки проєктів наочно продемонструють професійне зростання та майстерність.

Учасники проєкту будуть приймати участь у житті міста через заходи науко-технічної спрямованості, освітніх програм, практик та стажувань

Окрім цього жителі міста та організації, що здійснюють науково-технічну та інноваційну діяльність матимуть змогу користуватись обладнанням хабу для здійснення проєктної діяльності з залученням менторів ХІТ-у.

У якості партнерів для розвитку можуть виступати:

- подібні проєкти, спрямовані на розвиток молоді;
- освітні установи та вузи;
- промислові підприємства та організації, які бажають отримати компетентних спеціалістів під умови виробництва;
- інститути розвитку та органи державної влади.

Стратегія розвитку та долучення школярів полягає у наступному:

1. Надання гарантованого робочого місця за умови підписання договору між підприємством та громадською організацією.

2. Створення бригад та назначати цільових наставників з боку підприємства, фірми.

3. Для контролю особистого розвитку влаштовувати конкурси на звання кращого спеціаліста серед учнів, влаштовувати виставки досягнень, фестивалі з обов'язковим нагородженням.

4. Введення стипендії на здобуття вищої освіти від роботодавців. Визначати стипендіатів можливо за допомогою конкурсу проєктів, здобутків тощо.

5. Створення банку грантів для фінансування інноваційних проєктів.

6. Залучання у держ. бюджетні програми.

7. Фінансування для поїздок на конкурси, фестивалі за межі міста та регіону.

8. Фінансування стажувань на закордонних підприємствах.

9. Виконання дослідно-конструкторських та інших робіт на замовлення фізичних осіб і організацій, які здійснюють науково-технічну та інноваційну діяльність.

Для стимулювання народження інноваційних рішень представниками ХІТів будуть використовуватися спеціальні формати – хакатони, конкурси на розробку технічних рішень на базі кейсів від промислових підприємств і компаній. У рамках цих проєктів буде відбуватися об'єднання школярів, студентів, розробників інноваційних технологій і представників бізнесу.

Планується системна робота з пошуку, відбору та залучення учнів, що мають здібності до інженерії, в інноваційно-технічна творчість: робота з учасниками олімпіад, організація раннього профнавігаційного тестування, розробка та впровадження інтерактивної карти можливостей.

Між ХІТами і директорами освітніх закладів м Краматорська мають укладатися угоди про співпрацю, в рамках яких школярі можуть навчатися навичкам роботи на високотехнологічному цифровому обладнанні в рамках програм додаткової освіти. В даному випадку застосовується модель мережевої взаємодії, коли на обладнанні ХІТів можуть працювати діти під керівництвом технічних фахівців (студентів старших курсів) ХІТів і вчителів школи.

## ВИСНОВКИ

Створення хабу інноваційних технологій надасть можливість особистого та професійного розвитку молоді та спеціалістів для отримання гідної заробітної плати, належних умов життя. Місто, окрім стабільного відтоку молоді, отримує збільшення надходжень до бюджету, залучення інвестицій, розвиток старих та створення нових інноваційних підприємств.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Верховна Рада України. Бюджетний кодекс України від 08.07.2010 № 2456-VI (зі змінами і доповненнями станом на 01.01.2021). Київ: Паливода А.В. 2021. 240 с.

2. Верховна Рада України. Податковий кодекс України 2755-VI від 07.10.2011 (зі змінами і доповненнями станом на 28.03.2021). Київ: ЦУЛ. 2021. 768.



**Скірпічнікова А.**, наук. кер. к.п.н., доц. Кошева Л.В. (Україна, м.Краматорськ, ДДМА)

## **РОБОТИЗАЦІЯ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЯ – ВПЛИВ НА ФІЗИЧНУ КУЛЬТУРА ТА ФОРМУВАННЯ КОМПЕТЕНЦІЙ МОЛОДІ**

*Надані специфічні компетенції з фізичного виховання, де технологія може бути переосмислена як педагогічний інструмент, який сприятиме навчання. Встановлено, що багато викладачів вказують на відсутність спеціальних курсів, забезпечуючих пошук інформації про компетенції, що стсуються фізичного виховання в умовах тотальної інформатизації побутового простору..*

*Specific competencies in physical education are provided, where technology can be rethought as a pedagogical tool that will facilitate learning. It is established that many teachers point to the lack of special courses that provide a search for information about the competencies associated with physical education in terms of total informatization of living space .*

Наш час є епохою суспільства продуктивності, на яке впливає нейрональна патологія, результат перевиробництва, надмірної продуктивності та надмірної комунікації. Результатами є виснаження і задуха, оскільки ми живемо в умовах, яки завершуються такими захворюваннями, як депресія, розлад гіперактивності з дефіцитом уваги, прикордонний розлад особистості або синдром вигорання [1,2,3].

Цей постійний стрес через вимоги та надлишок інформації пов'язаного суспільства в кінцевому підсумку шкодить фізичним та розумовим показникам молоді, фізичне виховання в кінцевому підсумку під впливом технології мобільних пристроїв, студент відчуває величезні труднощі у підтримці зосередженості на окремій діяльності.

В інформаційному суспільстві фізичні навантаження замінюються віртуальними через телевізор, Інтернет, відеоігри тощо. Деякі люди продовжують виконувати свої фізичні навантаження, а інші різко зменшують їх.

Технікалізація фізичного виховання, заснована на практиці, яка історично керується концепцією людини і декартовим / фрагментованим / технічним світом, цілком відповідає інтересам цього Фізичного виховання, який мав - і залишається сьогодні - як засіб і кінець, спортивні змагання. Це наводить нас на думку, що високопродуктивний спортсмен - це в першу чергу ідеал, що створюється за допомогою раціональних проєкцій шляхом наукових відкриттів у галузі медико-біологічних наук, що походять від наукового методу, розробленого Рене Декартом.

Хоча люди краще інформуються про переваги фізичної активності через мережу, наші молоді люди в основному проводять занадто багато часу у своїй діяльності в Інтернеті, що, як наслідок, погіршує якість їхнього життя.

Ми маємо деякі специфічні компетенції з фізичного виховання, де технологія може бути переосмислена як педагогічний інструмент, який сприятиме навчання.

Аналізуючи першу компетенцію, ми підводимо нас до питань споживчої пози та ідеалів краси, які населяють уми нашої молоді. На них впливає мережа, і втручання є важливим для підвищення обізнаності. Для цього у нас є соціальні мережі, і серед підлітків ми робимо акцент на WhatsApp, навіть більше, ніж Facebook, саме завдяки безпосередності обміну повідомленнями, відео, аудіо та фото. Також можливість формування шкільних груп у мережі, використання платформ, на яких можна обговорювати тему, можуть стимулюватися нові методології, такі як перевернутий клас та інші ініціативи.

У другій компетенції ми повинні думати, що основна технологічна підтримка підлітків - це стільниковий телефон, засіб миттєвих, повсюдних обмінів, із доступом до соціальних мереж, фотографій, відео та музики, який може допомогти або стимулювати молодих людей до занять фізичними вправами, ділитися ними в мережі, вносячи великий внесок у їх діяльності. Учитель фізичної культури повинен бути посередником у цьому використанні, навіть при структурованих проектах для використання ЦІКТ зі студентами. Самі класи можуть бути спільними з використанням нових технологій, ігор та різного програмного забезпечення та програм, пов'язаних зі здоров'ям, а також надання автономії студентам.

За третьою компетенцією, знову ж таки соціальними мережами, групи, сформовані на підставі зацікавленості учнів та викладачів, розглядають потреби вимог, формулювання петицій, усвідомлення важливості дозвіллевих просторів. Проекти можуть починатися зі школи та охоплювати батьків та громаду.

Електронні ігри, розповсюдження через мережу для практики вправ, відпочинок танців, обговорення вже згаданих забобонів та стереотипів та підготовка до електронних ігор стосовно вимог до фізичних можливостей - ось деякі з можливостей цього всесвіту, також пропонують диверсифікацію видів діяльності, де можуть бути присутніми технології.

Фізичне виховання має історичну спадщину, емпіризм ноу-хау, вдосконалення техніки, тактики, фізичних та морфологічних навичок. Ця ідентичність все ще дуже сильна, як вектор для нашого регіону.

Навчання - це процес змін, знань, поведінки, який отримується завдяки досвіду, побудованому емоційними, неврологічними, реляційними та екологічними факторами [4].

Опитування з питань ІКТ виявляє, що в Україні майже 20% учнів державних шкіл не мають вдома комп'ютера чи планшета, ця нерівність значно посилюється у сільській місцевості. Мобільні телефони використовувались учнями для того, щоб ходити на уроки, за допомогою опитування ІКТ з питань освіти, 98% учнів міських шкіл отримують доступ

до Інтернету на мобільних пристроях, а 18% користуються Інтернетом виключно за допомогою мобільних телефонів.

У школах бракує інфраструктури, головним чином щодо доступу та комп'ютерних лабораторій. Також було встановлено, що багато викладачів критикують відсутність спеціальних курсів використання комп'ютерів або перегляду веб-сторінок у класах, головним способом пошуку інформація про використання мережі надається через контакт з колегами або за допомогою відео та онлайн-підручників.

### ВІСНОВКИ

Наука вже багато відкрила про регулярні заняття спортом та фізичні навантаження. Коли людина починає займатися, вона швидко відчуває деякі переваги в організмі: посилення гнучкості та зміцнення м'язів, боротьба з фізичною бездіяльністю та покращення самопочуття, прогрес у фізичній підготовці та диспозиції, додаючи серцево-судинну та легеневу здатність.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1.Бойчук Ю.Д. Людина як космопланетарний та біопсихосоціальний феномен // Вісник ХНПУ імені Г.С. Сковороди «Філософія». – Харків: ХНПУ, 2013. – Вип. 40, ч. I. – С. 51-67.

2.Богущ А.М. Дефініції «духовність» і «моральність» в аспекті національного виховання в Україні // Морально-духовний розвиток особистості в сучасних умовах: зб. наук. пр. – К., 2000. – Кн. I. – С. 18–23.

3.Науменко Н.В. Формування духовного здоров'я особистості як сучасна педагогічна проблема // Наукові записки. Серія «Психолого-педагогічні науки»: наук.-метод. зб. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2012. – № 2. – С. 32-36.

4.Воскобойнікова Г. Л. Концепція комплексної оцінки адаптаційних можливостей у формуванні і збереженні індивідуального здоров'я людини // Наука і освіта: Науковопрактичний журнал Південного наукового центру НАПН України. – 2014. – № 8/СХХV. Серпень. – 224 с. – С. 35–39.

Токарь Д.В., Єфименко О.В., Плугіна Т.В. (Україна, м. Харків, ХНАДУ)

## РЕСУРСНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

*У даній статті розглядається ресурсна оцінка впровадження супутникових навігаційних систем у сучасному дорожньому будівництві. Проведено аналіз ринку та основних тенденцій розвитку систем машинного контролю. Наведено модель системи керування дорожніх машин, що забезпечує адаптивну оптимізацію робочих процесів. Висунуто пропозиції щодо розвитку систем машинного контролю на ринку України.*

*The task of resource assessment of the implementation of satellite navigation systems in modern road construction is considered. The analysis of the market and the main trends in the development of machine control systems has been carried out. The model control system of road machine, which supports the adaptive optimization of working procedure, are proposed. Proposals for the development of machine control systems in the Ukrainian market have been made.*

### **Постановка проблеми.**

У цей час затримки й перевитрата коштів є основними проблемами в інфраструктурних або будівельних проектах. Загальна ефективність устаткування впливає на забезпечення швидкості й точності виконання проекту. Для створення безпечного, високоякісного, стійкого середовища в будівельній галузі необхідно застосовувати рентабельні й ефективні методи керування. Ресурсна оцінка масштабів впровадження супутникових навігаційних систем (СНС) у дорожнім будівництві у повній мірі не проводилась. Щоб надати найбільш точні оцінки й можливі прогнози щодо напрямків використання СНС, необхідна комплексна ітеративна методологія дослідження (Grand View Research, USA), спрямована на мінімізацію відхилень: дані безупинно фільтруються з метою аналізу тільки перевірених джерел [1]; технічні дані піддаються перехресній перевірці за допомогою опублікованих джерел; оцінки й прогнози засновані на імітаційних статистичних моделях (для кожного дослідження створюється унікальна модель. Зібрана інформація про динаміку ринку, технологічний ландшафт, розробку додатків і тенденції ціноутворення вводиться в модель і одночасно аналізується). Ці фактори вивчаються на порівняльній основі, і їхній вплив протягом прогнозованого періоду оцінюється кількісно за допомогою кореляційного, регресійного й тимчасового аналізу. Прогнозування ринку виконується за допомогою сполучення економічних інструментів, технологічного аналізу, галузевого досвіду й знань у конкретній області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У 2021 році у світі буде більше 8 мільярдів навігаційних пристроїв.

Границі сегментів ринку продовжують розмиватися в результаті конвергенції інформаційно-навігаційного й комунікаційного встаткування,

систем і послуг (інформаційних технологій, телекомунікацій, машинобудування й мікроелектроніки) [2]. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що нові технологічні напрямки світового ринку навігації наступні: капіталізація можливостей «підключеного транспортного засобу» (Connected Car) (інформація, безпека, оплата, страхування, технічна допомога й інші послуги [3]); технологічний розвиток V2X - обмін інформацією "автомобіль-автомобіль" V2V, "автомобіль-інфраструктура" V2I, "автомобіль-людина" V2P; розробка навігаційних технологій для автономних транспортних засобів (робомобілей, безпілотних транспортних засобів) і роботів [4]; технології для однієї користувальницької навігації: супутникової, інерційної, внутрішньої; гарантовано навігаційні технології високої точності й надійності [5,6].

Мета роботи та постановка задач дослідження.

Метою даної роботи є ресурсна оцінка масштабів впровадження супутникових навігаційних систем у дорожнім будівництві для прогнозування напрямків використання СНС. Постановка задач дослідження:

- обґрунтувати обрану методологію дослідження;
- провести аналіз ринку систем машинного контролю на прикладі дорожньої машини;
- провести аналіз основних тенденцій розвитку систем машинного контролю;
- провести оцінку результатів та пропозицій для ринку України.

Основний матеріал дослідження.

Проведемо аналіз ринку систем машинного контролю на прикладі екскаваторів. Система керування екскаваторами призначена для підвищення продуктивності робіт. Такі системи забезпечують рішення завдань навантаження, позиціонування й експлуатації в обмеженому просторі шляхом виявлення перешкод, що оточують екскаватор, за масштабом, реальним часом й відстанню. Перешкоди відображаються з їхнім оригінальним контуром, в критичних ситуаціях подаються звукові попередження. Ці системи виявилися економічно ефективним рішенням численних дорожніх технологічних операцій.

Прогнозування показує, що ринок систем керування екскаваторами виросте на 10,7 % протягом 2021 - 2022 років. Ключові фірми, такі як Topcon і Komatsu, мають довгострокове партнерство, що дозволяє клієнтам замовляти машини Komatsu, які оснащені технологією Topcon. Наприклад, в 2016 році США лідирували на світовому ринку систем керування екскаваторами, утримуючи майже 30 % від загальної частки ринку (звіт "[Excavators Machine Control System Market, 2017–2024](#)").

Динаміку систем машинного контролю, що використовуються для автоматизації екскаваторів, представлено на рисунку 1.

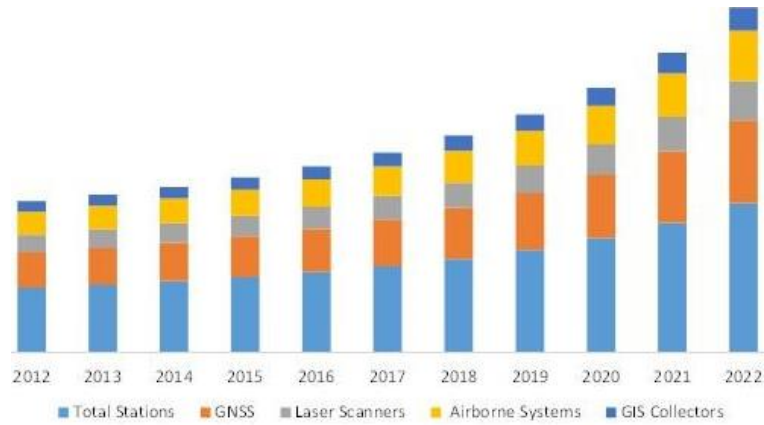


Рис.1. Динаміка систем машинного контролю, щодо екскаваторів

Математична модель системи керування може бути представлена у вигляді [7]:

$$\begin{cases}
 \bar{Y}_{MC} \{ \bar{C}, \bar{D}_{MC} \} = f_{MC} ( \bar{X}_{MC} \{ \bar{\mu}', \bar{C}_O, \bar{C}_{CAV} \}, \bar{N}_{MC} ); \\
 \bar{Y}_{MO_i} \{ \bar{N}_{PI}, \bar{D}_{MO_i} \} = f_{MO_i} ( \bar{X}_{MO_i} \{ \bar{\mu}', \bar{C}, \bar{D}_{MKD} \}, \bar{N}_{MO_i} ), i = \overline{1, n_{MO_i}}; \\
 \bar{Y}_{MKD} \{ \bar{Z}_{MKD}, \bar{D}_{MKD} \} = f_{MKD} ( \bar{X}_{MKD} \{ \mu' \}, \bar{N}_{MKD} ); \\
 \bar{Y}_{MH} \{ \bar{Z}_{MH}, \bar{D}_{MH} \} = f_{MH} ( \bar{X}_{MH} \{ \mu' \}, \bar{N}_{MH} ); \\
 \bar{Y}_{MD} \{ \bar{D}_{MD} \} = f_{MD} ( \bar{X}_{MD} \{ \mu', \bar{D}, \bar{F} \}, \bar{N}_{MD} ); \\
 \bar{Y}_{MV} \{ \bar{Z}, \bar{D}_{MV} \} = f_{MV} ( \bar{X}_{MV} \{ \bar{N}_{PI}, \bar{Z}'_O, \bar{Z}_{MKD}, \bar{Z}_{MH}, \bar{Z}_{CAV} \}, \bar{N}_{MV} )
 \end{cases} \quad (1)$$

де  $\bar{Y}_{MC}, \bar{Y}_{MO_i}, \bar{Y}_{MKD}, \bar{Y}_{MH}, \bar{Y}_{MD}, \bar{Y}_{MV}$  - вихідні вектори відповідних модулів: модуля узгодження, модуля оптимізації, модуля контролю датчиків, модуля надійності, модуля даних, модуля керування;

$\bar{D}_{MC}, \dots, \bar{D}_{MV}$  - вектори даних про робочі процеси відповідних модулів;

$f_{MC}(), \dots, f_{MV}()$  - вектор-функції, показує алгоритм функціонування модулів;

$\bar{X}_{MV}, \dots, \bar{X}_{MC}$  - вхідні вектори відповідних модулів;

$\bar{N}_{MC}, \dots, \bar{N}_{MV}$  - вектори параметрів відповідних модулів.

Математична модель системи керування машини в інтегральному виді:

$$\bar{f} = f_{IC} ( \bar{\mu}, \bar{N}_{IC} ), \quad (2)$$

де  $\bar{\mu} \{ \bar{\mu}', \bar{C}_O, \bar{C}_{CAV} \}$  - вектор вхідних інформаційних і керуючих сигналів;  $\bar{f} \{ \bar{Z}, \bar{D} \}$  - вектор керуючого впливу на енергорозподільвачі й регулятори силового приводу;  $N_{IC} \{ N_{MC}, N_{MO_i}, N_{MKD}, N_{MH}, N_{MD}, N_{MV} \}$  - вектор параметрів системи.

Аналіз основних тенденцій розвитку систем машинного контролю на період до 2025 року змінився у зв'язку з пандемією. Однак, зростаюча потреба в точності керування й навігації важкої техніки буде стимулювати ріст ринку.

Компанії прагнуть зробити системи менш складними й підвищити продуктивність за рахунок впровадження передових технологій. Наприклад, Leica Geosystems AG представила серію MSS400 для екскаваторів, оснащену новими датчиками й технологією SP [8]. Система обладнана герметичними штуцерами, кронштейнами з нержавіючої сталі, міцними корпусними датчиками й міцними сполучними системами, які роблять його придатним навіть для підводних робіт. Крім того, система інтегрована з технологією Leica Geosystems SP, що знижує складність у порівнянні із традиційними системами позиціонування. Розгортання систем керування машинами скорочує час простою машин і сприяє ефективному використанню ресурсів. Відмова важкої техніки на будівельному майданчику може викликати затримки в роботі й понести величезні збитки. Технології керування машинами забезпечують точний моніторинг і керування будівельним устаткуванням для забезпечення оптимальної продуктивності й швидкого контролю якості на робочих місцях.

Сегмент GNSS (глобальної навігаційної супутникової системи) домінував на ринку із часткою 37,5 % в 2019 році. Ця висока частка пояснюється розгортанням GNSS на такому встаткуванні, як скрепери, бульдозери, грейдери, екскаватори й бортові системи. Використання GNSS для різних додатків, таких як картографування землі, сільське господарство, гірничодобувна промисловість, безпілотні літальні апарати (БПЛА), оборона й інші, є ще одним фактором, що підвищує попит на ці системи. Крім того, GNSS забезпечує високу ефективність і точність позиціонування важкої техніки, що прогнозує підвищення продуктивності. Сегмент екскаваторів домінував на ринку із часткою 59,2 % в 2019 році. Така висока частка пояснюється їх інтенсивним використанням.

Аналіз показує, що ринок СНС сильно консолідований через дуже невелике число фірм-виробників. Ріст компаній на цьому ринку багато в чому залежить від підтримки з боку влади, що санкціонують інфраструктурні проекти для будівельних компаній. Деякі учасники ринку інвестують у дослідження й розробки й впроваджують нові технології у свої продукти. Наприклад, у березні 2020 року Trimble Inc. запустила версію 2.0 платформи керування ухилом Earthworks. Цей новий продукт відрізняється горизонтальним рульовим керуванням, доповненою реальністю для полегшення розуміння 3D-Моделей й убудованим Trimble Loadrite. Ці функції забезпечують керування корисним навантаженням і відображення даних про корисне навантаження для контролю якості на одному екрані.

Аналіз показав, що основними виробниками на ринку СНС є корпорація Topcon; Trimble, Inc.; Hemisphere GNSS, Inc.; Leica Geosystems AG (Hexagon); Системи позиціонування EOS; MOBA Mobile Automation AG; RIB Software AG.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.



В умовах твердої конкуренції в будівельній галузі України використання системи керування машинами надзвичайно вигідно для робітників на будівельних майданчиках у довгостроковій перспективі, оскільки ця система скорочує час простою машин і допомагає ефективно використовувати ресурси [9].

З іншої сторони існують фактори, що стримують розвиток систем машинного контролю. Наприклад, екскаватори, бульдозери й грейдери використовуються в гірничодобувній промисловості й будівництві. Ці типи будівельної техніки оснащуються машинним керуванням для підвищення продуктивності, ефективності й безпеці землерийних робіт. Екскаватори, бульдозери й грейдери є дорогими машинами, а використання машинного керування в будівельному встаткуванні збільшує витрати на установку й інтеграцію. Таким чином, будівельним компаніям будівельних організацій потрібен великий капітал для покупки або оренди БДМ, інтегрованого з технологіями керування машинами. Технологія керування машинами забезпечує більше високу точність, допомагає прискорити завершення проектів і вимагає менших витрат на технічне обслуговування, високі первісні інвестиції є стримуючим чинником для розвитку цих систем.

Таким чином, системи керування машинами відіграють важливу роль на будівельних майданчиках у країнах, що розвиваються, забезпечуючи безпеку й високу якість.

Очікується, що в прогностичний період на екскаватори буде доводитися сама більша частка ринку (Рис.2).

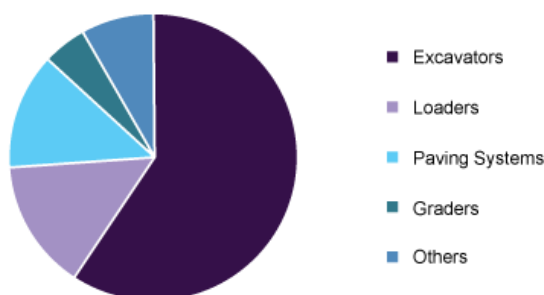


Рис.2. Структура систем машинного контролю основних ЗТМ

Поглиблений конкурентний аналіз ключових гравців на ринку систем керування машинами дозволив указати тенденції розвитку основних систем (динаміка росту СНС в Азії на період 2016 - 2027 роки) (Рис.3).



Asia Pacific machine control system market size, by product, 2016 - 2027 (USD Million)

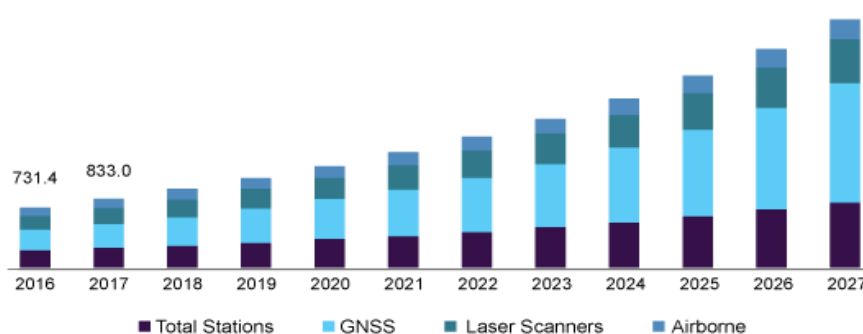


Рис.3. Динаміка росту СНС в Азії

Динаміка росту роботизованих систем по регіонах та економічний ефект використання глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) по сегментах (у мільярдах доларів США) представлено на рисунках 4 - 5.

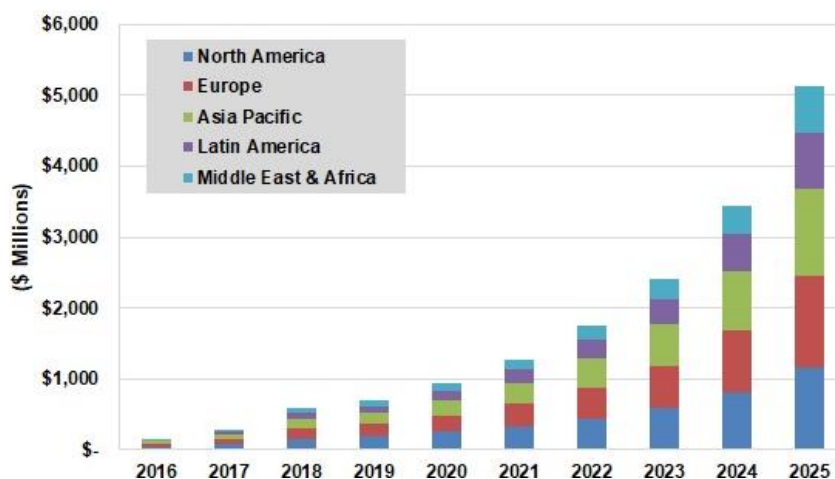


Рис.4. Динаміка росту роботизованих систем по регіонах

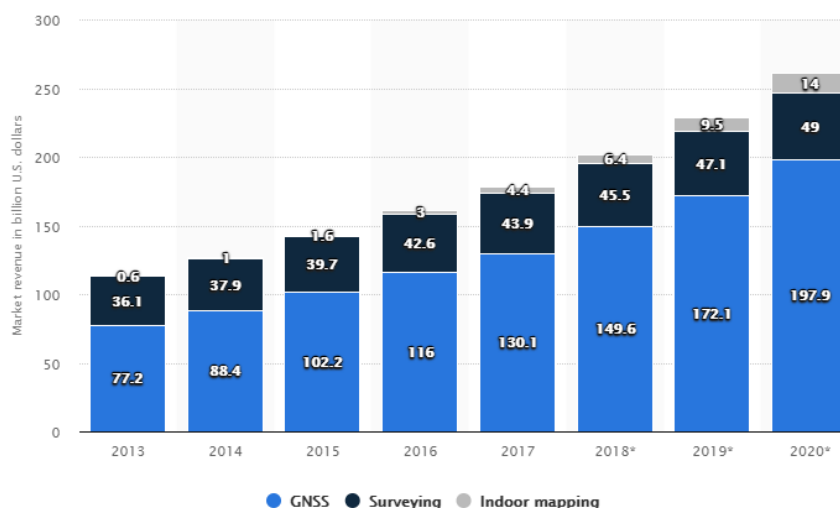


Рис. 5. Економічний ефект використання GNSS

Технології керування машинами відіграють важливу роль у моніторингу й керуванні будівельним устаткуванням для забезпечення оптимальної продуктивності, що приводить до більш швидких перевірок якості будівельних робіт.

Інвестиції в системи керування машинами на ринку будівництва України обіцяють заощадити час, уникнути перевитрат бюджету й скоротити витрати, пов'язані з технічним обслуговуванням машин, що буде сприяти росту ринку.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

12. Плуґіна Т.В. Задача інтелектуалізації сучасних будівельно-дорожніх машин /Т.В. Плуґіна, В.О. Стоцький. - *Технология приборостроения*. - 2014. - С. 40 - 43.
13. Єфименко О.В. Модульна структура інтелектуальної системи будівельних й дорожніх машин/О.В.Єфименко, Т.В.Плуґіна. *Вестник ХНАДУ*, №74, 2015. – С. 68-73.
14. Єфименко О.В. Вибір оптимальних параметрів машин для земляних робіт на основі статистичного аналізу / О.В. Єфименко, Т.В. Плуґіна, З. Мусаєв. *Вестник ХНАДУ*.- 2017- рік. 77. с. 68-73.
15. Ефименко А.В. Инновационная система ЗТМ для разработки грунта на основе GPS технологи / А.В. Ефименко, Т.В. Плуґина, Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование – Днепро: ГВУЗ «ПГАСА», 2018, С. 69-74.
16. Commuri S., Mai A.T., Zaman M. Calibration Procedures for the Intelligent Asphalt Compaction Analyzer. *ASTM Journal of Testing and Evaluation*, 37(5), 2009.
17. Kahmen H., G. Retscher. Precise 3-D Navigation of Construction Machine Platforms. in: *Papers presented at the 2nd International Workshop on Mobile Mapping Technology, April 21-23, 1999, Bangkok, Thailand*, pp. 5A.2.1-5A.2.5.
18. Salychev O. *Inertial Systems in Navigation and Geophysics*. Bauman MSTU Press, Moscow 1998, pp. 11-30.
19. Trimble: Site Vision GPS Automatic Grade Control System. Technical Notes, Trimble Navigation Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.trimble.com/products/catalog/constr/sitevis.htm>
20. Spectra Precision. The Next Dimension in Machine Control: Spectra Precision BladePro 3D and GPS 3D. Technical Notes, Spectra Precision Ltd., Dayton, Ohio, USA. <http://www.splp.com/BladePro3D.HTM>
21. Кум Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2007. – Т. 2.
22. Плуґіна Т.В. Інтелектуальна система контролю якості робочих процесів будівельно-дорожніх машин (БДМ) / Т.В. Плуґіна, О.В. Єфименко. *Вісник ХНАДУ*. – 2019.– №. 87. – Т. 1 – С. 66-73. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.87.0.66
23. K. S. Narendra. Adaptive control using multiple models. *IEEE Transactions on Automatic Control* ( Volume: 42, Issue: 2, Feb 1997) Page(s): 171 - 187 DOI: [10.1109/9.554398](https://doi.org/10.1109/9.554398).

**Цибуленко В.О., Воронцов Б.С.,** (Україна, м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського)

## **ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ SELECTIVE LASER MELTING.**

*Адитивні технології є однією з областей сучасного виробництва в цій статті представлений огляд адитивної технології Selective Laser Melting.*

*Additive technology is one of the areas of modern manufacturing, this article provides an overview of Selective Laser Melting additive technology.*

Селективне лазерне плавлення (SLM) є особливим швидким прототипуванням, 3D-печаткою, або адитивним виробництвом (AB) методом, призначеним для використання лазера високої потужності для розплаву і сплаву металевих порошків. Компонент будується шляхом вибіркового плавлення і сплаву порошків всередині і між шарами. Це дозволяє процесу будувати майже повну щільність функціональних частин і має життєздатні економічні вигоди. Останні розробки волоконної оптики і високої потужності лазера також дозволили SLM обробляти різні металеві матеріали, такі як мідь, алюміній і вольфрам. Аналогічним чином, це також відкрило можливості для досліджень в SLM керамічних і композитних матеріалів. Огляд являє процес SLM і деякі з поширених фізичних явищ, пов'язаних з цією технологією AM. [1,2]

Процес SLM складається з ряду етапів, дані CAD завантажуються в SLM-машину для виробництва компонентів, файли STereoLithography (STL) файли повинні оброблятися soft-ware, такий як Magics, щоб забезпечити структуру підтримки для будь-яких нависаючих функцій і генерувати дані зрізу для лазерного сканування окремих шарів. Процес будівництва починається з укладання тонкого шару металевого порошку на будівельну пластину в будівельній камері. Після того, як порошок покладений, лазер використовується для розплаву і сплаву обраних областей відповідно до оброблених даних. Як тільки лазерне сканування завершено, будівельна платформа опускається, наступний шар порошку наноситься зверху і лазер сканує новий шар. Потім процес повторюється для послідовних шарів порошку до тих пір, поки необхідні компоненти не будуть повністю побудовані. Як тільки процес лазерного сканування завершено, вільні порошки видаляються з будівельної камери і компонент може бути відділений від будівельної пластини вручну або шляхом обробки електричного розряду (EDM). Крім підготовки даних і видалення виготовленого компонента з будівельною платформи, весь процес автоматизований. Рисунок 1 ілюструє концепцію процесу створення SLM. [3-5]

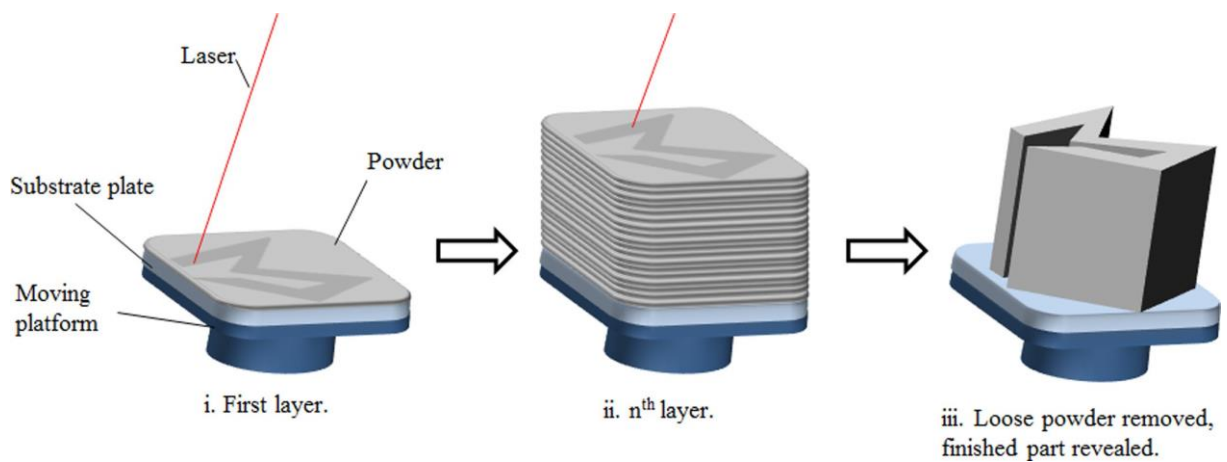


Рисунок.1. Схема процесу SLM. i) високошвидкісний лазер розплавляє селективні ділянки на будівельній платформі. ii) Процес повторюється для послідовних шарів. iii) Вільний порошок вилучений і виріб завершено. [5]

Під час процесу SLM, будівельна камера часто заповнена газом азоту або газом аргону для того щоб забезпечити інертну атмосферу для того щоб захистити нагріті частини металу проти окислення. Крім того, деякі з SLM машини здатні забезпечити попереднє опалення або субстрат пластини або всієї будівельної камери. Товщина шару зазвичай коливається від 20 до 100мкм. [6]

Досліди показали, що SLM здатний до повного плавлення порошкового матеріалу, виробляючи повністю щільні вироби без необхідності обробки, крім видалення частин і опор з будівельної платформи. Це робить SLM чудовим процесом адитивного виробництва (AM) в порівнянні з SLS, який пов'язує порошкові матеріали через твердий стан спекать або плавлення зв'язуючих, в результаті чого частини з високою пористістю і низькою міцністю. Після таких обробок, як теплова обробка і т.д, як правило, необхідні для поліпшення компонентів SLS, займає багато часу і значно подовжує процес. У SLM повне плавлення порошку досягається за рахунок використання високоінтенсивних лазерних і сполучних матеріалів, що усуває необхідність в вищезазначених процесах. Нинішня технологія SLM забезпечує поліпшення якості продукції [7].

### Balling (Комковання)

Balling - це особливе явище в SLM, де розплавлений метал утворює сфероїдальні кульки через недостатнє зволоження попереднього шару і поверхневого натяження. Вона перешкоджає утворенню безперервних ліній розплаву, утворюючи шорсткі поверхні. У більш важких випадках Balling може погіршити наступні шари і викликати в процесі SLM застрягання механізму порошкового покриття з великими металевими намистинами, які поширюються над порошковим шаром (Рисунок 2). [8]

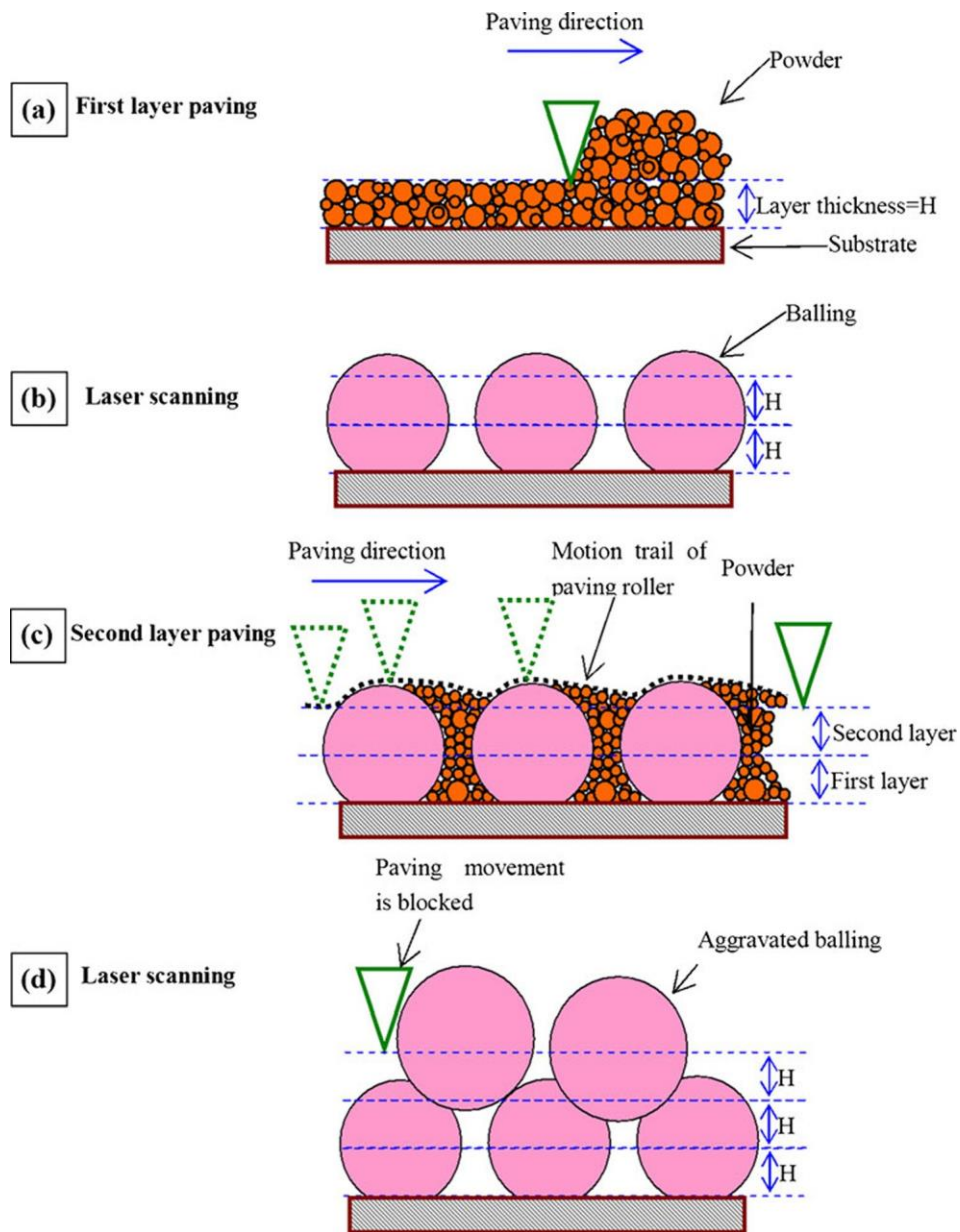


Рисунок 2. Balling в SLM. [8]

## Фізичні явища в SLM

SLM включає в себе нагрівання і плавлення порошкового матеріалу з лазерним променем і швидке затвердіння розплавленого матеріалу для формування бажаного виробу. Є кілька фізичних явищ, які важливі для процесу, таких як абсорбція порошкового матеріалу лазерного опромінення, кульові явища, які порушують утворення безперервних розплавів, і теплові коливання, пережиті матеріалом в процесі, які можуть привести до утворення тріщин і компонентної недостатності. [8-9]



У SLM, лазерні потужності, швидкісні сканування, відстань між люком і товщина шару є загальними параметрами процесу, регульовані для оптимізації процесу. На Рисунок 3 наведено ілюстрування цих параметрів процесу, зазвичай вивчених в SLM. Разом з поглинанням порошків до лазерного опромінення ці параметри впливають на об'ємну щільність енергії, які доступні для нагріву і плавлення порошків. При нагріванні і плавленні необхідно враховувати теплову здатність. Вони сильно залежать від матеріалу і пропорції маси, яка буде розплавлена.

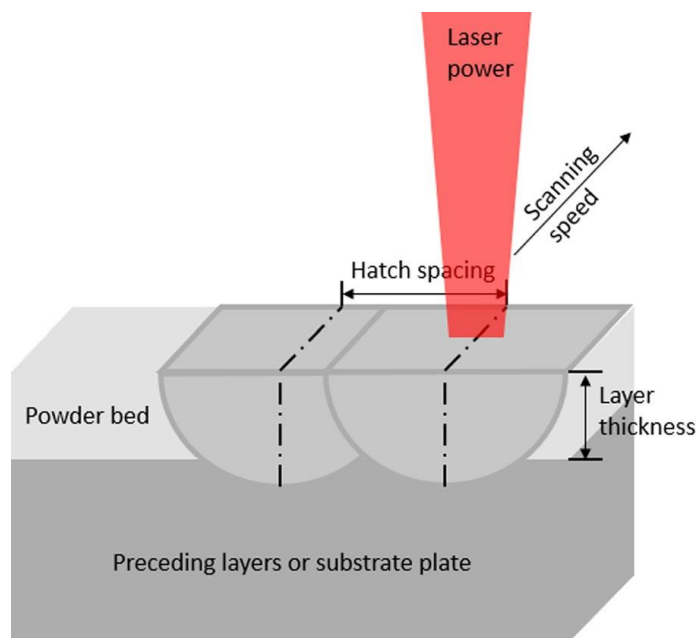


Рисунок 3. Параметри процесу SLM: потужність лазера, швидкість сканування, інтервали між люками і товщина шару. [10]

Один з невід'ємних аспектів взаємодії лазера і матеріалу є поглинання енергії порошком. Поглинання, певне як відношення потоку енергії, що поглинається енергоефективністю процесу SLM. Це може навіть визначити доцільність обробки матеріалів з певним лазером. Фізики вивчали поглинання різних матеріалів для опромінення різних довжин хвиль. Однак деякі з цих робіт проводяться з порошковими матеріалами. У SLM лазер опромінює тонкий порошок шар, а також поглинання порошкових матеріалів по відношенню до лазерного опромінення може різко відрізнитися від їх відповідних матеріалів. [11-12]

З огляду на ринкову тенденцію виробництва і зростаючу тенденцію досліджень в останнє десятиліття, інтерес до SLM і аналогічним технологіям буде продовжувати рости. Переваги, пов'язані з SLM, будуть додатково генерувати більше додатків, які вимагають виробництва безпосередніх виробів. Таким чином, SLM є технологією, яка буде залишатися актуальною і важливою в галузі АВ в доступному для огляду майбутньому.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Thermophysical Phenomena in Metal Additive Manufacturing by Selective Laser Melting: Fundamentals, Modeling, Simulation and Experimentation*  
Christoph Meiera, Ryan W- Penny " ", Yu Zoua, Jonathan S- Gibbsa, A, John Harto
2. *Review of selective laser melting: Materials and applications* CY Yap ' , CK Chua', ZL Dong, ZH Liu, D. a. Zhang, LE Loh ' , and S, L. Sing'
3. W. Meiners, KD Wissenbach, and AD Gasser, "Shaped body especially prototype or replacement part production," US patent DE19649849C1 (1998).
4. S. Das and JJ Beaman, "Direct selective laser sintering of metals," US patent US6676892B2 (2004).
5. CK Chua and KF Leong, *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications*, 4th ed. (World Scientific, Singapore, 2014 року), p. 518.
6. AT Clare, PR Chalker, S. Davies, CJ Sutcliffe, and S. Tsopanos, *Int. J. Mech. Mater. Des.* 4, 181-187 (2007).
7. NK Tolochko, YV Khlopkov, SE Mozzharov, MB Ignatiev, T. Laoui, and VI Titov, *Rapid Prototyping J.* 6, 155-161 (2000).
8. P. Fischer, V. Romano, HP Weber, NP Karapatis, E. Boillat, and R. Glardon, *Acta Mater.* 51, 1651-1662 (2003).
9. X. Wang, T. Laoui, J. Bonse, J.-P. Kruth, B. Lauwers, and L. Froyen, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 19, 351-357 (2002).
10. JP Kruth, L. Froyen, J. Van Vaerenbergh, P. Mercelis, M. Rombouts, and B. Lauwers, *J. Mater. Process. Technol.* 149, 616-622 (2004).
11. K. Kempen, B. Vrancken, L. Thijs, S. Bols, J. Van Humbeeck, and J.-P. Kruth, in *Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings, 2013, Austin, TX, USA (The University of Texas at Austin)*.
12. I. Yadroitsev and I. Yadroitsava, *Virtual Phys. Prototyping* 10 (2), 67-76 (2015).

Шишило А. Д, наук. кер. Тулупов В.І. (Україна, м. Краматорськ, ДДМА)

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ЗУБЧАТИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Проаналізовані технологічні методи зміцнення поверхонь зубчатих коліс їх переваги та недоліки, й оцінка цих методів.*

*Technological methods of strengthening the surfaces of gears, their advantages and disadvantages, and evaluation of these methods are analyzed.*

Міцність зубчастих коліс залежить від матеріалу та способу їх хіміко-термічної обробки. Для вибору матеріалу та методу зміцнення зубчастих поверхонь деталей необхідно враховувати призначення передачі, режим її роботи, вимоги до габариту та ваги, технологічні вимоги, які пов'язані з обсягом виробництва та можливостями конкретного підприємства, економічні вимоги, пов'язані з коштом матеріалу та витратами на технологію зміцнення, спосіб отримання заготовки та подальшої механічної обробки тощо.

Вал-шестрени традиційно виготовляють з конструкційно-легованої сталі 40ХН (та замітники: 45ХН, 50ХН, 38ХГН, 40Х, 35ХГФ, 40ХНР, 40ХНМ, 30ХГВТ) Також ці сталі використовують для виготовлення осі, валів, шатунів, муфт, валів-шестерень, шпинделів, циліндрів та інших відповідальних навантажених деталей, котрі піддаються вібраційним і динамічним його навантажень, до яких пред'являються вимоги підвищеної міцності і в'язкості.

Для досягнення збільшення показників зносостійкості й строку служби виробу використовують зміцнення поверхневого шару виробу. Основними методами є ППД й хіміко-термічна обробка.

Зміцнення деталей пластичним деформуванням поверхні застосовують в основному для підвищення її втомної міцності, контактної витривалості і зносостійкості. Поверхневе пластичне деформування (ППД) це спосіб обробки деталей без зняття стружки шляхом деформації мікронерівностей і мікрodefektів прилеглих до поверхні шарів матеріалу. Істотне значення при цьому має і досягнення більш високих класів шорсткості поверхні деталей. Тому деталі, оброблені пластичним деформуванням поверхні, мають більш високу несучу здатність, ніж деталі, не піддані цьому виду зміцнюючої обробки. Основним видом такої обробки все ж являється алмазне вигладжування [3].

Більш розповсюдженим способом зміцнення є хіміко-термічна обробка а саме: цементация, азотування, гартування СВЧ [1].



Хіміко-термічною обробкою називають процес зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневих шарів і металу. Така обробка може бути застосована до деталей, від яких потрібно тверда і зносостійка поверхня при збереженні в'язкої і досить міцною серцевини, висока корозійна стійкість, високий опір втоми.

Загартування сталей струмами високої частоти (ТВЧ) - це один з поширених методів поверхневої термічної обробки, який дозволяє підвищити твердість поверхні заготовок. Застосовується для деталей з вуглецевих і конструкційних сталей або чавуну. Індукційний гарт ТВЧ являє собою один із самих економічних і технологічних способів зміцнення. Вона дає можливість загартувати всю поверхню деталі або окремі її елементи або зони, які відчувають основне навантаження.

При цьому під загартованою твердою зовнішньою поверхнею заготовки залишаються незагартовані в'язкі шари металу. Така структура зменшує крихкість, підвищує стійкість і надійність всього виробу, а також знижує енерговитрати на нагрівання всієї деталі.

Цементация - процес поверхневого насичення сталей вуглецем. Мета цементації отримати деталі з в'язкою серцевиною і твердою поверхнею. Такі деталі під час роботи не руйнуються від ударів і добре пручаються стирання. Цементації піддають деталі з вуглецевої і легованої сталі з вмістом вуглецю від 0,08 до 0,35% [3].

Температуру цементації приймають на 20-50 ° вище точки  $A_{C3}$ . Температура до 920-930 ° С (рис.1) це дозволяє майже в два рази скоротити тривалість процесу без погіршення механічних властивостей сталі. Тривалість цементації - від 5 до 15 і більше годин залежно від глибини насичення і марки сталі.

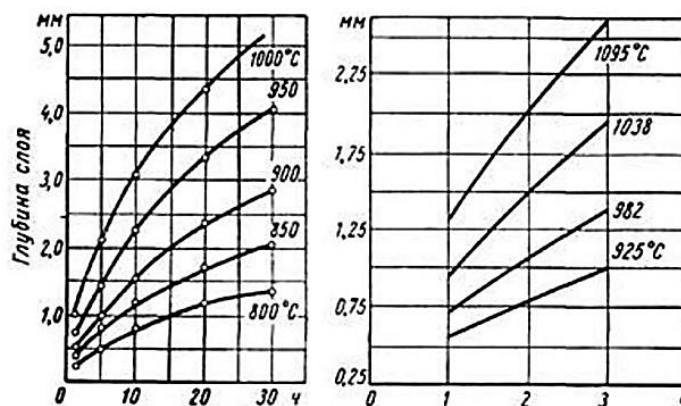


Рисунок 1 – Залежність товщини цементованого шару від часу обробки й температури, у газообразних й твердих карбюризаторах

Для цементації можуть бути використані найрізноманітніші печі - камерні, безперервної дії, з газом або електричні.

Недоліками цього методу є:

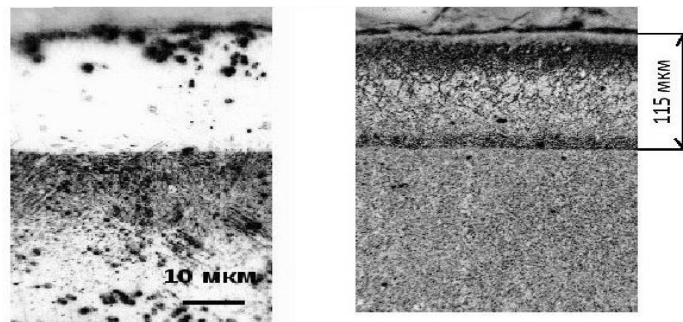
- Значні витрати часу

- Низька продуктивність процесу
- Великогабаритне обладнання
- Складність автоматизації

Азотування називається насичення поверхні сталі азотом. Сутність азотування полягає в тому, що аміак при температурі 500-750 ° С розкладається на азот і водень, і активні атоми азоту (атомарний азот), дифундуючи в поверхневий шар, повідомляють поверхні сталі велику твердість, не впливаючи на механічні властивості серцевини деталей. У промисловості для виготовлення деталей, що підлягають азотуванню, в даний час широко застосовують сталь марки 40Х або її замітник 40ХН [1].

Після остаточної механічної обробки деталі гартують від температури 960 ° С з охолодженням у воді або в маслі і піддають відпустці при 600 ° С також з охолодженням у воді або в маслі, потім деталі азотують. Час азотування від 12 до 60 і навіть до 90 годин в залежності від необхідної товщини азотованого шару і характеру процесу.

Тривалість витримки деталей в потоці аміаку в печі впливає на глибину азотованого шару. В середньому при 500 ° С азот за кожні 10 годин дифундує на глибину 0,1 мм. В результаті азотування твердість сталі досягає НВ 1000-1100; подальшої термічної обробки не потрібно йо відображено на рис. 2.



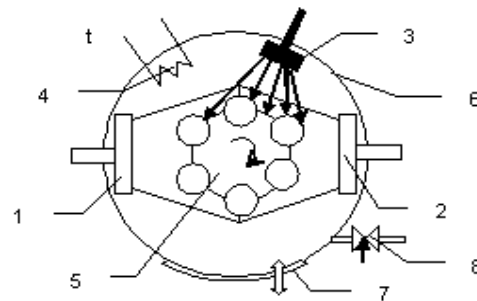
*Рисунок 2 – Мікроструктура сплаву 40Х до та після азотування*

Азотування має ряд переваг перед цементацією: вона дає незначну зміну розмірів деталей, забезпечує більш високу твердість і зносостійкість (при нагріванні до температури 500-550 ° С твердість азотованих деталей не знижується); демонструє у деталей хорошу опірність дії до перемінних навантажень, високої межі витривалості і корозійну стійкість, не потребує додаткових термічних обробок. Недолік азотування - тривалість процесу.

Азотування застосовують в машинобудуванні для отримання деталей високої якості дизельної апаратури, вимірювального інструменту, зубчастих коліс та ін.

Для нанесення покриттів на поверхню обробного інструменту, деталей і вузлів використовуються потоки іонів і плазми, що генеруються в умовах вакууму або при атмосферному тиску. Найбільш інтенсивному впливу піддаються поверхневі шари деталей, що контактують між собою (пари

тертя, підшипники). Широкими можливостями для нанесення покриттів мають вакуумні установки, що містять дугові випарники і розпилювальні магнетронні джерела. Швидкість нанесення захисних покриттів дуговим методом вище, ніж магнетронним. Однак мікрокрапельні режим дугового випаровування металу на катоді призводить до утворення мікрокрапель розміром в одиниці - десятки мікрометрів на поверхні оброблюваних виробів. При цьому шорсткість поверхні зростає. Магнетронний метод нанесення покриттів зазвичай застосовується для отримання плівок товщиною до 10 мкм. Дугові і магнетронні джерела мають різні конструкції магнітних систем для управління дуговим і магнетронним розрядами. Спільним є форма катода. Зазвичай застосовуються плоскі дискові і прямокутні катоди. Для магнетронних і дугових установок промислового застосування використовується також довгі обертові циліндричні катоди для збільшення ступеня використання матеріалу катода. Схема роботи й компонентів установки показана на рис. 3. У джерелах з циліндричними катодами вона становить 70-80%, в магнетронних джерелах з дисковими і прямокутними катодами використовується тільки 25-30% матеріалу катода [4].



*1, 2 - магнетрони з катодами з різних матеріалів, 3 - іонне джерело для попереднього очищення зразків, 4 - резистивний нагрівач, 5 - карусельний механізм обертання зразків, 6 - вакуумна камера, 7 - дверцята для завантаження зразків, 8 - регулятор потоку робочого газу.*

*Рисунок 3 - Схема технологічної установки для нанесення покриттів*

Технології нанесення типологічних покриттів на внутрішні поверхні деталей і вузлів починає впроваджуватися в промисловості. Зарубіжна компанія Mahle застосовує іонно-плазмове нанесення покриттів на робочі поверхні підшипників, маркуючи їх "Sputter" (катодного розпилення). Такі підшипники з плазмовою обробкою поверхні використовують у виробництві двигунів легкових і вантажних автомобілів Audi, Mercedes-Benz, MAN [2].

## ВИСНОВОК

Вал-шестерні будуть залишатися однією з найважливіших деталей машинобудування. Тенденції зниження ваги, а також збільшення швидкостей і потужності вимагає застосування нових матеріалів і технологій зміцнення валів. Вплив експлуатаційних факторів призводить до помилок вже на стадії

проектування. Необхідно забезпечити ресурс валів по згинальній і контактній витривалості, а також по зносу. Традиційні методи поверхневого зміцнення мають ряд недоліків. Найбільш перспективний метод іонно-плазмового зміцнення як фінішний процес. Для забезпечення максимальної несучої здатності шестерні необхідно оптимізувати компоновку поверхневого шару за принципом мінімізації напружено-деформованого стану.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Папшев Д. Д. *Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием* / Д. Д. Папшев. Москва : Машиностроение, 1978. 152 с.
2. *Современная трибология: Итоги и перспективы*. Под ред. Фролова К.В. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.
3. Сулима А. М. *Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин* / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. Москва : Машиностроение, 1988. 240 с.
4. Попов В.Ф., Горин Ю.Н. *Процессы и установки электронно-ионной технологии*. – М.: Высш. Шк., 1988.

**Шматко В. А.**, наук. кер.: к.т.н. Олійник С.Ю, (Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна)

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДРІБНИХ ВАЛІВ

*У статті розглянуто конструкції технологічного оснащення для встановлення дрібних валів на верстатах з ЧПК. Виконано огляд конструкцій торцевих повідкових патронів. Проаналізовано перспективний напрямок розвитку конструкцій торцевих повідкових патронів.*

*The article considers the design of technological equipment for the installation of small shafts on CNC machines. A review of the designs of end flood cartridges. The perspective direction of development of designs of face flood cartridges is analyzed.*

Ефективність механічної обробки дрібних валів в умовах серійного виробництва з використанням верстатного обладнання з ЧПУ та оброблювальних центрів великою мірою залежить від використання якісного технологічного оснащення. Пристосування повинно забезпечити необхідну точність операційних розмірів, похибки базування та закріплення необхідно звести до мінімуму. Відносне переміщення інструменту та заготовки при обробці на верстаті з ЧПК виконується по заздалегідь заданим координатам, що обумовлює повне базування в пристосуванні, а бази мають визначене положення відносно системи координат. Зменшення основного часу обробки досягається шляхом інтенсифікації режимів різання та концентрації технологічних переходів, а скорочення допоміжного шляхом автоматизації допоміжних переходів. Концентрацію переходів та виключення переустановлення заготовки на токарних операціях дозволяє виконати торцевий повідковий патрон.

**Метою роботи** є аналіз сучасних конструкцій торцевих повідкових патронів. Патрони повідкові торцеві, призначені для базування та закріплення заготовок типу валів на верстатах з ЧПУ, які мають вказівник осевого підтискання заготовок піноллю задньої бабки верстата.

В роботі [1] представлені основні типи конструкцій повідкових торцевих патронів (рис. 1). Основна перевага таких патронів в том, що вони забезпечують обробку заготовки за один установ, що зберігає допоміжний час на операцію та підвищує ефективність використання верстата з ЧПУ. Для всіх конструкцій патронів заготовка базується в центрах, при цьому передній центр спирається на пружину, що обумовлює його занурення в патрон під час закріплення. Це забезпечує базування заготовки по торцевій поверхні. Закріплення здійснюється шляхом підтискання заготовки заднім центром і створення осевої сили. Крутний момент передається зі шпинделя на заготовку за допомогою штирків. Штирки спираються або на гідропласт (рис. 1, а, б, в), або на сферичну п'яту, яка встановлена в підп'ятнику, що

забезпечує самовстановлення штирків по торцю заготовки (рис. 1, з). Врізання штирів в торець заготовки на глибину 0,2 мм забезпечується їх відповідним заточуванням. Загальний недолік таких повідкових торцевих патронів в тому, що вони мають обмеження по передачі крутного моменту. Через це їх використовують на чистових операціях зі зняттям невеликої глибини різання за один прохід та з малими подачами. Для інтенсифікації режиму різання необхідно вибирати по можливості більший діаметр врізання штирків відносно діаметру заготовки, який оброблюється. Повідкові торцеві патрони можна використовувати не тільки на токарних, а і на шліфувальних та зубонарізних операціях.

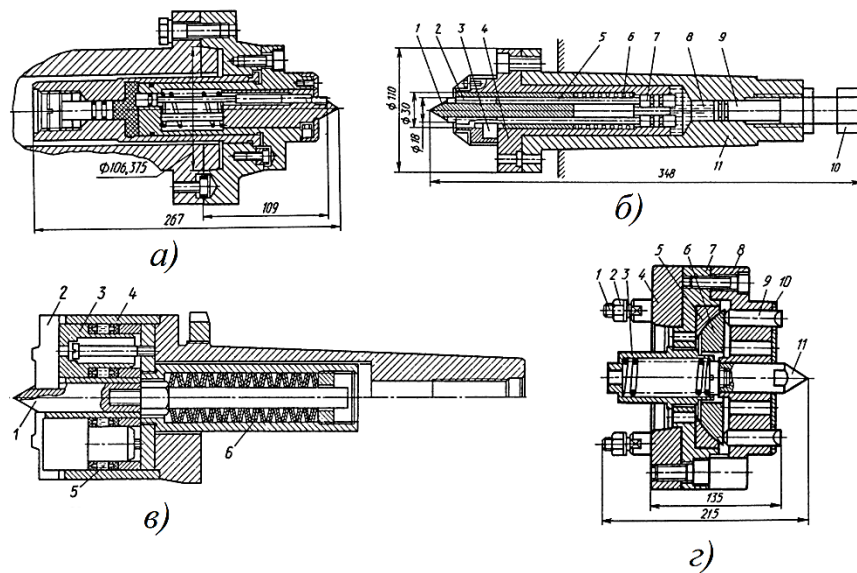
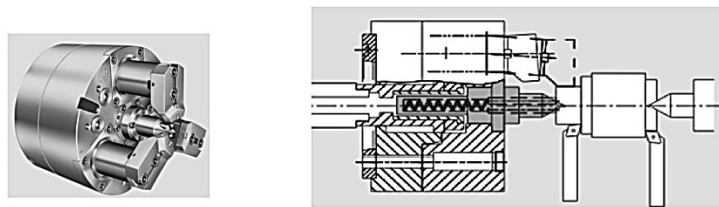
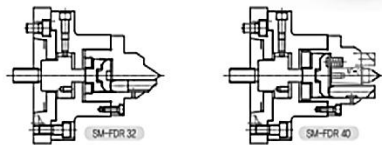


Рисунок 1 – Схеми конструкцій торцевих повідкових патронів [1]

Конструкції представлених патронів були розроблені ще в 70-80-х роках минулого століття. Для аналізу сучасних конструкцій було виконано огляд каталогів провідних світових фірм з виготовлення технологічного оснащення, зокрема патронів. Конструкції торцевих повідкових патронів були виявлені тільки в двох каталогах (рис. 2).



a)



б)

Рисунок 2 - Схеми конструкцій торцевих повідкових патронів з сучасних каталогів [2, 3]

Патрон з каталогу італійської фірми SMW-AUNOBLOK [2] (рис. 2, а) поєднує в собі конструкцію торцевого патрона та трикулачкового, що підвищує його універсальність і дозволяє виконувати чорнові етапи обробки з використанням компенсаційних кулачків.

Патрон з каталогу китайської фірми SEOAM MACHINERY INDUSTRY [3] (рис. 2, б) має конструкцію схожу на конструкції вище представлених торцевих патронів (рис. 1, б, в).

Огляд сучасних патентів дає розуміння перспектив розвитку конструкцій торцевих повідкових патронів (рис. 3).

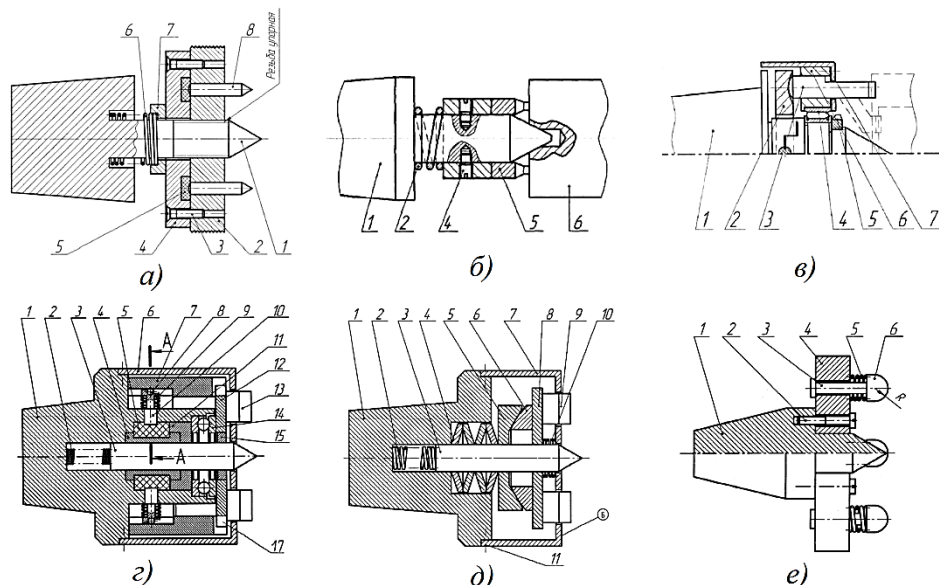


Рисунок 3 - Схеми конструкцій торцевих повідкових патронів за результатами патентного пошуку [4-9]

Пристрій (рис. 3, а) має нерухомий центр та повідковий диск. Для підвищення точності обробки та надійності закріплення заготовки на



багатоцільових токарних верстатах воно забезпечено повідками, які розміщено на повідковому диску; опорною шайбою, яка жорстко з'єднана з повідковим диском, з'єднаним з нерухомим центром за допомогою лівої упорної різьби [4]. Повідковий пристрій (рис. 3, б) має корпус, в якому розташований нерухомий центр та встановлена підпружинена втулка. Для підвищення надійності патрона, зменшення осьових зусиль та збільшення жорсткості за рахунок зменшення сполучених поверхонь, повідковий пристрій має в своїй конструкції різці, які жорстко закріплені на підпружиненій втулці [5].

Повідковий пристрій (рис. 3, в) у корпусі якого розташовані нерухомий центр та повідки. Для підвищення точності обробки та забезпечення надійного автоматичного налаштування на передачу потрібного крутного моменту воно забезпечено зафіксованим, відносно нерухомого центру, диском з канавками змінної глибини, призначеними для взаємодії з повідками та підшипником, на який встановлено корпус з нерухомим центром [6]. Повідковий пристрій (рис. 3, г) має стакан з симетричними вирізами, встановлений на корпус, всередині якого розміщений підпружинений центр, який пов'язаний з повідковою шайбою через механізм осьового переміщення шайби [7].

Конструкція пристрою (рис. 3, д) для встановлення заготовок передбачає, що на підпружинений центр, розташований у корпусі повідкового пристрою встановлені тарілчасті пружини, а також конічна та сферична шайби для взаємодії з повідковою шайбою [8]. Конструкція пристрою для обробки валів на токарних, круглошліфувальних та зуборізних верстатах (рис. 3, е) має корпус, у якому розташований нерухомий центр та встановлені пальці підпружинених повідкових елементів [9]. Для збільшення точності обробки, жорсткості встановлення заготовки та величини крутного моменту, який може передавати патрон, повідкові елементи виконані самовстановлюваними, плаваючими полусферами. Для такого торцевого патрона необхідно готувати спеціальні отвори на торці заготовки.

## ВИСНОВКИ

Повідкові патрони застосовуються у токарній, шліфувальній та зубонарізній обробці. Застосовуються такі патрони для чистової обробки валів, які потребують високої співвісності поверхонь. Перспективи розвитку конструкцій торцевих патронів пов'язані зі збільшенням їх точності, жорсткості, а також величини передачі крутного моменту.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов Ю.И. *Оснастка для станков ЧПУ: Справочник* / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. -512 с. <https://tgm.nmu.org.ua>
2. Каталог SMW AUTOBLOK [Электронный ресурс], 2019. Режим доступа: [https://www.smw-autoblok.de/index.php?option=com\\_sppagebuilder&view=page&id=55&Itemid=381&lang=en](https://www.smw-autoblok.de/index.php?option=com_sppagebuilder&view=page&id=55&Itemid=381&lang=en)



3. Каталог SEOAM MACHINERY INDUSTRY [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.smiltd.co.kr/english/index.html>
4. Пат. 2372169 С1 РФ, В23В33/00. Поводковое устройство / Ильицкий В.Б., Ерохин В.В., Пыриков И.Л.; заявитель и патентообладатель БГТУ. - № 2008113609/02; заявл. 07.04.2008; опубл. 10.11.2009, Бюл № 31. – 6 с.
5. Пат. 2359787 С2 РФ, В23В33/00. Поводковое устройство / Ильицкий В.Б., Ерохин В.В., Моисеев В.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ, Моисеев В.В. - № 2006136472/02; заявл. 16.10.2006; опубл. 27.06.2009, Бюл № 18. – 5 с.
6. Пат. 2352438 С2 РФ, В23В33/00. Поводковое устройство / Ильицкий В.Б., Ерохин В.В., Моисеев В.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ, Моисеев В.В. - № 2006136471/02; заявл. 16.10.2006; опубл. 20.04.2009, Бюл № 11. – 5 с.
7. Пат. 2294818 С2 РФ, В23В33/00. Поводковое устройство / Ерохин В.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ. - № 2005109615/02; заявл. 04.04.2005; опубл. 10.03.2007, Бюл № 7. – 7 с.
8. Пат. 2294817 С2 РФ, В23В33/00. Поводковое устройство / Ерохин В.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ. - № 2005107281/02; заявл. 15.03.2005; опубл. 10.03.2007, Бюл № 7. – 6 с.
9. Пат. 2294816 С2 РФ, В23В33/00. Поводковое устройство / Ерохин В.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ. - № 2005107254/02; заявл. 15.03.2005; опубл. 10.03.2007, Бюл № 7. – 6 с.

**СЕКЦІЯ 2 - SECTION 2**  
**(МАН з науково-промислового профілю)**

УДК 625.032 І

**Гай Б. Т., Кульбачко О.М., учні 10 класу** (Україна, Маріуполь. Комунальний заклад «Маріупольський технічний ліцей» Маріупольської міської ради Донецької області)

**МАГІЧНИЙ КВАДРАТ І МЕТОДИ ЙОГО ПОБУДОВИ**

*Розроблено авторські алгоритми та виведено наслідок з одного із алгоритмів для підрахунку бажаного сегмента арифметичної прогресії від  $a$  до  $b$ , який дає змогу прорахувати суму членів арифметичної прогресії на бажаній ділянці.*

*Author's algorithms are developed and the result is derived from one of the algorithms for calculating the desired segment of arithmetic progression from  $a$  to  $b$ , which allows you to calculate the sum of the members of the arithmetic progression in the desired area.*

Мета дослідницької роботи полягає у вивченні методів побудови магічних квадратів та використанні їх алгоритмів на практиці; розробці власних алгоритмів для квадратів різного порядку; пошуку зв'язку з арифметичною прогресією.

У роботі узагальнено новий матеріал з досліджуваної теми, вводяться в науковий обіг методи заповнення магічних квадратів, використання їх на практиці та їх зв'язок з арифметичною прогресією.

Для реалізації дослідницької мети визначені такі завдання: ознайомитися з видами магічних квадратів та їх властивостями, проаналізувати відомі методи заповнення магічних квадратів, вивести власний метод заповнення з можливими корисними наслідками, використання алгоритмів заповнення магічних квадратів у криптографії.

У зв'язку з вивченими матеріалами у роботі основну увагу приділено методам заповнення магічних квадратів різного порядку, вивченню властивостей магічного квадрату та зв'язок магічних квадратів з арифметичною прогресією.

Розроблено авторські алгоритми та виведено наслідок з одного із алгоритмів для підрахунку бажаного сегмента арифметичної прогресії від  $a$  до  $b$ , який дає змогу прорахувати суму членів арифметичної прогресії на бажаній ділянці. Подальші дослідження потребують вивчення зв'язку між специфічними видами магічних квадратів та арифметичною прогресією. Планується зробити програму для автоматичного заповнення магічних квадратів та кодування за допомогою алгоритмів заповнення магічних квадратів.

**Діхтенко І.Р., учениця 11кл., наук.кер. учитель фізики та математики Колесников С.О. (Україна, С. Андріївка, Андріївський ЗЗСО) I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.)**

## **ІСТОРИЧНІ НОТАТКИ ВІДКРИТТЯ ЕФЕКТУ ДОПЛЕРА ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

*Надано історичний нарис відкриття ефекту Доплера і використання його в діагностиці стану об'єктів.*

*A historical sketch of the discovery of the Doppler effect and its use in object state diagnostics is provided.*

Крістіан Доплер (нім. Christian Doppler) народився 29 листопада 1803 року у Зальцбурзі. З 1850 - професор Віденського університету і директор першого в світі Фізичного інституту, створеного при Віденському університеті за його ініціативою.

Наукові інтереси Крістіана Доплера лежали в таких галузях фізики як оптика і акустика. Основні праці виконані по аберації світла, теорії мікроскопа і оптичного далекоміра, теорії кольорів і деяким іншим темам. У 1842 Доплер теоретично обґрунтував залежність частоти коливань, що сприймаються спостерігачем, від швидкості і напрямку руху джерела хвиль і спостерігача відносно один одного. Це явище згодом було назване його ім'ям (ефект Доплера). У 1848 році ефект Доплера був уточнений французьким фізиком Арманом Фізо, а в 1900 році — і експериментально перевірений А. А. Білопольським на лабораторній установці.

Доплер помітив, що тон гудка потяга змінюється, коли він прибуває на станцію і, коли від'їжджає від неї. Він задав собі питання, як пов'язана висота звуку із швидкістю руху його джерела. Він посадив на потяг музикантів і попросив грати одну і ту ж ноту. Інші музиканти розмістилися попереду потяга і позаду нього на великій відстані і повинні були визначити, яку саме ноту зіграли музиканти, які їдуть на потязі. Ті, що були позаду потяга чули нижчу ноту ніж зіграли музиканти, а ті, що були попереду чули вищу ноту. Доплер перший пояснив і описав це явище. Таким чином, в повній темноті ми по звуку можемо визначити чи хтось підходить до нас, чи йде геть від нас. Із ефекту Доплера випливає цікавий результат. Коли швидкість звуку дорівнює швидкості тіла, тоді частота звуку повинна бути нескінченно великою. При цьому виникає ударна хвиля. Ясної днини ми чули грім, а коли піднімали голову, бачили в небі літак. Грім з'являється тоді, коли швидкість літака перевищує швидкість звуку і виникає ударна хвиля, що відповідає ефекту Доплера. Оскільки куля летить із швидкістю звуку, ми чуємо високочастотний звук – свист. Проте, пізно падати на землю, коли ми його почули, оскільки куля вже пролетіла.

Цей ефект був встановлений для звукової хвилі. Проте він виникає не тільки при поширенні звукових хвиль, але і взагалі будь-яких хвиль, в тому числі і електромагнітних, одним із видів яких є видиме світло. Якби наше око був надчутливе, то ми могли б помітити, що як і у випадку зі звуком, якщо джерело світла наближається до спостерігача, то довжина хвилі стає меншою, а частота більшою, і навпаки, якщо джерело світла віддаляється від спостерігача, то довжина хвилі збільшується, а частота - зменшується. Тобто світло зеленої лазерної указки при стрімкому її наближенні до нас спостерігався б як злегка блакитний, а при віддаленні від нас був би більш жовтим. Але наше око розрізнити цього не може, зате точні прилади можуть. Цей ефект дозволив вченим зробити одне дуже важливе спостереження - спектри спостережуваних нами зірок трохи зміщені по частоті в меншу сторону, що називається «червоним зміщенням» та є доказом того, що галактики віддаляються одна від одної, а значить, Всесвіт розширюється. Це, мабуть, найважливіше застосування ефекту Доплера у фундаментальній науці. Але ефект Доплера і пов'язані з ним формули знайшли дуже широке застосування не тільки в астрономії. Перш за все, варто сказати про медицину. При ультразвуковій діагностиці ефект Доплера застосовується для дослідження внутрішніх органів людини. Ультразвукова доплерографія (УЗДГ) – метод, заснований на ефекті Доплера, який полягає в зменшенні частоти ультразвуку, відбитого від рухомого середовища, в тому числі від рухомих еритроцитів у крові. Зсув частоти (доплерівська частота) пропорційний швидкості руху крові в судинах і куту між віссю судини та датчиком. УЗДГ дозволяє крізь шкіру проводити вимірювання лінійної швидкості кровотоку і його напрямки в поверхнево розташованих судинах, в тому числі в екстракраніальних відділах сонних артерій.

А також, саме ефект Доплера лежить в основі дії поліцейських радарів, що визначають швидкість автомобілю, і камер, що стежать за швидкісним режимом на дорогах. Ефект Доплера застосовується в метеорології, повітряній навігації, а також при розрахунках траєкторій супутників.

## ВИСНОВОК

Таким чином доплерівський ефект практично знайшов широке застосування в науці, техніці і людському житті.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Велика енциклопедія Кирила і Мефодія 2001 (2 CD-ROM).
2. Джанкола Д. Фізика: У 2-х т. Т. 1: Пер. з англ. - М.: Світ, 1989. - 656 с., Іл.
3. Савельєв І. В. Курс загальної фізики: Учеб. посібник. У 3-х т. Т. 2. Електрика і магнетизм. Хвилі. Оптика. - 3-е изд., Испр. - М.: Наука. Гл. ред. фіз.-мат. лит., 1988. - 496 с., іл.

**Казакевич У. З. учениця 10 класу, наук.кер. к.т.н., доц. Карнаух С.Г.**  
(Україна, м. Словянськ, ЗОШ № 6, м.Краматорськ, ДДМА)

## **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЩОДО ВИБОРУ СПОСОБУ РОЗДІЛЕННЯ ПРОКАТУ НА МІРНІ ЗАГОТОВКИ З ЗАСТОСУВАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ І СИНЕРГЕТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ**

*З метою оцінки ефективності застосування синергетичних критеріїв для розділових процесів сортового прокату проведені розрахунки для сталей і кольорових сплавів з різними механічними властивостями. Результати розрахунків, із застосуванням синергетичних критеріїв руйнування*

*In order to assess the effectiveness of the application of synergetic criteria for the separation processes of long products, calculations were performed for steels and non-ferrous alloys with different mechanical properties. The results of calculations using synergetic destruction criteria*

На сучасному етапі розвитку машинобудування проблема економічного використання енергоресурсів і металу при його переробці пред'являє зростаючі вимоги до технології й устаткування для поділу вихідних матеріалів на заготовки.

На кожному машинобудівному підприємстві операція поділу сортового прокату є типової й масовою. Враховуючи, що в Україні щорічно роблять десятки мільйонів заготовок із прокату, стає очевидною актуальність робіт, спрямованих на вдосконалювання існуючих і розробку нових технологій виробництва заготовок.

Тому у вітчизняній і закордонній промисловості не слабшає інтерес до розробки нових і вдосконалюванню існуючих способів поділу сортового прокату. При серійному та крупносерійному виробництві найбільш доцільним є застосування безвідхідних способів розділення сортового прокату: відрізкою зсувом та ломкою згином, які реалізується в штампах на пресах та холодноломах.

Комплексні дослідження безвідходних способів поділу сортового прокату широко проводилися на території країн колишнього СРСР: «Мосстанкин», «ЭНИКМАШ», «Воронежское ПО по выпуску тяжелых механических прессов» (ВСКБКМ), «Донпрессмаш», Харківський авіаційний, Кишинівський політехнічний, Донецький фізико-технічний інститути, так і за кордоном: Англія, Німеччина, Японія та ін. Великий внесок у створення теорії, технології й устаткування для безвідхідного поділу сортового прокату внесли вчені: К. Кесслер, О. Келлер, Х. Гросс, Т. Накагава, А.П. Гуляєв, С.С. Соловцев, Н.Л. Лисунец, Е. А. Попов, В. Т. Мещерин, К. Н. Богоявленський, В. А. Тимощенко, В. П. Романовський,

В. А. Скороход, Е. М. Третьяков, П. Е. Кислий, В. М. Кононенко,  
В. М. Финкель і ін.

Для вибору того або іншого способу поділу необхідно мати об'єктивні критерії – набір показників, за якими можна зробити такий вибір.

Традиційні показники, які характеризують механічні властивості матеріалу: границя текучості, границя міцності, відносне подовження, відносне звуження, твердість не дають можливості вірогідно класифікувати матеріали по їхній чутливості до руйнування.

Мета роботи – розробка методики по використанню системи критеріїв, що дозволяють вірогідно класифікувати матеріали по їхній чутливості до руйнування, для вибору раціонального способу поділу прокату на мірні заготовки.

Для розв'язку даного завдання запропоновано використовувати синергетичні комплексні критерії, розроблені професором Скудновим В. А., які дозволяють дати комплексну оцінку чутливості матеріалу до руйнування:

- гранична питома енергія деформації (показник в'язкості металу) –  $W_c$ ;
- критерій зародження тріщини –  $K_{ЗТ}$ ;
- критерій поширення тріщини –  $K_{РТ}$ ;
- критерій крихкості –  $P_{ХР}$ ;
- критерій «масштаб» –  $M$ .

З метою оцінки ефективності застосування синергетичних критеріїв для розділових процесів сортового прокату проведені розрахунки для сталей і кольорових сплавів з різними механічними властивостями. Результати розрахунків, із застосуванням синергетичних критеріїв руйнування, представлені в табл. 1.

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити висновки:

1. Найбільш прийнятним критерієм для вибору способу поділу є критерій «масштаб»  $M$ .

2. Установлено діапазон значень критерію «масштаб» для прогнозування характеру руйнування матеріалу:  $M = 0 \dots 600$  – матеріал у тендітному стані: Сталь У8А, Сталь 40Х, Сталь 65Г, Сталь 60С2, Дюралюмін Д16, Сталь ШХ15 (загартування  $860^{\circ}\text{C}$ , масло, температура відпуску  $550^{\circ}\text{C}$ );  $M = 600 \dots 1500$  – матеріал перебуває в проміжному пружно-пластичному стані: Сталь 30 (горячекатана), Сталь 30ХГСА, Сталь 10 (калібрована нагартована), Сталь 40 (горячекатана), Сталь ШХ15 (віджиг  $800^{\circ}\text{C}$ , повітря), Сталь 45, Сталь 45 (горячекатана), Сталь 45 (калібрована нагартована);  $M = 1500 \dots 3000$  – матеріал у пластичному стані: Сталь Ст 3, Сталь 3Х13, Сталь 10 (горячекатана), Сталь 20 (калібрована нагартована), Сталь 20 (горячекатана), Латунь ЛС 59-1.

3. Дано рекомендації щодо обрання способу розділення сортового прокату на мірні заготовки: для матеріалів у пластичному стані рекомендується застосувати відрізок сортового прокату зсувом з активним поперечним затиском прокату; для матеріалів у проміжному пружно-пластичному стані рекомендується застосовувати відрізок зсувом із застосуванням більш простих схем навантаження; для матеріалів у крихкому стані рекомендується спосіб поділу ломкою згином.

### **СПИСОК ПОСИЛАНЬ**

1. *Karnaukh S.G. Development of the choice procedure for separation method of section iron complex criteria of materials destruction // Mechanics and Advanced Technologies #2(80), 2017. P. 31-38.*

2. *Карнаух С.Г., Винников М.А., Карнаух Д.С. Применение критериев разрушения материалов для выбора способа разделения сортового проката // Металлообработка, №1(61). – Санкт-Петербург. – 2011. – С.25-31.*

**Марченко А.М., учениця 11кл., наук.кер. учитель історії Шевченко О.М.**  
(Україна, С. Андріївка, Андріївський ЗЗСО) I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.)

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНОЇ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В 20-ті рр. ХХІ ст. В КОНТЕКСТІ ІСТОРІЇ ЇЇ ФОРМУВАННЯ**

*Надано аналіз нові тенденції в розвитку основних елементів НІС України в 20-ті рр. ХХІ ст. в контексті історії її формування.*

*An analysis of new trends in the development of the main elements of the NIS of Ukraine in the 20s of the XXI century. in the context of the history of its formation.*

Досвід розвинених країн показує, що наявність національної інноваційної системи (НІС), є умовою конкурентоспроможності країни, стійкого розвитку її економіки.

Мета дослідження – розглянути нові тенденції в розвитку основних елементів НІС України в 20-ті рр. ХХІ ст. в контексті історії її формування.

Ступінь дослідження теми: особливості розвитку національної інноваційної системи України в 20-ті рр. ХХІ ст. в контексті історії її формування як самостійна проблема в роботах фахівців не досліджується. Деякі історичні аспекти, пов'язані із становленням НІС в Україні, розглянуті в роботах економістів.

Поняття «національна інноваційна система» виникло у 80-х роках минулого століття і широко застосовується у багатьох країнах світу. Вперше його використав К. Фрімен при описі результатів дослідження технологічної політики Японії.

Національна інноваційна система – це сукупність взаємопов'язаних організацій (структур), що займаються виробництвом та комерційною реалізацією наукових знань і технологій в межах національних кордонів [3].

До її елементів належать: виробничі, компанії, університети, державні лабораторії, технопарки та інкубатори.

Створення НІС в Україні передбачало мету покращення умов життя на основі нової якості економіки за рахунок технологічної модернізації національної економіки.

Історія становлення НІС в Україні бере свій початок із 1991 р. коли було прийнято Закон України «Про інвестиційну діяльність», у ст. 3 якого було закріплено поняття інноваційної діяльності. Безпосередньо інноваційній діяльності були присвячені Закони України «Про інноваційну діяльність» (2002 рік) та «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні» (2003 рік), які безпосередньо регулюють інноваційну діяльність.



Також було прийнято ряд законів, які регламентували наукову і науково-технічну діяльність. В їх числі слід відзначити закони «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про наукову і науково-технічну експертизу», «Про спеціальний режим інвестиційної та інноваційної діяльності технологічних парків», «Про стимулювання розвитку регіонів» та деякі інші. Вони стали правовим підґрунтям функціонування національної інноваційної системи.

Одночасно почали формуватися складові елементи НІС. У 1991 р. було створено Державний комітет з питань науки, техніки і промислової політики, який у 1996 році був перетворений у потужне Міністерство науки і технологій. Однак невдовзі воно було ліквідоване, а наука передана у нове Міністерство освіти і науки. В інноваційній сфері діяли Державний комітет з питань науки і інтелектуальної власності (1998–2000 рр.) та інші.

Новим етапом в розвитку НІС України стає формування технологічних парків як її основного елемента. Це знайшло відображення в Законі України «Про спеціальний режим інноваційної діяльності технологічних парків», який було прийнято в 1999 р.[2]. У 2000-2001 рр. в країні реально діяли чотири технологічних парки [3]. на цьому етапі відбувається подальше вдосконалення законодавчого забезпечення НІС та її організаційної структури.

Це було пов'язано з прийняттям у 2002р. Закона України «Про інноваційну діяльність», який закріпив принципи державної політики у сфері комерційної інноваційної діяльності [4], а також зростанням кількості технологічних парків. У 2005 р. їх кількість досягає восьми, а вироблена ними продукція склала 10% всієї інноваційної продукції країни.

Після 2005 р. зростання технологічних парків призупинилося. У 2007 р. технологічними парками було реалізовано продукції на 2604,5 млн. грн., що склало максимум в її виробництві, після чого у 2008 р. починається різкий спад діяльності даних інноваційних структур.

Під впливом світових економічних криз 2008, 2010 рр., а також внутрішньої соціально-економічної та політичної кризи 2014 р. і інших чинників відбулося гальмування розвитку структурних елементів НІС.

З 2016 р. відновлюється розвиток НІС України. Це сталося за рахунок зростання кількості бізнес-інкубаторів, найменше розвиненого елемента НІС з моменту її формування. У 2016 році, за даними Української асоціації бізнес-інкубаторів та інноваційних центрів (УАБІЦ) їхня чисельність склала близько 10-ти бізнес-інкубаторів, які реально працювали. Серед них, це – Білоцерківський, Славутицький, Хмельницький, Сімферопольський, Львівський, Івано-Франківський бізнес-інкубатори.

З 2018 р. в Україні виникають нові тенденції в розвитку елементів інфраструктури НІС. В українських вишах формується мережа бізнес-інкубаторів, де студенти та науковці навчаються тому, як результати їхніх досліджень втілити в бізнес. Студентський бізнес-інкубатор надає

можливість новим компаніям та молодим підприємцям на етапі заснування, започаткування та становлення власного бізнесу здійснити це з мінімальними затратами, кожен студент може отримати консультацію з підприємництва, отримати відповідну літературу тощо.

### ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу були розглянуті історія формування законодавчої бази і основних елементів НІС України, визначені також етапи в її розвитку.

В цілому можна виділити чотири етапи в розвитку НІС в Україні:

- 1) формування нормативно-правової і організаційно-економічної основи в становленні НІС (1991–1999 рр.);
- 2) ускладнення її організаційно-економічної структури (2000-2007рр.);
- 3) період її кризи із 2008 р. до 2016 р.;
- 4) відновлення розвитку НІС із 2016 р.

Основними проблемами, які гальмують розвиток НІС в Україні, як вважають дослідники є:

- граничний попит на інноваційну продукцію з боку підприємств, особливо машинобудівної галузі;
- недостатнє фінансування інноваційною діяльністю з державного бюджету;
- відсутність зацікавленості з боку фінансового сектору в підтримці інноваційних проектів тощо;
- складні соціально-економічні і політичні умови в середині країни.

Таким чином, до начала ХХІ ст. в Україні сформувались певні елементи НІС. В своєму розвитку вона пройшла чотири етапи, досягнувши піку у 2008 р. після чого відбувається її спад, а з 2016 р. відновлення її розвитку. Подальший її розвиток буде пов'язаний із подоланням перелічених перешкод і створення сприятливий умов для інноваційної діяльності усіх суб'єктів української економіки.

Теоретичне і практичне застосування отриманих результатів:

- отримані результати можна використати для подальшого дослідження проблеми особливостей розвитку НІС В Україні;
- сформульовані узагальнення можуть бути застосовані на уроках з історії України при вивченні питань, пов'язаних з розвитком країни в період кінця ХХ – початку ХХІ ст.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Багрова І.В. Національна інноваційна система України: характеристика та проблеми становлення / І.В. Багрова, О.Л. Черевко // Вісник ДДФА. – 2010. - №2 (24). - с. 81 - 90
2. Білозубенко В.С. Роль національної інноваційної системи у підтриманні інноваційної активності / В.С. Білозубенко // Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Сер. Економічні науки . – 2009. – №4. – С.13-20.

3. Бунчук М. Национальные инновационные системы: основные понятия и приложения (по материалам зарубежных авторов) [Электронный ресурс] / М. Бунчук. – Режим доступа: <http://www.biz.nnov.ru/>
4. Иванов В.В. Актуальные проблемы формирования Российской ИС [Электронный ресурс] / В.В.Иванов. – Режим доступа: <http://www.opes.ru/>
5. Кавтиш О.П. Теоретико-методологічні підходи до визначення національної інноваційної системи / О.П. Кавтиш, А.В. Гречко // Інноваційна економіка. Всеукраїнський науково-виробничий журнал. - 2011. - № 2. – с. 223-228
6. Карпунь І.Н. Структура і середовище національної інноваційної системи України / І.Н. Карпунь // Науковий вісник НЛТУ України. 2010. – Вип. 20.14 – с. 193 – 200
7. Кузьменко О. Особливості національної інноваційної системи [Електронний ресурс] / О. Кузьменко. – Режим доступа: [http://www.ukrlife.org/main/cxid/8inn\\_ua.doc/](http://www.ukrlife.org/main/cxid/8inn_ua.doc/)
8. Микитюк З.В. Особливості розвитку вітчизняних науково-технічних та інноваційних структур / З.В. Микитюк // Стратегія розвитку України (економіка, соціологія, право): Наук. журн. – 2006. – № 2-4. – с. 197-212
9. Демчишак Н.Б. Розвиток технологічних платформ як інструмент реалізації інноваційного потенціалу в Україні / Н.Б. Демчишак, В.А. Біленька // В.А. Гроші, фінанси і кредит. – 2018. Вип. 16. – с. 731–738

**Мешков А.І.** наук.кер. к.т.н., доц Суботін О.В., учитель хімії Аксенкова Е.В.  
(Україна, м. Краматорськ, ЗОШ № 16, ДДМА)

## **ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ ЯК ДЖЕРЕЛО ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА**

*Визначено ступінь забрудненості атмосферного повітря в межах Донецької області при аналізі етапів технологічного процесу уловлювання атмосферного вуглекислого газу, з'ясуванні рентабельності видобування органічного палива з діоксиду карбону.*

*The degree of air pollution within the Donetsk region was determined during the analysis of the stages of the technological process of capturing atmospheric carbon dioxide, finding out the profitability of extraction of organic fuel from carbon dioxide.*

Донеччина – промисловий регіон України, а разом із тим і один із найзабрудненіших. Великі промислові підприємства хімічної, машинобудівної, металургійної, гірничодобувної, енергетичної галузей порушують гомеостаз біосистем, викидаючи відходи в навколишнє середовище. Крім того, Донецький регіон – густозаселений, як наслідок – велика кількість транспорту й значна щільність розташувань населених пунктів негативно впливають на стан навколишнього середовища [1].

Згідно з дослідженнями Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського (2019 рік), до списку міст із високим рівнем забруднення атмосферного повітря увійшли Маріуполь (2 місце), Краматорськ (12 місце) і Слов'янськ (18 місце) [2]. Вони займають провідні позиції в області з викиду в атмосферу діоксиду карбону. Тому проблема утилізації вуглекислого газу з повітря в нашому регіоні на сьогодні стає дуже актуальною.

Актуальність: розроблена конструкція дає можливість не тільки очистити повітря від парникового газу, але й отримати з нього вуглеводневе паливо. Під час моделювання нами враховано наукові принципи сучасного виробництва: вибір сировини, теплообмін, безперервність, поперечний потік газообміну, комп'ютеризація виробничих процесів.

Мета проекту: визначити ступінь забрудненості атмосферного повітря в межах Донецької області, проаналізувати етапи технологічного процесу уловлювання атмосферного вуглекислого газу, з'ясувати рентабельність видобування органічного палива з діоксиду карбону.

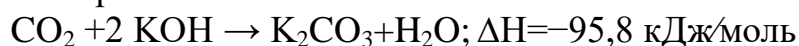
Уловлювання CO<sub>2</sub> з атмосферного повітря було комерціалізоване в 1950-х роках як попередня обробка при криогенному поділу повітря. У 1960-х роках атмосферний вуглекислий газ розглядався як сировина для виробництва вуглеводневого палива з використанням мобільних атомних електростанцій. У 90-х роках Клаус Лакнер (канадська компанія Carbon

Engineering) досліджував великомасштабне уловлювання CO<sub>2</sub> як інструмент управління кліматичним ризиком [3].

Ми пропонуємо розглядати процес уловлювання атмосферного вуглекислого газу як пряме захоплення повітря з метою синтезу з нього рідкого органічного палива в мембранних реакторах, які розроблені вченими Massachusetts Institute of Technology [4].

Конструкція для прямого захоплення повітря складається з чотирьох основних юнітів: контактор, реактор з пелетами, кальцинатор і шлакер. П'ятий юніт безпосередньо представляє собою мембранний реактор синтезу рідкого палива.

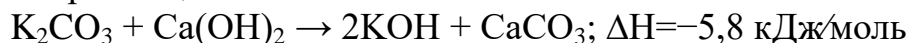
Контактор підводить зовнішнє повітря горизонтально до розчину калій гідроксиду, який подається у виді тонкої плівки товщиною не більше 50 мкм. Для покращення кінетики поглинання вуглекислого газу в апараті потрібно використовувати саме розчин КОН.



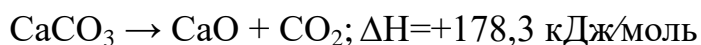
Отриманий розчин K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> подається до реактора з пелетами у вигляді розчину.

Під час роботи контактора ми пропонуємо подавати вуглекислий газ до вертикального потоку лугу тільки горизонтально, вибір апарату з поперечним потоком є вирішальним чинником забезпечення рентабельності промислового процесу великомасштабного уловлювання вуглекислого газу. Ми звертаємо особливу увагу на конструювання демісторів, які не дадуть краплям лугу потрапити на зовні через вихідний отвір.

Карбонат-іони видаляють осадженням CaCO<sub>3</sub> суспензією Ca(OH)<sub>2</sub>. Підвищення продуктивності досягається за рахунок пелетів, завдяки яким утворюються великі карбонатні гранули. Вони менше виносять луг з реактора, ніж вапняний шлам, що призводить до підвищення рентабельності апарату. Кальцій карбонат потрапляє до кальцинатора, а розчин КОН повертається до контактора, тобто ми спостерігаємо циклічність та безвідходність виробництва.



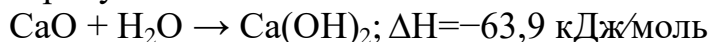
Прожарювання CaCO<sub>3</sub> здійснюється в кальцинаторі при температурі 900°C. Для компенсування енергетичних втрат ми пропонуємо систему теплообмінників, коли вхідні гранули CaCO<sub>3</sub> нагріваються до 650°C гарячим вихідним газовим потоком.



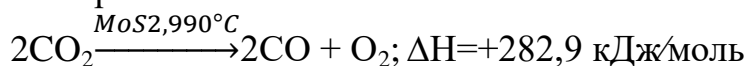
Одночасно вихідний CaO з кальцинатора охолоджується в одному з циклонів, де відбувається сушка пелетів. Таким чином теплообмін робить апарат приблизно на 78% термічно ефективним.

У шлакері відбувається гасіння кальцію оксиду водяною парою. Тепло, що утворилося під час гасіння, використовують для сушки та попереднього нагріву гранул. Сухі пелети та гашене вапно потрапляють до конвеєра, який

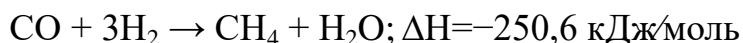
приводиться до руху циркулюючими вуглекислим газом та водяною парою, а потім до реактора на гранулах.



Вуглекислий газ потрапляє до мембранного реактору. У ньому по один бік мембрани створено вакуум, а по інший – відбувається каталітичний розклад вуглекислого газу при температурі 990°C. Саме використання каталізатора дисульфиду молібдену підвищить ефективність хімічного процесу та знизить собівартість за рахунок заміни коштовних металів, таких як золото та срібло, у реакції відновлення вуглекислого газу [5]. Утворену газову суміш треба пропустити через мембрану, яка затримує монооксид вуглецю та інші гази – крім кисню.



Чадний газ можна використовувати як паливо сам по собі, так і в суміші з воднем як реагент для синтезу метану, метанолу та інших видів палива.



Розроблена нами імітаційна установка, яка моделює процес автоматичної зміни режимів роботи виробничого обладнання, реалізована на промисловому контролері фірми «Schneider». Вона призначена для моделювання процесу автоматичної зміни режимів роботи виробничого обладнання відповідно до заданого технологічного процесу. Послідовність і частота зміни режимів роботи визначається алгоритмом, на підставі якого розробляється спеціальна програма і заноситься в промисловий контролер. Функцію технологічного обладнання виконує світлофор, а режими його роботи визначаються кольором.

Для розробки керуючої програми промислового логічного контролера було обране оригінальне середовище SoMachine Basic розробки компанії Schneider Electric через те, що воно дозволяє здійснювати програмування, управління та перевірку роботи промислових логічних контролерів у реальному часі без установки додаткових пакетів програм та має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Для установки програмного забезпечення ми придбали офіційну версію SoMachine Basic. В якості контролера для даної системи було використано програмований логічний контролер TM221CE16T, а пристроєм освітлення вибрані світлодіодні лампи Pnumia 10Вт 24В.

Для розробки схеми підключення було використано пакет програм для автоматизованого проектування електронних схем Labcenter Electronics, а саме Proteus Professional 8.7.

Для розробки керуючої програми логічного контролера TM221CE16T було використано програму SoMachine. Але перед розробкою керуючої програми була складана схема переходів станів світлофорів для спрощення створення розуміння керуючої програми.

Таким чином нами була розроблена програма управління світловими сигналами світлофору-імітатора, який працює в режимі реального часу. Використання оригінального програмного забезпечення SoMachine дозволило створити дану програму без особливих складнощів. Програмний додаток виконує всі поставлені завдання.

Отже, наш проєкт дає можливість не тільки очистити повітря від парникового газу, але й отримати з нього вуглеводневе паливо. Нами розроблена імітаційна установка процесу автоматичної зміни режимів роботи виробничого обладнання. Під час моделювання нами враховано наукові принципи сучасного виробництва: вибір сировини, теплообмін, безперервність, поперечний потік газообміну, комп'ютеризація виробничих процесів.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Аналітичний огляд про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області в 2019 р. / Департамент екології та природних ресурсів Донецької обласної державної адміністрації. URL: <http://ecology.donoda.gov.ua>
2. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2019 році / Центральна геофізична обсерваторія ім. Бориса Срезневського. URL: [http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine](http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine)
3. Turning emissions into fuel URL / Сайт Massachusetts Institute of Technology. URL: <http://news.mit.edu/2017/turning-emissions-into-fuel-1128> (дата звернення 01.02.2020)
4. A Process for Capturing CO2 from the Atmosphere / Сайт Joule. URL: [https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(18\)30225-3](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(18)30225-3) (дата звернення 01.02.2020)
5. New catalyst converts carbon dioxide to fuel / Сайт University of Illinois at Chicago. URL: [https://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2014-07/uoi-a-ncc072814.php](https://www.eurekalert.org/pub_releases/2014-07/uoi-a-ncc072814.php) (дата звернення 12.02.2020)

**Номер Л.О., учениця 11кл., наук.кер. учитель математики Діхтенко С.І.**  
(Україна, с. Андріївка, Андріївський ЗЗСО I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.)

## **ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ КОМБІНАТОРИКИ ТА ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ**

*Надані приклади використання комбінаторики для рішення завдань пошуку раціональних розв'язань складних завдань з багатьма станами об'єктів.*

*Examples of the use of combinatorics to solve problems of finding rational solutions to complex problems with many states of objects are given.*

Історія комбінаторики висвітлює розвиток комбінаторики - розділу кінцевої математики, який досліджує в основному різні способи вибірки заданого числа  $m$  елементів із заданого кінцевого безлічі : розміщення, поєднання, перестановки, а також перерахування та суміжні проблеми. Почавши з аналізу головоломок та азартних ігор, комбінаторика виявилася виключно корисною для вирішення практичних задач майже у всіх розділах математики. Крім того, комбінаторні методи виявилися корисними в статистиці, генетиці, лінгвістиці і багатьох інших науках.

В XII столітті індійський математик Бхаскара у своїй основній праці "Лілаваті" докладно досліджував завдання, пов'язані з перестановками і поєднаннями, включаючи перестановки з повтореннями. У Західній Європі ряд глибоких відкриттів в області комбінаторики зробили два дослідника Авраам ібн Езра ( XII століття) і Леві бен Гершем (він же Герсонід, XIV століття). Ібн Езра виявив симетричність біноміальних коефіцієнтів, а Герсонід дав явні формули для їх підрахунку і застосування в задачах обчислення числа розміщень і поєднань.

Кілька комбінаторних задач містить " Книга абака "( Фібоначчі, XIII століття). Наприклад, він поставив завдання знайти найменше число гирь, достатнє для зважування будь-якого товару вагою від 1 до 40 фунтів. Джероламо Кардано написав математичне дослідження гри в кості, опубліковане посмертно. Теорією цієї гри займалися також Тарталья і Галілей. Крім азартних ігор, комбінаторні методи використовувалися (і продовжують використовуватися) в криптографії - як для розробки шифрів, так і для їх злому.

Комбінаторика – гілка математики, що вивчає комбінації та перестановки предметів, в XVII ст. була продовжена дослідженнями Блеза Паскаля, який займався біноміальними коефіцієнтами і відкрив простий спосіб їх обчислення: " трикутник Паскаля ". Паскаль, на відміну від попередників, строго виклав і довів властивості цього трикутника. Поряд з Лейбніцем, він вважається основоположником сучасної комбінаторики. Сам термін "комбінаторика" придумав Лейбніц, який в 1666 (йому було тоді 20



років) опублікував книгу "Роздуми про комбінаторне мистецтво". Правда, термін "комбінаторика" Лейбніц розумів надмірно широко, включаючи в нього всю кінцеву математику і навіть логіку. Учень Лейбніца Якоб Бернуллі, один із засновників теорії ймовірностей, виклав у своїй книзі "Мистецтво припущень" (1713) безліч відомостей з комбінаторики.

У цей же період формується термінологія нової науки. Термін "поєднання" (combination) вперше зустрічається у Паскаля (1653 р.). Термін "перестановка" вжив у зазначеній книзі Якоб Бернуллі. Бернуллі використовував і термін "розміщення". Остаточно комбінаторика як самостійний розділ математики оформилася в працях Ейлера.

Мої наукові розробки відносяться до тих розділів комбінаторики, що не вивчаються в середній школі.

Означення. *Розміщення з повтореннями по  $m$  елементів  $n$ -елементної множини  $A$*  – це послідовність елементів множини  $A$ , що має довжину  $m$ .

Приклад. При  $A = \{a, b, c\}$  розміщення з повтореннями по два елементи – це пари  $(a,a), (a,b), (a,c), (b,a), (b,b), (b,c), (c,a), (c,b), (c,c)$ .

Якщо  $|A|=n$ , то за правилом добутку множина всіх розміщень з повтореннями, тобто множина  $A^m = A \times A \times \dots \times A$ , містить  $n^m$  елементів. Зокрема, якщо  $|A|=2$ , то розміщень з повтореннями  $2^m$ . Зауважимо, що ці розміщення можна взаємно однозначно поставити у відповідність послідовностям з 0 і 1 довжини  $m$ .

У багатьох комбінаторних задачах об'єкти, кількість яких треба обчислити, являють собою послідовності, у яких перший елемент належить множині  $A_1$ , другий –  $A_2$ , тощо. Але досить часто множина  $A_2$  визначається лише після того, як зафіксовано перший член послідовності,  $A_3$  – після того, як зафіксовано перші два і т.д. Обчислимо, наприклад, кількість 7-цифрових телефонних номерів, у яких немає двох однакових цифр поспіль. Якщо на першому місці в номері є, наприклад, 1, то на другому може бути будь-яка з 9 інших цифр. І так само на подальших сусідніх місцях. Таким чином, тут  $|A_1|=10, |A_2|=|A_3|= \dots = |A_7|=9$ , і загальна кількість номерів є  $10 \cdot 9^6$ .

*Перестановка з повтореннями по  $m$  елементів множини  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  складу  $(k_1, k_2, \dots, k_n)$*  – це послідовність довжини  $m = k_1 + k_2 + \dots + k_n$ , в якій елементи  $a_1, a_2, \dots, a_n$  повторюються відповідно  $k_1, k_2, \dots, k_n$  разів.

Приклади.

1. При  $A = \{a, b, c\}$  перестановками з повтореннями складу  $(1, 0, 2)$  є послідовності  $(a,c,c), (c,a,c), (c,c,a)$ , складу  $(1, 1, 1)$  –  $(a,b,c), (a,c,b), (b,a,c), (b,c,a), (c,a,b), (c,b,a)$ .

2. Нехай  $m$  різних кульок розкладаються по  $n$  різних ящиках так, що в першому ящику  $k_1$  кульок, у другому –  $k_2$  кульок, ..., у  $n$ -му –  $k_n$  кульок, причому  $m = k_1 + k_2 + \dots + k_n$ . Пронумеруємо кульки від 1 до  $m$ , ящики – від 1 до  $n$ . Задамо розподілення кульок як функцію, яка ставить у відповідність номеру кульки номер ящика, куди вона потрапила. Отже, маємо послідовність довжини  $m = k_1 + k_2 + \dots + k_n$ , в якій номери 1, 2, ...,  $n$  повторюються  $k_1, k_2, \dots, k_n$  разів відповідно. Очевидно, що така функція відповідає розкладу кульок

взаємно однозначно. Таким чином, розклад подається як перестановка з повтореннями складу  $(k_1, k_2, \dots, k_n)$ .

Кількість перестановок з повтореннями з елементів множини  $A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  складу  $(k_1, k_2, \dots, k_n)$  позначається  $P(k_1, k_2, \dots, k_n)$  і записується формулою:

$$P(k_1, k_2, \dots, k_n) = \frac{(k_1 + \dots + k_n)!}{k_1! \cdot \dots \cdot k_n!}$$

Задача: скільки чисел можна утворити з цифр 1, 2, 3, якщо 1 - повторюється три рази, 2 - два, 3 - один раз.

Розв'язання.

У цій задачі є трьохелементна множина  $M=\{1, 2, 3\}$ . Із елементів цієї множини потрібно утворити кортеж довжини  $k$ , що дорівнює  $k_1+k_2+k_3$ , де  $k_1=3, k_2=2, k_3=1$ . Отже,  $k=3+2+1=6$ , тобто треба утворювати кортежі довжини 6. Це означає, що нам потрібно обчислити число перестановок з повтореннями, в яких перший елемент повторюється три рази, другий - два рази, третій - один. Таким чином,

$$P_{3,2,1}=(3+2+1)!/(3! \cdot 2! \cdot 1!)=720:12=60.$$

Отже, за допомогою цифр 1, 2, 3 можна записати 60 шестицифрових чисел, в яких цифра 1 буде повторюватися 3 рази, цифра 2 - два рази, цифра 3 - один раз.

## ВИСНОВОК

Комбінаторика – важливий розділ математики, знання якого необхідно представникам різноманітних спеціальностей. З комбінаторними задачами доводиться мати справу фізикам, хімікам, біологам, лінгвістам, спеціалістам по кодам та ін. Комбінаторні методи лежать в основі рішення багатьох задач теорії ймовірностей та її застосування.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Морозович, Ярослав Юліанович. *Комбінаторика* / Я. Ю. Морозович. – Х. : Основа, 2009. – 144 с. – (Б-ка ж-лу "Математика в школах України" ; вип. 11 (83))
2. Гук Е. Я. *Математика і шахи. Вип.115* / Е. Я. Гук. – М. : Бюро Квантум, 2010. – 176 с. – (Приложение к журналу "Квант" №2) . – Вінниця, 2009. – 256 с.
3. Лук'янова, Світлана Михайлівна. *Текстові задачі на уроках і в позаурочний час : алгебра* / С. М. Лук'янова. – К. : Редакції газет природничо-математичного циклу, 2012. – 128 с. – (Б-ка "Шкільного світу")
4. Бродський, Яків Соломонович. *Статистика, ймовірність, комбінаторика у старшій школі : [навч.- метод. посіб.]* / Я. С. Бродський, О. Л. Павлов. – Х. : Основа, 2008. – 200 с. – (Б-ка журн. "Математика в школах України" ; вип. 7 (67))
5. *Вчимося розв'язувати задачі з початків аналізу : навчально-методичний посібник : [задачник, 3000 задач]* / А. Г. Мерзляк, В. Б. Полонський, Ю. М. Рабінович. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2011. – 304 с.

**Олійник Д. Я. , Кульбачко О.М. учні 10 класу (Україна, Маріуполь. Комунальний заклад «Маріупольський технічний ліцей» Маріупольської міської ради Донецької області)**

## **ПОБУДОВА ЕКОНОМІЧНОЇ МОДЕЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ ІГОР**

*Наданий огляд деяких економічних моделей, що використовуються в господарській діяльності з висновком про подальші шляхи розвитку таких моделей.*

*An overview of some economic models used in economic activity with a conclusion about the further ways of development of such models is given.*

Економіка - наука, що вивчає розподіл, накопичення, виробництво і обмін матеріальних благ в системі господарської діяльності людини. Для того, щоб розглянути ті чи інші економічні процеси або явища, використовують економічну модель. Саме вона дозволяє максимально точно оцінити свої можливості, аналізувати виконану роботу. Перш ніж створити економічну модель варто розділити всі використовувані змінні на два типи: ендогенні та екзогенні. Ендогенні змінні - це величини, які безпосередньо беруть участь в нашій моделі, є об'єктом вивчення (наприклад: вартість товарів).

Екзогенні змінні, в свою чергу, відповідають за величини, які впливають на досліджувані величини, але не є об'єктом вивчення (наприклад: наявність ресурсів). Однак деякі змінні можуть бути, як і ендогенними, так і екзогенними. Це залежить від характеру поставленого завдання.

Існують різні способи створення економічної моделі. У даній же роботі, створюючи економічні моделі, я буду посилаюся до такої науки, як математика. Математична економіка - це прикладна наука, предметом досліджень якої є математичний опис і моделювання економічних об'єктів і явищ. Зараз ми розглянемо приклади математичного моделювання в області економіки на прикладах теорії загальної рівноваги (Теорії ігор).

Теорія економічного зростання розглядає такі фундаментальні проблеми економіки, як розвиток держав, збільшення прибутку і споживання, залежність економічного зростання від ендогенних і екзогенних факторів. Одним з головних питань цієї теорії, є пояснення причин світового економічного зростання: чому деякі країни процвітають в розвитку більше інших, чому найпотужніший економічний стрибок стався тільки в ХІХ столітті?

В основі екзогенного зростання використовується неокласична похідна функція:  $Y = F(K, EL)$ , де  $Y$  - випускається продукт,  $K$  - запас капіталу,  $E$  - параметр ефективності праці,  $L$  - праця.

За допомогою моделі можна описати, чому багато країн, що тільки розвиваються ростуть швидше, ніж розвинені. У бідних країнах малий запас капітальних потужностей. А так як вони постійно знаходяться в зношеному стані і їх потрібно весь час поповнювати, при цьому з часом потрібно витратити все більше і більше інвестицій, то в бідних країнах навіть одне нове підприємство дасть величезний потік потужності, при цьому ресурсів на заповнення капіталу витратиться небагато. Але в міру накопичення потужностей віддача від них падає, а ресурсів на їх підтримку в робочому стані потрібно все більше, тому економіка сповільнюється.

Відразу ж можна знайти декілька неув'язок. Наприклад, якщо модель дійсно правильна, то чому економіка досі не заморозилась і усі країни не зрівнялися по показникам економічного росту? Проаналізував роботи попередників, я зробив свою економічну модель, яка більш точно описує економічне становище. Вона описується формулою:  $Y = F(K, E^{j+r}LB)$ , де  $j$  - показник технічного прогресу,  $r$  - викиди вуглецю, забруднення екології, а  $B$  - наявність ресурсів.

Така модель допоможе зрівнювати економічні показники країн, дізнатися які чинники впливають на поганий економічний зріст та покращити економічне становище.

З якими проблемами ми можемо зустрітися? По-перше, це потрібна кількість ресурсів. Нам просто може не вистачати потрібних матеріалів. В даному випадку можна спробувати налагодити імпорт і експорт. Обмінюючи товар, який у тебе знаходиться в надлишку, на еквівалентний товар, в якому ти потребуєш, є типовим прикладом рівноваги в теорії ігор. Тут задіяна тактика *maxmin*, в якій з максимально можливого програшу, який відбувається при передачі своїх ресурсів іншому гравцеві, ми отримуємо мінімальний, отримуючи в замін потрібні нам матеріали.

Друга проблема, з якою ми можемо зіткнутися - це непередбачені витрати. Наприклад, війна, виплата боргу або поломка важливого підприємства. У цих випадках наші інвестиції підуть не на економічне зростання, а на вирішення внутрішніх проблем.

Мою модель не можна назвати універсальною. Вона може використовуватися тільки в порівнянні держав. Однак і цей спосіб дасть дуже багато інформації. Наприклад, якщо на певному відрізку часу застосувати мою модель до деяких країн, то можна буде чітко побачити залежність економічного зростання від тих чи інших факторів. Таким чином дізнатися які з показників варто вдосконалити тобі, щоб досягти оптимального рівня економіки.

**Перепелиця Г., учень 11 кл., наук.кер. учитель інформатики Беш А.М.**  
(Україна, м. Краматорськ ЗЗСО №22)

## **RFID ТА ЗАМОК НА ARDUINO**

*Створено зразок устаткування для ідентифікації користувачів є базою для створення повноцінних систем для спільної роботи з системами охорони, допуску та ідентифікації користувачів.*

*The created sample of equipment for user identification is the basis for the creation of full-fledged systems for working with security, access and user identification systems.*

RFID – це дуже прогресивна технологія, яку зараз впроваджують у більшість сфер нашого життя. Було прийнято рішення використати цю технологію, за для того, щоб забезпечити систему «Розумний дім» засобом ідентифікації користувача, та зробити її більш безпечною для використання, шляхом використання замка, принцип дії якого базується на технології радіочастотної ідентифікації.

**Мета проекту:** розробити макет системи, яка буде мати можливість ідентифікувати користувача за його RFID-карткою, та дозволяти або забороняти доступ людини до певного об'єкту, який захищений даною системою.

**Завдання:** ознайомитися з принципом роботи RFID-системи. Проаналізувати сучасні системи електронних замків, спираючись на роботу електронного замка для сейфів. Знайти бібліотеку для роботи з модулем RFID RC522. Розробити пристрій для відпирання та запирання дверей, який можна буде використовувати разом з мікроконтролером.

Ознайомившись з джерелами по тематиці RFID було проаналізовано недоліки та переваги певних систем. В якості прилада ідентифікації в проекті використовується поширений модуль RC522, який дозволяє побудувати на основі Arduino Nano систему ідентифікації користувача. Але для функціонування даного модуля в одній системі з мікроконтролером треба використати програмне забезпечення – бібліотеку MFRC522. Після вивчення списку команд з бібліотеки, була написана програма для мікроконтролера Arduino Nano. Також для візуалізації дій до проекту додано LCD дисплей, на якому відображається стан системи та за допомогою його буде проводитися її налаштування. В якості пристрою для відпирання та запирання дверей використовується сервопривід, хоча можна використовувати замість нього електромагнітну клямку (рос. – «щеколда»).

Після складання електричної схеми був визначений список компонентів. Основне навантаження проекту – це напис програми, яка буде зчитувати данні з модулю RC522, обробляти їх, порівнювати зі списком

користувачів та рівнем їх допуску, інформація про які буде виведена на дисплей. Після ідентифікації користувача виконавчий прилад, у нашому випадку – сервопривід, відчинить двері.

Було зібрано та випробувано макет системи на якому виявлено деякі недоліки, такі як контроль зачинення дверей, виправити які допоміг кінцевий вимикач (він інформує систему про стан дверей, тобто вона відкрита або закрита).

Розроблений макет ідентифікації користувачів є базою для створення повноцінних систем охорони у сучасному житті. Макет можна інтегрувати у систему «Розумний дім» для спільної роботи з системами охорони, допуску та ідентифікації користувачів.

### **СПИСОК ПОСИЛАНЬ**

1. [http://rfid-m.ru/reshenia/stati/stat\\_istoria\\_rfid.php](http://rfid-m.ru/reshenia/stati/stat_istoria_rfid.php)
2. <https://isbc-rfid.ru/rfid-technology/about-technology/>
3. <https://www.atol.ru/blog/что-takoe-rfid-metki-tehnologiya-radiochastotnoy-identifikatsii/>
4. <https://wireless-e.ru/rfid/rfid/>
5. <https://www.retail.ru/articles/rfid-tehnologii-v-riteyle-28371/2019-08-052019-08-05>  
<https://www.retail.ru/articles/rfid-tehnologii-v-riteyle-28371/>
6. <https://www.controlengrussia.com/rfid/promyshlennaja-identifikacija/>
7. <http://www.idtechex.com/>
8. <https://www.cio.ru/news/121016-Smolenskaya-AES-kontroliruet-peremeschenie-s-pomoschyu-RFID>

**Подколзина А.** наук.кер., к.т.н. Кулік Т. О. (Україна, м. Слов'янськ, ЗОШ№6, м. Краматорськ, ДДМА)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ МІКРОРЕЛЬЄФУ ПРОКАТУ

*В роботі надані результати дослідження факторів, що впливають на коефіцієнт відбиття, тобто на мікрорельєф смуги для підвищення якості готової металопродукції при реалізації процесу теплового дресування. Показано можливість використання температурного чинника для регулювання коефіцієнта відбиття шорсткості робочих валків.*

*The paper presents the results of the study of factors influencing the reflection coefficient, ie the microrelief of the strip to improve the quality of the finished metal production in the implementation of the process of warm training. The possibility of using the temperature factor to control the reflection coefficient of the roughness of the working rolls is shown.*

В сучасних умовах якість продукції має надзвичайно важливе значення. Вона набуває значення економічного чинника, який забезпечує розвиток виробничих процесів і визначає їх ефективність. Якість у металургії в широкому розумінні складає відносне поняття. Рівень якості прокату визначається, насамперед, точністю розмірів і форми, хімічним складом, фізико-механічними властивостями і станом поверхні. Крім цього, до показників якості прокату входять вимоги до властивостей, які обумовлені технологією подальшої обробки та експлуатації виробів, виготовлених з цього металу. Якість металопродукату визначають також за показниками його товарного вигляду [1]. Одним з вирішальних факторів якості прокату, що впливають як на подальшу обробку виробів, так і на їх зовнішній вигляд, є мікрорельєф поверхні. Саме мікрогеометрія поверхні смуг листової сталі істотно впливає на якість і міцність лакофарбових та інших декоративних покриттів, збільшення шорсткості листової сталі призводить до зростання граничного ступеня витяжки при штампуванні за рахунок кращого утримування технологічного мастила, при зниженні шорсткості поверхні підвищується відбивна здатність (блиск) металу. Зі збільшенням щільності піків зростає міцність зчеплення покриттів з основним металом і зменшується число дефектів покриття [2].

Дресування – фінішна обробка в ланцюгу прокатного виробництва, що забезпечує фінальну якість продукції. І теоретичні і експериментальні дослідження показали, що в процесі дресування при певних умовах шорсткість валків майже повністю переноситися на смугу, тобто друкується. Останнім часом цю особливість все ширше використовують для надання смузі потрібного мікрорельєфу: потрібної висоти і потрібної густоти.

Метою даної роботи є дослідження факторів, що впливають на коефіцієнт відбиття, тобто на мікрорельєф смуги для підвищення якості готової металопродукції при реалізації процесу теплового дресування.

Експериментальні дослідження механізму формування шорсткості поверхні і факторів, що на це впливають було проведено з використанням спеціального пристрою (рис. 1), що забезпечує фізичне моделювання процесу теплового впровадження складнопрофільного індентора в заготовку [3].

Конструктивно дана установка включала в себе нижній нерухомий 1 і верхній рухливий 2 пуансони, пов'язані між собою направляючої втулкою 3. У верхньому рухливому пуансоні 2 був розміщений складнопрофільний індентор 4, який впроваджували в заготовку 5, при цьому всього було виготовлено понад десяти інденторів, що мають різну конфігурацію деформуючої поверхні. За допомогою важеля 6 верхній рухливий пуансон 2 був пов'язаний з датчиком лінійних переміщень 7 реостатного типу.

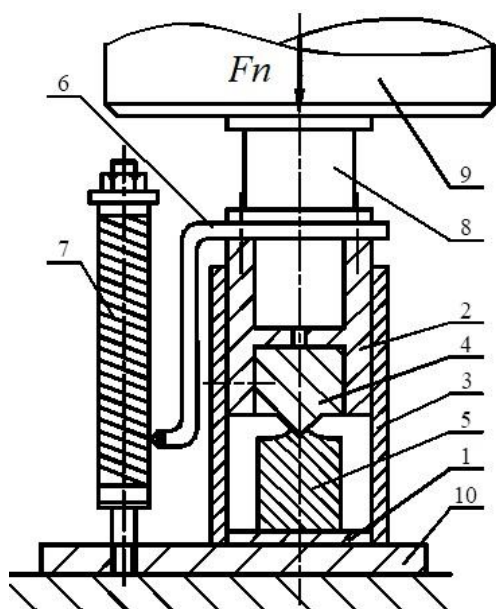


Рис. 1 – Принципова схема пристрою для експериментального дослідження процесу теплового впровадження складнопрофільного індентора в заготовку

Силу впровадження фіксували за допомогою месдози 8, що пов'язана торцевими поверхнями свого кільцевого елемента з верхнім рухливим пуансоном 2 розглянутого пристрою і з силовою частиною 9, гідравлічного пресу ДП 70-5278, що забезпечує переміщення верхнього пуансона 2 і створення цієї сили  $F_n$ . Всю установку було розміщено на єдиній підставці 10 і в ході експерименту її встановлювали в робочий простір уже згаданого гідравлічного пресу. Нагрівання заготовок 5 до необхідних температур проходило в сушильній шафі безпосередньо перед їх теплим пластичним деформуванням.

Попередній нагрів вихідних заготовок до необхідних температур здійснювали в сушильній шафі, а форма застосованих інденторів представлена на рис. 2.



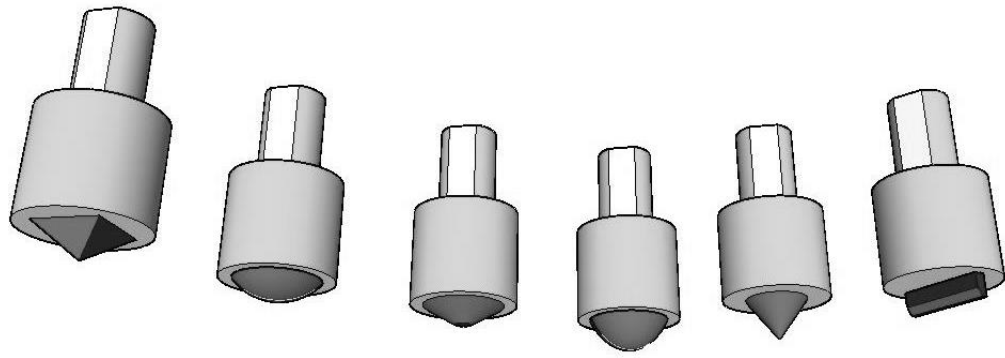


Рис. 2 – Види інденторів  
*a – піраміда; б – сфера; в – конус усічений; г – еліпсоїд;  
 д – конус; е - пластина*

Отримані результати для плоских заготовок зі сталі 20 і сталі 45 представлені на рис. 3. Як аргумент в цьому випадку розглядали силу процесу впровадження  $F_n$ , що створюється гідравлічним пресом і діє від силового пуансона 9 (див. рис. 1), а в якості опції була прийнята глибина впровадження  $h_n$ , яка вимірюється датчиком лінійних переміщень 7 реостатного типу.

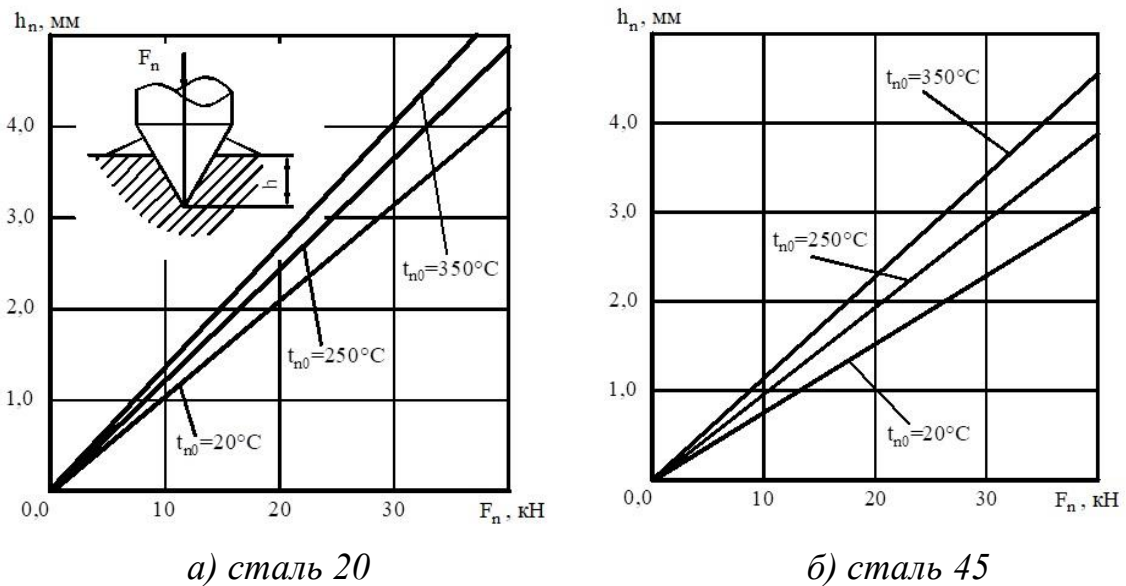


Рис. 3 – Емпіричні розподіли глибини  $h_n$  в залежності від сили  $F_n$  впровадження пірамідального індентору в плоску заготовку зі сталі 20 (а) та сталі 45 (б), нагріті попередньо до різних температур  $t_{n0}$

**ВИСНОВКИ.** Експериментальне дослідження впливу температури на коефіцієнт відбиття було проведено шляхом фізичного моделювання впровадження одиничної мікронерівності, при цьому оцінка безпосередні зміни характеристик виконано із залученням методів тензометрії, та використанням термопар. Результати показали, що зі збільшенням сили  $F_n$  глибина впровадження індентора  $h_n$  зростає і зростає практично лінійно.

Збільшення  $h_n$  за інших рівних умов має місце в разі підвищення температур нагрівання  $t_{n0}$  вихідної заготовки. Зокрема, при силі  $F_n = 30$  кН і збільшенні температур з  $t_{n0} = 20^\circ\text{C}$  до  $t_{n0} = 350^\circ\text{C}$  глибина впровадження конічного індентора  $h_n$  зростає з 3,13 мм до 4,05 мм, тобто на 29% для заготовок зі сталі 20 (див. рис. 3 а) і з 2,26 мм до 3,48 мм, тобто на 54% для сталі 45 (див. рис. 3 б).

Зазначене підтверджує можливість використання температурного чинника з точки зору регулювання коефіцієнта відбиття шорсткості робочих валків, тобто, з точки зору регулювання результуючих показників шорсткості поверхні прокату при реалізації процесу теплового дресування. При цьому форму мікрорельєфу валків можна регулювати різними видами їх обробки.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Левченко Г. В. *Технологія якості і сертифікація для студентів спеціальності Обробка металів тиском* / Г. В. Левченко, В. М. Самохвал. — Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2009 р. — 117 с.

2. Ogarkov N. N. *Theoretical analysis of formation of automobile sheet roughness during temper rolling in shot-blasted rolls.* / Ogarkov N.N., Zvyagina E.Yu., Ismagilov R.R. // *Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* - 2019;62(8): - P. 600-605. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-8-600-605>.

3. Кулик Т. А. *Математическое моделирование механизмов формирования шероховатости поверхности при дрессировке в режиме теплового деформирования* / Т.А. Кулик, Н.А. Кулик // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – ДДМА, Краматорськ, 2007. – С. 102-107.*

**Прокидянич Д.Д.**, наук.кер. учитель математики Білявська В.В. (Україна, м. Краматорськ, ЗОШ №26)

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ КОМПЛЕКСНИХ ЧИСЕЛ У ФІЗИЦІ ТА ТЕХНІЦІ

*Показано як наявність в освітньому арсеналі учнів комплексних чисел розширює їхні можливості при розв'язуванні задач, збагачує їхні уявлення про методи пізнання та прикладну функцію математики.*

*It is shown how the presence of complex numbers in the educational arsenal of students expands their capabilities in solving problems, enriches their understanding of the methods of cognition and the applied function of mathematics.*

Одним із завдань профільного навчання є первинна підготовка школярів до майбутнього виду професійної діяльності, успішного продовження освіти у вищих навчальних закладах. Комплексні числа є необхідними для розкриття старшокласникам пізнавальних можливостей математики, підвищення їхньої математичної культури та формування професійних компетентностей.

У період з 30-х по 60-ті роки тема "Комплексні числа" входила в обов'язкову програму з математики, але пізніше була виключена і рекомендована для вивчення на факультативних заняттях. Почувши про існування комплексних чисел, мене зацікавило місце знаходження цих чисел серед вже відомих. Як вони виникли, де використовуються, як їх можна задати і чи можна їх використовувати в математичних обчисленнях.

Широке коло застосувань комплексних чисел відкриває значні дидактичні можливості для розвитку математичних інтересів учнів. Адже наявність в освітньому арсеналі учнів комплексних чисел розширює їхні можливості при розв'язуванні задач, збагачує їхні уявлення про методи пізнання та прикладну функцію математики. Комплексні числа знаходять застосування не тільки всередині самої математики, а і в інших галузях науки і практики: електротехніці, гідро- і аеромеханіці, геодезії, картографії, фізиці та ін. Відомий німецький математик і філософ Г. Лейбніц писав: "Хоч їх і називають уявними, але від цього вони не перестають бути корисними і навіть необхідними для аналітичного вираження реальних величин".

У багатьох розділах математики та її застосуваннях неможливо обмежитися розглядом лише дійсних чисел. Вже досить давно під час розв'язування різних задач виникла потреба добувати квадратний корінь з від'ємних чисел. Але чисел, які при піднесенні до квадрата дають від'ємні числа, тоді не знали і тому вважали, що квадратні корені з від'ємних чисел не

існують, тобто задачі, які до них приводять, не мають розв'язків. Зокрема, так було під час розв'язання квадратних рівнянь з від'ємним дискримінантом. Постає питання про розширення множини дійсних чисел. Ввели нове число  $i$  для якого справедлива рівність:  $i^2 = -1$ . Нова множина чисел повинна містити всі числа виду  $a + bi$ . Числа виду  $a + bi$ , де  $a$  і  $b$  - довільні дійсні числа, а  $i$  - уявна одиниця називають комплексними. Слово «комплексний» означає складений. Математики неохоче йшли на вивчення таких виразів. Вони називали їх уявними, неіснуючими, неможливими величинами. Вважалося, що вони не мають реального змісту. Г.В. Лейбніц назвав їх «гібридом між буттям і небуттям».

Цікаво, що Лейбніц, називаючи комплексні числа «притулком божественного духу», заповів викарбувати на своїй могильній плиті знак  $\sqrt{-1}$  як символ потойбічного світу.

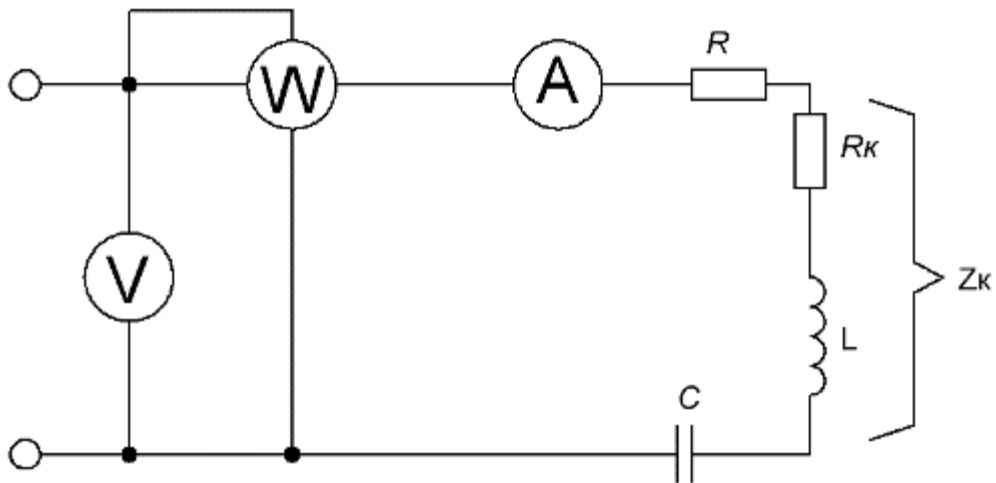
Протягом останніх двохсот років комплексні числа знайшли чисельні застосування. Так, наприклад, за допомогою комплексних чисел Гаусс в 1796 році зумів знайти відповідь на геометричне питання: при яких натуральних значеннях  $n$  можна побудувати циркулем і лінійкою правильний  $n$ -кутник?

Широке застосування знайшли комплексні числа в картографії, електротехніці, гідродинаміці, теоретичній фізиці. Вже в наше століття комплексні числа і комплексні функції успішно застосовувалися математиками та механіками Н.Е. Жуковим, С.А. Чаплигіним, М.В. Келдишем та іншими. Великі математики Г.В. Колосов і Н.І. Мусхелішвілі вперше стали застосовувати комплексні функції в теорії пружності. Із застосуванням комплексних змінних в теоретичній фізиці пов'язані дослідження вчених Н.Н. Боголюбова і В.С. Владимірова.

В 1893 році геніальний електротехнік Карл Август Штейнмец виступив в Чикаго на Міжнародному електротехнічному конгресі з доповіддю «Комплексні числа та їх застосування в електротехніці», чим фактично знаменує початок практичного застосування інженерами комплексного методу розрахунків електричних ланцюгів змінного струму.

З курсу фізики відомо, що змінний струм - це такий струм, який змінюється в часі як за величиною, так і за напрямком.

Розглянемо задачу.



Дано:

$U = 50\text{В}$  (напруга на котушці)

$R_k = 25\text{ Ом}$  (опір резистора)

$L = 500\text{мГн}$  (індуктивність котушки)

$C = 30\text{ мкФ}$  (електроємність конденсатора)

Опір проводу котушки  $10\text{ Ом}$

Частота мережі  $50\text{ Гц}$

Знайдемо показання амперметра, вольтметра, ватметра

РОЗВ'ЯЗАННЯ.

$$Z = r + jx;$$

$$x = \omega L - \frac{1}{\omega C} = x_L - x_C;$$

$$Z_k = R_k + jx_L;$$

$$x_L = \omega L = 2\pi fL = 1570\text{м}$$

$$Z_k = 10 + j157 = 157,3e^{j86,35}$$

Далі знайдемо струм і відповідно показання амперметра

$$\dot{I}_k = \frac{\dot{U}_k}{Z_k} = \frac{50e^{j0}}{157,3e^{j86,35}} = 0,317e^{-j86,35}$$

Отже амперметр показує струм  $0,317\text{ А}$  – це струм через весь послідовний ланцюг.

Знайдемо ємнісний опір конденсатора, потім визначимо його комплексне опір:

$$Z_C = -jx_C;$$

$$x_C = \frac{1}{\omega C};$$

$$x_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{0,0094} = 106,4 \text{ Ом}$$

$$Z_C = -j106,4 = 106,4e^{-j90}$$

Далі обчислимо повне комплексне опір цього ланцюга:

$$R + R_k + jx_L - jx_C = 25 + 10 + j157 - j106,4 = 35 + j50,6$$

$$Z = 35 + j50,6 = 61,52e^{j55,33}$$

Тепер знайдемо напругу, яка прикладена до ланцюга

$$\dot{U} = \dot{I} Z = 0,317e^{-j86,35} \cdot 61,52e^{j55,33} = 19,5e^{-j31,02}$$

Показання вольтметра – 19,5 вольт.

Знайдемо потужність, з урахуванням різниці фаз між струмом і напругою.

$$P = U * I * \cos \varphi = 19,5 * 0,317 * \cos(55,33^0)$$

$P = 3,51$  Вт – показання ватметра

Отже тепер зрозуміло, яке важливе місце комплексні числа займають в електротехніці. Вони застосовуються для зручного розрахунку електричних ланцюгів. На цій основі працюють електронні вимірювальні прилади.

## ВИСНОВОК

Виконуючи дану роботу, я ознайомився з поняттям комплексних чисел, способами задання та їх застосуванням. Я помітив, що операції над комплексними числами суттєво відрізняються від операцій з дійсними числами, а геометричний зміст комплексного числа дозволяє розв'язувати задачі та теореми планіметрії за допомогою саме комплексних чисел.

Досліджуючи літературу з даної теми я зрозумів, що для детального вивчення питань застосування комплексних чисел на практиці, необхідно більш глибоке вивчення сучасної математики: теорії матриць, диференціального числення тощо.

Ця робота – лише вершина великого айсберга. З цією темою можна пов'язувати і подальші дослідження в галузі математики.

Сподіваюсь, що в майбутньому у мене буде можливість продовжити вивчення комплексних чисел, їх застосування в геометрії, фізиці, теорії побудови фрактальних алгебраїчних візерунків зокрема.

### **СПИСОК ПОСИЛАНЬ**

1. Андронов І.К. *Математика действительных и комплексных чисел.* – М.: Просвещение, 1975. – с.158
2. Бродський Я.С., Сліпенко А.К. *Про електричний струм, похідну та комплексні числа // Математика – 2002. - №7 (163). – с. 9 – 11*
3. Буковська О.І. *Комплексні числа.* – Х.: Вид. група «Основа», 2004. – с. 112

**Сорокіна К.Ф., учениця 9 кл., наук.кер. учитель математики Калініна О.М.**  
(Україна, Вугледарський навчально-виховний комплекс «Політехнічний ліцей-загальноосвітня школа I-II ступенів» Вугледарської міської ради Донецької області)

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАМІНИ ТРАДИЦІЙНИХ ПІДРУЧНИКІВ НА ЕЛЕКТРОННІ**

*У дослідницькій роботі розглянуто проблеми пов'язані з використанням традиційних паперових підручників. Через статистичні вимірювання з'ясовано доцільність їх заміни на електронні планшети.*

*The research examines the problems associated with the use of traditional paper textbooks. Statistical measurements revealed the feasibility of replacing them with electronic tablets.*

У дослідницькій роботі розглянуто проблеми пов'язані з використанням традиційних паперових підручників. Через статистичні вимірювання з'ясовано доцільність їх заміни на електронні планшети.

Зроблено акцент на дослідженні відповідності ваги шкільних сумок державним санітарним нормам. За результатами дослідів, що тривали протягом тижня у 4-х класах, була висунута та перевірена, за допомогою критерію згоди Пірсона, гіпотеза що до однакового розподілу ваги шкільних сумок кожного окремого навчального дня. Це дало змогу випробування у середній та старшій школі обмежити одним днем.

Під час аналізу даних, за допомогою інструментів математичної статистики, зроблено перехід до інтервального ряду з використання формули Стерджеса, для перевірки узгодженості емпіричного та теоретичного розподілів використано формули Гауса та Лапласа.

Проведено анкетування учасників навчального процесу щодо готовності використання у своїй діяльності електронних книг, як елементу цифрової трансформації освіти.

У роботі міститься детальний аналіз анкет за віком та цілями використання електронних книг у вигляді діаграм.

Вивчено забезпеченість шкільних бібліотек підручниками за параметрами: кількість, своєчасність, термін використання, різноманітність.

Економічно прораховано можливість придбання електронних планшетів для навчання.

За результатами дослідження встановлено:

- 85,5% учнів 4-х класів, близько 68% учнів середньої ланки та 45,6% учнів старшої школи мають системні переваження портфелів;
- 94,3% респондентів, хоча б раз у житті читали електронні книги;



- 92,2% опитаних використовують електронну книгу для навчання;
- люди у віці старше 18 років віддають перевагу друкованій книзі мотивуючи це звичкою та кращім сприйняттям інформації;
- прихильники електронних книжок наполягають на їх зручності, компактності, швидкій доступності;
- термін використання чверті списаних за останні три роки підручників не перевищує п'ять років;
- кількості отриманих підручників за кількістю учнів у паралелі поточного року не вистачає для використання в наступних роках;
- зміст наявних підручників не влаштовує різних викладачів, учитель не має можливості змінювати підручник або використовувати різні підручники для вивчення різних розділів;
- середній термін безперебійної роботи планшета 4 роки 3 місяці;
- ціна комплекту книг з розрахунку на 4 навчальні роки більше ніж в двічі перевищує ціну планшета з функціями та характеристиками, достатніми для навчання.

У якості засобу вирішення виявлених проблем запропоновано заміну паперових підручників на електронні.

Дослідницька робота переконує та спонукає спільноту на використання планшетів у навчальному процесі замість паперових видань.

Торський І.М., Кінденко М. І. (Україна, м. Слов'янськ, ЗОШ№6)

## **ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ СТІЙКОСТІ ОСЬОВОГО ИНСТРУМЕНТУ ІЗ ШВИДКОРІЗУЧОЇ СТАЛІ Р6М5 ПІСЛЯ ОБРОБКИ В ІМПУЛЬСНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

*Надано новий спосіб оцінки ефективності технології зміцнення, в основу якого покладена відома схема тертя двох схрещених циліндрів, що дозволяє забезпечити високу відтворюваність початкових умов контактної взаємодії, є простим і ефективним способом попереднього визначення підвищення стійкості інструменту та оптимальних режимів магнітної обробки.*

*A new method for evaluating the effectiveness of hardening technology, based on the known scheme of friction of two crossed cylinders, which allows high reproducibility of the initial conditions of contact interaction, is a simple and effective way to pre-determine the tool stability and optimal magnetic processing.*

В даний час в теоретичних роботах і практиці машинобудування отримують розвиток питання, пов'язані з технологічним зміцненням поверхневих шарів інструменту і зміною їх властивостей в потрібному напрямі [1].

Ефективність працездатності осьового інструмента може бути істотно підвищена в результаті використання технології магнітної обробки інструменту [2].

Для оцінки впливу обробки імпульсного магнітного поля на інструмент із швидкорізучої сталі Р6М5 потрібно провести спеціальні виробничі дослідження.

Проведення повного дослідження потребує обладнання, великої кількості інструменту, час та несе значні матеріальні затрати.

Аналіз літературних даних показує, що спосіб магнітної дії на інструмент вигідно відрізняється від інших методів зміцнення.

В той же час поки що немає способу порівняльної оцінки ефективності технології зміцнення, який би значно зменшив час та матеріальні затрати по визначенню зміни стійкості інструменту.

Метою роботи є на базі відомих теоретичних уявлень розробити спосіб порівняльної оцінки ефективності технології зміцнення, що є простим і ефективним способом попереднього визначення підвищення стійкості інструменту та найбільш оптимальних режимів магнітної обробки інструменту.

Для контролю якості магнітної обробки інструменту зі швидкорізальної сталі були виготовлені зі сталі Р6М5 та сталі 45 спеціальні зразки, що представляють собою циліндри довжиною  $L = 80$  мм і діаметром  $D = 8$  мм, що мають по обох торцях центрові отвори.

Робочі поверхні зразків не мали дефектів. Шліфування робочих поверхонь проводилося за допомогою ельборового круга із застосуванням охолодження, що не дозволяло зразкам у процесі обробки нагріватися.

З практичної точки зору основними вимогами до засобів зазначеного контролю є оперативність і доступність їх використання відповідно до високої чутливості і відтворюваності. Цим вимогам задовольняє новий спосіб порівняльної оцінки ефективності зміцнюючих технологій.

В його основу покладена відома схема тертя двох схрещених циліндрів, що дозволяє забезпечити високу відтворюваність початкових умов контактної взаємодії. Досліджуваний зразок (індентор) впроваджують при його обертальному русі в контртіло, твердість якого нижче твердості індентора. Отримані на контртіло відбитки вимірюють по двом діаметрам, орієнтованим уздовж ( $d_{пр}$ ) і поперек ( $d_{поп}$ ) осі контртіла. Потім визначають значення

$$d_{cpi} = \frac{d_{npi} + d_{noni}}{2} \quad (1)$$

За співвідношенням середніх діаметрів відбитків, отриманих на контртілі до і після обробки, визначають її ефективність:

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^n d_{cpi}^*}{\sum_{i=1}^n d_{cpi}} \quad (2)$$

де  $d_{cpi}^*$  - середні діаметри відбитків зразка після обробки в імпульсному магнітному полі;

$d_{cpi}$  - середні діаметри відбитків зразка до обробки в імпульсному магнітному полі.

При вимірах діаметра відбитка на зразках проводилося 5 операцій отримання відбитків, що забезпечувало достатню статистичну оцінку результатів експериментів (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати вимірів відбитків при проведенні експериментів

№ зразка	H, А/м	Середній діаметр відбитків $d_{cpi}$ , мм					$d_{\Sigma cpi}$ , мм	$K_T$
		1	2	3	4	5		
1	до ОІМП	0,18	0,16	0,17	0,16	0,17	0,17	-
2	$0,6 \times 10^5$	0,17	0,16	0,16	0,18	0,17	0,17	1,00
3	$0,8 \times 10^5$	0,27	0,26	0,26	0,27	0,25	0,26	1,53

4	$1,0 \times 10^5$	0,35	0,37	0,34	0,33	0,36	0,35	2,07
5	$1,2 \times 10^5$	0,38	0,39	0,38	0,40	0,39	0,39	2,27
6	$1,4 \times 10^5$	0,21	0,21	0,23	0,22	0,23	0,22	1,30
7	$1,6 \times 10^5$	0,18	0,19	0,17	0,19	0,20	0,19	1,10
8	$1,8 \times 10^5$	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	1,00

За співвідношенням середніх діаметрів відбитків, отриманих на спеціальних зразках до і після обробки імпульсним магнітним полем (рис. 1) побудована залежність коефіцієнта підвищення стійкості швидкоріжучої сталі від напруженості магнітного поля  $K_T=f(H)$ .

Вплив магнітного поля напруженістю близько  $0,6 \cdot 10^5$  А/м не привів до підвищення стійкості зразків. Потім коефіцієнт підвищення стійкості почав рости пропорційно значенню напруги магнітного поля і досяг максимуму при  $H \approx 1,2 \cdot 10^5$  А/м. Подальше збільшення значень  $H$  призвело до зниження  $K_T$  і при напруженості поля  $H \approx 1,8 \cdot 10^5$  А/м коефіцієнт підвищення стійкості  $K_T=1,0$ , тобто ефект підвищення стійкості дорівнює нулю.

Проведені експерименти дозволили встановити цілком певний діапазон значень напруженості магнітного поля, обробка в якому помітно покращує експлуатаційні властивості ріжучого інструменту зі швидкорізальної сталі.

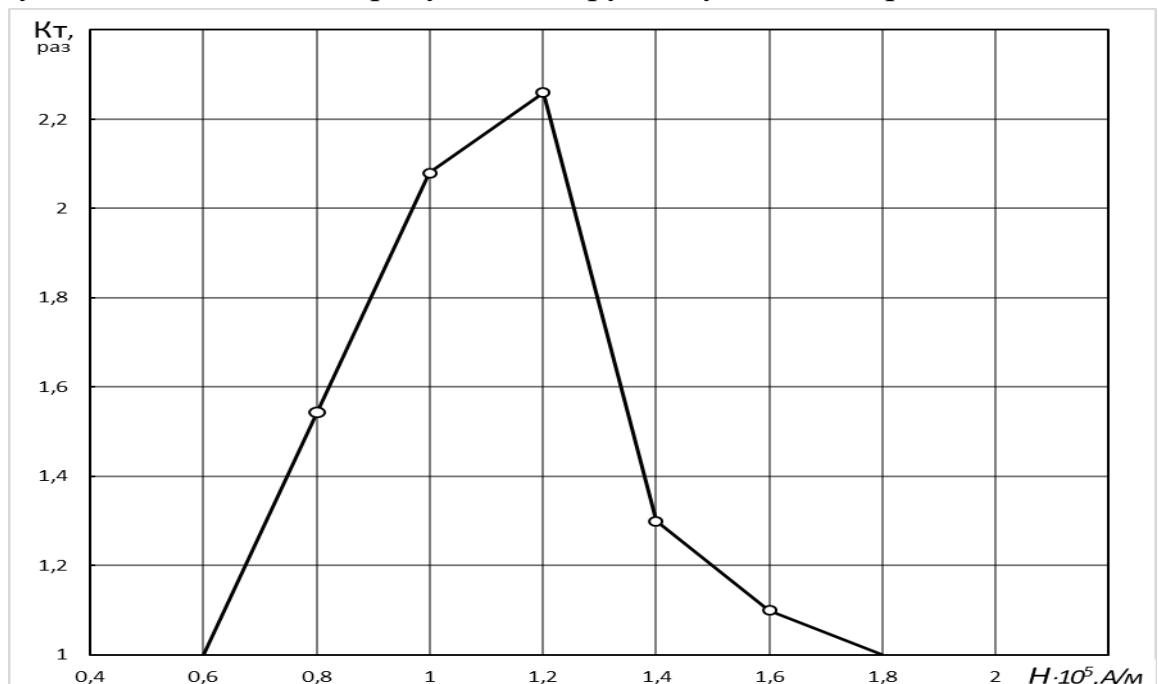


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта підвищення стійкості зразків із швидкорізальної сталі Р6М5 від напруженості магнітного поля  $K_T=f(H)$

## ВИСНОВОК

Використання способу порівняльної оцінки ефективності технології зміцнення, в основу якого покладена відома схема тертя двох схрещених циліндрів, що дозволяє забезпечити високу відтворюваність початкових умов контактної взаємодії, є простим і ефективним способом попереднього визначення підвищення стійкості інструменту та оптимальних режимів магнітної обробки.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Кинденко Н.И. О физической сущности процесса магнитной обработки осевого инструмента из быстрорежущей стали // *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем.* - Краматорськ, 2010. - Вип. 26. –С.203-208.
2. Исследование влияния магнитно-импульсных поверхностных воздействий на эксплуатационные характеристики инструментальных сталей и инструмента// В.Л.Володин, Л.Б.Зуев, Т.В.Володин, В.В.Гайдук//*Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.*-М., 2009.-6.С.61-65.

**Шульга Ю.О., учениця 10 кл., наук.кер. учитель математики Рябошапка Л.В. (Україна, с. Андріївка, Андріївський ЗЗСО I – III ст. Андріївської сільської ради Слов'янського району Донецької обл.)**

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

*Рішення задач оптимізації, запропонованих у роботі, сприятиме поглибленню й збагаченню математичних знань, вихованню емоційно-позитивної спрямованості на практичну діяльність.*

*The solution of optimization problems proposed in the work will contribute to the deepening and enrichment of mathematical knowledge, education of emotionally positive orientation to practical activities.*

Є реальний світ речей та явищ – зірок, атомів, життя організмів, закони виживання людини, прогрес людства. А є світ, що відображає цю реальність за допомогою моделей, з якими працює думка людини. Створюючи й аналізуючи моделі, можна прогнозувати можливості або подальшу поведінку реального об'єкта.

Моделювання як метод наукового пізнання почали застосовувати в дослідженнях ще з глибокої давнини. Поступово воно охоплювало все ширше коло наукових знань: технічне конструювання і будівництво, фізику і хімію, біологію, суспільні науки, тобто від вивчення найпростіших фізичних явищ до складних соціально-економічних процесів. Математичне моделювання широко використовується в різних сферах людської діяльності, особливо у сферах проектування та управління, де особливими є процеси прийняття ефективних рішень на основі одержуваної інформації. Крім того, у сучасних економічних умовах господарювання України, коли актуальним завданням є формування фундаментальних засад розвитку підприємств, виникає необхідність використання інструментарію, який органічно поєднує математичні методи для вирішення економічних проблем з метою отримання кількісних оцінок і моделей у процесі прийняття оптимальних управлінських рішень.

Математичне моделювання – метод дослідження, заснований на аналогії процесів і явищ різних за своєю природою, але таких, що описуються однаковими математичними залежностями. Математична модель – це система формул, функцій, рівнянь, які описують ті чи інші можливості об'єкта, явища чи процесу, що вивчається. Закон усесвітнього тяжіння, закон Ома та інші – це математичні моделі реальних фізичних явищ.

Об'єктом дослідження є сучасні прикладні математичні моделі, які дають змогу ефективно розв'язувати задачі на знаходження максимальних і мінімальних значень, тобто розв'язувати задачі оптимізації.

Одним з найважливіших інструментів при розв'язуванні задач оптимізації є вміння оперувати математичними знаннями; дати відповіді на питання: як відбувається процес розв'язування задачі оптимізації, процес прийняття оптимального рішення, що являють собою математичні моделі та яким чином ці моделі можуть вживатися на практичному рівні.

У роботі досліджено процес моделювання розв'язку задач оптимізації засобами математичних знань з різних розділів: алгебра, геометрія, диференційне і інтегральне обчислення, лінійне програмування, теорія графів, теорія ігор; розглянуто особливості побудови математичних моделей для здійснення аналізу реальних економічних процесів, приклади і можливості використання математичних моделей в прогнозуванні, управлінні, у виборі стратегії роботи реальних підприємств з метою отримання оптимальних рішень.

Найбільш універсальні – це математичні моделі у вигляді таблиць і схем, найбільшу точність результату можна отримати завдяки застосуванню лінійного програмування, диференційного й інтегрального обчислення; найпростіший перехід до математичної моделі забезпечують таблиці й схеми, а також мережеві моделі у вигляді графів, самодостатніми є моделі лінійного програмування, а також алгебраїчні та з використанням математичного аналізу; найпоширеніми в практичному застосуванні є моделі лінійного програмування, аналітичні й мережеві. Для розв'язку практичної задачі в залежності від її специфіки необхідно застосовувати одночасно в різних комбінаціях декілька математичних моделей.

## ВИСНОВОК

Результати роботи можуть використовуватись при викладанні спецкурсів з математики, на уроках алгебри й початків аналізу, геометрії, економіки в профільних класах. Розв'язок задач оптимізації, запропонованих у роботі, сприятиме поглибленню й збагаченню математичних знань, вихованню емоційно-позитивної спрямованості на практичну діяльність.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Е.Т.Белл «Творці математики» М.Освіта 2004 с.10-255
2. С.Я.Серовайський «На шляху до екстремуму» Соросовський освітній журнал. с.10-22
3. В.М.Тихомиров «Розкази про максимуми і мінімуми» Москва. Наука, 1986, с.8-66
4. В.Ю.Протасов «Максимуми і мінімуми в геометрії» «Математична освіта», випуск 31,2005 р. с.3-53
5. Економіко-математичні методи ОГТУ. Кафедра «Інформаційні системи». Прогрес, 1996 р. с.1-7
6. А.А.Шиян. Теорія ігор: основи та застосування в економіці та менеджменті.
7. МОН України, Вінницький НТУ, 2009, с.6-18, 70-93
8. Карнаух Т.О., Ставровський А.Б. «Теорія графів у задачах В.Д.Вільямс», 2002, с.5-98
9. Оре О. «Теорія графів» М.Наука, 1990, с.10-105
10. Кадубовський О.А. «Аналітична геометрія», Слов'янськ,2010
11. Черненко Н. наукова робота «Екстремальні задачі і методи їх розв'язування»

*Наукове видання*

# **МОЛОДА НАУКА - РОБОТИЗАЦІЯ І НАНО-ТЕХНОЛОГІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Збірник наукових праць**

**Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції  
14-15 квітня 2021 р.**

За загальною редакцією

д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського and

Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić

Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 12,67.  
Обл.-вид. арк. 12,92. Тираж 100 пр. Зам. № 19

Видавець і виготівник

Донбаська державна машинобудівна академія  
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №1633 від 24.12.2003