

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет



# **МАШИНОБУДУВАННЯ ОЧИМА МОЛОДИХ: прогресивні ідеї – наука – виробництво**

Матеріали ХІХ Міжнародної науково-практичної  
конференції

(м. Суми, 25–26 листопада 2020 року)



Суми  
Сумський державний університет  
2020

**Організаційний комітет:**

**Голова** – д-р фіз.-мат. наук, професор, проректор з наукової роботи СумДУ  
**А. М. Черноус.**

**Співголова** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ **В. О. Залога.**

**Співголова** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ **В. О. Іванов.**

**Члени оргкомітету:**

**В. С. Антонюк** – д-р техн. наук, професор кафедри ВП НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»;

**Я. В. Васильченко** – д-р техн. наук, зав. кафедри КМСІТ ДДМА;

**А. І. Грабченко** – д-р техн. наук, професор кафедри ІТМ ім. М. Ф. Семка НТУ «ХПІ»;

**І. Є. Грицай** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри ТМ НУ «Львівська політехніка»;

**В. Л. Доброскок** – д-р техн. наук, професор кафедри ІТМ ім. М. Ф. Семка НТУ «ХПІ»;

**Л. П. Калафатова** – д-р техн. наук, професор кафедри ГММСМ «ДонНТУ»;

**В. І. Кальченко** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри АТГМ ЧНТУ;

**Г. П. Клименко** – д-р техн. наук, професор кафедри КАВП ДДМА;

**С. А. Клименко** – д-р техн. наук, професор, заступник директора ІНМ ім. Бакуля НАН України;

**В. Д. Ковальов** – д-р техн. наук, професор, ректор ДДМА;

**М. П. Мазур** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри ТМ ХНУ;

**В. І. Марчук** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри приладобудування ЛНТУ;

**П. П. Мельничук** – д-р техн. наук, професор кафедри технології машинобудування ЖДТУ;

**О. А. Оргіян** – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування ОНПУ;

**В. А. Пасічник** – д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи НТУУ «КПІ»;

**О. А. Пермяков** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри ТММС НТУ «ХПІ»;

**Ю. В. Петраков** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри ТМ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»;

**Н. С. Равська** – д-р техн. наук, професор кафедри ІТМ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»;

**О. Ф. Саленко** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри КВМ НТУУ КПІ;

**В. В. Ступницький** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри ТМ НТУ «Львівська політехніка»;

**В. М. Тонконогий** – д-р техн. наук, професор, директор ШТДМ ОНПУ;

**Р. С. Турманідзе** – д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи ГТУ (Грузія);

**В. М. Тихенко** – д-р техн. наук, професор, зав. кафедри МІСМЗ ОНПУ;

**Антош Катажина** – д-р техн. наук, професор, Жешувський технологічний університет, Польща;

**Вознякос Джорж-Крістофер** – д-р техн. наук, професор, Афі́нський національний технічний університет, Греція;

**Гатала Міхал** – д-р техн. наук, професор, Технічний університет м. Кошице, Словаччина;

**Едл Мілан** – д-р філософії, доцент, Західночеський університет, Чеська республіка;  
**Заяць Йозеф** – д-р техн. наук, професор, Технічний університет м. Кошице, Словаччина;  
**Куріц Іван** – д-р техн. наук, професор, Жилинський університет, Словаччина;  
**Мазуркевич Даріуш** – д-р техн. наук, професор, Люблінський технологічний університет, Польща;  
**Машадо Жозе** – д-р філософії, професор, Університет Мінью, Португалія;  
**Поп Грігоре** – д-р філософії, Технічний університет м. Клуж-Напока, Румунія;  
**Радченко Світлана** – д-р філософії, Технічний університет м. Кошице, Словаччина;  
**Трояновська Юстина** – д-р філософії, Познанський технологічний університет, Польща;  
**Цаганова Дагмар** – д-р філософії, доцент, Словацький технологічний університет, Словаччина;  
**Чеп Роберт** – д-р техн. наук, професор, Технічний університет м. Острава, Чеська республіка;  
**Чишак Олаф** – д-р техн. наук, професор, Познанський технологічний університет, Польща;  
**Чіоата Василь** – д-р техн. наук, професор, Політехнічний університет м. Тімішоара, Румунія;  
**Чолак Огуз** – д-р філософії, професор, Технічний університет м. Ескішехір, Туреччина;  
**Ясюлевич-Качмарек Малгожата** – д-р техн. наук, професор, Познанський технологічний університет, Польща.  
*Секретар оргкомітету:*  
**О. О. Залога** – канд. техн. наук, наук. співроб. кафедри ТМВІ СумДУ.

М 38      **Машинобудування** очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року) / редкол.: В. О. Залога, О. В. Івченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 183 с.

УДК 621.01:008(063)

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ**

*Авраменко С. Є., магістрант; Дегтярьов І.М., канд. техн. наук,  
ст. викладач; Сумський Державний університет*

На сьогоднішній день підвищення енергоефективності на підприємствах є одним із основних завдань для зниження собівартості продукції та підвищення результативності виробництва. Усім виробництвам потрібно адаптуватися під сучасні норми енерго- та ресурсокористування на всіх етапах виробництва та споживання.

Першочерговим завданням виступає економічне використання енергоресурсів при виготовленні продукції, адже саме цей етап є найбільш затратним. Серед засобів вирішення даної проблеми є оновлення парку обладнання, зміна технології виробництва тощо, але все це направлено на зменшення споживання енергії і часто потребує великих матеріальних затрат. Альтернативою, або додатком до даних методів є відновлення уже витраченої енергії, так звана рекуперация.

Якщо розглянути типовий цех механічного оброблення, то майже все обладнання в ньому має важкі рухомі частини (шпинделі, супорти, привідний інструмент тощо) які в процесі роботи виконують безліч циклів набору обертів, їх збільшення чи зменшення, гальмування всієї системи та ін..

Для прикладу візьмемо найпростіший варіант – шпindel токарного верстата з приводом від електродвигуна: під час запуску він споживає багато електроенергії через велику інерцію та прикладене навантаження, накопичує кінетичну енергію в процесі роботи і під час завершення роботи зупиняється сам (під дією сил тертя), або ж для зупинки витрачають додаткову енергію на гальмування, що збільшує енерговитрати. Але виникає питання, навіщо розсіювати енергію під час вільної зупинки

системи або витратити додаткову енергію на гальмування, якщо можна повернути її назад в мережу.

Повернути витрачену електроенергію можна за допомогою систем електричної рекуперації, тобто переведення режиму роботи електричної машини з двигуна в генератор. Це можливо на великій кількості електродвигунів: постійного струму, асинхронні та синхронні двигуни змінного струму, безколекторні двигуни та ін. Схеми таких підключень є досить простими, а переведення режиму роботи можна легко здійснити модулями реле та контролерами з широко-імпульсною модуляцією (рис. 1) [1].

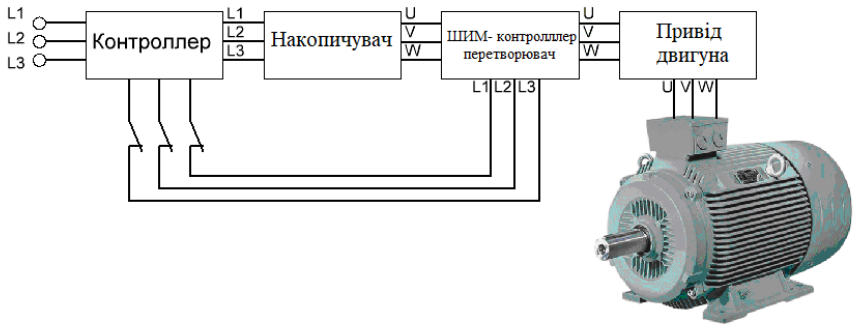


Рис. 1 – Схема підключення електродвигуна з рекуперацією в мережу живлення

Роль накопичувача відновленої енергії можуть відігравати звичайні хімічні акумулятори, але вони мають обмежену кількість циклів заряду-розряду, низький строк служби і не можуть швидко реагувати на високу потужність в мережі. Всіх цих недоліків не мають маховикові системи зберігання енергії.

Розглянемо маховики як перспективну систему накопичення. Супермаховик, як систему зберігання енергії, можна поділити на дві основні категорії:

**Науковий напрям:**  
**Технології машинобудування**

---

- перша – це система маховика низьких швидкостей обертання (менше ніж 10000 обертів на хвилину), яка складається зі сталевого ротора і механічного підшипника;

- друга система є системою маховика з високою швидкістю (до 60000 оборотів в хвилину), і ротор виготовлений з композиційного матеріалу та використовує магнітні підшипники замість механічних, але в цілому, основні складові частини (рис. 2) системи зберігання це:

- електричний двигун-генератор, який працює в якості двигуна при зарядці і як генератор при розрядці;

- маховик ротор, який зберігає кінетичну енергію;

- підшипники, (найчастіше магнітні) щоб виключають втрати на тертя;

- двонаправлений конвертер, що забезпечує передачу електричної потужності в обох напрямках під час зарядки і розрядки;

- вакуумний насос (для створення розрідження в камері обертання)[2].

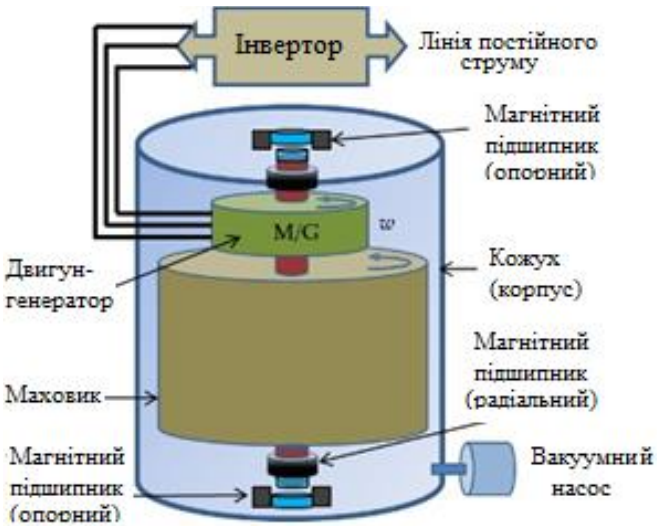


Рис. 2 – Будова та компоненти маховика

### **Список посилань**

1. Рекуперация электрической энергии и ее использование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/fakty/1172-rekuperaciya-elektricheskoy-energii.html>

2. Rotor Design for High-Speed Flywheel Energy Storage Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/221917056>

## **АЛГОРИТМИ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ**

*Андрусишин В. К., аспірант, Іванов В. О., докт. техн. наук, доцент, Павленко І. В., докт. техн. наук, доцент, Сумський державний університет; Куриц І., докт. техн. наук, професор, Жилінський університет, Словаччина; Чишак О., докт. техн. наук, професор, Познанський технологічний університет, Польща*

У теперішній час для підвищення конкурентоздатності виробів необхідна швидка адаптація виробництва під змінні умови ринку та прагнення до скорочення непродуктивних витрат на виробництві, що досягається за допомогою автоматизації. Автоматизація відбувається завдяки впровадженню промислових роботів, яких використовують в основному для транспортування деталей, тому в більшості випадків їх експлуатують разом з захоплювальними пристроями (ЗП), які бувають різними за конструкцією.

Процес проектування ЗП є трудомістким та потребує оброблення великого масиву інформації. Основні етапи проектування ЗП зображені на рис. 1 [1].

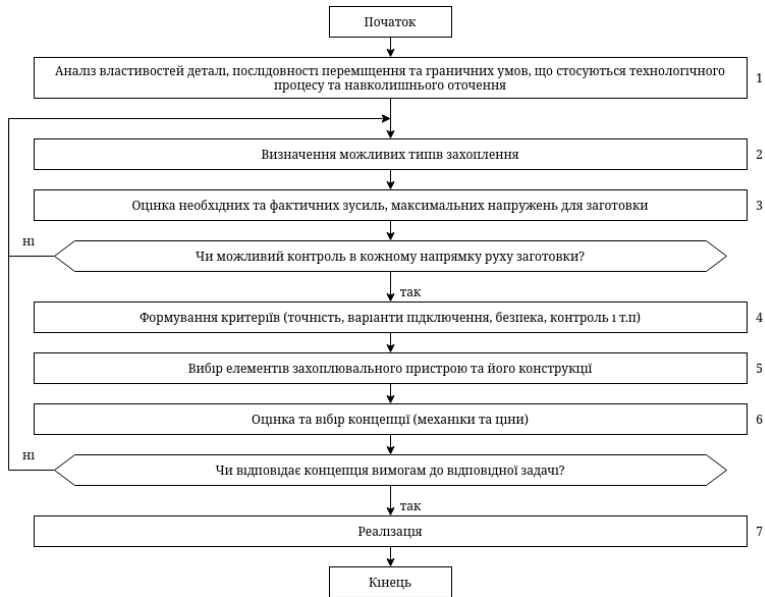


Рисунок 1 – Етапи проектування ЗП

Один із найважливіших та найскладніших етапів є вибір функціональних елементів, за допомогою яких виконується базування, направлення, закріплення та контроль деталі, що переміщується/захоплюється. До основних функціональних елементів сучасного ЗП відносяться з'єднувальні елементи, двигуни, механізм передачі, послідовні ланки механізмів, робочі елементи, прокладки та датчики [2].

При проектуванні необхідно враховувати наступні фактори та вимоги [1]:

- технологічні вимоги: час захоплювання, траєкторія руху ЗП, розміри, допуски, положення центру ваги, залежність сили ЗП від часу; кількість циклів захоплення;

- характеристики деталі: маса, геометрична форма, розміри, точність, положення центру ваги, якість поверхні, матеріал, міцність та температура.



– фактори, пов’язані з обладнанням: точність позиціонування, осьові прискорення;

– фактори, пов’язані з параметрами оточуючого середовища.

Через велику кількість вимог та значну номенклатуру функціональних елементів існує суттєва потреба в уніфікації та систематизації досвіду, отриманий при проектуванні існуючих ЗП, що допоможе автоматизувати вибір функціональних елементів та їх розміщення, що значно скоротить час на проектування.

### ***Список посилань***

1. Robot Grippers / G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk. – Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. – 453 pp.

2. Хмельницький Ю. В. Расчет и конструирование захватных устройств промышленных роботов : учебное пособие / В. Ю. Хмельницький. – К: УМК ВО, 1990. – 76 с.

## **ПРОГРЕСИВНИЙ ПІДХІД МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ БАГАТОКООРДИНАТНИХ ДЕТАЛЕЙ**

*Амелін М.М., студент, Шоломицький О.Л., студент, Колос В.О., аспірант, Залога В.О., докт. техн. наук, професор, Іванов В.О., докт. техн. наук, доцент Сумський державний університет*

Життя сучасної людини неможливе без машин, які надають їй допомогу у роботі, сприяють задоволенню матеріальних потреб людини. Техніка служить засобом виконання тієї чи іншої роботи, результатом якої є продукція, що необхідна людині.

Суспільство постійно відчуває потреби в нових видах продукції, в скороченні часу при виготовленні вже освоєної продукції. Ці потреби можуть бути задоволені лише за допомогою впровадження нових технологічних процесів та нових машин необхідних для виконання роботи. Будь-який

технологічний процес є відображенням рівня наукового і технічного розвитку суспільства. Машина може бути корисна в тому випадку, коли вона володіє належною якістю. Неякісні машини можуть не тільки не приносити користі, а й завдавати шкоди, так як вкладена в них праця та час виявляються витраченими марно. Час представляє собою найвищу цінність. Тому людина завжди прагне до економії часу в будь-якій справі. Одним із ефективних шляхів зменшення часу на виготовлення машини є використання при цьому гнучких виробництв, комплексів, пристроїв тощо.

Гнучкість у сучасному виробництві є одним з найважливіших критеріїв ефективності, тому необхідно оперативно здійснювати підбір для заданих виробничих умов, наприклад, оптимальних компонувань верстатних пристроїв (ВП). Останні тенденції у машинобудівній промисловості свідчать про те, що в умовах конкуренції виробники намагаються скоротити час виходу продукції на ринок, при цьому складність виробів та вимоги до їх точнісних і якісних показників постійно зростають. У зв'язку з цим, актуальним є впровадження гнучких ВП на підприємстві, які забезпечать швидке переналагодження на інший типорозмір деталей у межах певних конструкторсько-технологічних характеристик.

Метою даної роботи є підвищення ефективності механічного оброблення деталей типу кронштейнів за рахунок інтенсифікації технологічного процесу (ТП) та впровадження гнучкого верстатного пристрою (ГВП), здатного забезпечити багатокоординатне оброблення. У роботі розроблено проблемно-орієнтовану класифікацію деталей типу кронштейнів, яка базується на взаємозв'язку між конструкторськими та технологічними параметрами деталей, що надало подальшого розвитку процесу пошуку компонувань ГВП для заданих виробничих умов при автоматизованому проектуванні технологічного оснащення.

Крім того у роботі розроблено новий підхід багатокоординатного оброблення деталей, що базується на інтенсифікації ТП та забезпечує підвищення продуктивності оброблення, скорочення витрат часу на технологічну підготовку виробництва, а також зменшення кількості засобів оснащення при дотриманні заданої точності оброблення.

На основі виконаних досліджень доведено можливість інтенсифікації механічного оброблення деталей типу кронштейнів і працездатність запропонованої конструкції гнучкого ВП, яка забезпечує високий ступінь гнучкості, необхідну жорсткість системи «ВП – заготовка» та дозволяє отримати задану точність оброблення.

## **ВИБІР І ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЦИЛІНДРИЧНИХ КРУПНОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ**

*Анциферова О. О., к.т.н., старший викладач, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; Ковальов В. Д., д.т.н., професор, Васильченко Я. В., д.т.н., доцент,, Шаповалов М. В., к.т.н., асистент, Митрохина К. М., магістрант, Донбаська державна машинобудівна академія*

Рішення завдання вибору і призначення системи параметрів поверхневого шару циліндричних крупномодульних зубчастих коліс, що визначають їх експлуатаційні властивості, має базуватися на ретельному аналізі функціонального призначення того чи іншого вузла виробу і умов його роботи.

При проектуванні важких токарних верстатів з ЧПУ необхідно забезпечити експлуатаційні властивості циліндричних крупномодульних зубчастих коліс, а саме: втомна міцність, зносостійкість, контактна жорсткість, надійність і точність роботи вузла і виробу в цілому. [1]. Це пов'язано з тим, що в залежності від необхідних експлуатаційних властивостей

повинні здійснюватися вибір матеріалів циліндричних зубчастих коліс, призначення точності розмірів і параметрів стану їх поверхневого шару. При цьому необхідно керуватися відповідними залежностями і рекомендаціями, отриманими в результаті теоретичних і експериментальних досліджень. Структурна схема рішення задачі показана на рисунку 1.

На основі спільного аналізу умов нормальної експлуатації (блок 1) та технічних умов на виготовлення циліндричних зубчастих коліс (блок 2) здійснюється визначення необхідних експлуатаційних властивостей циліндричних зубчастих коліс і допустимих меж їх зміни (блок 3). Наприклад, якщо сумарне зближення поверхонь, що сполучаються під навантаженням при терті - ковзанні за весь термін їх служби не повинно перевищувати 16 ... 20 мкм, а величина контактного зближення поверхонь під навантаженням за рахунок пластичних і пружних деформацій їх поверхневих шарів становить 5 ... 6 мкм, то це значить, що знос сполучених циліндричних зубчастих коліс за весь термін їх служби не повинен перевищувати 10 ... 14 мкм. Якщо знати термін служби важких токарних верстатів з ЧПУ і обчислити фактичний час роботи розглянутого вузла за весь термін служби  $T$ , легко визначити допустиму інтенсивність зношування з'єднання  $J = (10...14)/T$ , мкм/с. [2].

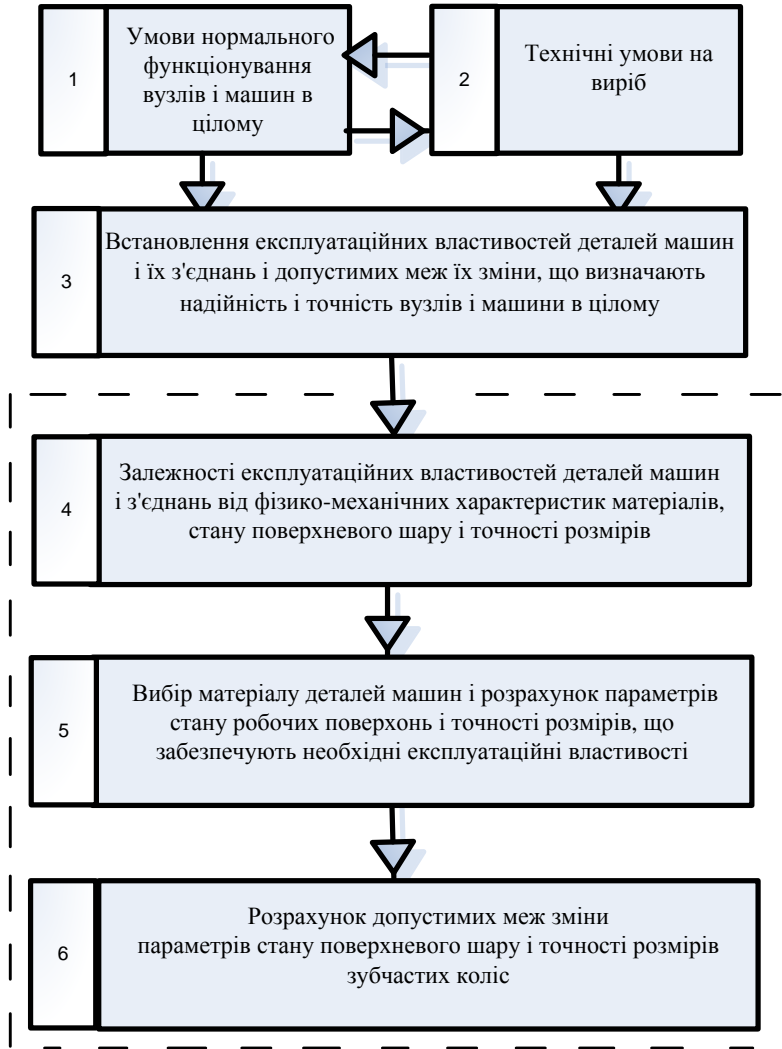


Рис. 1 - Структурна схема завдання конструктора

Таким чином, визначаються експлуатаційні властивості циліндричних зубчастих коліс важких токарних верстатів з ЧПУ і допустимі межі їх зміни, що лімітують надійність роботи передньої бабки, механізму поздовжнього і поперечного

переміщення супорта, ламелей, задньої бабки верстата в цілому. Перехід від блоків 1-го і 2-го до блоку 3-му є неформалізовані, тобто він не піддається алгоритмізації. Це означає, що на даному етапі проектування важливими факторами є наявні статистичні дані по експлуатації прототипів проєктованих вузлів важких токарних верстатів з ЧПУ.

### **Список посилань**

1. Повышение качества поверхностного слоя зубьев изношенных и восстанавливаемых крупногабаритных зубчатых колес поверхностным пластическим деформированием / В.Ф. Шаповалов, В.И. Печень, А.А. Клочко, А.А. Пермьяков, М.И. Гасанов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – Вип. 41. – С. 56–67.

2. Инженерия поверхностей деталей /А.Г. Сулова и др. // под ред. А.Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ТВЕРДИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Васильків В.В., док. техн. наук, Паращук В.Р., аспірант,  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана  
Пулюя*

У сучасному суспільстві спостерігаються тенденції постійного поширення використання полімерної продукції, серед якої значне місце займають тверді пластикові матеріали: пет-пляшки, каністри, плівкові відходи (полівінілхлоридні, акрилові, поліпропіленові, поліетиленові плівки та полімерні мішки), пластикові труби, профілі.

Відповідно зростає необхідність її переробки після використання у зв'язку із загрозливими тенденціями зростання забруднення навколишнього середовища (третина щоденних відходів життєдіяльності людини є пластик) та технологічною і

економічною необхідністю використання вторинної сировини у зв'язку із обмеженістю запасів матеріальних ресурсів. Підтвердженням цьому є те що на ринку пластикові пляшки приймають за ціною 5.5 – 6 грн./кг, що ідентично ціні металобрухту.

Вторинну полімерну сировину використовують в адитивних технологіях та для виготовлення хімічного волокна у легкій промисловості, будівництві, машинобудуванні.

Для переробки полімерної продукції переважно використовують роторні подрібнювачі серій LH (фірми “YLMF NINGBO”), Huare HSS (фірми “NSMI”), ИПР (фірми “Конвент”), GRINDEX (фірми “Техномашстрой”), для переробки виробів з м'якого і твердого пластика товщиною від 1 до 10 мм. Вони оснащені роторними ножами різних типів (А, В, С) відповідно до виду оброблюваних матеріалів. У них кількість роторних ножів 12-28, стаціонарних – 2-4. Розміщення ножів найчастіше каскадне. Розмір комірок фракційної сітки 6-14 мм забезпечує отримання подрібнених матеріалів розміром 0,8 – 1,2 см.

Такі установки, що оснащені двигунами потужністю 2,2-30 кВт, забезпечують відповідно продуктивність 100-600 кг/год залежно від моделі установки. Кількість обертів ротора переважно не перевищує 1500 об/хв.

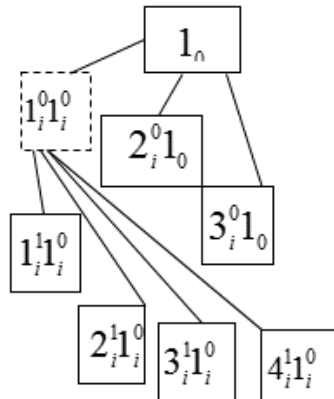


Рис. 1 – Схема ієрархічної структури установки для подрібнення твердих полімерних матеріалів

Будову установки для подрібнення полімерних матеріалів можна описати структурною формулою  $\|1_i^{01_0} \quad 2_i^{01_0} \quad 3_i^{01_0}\|$ , де  $1_i^{01_0}$  - дробильна камера,  $2_i^{01_0}$  - станина,  $3_i^{01_0}$  - вузол приводу.

Схему ієрархічної структури згаданої установки показано на рис. 1.

Усередині дробильної камери розташований ротор  $1_i^{11_0}$  з рухомими ножами, а також статор  $2_i^{11_0}$  з нерухомими (стаціонарними) ножами. Оброблювана сировина подається через завантажувальний отвір бункера  $3_i^{11_0}$  дробарки в порожнину дробильної камери, де подрібнюються за допомогою статорних і обертових роторних ножів. Внизу такої камери розміщене знімне сито (фракційна сітка)  $4_i^{11_0}$  з отворами однакового розміру. Тому розмір вихідної фракції матеріалу не перевищує розміру комірок сита.

Для подрібнення твердих пластикових матеріалів розроблена спеціальна установка (рис. 2, 3).



Рис. 2 - Загальний вигляд розробленої установки для подрібнення твердих полімерних матеріалів



Рис. 3 – Вид зверху на дробильну камеру у процесі подрібнення пет-пляшок



Особливістю розробленої установки є наявність дискових роторних і стаціонарних ножів із зубцями спеціальної форми, фракційної сітки із регульованим розміром комірок.

Основними критеріями вибору таких конструкцій є продуктивність  $P1$ , гучність  $P2$  яка визначається стійкістю конструкції і рівнем вібрацій корпусу при роботі, рівень енергоспоживання  $P3$ , габарити  $P4$ , показники отримання подрібнених матеріалів ідентичних розмірів (розмір вихідної фракції  $P5$  та ін.).

Проведені випробування показали задовільні результати за згаданими критеріями у порівнянні з відомими технічними рішеннями.

## **ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ШПИНДЕЛЯ НА КОНІЧНИХ ГАЗОВИХ ОПОРАХ З КАНАВКАМИ ЗМІННОЇ ГЛИБИНИ**

*Віутак І. В., канд. техн. наук, доцент, Вінницький національний технічний університет*

Вимоги до надійності конструкцій шпindelних вузлів зростають постійно. Підшипники і досі є відповідальними, але швидко спрацьовуваним елементом машини, верстатів та приладів. Від їх працездатності залежить не тільки надійність експлуатації машин, агрегатів, ядерних реакторів та ін., але й життя людини. Якість роботи підшипників є вирішальною, коли умови експлуатації ускладнюють ремонт та заміну агрегату, а підвищений знос чи поламка можуть призвести до аварії вузла значної вартості.

Радіально упорні газові опори знайшли широке застосування в різних швидкохідній та тихохідних шпindelях та вузлах сучасних пристроїв [1]. Конічна форма робочої поверхні тертя дозволяє газовому слою в разі необхідності витримати значні радіальні та осьові навантаження без погіршення безконтактного режиму роботи. Економічність по витратах газу досягається

шляхом подачі його в робочий зазор через щілину наддування газу. Надійна робота та експлуатація таких підшипників можлива при правильному розрахунку опорної частини – опори конічного типу [2-4]. Для забезпечення заданого робочого зазору необхідно розрахувати осьове зусилля, яке рівне і протидіє осьовій реакції газового слою. Для підвищення осьової сили та жорсткості опори на вал було нанесено канавки змінної глибини.

Розглянуто роботу конічного газового підвісу в умовах роботи випадкових збурень, що відхиляють його від стану рівноваги та відповідних динамічних реакцій мастильного слою. Ці реакції визначаються за допомогою рівняння Рейнольдса. Математична модель розподілу тиску в газовому мастильному шарі можна представити системою рівнянь в частинних похідних [2, 5].

Жорсткість системи залежить не лише від лінійних сил опору шару, але й від швидкості зміни товщини шару і тим самим від частоти коливань. Зовнішні збурення (вимушені коливання) можуть посилюватися не лише частотою коливань, але й масою та моментом інерції підвішеного тіла. Таким чином зрозуміло, що динамічна жорсткість газового підвісу зовсім не еквівалентна статичній, оскільки динамічна жорсткість та коефіцієнт демпфування залежить від частоти коливань.

### **Список посилань**

1. Пуш, А.В. Шпиндельные узлы: Качество и надежность [Текст]/ А. В. Пуш – М.: Машиностроение, 1992. – 286 с.
2. Степанчук В. І. Лінійний статичний аналіз газостатичних конічних підвісок, профільованих поздовжніми канавками / В. І. Степанчук, В. О. Федотов // Вісник Вінницького політехнічного інституту (ВПІ). – В., 1994. – Вип. 3. – С. 57-61.
3. Vishtak I. Spindle on the conical gas suspension their design and research performance / I. Vishtak, V Savulyak // TEHNOMUS «New Technologies and Products in Machines Manufacturing Technologies» –Romania, 2013. – Vup. 20. P. 234-239.

4. Пинегин С. В. Статические и динамические характеристики газостатических опор / С. В. Пинегин, Ю. Б. Табачников, И. Е. Сипенков. – М. : Наука, 1982. – 265 с.

5. Магнус К. Колебания : Введение в исследование колебательных систем. Пер. с нем. М. : Мир, 1982. – 304 с.

## **ДО ПИТАННЯ ПОШУКУ КРИТЕРІВ ВИБОРУ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ЇХНІХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОРТОПЕДИЧНИХ УСТІЛОК (ОРТЕЗІВ) В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЦІЛЕЙ ЇХ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ**

*Гаврилко В. М., студентка, Залога Р. О., аспірант  
Дядюра К.О., док. техн. наук, професор, Залога В.О., док. техн. наук,  
професор, Сумський державний університет*

Індивідуальним ортопедичним виробам приділяється все більше уваги з боку дослідницького співтовариства. Для того, щоб зменшити скарги на роботу опорно-рухового апарату, і особливо пов'язаного з ним болю, важливо правильно вибрати не тільки взуття, а й устілки. Вони повинні, у разі потреби, оказувати відповідну коригувальну дію на користувача взуття, у зв'язку з чим їх, як правило, називають індивідуальними ортопедичними устілками (ортезами). Ці устілки призначені для зменшення і адекватного розподілу тиску між опорними точками ступні і, тим самим, зводячи до мінімуму напруги, яким ці точки можуть піддаватися. З огляду на те, що під час ходьби і в процесі спокою у взутті створюється новий мікроклімат, температура і вологість якого вище, ніж у зовнішньому середовищі, ортопедичні устілки можуть істотно змінювати загальне сприйняття комфортності при користуванні взуттям. Індивідуальні устілки повинні виготовлятися персонально, причому для кожної ноги індивідуально з обов'язковою консультацією у лікаря-ортопеда [1]. Ключовими вимогами для оцінки та вибору відповідних матеріалів при виготовленні ортопедичних устілок зазвичай

вважаються такі їх фізичні та механічні властивості, як: пружність, жорсткість при стисненні і коефіцієнт тертя. Знання властивостей матеріалів дозволяє спроектувати і виготовити ортопедичні устілки для індивідуальних потреб кожного споживача.

З метою визначення оптимальних параметрів конструкції, контуру і твердості при проектуванні і виготовленні устілки необхідно обов'язково враховувати стан замовника: наявність болю або травми, комфортність при ходьбі, нейрофізіологічні і психологічні проблеми і т.п. В даний час для цих виробів найчастіше використовуються полімери та полімерні композити, вибір яких ґрунтується, як правило, на емпіричних даних. У багатьох випадках цей вибір робиться суб'єктивно, тому що дуже часто в технічній літературі практично відсутня інформація про механічні властивості кожного застосовуваного в устілці матеріалу, а ще менше є інформації про їх взаємодію. Разом з тим функціональність устілки визначальною мірою залежить саме від механічних властивостей композитних матеріалів, що використовуються при її виготовленні. Відомо, що цільовими функціями ортопедичних устілок є: амортизація, поглинання енергії, жорсткість, адаптація до підшви стопи, заповнення пустот всередині взуття та зняття тиску на виразкову область.

Останні досягнення в технологіях адитивного виробництва (AM) і, зокрема, популяризація 3D-друку за допомогою моделювання методом наплавлення (FDM) відкрили нові можливості для виробництва ортопедичних устілок. Беручи до уваги відносно широкий спектр ортопедичних матеріалів і відносно обмежений вибір відповідних технологій 3D-друку, а також те, що ефективність ортопедичних устілок, як і раніше, в значній мірі залежить від багаторазових спроб і помилок, заснованих на досвіді окремих ортопедів і практикуючих лікарів, у даному дослідженні розробляються об'єктивні критерії кількісної оцінки для вибору матеріалів ортопедичних устілок на основі їх механічних характеристик і цілей їх практичного

використання. Таким чином, метою даного дослідження є розробка методології вибору об'єктивних критеріїв підбору матеріалів для 3D-друку індивідуальних ортопедичних устілок з урахуванням їх необхідних механічних характеристик. У роботі досліджені механічні властивості матеріалів для 3D-друку індивідуальних устілок. Зазначені ортопедичні вироби, з точки зору одночасної реалізації ознак функціональності і акомодативності, спроектовано за допомогою CAD/CAE технологій, що дозволяє мінімізувати їх вагу і розмір.

### **Список посилань**

Залога В.О. До питання використання сучасних інформаційних технологій в стоматології та ортопедії [Текст] / В.О. Залога, О.О. Залога // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2014. – Вип. 9. – С. 164–175.

## **АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ШТИФТОВИХ КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ**

*Герасько К.Р., магістрант, Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, ст. викладач, Сумський Державний університет*

Дотримання вимог встановлених стандартів до виготовлення штифтових конічних з'єднань унеможливорює досягнення необхідної площі контакту в поєднанні з методом повної взаємозамінності.

Метою роботи є дослідження методів реалізації штифтових конічних з'єднань та знаходження шляхів збільшення площі контакту в з'єднанні системи отвір-вал за рахунок виготовлення отвору з більшою шорсткістю.

Основними завданнями є розрахунок параметрів шорсткості під впливом сил зминання при запресуванні конічного штифта у отвір та розроблення методу покращення характеристик з'єднання за умов використання методу повної взаємозамінності.

Штифтові конічні з'єднання, як правило з конусністю 1:50 призначені для здійснення точного фіксування положення деталей та для забезпечення їх взаємного орієнтування, при закріпленні один відносно одного різьбовими елементами [1] з основною вимогою щодо точності взаємного розташування однієї поверхні, відносно іншої.

Конічні установчі штифти забезпечують більш точну фіксацію, ніж циліндричні. Точність фіксації майже не втрачається з часом при зношуванні робочих поверхонь штифта і після багаторазових демонтажів, так як щільність посадки штифта кожен раз відновлюється в результаті занурення штифта в отвір на більшу глибину, ніж попередній раз. Також вони відносно легко видаляються, що дозволяє замінювати пошкоджені штифти і певною мірою полегшує процес монтажу та демонтажу.

Для нерухомого з'єднання деталей тіл обертання (типу втулки на валу) часто використовують конічні штифти, які утримуються в з'єднанні силами тертя, що створюються пружними деформаціями матеріалу деталі при установленні штифта.

Згідно зі стандартом [2], який поширюється на конічні незагартовані штифти класів точності А і В поле допуску на їх діаметр відповідно для класів точності А -  $h10$ , В -  $h11$ .

Значення параметрів шорсткості робочих поверхонь штифтів, згідно зі стандартом [3] складає за критерієм  $Ra$  0,8 мкм - для класу точності А та 1,6 мкм - для класу В.

Дослідження стійкості конічних пресових з'єднань показали, що зусилля запресовування зі збільшенням кута нахилу конуса та різко зростає.

За умови виконання вимог до параметрів шорсткості конічних штифтів за [3], при їх виготовленні, отримуємо ряд проблем із застосуванням методу повної взаємозамінності.

Можливим шляхом до реалізації більш економічно вигідного способу отримання якісного штифтового конічного з'єднання з

використанням даного методу є виготовлення отворів з порівняно великою шорсткістю, що дозволить дослідити вплив пластичного деформування при зміні топографії поверхні та досягнення необхідного контакту безпосередньо під час встановлення.

### **Список посилань**

1. Рощин Г. И. Детали машин и основы конструирования: учеб. для вузов [Текст] / Г. И. Рощин, Е А. Самойлов. – Дрофа, 2006. – 415 с.
2. ГОСТ 3129-70. Штифты конические незакаленные. Технические условия. [На заміну ГОСТ 3129-60, чинний від 1971-07-01]. Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 1970. 5 с.
3. ГОСТ 26862-86. Штифты. Общие технические условия. [Чинний від 1987-07-01]. Изд. офиц. Москва: Издательство стандартов, 1986. 10 с.

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ПІД ЧАС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ**

*Герасько К.Р., магістрант, Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, ст. викладач, Сумський Державний університет*

Перспективним і актуальним напрямком розвитку енергозбереження в Україні є виготовлення високоякісного альтернативного твердого палива з відходів промислового виробництва - зокрема, деревообробного - у вигляді паливних брикетів і гранул. Таке виробництво дозволяє зменшити залежність національної економіки від традиційних вуглецевих енергоносіїв і утилізувати великі обсяги відходів. Паливні брикети та гранули можуть використовуватися для обігріву пасажирських вагонів, в домашніх печах і камінах, а також заводських котелень і ТЕЦ. Але в даний час в Україні промислове виробництво твердого палива з відходів практично відсутня.

Для виробництва паливних брикетів використовують не тільки відходи деревообробки, а й усі інші численні види целюлозовмісної сировини, відходи рослинництва і переробної промисловості.

Для всіх видів сировини дослідним шляхом встановлені необхідні діапазони вологості. Оптимальна вологість сировини повинна становити близько 8%. Діапазон вологості для успішного пресування становить 5 - 12%.

При вологості до 15% брикет пресується, але його якість погіршується до нетоварного вигляду, а процес можливий тільки при мінімальній його продуктивності. При вологості менше 5% процес формування брикету ускладнюється [1].

У світі існують різні технології виробництва паливних брикетів і гранул з відходів промислового виробництва. Однією з важливих частин виробництва є технологічний процес сушіння сировини, що вимагає значних енерговитрат. А саме для випарювання однієї тони вологи з деревини необхідно використати 210 кг низькосортних відходів деревини, або 1 МВт енергії, отриманої іншим способом [2].

В існуючих установках для отримання паливних брикетів тирсу сушать в барабанних сушильних установках, недоліком яких є нерівномірне нагрівання висушуваного матеріалу. Швидкість сушіння низька. Неможливо збільшити відбір вологи з матеріалу, що висушується при його одноразовому обробленні в сушарці. Необхідно пропускати сировину через сушилку кілька разів або застосовувати «каскадне» розташування декількох барабанних сушарок.

Тому враховуючи вищесказане, та досить великі енергетичні витрати під час процесу сушіння матеріалу для паливних брикетів подальша робота буде направлена на розроблення оптимальної технології сушіння деревини різних порід за якої коефіцієнт тепловіддачі кінцевого продукту – паливних брикетів, буде максимальним. При цьому враховуватимуться складність



процесу формування брикетів та інші технологічні фактори їх виготовлення.

### **Список посилань**

1. Технология производства топливных брикетов из растительных отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pelleta.com.ua/texnologiya-proizvodstva-toplivnyx-briketov-iz-ras-o785.html>

2. Экономика производства топливных брикетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ecology-energy.ru/economics/production\\_economics/briquettes\\_production\\_economy/](http://www.ecology-energy.ru/economics/production_economics/briquettes_production_economy/)

## **WAYS OF SOLVING THE PROBLEM OF DATA SYNCHRONIZATION BETWEEN SMALL MACHINE-BUILDING ENTERPRISES WITHIN THE SOLUTION OF INDUSTRY 4.0 PROBLEMS**

*Zinchenko A., the post-graduate student, Dobrotvorsky S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Basova Ye., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Trubin D., the post-graduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*

Each contractor prefers to hide the specifics of the production of a product. But all companies that have an interest in fulfilling an order for the manufacture of parts or assembly, need information about the finished product for further processing (for example, when assembling units). Thus, the need to implement the method of data transfer comes to the forefront of the problem of data synchronization between small enterprises, given that the designed system must also support the possibility of storing part of the data of a particular enterprise in confidentiality. For example, the result of the work (size, tolerance, other requirements for the part) should be easily transferred from one small business to another, but, for example, the technology of manufacturing the part should remain only within the company that

manufactures the part. Also very important is the invariability of some data, as these data can be used to build further work of other contractors, for example, if there is a possibility to change the size of the part after project approval, it can cause some problems, such as inconsistency of technical characteristics to customer requirements, or problems when creating assemblies.

The paper proposes to solve this problem by using blockchain technology.

Note that today there are libraries that help create your blockchain, such as <https://github.com/blockchain>. However, unfortunately, most existing libraries only have the functionality to write their currency. Another common use of blockchain is payment methods. Therefore, it was decided to write their methods of sending and encrypting data, which can be used in solving problems of small machine-building enterprises within the concept of Industry 4.0.

To achieve this goal, the .net platform and c # programming language were chosen.

Classes with built data structures were created, the main task of which is to be entities that will be stored in the database and exchanged between users.

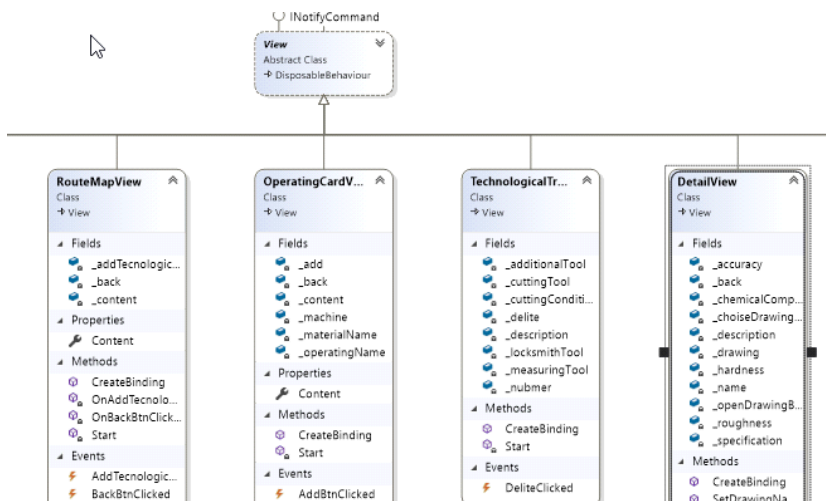


Fig. 1– Example of a diagram of classes created in the designed application

To create the interface of the designed application in the work used standard methods of the game engine Unity. This provided the speed of visualization and will further add support for 3D models.



Fig. 2 – Example of a user interface.

Since the purpose of the work is to write an application that can interact with remote users, one of the primary problems was the transmission of data over the network, which is quite a complex process. You need to dynamically monitor the address where the data is transmitted, select the optimal transmission route, monitor the sending of data, and in case of loss or damage to the latter to send them again. From the analysis of existing ready-made solutions, it was found that most of the problems are solved by the TCP / IP protocol stack (routing, data delivery tracking).

But the HTTPS protocol ("secure hypertext transfer protocol") was chosen to work with the network because it is an international standard and guarantees security when transmitting data. The protocol allows you to receive various resources, such as binary data. The HTTP protocol is the basis of data exchange on the Internet. HTTP is a client-server interaction protocol, which means that requests to the server are initiated by the recipient, usually the client. The resulting summary file will (may) consist of different network packets and is part of the summary file. This method provides a stable way of data exchange.

Among the current results of work on the creation of software - created a model of the application. The main difficulty in developing the program is the presence of network interactions and the need to encrypt and hide data to increase the security of the intellectual property of small businesses. As a result, there should be software that will help solve the problem of communication between small businesses in solving the problems of virtual companies for the manufacture of responsible engineering products. Similarly, for this program, we need to increase the level of data protection and minimize the possibility of unauthorized editing.

## **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ШТАМПУ ДЛЯ ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ У СЕРЕДОВИЩІ“РАМ-СТАМП”**

*Карпик Р.Т., к.т.н., доцент, Винничук Б.Б., магістрант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Витяжка – одна із найвищих та найпоширеніших технологічних процесів листової штамповки. За її допомогою виготовляється безліч деталей, які не можливо отримати іншими видами обробки. Одним із найважливіших етапів є визначення чи потрібний притискач чи ні [1].

На рис.1 показано, як приклад отримання деталі витягуванням із листового матеріалу сталь 08КП, товщиною 2.5 мм.

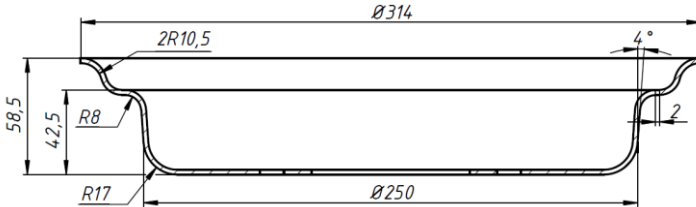


Рис.1 – Циліндрична деталь

Заготовкою служить диск  $\varnothing 390$ мм. Конструкція штампа для виготовлення деталі може передбачати як використання притискача так і без нього.

Нами було проаналізовано два методи отримання деталі з конструкціями штампів з притискачем і без нього у програмі RAM-STAMP. Ця програма дозволяє провести аналіз якості отриманої деталі на стадії проектування штампа.

Якість отриманої деталі із застосуванням притискача показано на рис. 2. Сила притискання становить 70 тон, а сила витяжки – 140 тон. З рис. 2 видно, що безпечною зоною (зеленого кольору) покрита майже вся деталь, а зони важких деформацій (червоний колір) становить 9.2% від загального об'єму деталі.

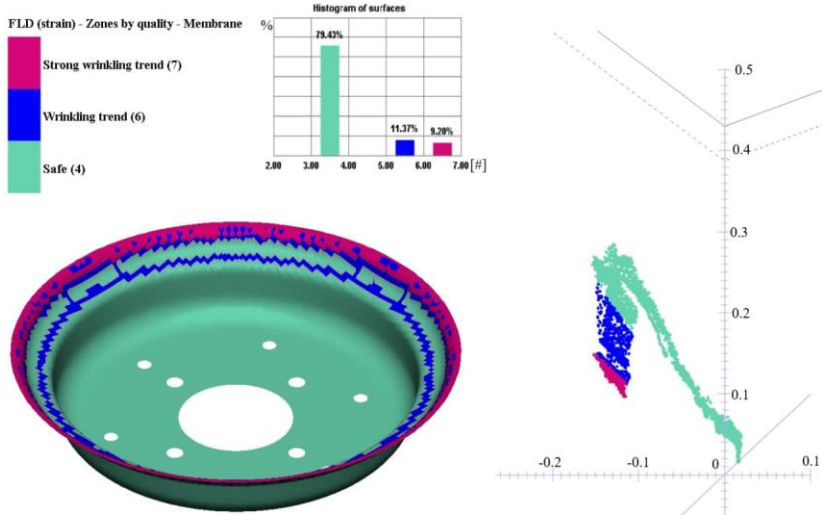


Рис. 2 – Зони і графік деформацій

На рис. 3 показано зони деформацій які будуть виникати в процесі витяжки без застосування притискача.

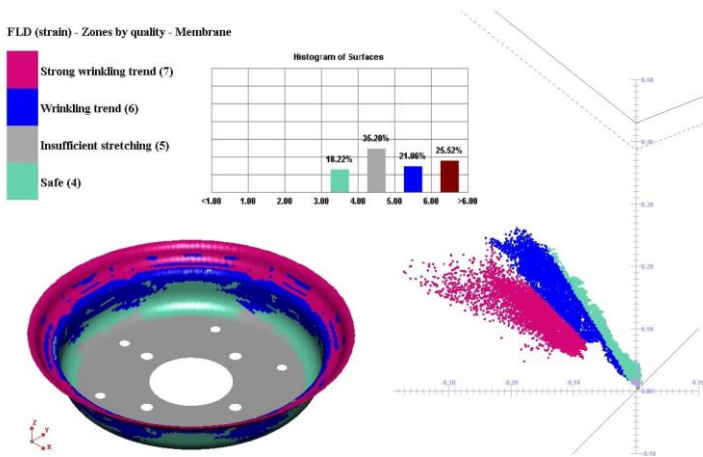


Рис. 3 Зони і графік деформацій без застосування притискача

Зона утворення складок становить близько 25%, а зона не розтягнутого матеріалу (сірий колір) – 35.2% від загального об'єму.

Отже використання цієї програми дозволяє проаналізувати якість отримання деталі на стадії проектування штампа.

### **Список посилань**

Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке, 6-е изд., перераб. — Л.: Машиностроение, 1979. — 520 с.: ил.

## **КОМПЛЕКСНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ РЕАКТОПЛАСТІВ**

*Карпик Р.Т.* кандидат технічних наук, доцент, *Лейбюк Т.Т.*, магістр, *Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*

Невід'ємною частиною проектування деталей із реактопластів є підбір основних та допоміжних систем з їх розрахунком. Однією з них є система охолодження, яка, з допомогою збалансованих параметрів, пришвидшує цикл отримання деталі, забезпечує правильність геометрії та технологічних параметрів деталі.

Система охолодження виконує наступні функції:

рівномірність охолодження деталі (тепловий баланс) – для зменшення усадки та рівномірності кристалізації;

швидке охолодження – для підвищення продуктивності виготовлення;

рівновага температури внутрішньої і зовнішньої стінки деталі для запобігання її короблення [3, с. 596].

Виконання цих функцій дозволяє використати необхідні технологічні параметри які, зазвичай, розраховуються аналітичним методом з врахуванням типу і конструкції системи охолодження. В подальшому впливають на параметри інших

важливих систем, від яких також залежить якість деталі та продуктивність її виготовлення. Аналітичний метод не завжди з достатньою точністю дозволяє розрахувати необхідні технологічні та конструктивні параметри системи охолодження, так як не враховує всіх факторів процесу через складність конфігурації деталі.

Більш детально цей процес пояснюється тим, що при охолодженні розплаву відбувається часткова дезорієнтація макромолекул. Але, за рахунок більш швидкого охолодження тонких стінок, релаксація на них практично не протікає і збільшується різниця орієнтації на товстіших стінках, де релаксація протікає в більшій мірі. Тож, якщо деталь має різну товщину стінки, то після охолодження ступінь орієнтації буде різним і це вплине на появу залишкових напружень. При вийманні таких деталей з форми може виникнути їх короблення або з часом з'являться мікротріщини [1, с. 304 ].

Саме, застосування CAE (Computer - aided engineering – система автоматизованих інженерних досліджень) забезпечує врахування технологічних та конструктивних параметрів системи охолодження та дозволяє оптимізувати розрахунки. Для розробки моделі деталі вентилятора в якості CAE програмного забезпечення використано SolidWorks Simulation та SolidWorks Plastics.

### ***Список посилань***

Бортников В. Г. Основы технологии переработки пластических масс: Учебное пособие для ВУЗов / В. Г. Бортников. – Л.: Химия, 1983. – 304 с.

Виноградов В. М. Практикум по технологии переработки пластических масс / В. М. Виноградов, Г. С. Головкина. – М.: Химия, **2012**. – 235 с.

Власов С. В. Основы технологии переработки пластмасс: Учеб. для ВУЗов / С. В. Власов, В. Н. Кулезнев. – М.: Мир, 2012. - 596 с.



## ВИДИ ОПТИМІЗАЦІЙ (DOE) У ПРОГРАМІ MOLDFLOW

*Карник Р.Т., к.т.н., доцент, Сидор Н.І., магістрант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

На сьогоднішній день одним з важливих критерій лиття під тиском є аналіз виробів за допомогою різних комп'ютерних програм, в нашому випадку ми використовуємо Moldflow Insight. За допомогою даного продукту провідні підприємства оптимізують свої деталі і ливарні форми, усувають потенційні виробничі дефекти і швидше виводять на ринок інноваційну продукцію [0].

Moldflow призначений для лиття пластмас під тиском, надає користувачеві всі потрібні функції за допомогою яких можна визначити наступні критерії:

- оптимізація;
- перевірка деталей;
- перевірка прес-форм;
- результати в момент лиття під тиском.

Оптимізаційно-експериментальний аналіз Design-of-Experiments (DOE) – це статичний оптимізація, яка дозволяє побачити вплив заданих параметрів, наприклад: зміни значення температури форми в діапазоні, на якість поверхні виробу. Також може визначити які умови будуть мати найбільший вплив на якість моделі, виконавши велику кількість аналізів [0].

Перевага DOE полягає в отриманні числових і графічних тестових аналізів, які пропонують значно більший обсяг важливих результатів, а ніж з простих аналізів методом спроб і помилок. В даній програмі є чотири види оптимізації [0]:

### **Одна змінна (One variable)**

Для даного аналізу вибирається одну змінну для обраної нами критерії якості. Дана оптимізація є найшвидшою з перелічених, і це хороший вибір, якщо нас цікавить одна змінна. Плюс в часі аналізу, мінус в тому що тільки одна змінна.

### **Змінні впливу (Variable Influences)**

Змінні впливу обчислює відносний значення кожної із змінних, які нам потрібні, на обраній моделі. Змінні класифікуються за значенням важливості які ми задали, наприклад: ми задали три змінних, яким по важливості аналізу вказали наступні цифри 10;9;8, в цьому випадку програма буде більше приділяла увагу змінній з цифрою важливості 10 і відштовхувалась від даного параметру.

### **Відповідні змінні (Variable Responses)**

Аналіз оптимізації відповідних змінних використовують у випадку коли нам відомо змінні які потрібно змінювати, щоб визначити їх вплив на якість виробу. Даний аналіз довго розраховується, але в ньому можна вибрати скільки завгодно змінних.

Результати цього експерименту видаються у вигляді 2D/3D графіків, які візуально і чисельно допомагають нам зрозуміти які параметри кращі.

### **Змінні відповідностей і впливу (Variable Influences then Responses)**

Даний аналіз використовує два попередні методи як один, для того щоб визначити найкращі параметри якості. Спершу змінні впливу визначають параметри які найбільше впливають на наш виріб, а потім проводить аналіз по параметрах важливості які ми вказали. Цей аналіз є найбільш триваліший від попередніх. Компанія Autodesk для нього може запропонувати використання їхніх комп'ютерів, так як аналіз потребує потужної машини для обрахунку.

Результати цього експерименту видаються у вигляді 2D/3D графіків, які візуально і чисельно допомагають нам зрозуміти які параметри кращі.

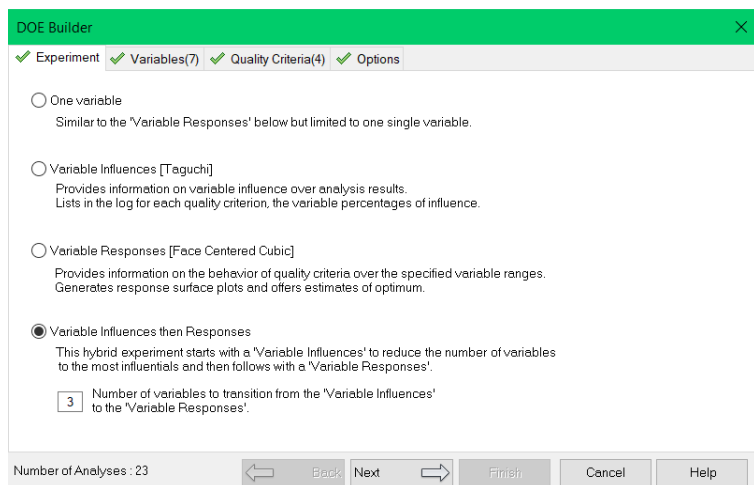


Рис. 1 – Види оптимізації DOE в Moldflow

З даних оптимізацій найкраща „Змінні впливу і відповідності” так як вона найоптимальніше розраховує задані параметри, і графічно показує можливі варіанти того чи іншого результату. Також він демонструє нам до даного аналізу як графік рис. 2(a) ,так і самому підбирати відповідь за допомогою бігунів рис. 2 (b).

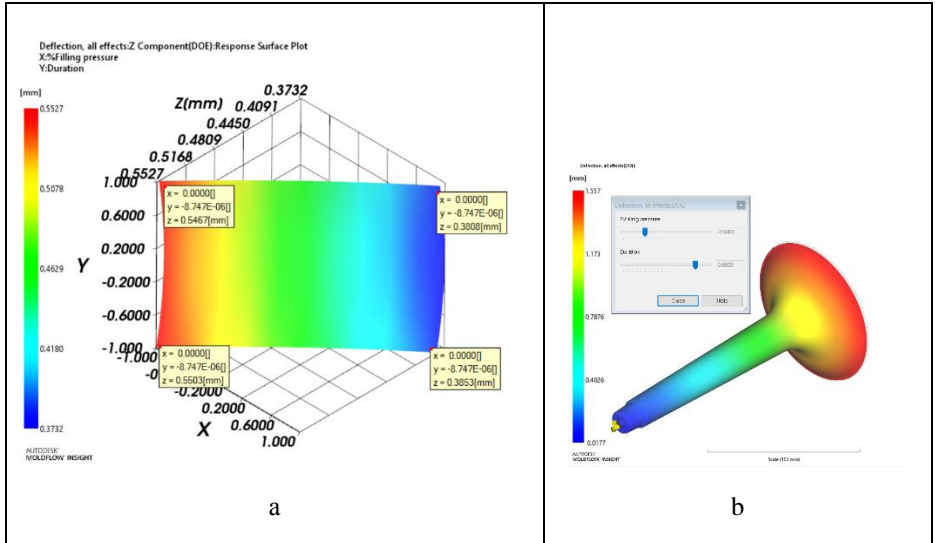


Рис. 2 – Види аналізів

### Список посилань

1. <https://www.pointcad.ru/product/autodesk-moldflow/funkcional-autodesk-moldflow> (Перевірка і оптимізація деталей з пластмаси)
2. <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-2ED35719-4C81-4CFC-AF24-952CAFD2CC30-htm.html> (Design-of-Experiments analysis (Concept))
3. <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/MoldflowInsight/files/GUID-C939DF93-9A90-41C4-8134-823E81025C60-htm.html> (DOE Experiment types (Concept))

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ОХОЛОДЖЕННЯ ДОВГИХ ПУАНСОНІВ

*Карпик Р.Т., к.т.н., доцент, Ільків Н.В., магістрант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Одним із важливих факторів впливаючих на продуктивність виготовлення деталей екструзійним способом, є використання найбільш раціонального методу охолодження формоутворюючих поверхонь [1]. Регулювання температури пуансонів форм для лиття термопластів під тиском необхідна для регулювання теплових потоків, що передаються з виливка на формоутворюючу поверхню пуансонів, які в свою чергу внаслідок реологічних процесів, обтиснуті виливком під дією їхньої усадки [2].

Особливо при коротких циклах заливки і поганому відводі тепла, які в свою чергу спричинюють підвищення температури пуансонів і внаслідок цього, необхідність збільшення часу циклу заливки. З цією метою було проведено дослідження для трьох різних типів охолодження пуансонів (знаків) на прикладі прес-форми для деталі “Тримач” в середовищі програми Autodesk Moldflow Insight (рис.1)

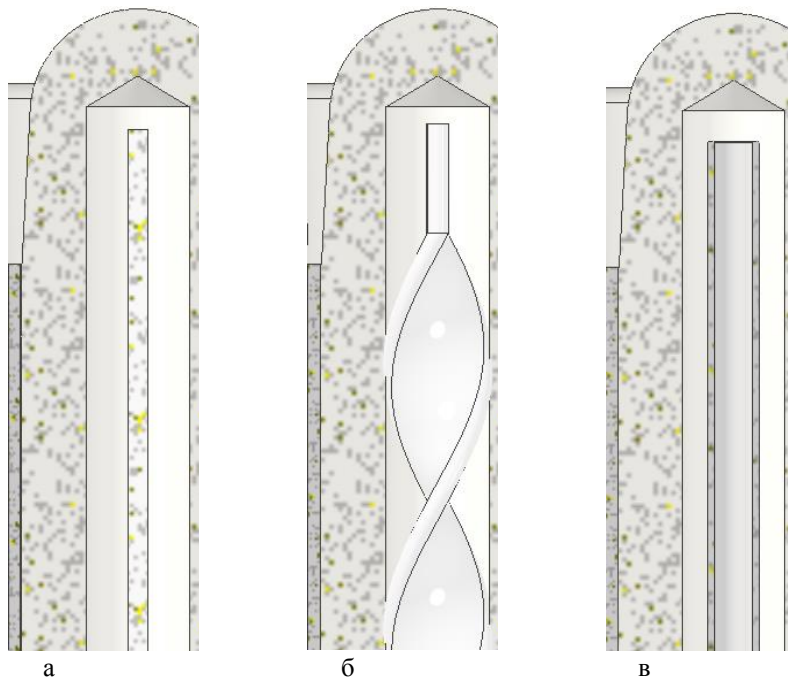


Рис. 1 – Візуалізація методів охолодження довгих пуансонів: а – перегородка проста, б – перегородка спіральна, с – пальцевий (трубчастий)

Результати проведених досліджень, представлено на рис. 2

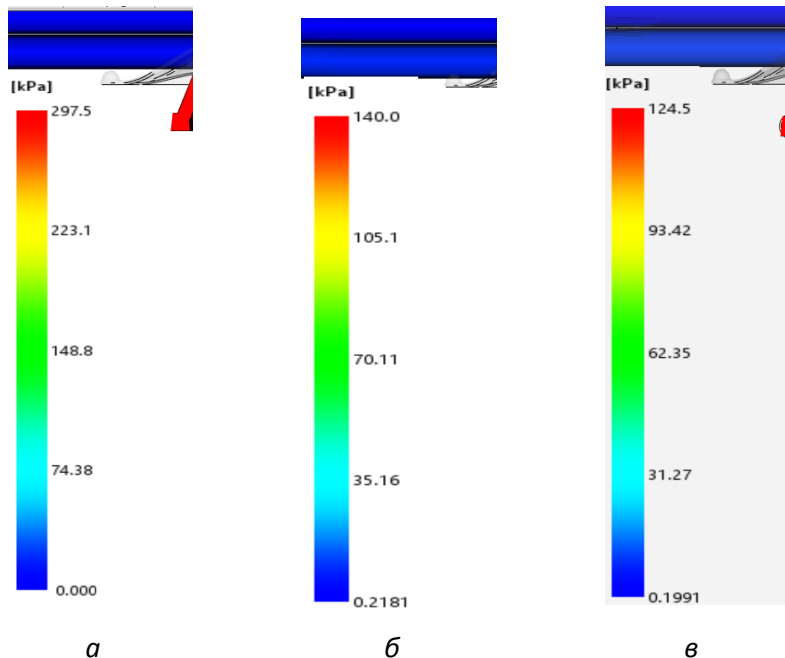


Рис. 2 – Результати необхідного тиску в системі охолодження: а – пальцевий (трубчастий), б – перегородка проста, с – перегородка спіральна

Ефективність охолодження торцевих елементів пуансона даними способами охолодження, показано на рис. 3

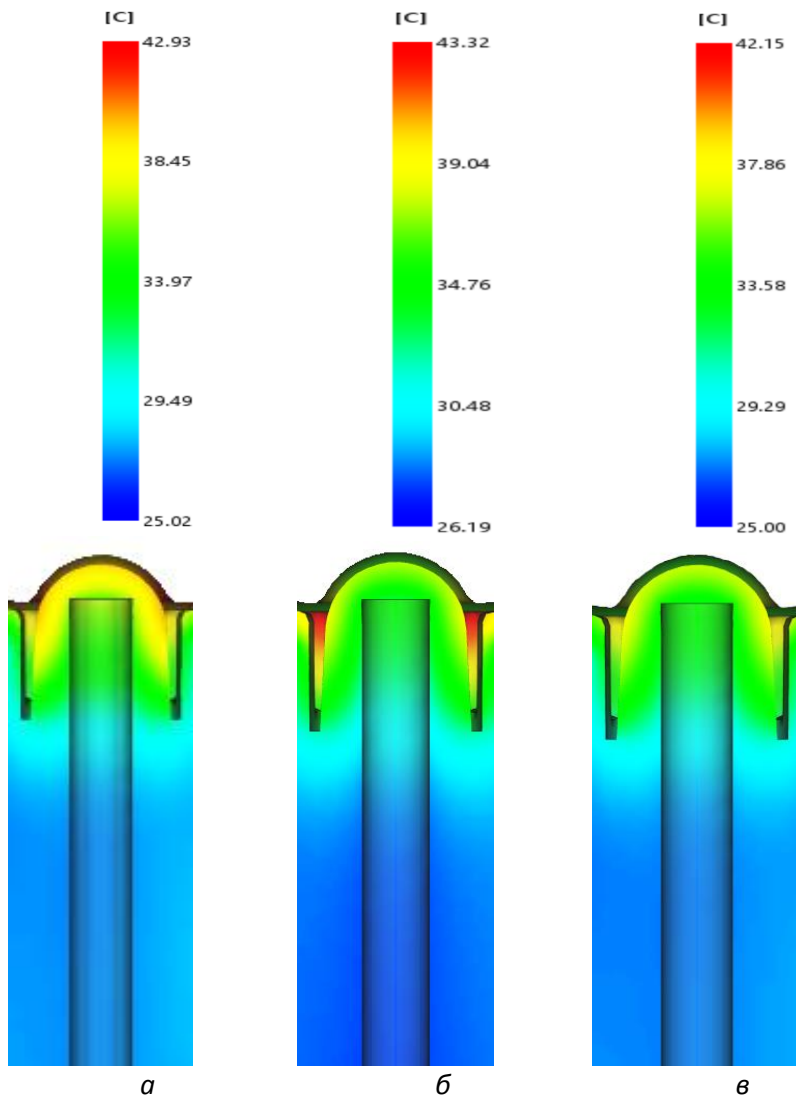


Рис. 3 – Результати температурних перепадів пуансонів при охолодженні:  
*a* – пальцевий (трубчастий), *б* – перегородка проста, *с* – перегородка спіральна



### Підсумок

Отже в результаті проведених досліджень, за результатами необхідного тиску в системі охолодження, найбільше значення тиску виникає при пальцевому трубчастому охолодженні, та складає  $297,5$  [КПа].

Аналіз результатів симуляції термостатування, показав, що найбільш раціональне охолодження відбувається при застосуванні перегородок як звичайної так і гвинтової форми, результати яких значно не відрізняються.

При цьому слід зауважити, що пальцеве трубчасте охолодження відводить кількість тепла не рівномірно, та створює температурне поле вздовж формуючої поверхні пуансона в межах  $(33,97 \div 38,45)^\circ\text{C}$  чим збільшує ймовірність виникнення деформацій викривлення.

### *Список посилань*

1. Zawistowski H., Frenkler D.: Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych. Warszawa, Wydawnictwo Naukowo-techniczne 2016
2. Malloy, R.: Plastic Part Design for Injection Molding. 2010

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ГНУЧКОГО ВЕРСТАТНОГО ПРИБОРУ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КРОНШТЕЙНИ**

*Колос В.О., аспірант, Шоломицький О.Л., студент, Іванов В.О., докт. техн. наук, доцент, Сумський державний університет;  
Заяць Й., докт. техн. наук, професор, Радченко С., докт. філософії, Технічний університет м. Кошице, Словаччина*

Для реалізації схеми базування на комплексній операції на оброблюваному центрі з ЧПК запропоновано гнучкий верстатний пристрій (ВП) для оброблення деталей типу кронштейни [1]. Особливістю є можливість установлення деталей схожих за

конструкторсько-технологічними ознаками. Доцільність та ефективність впровадження запропонованого технічного рішення обґрунтовано у [2].

Результати чисельного моделювання механічної системи «верстатний пристрій – заготовка» підтвердили, що максимальні еквівалентні напруження, які виникають у деталях під час оброблення, та на їх контактних поверхнях становлять 18-560 МПа, а отже, не перевищують допустимих значень навантажень (650 МПа).

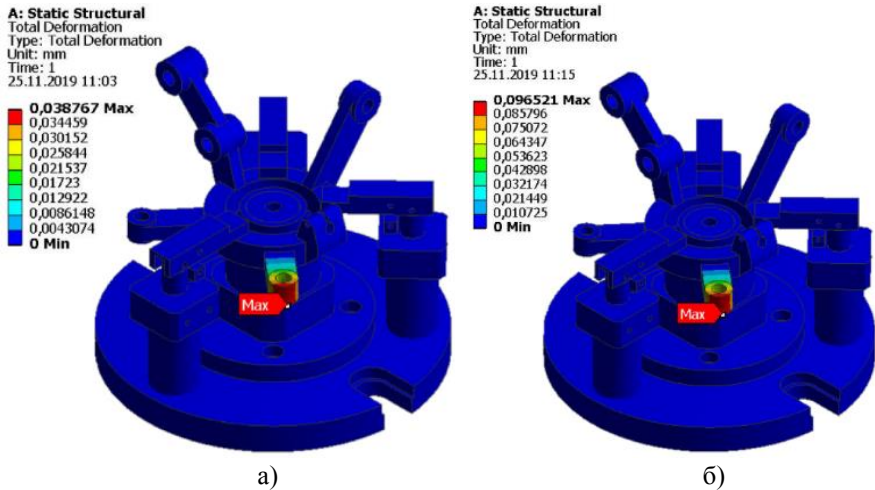


Рис. 1 – Максимальні переміщення які виникають при свердлінні отвору (а) та фрезеруванні бобишки (б)

Визначені власні частоти коливань ВП (565-1405 Гц) засвідчили, що жорсткість запропонованого гнучкого ВП достатня для виготовлення деталі та резонанс не виникає, оскільки перша критична частота (565 Гц) значно перевищує частоту процесу різання (120 Гц).

Визначені значення переміщень точок у зоні оброблення для запропонованого гнучкого ВП. Теоретичні дослідження

амплітудно-частотної характеристики ВП дозволили встановити величини амплітуд коливань (1,04 – 4,1 мкм) у зонах оброблення та підтвердили працездатність запропонованого гнучкого ВП, адже значення амплітуд не перевищують допусків на оброблення відповідних поверхонь. Результати гармонічного аналізу представлені на рисунку 2.

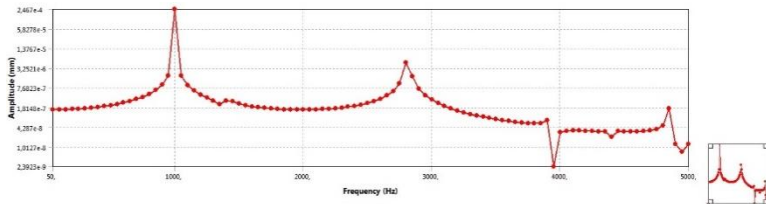


Рис. 2 – Амплітудно-частотна характеристика при фрезеруванні бобишки

### Список посилань

1. Іванов В.О., Колос В.О., Шоломицький О.Л. Чисельне моделювання верстатного пристрою для багатокординатного оброблення деталей типу кронштейни / В.О. Іванов, В.О. Колос, О.Л. Шоломицький // Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів : збірник наук. праць VI Міжнар. наук.-техн. конф. з проблем вищої освіти і науки ТК-2020, Луцьк, 2-4 червня 2020 р. – Луцьк, 2020. – С. 151-153.

2. Іванов В.О., Залога В.О., Колос В.О. Інтенсифікація механічного оброблення деталей типу кронштейни / В. О. Іванов, В. О. Залога, В. О. Колос // Прогресивні технології у машинобудуванні : збірник наук. праць IX Міжнар. наук.-техн. конф., Львів – Плай, 3-7 лютого 2020 р. – Львів, 2020. – С. 87-90.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПЕРЕВАГИ ШТИФТОВИХ КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ

*Кононович В.М., аспірант, Сумський державний університет*

У нас час, в машинобудуванні, використовуються різні типи з'єднання, одне з яких – штифтове. До даного типу з'єднання відносяться два види штифтів: циліндричні та конічні. В даному випадку розглянемо штифтове конічне з'єднання. Найчастіше конічні штифти застосовуються для точного взаємного розташування деталей ( кришки відносно корпуса редуктора), також для передачі невеликих навантажень (закріплення фланця на валу, рис.1).

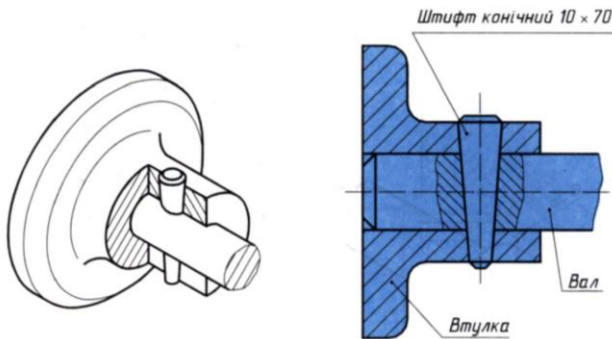


Рисунок 1 – З'єднання деталей за допомогою конічного штифта

Найчастіше даний вид штифтів виготовляють з вуглецевих сталей і кольорових металів з конусністю 1:50, що дозволяє забезпечити надійність самогальмування та центрування деталей, за допомогою посадки з натягом. У більшості випадків використовуються стандартні штифти, виготовлені з дотриманням нормативів ГОСТ 3129-70. Зазвичай прості конічні штифти встановлюють в наскрізні отвори. В даному випадку при монтажі їх просто вбивають, а при демонтажі вибивають з іншого боку з'єднання. Якщо отвір не наскрізний, то в нього

встановлюється конічний штифт з різьбленням для подальшого зняття. Обов'язковою умовою даного з'єднання, є те що свердління даного вузла повинно бути спільним, тобто спершу деталі складаються один з одним так, як надалі вони будуть розташовані в вузлі при його роботі. Після цього вже проводиться процес свердління. Перевагою конічних штифтів також є, що вони можуть використовуватися повторно. Недоліком даного з'єднання можна назвати тільки один, те що, просвердлений отвір під штифт в подальшому випадку буде послаблювати деталь.

## **ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНОЇ ПОДАТЛИВОСТІ ДЛЯ РОЗРОБКИ АДАПТИВНИХ ЗАХВАТІВ**

*Кравець В.О., аспірант; Кравець О.М., доцент; Литвин О.В., доцент, НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ*

В сучасних інтелектуальних виробничих ліній і автоматизації виробництва промислові роботи застосовуються для виконання надзвичайно небезпечних завдань, поліпшення гнучкості виробництва, зниження витрат на робочу силу і економії часу на розробку. Роботи стають некерованими, мобільними, здатними до спільної роботи, все більш розумними і моторними, виходячи за рамки своїх традиційних можливостей, щоб автоматизувати раніше недоступні завдання. Здатність точно і надійно тримати і захоплювати предмети будь-якої форми має важливе значення для інтелектуальних виробничих операцій. Захвати роботів еволюціонували за останні кілька десятиліть від простих захватів з паралельними ланками до умілих рук, які потребують складних законів управління і складних датчиків. Управління такими пристроями зазвичай вимагає великих обчислювальних ресурсів при виконанні універсальних маніпуляцій з об'єктами і захватами.

Захват промислового роботу, який може бути прикріплений до робочого органу, відрізняється високою точністю, високою повторюваністю і великим зусиллям захоплення і, як правило,

призначений для забезпечення спрацювання з кількома ступенем вільності. Але такі вимоги складно адаптувати до різних об'єктів. Адаптивні руки роботів зазвичай створюються шляхом додання структурної податливості або їх суглобам (наприклад, виконання вигинів суглобів), або подушечок захватів.

Одним із напрямків створення адаптивних захватів є впровадження еластичних елементів в традиційні робототехнічні конструкції, Цим може бути досягнуто успішне виконання завдань по надійному захопленню в умовах невизначеності уявлення об'єкта в неструктурованою середовищі. Ця додаткова еластичність або структурна податливість є ключовою характеристикою, яка збільшує стабільність захоплення і пристосованість захвату або руки до предметів різної форми [1].

Стабільність об'єкта всередині захоплення зазвичай підтримується силою тертя між поверхнею захвату і об'єктом під час захоплення. Щоб збільшити цю силу тертя без збільшення додається сили захоплення, конструктивно податливі захвати можуть використовувати збільшення площі контакту і використовувати поверхневі матеріали з високими коефіцієнтами тертя, щоб забезпечити краще непостійне зчеплення між об'єктом і захватом.

За останні десятиліття були запропоновані різні конструкції адаптивних захоплень, які полегшують виконання завдань надійного захоплення і спритних маніпуляцій. Ці конструкції демонструють деяку форму структурної податливості, і більшість з них також не зігнуті. Конструкція без зламу забезпечує простоту в експлуатації і управлінні, а також значно знижує вартість розробки, оскільки кількість двигунів зведено до мінімуму. Значні зусилля були докладені до вивчення альтернативної геометрії і кінематики руки, що призвело до появи нетрадиційних конструкцій рук [2].

На рис. 1 приведена конструкція адаптивного захватного елемента з використанням структурної податливості механізму. Кожний захватний елемент 24 складається з таких основних

частин: скоб 1, еластичного елемента 2, зовнішньої скоби 3, приєднувального елемента 4, прихват 5, кронштейну 6, болтів 7 кріплення кронштейну 6 на корпусі. Еластичний елемент 2 виконано в вигляді трубки з обплетенням, скоби 1 з'єднані між собою за допомогою сферичного шарніру на внутрішній частині. Прихват виконаний із каучуку для закріплення об'єкту, розміщений зовні еластичного елемента. Спеціальна скоба 1 закінчує ланцюг. Вона містить тільки зовнішню частину сферичного шарніру, а протилежний кінець виконується таким чином, щоб здійснювати маніпулювання об'єктами невеликого розміру та складної форми.

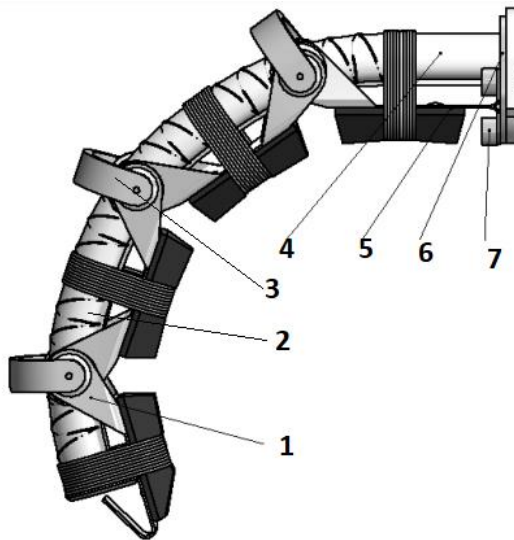


Рисунок 1. – Конструкція адаптивного захватного елемента

Трубчастий еластичний елемент 2 виконано в вигляді трубки. З робочої сторони розміщено тонку підложку, до неї приклеєний прихват 5. Обплетення еластичного елемента 2 може бути виконано по спіралі, по двом спіралям протилежного напрямку.

Наявність наборів сполучних елементів дозволяє оперативно підлаштовувати робот за місцем роботи, позбавляючи від необхідності проектування і виготовлення таких елементів для конкретного робочого місця. З'єднувальні елементи можуть бути нерегульованими і регульованими.

Дослідження роботоспроможності здійснювалось моделюванням засобами CAD Inventor. Використовувався модуль «Аналіз напружень». При виконанні моделювання були варіювалися параметри пружного елемента, а саме: матеріали трубчатого елемента: гума, ПВХ, каучук силіконовий, матеріал підложки: пластик ПВХ; нейлон, поліетилен. Розраховувалися деформації еластичного елемента довжиною  $L=80...120$  мм, діаметром  $D=20...28$  мм і товщиною стінки  $t=1.5...2.4$  мм, тиск  $p=0.3$  МПа, які складали 17.2 мм.

Проведене моделювання практично підтвердило працездатність та можливе конструктивну реалізацію даного адаптивного схвату. І подальші дослідження в цьому напрямку є актуальними.

### **Список літератури**

Чанг С.М., Герез Л., Элангован Н., Зисиматос А. и Лиарокапис М. (2019) Об альтернативных вариантах использования структурного соответствия для разработки адаптивных захватов и рук роботов. Фронт. Нейробот. 13:91. DOI: 10.3389 / fnbot.2019.00091.

2. Литвин О.В., Кравець В.О., Кравець О.М. Захватні пристрої мобільних роботів для маніпулювання небезпечними об'єктами/ «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», матеріали тез доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції (м. Чернігів, 1-3 листопада 2017 р.) :/ Чернігівський національний технічний університет [та ін.]: відп. за випуск.: Єрошенко Д.М. – Чернігів: ЧНТУ, 2017. –с. 138-139.



## КОНСТРУКТОРСЬКЕ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ДІАФІЗАРНОГО СТЕГНОВОГО ІМПЛАНТАТУ ПО ТИПУ ФЕРМИ

*Пасічник В. А., докт. техн. наук, професор, Кривенко М. О.,  
магістрант, Бурбурська С. В., аспірант, Національний технічний  
університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

Сучасний ступінь розвитку адитивних технологій дозволяє вирішити до цього не підсильні завдання, одним з яких є надскладні оперативні втручання з заміни частини кістки. В даному випадку питання заміщення частини кістки стосується діафізарного відділу стегнової кістки [1]. Попри існуючі варіанти рішення на ринку та ці методи потребують проведення більш комплексного оперативного втручання, можливих несприятливих наслідків, але, напевно, головним аспектом є вартість подібних рішень.

Використовуючи можливості 3д друку є можливість створення виробу, майже, будь-якої складності та створити персоналізований виріб. А також провести попередню перевірку конструкції та створити в короткий термін проєктований виріб. Традиційні методи потребують більших витрат та певних складнощів при відтворенні регулярних та стохастичних структур [2].

Не менш важливим моментом виготовлення імплантів є їх механічні властивості та найголовніше – біосумісність. Існує ряд матеріалів, які можуть бути застосовані при виготовленні медичних виробів, а саме: нержавіючу сталь хірургічного класу (зазвичай 316L), сплави кобальт-хрому (Co-Cr) та титан (Ti) або титанові сплави, а також композиційні матеріали, які набирають обертів в медичній галузі. Для виготовлення імпланта для заміщення великої частки стегнової кістки було обрано титан Ti6Al4V ELI (Extra Low Interstitials) - матеріалу притаманна хороша біологічна сумісність, висока міцність, вища ніж у

звичайного Ti6Al4V, низька вага та особлива характеристика, а саме: вищий показник біосумісності, завдяки зниженому рівню кисню, азоту та заліза, порівняно з Ti6Al4V.

Імплантат розроблено з урахуванням ваги суб'єкта, яка складає 60 кг, та розміщено вздовж анатомічної осі стегнової кістки. Також важливим аспектом конструкції є його конфігурація, розміри та форм фактор повинні бути наближені до таких у заміщуваній частини стегнової кістки (рис.1,а). За основу було взято роботу [3], яку було проведено швейцарським професором анатомії Херманом фон Мейєром (Hermann Von Meyer), який описав голівку стегнової кістки як покрити витонченої мережею мініатюрних кісточок структуру, завдяки яким навантаження перерозподіляється по кістці. Ця мережа має сувору геометричну структуру.

Контактні ділянки імплантата виконано із трабекулярної структури, для покращення взаємодії кісткової структури з імплантованим виробом. В середині передбачено канал для встановлення інтрамедулярного стрижня Auxein [4] діаметром 14 мм та довжиною 420 мм, а також отвори для забезпечення можливості проходження гвинтів в шийку стегнової кістки. В зоні розташування контактних ділянок створено спеціальні фланці, які дозволяють встановити гвинти для фіксації верхнього та нижнього епіфізу з імплантатом.

В ході підготовки до виробництва було встановлено, розміри камери принтера Concept Laser M2 [5] не дозволяють виготовити імплантат, оскільки габаритні розміри виробу перевищують розміри камери для друку. Таким чином було прийнято рішення внести зміни в конструкцію імплантату та додати замок посередині імпланту для можливості створення його з двох окремих частин (рис.1,б). Ці зміни в конструкції призвели до збільшення ваги на 200 г, але все ж дозволили втілити в життя проєкт.

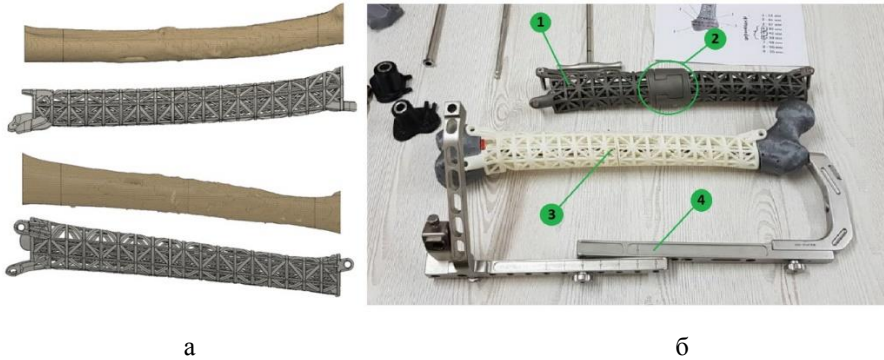


Рис. 1 – Модель діяфізу кістки та імплантат а), фото виробу б) (1 – імплантат виготовлений з  $Ti6Al4V$ ; 2 – місце з'єднання двох частин імплантату, замок; 3 – прототип суцільного імплантату з PLA пластику, 4 - пристрій дистального напрямлення)

Запропонована конструкція імплантату дозволяє провести заміщення частини стегнової кістки без потреби втручання в колінний та кульшовий суглоби, що відповідно скорочує час оперативного втручання. А також робоча ділянка на кістковій тканині не потребує виконання дій по від'єднанню/приєднанню м'язів. Також суттєвою перевагою даного імплантату є чітко визначений суб'єкт, що дає можливість більш точно створити виріб для завчасно визначених умов.

Діафізарний імплантат було успішно виготовлено на 3д принтері Concept Laser M2 та інстальовано в тіло пацієнта 01.09.2020 в ДУ Інституті травматології та ортопедії НАМН України під керівництвом хірургів Галузинського О.А. та Чорного В.С..

#### Список посилань

1. Frank Netter. Atlas of Human Anatomy 6th Edition / Frank Netter., 2014;3. – 640 p.

2. Gibson, L.J. and Ashby, M.F., “Cellular solids: structure and properties,” Cambridge university press. 1999.

3. von Meyer GH. Die Architectur der Spongiosa. Reichert und DuBois-Reymond's Archiv. 1867;8.

4. Gamma Nail With Anti-Rotation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.auxein.com/product/gamma-nail-with-anti-rotation/>.

5. Concept Laser M2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing/machines/m2series5>

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ГІДРОДИНАМІЧНОЇ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ ПРИ КАВІТАЦІЇ В ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ ПІД ВПЛИВОМ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ**

*Кривошеєв В. Є., студент, Ночніченко І. В., к.т.н., доцент,  
Костюк Д. В., асистент, Національний технічний університет  
України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

У якості регулюючих елементів гідросистем часто застосовують форсунки, заслінки, дроселі, у вузькому каналі яких висока швидкість потоку робочої рідини створює кавітацію з активним виділенням бульбашок нерозчиненого повітря і пара [1,2]. Для експериментального дослідження гідродинамічної кавітації, була створена модель гідродинамічного кавітатора з регульованим отвором. Зміна поперечного перерізу каналу проводиться за допомогою гвинта з латуні (рис. 1).

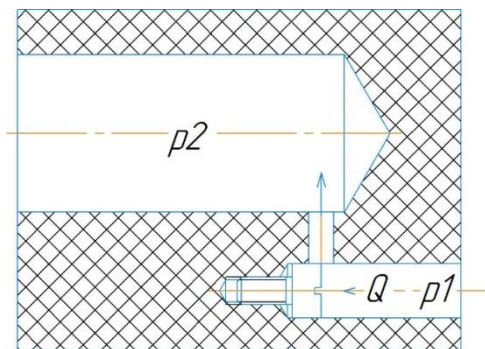


Рис. 1. – Модель гідродинамічного кавітатора з регульованим отвором

За результатами експерименту встановлено, що при пропусканні потоку масла через канал відбувалася гідродинамічна кавітація, а при подальшому підвищенні тиску - локалізоване синьо-фіолетове світіння рідини у видимій області спектра. (рис. 2).

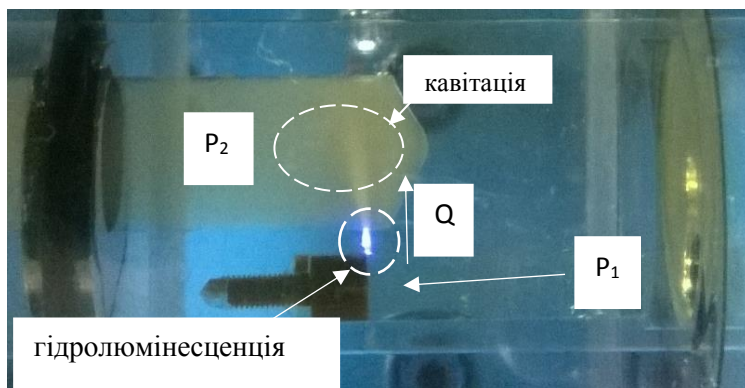


Рис. 2 – Візуалізація виникнення кавітації ( $t = 50^{\circ}\text{C}$ , перепад тиску,  $(P_1 - P_2) = 4$  МПа, витрата,  $Q = 1,1$  л / хв, діаметр дроселя,  $d = 0,6$  мм)

Наступним етапом експерименту було запропоновано вивчити явище гідролюмінесценції при наявності в робочій рідині бульбашок інертного газу. Так як це явище

спостерігається при високому тиску робочої рідини, то процес додавання газу в неї викликає певні труднощі.

Для незалежного і оперативного регулювання складової частки газу в рідинно-газовій суміші пропонується використовувати ежекторний змішувач (рис. 3), який дозволяє додавати газ в робочу рідину навіть при атмосферному тиску.

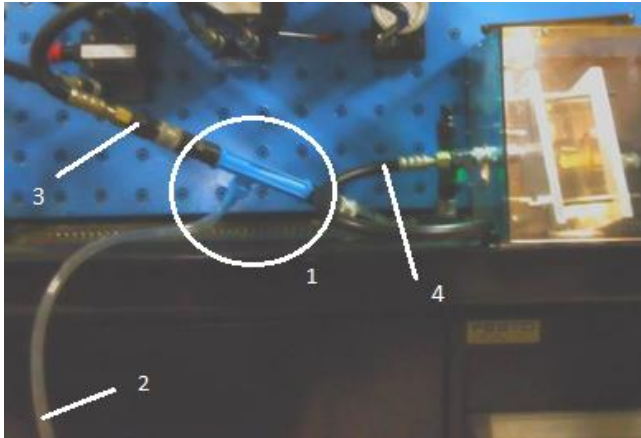


Рис. 3 – Ежекторний змішувач. 1 – ежекторний змішувач, 2 – лінія газу, 3 – лінія мастила, 4 – рідинно-газова суміш.

При цьому якщо поєднати роботу ежектора-змішувача з кавітацією(рис.4) в його проточній частині, то можна отримати найбільш якісні суміші, які мають високу однорідність і стійкість до розшарування [3].



Рис. 4 – Газорідинна суміш в гідродинамічному кавітаторі з регульованим отвором

При русі цієї суміші відбувається підвищення статичного тиску, газ стискається, і швидкість течії суміші зменшується. Таким чином, стиснення газу в струменевому ежекторі здійснюється шляхом стиснення газових бульбашок в потоці робочої рідини. Процес стиснення газу ізотермічний, що пов'язано з високою теплоємністю рідини. Таким чином, дія ежектора заснована на передачі кінетичної енергії активного потоку рідини, що володіє великим запасом енергії, пасивному потоку, що володіє малим запасом енергії.

#### **Список посилань**

1. Experimental research of hydroluminescence in the cavitating flow of mineral oil/Ihor V. Nochnichenko; Alexandr F. Luhovskyi; Oleg M. Jakhno; Dmytro V. Kostyuk; Paweł Komada; Ainur Kozbakova, Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, Vol. 1117615 (6 November 2019); doi: 10.1117/12.2536946. PDF: 8 pages (Scopus -ISSN: 2577-5421).

2. Ночніченко І.В. Study of hydrodynamic luminescence in a cavitation liquid medium /Ночніченко І.В., Луговський О.Ф., Костюк Д.В. // Науково-технічний журнал «Проблеми тертя та зношування» № 3(84) (2019). – С.57-62 doi:10.18372/0370-2197.3(84).13853.(Index Copernicus - ISSN: 0370-2197).

3. О. Luhovskyi Temperature influence on cavitation mass transfer in the channel of laval nozzle type / I. Nochnichenko, O. Jakhno , D. Kostiuk// Journal of the Technical University of Gabrovo, #57 (2018) I. – Gabrovo, Bulgaria, pp. 12 - 15, 2018 p.

### **ЗАСТОСУВАННЯ ЯВИЩА ПЕРЕНОСУ ПРИ ПОБУДОВІ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОГО ДЕМПФЕРА ПРОТЕЗА КОЛІННОГО СУГЛОБА ЛЮДИНИ**

*Ночніченко І. В., к.т.н., доц., Довгополий М. М., студ., Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

Існуючі методи покращення робочої характеристики магнітореологічного демпфера в широкому температурному діапазоні є відкритими та потребують модернізації елементної бази [1-2]. Тому для поглибленого представлення фізичних процесів на етапі розрахунку та моделюванні роботи магнітореологічного демпфера необхідно додатково використовувати підхід явища переносу, що стосуються механічних та гідравлічних систем [3-4].

Мета роботи – застосувати підхід явища переносу, що описує закони переносу маси, імпульса та дисипації енергії, при моделюванні поведінки магнітореологічного демпфера при різних режимах роботи. Необхідно навести схему магнітореологічного демпфера та визначити явища переносу, що мають вплив на робочу характеристику демпфера.

Дослідницька та інженерна діяльності пов'язані з комбінованими системами, що включають в себе одночасно механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні та інші системи. Для полегшення розв'язку подібних задач активно



застосовується явище переносу. У гідромеханічних системах при моделюванні процесів здебільшого застосовується явища перенос у вигляді маси, переміщення, дисипації енергії, витрати, тиску.

Прикладене до штока вздовж його осі зусилля викликає переміщення поршня магнітореологічного демпфера, що можна розглядати як вхідний сигнал у даному електрогідроприводі (рис.1). Переміщення поршня у гільзі, з якою утворюється концентричний дросельний канал, викликає послідовність переносу, що можна описати системою рівнянь [5]:

$$\begin{cases} \tau = -\mu \cdot \text{grad } u \\ j = -D \cdot \text{grad } C \\ q = -Q \cdot \text{grad } T \end{cases} \quad (1)$$

де:  $\tau$  – напруження зсуву [Па];  $j$  – дифузійний потік [кг/с];  $q$  – тепловий потік [Вт];  $\mu$  – динамічна в'язкість [Па·с];  $D$  – коефіцієнт дифузії [ $\text{м}^2/\text{с}$ ];  $Q$  – коефіцієнт теплопровідності [Вт/(м·К)];  $u$  – швидкість потоку [м/с];  $C$  – концентрація молекул в речовині [кг/м<sup>3</sup>];  $T$  – температура середовища [К].

До них відносяться відповідно закон динамічної в'язкості Ньютона, закон дифузії, закон теплопровідності (рис.2). Вплив в'язкості рідини пояснюється механічною властивістю рідини чинити супротив дотичному навантаженню зсуву. Закон дифузії має місце, оскільки рідина має складну молекулярну структуру та містить магнітореологічні частинки, що здатні під впливом магнітного поля змінювати сили когезії та адгезії в робочій рідині. Закон теплопровідності пояснює процес дроселювання рідини через канал при роботі демпфера, що викликає нагрів робочої рідини та обмін теплом із навколишнім середовищем. Також до закону теплопровідності можна навести нагрів керованої котушки при роботі демпфера за високих навантажень.

В результаті перебігу всіх описаних переносів інформації на виході в представленій системі отримаємо енергію. Це дає змогу

записати загальний інформаційний перенос для заданої системи (рис.1) у наступному вигляді:

$$A = -v \cdot [grad(Q \cdot \Delta P \cdot t)]/F = -v \cdot [grad N]/F \quad (2)$$

де:  $A$  – інформаційний перенос [А/м];  $v$  – керуючий сигнал [А];  $E$  – витрачена енергія при роботі демфера [Дж];  $Q$  – витрата [м<sup>3</sup>/с];  $\Delta P$  – перепад тиску [Па];  $F$  – площа дроселя [м<sup>2</sup>].

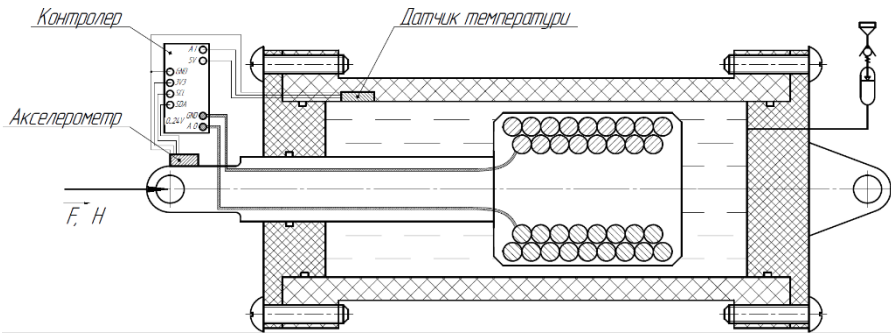


Рис. 1 – Напівконструктивна схема магнітореологічного демфера

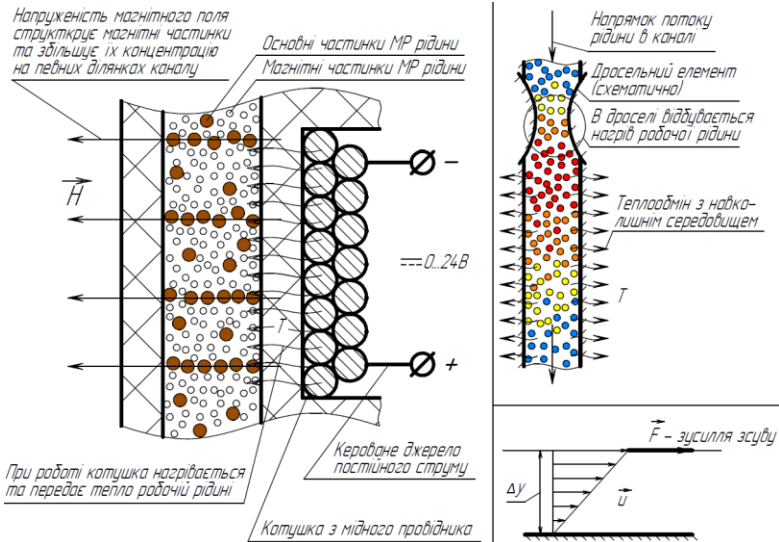


Рис. 2 – Розгляд явища переносу на мікроскопічному рівні

**Висновок.** Розглянуто явища переносу, що впливають на ефективність роботи магнітореологічного демпфера, на мікроскопічному рівні. Отримано формулу (2), що описує інформаційний перенос та представлена через напруженість магнітного поля.

### **Список посилань**

1. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции . Свойства и применение Москва : Техносфера, (2006). ISBN 5-94836-065-2. – 224 с.
2. Шульман З.П., Кордонский В.И. Магнитореологический эффект. – Минск.: Наука и техника, 1982. – 184 с.
3. Довгополий М.М. Використання магнітореологічної рідини в демпері ендопротезу для гасіння вібраційних коливань /Ночніченко І.В.// Всеукраїнський науково – технічний журнал Вібрації в техніці та технологіях.– 2018.– № 3 (90) –С-127-134.
4. Ночніченко І.В., Яхно О.М. Інформаційно-енергетичний підхід до вирішення задач гідродинаміки та механотроніки в процесах переносу енергії/ Mechanics and Advanced Technologies #3 (87), 2019. – стр.38-48. doi: 10.20535/2521-1943.2020.88.195505.
5. Лайтфут Э. Явления переноса в живых системах.— М.: Мир, 1970. – 520 с.

## **РОЗРОБКА НОВІТНІХ МЕХАНІЗМІВ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ І ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОВОГО ВОДНЮ**

*Ночніченко І.В., науковий керівник, к.т.н., доцент, Пилипенко В.В., студентка, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

Наш світ зіткнувся із загрозами глобальної енергетичної й екологічної криз. Суттєве зменшення природних ресурсів, зокрема різних видів палива, та загострення екологічного

питання зумовили необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, одним з яких є водень [1-2]. Виробництво водню здатне задовільнити більшу частину енергетичних потреб людства за достатніх потужностей. У передових країнах світу вже розробляють альтернативні технології, що використовують для розв'язання даних проблем.

Методи добування водню існують у достатній кількості, але як домогтися максимального об'єму отримання цього газу з мінімальними електроенергетичними та економічними затратами?

Процес розкладання молекули води на водень (його атоми беруть участь у формуванні органічних молекул) і кисень (виділяється в атмосферу) протікає при фотосинтезі. Була розроблена така комірка електролізера, що моделює даний процес. Прилад споживає 0,062 В напруги за сили струму 0,02 А. У залежності від форми електродів можна отримати різну енергетичну ефективність. Існує 2 моделі такого електролізера:

1. Форма електродів: конічна;
2. Форма електродів: циліндрична.

Згідно з розрахунками: 1 літр води = 1234,44 літрів водню. Типові електролізери потребують близько 4 кВт\*год, але за низькоамперного електролізу можна домогтися значної втрати споживання електроенергії – у 12-2000 разів (0,407-0,0023 кВт\*год на 1 кубометр водню) [1, 3]. Тенденцію генерації електроенергії відновлюваними джерелами можна відслідкувати на рис. 1 [2].

На наше переконання, застосування явища переносу здатне суттєво знизити економічні затрати для отримання водню, підвищивши коефіцієнт ексергії – максимальна робота, яку може виконати термодинамічна система при переході від поточного стану до стану термодинамічної рівноваги [4]:

$$\Delta E = \Pi + P, (1)$$

де  $\Delta E$  – зміна енергії,  $\Pi$  – притік енергії,  $P$  – загальна продуктивність джерел енергії [5].

Зміна в'язкості рідини від температури. Передача імпульсу, закон в'язкості Ньютона [5]:

$$\tau = -\mu \text{grad } u, \quad (2)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт внутрішнього тертя (динамічна в'язкість),  $u$  – швидкість руху середовища.

Зміна густини рідини від температури. Масове переміщення, закон Фіка про поширення [5]:

$$q_t = -D \text{grad } C, \quad (3)$$

де  $D$  - коефіцієнт дифузії,  $C$  – концентрація молекул в речовині.

Зміна температури, теплопередача. Теплопровідність, закон Фур'є [5]:

$$q_e = -Q_\lambda \text{grad } T, \quad (4)$$

де  $Q_\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $T$  – температура середовища.



Рис. 1 – Залежність генерації електроенергії відновлюваними джерелами (період: травень 2019 року, величина: МВт\*год) [2].

Застосування інформаційно-енергетичного підходу дає можливість створювати системи з високою енергоефективністю, швидкодією та керувати ними від комп'ютера або контролера на запит [6].

### **Список посилань**

1. <https://zn.ua/>
2. <https://kosatka.media/uk/category/vozbnovlyaemaya-energiya/analytics/generaciya-elektroenergii-vozbnovlyaemymi-istochnikami-v-mae-2019>
3. Канарёв Ф.М. Низкоамперный электролиз воды. <http://Kanarev.innoplaza.net> Article 18.
4. Яхно, О.М. Ексергійний аналіз та метод варіаційних нерівностей в деяких задачах гідромеханіки / О.М. Яхно, О.С. Мачуга // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. 2016.– №3 (78), – С. 19 – 25, DOI:<http://dx.doi.org/10.20535/2305-9001.2016.78.73382>.
5. Шорин С.Н. Теплопередача. – М.: Высшая школа, 1964. – 490 с.
6. Ночніченко І.В., Яхно О.М. Інформаційно-енергетичний підхід до вирішення задач гідродинаміки та механотроніки в процесах переносу енергії/ *Mechanics and Advanced Technologies* #3 (87), 2019. – стр.38-48. doi: 10.20535/2521-1943.2020.88.195505.

## **РОЗРАХУНОК КОНТАКТНОГО ТИСКУ МІЖ МУФТОЮ І НІПЕЛЕМ В ОСЕНАВАНТАЖЕНОМУ БУРИЛЬНОМУ ЗАМКУ**

*Онисько О. Р., канд. техн. наук, доцент, Пендерецький М. В., студент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Контактний тиск між торцем його муфти 1 бурильного замка та уступом ніпеля 2 який повинен досягнути рівня при якому

досягнуто герметичність з'єднання забезпечують завдяки підбраній величині крутного моменту при їхньому згвинчування (рис.1).

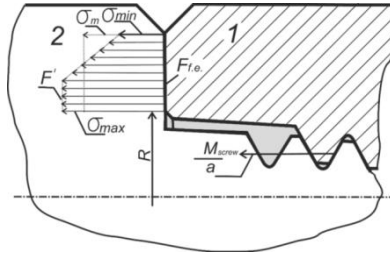


Рис. 1 – Схема створення контактної тиску між торцем муфти 1 і уступом ніпеля 2

Розрахунок контактної тиску ведуть [1] із врахуванням не тільки осьової складової від крутного моменту, але й інших параметрів, як показано у формулі (1)

$$\sigma_m = \frac{\frac{M_{screw}}{a} - (N + P_m \cdot F_g) K_b}{F}, \quad (\text{МПа}) \quad (1)$$

де

$a$  – постійне значення з'єднання бурового інструменту, яке враховує геометричні розміри конічної нарізі та умови загвинчування ( $M$ );

$N$  – зовнішнє осьове навантаження ( $H$ );

$F_f$  – площа уступу ніпеля ( $m$ ).

$P_m$  – внутрішній тиск бурового розчину ( $Pa$ );

$F_g$  – площа поперечного зазору у нарізі ( $m^2$ );

Проте вказане рівняння є дійсним тільки в умовах повної герметичності при якій буровий розчин перебуваючи під тиском веде себе як звичайна ньютонівська рідина. З появою перших ознак розгерметизації правильніше у розрахунках сприймати не ньютонівську модель бурового розчину. В такому випадку для надання подальшої експлуатації без потягування нарізі слід провести модернізацію її профілю [2]. Отже більш коректною

буде формула розрахунку контактного тиску де враховано параметри геометрії самої нарізі/

$$\sigma_m = \frac{\frac{M_{screw}}{a} - (N \cdot K_b + \psi \cdot P_m \cdot F_g)k}{F_f}$$

де

$\psi$  – коефіцієнт щільності стику. За даними [1] слід приймати  $\psi=1,5\dots3$ ;

$k$  – співвідношення оптимальних напружень затяжки і межі плинності матеріалу з'єднання, яке визначають графічно за методикою [1].

$K_b$  – коефіцієнт зовнішнього навантаження замкового з'єднання;

**Список посилань**

1. Копей Б.В., Михайлюк В.В. Огляд конструкцій бурових ключів та методик визначення моментів згвинчування замкових різьбових з'єднань. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.— 2017.— 1(44).—С. 73 –83.

2. Онисько О. Р., Пітулей Л. Д., Довбуш І. З Профіль різальної кромки різців для виготовлення замкової нарізі з мінімальною негерметичністю. // Вісник національного університету «Львівська політехніка ». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2018.- №891.– С. 42-51.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ РІЗНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ У ВЕРСТАТНИХ МЕХАНІЗМАХ КРІПЛЕННЯ І СИЛОВОЇ ФІКСАЦІЇ

*Оришук Р.М., студ.; Чернявський І.В., студ., Шанайда В.В., к.т.н., доцент, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

Розвиток машинобудівної галузі в цілому та окремих її напрямів зокрема створює передумови для більш широкого використання наявного технологічного устаткування [1, 2, 3].

Серед основних напрямів, які дозволяють проводити аналіз похибок позиціювання деталей різних геометричних форм ще на етапі проєктування як деталі, так і технологічного процесу її обробки є 3D моделювання [4]. Сучасні САД системи дозволяють проводити візуалізацію взаємного розміщення деталей при формуванні складальних модулів. Задаючи умови спряження за кількома контактними поверхнями легко встановити ефект взаємопроникнення чи наявності зазорів щодо інших поверхонь. Особливий інтерес викликає аналіз взаємного позиціювання деталей типу "тіло обертання" при їх фіксації в три- або чотири-кулачкових патронах. Для чотири-кулачкових патронів характерним моментом є симетричний піджим деталі. У цьому випадку важливу роль відіграє форма заготовки на поверхні кріплення. Якщо за результатами попереднього статистичного аналізу встановлено, що така поверхня має еліпсоподібну форму чи іншу геометричну форму, число граней якої буде кратним – 4, то в цьому випадку можна досягти мінімального відхилення осі закріплюваної деталі від центральної осі патрона. Враховуючи, що центрування таких патронів і їх доводку проводять після встановлення на планшайбу, то можна стверджувати, що вісь обертання і вісь патрона практично співпадають. Для деталей, в яких визначено трикутний профіль поверхні кріплення після попередньої обробки, або коли кількість граней є кратною – 3, то

доцільно використовувати трикулачкові патрони. За інших обставин осі обертання патронів і власне вісь самої деталі будуть мати ексцентриситет, що призводить до значних відхилень від круглості оброблених поверхонь. Подібний аналіз є актуальним і для цангових самозатискних патронів.

Оскільки подібні дослідження складно проводити у виробничих умовах, чи у виробничих лабораторіях, де використовується високоточне верстатне обладнання, то вивчення подібних процесів ми проводили у FabLab-лабораторії центру 3D технологій ТНТУ [5, 6]. Використовуючи верстат для лазерної різки а також верстат з ЧПК для фрезерної обробки було відтворено різноманітні варіанти симетричних та не симетричних профілів деталей, а також моделі механізмів їх фіксації. Враховуючи масштабні коефіцієнти щодо відхилення від круглості та від циліндричності можна отримати параметричні рівняння для прогнозування точності механічної обробки при заданому комплексі вхідних параметрів: форма поверхні після попередньої обробки, відхилення від циліндричності (для деталей типу "тіло обертання"), характеристики затискного механізму, форми контактних поверхонь, тощо. Розв'язувати подібні багатопараметричні задачі доцільно з використанням математичних пакетів. У цьому випадку можна вказувати діапазони зміни значень вхідних параметрів із заданим кроком та отримувати результати досліджень у вигляді поверхневих графіків. Таке представлення результатів розрахунків дозволяє візуально оцінювати межі найбільш раціональних параметрів для вхідних величин і цим самим формувати технічні вимоги до процесу виготовлення деталей з врахуванням наявного парку верстатного обладнання та його технологічних характеристик.

### **Список посилань**

1. Редько Р. Г. Дослідження пружно-силових характеристик затискних цанг, виготовлених за діючими та новими технологіями / Р. Г. Редько, О. І. Редько, В. В. Шанайда, Р. А.

Склярів // Наукові нотатки. - 2014. - Вип. 44. - С. 249-253. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2014\\_44\\_41](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2014_44_41).

2. Склярів Р. А. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компонок верстатів з паралельною кінематикою / Р. А. Склярів, В. В. Шанайда // Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — С. 74. - Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/17396>

3. Склярів Р. А. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів / Р. А. Склярів, Шанайда В. В. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Обладнання і технології сучасного машинобудування“, 11-12 травня 2017 року. — Т. : ТНТУ, 2017. — С. 155–156. - Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/22711>

4. Vitenko T. Features of creating a solid models and assembly operations at CAD-systems / Vitenko T., Shanaida V., Droździel P., Madlenak R. // 9th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain), 3rd-5th of July, 2017: IATED Academy, 2017. – P. 7464-7469. . - Режим доступу: <https://library.iated.org/view/VITENKO2017FEA>

5. Лазарюк В. Розвиток творчих лабораторій фаблаб як учасників інноваційної екосистеми / В. Лазарюк, В. Шанайда, Т. Вітенько // Матеріали XXII наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 22–23. - Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28107>

6. Вітенько Т. Роль іноваційної лабораторії FabLab в освітньому процесі за напрямками "Галузеве машинобудування" та "Прикладна механіка" / Т. Вітенько, В. Шанайда, В. Лазарюк // Матеріали XXII наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 11–12. - Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28168>

## ОСОБЛИВОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТЕПЛИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Синицина Є. Ю., аспірант, Губарев О. П., д.т.н., проф.,  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря  
Сікорського»*

Без впровадження вентиляційної системи вирощування рослин у тепличних об'єктах неможливе. Більшість рослин, вирощених у теплицях, віддають перевагу оптимальній температурі від 17 °С до 27 °С, з екстремальною температурою від 10 °С до 35 °С [1], що досягається за допомогою природної вентиляції, затінення та інших методів охолодження та опалення. Крім того, конструктивні параметри теплиці, такі як форма, розмір, орієнтація, висота, отвір бічних та дахових отворів, напрямок вітру за межами теплиці, та властивості покривного матеріалу відіграють важливу роль у впливі на мікроклімат теплиці. Тому задача будь-яких конструкцій збирати сонячну енергію та максимально зберігати тепло. Конструкція теплиці у наших кліматичних умовах має передбачати відкриваючі отвори (25 % площі всієї теплиці), що забезпечить провітрювання без порушення мікроклімату та сильних протягів.

Стандарти Американського товариства інженерів сільського господарства та біології (ASABE) рекомендували, щоб у тропічних умовах загальна площа вентиляційного отвору бокової стінки та загальна площа вентиляційного отвору були однакові, принаймні 15-20% площі підлоги теплиці. Інші дослідники повідомляли про різні співвідношення площі вентиляції до поверхні даху, оптимальні для їх конкретного застосування. Ці співвідношення наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Різні співвідношення площі вентиляції до поверхні даху.

Дослідники	Рік	Співвіднош. вент. отвору до площі даху поверхні	Умови
(ASABE) стандарти [2]	2003	15-20%	Тропічні умови
Коннеллан, «Тепличний дизайн для здорової зрізаної квіткової культури». [3]	2000	20%	Регіони з більшою високою температурою
Камаруддін, «Фізичні властивості покривних матеріалів для природної вентиляції тропічної теплиці». [4]	2000	40%	Тропічні регіони
Монтеро, «Аналіз теплової вентиляції в тунельній теплиці за допомогою малих моделей». [5]	2001	33%	-
Олбрайт, «Контроль тепличного середовища». [6]	2002	10%	-
Кампен, «Дизайн теплиці із застосуванням cfd для індонезійських умов». [7]	2005	40.4%	В індонезійських умовах
Гарманто, «Оптимізація вентиляційного простору в природно провітрюваній теплиці у вологому тропічному середовищі». [8]	2006	60%	У вологих тропіках

Як правило, більше менших вентиляційних отворів краще, ніж один великий, із загальною площею вентиляції. Рекомендується мати принаймні один низький вентиляційний отвір і принаймні один високий вентиляційний отвір, щоб гаряче повітря піднімалося вгору і виходило з верхніх вентиляційних отворів і вводило свіже прохолодне повітря в нижні вентиляційні отвори (рис.1) [9]. Крім того, вентиляційні отвори слід розташовувати таким чином, щоб запобігти пересуванню холодного повітря безпосередньо через рослини.

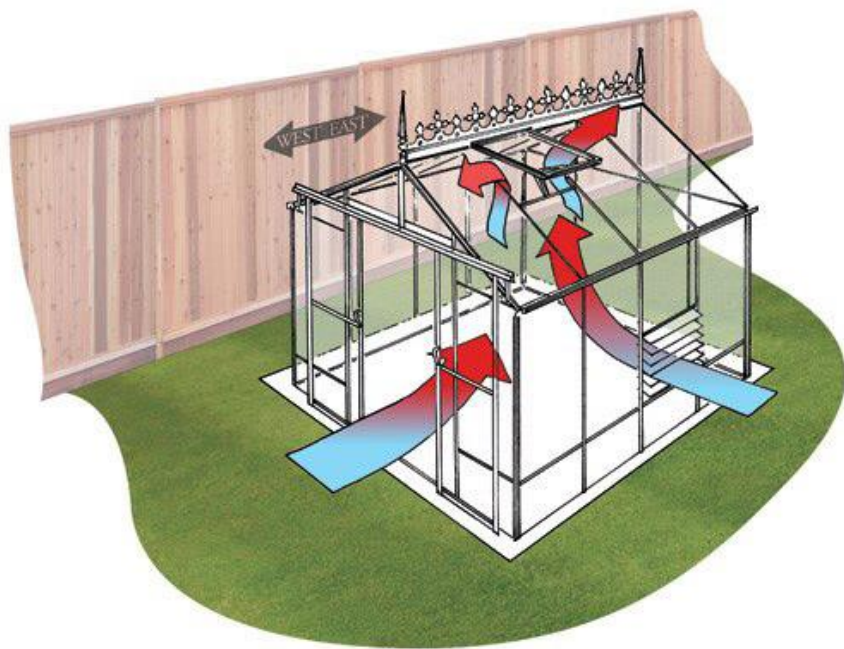


Рис.1 – Приклад розміщення вентиляційних отворів у тепличному об'єкті.

На додаток до природної вентиляції, потрібно встановлювати штучну вентиляцію, допомагає підтримувати мікроклімат теплиці завдяки більшій швидкості зміни повітря, ніж це можна було досягти завдяки природній вентиляції.

### **Список посилань**

1. Campotti C A, Latini A, Matteo S and Viola C 2014 certificati bianchi guida operativa per la scheda 40E—Gli Incentivi Del DM 28 Dicembre 2012 Sui Sistemi Serra ENEA, Rome (2014).
2. ASABE 2003 Standards for Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses, 2003 USA
3. Connellan G J 2000 Australian Flower Conference: Greenhouse Design for a Healthy Cut Flower Crop 2000 Australia
4. Kamaruddin R, Bailey B J and Douglas M P 2000 Physical properties of covering materials for naturally ventilated tropical greenhouse J. Trop. Agric. Food Sci. 28(1) pp 55-69
5. Montero J I, Anton A, Kamaruddin R and Bailey B J 2001 Analysis of thermally driven ventilation in tunnel greenhouse using small scale models. J Agr Eng Res 79(2) pp 213-22
6. Albright L D 2002 Controlling greenhouse environments, International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, pp 121–25
7. Campen J B 2005 Greenhouse design applying cfd for indonesian conditions. 2005 International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium. pp 419-24
8. Harmanto M, Tantau H J and Salokhe V M 2006 Optimization of ventilation opening area of a naturally ventilated net greenhouse in a humid tropical environment. 2006: International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium pp 165-71
9. Rudge S 2014 Greenhouses for the Northern Climate [cited 2017 10.25]

## ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

*Васильків В.В., док. техн. наук, Паращук В.Р., аспірант,  
Головатий О.І., Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя*

У сучасному машинобудуванні проектування технологічних процесів виготовлення деталей методом обробки деталей тиском (ОМТ) здійснюють з використанням САД/САЕ-систем. Впровадження технологій комп'ютерного моделювання розкрило широкі можливості для скорочення часу підготовки виробництва, порівняння отриманих варіантів розрахунку з точки зору продуктивності і економії енергетичних витрат, спростило методику аналізу можливостей виникнення дефектів та відповідного відлагодження технології, дозволило прорахувати варіанти обробки деталі з отриманням кінцевого виробу з максимальною техніко-економічною ефективністю. Це у свою чергу призвело до зростання інтересу і обсягу патентування (лідерами є Китай, Японія, США) технологій виготовлення деталей методом ОМТ (рис. 1) та виникнення різноманітних програмних продуктів для їх комп'ютерного моделювання.

Із рисунка бачимо таке ранжування підкласів МПК за обсягами патентування технічних рішень: “Механічна обробка тиском листового, сортового, профільного матеріалу або труб; перфорація” (B21D), “Прокатування металу” (B21B), “Виробництво листового матеріалу, дроту, сортової сталі, труб та інших профілів без прокатування; допоміжні операції, що застосовуються при обробці металів без зняття стружки” (B21C), “Кування; штампування; пресування; клепання; ковальські горни” (B21J), “Обробка дроту і виготовлення виробів з нього” (B21F), “Виготовлення виробів куванням або штампуванням, наприклад заклепок, болтів, коліс” (B21K), “Інші способи обробки; комбіновані способи обробки; універсальні верстати”



(B23P), “Паяння; зварювання; плакування різання шляхом місцевого нагрівання, обробка металу лазерним променем” (B23K). Таким чином технології ОМТ займають вагоме місце у машинобудівному виробництві.

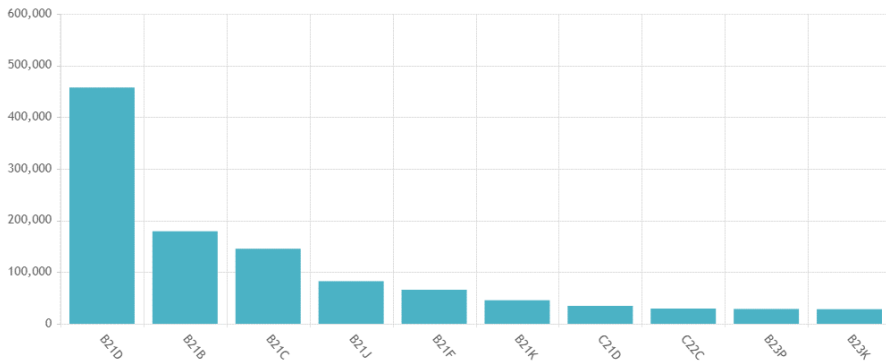


Рис. 1 - Стан патентування технологій виготовлення деталей методом ОМТ за підкласами МПК B21

Дослідження процесів ОМТ здійснюють методом кінцевих елементів, який покладений в основу більшості спеціалізованих програмних продуктів таких як QFORM (фірми “Quantor-Form Ltd”), DEFORM (фірми “Scientific Forming Technologies Corporation”), SUPERFORG/SUPERFORM (колишня програма “MarcAutoForge”), PAMSTAMP, ROLLING, BALKKA, FORGE і COLDFORM (фірми “Transvalor”) та багатофункціональних типу ANSYS LS-DYNA, SIMULIA Abaqus, NASTRAN та ін. Через таку різноманітність існує проблема вибору комп’ютерної програми через її функціональні можливості, інтерфейс тощо. Зокрема рідше використовують програми FORGE, SIMULIA ABAQUS і ANSYS через їх складний інтерфейс. До того ж ANSYS WORKBENCH (модуль “Static Structural”) використовують для моделювання процесів ОМТ при наявності пружних та пружно-пластичних деформацій (для порівняння, наприклад, в QFORM відсутня пружно-пластична модель матеріалу). При наявності пластичних деформацій, використання згаданої програми

## **Науковий напрям:**

### ***Процеси механічної обробки, верстати та інструменти***

---

приведе до значних похибок в результатах. Найпростішим в цьому плані і найдешевшим є QFORM. Водночас необхідно відзначити складність імпорту графічних зображень в QFORM із таких систем як SolidWorks, CATIA. А різноманітність даних виводу результатів комп'ютерного моделювання у DEFORM є ширшою ніж у QFORM. Водночас така програма FORGE, незважаючи на високу вартість, широко використовується у Франції, так як має значну державну підтримку. Також на ринку не виявлено нові версії програмного продукту SUPERFORG/SUPERFORM, що свідчить про припинення діяльності щодо його вдосконалення.

Вибір програмного продукту для вирішення задач ОМТ доцільно здійснювати на основі використання програмного продукту MPRIORITY 1.0, у середовищі якого програмно реалізований метод аналізу ієрархії (метод Саати), який застосовують для підтримки прийняття рішень.

Критерії вибору програмного продукту такі: ціна, інтерфейс, умови створення та імпорту графічних об'єктів, обсяг охоплення технологічних операцій ОМТ (див. рис. 1), ступінь деталізації результатів моделювання. Альтернативами є вище згадані програмні продукти. Основні етапи досліджень такі: створення ієрархічної структури задачі, попарні порівняння критеріїв вибору програмного продукту, попарні порівняння альтернатив програмних продуктів за кожним із критеріїв, розрахунки векторів пріоритетів та узагальнених або глобальних пріоритетів (значимості), індексу узгодженості.

В результаті досліджень встановлено, що вибір конкретного продукту залежить від номенклатури задач у вирішенні яких існує необхідність (тобто від значення вектору пріоритетів від попарного порівняння критеріїв). Зокрема у випадку існування необхідності у додаткових розрахунках на міцність, вирішення температурних задач доцільно використовувати SIMULIA Abaqus, ANSYS LS-DYNA. Якщо комп'ютерне моделювання

обмежене лише списком операцій ОМТ, то найоптимальнішим результатом вибору програмного продукту є DEFORM.

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МЕХАНІЗМА ДЛЯ БЕЗСТУПІНЧАСТОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧИСЛА ОБЕРТІВ ДЛЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ**

*Вода М.В., магістрант, Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, ст. викладач, Сумський Державний університет*

Сучасні робочі машини потребують регулювання швидкісних робочих органів в залежності від умов здійснення технологічного процесу. У наш час широке застосування в металообробці отримали верстати з безступінчастими приводами, котрі застосовують для плавної і неперервної зміни частоти обертання шпинделя або подачі. Такі приводи в металорізальних верстатах дозволяють отримати найбільш оптимальні швидкості різання і подачі при обробці різноманітних деталей. Одним із напрямків розвитку енергоефективного застосування верстатів є підвищення продуктивності, якості виготовленої продукції, зниження собівартості і екологічний чинник – зменшення шуму та вібрації.

Для вирішення ряду вищезазначених вимог є пропозиція використання безступінчастого привода - суперваріатора. Варіатор дозволить змінювати швидкість головного руху або подачу, під час роботи верстата без його зупинки. При безступінчастому регулюванні є можливість забезпечити економічні режими різання, зменшити машинний час обробки деталей і зменшити час холості ходи.

Яка ж різниця у використанні звичайного механічного (фрикційного) варіатора в металорізальних верстатах від суперваріатора? Суперваріатор пристрій з безперервним потоком потужності, що дозволяє плавно змінювати передавальне відношення в діапазоні 25-30 з ККД 97% як при прискоренні, так і при гальмуванні (рекуперації) [1]. Настільки широкий і плавний

## **Науковий напрям:**

### ***Процеси механічної обробки, верстати та інструменти***

---

діапазон регулювання не зможе забезпечити фрикційний варіатор, котрий найбільш ширше використовується у приводах верстатів. При такому варіюванні можна з легкістю і досить плавно змінювати швидкість головного руху або ж подачу верстата. При цьому гарантується плавність руху з постійним навантаженням на головний двигун. Ще однією перевагою є можливість зменшення кількості електронних схем і датчиків, котрі застосовувались в керуванні варіатора. Втрати потужності, яка передається від головного двигуна складатиме 0,006% [2].

Якщо запровадити використання суперваріатора в схему роботи металорізального верстата, то можливо підвищити енергоефективність головного двигуна. Він буде витратити меншу кількість електроенергії для роботи, за рахунок плавності ходу, відсутності різкої зміни навантаження і перевантажень. При переключенні передавальне відношення фіксується на час, затримка в 0,1...0,3с відбувається без зміни тяги. Найбільш ефективний ККД суперваріатора досягається на економічному режимі роботи двигуна. Витрати енергії на 5-10% менші за фрикційні варіатори.

Суперваріатор відрізняється від своїх конкурентів низькою собівартістю виготовлення. В суперваріаторі відсутні деталі, які піддаються швидкому зносу і потребуючі частій заміні. Масло заливається один раз і залишається чистим на весь строк експлуатації. Одним із важливих елементів є те, що даний тип варіатора менший від конкурентів. При цьому витрати на обслуговування є менші із-за довговічності системи.

### **Список посилань**

1. Гуліа Н. В. Удивительная механика: В поисках «энергетической капсулы». — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. — 176 с.: ил.
2. Вариатор новой концепции для трансмиссий автомобилей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mospolytech.ru/mio/iblock/15f/gulia.pdf>

## THREE-DIMENSIONAL PARAMETRIC SIMULATION OF TOOL JOINT FOR DRILL PIPES

*Vriukalo V.V., Ph.D., Associate Professor, Buchak V.S., undergraduate, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

During the drilling process, cyclic mechanical loads act on the drill string. The sources of these loads are both technological factors (weight of the pipe string, lifting force from drilling mud, torque from a drilling rig or downhole motor, predicted vibrations caused by the operation of technological equipment) and random loads caused by distortions of the wellbore, uneven rock hardness, which is destroyed by a chisel, etc.

These cyclic loads cause fatigue damage and, as a result, breakdown of the drilling equipment. Fatigue damage to threaded connections is becoming the most common type of drilling accidents. According to statistics, 80% of accidents with threaded connections occur due to fatigue failure [1].

Experimental field studies of threaded connections were carried out by various researchers [1, 2], but they are expensive. On the other hand the complexity of the surface shapes of parts, that form threaded joints, makes it impossible to theoretically determine the stress field. The development of modern computer technology and specialized software systems makes it possible to perform complex studies of the stress-strain state of structures in a short time and with lower material costs. Therefore, the use of numerical research methods is the most appropriate option.

To perform numerical studies, it is necessary to have digital models of structural elements. The study of the stress state of a threaded joint "drill pipe -sleeve" is described in [3]. To carry out such studies in tool joints of drilling equipment, it is necessary to create digital models of the nipple and sleeve.

The construction of three-dimensional models of the nipple and sleeve for drill pipe tool joint was carried out in the SolidWorks

software package. Geometric parameters for modeling were taken according to the standard [4]. The standard provides for several types of tool joint – “3H”, “3Ш”, “3У”, “3ШК”, “3УК”. For modeling for the purpose of further research, a “3H”-type tool joint was chosen - a tool joint with a normal passage hole.

There is a wide range of drill pipe diameters, for which tool joints are designed to be connected into a string. Therefore, the 3D models of the nipple and sleeve were made parametric. For this, the geometric dimensions on the sketches for building models were set in the form of variables, the numerical values of which can be changed programmatically. The variants of the obtained three-dimensional models for the “3H-140” tool joint are shown in Figure 1.

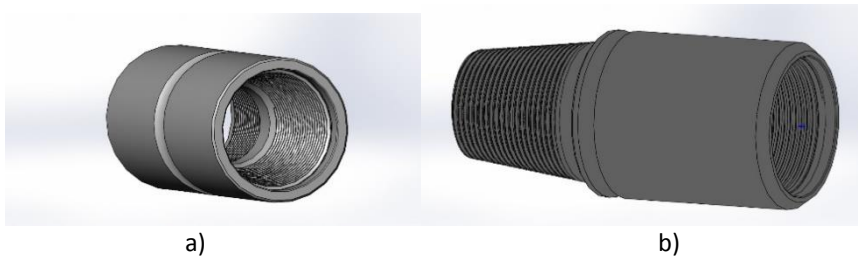


Fig. 1 - Three-dimensional models of the sleeve a) and the nipple b) of the tool joint

To use 3D models in further numerical studies, it is necessary to assemble the sleeve and nipple. A feature of the assembly is the need to ensure tight contact of the threaded surfaces of the parts. The three-dimensional assembly of the tool joint is shown in Figure 2.

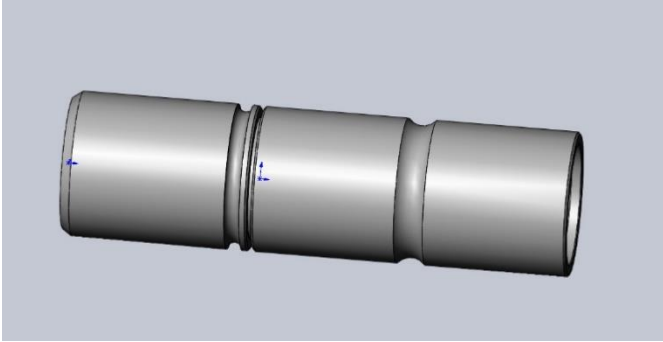


Fig. 2 - Three-dimensional assembly of the tool joint

### Link list

1. Tsukano Y., Nishi S., Nishida S., Ueno M. (1989, January 1). Last-Engaged Thread-Height Reduction of Pin Increases Fatigue Life of Drill Collar. [Текст] / Tsukano Y. // Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/18704-MS.

2. Bahai H. A parametric model for axial and bending stress concentration factors in API drillstring threaded connectors. [Текст] / Bahai H. // International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 78, Issue 7, 2001, Pages 495-505, ISSN 0308-0161.

3. V.V.Vriukalo, Z.M. Odosii, Shpytalnyi T.M. Research the tensional state of thread joints drilling pipes under the external loads. [Текст] / V.V.Vriukalo // Conference proceedings of the IX international scientific conference “Advanced technologies in mechanical engineering”.Lviv. -2020. – P.39-41.

4. Замки для бурильных труб. ГОСТ 5286-75. [Текст] / М.: Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 1994.

## МАГНІТНО-АБРАЗИВНА ОБРОБКА ДРІБНОРОЗМІРНОГО КІНЦЕВОГО ІНСТРУМЕНТУ

*Гаврушкевич Н.В., асистент, Майборода В.С., докт. техн. наук,  
професор, Національний технічний університет України «КПІ ім.  
Ігоря Сікорського»*

Формування різальних кромek дрібнорозмірного кінцевого інструменту із заданим радіусом заокруглення та шорсткістю поверхні [1], необхідної форми та розмірів, та надання певних фізико-хімічних властивостей поверхні різального інструменту найбільш вдало може забезпечити метод магнітно-абразивної обробки (МАО). Для деталей складної просторової форми, до яких можна віднести кінцевий і осьовий інструмент, застосовуються так звані «об'ємні» способи МАО. Один із способів такої обробки реалізується на верстатах (установках) типу «кільцева ванна» [1] з кільцевим розташуванням зон оброблення.

Використання зазначених схем МАО забезпечує підвищення продуктивності за рахунок використання роторного принципу, можливість регулювання в широких межах технологічними параметрами (величини магнітної індукції, швидкості обертання деталі, базування деталі в кільцевій ванні, траєкторії руху в процесі оброблення, тощо) та за рахунок цього досягати певної рівномірності оброблення складних поверхонь. Також для даної схеми МАО характерна значно вища стабільність характеристик магнітно-абразивного інструменту (далі МАІ) в часі, таких як стабільності форми та умов перемішування магнітно-абразивного порошку [2].

Саме для МАО дрібнорозмірного кінцевого інструменту, типу стоматологічних борфрез, може бути використана схема обробки на базі системи «кільцева ванна». Крім всіх перерахованих вище переваг даного способу, можна виділити можливості роботизації процесу та створення, відносної



малогабаритності, а відповідно малої матеріалоемність установки.

Серед таких систем можна виділити два типи: з радіальним та торцевим завантаженням [2]. В схемі з радіальним завантаженням кільцева ванна утворюється торцевими поверхнями кільцевих полюсних наконечників [3], при цьому відбувається обертання полюсних наконечників та обертання інструменту (виробу) в перпендикулярних площинах.

Відомі класифікації МАО, які запропоновані Бароном Ю.М., Сакулевичем Ф.Ю. та ін., які поділяють способи МАО за функціональним призначенням, за формою оброблюваних поверхонь, відносними рухами деталі, створюваним МАІ та типом магнітної системи. Доцільно виділити один із видів – за типом магнітного індуктора.

Всі схеми, що використовуються в МАО за останньою ознакою – типом магнітного індуктора поділяються на схеми з електромагнітними індукторами постійного струму, змінного струму, трьохфазного струму та на постійних магнітах [4].

Реалізація схеми МАО типу «кільцева ванна» з використанням постійних магнітів за [3] дозволить забезпечити можливість створення малогабаритного верстата, в якому буде реалізована можливість зміни градієнту магнітної індукції в робочих зазорах шляхом коригування розташування магнітів.

Використання такої установки доцільно для відновлення дрібнорозмірного кінцевого інструменти типу стоматологічних борфрез.

Результати обробки дрібнорозмірного кінцевого інструменту представлено на рис.1.

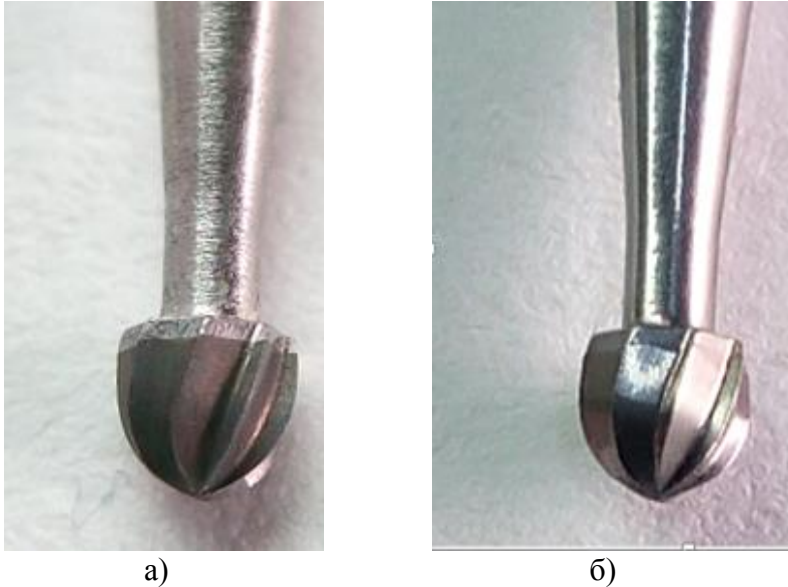


Рис.1 – Зовнішній вигляд борфрез до (а) і після МАО (б)

**Список посилань**

1. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь. Дис. ... докт.техн.наук. – Київ, 2001. – 404 с.
2. Гейчук В.М. Синтез кінематики процесу магнітно-абразивної обробки в кільцевій ванні: Дис. ... докт. техн. наук. - Київ, 2012. – 472 с.
3. А.С. № 975357. Ю.М. Барон, С.Ю. Иванов. Способ магнитно-абразивной обработки наружных поверхностей инструментов. БИ № 43, 1982.
4. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. - Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

## ПОКРАЩЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ ТОРЦЕВИМИ ГОЛОВКАМИ НА ОСНОВІ ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ

*Джеулій Д.Ю., к.т.н., Майборода В.С., д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Зелінко О.І., Товариство технології виготовлення і розвитку в Шмалькальден*

Для оброблення плоских поверхонь з феромагнітних матеріалів доцільно використовувати головки на основі високопотужних постійних магнітів, оскільки вони не потребують спеціального додаткового обладнання і можуть експлуатуватись на стандартному металооброблювальному обладнанні.

Виконано експериментальні дослідження по обробленню таких поверхонь головкою діаметром 60 мм при величині зазору 3 мм, подачі 10 мм/хв та частоті обертання головки 900 об/хв магнітно-абразивним порошком Феромап зернистістю 630/400 мкм. Параметри шорсткості контролювали за допомогою оптичного мікроскопа NanoFocus, досліджувані ділянки розміром 2 на 2 мм. Було встановлено, що середня арифметична шорсткість на цій площі зменшилась до  $Sa = 0.075$  мкм, при вихідній 0,85 мкм, середня висота піків  $Sp$  зменшилась до 0,28 мкм при початковому значенні 2,08 мкм, а також середня глибина впадин  $Sv$  зменшилась до величини 0,47 мкм при початковому 4 мкм. Топографія поверхонь до магнітно-абразивного оброблення та після наведено на рисунку 1.

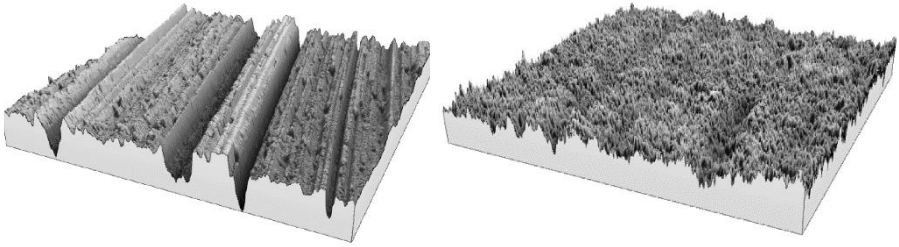


Рис. 1 - 3D зображення поверхні до (а) та після магнітно-абразивного оброблення (б)

Проведені експериментальні дослідження показали перспективність використання магнітно-абразивного оброблення плоских феромагнітних поверхонь торцевими головками на базі високопотужних постійних магнітів для покращення параметрів шорсткості і отримання середньої арифметичної шорсткості величиною менше 0,1 мкм, а також вигладжування поверхні та повне видалення спадковості оброблення від попередніх операцій.

### **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВПЛИВУ АВТОКОЛИВАНЬ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ**

*Дядя С.І., канд. техн. наук, доцент, Козлова О.Б., канд. техн. наук,  
Горбань А. М., Стішова М. В., Національний університет  
«Запорізька політехніка»*

Знання причин, що впливають на точність обробки деталей на металорізальних верстах, дозволяє прогнозувати її вже на етапі технологічної підготовки. Відомі методики розрахунку точності [1] враховують стан технологічної системи за жорсткістю, геометричною точністю, дію теплових деформацій, знос інструменту. Але при цьому недостатньо дослідженим є вплив на неї автоколивань. Відомо, що від їхньої інтенсивності

залежить стійкість інструменту, якість обробленої поверхні, знос вузлів верстата [2, 3].

Виконані дослідження розкривають механізм дії автоколивань при зрізанні припуску і показують їх негативний вплив на точність обробки.

Дослідження проводилися експериментальною фрезою на спеціальному стенді [3] при зустрічному та попутному кінцевому фрезеруванні тонкостінних елементів деталі (ТЕД). За результатами фрезерування було записано осцилограми коливань деталі, профілограми оброблених поверхонь.

Аналіз отриманих результатів показав, що як при зустрічному так і при попутному кінцевому фрезеруванні зрізається більший припуск, ніж було встановлено при настроюванні. На рис. 1 показано, що найбільша глибина різання  $t_{max}$  перевищує номінальну  $t$ . При зустрічному фрезеруванні врізання інструменту в тіло заготовки більше ніж при попутному. Відомо, що при різанні відбуваються пружні відтискання і дійсна глибина різання менша за номінальну. При різанні з автоколиваннями отримано інший результат.

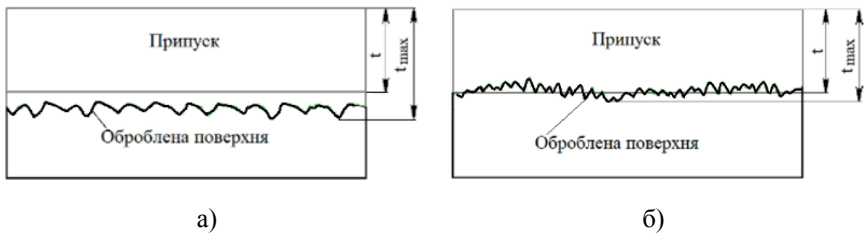


Рис. 1 – Профілограми поверхонь після зустрічного (а) та попутного (б) фрезерування

Дослідження механізму впливу автоколивань на точність обробки виконувалось на підставі аналізу фрагментів осцилограм коливань ТЕД при різанні. Експериментально доведено [4], що формоутворюючими при фрезеруванні з автоколиваннями ТЕД

## Науковий напрям:

### *Процеси механічної обробки, верстати та інструменти*

при зустрічній обробці є відхилення від положення пружної рівноваги на першій хвилі автоколивань, при попутній – на останній хвилі автоколивань (рис. 2).

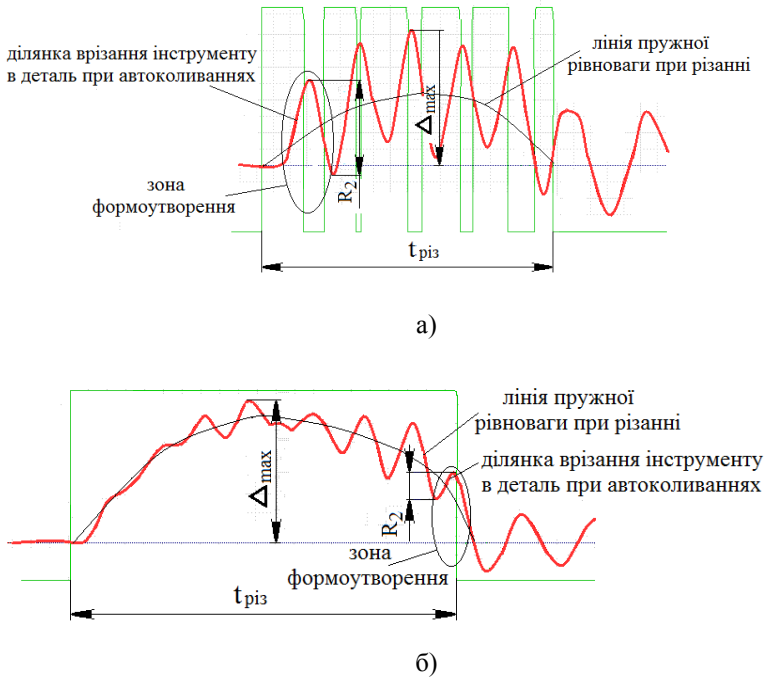


Рис. 2 – Фрагменти коливань деталі при зустрічному (а) та попутному фрезеруванні (б)

На рис. 2 відмічена лінія пружної деформації при різанні, що відповідає фрезеруванню без автоколивань. Відносно цієї лінії видно, як відбувається зарізання інструменту в деталь при автоколиваннях поза пружною деформацією. Фрагменти осцилограм показують, що розмах автоколивань  $R_2$  [3] в зоні профілювання при зустрічному фрезеруванні більший ніж при попутному. Це пояснює, чому при обробці деталі найбільша

глибина різання ( $t_{max}$ ) при попутному фрезеруванні має менше значення, ніж при зустрічному.

Проведені дослідження показали, що використовуючи відношення розмаху автоколивань ( $R_2$ ) в зоні формоутворення до максимального відтискання деталі ( $\Delta_{max}$ ), можна визначити, чи будуть автоколювання впливати на точність розміру. Так, при

$\frac{R_2}{\Delta_{max}} \geq 0,1$  завжди автоколювання будуть зрізати більший припуск

ніж номінальний. При  $\frac{R_2}{\Delta_{max}} < 0,1$  на точність розміру впливають

пружні відтискання.

Крім вище наведеного слід зазначити, що наявність автоколивань при зустрічному та попутному фрезеруванні, незалежно від їх інтенсивності, формують на обробленій поверхні хвилястість. Тому, призначаючи режими різання при кінцевому фрезеруванні ТЕД, треба враховувати наявність швидкісних зон коливань [5] і обходити третю, в якій діють автоколювання.

### Список посилань

1. Соколовский, А.П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках / А.П. Соколовский. -М.-Л.: Машгиз, 1952. – 288 с.

2. Жарков, И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 184 с.

3. Автоколебания при фрезеровании тонкостенных элементов деталей [Электронный ресурс]: монография / [Внуков, Ю.Н., Дядя, С.И., Козлова, Е.Б и др.] ; под ред. Ю.Н. Внукова. – Электрон. данные. – Запорожье: ЗНТУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM) 12 см. – Название с тит. экрана.

4. Дядя, С.И. Исследование формирования обработанной поверхности тонкостенного элемента детали при концевом

цилиндрическом фрезеровании с автоколебаниями / С.И. Дядя // Сучасні технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. Вип. 12. С. 5–18.

5. Систематизация колебаний при концевом фрезеровании тонкостенных элементов деталей / [С.И. Дядя, Е.Б. Козлова, Э.В. Кондратюк и др.] // Вестник двигателестроения. – 2016. – № 1. – С. 68–71.

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НАЛАГОДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК**

*Карабун В.М., ст. викладач, Національна металургійна академія  
України*

Постановка проблеми:

Робота на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) включає, як програмування верстатів з ЧПК, так і налагодження верстатів з ЧПК [1].

**Програмування верстатів з ЧПК складається з: створення керуючої програми (КП) на комп'ютері в САМ-системі, а також перевірки КП на комп'ютері в САМ-системі на можливість появи зарізів на заготовці і зіткнень інструменту із заготовкою і елементами кріплення [1].**

Налагодження верстата з ЧПК є також складним і відповідальним процесом, як і створення КП, що складається з: переміщення робочих органів верстата в нуль верстата, установку інструменту, установку заготовки, корекцію інструменту і заготовки, а також запуск КП [1].

В ході процесу налагодження верстата з ЧПК виникають помилки. Ці помилки призводять до бракованих деталей, до поломки інструменту, до поломки обладнання.

Все це знижує продуктивність виготовлення деталей, зменшує якість їх обробки і веде до втрати часу.

Мета роботи:



Для зменшення помилок при процесі налагодження верстата з ЧПК використовуємо комп'ютерну програму 3D моделювання налагодження і програмування верстатів з ЧПК.

У ознайомчій версії комп'ютерної програми SSCNC Simulator [2], [3] змодельовані процеси налагодження токарного верстата з ЧПК і фрезерного верстата з ЧПК, які складаються з: переміщення робочих органів верстата в нуль верстата, установки інструменту, установки заготовки, корекції інструменту і заготовки, а також запуск КП.

**Висновки:**

1. Комп'ютерна програма SSCNC Simulator це 3D симулятор верстатів з ЧПК. Вона максимально наближена до реальних керуючих систем ЧПК. Програма включає фрезерну і токарну групи верстатів CNC. Ця програма призначена, як для учнів, так і для досвідчених фахівців в області налагодження та програмування верстатів CNC. Вона застосовується також на виробництві для налагодження G-code і для програмування верстатів CNC "вручну" [2], [3].

2. Застосування комп'ютерної програми SSCNC Simulator [2], [3] дозволить як для учнів, так і для досвідчених фахівців в області налагодження та програмування верстатів CNC зменшити кількість помилок при налагодженні верстата з ЧПК і як наслідок підвищити продуктивність виготовлення деталей, збільшити якість їх обробки і скоротити втрати часу.

### **Список посилань**

1. А.А. Ловыгин, Теверовский Л.В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. –М.: ДМК-Пресс, 2015. -280 с.

2. Программа CNC Simulator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.swansc.com>.

3. Программа CNC Simulator и учебные курсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.cncsimulator.co.il>.

## **ЗМІНА МІКРОРЕЛЬЄФУ ТА РАДІУСУ ЗАОКРУГЛЕННЯ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПКНБ ПРИ ОБРОБЦІ МЕТОДОМ ВІМАО**

*Клименко С. А., Чумак А. О., Інститут надтвердих матеріалів ім.  
Бакуля*

Для вібро-магнітної-абразивної обробки (ВіМАО) різальних пластин із полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ) було сконструйовано прилад на основі електродвигуна з ексцентриком і пристроєм для створення електромагнітного поля.

Процес обробки різальних пластин із ПКНБ відбувається в контейнері з карбиду кремнію SiC, що виключає можливість екранування магнітного поля, в якості абразиву використовується гранули електрокорунду Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> з додаванням штучних алмазів AC6 28/20 в кількості 15% від загального об'єму. Взаємодія магнітного поля з абразивним середовищем та оброблюваними пластинами відбувалася за рахунок додавання феромагнітного порошку ФЕРОМАП 200/100. Одночасно оброблювалося 10 пластин, час обробки становив 40; 120; 180; 360 хв.

Оцінка зміни мікрорельєфу поверхні пластин із ПКНБ відбувалася за допомогою атомно-силового мікроскопу NT-206, що дозволило отримати профілограми розподілу мікронерівностей на ділянці поверхні 13×13 мкм.

Отримано залежність зміни шорсткості поверхні різальних пластин із ПКНБ від часу обробки методом ВіМАО рис. 1, а.

Поверхня різальних пластин із ПКНБ після чистової обробки шліфуванням має шорсткість Ra 0,25. В перші 40 хв. відбувається найбільш інтенсивна обробка поверхонь різальних композитів при ВіМАО, що приводить до зменшення шорсткості обробленої поверхні до Ra 0,22.

Обробка на протязі 120 хв., дає можливість отримати поверхню з максимально плавними переходами між висотами та впадинами та з мінімальною кількістю дефектних зон з підвищеним ступенем опору тертю.

Подальша обробка на протязі 180 хв. та 360 хв. не чинить суттєвого впливу на шорсткість обробленої поверхні, що пов'язано із руйнуванням зерен абразиву в робочій суміші та зменшенням його різальної здатності, шорсткість поверхні складає  $Ra\ 0,195$ . Для досягнення більш інтенсивної зміни шорсткості поверхні пластин доцільно поновлювати робочу абразивну суміш кожні 120 хв.

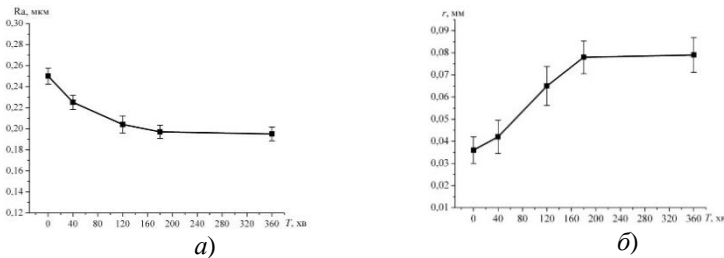


Рис. 1. – Залежність шорсткості поверхні пластин із ПКНБ (а) та радіусу заокруглення різальної кромки (б) від часу обробки методом ВіМАО

Що стосується механізму формування рельєфу для таких мало пластичних матеріалів як різальних композитів із ПКНБ при ВіМАО, то найбільш можливим механізмом видалення матеріалу являється втомне руйнування. Механізм втомного руйнування при ВіМАО протікає під дією знакоперемінних і циклічних навантажень, які сприймаються локальними ділянками оброблюваної поверхні при взаємодії із абразивним середовищем.

Також процес ВіМАО суттєво впливає на радіус округлення різальних кромки інструментів із ПКНБ, що являється основним фактором для підвищення стійкості інструменту при високошвидкісній обробці, а також при обробці з ударом.

## Науковий напрям:

### Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

При ВіМАО найбільш інтенсивно обробці піддаються саме вершини різальних кромки композитів, що пов'язано із їх меншою геометричною міцністю, крім того частота мікроударів абразиву по кромці вища чим по плоских поверхнях.

При обробці методом ВіМАО можна отримати радіусну кромку від 10 до 50 мкм, величина радіусу якої буде залежати від вихідної шорсткості поверхонь, часу обробки та типу абразивного середовища.

Для визначення радіусу заокруглення різальної кромки композитів із ПКНБ після обробки методом ВіМАО, пластини вдавлювалися в пластичні матеріали типу алюмінієвого дроту з подальшим аналізом відбитку на оптичному мікроскопі. Зображення різальної кромки інструментів із ПКНБ до обробки та після обробки представлено на рис. 2.

Округлення різальної кромки після обробки ВіМАО має правильну геометричну форму по всій довжині різальної кромки з плавним сполученням як з передньою так і з задньою поверхнями.

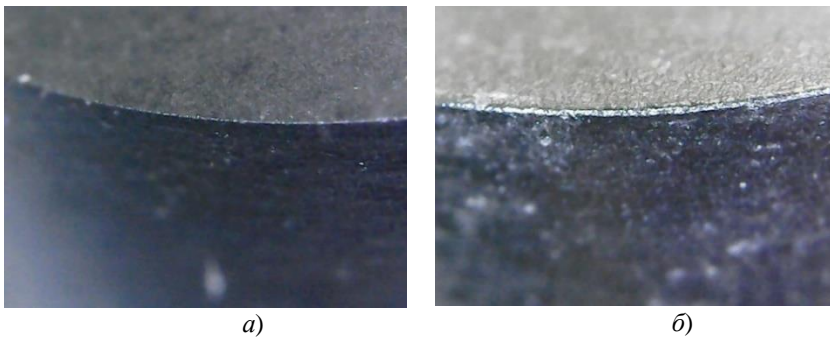


Рис. 2. – Зображення кромки різальних композитів із ПКНБ до обробки (а) та після обробки методом ВіМАО 360 хв (б).

На основі залежності представленої на рис. 2, б кінетику заокруглення різальних кромки інструменту можна розділити на три етапи в залежності від часу обробки:

– перший етап (час обробки 0-40 хв.) відбувається незначна зміна радіуса заокруглення різальної кромки, так як основним механізмом зйому оброблюваного матеріалу при ВіМАО є втомне руйнування, для якого характерно наявність певного часу на протязі якого в поверхневому шарі різальної кромки збільшується концентрація дефектів, під дією абразивного середовища, до певного критичного рівня, після чого відбувається видалення матеріалу;

– другий етап (час обробки 40-180 хв.) на даному етапі відбувається інтенсивне знімання матеріалу і, як наслідок, збільшення радіуса заокруглення кромки внаслідок високої концентрації поверхневих дефектів;

– третій етап (час обробки 180-360 хв.) етап сталої обробки, на даному етапі радіус заокруглення різальних кромок майже не змінюється, що говорить про те, що процес зйому матеріалу при ВіМАО в даному інтервалі часу не відбувається, це пов'язано із тим, що абразивне середовище не здатне чинити суттєвого ударного навантаження на оброблюванні поверхні внаслідок значного зносу абразивного наповнювача, а також зміцненням поверхневого шару пластин в наслідок обробки.

В результаті виконаної роботи розкритий механізм формування поверхонь та різальних ронок інструментів із ПКНБ при ВіМАО, що дозволить підвищити стійкість інструменту при обробці важкооброблюваних матеріалів.

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МЕДИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ОБРОБКОЮ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ**

*Ковальов В. Д., д.т.н., проф., Васильченко Я. В., д.т.н., доц.,  
Шаповалов М. В., к.т.н., Майских І. О., магістр, Донбаська  
державна машинобудівна академія*

Медичний інструмент піддається сильному зносу внаслідок впливу корозійного робочого середовища, частих температурних

## **Науковий напрям:**

### ***Процеси механічної обробки, верстати та інструменти***

---

коливань (при стерилізації і дезінфекції) і малої товщини різальної крайки.

Особливістю виготовлення медичних інструментів з вуглецевої сталі є необхідність нанесення покриттів на основі нікелю або хрому, що оберігають лезо інструменту від впливу корозійного середовища. Однак тонке лезо при нанесення на нього шару захисного покриття стає товщим і його геометричні параметри змінюються.

Тому виникає необхідність збільшення працездатності медичних інструментів шляхом удосконалення технологічного процесу його виготовлення. У роботі показана доцільність, а також розглядаються теоретичні основи методу магнітної імпульсної обробки (ОІМП) медичного різального інструменту. Зміцнення на основі методу обробки імпульсним магнітним має низку переваг у порівнянні з методами на основі впливу інших видів енергій, зокрема: низька собівартість обробки, збереження геометрії оброблених деталей, відсутність витратних матеріалів, простота технологічного оснащення та екологічна чистота. Встановлено, що раціональні режими обробки імпульсним магнітним полем різні для різних марок сталей і сплавів і визначаються матеріалом, габаритами, конфігурацією і умовами роботи виробу.

Розроблено та виготовлено конструкцію експериментальної установки для обробки імпульсним магнітним полем. Розроблено конструкції блоку управління і магнітного індуктора ОІМП. Проведено аналіз геометрії соленоїдів для магнітних індукторів з точки зору їх оптимальності. Виявлено, що при збільшенні довжини соленоїда спостерігається ослаблення магнітного поля в робочому зазорі. Використання соленоїда з оптимальною геометрією дозволяє збільшити щільність енергії в зазорі на 20-40%. За допомогою програми кінцево-елементного моделювання була розглянута ефективність застосування концентраторів для локалізації магнітного потоку в ріжучій частині інструменту. Розроблено конструкції і виготовлені ряд пристроїв і установок

для реалізації експериментальних досліджень з оцінки стану ріжучої частини медичного інструменту.

Отримано математичні моделі, що встановлюють зв'язок між режимами імпульсної магнітної обробки і зносостійкістю інструментів. Визначено, на основі аналізу отриманих моделей, оптимальні режими обробки імпульсним магнітним полем медичних інструментів (скальпелів і свердел.). Встановлено, що ОІМП призводить до збільшення параметра мікротвердості ріжучої частини медичних скальпелів на 15-20%. Виявлено підвищення корозійної стійкості медичного інструменту (скальпелів і свердел) на 25-30%. Проведено порівняльні експериментальні впливу магнітного зміцнення на експлуатаційні показники медичного інструменту. Дослідження показали підвищення загальної працездатності різального медичного інструменту в 1.5-2 рази. Досліджено процес зношування ріжучих медичних інструментів (скальпелів і свердел). Встановлено відмінність характеру зношування інструменту, зміцненого і незміцненого імпульсної магнітної обробкою.

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПУСКУ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ЕЛЕКТРОТАЛІ**

*Краєвий В. А., магістрант, Лукавенко В. П., науковий керівник, к.т.н., доцент, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

Прямий контакторний пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у механізмі приводу вантажопідіймальних машин призводить до значних динамічних навантажень. При цьому в електричній мережі живлення може виникати суттєва просадка напруги. Звідси актуальним є питання зменшення динамічних навантажень у період пуску та, відповідно, і пускових струмів.

На сьогодні для вирішення такої задачі використовують наступні методи: застосування перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску асинхронних двигунів, резистивний, конденсаторний, реакторний пуск, та ін. Застосування перетворювачів частоти, з їх налаштуванням на збільшення часу розгону, забезпечують достатньо ефективний метод зменшення навантажень в період пуску, що також підтвердилось попередньо виконаними дослідженнями. Стримуючим аспектом у застосуванні такого методу є їх суттєва вартість.

Метою роботи є дослідження пуску асинхронного двигуна електроталі з використанням у ланцюзі статора індуктивних опорів (реакторів), які мають забезпечити зниження пускових струмів та динамічних зусиль у канатах механізму підйому. Для вирішення поставленої задачі студентами, членами науково-дослідницького гуртка проведені експериментальні дослідження з використанням електроталі вантажопідйомністю 250 кг. Для реалізації реакторного пуску послідовно в ланцюг живлення статора асинхронного двигуна електроталі на період пуску включались індуктивні опори (реактори) [1, с. 43], які після розгону двигуна виводились шляхом їх шунтування. В якості індуктивних опорів були використані дроселі люмінесцентних



світильників, які з'єднувались в 3 групи по 8 паралельно включених в кожній з груп.

На блок - схемі (рис.1) показано: QF - автоматичний вимикач, ПК - персональний комп'ютер, АЦП - аналого-цифровий перетворювач, ТП – тензо-метричний підсилювач, BR – енкодер,

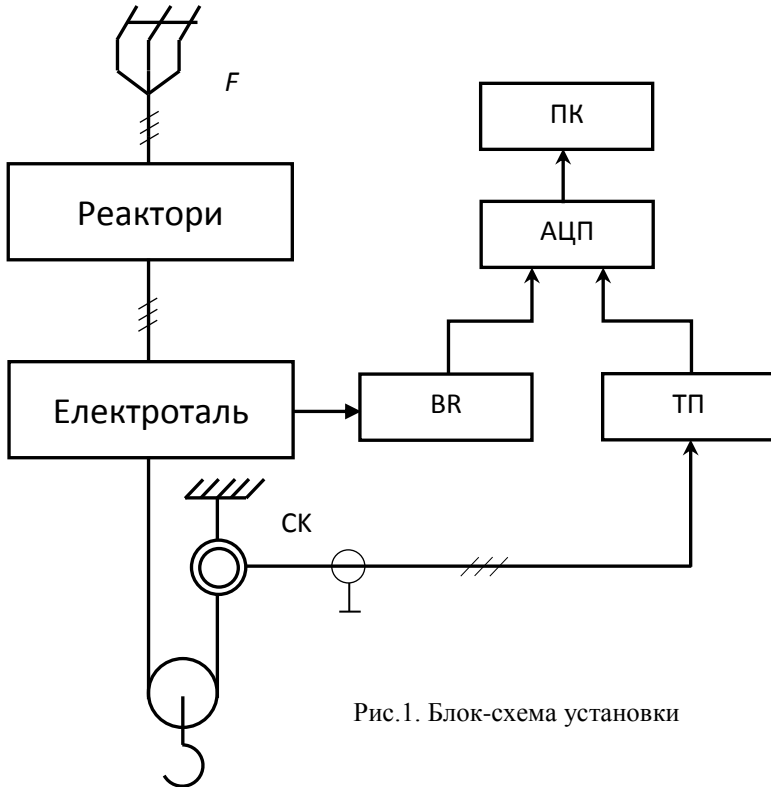


Рис.1. Блок-схема установки

СК - силовимірювальне кільце з наклеєними тензодатчиками.

Програмою дослідження пускових режимів електроталі передбачено запис осцилограм прямого та реакторного пусків.

**Висновки.** На базі розробленої та зібраної схеми установки і складених індуктивних опорів були виконані пуски електроталі для визначення ефективності реакторного пуску асинхронного приводу механізму підйому. Порівняння отриманих осцилограм

дозволило встановити зменшення динамічних навантажень за період пуску в середньому у 1,4 рази.

**Список літератури**

Г.Б. Онищенко. Электрический привод. Учебник. АСАДЕМА – М., 2006.- 288 с.

**ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД  
ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ПОДАЧ ТОКАРНИХ,  
СВЕРДЛИЛЬНИХ І ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ  
ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*Кривий П. Д., канд. техн. наук, доцент, Кобельник В. Р., канд. техн. наук, доцент, Лось І. Г., аспірант, Петречко І. Р., аспірант, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; Тимошенко Н. М., канд. фіз.-мат наук, доцент, Національний університет «Львівська Політехніка»*

Одним із найважливіших елементів режиму різання, який у значній мірі забезпечує такий показник якості сформованої поверхні різанням як шорсткість є подача.

Проаналізовано існуючі методи дослідження точності кінематичних ланцюгів механізму подач, з врахуванням її стохастичності [1 – 3].

Встановлено, що дослідження точності подач здійснювалось на невеликій довжині переміщення супорта, пінолі і стола відповідно для токарних свердлильних і фрезерних верстатів. При цьому величини подач визначались при невеликих кутах повороту рейкової шестерні (для токарних і свердлильних верстатів). Окрім цього, при обробленні отриманих статистичних даних, не визначали однорідності вибірок, не підтверджували гіпотези про нормальний закон розподілу значень подач, як випадкових величин. Таким чином не враховували наявність похибок конструктивних елементів кінематичних ланцюгів подач, що призводило до зниження достовірності результатів.

Тому створення імовірно-статистичного методу оцінювання точності подач металорізальних верстатів з врахуванням їх стохастичного характеру є актуальною задачею.

Суть запропонованого методу полягає у наступному. Хід супорта, пінолі чи стола розбивають на 10 рівних рівномірно-розміщених проміжків.

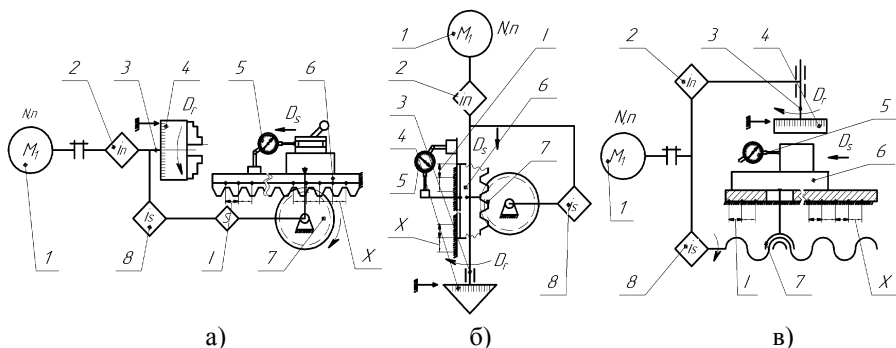


Рисунок 1 – Схематичне зображення вимірювання точності кінематичних ланцюгів подач різних металорізальних верстатів: а) – токарного; б) – свердильного в) - фрезерного; 1 – електродвигун приводу головного руху; 2 – коробка швидкостей; 3 – шпиндель; 4 – градусна шкала; 5 – індикатор; 6 – супорт, піноль, стіл; 7 – рейкова передача (гвинт гайка); 8 – коробка подач

Встановлюють паспортну подачу і зубчасті зачеплення, що забезпечують обертання шпинделя, переміщення супорта, пінолі чи стола і вибирають зазори у спряженнях. Використавши електронний індикатор з точністю вимірювання 1 мкм, на кожному із проміжків вимірюють переміщення супорта, пінолі і стола металорізальних верстатів, яке дорівнює величині подачі: на 1 оберт шпинделя при точінні і свердлінні та на 1 зуб фрези при фрезеруванні відповідно. Таких вимірювань здійснюють 12-14 разів. В результаті отримують 10 статистичних рядів з вибіркою 12-14 значень подач. Встановлюють обсяг вибірок – 10 значень подач. Для кожного статистичного ряду подач використовують принцип консенсусу трьох арбітрів за критеріями Греббса, Ірвіна та Романовського [4] і встановлюють

однорідність вибірок. За критерієм  $W$  [4], який більш потужніший ніж критерії Колмогорова і Пірсона підтверджують нормальний закон розподілу у всіх 10-ти вибірках. За методом ітерацій [5] визначають математичні сподівання  $M_1(s), M_2(s), M_3(s) \dots M_{10}(s)$  і дисперсії  $D_1(s), D_2(s), D_3(s) \dots D_{10}(s)$  для кожної із 10 вибірок. Отримані характеристики розсіювання подають як випадкові величини. За вищеподаним методом отримані статистики перевіряють на їх однорідність, за критерієм  $W$  - нормальність закону розподілу [4]. Використавши критерій Фішера [6], встановлюють суттєвість відмінності між дисперсіями розсіювання подач.

За методом ітерацій для  $M_i(s)$  і  $D_i(s)$  ( $i = 1, 2, 3 \dots 10$ ) визначають генеральне математичне сподівання  $M(s)$  і генеральну дисперсію  $D(s)$ .

За ґрунтовну оцінку точності подач рекомендовано прийняти їх максимальне значення, що визначається за формулою  $S_{max} = M(s) + \sqrt{D(s)}$ . Отримане значення  $S_{max}$  може бути використане як показник якості верстатів, так і для розрахунку параметра шорсткості  $R_z$ .

Апробація запропонованого метода відбулась у лабораторіях «Теорії різання металів» і металорізальних верстатів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя і підтвердив високу достовірність результатів.

### **Список посилань**

1. Кобельник В. Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2013. – 210 с.

2. Бушуев В. В., Кинематическая точность зубофрезерных станков нового поколения. / В. В. Бушуев, В. В. Бушуев Новиков В. А. // Вестник МГТУ СТАНКИН. — 2016 — №3 (38) — С. 8-13.

3. Вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні, при її точінні або розточуванні / П. Кривий, Н. Тимошенко, М. Шарик, В. Крупа. // *Машинознавство*. — 2013. — № 9-10 (195-196) — С. 76-83.

4. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента / Кацев П. Г. — Изд. 2-е перераб. и доп М: Машиностроение, 1974. — 231 с.

5. Статистичне оцінювання міцності пресових з'єднань приводних роликів ланцюгів закордонних фірм на основі теорії малих вибірок / П. Кривий, Н. Тимошенко, В. Коломієць, Р. Чорний. // *Вісник ТДТУ*. — 2013 — №2 [70] — С. 121-129

6. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки. / Колкер Я. Д. — Киев: «Техника», 1976. — 200 с.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ В СИСТЕМІ DEFORM 2D**

*Крохмалюк О. А., студент, Ступницький В. В., докт. техн. наук,  
професор, Національний університет «Львівська політехніка»*

У сучасному машинобудуванні, зокрема, авіаційній, автомобільній та оборонній галузях, важливе значення займають процеси різання складних поверхонь високотехнологічних деталей. Більшість цих деталей виготовляють з важкооброблюваних матеріалів, оброблюваність яких в рази гірша, ніж у звичайних конструкційних матеріалів. Спільними особливостями таких сплавів в порівнянні з конструкційними матеріалами є: висока міцність, низька теплопровідність, висока теплостійкість та високий коефіцієнт зміцнення при пластичному деформуванні [1]. Сукупність цих факторів значно ускладнює обробку таких матеріалів та спричиняє збільшення напруження, температури в зоні різання і навантаження на інструмент.

## Науковий напрям:

### Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Метою дослідження є визначення впливу режимів різання на напружено-деформаційні та термодинамічні показники в поверхневому шарі матеріалу та параметри зношування інструменту в процесі роботи. Можливість дослідження даних параметрів дає програмний продукт Deform 2D, що використовує метод кінцевих елементів та аналітичні методи розрахунку параметрів стану поверхні для формування достовірної реологічної моделі руйнування матеріалу заготовки та всіх параметрів даного процесу [2, 3]. Використання реологічної моделі зумовлене протіканням послідовної деформації та руйнування заготовки, яка одночасно характеризується пластичними та пружними властивостями, що дозволяє розглядати пластичне руйнування як плоске зміщення шару матеріалу, таким чином імітуючи внутрішню структуру металу.

Вихідними даними для побудови моделі в програмі Deform 2D є: 2D модель заготовки та інструменту з формуванням на їх поверхні сітки кінцевих елементів; режими різання: швидкість  $V=50$  м/хв, глибина різання  $t=1.5$  мм, подача є зміним параметром  $s_{01}=0,1$  мм/об,  $s_{02}=0,25$  мм/об,  $s_{03}=0,40$  мм/об,  $s_{04}=0,60$  мм/об; матеріал заготовки – IN718, матеріал різця – WC; тип задачі деформації та зміщення матеріалу – Lagrangial Incremental; вид ітераційного методу розрахунку – Direct Iteration; розрахункове ядро – метод Skyline.

Для поставлених умов сформовані імітаційні моделі та представлені графіки результатів дослідження на рисунках 1 і 2, що дозволяє визначити вплив подачі на зміну контрольованих величин. Отримані параметри для усталеного режиму обробки матеріалу зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Значення подачі, мм/об	Отримані значення					
	Максимальне значення сили різання, Н	Відносне зростання величини, %	Температура, °С	Відносне зростання величини, %	Середнє значення еквівалентного напруження, МПа	Відносне зростання величини, %
0,1	3576	-	962	-	1608	-
0,25	3610	0,95	990	2,91	1611	0,186
0,4	4495	24,51	1043	5,35	1616	0,310
0,6	5182	15,28	1074	2,97	1620	0,247

Також визначено відносне збільшення параметрів відносно попереднього значень. Отримані значення показують значне зростання сили різання для подачі 0,4 мм/об на 24,51% (від сили при подачі 0,25 мм/об) та становить 4495 Н, збільшення при переході від 0,4 до 0,6 мм/об становить 15,28% , що показує зменшення швидкості зростання сили різання при збільшенні подачі. Температура в зоні різання в відносних величина зростає на 2,91%, 5,35% і 2,97% (для відповідних подач 0,25, 0,4, 0,6 мм/об). Максимальне значення температури 1074°С при подачі 0,6 мм/об. Данні показують що найбільше відносне зростання спостерігається в діапазоні від 0,25 до 0,4 мм/об, що відповідно корилує з зростання сили різання в даному діапазоні.

З отриманих даних для середнього значення еквівалентного напруження можна зробити висновок, що для використаних величин подач, значення коливається в дуже невеликому діапазоні від 1608 до 1620 МПа та після входження в усталени режим роботи коливається в невеликих межах  $\pm 0,3\%$ , для різних значень подач.

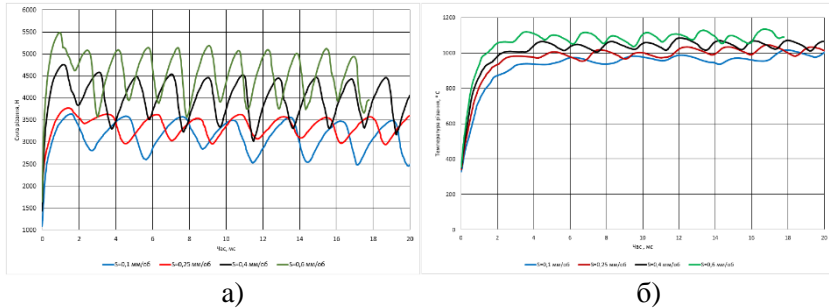


Рисунок 4. Графік зміни а) сили різання [Н], б) максимальної температури в зоні різання [°С], в процесі обробки для сплаву IN718 (аналог ХН60Ю)

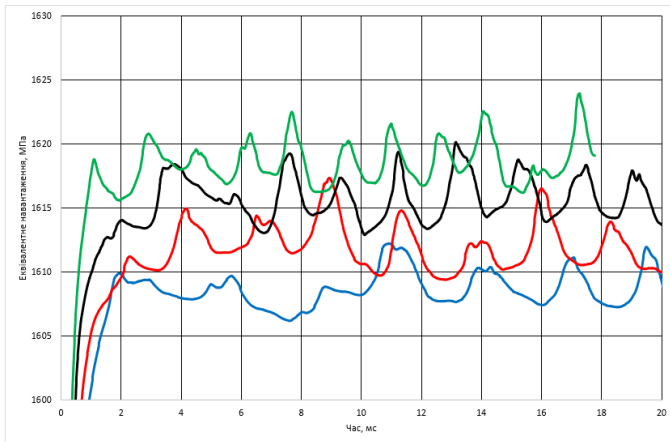


Рисунок 5. Графік зміни значення еквівалентного напруження [МПа] в процесі обробки заготовки з сплаву IN718 (аналог ХН60Ю)

**Список посилань**

1. Davim J. P. Machining of hard materials/ Davim J. P.- London: Springer, 2011.- 225 p.
2. Stupnytskyy V. Use of the CAF-system (Computer Aided Forming) in Integer Computer Aided Manufacturing// Papers of the XX Ukrainian-Polish Conference on CAD in Machinery Design. Implementation and Educational Issues – CADMD 2012.- Lviv.- P.45-48



3. Stupnytskyy Vadym. New features CAD/CAM/CAE systems in mechanical engineering // EuropäischeFachhochschule: WissenschaftlicheZeitschrift, ORT Publishing. Stuttgart, Germany. № 1.- 2012 (November-Dezember). Section 13. - p.327-329.

## СПРЯМОВАНИЙ ГЕНЕТИЧНИЙ СИНТЕЗ НАСТІЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ

*Кузнєцов Ю.М., докт. техн. наук, професор, Кривчук Ю.Т., магістрант, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

На кафедрі конструювання машин був створений верстат «CNC 500», призначений для фрезерної обробки складнопрофільних деталей з різних матеріалів в багатьох сферах діяльності, зокрема у приладобудуванні, ювелірному виробництві, при виготовленні плат, мікросхем, сувенірів, унікальних надписів і т. д.

Спираючись на теорію генетичної еволюції електромеханічних (ЕМ) систем [1, 2], була визначена функція пошуку нових технічних рішень  $F_{TS}$  для спрямованого генетичного синтезу з відповідною кількістю вимог та обмежень. Сформульовані основні конкретні вимоги до пошукових систем  $S_{TS}$  та  $S'_{TS}$ : 1) настільна конструкція ( $D_{TS}$ ); 2) використання ЕМ-систем для всіх типів рухів ( $M_{EM}$ ); 3) трьохкоординатний рух шпинделя ( $S_{X,Y,Z}$ ); 4) рухомий портал ( $B_{X,Y}$ ) - для  $S_{TS}$  або рухомий стіл ( $T_{X,Y}$ ) - для  $S'_{TS}$ . Враховуючи зазначені вище вимоги, інтегральні функції пошуку можуть бути представлені у вигляді векторів  $F_{TS}$  і  $F'_{TS}$  відповідно у багатовимірному просторі  $R^n$ :

$$F_{TS} = [D_{TS}; M_{EM}; S_{Z,Y,Z}; B_{X,Y};] \in R_n; \quad (1)$$

$$F'_{TS} = [D_{TS}; M_{EM}; S_{Z,Y,Z}; T_{X,Y};] \in R_n; \quad (2)$$

Модель генетичного синтезу, описана на рис. 1 і 2 відповідно визначеним  $F_{TS}$  і  $F'_{TS}$ :

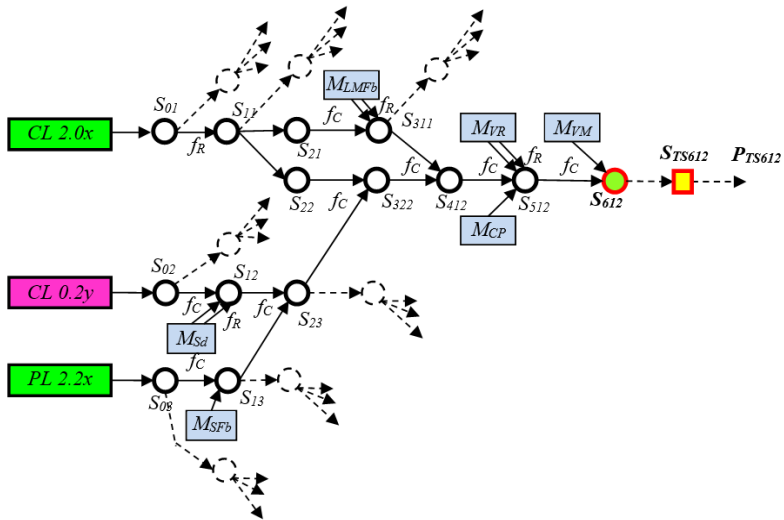


Рис. 1 – Генетична модель синтезу настільних ЧПК-структур з використанням визначеної функції пошуку  $F_{TS}$  (2):  $f_c$  - генетичний оператор схрещування;  $f_R$  - генетичний оператор реплікації; CL2.0x, CL0.2y, PL2.2x - первинні електромагнітні хромосоми;  $S_{01}$ ,  $S_{02}$ , ...,  $S_{612}$  - синтезовані структури електромагнітних хромосом;  $S_{TS612}$  - технічне рішення;  $P_{612}$  - сукупність технічних рішень

Ці генетичні моделі представляють траєкторії пошуку ЕМ-структур, які задовольняють  $F_{TS}$  та  $F'_{TS}$  та складають генетичні програми спрямованого синтезу настільних фрезерних верстатів без механічних передач. Для ідентифікації завершальної стадії процедури синтезу слід використовувати ваговий показник відповідності  $k_C$ , значення якого визначається пропорцією інтегральної генетичної схильності  $P_C$  відповідної електромеханічної хромосоми до визначеної інтегральної пошукової функції

$$F_{TS}: \quad k_C = P_C / F_{TS} \leq 1 \quad (3)$$

Електромагнітні хромосоми, які задовольняють  $F_{TS}$  та  $F'_{TS}$ , мають певний рівень генетичної складності, який оцінюють за результатами генетичного аналізу. Зазначені пошукові функції  $F_{TS}$  і  $F'_{TS}$  задовольняються генетично вищими комбінованими

гібридними хромосомами  $S_{612}$  і  $S'_{612}$  відповідно. Ступінь складності структури  $S_{612}$ , а також ступінь складності споріднених сукупностей технічних рішень  $P_{612}$  можна виразити наступною структурною формулою:

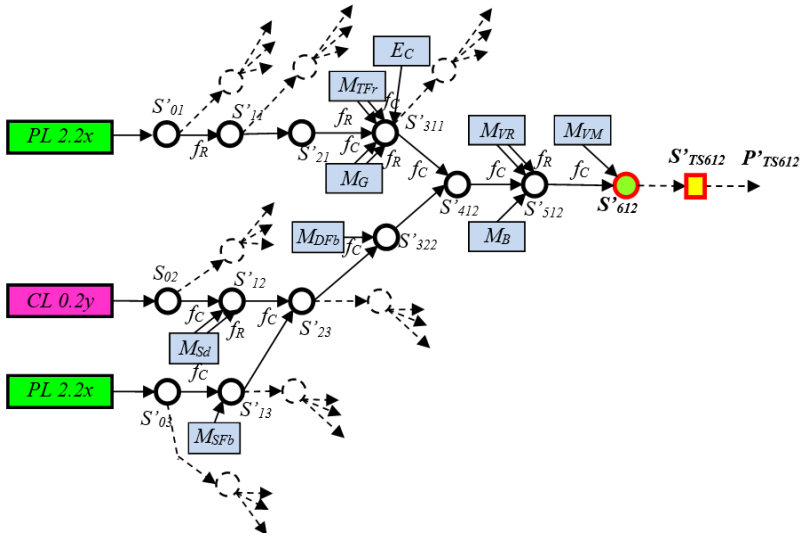


Рис. 2 – Генетична модель синтезу настільних ЧПУ-структур з використанням визначеної функції пошуку  $F'_{TS}$  (3):  $fC$  - генетичний оператор схрещування;  $fR$  - генетичний оператор реплікації;  $CL0.2y$ ,  $PL2.2x$  - первинні електромагнітні хромосоми;  $S'_{01}$ ,  $S'_{02}$ , ...,  $S'_{612}$  - синтезовані структури електромагнітних хромосом;  $S'_{TS612}$  - технічне рішення;  $P'_{612}$  - сукупність технічних рішень

$$\left[ \left[ \left[ 2(CL2.0x_1 \times CL2.0x_2)_{(R,X)} \times M_{LMFb} \right] \times \left[ 2(CL2.0x_1 \times CL2.0x_2)_{(R,Z)} \right] \times M_{VR} \times M_{CP} \right] \times M_{VM} \right] \times \left[ \left[ (CL0.2y_1 \times CL0.2y_2) \times M_{sd} \right] \times \left[ (PL2.2x_1 \times PL2.2x_2) \times M_{SFb} \right] \right] \quad (4)$$

Ступінь складності структури  $S'_{612}$ , а також ступінь складності відповідних сукупностей технічних рішень  $S_{612}$  можна також виразити наступною структурною формулою:

$$\left[ \left[ \left[ 2(PL2.2x_1 \times PL2.2x_2)_{(R,X,Y)} \times M_{Tr} \times E_C \times M_G \right] \times \left[ \left[ (CL0.2y_1 \times CL0.2y_2) \times M_{sd} \right] \times \left[ (PL2.2x_1 \times PL2.2x_2) \times M_{SFB} \right] \times M_{DFB} \right] \times M_{VR} \times M_B \right] \times M_{VM} \right] \quad (5)$$

Один з варіантів модернізованого верстата, максимально подібного до свого прототипу за конструкцією і компоновкою, але без механічних гвинтових передач за рахунок використання лінійних електродвигунів представлений на рис.3.

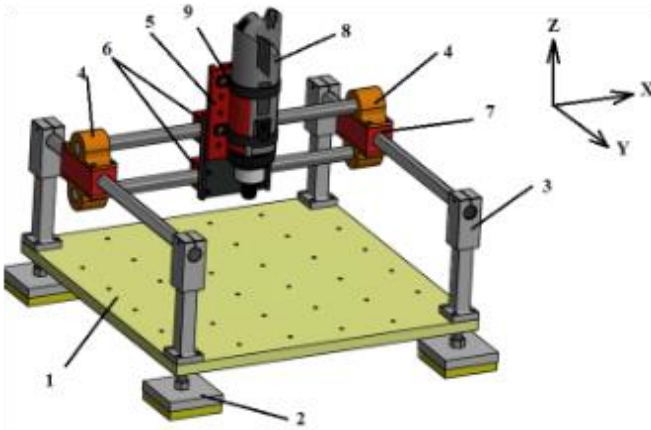


Рис. 3 – 3D-модель модернізованого верстата з рухомою траверсою: 1-несуча плита; 2-віброопора; 3-вертикальна стойка; 4-кронштейн; 5-плоский лінійний електродвигун; 6, 7-циліндричні лінійні електродвигуни; 8- мотор-шпиндель; 9-кронштейн для мотор-шпинделя

### **Список посилань**

1. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем.-К.: Наукова думка,2002.-288 с.
2. Шинкаренко В.Ф. Генетические программы сложных развивающихся систем /В.Ф.Шинкаренко, Ю.Н.Кузнецов //Труды медунар. науч. конф. UNITECH”11.-Габрово. 2011.- Ч.1,2.-с.33-54.

## **ВПЛИВ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЕФЕКТИВНИЙ МОМЕНТ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ В КІЛЬЦЕВІЙ ВАННІ В УМОВАХ ВЕЛИКИХ МАГНІТНИХ ЗАЗОРІВ**

*Майборода В.С., докт. техн. наук, професор, Заставський К. О., аспірант, Жук Р.Б., студент, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

Магнітно-абразивне оброблення – перспективний метод фінішного оброблення деталей простої та складної форми, що має ряд як переваг, так і недоліків. Одним з недоліків є відсутність достатньої кількості інформації про процес, особливо інформації про силову взаємодію між деталлю та МАІ (магнітно-абразивним інструментом) що формується з магнітно-абразивного порошку (МАП). Це стримує широке впровадження методу МАО в виробництві [1].

Експериментальне дослідження виконували на установці типу кільцева ванна при швидкостях обертання робочої головки  $V$ , яка встановлена в шпindelь верстата в діапазоні 100–300 об/хв., швидкість обертання навколо осі деталі становила 100 – 750. За МАП було використано порошок Поліам-М з різною зернистістю 400/315 та 200/100 мкм. Магнітна індукція в робочих зонах коаксіальної магнітної системи складала  $B=0,17$  Тл та  $B=0,24$  Тл. Процес МАО виконували в умовах формування стабільного МАІ. Зміна швидкості обертання мінішпинделя забезпечувалась за рахунок зміни напруги  $U$  на двигуні постійного струму, який є індивідуальним приводом мінішпинделя в діапазоні від 3 до 15 В з кроком 1 В. Для дослідження використовувались циліндричні зразки діаметром 16 мм та довжиною 30 мм встановлені паралельно осі головки і магнітної кільцевої ванни, виготовлені з алюмінію, бронзи, титанового сплаву (парамагнітні матеріали) та сталі 40Х13 (феромагнітна) [1-2].

## Науковий напрям:

### Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Отримані результати представлено у вигляді поверхонь – залежностей зміни ефективного моменту від швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни і власної осі деталі при різних значеннях магнітної індукції в робочому зазорі [2]. В подальшому було побудовано залежності, які представляють різницю між вище зазначеними поверхнями. Кінцевий результат наведено на рис. 1 – 4.

На рис. 1 показано, що для порошоків з зернистістю 200/100 мкм підвищення магнітної індукції в робочих зазорах від 0,17 до 0,24 Тл має відчутний вплив при зростанні швидкості обертання навколо власної осі, а для більшої зернистості (400/315 мкм) – при збільшенні швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни. Це може бути зумовлено процесом, зв'язаним з заклинюванням часток порошку більшого розміру та більшим впливом на оброблення саме фактору розміру порошку, який ущільнюється перед деталлю, що оброблюється, а утворене ущільнення з зростанням швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни до 200 – 220 об/хв зміщується в зону між поверхнею полюсного наконечника і деталлю, утворюючи зону заклинювання.

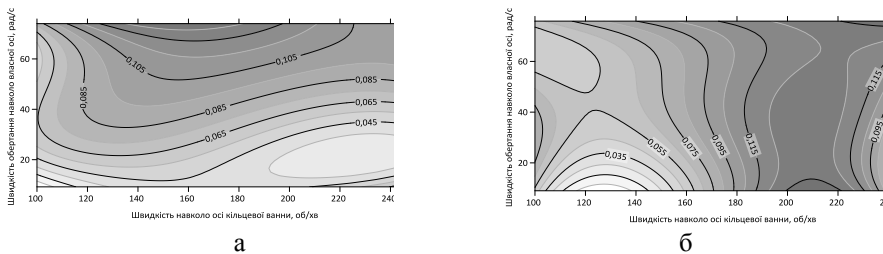


Рис. 1 Різниця в залежностях зміни значень ефективного моменту, отриманих при  $V=0,24$  і  $V=0,17$  Тл при обробленні алюмінію порошком Полімам-М з фракцією а – 200/100 мкм, б – 400/315 мкм

Оброблення бронзи (рис.2) порошком дрібної фракції супроводжується збільшенням впливу магнітної індукції при

зростанні швидкості обертання навколо власної осі та незначних швидкостях обертання навколо осі кільцевої ванни – до 160 об/хв.

При обробленні титану (рис.3) характер зміни ефективного моменту аналогічний результатам отриманим при обробленні алюмінію порошком Полімам-М з тією різницею, що найбільший вплив виявляється при швидкостях обертання зразків навколо власної осі 40-60 рад/с .При чому для дрібного порошку зміщення ущільненої зони відбувається при більших швидкостях обертання деталі навколо власної осі і пояснюється меншою інерційністю (масою) представницьких ущільнень з яких формується МАІ. Це пов'язано з характером адгезійної взаємодії матеріалу порошку з матеріалом деталі, що оброблюється.

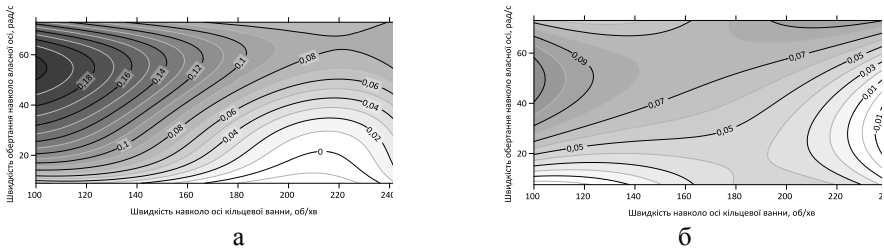


Рис. 2 Різниця в залежностях зміни значень ефективного моменту, отриманих при  $V=0,24$  і  $V=0,17$  Тл при обробленні бронзи порошком Полімам-М з фракцією а – 200/100 мкм, б – 400/315 мкм

Для оброблення феромагнітної сталі (рис.4) характерне збільшення впливу магнітної індукції при низьких значеннях швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни та високих значеннях швидкості обертання навколо власної осі. У порівнянні з немагнітними металами, сталь має більший вплив магнітного поля на ефективний момент, це зумовлено магнітними властивостями сталі.

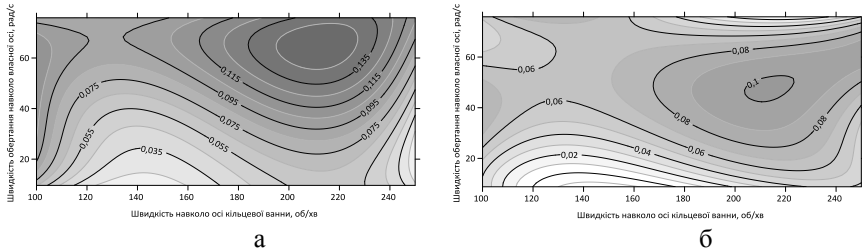


Рис. 3 Різниця в залежностях зміни значень ефективного моменту, отриманих при  $V=0,24$  і  $V=0,17$  Тл при обробленні титану порошком Полімам-М з фракцією а – 200/100 мкм, б – 400/315 мкм

Встановлено, що збільшення розміру зерен порошку при обробленні сталі сприяє зростанню впливу магнітної індукції на ефективний момент, а при обробленні немагнітних матеріалів – зменшенню. Таке явище можна пояснити магнітними властивостями порошку - більшою силою, з якою відбувається притягнення груп більш крупних зерен до поверхні феромагнітної деталі.

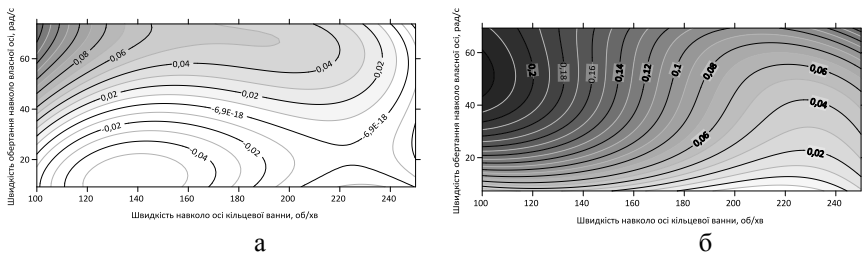


Рис. 4 Різниця в залежностях зміни значень ефективного моменту, отриманих при  $V=0,24$  і  $V=0,17$  Тл при обробленні сталі порошком Полімам-М з фракцією а – 200/100 мкм, б – 400/315 мкм

**Список посилань**

1. Майборода, В. С. Магнитно-абразивная обработка деталей сложной формы [Электронный ресурс]: монография / В. С. Майборода, И. В. Слободянюк, Д. Ю. Джулий ; М-во образования и науки Украины, Нац. техн. ун-т Украины “Киев. политехн. ин-



т им. И. Сикорского” – Электронные текстовые данные (1 файл: 10,75 Мбайт). – Житомир : Рута, 2017. – 272 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27484>

2. Заставський К.О. Дослідження силових характеристик взаємодії інструменту з деталлю при магнітно-абразивному обробленні у кільцевій ванні: магістерська дис. :131 Прикладна механіка / Заставський К.О. – Київ, 2019. - 111с.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ**

*Мироненко Є.В., д.т.н., проф., Гузенко В.С., к.т.н., проф., Муляр І.С., магістр, Гончаренко О.О., магістр, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ*

У сучасному важкому машинобудуванню спостерігається тенденція до значно збільшення швидкості різання за рахунок використання нових інструментальних матеріалів зі зносостійкими покриттями, що призводить до збільшення вібрацій і, як наслідок, зниження продуктивності. З одного боку порівняно масивні рухомі вузли і деталі, низька жорсткість вузлів і контактів в з'єднаннях, невідповідність центрів жорсткості з центрами мас визначають необхідність розгляду багатомасової системи з багатьма ступенями свободи. З другого боку, характер роботи при торцевому фрезеруванні, нестанціонарність складових різальної сили за величині, напрямку і руху точки прикладення сили різання під час фрезерування, що при певних комбінаціях їх параметрів обумовлює повторну пульсацію зазорів в кінематичних парах.

Одним зі способів підвищення продуктивності чорного торцевого фрезерування є збільшення перетину зрізу за рахунок зміни традиційного розподілу цього зрізу між зубами. У роботі вивчається завдання підвищення продуктивності за рахунок

## **Науковий напрям:**

### ***Процеси механічної обробки, верстати та інструменти***

---

зниження рівня коливань за допомогою використання фрез з поділом зрізу за ширині.

Автоколивання в процесі різання залежать від численних параметрів і їх прояв пов'язаний зі збігом однієї з власних частот системи з частотою збудливих факторів. Автоколивання мають значний вплив на всі параметри процесу різання і в першу чергу на силу різання, яка залежить від перерізу зрізаного шару, умов пластичної деформації матеріалу, тобто зовнішнього і внутрішнього тертя в зоні різання. Таким чином, пульсуючі навантаження, створюючи невеликі амплітуди вібрацій (~10 мкм), полегшують пластичну деформацію матеріалу в області стружкоутворення, послаблюють адгезійне зчеплення, а, отже, силу і коефіцієнт тертя на контактних поверхнях.

Виходячи з фізичної моделі виникнення автоколивань, можна запропонувати наступний спосіб управління інтенсивністю автоколивального процесу. Це метод поділу зрізу по ширині на кожен зуб, який забезпечує як зміну товщини перетину зрізу на окремих частинах зуба, так і зміну глибини різання окремими зубами.

Оскільки динамічна характеристика різання прямо пропорційна силі різання, а крім того, спостерігається відставання сили різання зі збільшенням товщини перетину зрізу по експоненціальному закону з постійною часу стружкоутворення, то можна шляхом поділу перетину зрізу по ширині контролювати інтенсивність вібраційного процесу.

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРЕБ В ЗАСТОСУВАННІ СУЧАСНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ**

*Николайчук М. М., студент, Карпик Р. Т., к.т.н. доцент, Івано-франківський національний технічний університет нафти і газу*

Процес різання металів полягає в зрізанні з заготовки шару металу у вигляді стружки з метою отримання деталі необхідної форми, розмірів і шорсткості оброблених поверхонь [1]. Різання металу є собою складним фізичним процес, супроводжуваним поруч явищ: виділенням теплоти, виникненням сил опору різанню і зовнішнім тертям [2,3].

Теплота виділяється внаслідок перетворення механічної роботи, що витрачається на різання, теплову енергію та енергію зовнішнього тертя дотичних поверхонь різця, стружки і оброблюваної деталі. Переважна маса теплоти несеться стружкою, решта її кількість надходить в різець, оброблювану деталь і незначна частина йде в навколишній простір. Тим не менш в зоні різання створюється висока температура, яка спільно з тертям сприяє зносу різця. Для захисту різця від шкідливого впливу зазначених явищ застосовують різні змащувально-охолоджуючі рідини, відбирають теплоту із зони різання та зменшують зовнішнє тертя [2, 3, 4].

Матеріал, що обробляється надає значний опір різанню. Сили цього опору деформує різець, деталь, частини верстата, погіршуючи точність обробки. На її подолання витрачається електроенергія, споживана двигуном верстата. З метою зменшення сили різання різця надають певну геометричну форму відповідно до умов роботи. Крім того, для забезпечення високих ріжучих властивостей різці й інші інструменти виготовляються із спеціальних інструментальних матеріалів, здатних тривалий час протистояти важким умовам різання металів [1,3].

## **Науковий напрям:**

### ***Процеси механічної обробки, верстати та інструменти***

---

З використанням сучасних інженерних систем динамічного моделювання процесів різання таких як DEFORM, ABAQUS, LS DYNA, Advantage і ін. можна побачити напружено деформований стан в процесі обробки, температурні поля, зміну сил різання, крутні моменти і ін.. Отримані дані дозволяють конструкторам при проектуванні різальних інструментів проектувати конструкцію таким чином, щоб зменшити на інструмент і деталь залишкові напруження, можливі деформації та переміщення при довготривалому навантаженні. А також можливо збільшувати стійкість різального інструменту дослідивши вплив різних матеріалів різальної пластини при обробці матеріалу заготовки. Тому, що при зміні наприклад твердості різальної пластини змінюється стійкість. Якщо знизити оптимальну допустиму твердість то можливе швидке затуплення різальної кромки та виникнення явища адгезії яке погіршуватиме якість обробки і може призвести до руйнування інструменту. А якщо збільшити то зросте крихкість яка в свою чергу призведе до відкришування різальної кромки. Таким чином конструктор має можливість знайти точну оптимальну твердість і врахувати при проектуванні.

Моделювання процесу різання відбувається з врахуванням не тільки властивостей заготовки і різального інструменту. А також режимів різання які можна змінювати і спостерігати на процес обробки. Це дозволить удосконалити конструкцію верстата зменшивши вібрації, коректувати технологію та збільшити якість і точність обробки.

Описані обґрунтування можна застосовувати на машинобудівних виробництвах.

### **Список посилань**

1. Косиловой А.Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

2. Аваков А.А. Физические основы теории стойкости режущих инструментов. / А.А. Аваков – М.: Машгиз, 1960 – 308 с.

3. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения.-Мн.: Университетское, 1991.- 397 с.

4. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні : Навчальний посібник. - К.: Вища школа, 1993. - 414 с.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РІЗАННЯ В СИСТЕМІ DEFORM-2D**

*Проданчук О.О., студент, Ступницький В.В., докт. техн. наук,  
професор, Національний університет «Львівська політехніка»*

Основним об'єктом проведеного дослідження є процес високошвидкісного різання (High-Speed Cutting). Особливість HSM обумовлюється структурними змінами матеріалу в зоні стружкоутворення. З літературних джерел [1][2], відомо, що при підвищенні швидкості деформаційних процесів сили різання спочатку зростають, а потім, з досягненням певної температури, починають суттєво знижуватися. Час контакту різального леза з заготовкою і стружкою дуже малий, а швидкість відриву стружки настільки висока, що велика частина тепла, що утворюється в зоні різання внаслідок фрикційних процесів «стружка-інструмент», поширюється лише на стружку, а заготовка і інструмент не встигають нагріватися. Дослідженню цього явища присвячена дана робота.

Обраний метод дослідження полягає в аналізі результатів імітаційного моделювання в системі реологічного моделювання Deform 2D. Було проведено порівняння найбільш важливих параметрів процесу різання за різних швидкостей та геометрії різального інструменту. Проаналізовані параметри напружено-деформованого та термодинамічного стану заготовки та

## Науковий напрям:

### Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

інструменту за умов моделювання швидкості різання: 100 м/с; 800 м/с; 1600 м/с. Крім того, були проведені імітаційні дослідження зношування інструменту різної конструкції в умовах високошвидкісного різання.

Результати імітаційного дослідження силових параметрів високошвидкісного різання наведені на Рис.1. Аналіз графічних залежностей показав, що при швидкості  $V=1600$  м/хв сила різання приблизно на 17% перевищує величину, отриману при моделювання процесу різання з швидкістю  $V=800$  м/хв. Якщо ж порівнювати дані величини з значеннями, отриманими при швидкості  $V=100$  м/хв, то різниця складає понад 23% та 30% відповідно.

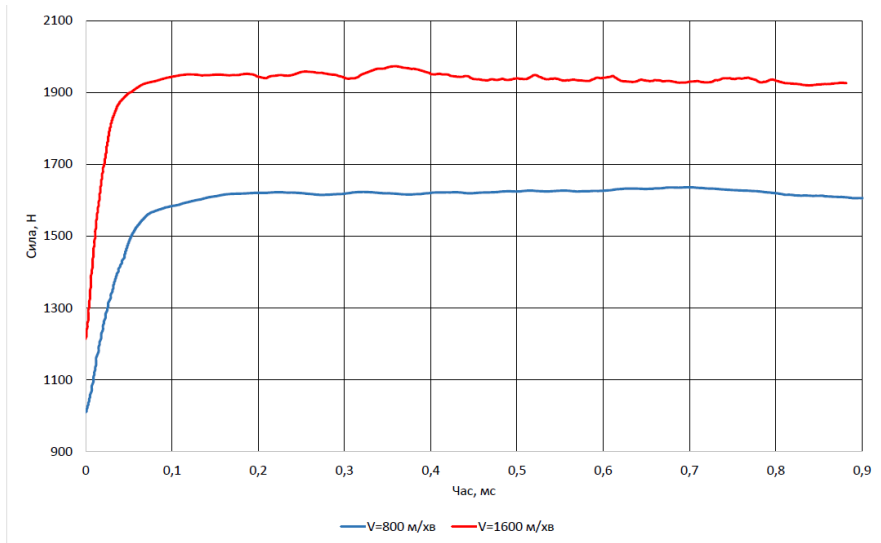


Рис. 1. Сила різання при  $V=800$  м/хв та  $V=1600$  м/хв

Можна зробити висновок, що зростання сили різання при застосуванні високошвидкісного оброблення має місце, але не пропорційне зростанню швидкості різання (в даному випадку в 8 та 16 разів). Щодо зміни температури у зоні різання, то результати є наступні: при різанні сталі AISI 1020 (аналог сталі

20) з звичайною швидкістю середньостатистична температура різання становить  $600^{\circ}\text{C}$ , а при  $V=800$  м/хв та  $V=1600$  м/хв -  $1150^{\circ}\text{C}$  та  $1400^{\circ}\text{C}$ , відповідно (тобто на 550 та 800 градусів більше). Таким чином, особливі вимоги до термостійкості інструмента повинні бути витримані. Також велике значення має час виходу на усталене значення сили різання за різних швидкостей. Таким чином, час урівноваження при  $V=100$  м/хв варіюється між 3-4 мс, тоді як для  $V=800$  м/хв та  $V=1600$  м/хв дана величина приблизно однакова і варіюється між значеннями 0,06-0,1 мс.

З метою аналізу впливу конструкції передньої поверхні різального інструменту було проаналізовано 2 конструкції інструмента. Результати дослідження наведені на рис. 2, де Тип 1 – стандартна конструкція, а Тип 2- модифікована конструкція. Різниця величин зношування складає понад 12%, що свідчить про суттєву ефективність застосування інструменту з меншою поверхнею контакту.

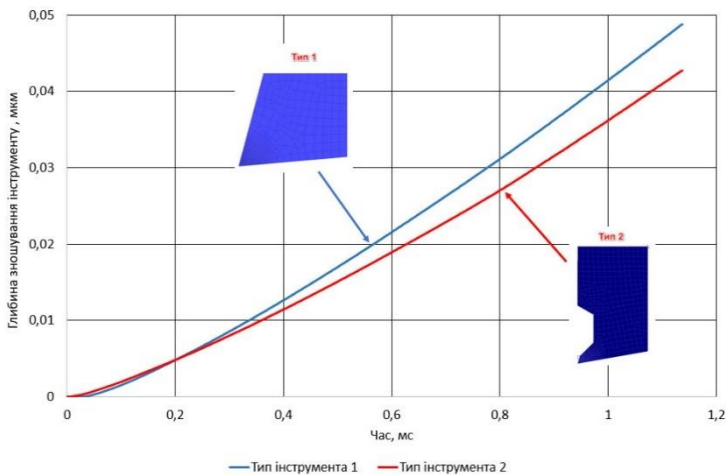


Рис.2. Графік залежності глибини зношування інструменту від його конструкції

**Список посилань**

1. Г.М. Виговський, к.т.н., доц. Технологічне забезпечення високошвидкісної обробки деталей. Вісник ЖДТУ.2015.№4(75).
2. Pasko, R. - Przybylski, L. & Slodki, B. High speed machining (HSM) – The effective way of modern cutting/ Cracow University of Technology, Production Engineering Institute, January 2002.
3. Витгингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // САПР и графика, - 2002. – №11.
4. Болотов М.А., Дмитриев В.Н. Высокоскоростная и высокопроизводительная обработка (режимы, характеристика станков, инструмент) // Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010.
5. King R.I. Product design implications of new higspeed milling techniques / R.I. King, J.C. McDonald // Trans. ASME. – 1976. – № 4. – Pp. 1170–1175. – “Repr”. – “ASME Pap.”. – 1976. – № DE–22.
6. High Speed Cutting (HSC). MARWIN cutting tools/ 2001.

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ  
ВІБРОСТІЙКОСТІ ФРЕЗЕРНОГО СУПОРТА**

*Пронюк І. В., студент гр ПМ-19-1К, Борущак Л. О., к.т.н., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Україна*

Пакет прикладних комп'ютерних програм Solid Works дозволяє не тільки створювати віртуальні 3D моделі різноманітних конструкцій, але й виконувати різнопланові дослідження створених об'єктів – статичні, динамічні, термічні, частотні та інші.

На кафедрі комп'ютеризованого машинобудування нашого університету модернізовано вертикально-свердлильний верстат з ЧПК, призначений для свердління отворів у друкованих платах, з переміщенням шпинделя у двох координатах. Суть модернізації полягає у встановленні вертикальних напрямних, вертикального супорта з фрезерною головкою та незалежних приводів подачі на



крокових двигунах у трьох координатах. Завдяки цим доповненням верстат може виконувати фрезерні операції в трьох координатах.

Однак саморобний фрезерний супорт (рис. 1) виявився недостатньо жорстким, і тому на певних режимах обробки фрезерна головка починала вібрувати. Як результат – погана якість обробки.

Для того, щоб зменшити затрати праці на вдосконалення конструкції супорта, ми створили в програмі Solid Works кілька 3D моделей супорта в зборі з фрезерною головкою та обіймою кріплення останньої. Матеріали супорта і обійми – конструкційна сталь і алюмінієвий сплав відповідно. Модель фрезерної головки створена монолітною і повній відповідності маси і габаритів до реального виробу. Було запропоновано три варіанти конструкції супорта – рамка, з кутниками та з ребрами жорсткості вздовж поперечних вертикальних стінок.

Метою дослідження є визначення резонансних частот і максимальної амплітуди вібрації фрезерної головки при обробці. Дослідження виконувались у додатку Simulation вказаної програми.

Для виконання дослідів кріплення супорта було замінено жорстким заземленням (рис. 1) і створено елементну сітку (рис. 2). Оскільки сили при фрезеруванні досить незначні і постійно змінюється величина і напрям рівнодійної, то ними нехтуємо.

Запустивши дослідження, отримуємо значення резонансних частот вузла та максимальні амплітуди його деформацій під час вібрацій (рис. 3).

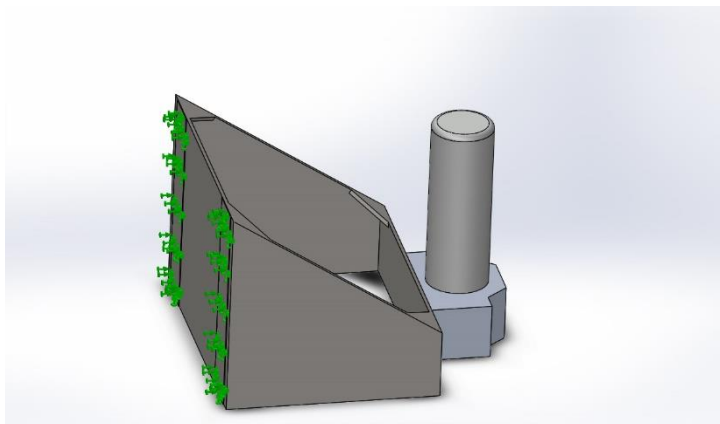


Рис. 1 – 3D модель супорта з защемленням

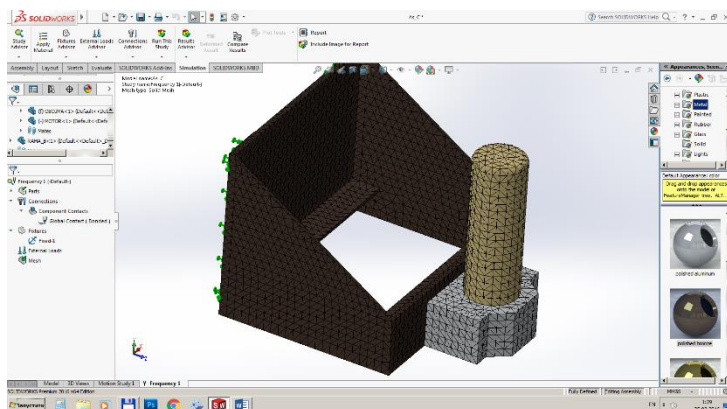
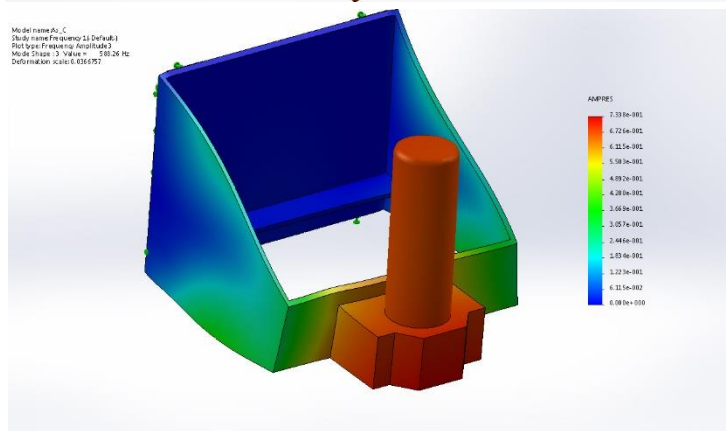
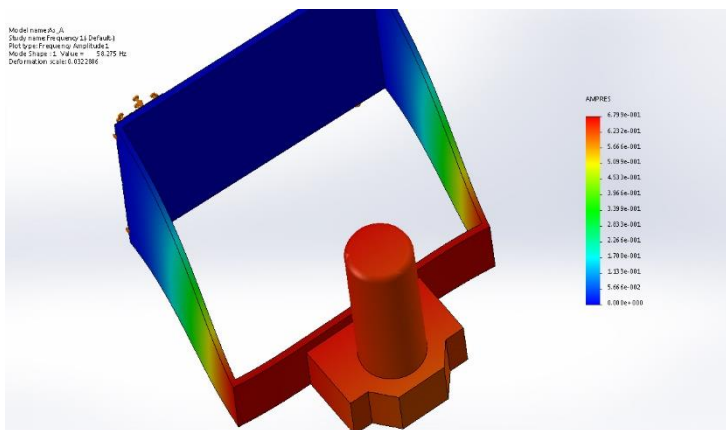
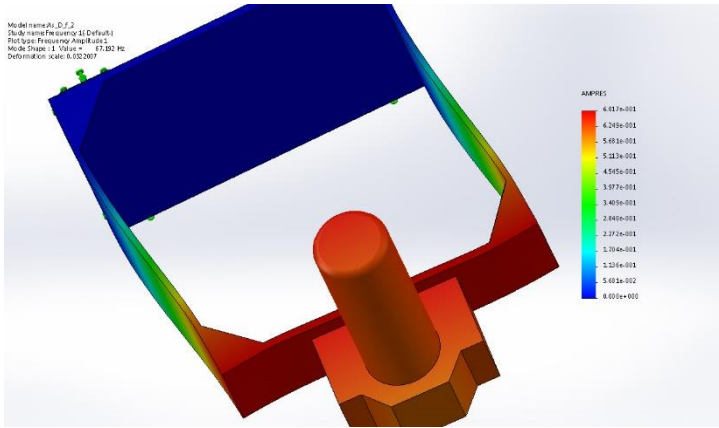


Рис. 2 – Елементна сітка моделі





в)

Рис.3 – Деформація вузла супорта і значення резонансних частот (а, б, в – три варіанти конструкції вузла супорта)

Отримані результати свідчать, що сумарні деформації приблизно однакові, а резонансна частота першої гармоніки знаходиться в межах 58 – 93 Гц.

Отже, збільшення жорсткості вузла супорта шляхом вварювання косинців і перемичок не є ефективним. Тому слід замінити раму суцільним коробом.

Застосування пропонованої конструкції дозволило практично повністю усунути вібрацію під час фрезерної обробки

#### Висновок

Комп'ютерні технології дозволяють виключити хибні конструкції з розробки потрібного вузла

#### Список посилань

1. Дударева Н.Ю. Самоучитель Solid Works 2006. [Текст] / Дударева Н.Ю., Загайко С.А.; – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 336 с.: ил. ISBN 5-94157-732-X
2. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010. -784с

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЦИКЛОЇДАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ БЕЗ ПРОМІЖНИХ ТІЛ КОЧЕННЯ

*Струтинський С. В., д.т.н., доцент, Семенчук Р. В., аспірант,  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря  
Сікорського»*

Розроблена циклоїдальна передача без проміжних тіл кочення є статично невизначеною системою. Для отримання контактних напружень у циклоїдальному зачепленні потрібно розробити математичну модель у спеціалізованому програмному середовищі. Комп'ютерний підхід забезпечує високу точність та пришвидшує аналітичний розрахунок, що дозволить оперативно проектувати високоточні поворотні вузли роботизованих комплексів на базі циклоїдальних передач із необхідними характеристиками. Дослідження, наведені у джерелі [1], дозволяють визначити розподіл сил між елементами передачі. Згідно наведених результатів половина зубів завжди контактує із шестернею. При цьому найбільш навантаженою є лише половина від загальної кількості зубів. Цей тип трансмісій дозволяє витримувати високі перевантаження. Це пов'язано із тим, що весь час у зачепленні знаходиться значна за площею контактна поверхня.

Розглядаючи схему розподілу зусиль, можна записати системи рівнянь статички та визначити сили які діють у зачепленні кожної із пар зубів.

Сила між роликком корпусу та циклоїдним диском розкладалася на горизонтальну та вертикальну складові. Вертикальна складова сили  $F_{Ni}$  обчислюється, виходячи з наступного виразу (рис. 1):

$$F_{NVi} = (c\Delta\beta)ez\sin^2(\delta_i + \gamma_i), N, \quad (1)$$

**Науковий напрям:**

***Процеси механічної обробки, верстати та інструменти***

---

де,  $c$  - це жорсткість колеса;  $\Delta\beta$  – кут зміщення;  $e$  – ексцентриситет;  $z$  - кількість зубців циклоїдного диска (передавальне число циклоїдної передачі);  $\delta_i$  – допоміжний кут;  $\gamma_i$  – кут між силою  $F_{Ni}$  та лінією RM.

Складову ( $c\Delta\beta$ ) з формули (1) - добуток жорсткості колеса на малий кут зміщення представимо у вигляді:

$$(c\Delta\beta) = \frac{T_1}{\sum_i e^2 z \sin^2(\delta_i + \gamma_i)}; \quad (2)$$

Горизонтальна складова сили  $F_{Ni}$  обчислюється по формулі:

$$F_{NHi} = (c\Delta\beta) e z \sin(\delta_i + \gamma_i) \cos(\delta_i + \gamma_i), \text{ Н.} \quad (3)$$

Загальна сила визначається по формулі:

$$F_{Ni} = \sqrt{(F_{NHi}^2 + F_{NVi}^2)}, \text{ Н.} \quad (4)$$

Через складність профілю циклоїдальної передачі ми використали середовище САПР для отримання відповідних результатів, також це дало змогу значно зменшити час аналітичних розрахунків.

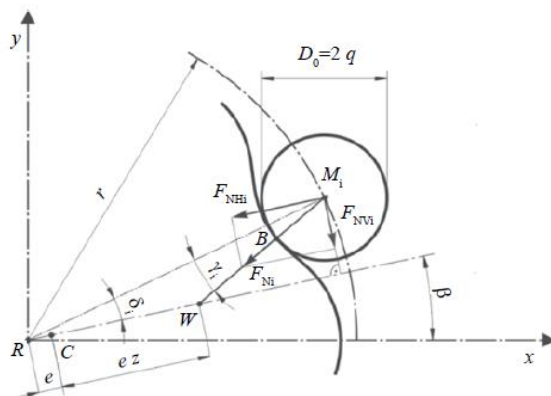


Рис 1. Зусилля між сателітом та диском.

Розрахункову модель було спрощено, відсутній ексцентриковий вал, а також замість підшипникового вузла використано модель підшипникового зв'язку. Ці спрощення істотно не впливають на точність розрахунку та дослідження безпосередньо контактних напружень у циклоїдальному зачепленні. У розробленій моделі було використано розрахунковий момент передачі  $T_1$ , кН. За допомогою сучасного програмного забезпечення САЕ отримано результати, які показують усі переваги, недоліки та дають змогу продовжити дослідження та вдосконалити механізм використовуючи різні типи матеріалів та спеціальні технічні рішення.

Результати наведені на рис. 2. де показують зони контактних навантажень та їх величини, зокрема визначено концентратори навантаження.

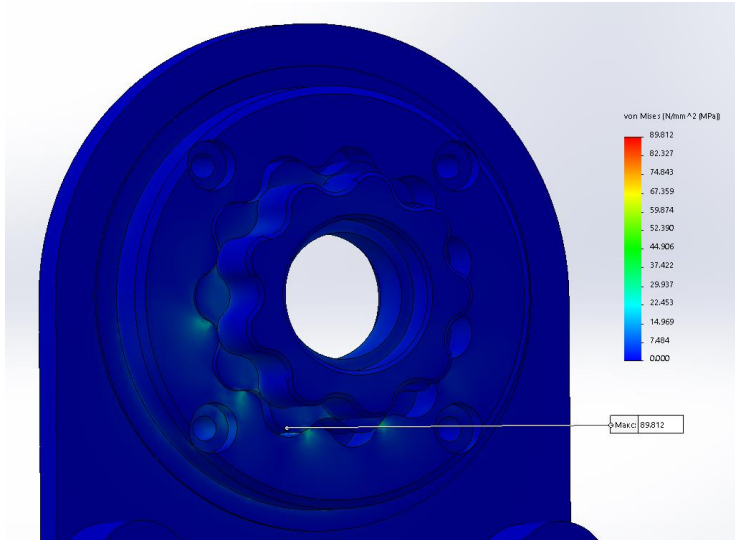


Рис 2. Напружено-деформована модель циклоїдальної передачі без додаткових тіл кочення

Проведені дослідження напружено-деформованого стану дозволяють спростити аналітичні розрахунки та прискорити проектувати поворотних вузлів роботизованих комплексів, що використовують циклоїдальні передачі. На основі отриманих результатів розроблена конструкція циклоїдальної передачі, що є складовою частиною поворотного вузла. Вона забезпечує високе передавальне відношення, є компактною та має високу несучу здатність та точність позиціонування.

### Список посилань

1. *Tsetserukou D., V. Basinuk (2012), Contact force distribution among pins of trochoid transmissions, Department of vibroprotection of machines, Institute of Mechanics and Reliability of Machines of the National Academy of Sciences of Belarus (IMRM of NAS of Belarus), Akademicheskaya 12, 220072 Minsk, Belarus*



## ОЦІНКА СТАЛОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ПРИ ТОКАРНОМУ ОБРОБЛЕННІ

*Трибрат К. О., аспірант, Петраков Ю. В., докт. техн. наук,  
професор, Національний технічний університет України «КПІ ім.  
Ігоря Сікорського»*

Одним з поширених методів прогнозування стабільності операції різання є використання діаграм сталості, так званих «пелюсток», що відображають область сталості в координатах «глибина різання – частота обертання шпинделя» [1]. Серед причин виникнення вібрацій в технологічних обробляючих системах при різанні вважаються: нелінійність характеристик процесу різання, процесу тертя, оброблення за слідом тощо [2]. Такі роботи включають в себе вивчення демпфірування як механізму, що знижує вірогідність появи вібрацій [3], моделювання демпфірування [4], аналіз стійкості демпфірування [5] та ін. Всі дослідники визначають, що динамічні явища верстатів викликаються взаємодією пружної системи верстата з процесом різання. Таким чином, ця взаємодія є генератором і джерелом динамічних явищ в пружній системі, що викликає періодичне відносне зміщення інструменту і деталі.

В попередніх дослідженнях авторів [6] було доведено, що головною причиною виникнення коливань в технологічній обробній системі (ТОС) є оброблення за слідом, яке притаманне всім процесам різання. Для моделювання процесів, що відбуваються у ТОС у часі з урахуванням оброблення за слідом була створена прикладна програма, головний інтерфейс якої зображено на рис. 1.

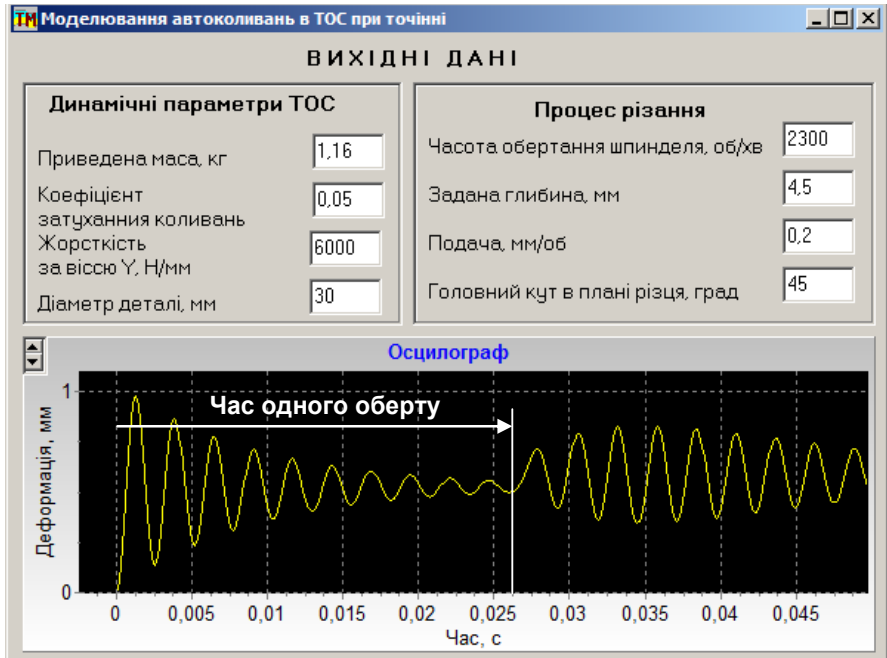


Рис. 1 – Головний інтерфейс програми моделювання при  $h = 3\text{мм}$

Процес різання представлений за однією координатою з урахуванням одно масової динамічної системи. Моделювання виконується чисельним методом за процедурою Рунге-Кутта 4-го порядку для отримання реакції системи у часі, розрахунок амплітудно-частотної характеристики також здійснюється чисельним методом за спеціальним алгоритмом.

Оцінку сталості процесу різання в ТОС із заданими параметрами можна проводити за запропонованим новим критерієм для систем з функцією запізнення [13], а можна за еволюцією коливань в системі за часом. Таким чином була побудована діаграма сталості, так звані Stability Lobes Diagram (рис.2).



Рис. 2 – Діаграма сталості ТОС

На рис.3 показані осцилограми процесів в ТОС з параметрами, що представлені на інтерфейсі рис.1 при режимах різання, які відповідають точкам А, В і С на діаграмі сталості.

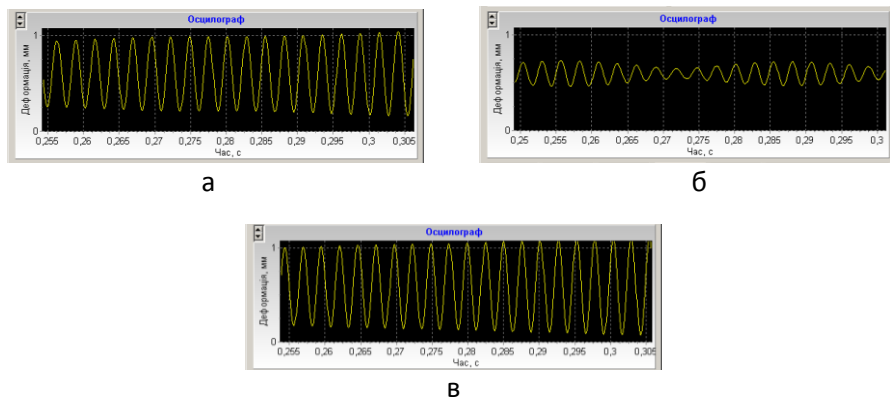


Рис. 3 – Результати моделювання за режимами різання що відповідають: а) – глибина 4,5мм, частота обертання шпинделя 2300 об/хв.; б) – глибина 4,5мм, частота обертання шпинделя 2500 об/хв.; в) – глибина 4,5мм, частота обертання шпинделя 2700 об/хв.

Режими різання, що відповідають параметрам, які розташовані під графіком діаграми забезпечують сталу роботу, а над графіком – несталу.

### **Висновок**

Моделювання в створеній прикладній програмі дозволяє визначити графік діаграми сталості в координатах «глибина різання – частота обертання шпинделя» і призначати режим різання, що забезпечує стале оброблення.

### **Список посилань**

1. Eynian M. Frequency Domain Study of Vibrations Above and Under Stability Lobes in Machining Systems [Електронний ресурс] / Mahdi Eynian // Elsevier. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711400211X>.

2. Корендясев Г.К. О физических моделях возбуждения автоколебаний при резании. // Вестник научно-технического развития, №7 (71), 2013 с. 15-22. / <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=701> .

3. Ahmadi K., Ismail F. Analytical stability lobes including nonlinear process damping effect on machining chatter. // International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 51, Issue 4, 2011, p. 296-308. / <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695510002282>

4. Ahmadi K., Ismail F. Stability lobes in milling including process damping and utilizing multifrequency and semi-discretization methods. // International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 54, 2012, p. 46-54. /

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695511002203>

5. Altintas Y. Manufacturing automation : metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design // Cambridge University Press, New York, NY 10013-2473, USA 2012, 366p. / <https://www.cambridge.org/core/books/manufacturing-automation/458526DE5ED43CC0FE1AEB19A80DEC06>

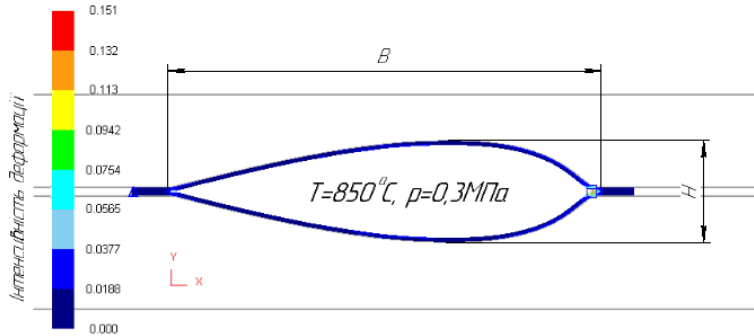
6. Петраков Ю.В., Трибрат К.О. Моделювання автоколивань при токарному обробленні // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2019. Випуск № 66 с. 263-271 / <http://lutsk-ntu.com.ua/uk/mizhvuzivskiy-zbirnik-naukovi-notatki-za-napryamkom-inzhenerna-mehanika-vidpovidalnyi-redaktor-dtn>

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ФРАГМЕНТУ ПОРОЖНИСТОЇ ЛОПАТКИ БЕЗ НАПОВНЮВАЧА**

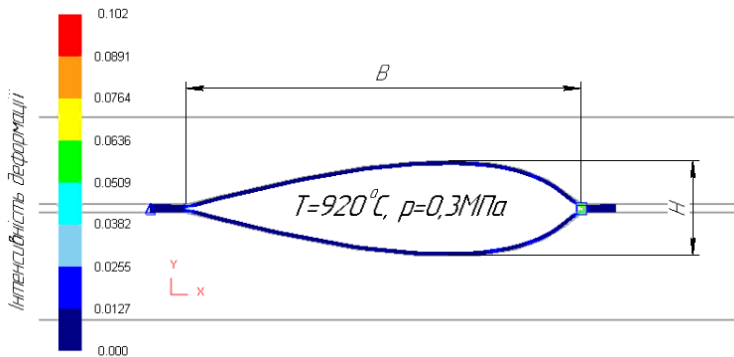
*Тітов В.А., док.тех.наук, проф, Гараненко Т.Р., старший викладач,  
Слінько Н.О., студент, Національний технічний університет України  
«КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

Ефективним вирішенням актуальних для двигунобудування завдань є створення сімейства широкохордних лопаток вентиляторів ТРДД із застосуванням нових матеріалів і технологій, що включають оригінальні конструкторсько-технологічні рішення. Порожниста лопатка вентилятора є ключовим елементом конструкції двигуна нового покоління [1, 2, 3].

Чисельний розрахунок процесу формоутворення фрагменту порожнистої лопатки виконано з використанням САД/САЕ DEFORM-2D. При формоутворенні фрагменту без наповнювача моделювалися особливості поведінки обшивок при отриманні форми поверхні порожнистої лопатки. На заповнення форми впливають технологічні параметри (температура, тиск) та властивості матеріалу. В якості вихідної заготовки приймалась двошарова заготовка складена з двох листів титанового сплаву, що скріплені в крайових зонах. Між листами заготовки відтворювали тиск газового середовища для навантаження при пластичному формоутворенні.



а)



б)

Рис. 1 - Формоутворення фрагменту порожнистої лопатки без наповнювача: а), б) – фрагмент порожнистої лопатки після формоутворення

На основі моделювання процесу формоутворення фрагменту порожнистої лопатки з двохшарової заготовки показано, що процес формоутворення проходить стало. Обшивки порожнистої лопатки в довільному перерізі часу мають плавну знакопостійну форму. При достатній величині тиску та часу деформування приймають форму робочої поверхні матриць. Максимальна величина напружень та деформацій розтягу (потоншення) обшивок виникають в місці максимальної величини висоти поперечного перерізу. Мінімальна величина деформації

розтягування (потоншення) відповідає місцю закріплення заготовки. Максимальні деформації обмежують процес деформації.

### **Список посилань**

Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть 1 / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко и др. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. – 420 с.

Машошин О.Ф. Рабочие лопатки авиационных ГТД: конструкции, прочность, эксплуатация / О.Ф. Машошин, Б.А. Чичков. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 80 с.

Pat. 6739049 United States Patent, Int. Cl.<sup>3</sup> B 23 P 15/00. Method of manufacturing an article by diffusion bonding and superplastic forming /Stephen Nicholson; proprietor ROLLS-ROYCE plc London - № 0754586; date of filling 10.02.2003; date of publication 25.05.2004.

## **ВИКОРИСТАННЯ ВІБРОСТІЙКОЇ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗТОЧУВАННЯ ОТВОРІВ НА ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ.**

*Хорошайло В. В., канд. техн. наук, доцент, Ємельянова Є. С.,  
магістр, Донбаська державна машинобудівна академія,  
м. Краматорськ*

Досягнення високої продуктивності розточування при одночасному забезпеченні необхідної точності й шорсткості обробленої поверхні стримується наявністю вібрацій, що виникають у процесі різання. Основними причинами автоколивань при розточуванні є наявність координатного зв'язку в підсистемі «деталь – інструмент», нестабільність сили різання і її фазове відставання від товщини зрізу. При цьому автоколивання ініціюються, як правило, найбільш слабкою ланкою технологічної системи, якою при розточуванні є

різальний інструмент. На підставі досліджень характеристик розточувальних різців при обробці отворів на токарних верстатах встановлено, що зі збільшенням вильоту інструмента із різцетримача істотно підвищується величина прогину державки під дією сили різання і як наслідок критично збільшується амплітуда коливань різальної кромки різця.

Аналіз літератури в області досліджень вібрацій при обробці розточуванням показує, що існують два основні напрями пошуку рішень для зниження рівня коливань: підвищення жорсткості та демпфування різального інструменту. На підставі цього пропонується використання вібростійкої інструментальної системи, яка утворює рухому опору розточувальному різцю. Конструктивно це вирішується тим, що державку розточувального різця охоплює скоба, яка спирається на оправку встановлену в центрах. При цьому різець повздовжньо переміщується разом з опорою. Таким чином різець замість консольного положення має двохопорне, що істотно збільшує його жорсткість при розточуванні.

Розроблена інструментальна система може використовуватися для розточування наскрізних отворів діаметром 150–500 мм, завдовжки 100–400 мм у деталях класу втулок при обробці на середніх і великих токарних верстатах як універсальних, так і оснащених системою ЧПК.

З урахуванням підвищення жорсткості розточувальних різців при обробці з використанням інструментальної системи рекомендується вводити нові коефіцієнти на подачу, які залежать від співвідношення вильоту й параметрів перерізу державки різця, порівняно з тими самими коефіцієнтами для розточування різцями, консольнозакріпленими в різцетримачі. Це дозволить призначати більш високі подачі і досягти підвищення продуктивності обробки.

Аналіз розробленої тривимірної моделі показує поліпшення динамічних характеристик процесу розточування за рахунок застосування вібростійкої інструментальної системи. Зменшення



рівня коливань при розточуванні дозволяє досягти високої продуктивності обробки при одночасному забезпеченні необхідної точності і якості обробленої поверхні.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ НА ПРОЦЕС ОБРОБЛЕННЯ**

*Чорний І.І., аспірант, Кореньков В.М., к.т.н., доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Дослідження динамічної поведінки технологічної оброблювальної системи є одним із можливих варіантів покращення якості деталей та зменшення затрат пов'язаних з їх виготовленням. Тому у сьогоденні з'являється все більше і більше нових технологій, які потребують врахування динаміки процесу оброблення. Використовуючи різні фактори, такі як жорсткість верстату, можна досягнути оптимізації процесу різання та забезпечити динамічну стійкість процесу оброблення [1,2].

Для постійної діагностики процесу різання у реальному часі було обрано проведення безперервного вібраційного аналізу, що у свою чергу дає можливість виявляти ситуації, що є недопустимими для процесу виготовлення деталі та використовуючи дану інформацію змінювати параметри оброблення для стабілізації процесу. За допомогою даного аналізу можна якісно оцінити зону контакту різання у момент оброблення.

Першим етапом у розробці такої системи є визначення математичної моделі залежності процесу оброблення та динамічних характеристик верстату. Дана модель повинна корегуватись у відповідності до отриманих даних у результаті проведення динамічного моніторингу процесу, та враховуючи отримані дані змінювати параметри призводячи до

## Науковий напрям:

### Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

стабілізування процесу і відповідно забезпечення високих показників якості та точності поверхні. Для вирішення даної проблеми потрібно врахувати багато факторів таких як: інструментальний, тепловий, динамічної поведінки, надійності обладнання та зовнішні чинники. У протизагу традиційному процесу обробки, даний процес постійно перебуває під контролем системи датчиків що дає змогу кількісно оцінити його продуктивність та проводити оптимізацію у реальному часі.

Оскільки процес різання супроводжується імпульсними вібраціями, то для отримання частотних характеристик динамічної системи є доцільним використовувати дані акселерометра.

Пристрій що було розроблено для проведення експерименту, базується на основі акселерометра ADXL34 [3]. На рис.1 приведено реакцію системи на одиничний імпульс.

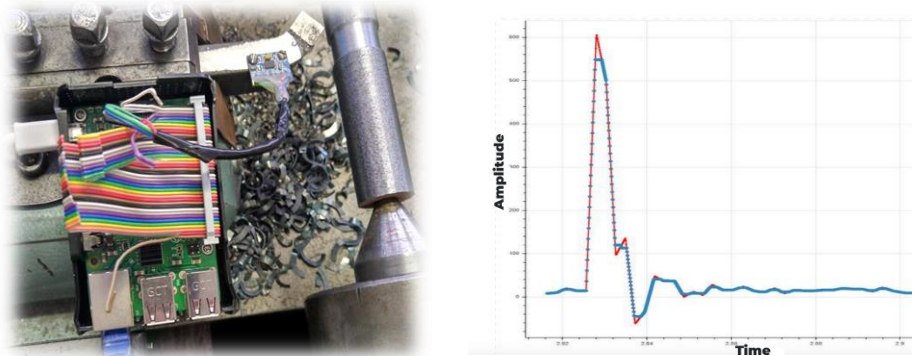


Рис.1 – Пристрій для вимірювання та вимірний аналоговий сигнал реакції системи на одиничний імпульс

Використовуючи дані що були отримані у попередньому експерименті була визначена частота власних коливань по осі Y та Z, використовуючи перетворення Фур'є. Спектри отримані внаслідок даного перетворення показали що частота власних коливань для осі Y становить 140Гц., а для осі Z – 68Гц. рис.2.

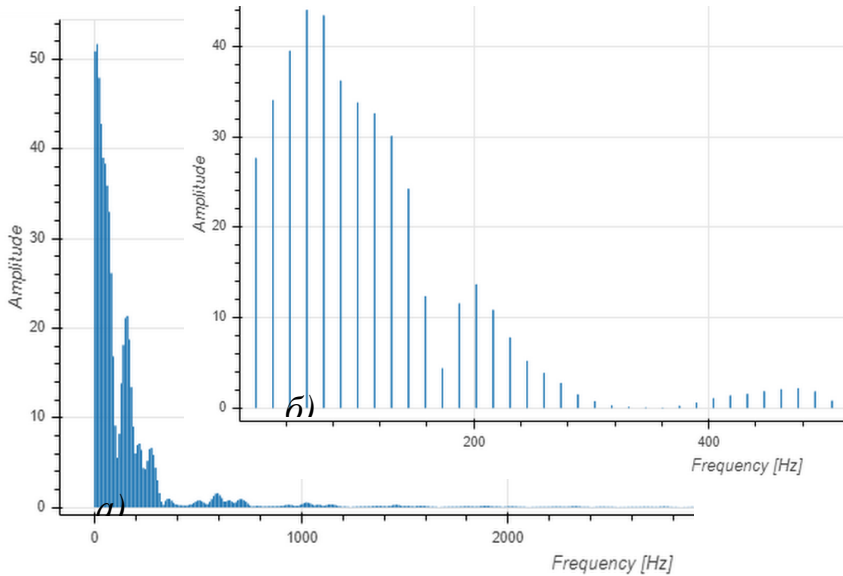


Рис.2 – Спектр коливань по осям Y (а) та Z (б)

Наступним етапом було визначення декременту затухання, для чого було побудовано експоненціальну криву через вершини піків затухаючого коливання, отриманого внаслідок одиничного збурення системи. Дані розрахунки було проведено для осі Y, для якої  $\lambda_y = -124.1$  та осі Z для якої  $\lambda_z = -35.2$ . Для вимірювання жорсткості системи було проведено експеримент з впливом на неї відомих за величиною сил в напрямку осі Y та Z.

Визначені у ході дослідної частини параметри, було підставлено в математичну модель процесу різання, що дало можливість провести відповідне моделювання та визначити вплив динамічних характеристик системи на процес оброблення.

**Список посилань**

1. Петраков Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник. – Київ: УкрНДІАТ, 2003. – 383 с.

2. Чорний, І. І. Визначення динамічних характеристик технологічної обробної системи при фрезеруванні: магістерська дис.: 131 Прикладна механіка. Технології машинобудування – Київ, 2019. – 92 с. URI (Уніфікований ідентифікатор ресурсу): <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31113>

3. Кореньков В.М, Чорний І.І. Сікайло М. Визначення динамічних характеристик технологічної обробної системи / Матеріали XVI Міжнародна научна практична конференція нашої історії дослідження і розвитку – 2020 (15 - 22 лютого 2020, г. Софія). - «Бял ГРАД-БГ ОДД». С.19-22 <http://www.rusnauka.com/books/2020-01-13-A4-tom-10.pdf>

**МОДЕЛЮВАННЯ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ОТВОРУ**

*Шихалєєв М.М., аспірант, Медведєв В.В., кан. техн. наук, доцент, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*

Розточування отворів глибиною понад 500мм у жароміцних сталях завжди потребує великих виставів шпиндельного вузла. А це, в свою чергу, провокує підвищенні вібрації технологічної системи. Для контролю та зменшення амплітуди цих коливань потрібно виявити особливості механізму виникнення коливань при розточуванні глибоких отворів.

Регенеративні самовиникаючі коливання при механічному обробленні різанням виникають в результаті взаємодії заготовки і ріжучої частини різального інструменту. Сили різання при

розточуванні розкладаються на складові радіальну ( $F_r$ ), тангенціальну ( $F_t$ ) і силу подачі ( $F_f$ ) (рис.1). При цьому основний вклад в генерування коливальних при розточуванні вносить радіальна сила різання розточування  $F_r$  [1]. Такі коливання впливають на якість поверхні, а також продуктивність оброблення.

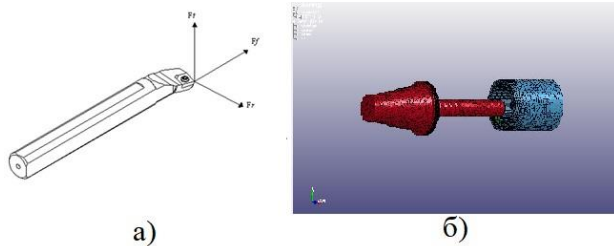


Рис.1 – Моделювання розточування отворів. а) складові сили різання; б) комп’ютерна модель розточування в середовищі LS-Dyna.

Для моделювання контактної взаємодії при різанні використано високо нелінійний вирішувач LS-DYNA [2]. В якості матеріалу інструмента використано інструментальну сталь. Оброблюваний матеріал - жароміцний нікель-хромовий сплав Inconel 718, який застосовується в авіації. Механічні характеристики матеріалів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Механічні характеристики матеріалів, що використані при моделюванні

Матеріал	Механічні характеристики			
	Густина, г/см <sup>3</sup>	Модуль Юнга, Гпа	Коефіцієнт Пуассона	Модуль пружності, кН/мм <sup>2</sup>
Inconel718	8,2	165	0,3	205
Сталь	7,85	200	0,3	180

В якості моделі матеріалу заготовки обрано модель Plastic-kinematic. Модель матеріалу інструменту абсолютно тверде тіло [3]. Контактна взаємодія заготовки та інструменту утворюється

через тип контакту *Eroding\_surface\_to\_surface*, який дозволяє моделювати видалення елементів з поверхонь взаємодіючих елементів. Швидкість обертання заготовки складає 300 рад/с.

На підприємстві було виявлено, що перехідні процеси в деяких випадках дають найбільший вклад в амплітуду коливань системи. Тому велику увагу при моделюванні було присвячено моменту врізання інструменту. На рис.2. видно, що при врізанні інструменту крім плавного наростання сил різання відбуваються високочастотні коливання з амплітудами 1-3 Н.

Результуюча сила різання має виражені гармонічні коливання на низьких частотах, що видно на рис. 3. Максимальний сплеск амплітуди відбуваються у період з 0,9 до 1,3 сек. від початку різання. Рекомендується через режими різання проводити плавне наростання сил різання у цей час. Високочастотні коливання, які були незначними у розрізі кожної складової сил різання, за рахунок підсумовування та коливань державки відіграють вирішальну роль у коливаннях моменту.

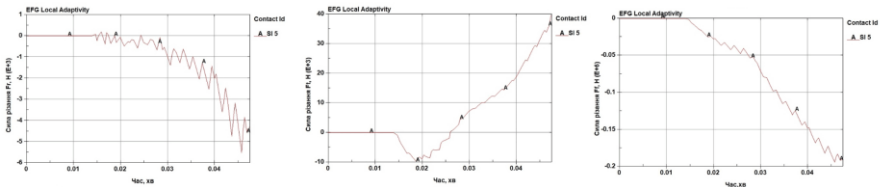


Рис. 2. - Сили різання при розточуванні.

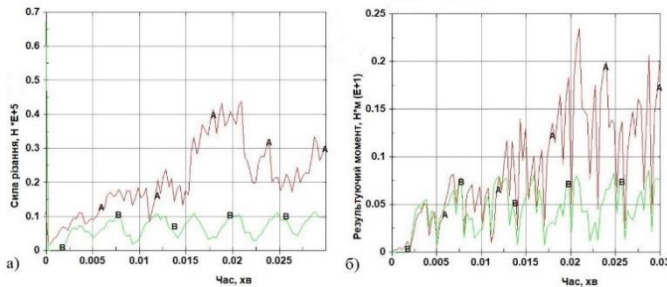


Рис. 3 – Залежність результуючої сили різання. а) припуск 5 мм на сторону, б) припуск 1 мм на сторону.

Як видно, амплітуда коливань сил різання та моменту різання при моделюванні залежить від глибини різання. А амплітуди коливань та їх форма значно різняться.

**Висновки.** Сили різання при взаємодії інструмента і заготовки при розточуванні активно впливають на генерацію самовиникаючих коливань, що, в свою чергу, залишають небажані сліди на поверхні обробленої деталі - впливають на якість поверхонь. Найбільший вплив на генерацію регенеративних коливань при розточуванні має радіальна складова сили різання. Комп'ютерне моделювання дає можливість оцінки сил різання при механічному обробленні. На величину сил різання, а отже і генерацію регенеративних коливань при розточуванні не жорсткими борштангами мають вплив режими різання глибина різання, оберти шпинделя, довжина виставу борштанги тощо.

### **Список посилань**

1. Atabey F. Mechanics of boring processes—Part I / F. Atabey, I. Lazoglu, Y. Altintas. // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2003. – №43. – С. 463–476. 10.1016/S0890-6955(02)00276-6.

2. LS-DYNA® Keyword User's Manual Volume I [Електронний ресурс] // Livermore Software Technology Corporation. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: [https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/jday/manuals/DRAFT\\_Vol\\_I.pdf](https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/jday/manuals/DRAFT_Vol_I.pdf).

3. Криворучко Д. В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы : монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого ; под общей ред. В. А. Залого. – Сумы : Университетская книга, 2012. – 434 с.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРЕЗЕРУВАННЯ ТОРЦІВ ВАЛА ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА**

*Шульга Ю.І., студент; Кушніров П.В., канд. техн. наук, доцент,  
Сумський державний університет*

Вал є однією з основних і найбільш відповідальних деталей живильного відцентрового насоса типу ПЕ. Від якості виготовлення вала безпосередньо залежить надійність роботи всього виробу, тому дослідження шляхів підвищення ефективності технологічного процесу обробки торців вала, а саме, ефективності фрезерно-центрувальної операції, є важливим і актуальним.

Існуючі в даний час конструкції торцевих фрез досить широко представлені в технічній літературі та в різних каталогах, наприклад, [1]. Зокрема, в статті [2] розглянуто деякі методи регулювання положення різальних вставок збірних торцевих фрез, що дозволяють знизити похибки настроювання інструментів та поліпшити якість фрезерування. Інші конструкції збірних торцевих фрез, наприклад, згідно [3], дозволяють надійно встановлювати різальну вставку, знижуючи ймовірність випадання при можливому її саморозкріпленні. Однак, недоліком цього технічного рішення є недостатня точність установа різальної вставки уздовж осі отвору в корпусі інструмента. Це залежить від величини радіального зазору між співвісною циліндричною ділянкою кріпильного гвинта, що виконана у вигляді кільцевої труби, та відповідним радіальним отвором вставки, виконаним у вигляді кільцевої канавки.

З метою створення більш ефективного різального інструмента для фрезерно-центрувальної операції обробки торців вала було запропоновано нову конструкцію торцевої фрези. При цьому було вирішено завдання удосконалення вузла кріплення різальної вставки, що дозволяє підвищити точність установа різальної вставки уздовж осі отвору в корпусі, а це у свою чергу



сприяє зменшенню биття різальних кромок вставки та покращенню якості роботи інструмента. Для вирішення поставлених завдань дно кільцевої канавки, що призначене для контакту із поверхнями торця кільцевої поверхні гвинта, виконано у вигляді кутової канавки з похилими стінками, а торець гвинта – у вигляді двох відповідних похилих поверхонь, які розташовані під тим же кутом нахилу, що і стінки вищевказаної канавки.

Таким чином, запропонована конструкція торцевої фрези дозволяє підвищити ефективність фрезерування торців вала відцентрового насоса, а саме: забезпечено більш точне позиціонування різальної вставки відносно корпусу інструмента, знижено величину торцевого і радіального биття різальних кромок, підвищено період стійкості інструмента, покращено якість роботи торцевої фрези.

### **Список посилань**

1. Режущий инструмент, инструментальная оснастка и приспособления / Cutting tools, tooling system and workholding [Текст]. – Каталог SANDVIK COROMANT (Новинки 18.1). – 2018. – 144 с.
2. Кушников, П.В. Регулирование положения режущих вставок в сборных торцевых фрезах [Текст] / П.В.Кушников, И.М.Дегтярев, Б.А.Ступин, А.В.Евтухов, А.Б.Руденко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2019. – №3 (57) сентябрь.– С. 14-17.
3. Пат. 139003 У Україна, МПК В23С 5/06 (2006.01). Торцева збірна фреза / П.В.Кушніров, А.В.Євтухов, О.В.Івченко, Д.О.Жигилій, Б.А.Ступін, В.Ю.Семеніченко; заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т.– № u201906790; заявл. 18.06.2019; опубл. 10.12.2019, бюл. №23.

## **ПРОЕКТУВАННЯ ПОРТАТИВНИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ І РЕМОНТУ ГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ.**

*Яковенко І.Е., канд.техн.наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; Іщенко М.Г., головний технолог, ПАО «Турбоатом», м. Харків; Балаян Б.А., Логвін В.Є., Мілеєва О.О., магістранти, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

В даний час в світі існує велика кількість машин і агрегатів важкого машинобудування, які давно експлуатуються і вимагають превентивного і коригуючого технічного обслуговування в місцях функціонування таких об'єктів відповідно до розвитку машинобудівної галузі та сучасними науковими досягненнями. Однак, демонтаж таких агрегатів і вузлів для відправки їх на машинобудівні підприємства практично неможливий або вимагає значних фінансових витрат, тому необхідно знаходити інші шляхи здійснення механічної обробки на місці. Характерним прикладом таких агрегатів можуть служити турбіни електростанцій, магістральні трубопроводи, дизельні установки судів і підводних човнів і ін.

Питаннями розробки портативних металорізальних верстатів займалося чимало науково-виробничих колективів як у нас в країні [1], так і за кордоном [2,3,4] (компанії Climax (США), Serco (США), Mirage Machines (Англія), Mirage (США), Tomco (Канада) та ін.).

Завдяки індивідуальній розробці конструкції для обробки конкретних поверхонь кожен раз різних вузлів і агрегатів, основною проблемою при розробці портативних верстатів є оригінальність конструкції і їх низька повторюваність. Тому необхідно знайти такий підхід, який би дозволяв використовувати основні компонувальні елементи портативного верстата багаторазово.

На підставі аналізу компонувальних рішень портативних верстатів для обробки вузлів турбін автори пропонують

укрупнену компоновку такого обладнання, яка включає наступні вузли: основний базуючий елемент верстата, що з'єднує всі інші елементи (корпус), енергетичну установку, силову установку (перетворення руху), шпindelний вузол, систему базування верстата щодо оброблюваної деталі. Така класифікація елементів дозволяє провести певну уніфікацію конструкції як безпосередньо вузлів, так і їх елементів, що дозволяє значно скоротити терміни проектування і витрати на виготовлення верстата за рахунок використання агрегатно-модульного принципу при проектуванні компоновальних рішень портативних верстатів для обробки поверхонь певної групи вузлів і агрегатів. З іншого боку, такий підхід дозволяє з мінімальними витратами перепрофілювати (перекомпонувати) портативний верстат на обробку аналогічних поверхонь для інших агрегатів. На підставі розробленого підходу були спроектовані і виготовлені кілька конструкцій портативних верстатів для технічного обслуговування турбоагрегатів.

### **Список посилань**

1. Компоновки мобильных станков для ремонта недемонтированных деталей и узлов турбоагрегатов / А. А. Пермяков, М. Г. Ищенко, Д. К. Шепелев. Резание и инструменты в технологических системах/ Cutting & Tools in Technological Systems: междунар. науч.-техн. сб. / НТУ “ХПИ”. Вып. 88 / НТУ “ХПИ”; - Харьков : НТУ “ХПИ”, 2018, - С.166-171.
2. Каталог фирмы Mirage. [Електронний ресурс ] – Режим доступу [www.miragemachines.com](http://www.miragemachines.com)
3. Каталог фирмы Serco. [Електронний ресурс ] - Режим доступу <https://www.serco-tools.com/products>
4. Каталог фирмы Serco. [Електронний ресурс] - Режим доступу <https://www.itmash.ru/katalog/mobilnye-stanki-portativnye-perenosnye>

## СИНТЕЗ ТЕРМІТНИХ ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ З КАРБІДНИМ ЗМІЦНЕННЯМ

*Жигуц Ю. Ю., докт. техн. наук, професор, Аліксіичук В. М.,  
магістрант, ДВНЗ «Ужгородський національний університет»*

**Вступ.** На сучасному рівні розвитку машинобудівної продукції особливу увагу приділяють властивостям матеріалів, які задовольняють жорстким вимогам експлуатації деталей. Одним з прикладів такого матеріалу є жароміцні сталі 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ, які мають комплекс високих механічних та службових властивостей та можуть використовуватися для виготовлення корпусів газових турбін, малих турбінних дисків, бандажних кілець [1].

**Метою роботи** було дослідження механічних та службових властивостей жароміцних термітних сталей марок 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ з карбідним зміцненням методами металотермічного синтезу та використанням усіх переваг цього процесу [2].

**Результати експериментальних досліджень.** У відповідності до мети та задач дослідження авторами було отримано зливки синтезованих термітних жароміцних сталей типу 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ. Послідовне збільшення температури призводить до зменшення показників міцності для термітних аналогів 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ. Виявлено, що найбільш інтенсивно зменшується  $\sigma_b$  для 40X15H7Г7Ф2МС в діапазоні температур від 500 до 800°C – на 450 МПа, в той же час зміна температури від 500 до 700 °C призведе до зменшення  $\sigma_b$  для сталі 37X12H8Г8МФБ всього на 150 МПа.

Тривала міцність та експлуатаційні властивості сталі залежні від величини зерна та однорідності структури деталі. Встановлено вплив величини зернистості термітної сталі на  $\delta_{10}$ ,  $\psi$  та час до руйнування. У залежності від типу зразка (гладкий

або з надрізом) виявлено, що збільшення зерна до 3-5 мм призводить до зменшення майже в 4 рази часу до руйнування зразка.

**Висновки.** Встановлено, що металотермічні методи можуть успішно використовуватися для синтезу термітних жароміцних сталей, аналогів промислових марок 40X15H7Г7Ф2МС та 37X12H8Г8МФБ. Виявлені механічні властивості вказаних марок матеріалів та вплив на них температури. Встановлена тривала міцність термітних сталей 40X15H7Г7Ф2МС і 37X12H8Г8МФБ у паровому середовищі та повітрі. Виявлено вплив величини зерна матеріалу на механічні та службові властивості термітної сталі.

#### **Список посилань**

1. Солнцев, Ю. П. Материаловедение [Текст] / Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И. — М. : Химиздат, 2007. — 784.
2. Жигуц, Ю. Ю. Сплави, синтезовані металотермією і СВС-процесами [Текст] / Ю. Ю. Жигуц. — Ужгород : Гражда, 2008. — 276 с.

## **СИНТЕЗ ВИСОКОХРОМОВАНИХ СТАЛЕЙ З ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Жигуц Ю. Ю., докт. техн. наук, професор, Бугірь М. С., магістрант, ДВНЗ «Ужгородський національний університет»*

**Вступ.** Синтез матеріалів на основі металотермічних процесів із використанням порошкових екзотермічних сумішей, а також дослідження впливу нових технологічних способів виготовлення сплавів набули великого практичного значення [1].

**Поставлена проблема.** Метою роботи було встановлення можливості отримувати якісні високохромовані спеціальні термітні сталі із використанням порошкових інгредієнтів металотермічних шихт.

Завдання роботи полягало у отриманні нержавіючих термітних високолегованих сталей X17T, X25T, X28. Поставлене

завдання досягалося таким чином, що порошкова екзотермічна суміш для виготовлення виливків з високолегованих сталей, складалася із залізоалюмінієвого терміту, додаткової кількості алюмінію у вигляді порошку або млива стружки, порошку вуглецю та ін. компонентів, а у склад терміту входила залізна окалина – відхід виробництва.

Адіабатична розрахункова температура горіння вказаної суміші складала 2920–3110<sup>0</sup>С. Необхідна кількість алюмінієвої стружки (чистотою 93–95% за металічним алюмінієм) на 1 кг окалини визначалася спочатку за стехіометричними складом реакцій з подальшою корекцією за результатами дослідних мікроплавень.

У ливарній лабораторії були отримані із використанням відходів ковальського, термічного і металорізного виробництв високохромовані термітні сталі X17T, X25T, X28 у межах хімічного складу регламентованого стандартом з механічними властивостями не гіршими, ніж у сталей виготовлених промисловими методами. Очевидно це пов'язано із дорозкисненням і мікролегуванням термітної сталі порошковим алюмінієм, що входив у склад металотермічної шихти. Особливістю даного типу термітних сталей є феритна структура з вкрапленнями карбідів хрому та інших легуючих елементів.

Проведена експериментальна робота говорить про значні перспективи застосування порошкових матеріалів для синтезу сплавів. Враховуючи, що спосіб виготовлення цих сплавів має повну автономність, а саме, не вимагає джерел електроенергії, складного обладнання (пристроїв для синтезу, в яких підтримується необхідна температура, тиск і співвідношення реагуючих компонентів), він може знайти широке застосування у неспеціалізованому виробництві та інших галузях.

**Висновок.** Синтезовано високолеговані термітні сталі та встановлено мікроструктуру і механічні властивості цих високохромованих сталей. Виявлено, що вони має міцність,

навіть кращу, ніж аналогічні марки сталей виготовлені ординарними методами.

### **Список посилань**

1. Жигуц Ю.Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами (монографія) / Ю.Ю.Жигуц, В.Ф. Лазар. – Ужгород: Видавництво «Інватор», 2014. – 388 с.

## **ТЕРМІТНИЙ ЧАВУН ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ**

*Жигуц Ю. Ю., докт. техн. наук, професор, Готра Д. В., магістрант,  
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»*

**Вступ.** Відомі магнієтермічні процеси, якими рідкий сплав отримується в результаті взаємодії оксидів заліза з порошкоподібним магнієм [1]. Якщо б в результаті магнієтермічного процесу вдалося отримати рідкий магнієвий чавун, то у перегрітому вигляді він міг би використовуватись для зварювання виливків з сірого і високоміцного чавунів.

Метою роботи було встановлення можливості отримувати якісні високоміцні чавуни металотермічним способом, а також встановлення структури і властивостей, особливостей хімічного складу синтезованого сплаву.

Поставлена проблема розв'язана таким чином, що для організації процесу синтезу чавунів використовувались класичні термітні реакції засновані на окисленні магнію і відновленні заліза [1], а лігатура ферум-силіцій-магній-рідкісноземельні метали (церій) вводилася після завершення процесу синтезу, тобто після отримання рідкого сплаву. Таким чином підвищена кількість силіцію, який поступає з лігатури, ферум-силіцій-магній-рідкісноземельні метали, і деяка кількість алюмінію, яка потрапляє у метал із фероалюмінієвого терміту сприяють переходу частини силіцію й алюмінію у проміжкову зону часткового оплавлення зварюваного чавуну та запобігають

випаданню в ній евтектичного цементиту при твердінні. При цьому зварний шов отримується з високоміцного чавуну, тобто міцніший ніж основний метал, а саме – сірий чавун. Результати дослідження зварного шва для сірого чавуну, перехідної зони (зони термічного впливу) та високоміцного чавуну (зони шва): твердість (НВ) – 170, 180, 190; кількість глобулярного графіту у структурі (у %) – 0, 30-70, 85-95; міцність ( $\sigma_{\text{в}}$ , МПа) – 210, 340, 550 та міцність на втому при циклічному навантаженні ( $\sigma_{10}^1$ , %) – 0, 0, 4,5 відповідно. Таким чином синтезований високоміцний чавун надає можливість зварювати чавунні заготовки з отриманням зварного шва міцністю ~550 МПа.

**Висновок.** Теоретично й експериментально показана принципова можливість термітного зварювання сірих та високоміцних чавунів, встановлено їх властивості, мікроструктура. У процесі зварювання досягається висока якість з'єднання в результаті відсутності у зварному шві зони відбілу. Термітне зварювання чавуну цим способом дорожче за традиційну технологію зварювання чавунних деталей та економічний ефект досягається тоді, коли чавунні деталі необхідно зварювати в умовах відсутності звичайного зварювального обладнання, зовнішніх джерел енергії та ін.

### **Список посилань**

1. Жигуц Ю.Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами (монографія) / Ю.Ю.Жигуц, В.Ф. Лазар. – Ужгород: Видавництво «Інватор», 2014. – 388 с.



## СПЕЦІАЛЬНА КАМЕРА ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ СВС ТА ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

*Жигуц Ю. Ю., докт. техн. наук, професор, Панько М. М., магістрант, ДВНЗ «Ужгородський національний університет»*

Розроблення технологічного обладнання для пилозахисту процесів СВС та плазмового напилення є одною з важливих і актуальних проблем пов'язаних із отриманням високоякісних високотвердих поверхневих шарів на деталях машин і механізмів. Створення спеціальної камери для використання у вказаних технологіях позбавить їх від впливу пилоподібних частинок, що осідають на зміцнювану поверхню і унеможливить дефекти монолітного шару поверхні внаслідок цього [1].

**Мета роботи.** Розроблення спеціальної камери з контрольованим середовищем за окремими параметрами, а саме температурою, вологістю, вмістом дрібнодисперсних частинок.

Для досягнення цієї мети розроблено модульну конструкцію, яка складалась з окремих блоків, що забезпечували наперед задані параметри контрольованого середовища у камері для проведення наплавлення карбідосталі, синтезованої процесом СВС та плазмового напилення.

Модульна конструкція камери складається з блоку нагріву (нагрів здійснюється за допомогою електричних тенів), блоку контролю температури, блоку контролю вологості повітря, вентиляційного блоку з системою фільтрів, які вмонтовувалися у камеру. Все це дало змогу отримувати завданий режим температури і вологості у камері при запиленості не більше чотирьох частинок розмірами до 0,5 мкм на 1 літр повітря у робочому об'ємі, при швидкості повітряного потоку, що надходить у робочий об'єм 0,3-0,4, м/с, споживаній потужності 1,5 кВА, освітленості робочого об'єму 400 лк та габаритних розмірах 1640x1090x3160 мм. Ця спеціальна камера використана для проведення СВС процесу при металургійному наплавленні

карбідосталі з карбідами вольфраму на поверхню заготовки зі сталі марки У8. Умови проведення процесу горіння надали додаткові можливості контролювати показник горіння та якість отриманої поверхні в результаті усунення імовірності забруднення або зволоження.

**Висновки.** В результаті роботи розроблено модульну конструкцію камери з контрольованим середовищем, а саме температурою, вологістю, вмістом дрібнодисперсних частинок. У цій конструкції камери використані виключно вітчизняні комплектуючі, крім того вона відрізняється компактністю, простотою монтажу, а також габаритними розмірами, які дозволяють її перевозити за допомогою автомобільного транспорту навіть у зібраному стані.

### **Список посилань**

1. Жигуц, Ю.Ю. Обладнання для пилозахисту комплексних технологій плазмового напилення і СВС / Ю.Ю. Жигуц, Я.П. Легета, В.Ф. Лазар, Б.Я. Хо'мяк // Міжнародний науковий журнал «Освіта і наука». – Мукачєво-Ченстохова: РВВ МДУ; Академія ім. Я. Длугоша, 2019. – Вип. 2(27). С. 7 - 11.

## **ВИСОКОТВЕРДІ МАТЕРІАЛИ СИНТЕЗОВАНІ СВС ТА ЛАЗЕРНИМ ПРОМЕНЕМ**

*Жигуц Ю. Ю., докт. техн. наук, професор, Почіль М. М., магістрант, ДВНЗ «Ужгородський національний університет»*

**Вступ.** Для формування прогнозованих фаз і структур в матеріалах в результаті особливо важливу роль відіграють дослідження умов синтезу багатofазних структур, необхідне обладнання та технологія саморозповсюджувального високотемпературного синтезу (СВС) надтвердих матеріалів.

Поєднання СВС і лазерного способу підпалювання суміші на поверхні сталєвої заготовки та створення високотвердого шару на ній із структурою – карбіди вольфраму та зв'язка з

швидкорізальної сталі марки Р18 різко підвищили корозійну стійкість отриманої карбідосталі та зменшили її окислювальне зношування у процесі експлуатації. При застосуванні для наплення карбідів бору вдається довести твердість до 2100-2200 НV, що у інших технологіях практично не зустрічається [1] з утворенням високотугоплавких диборидів  $TiB_2$  і  $CrB_2$  (з високою твердістю) і комплексних евтектик. Результати дослідження теплостійкості матеріалів продемонстрували високі механічні властивості і майбутні перспективи застосування розробленої технології, яка дозволяє на 10-18% збільшувати теплостійкість матеріалу і на 12-16% період стійкості.

Таким чином, реалізований спосіб отримання складних сполук на поверхні матеріалу, в якому з двох (і більше) фаз карбідів W і C синтезовані матеріали в хімічний склад яких підтверджений методом лазерної маспектроскопії, і відповідає формулам WC та  $W_2C$ .

Поставлені експерименти дозволили не тільки створити високотверді структури покриття матеріалів, які неможливо синтезувати традиційними способами, але і дослідити їх особливості властивостей. Очевидно, що вони напряму пов'язані із технологією і фазовим складом та структурою поверхні, зони термічного впливу та матричним матеріалом.

### **Висновки**

1. Проведені дослідження дали змогу синтезувати унікальні високотверді сполуки на поверхнях матеріалів комбінованим способом, синтез яких іншими методами практично неможливий.
2. Встановлені особливості структур, отримані в результаті застосування вищеназваної технології.
3. Новий комплексний технологічний процес дозволяє напилувати і відновлювати нарощувати зношені поверхні деталей машин, апаратів і приладів на висоту 0,05 мм.

**Список посилань**

1. Жигуц Ю.Ю., Опачко І.І. Вплив лазерного поверхневого зміцнення і СВС на структуру обробленого матеріалу / Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». – 2015. – № 49. – С. 58 - 61.

## ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД НА ОСНОВІ ARDUINO, PYTHON, OPENCV ТА SCIKIT-IMAGE ДЛЯ ВИВЧЕННЯ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

*Копей В. Б., канд. техн. наук, доцент, Бурак О. В., студент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Сьогодні мехатронні системи широко застосовуються в різних галузях техніки, зокрема в машинобудуванні. Ефективне вивчення мехатроніки потребує наявності у кожного студента простих засобів для створення власних мехатронних систем і експериментування з ними.

Метою роботи є розроблення простого, гнучкого і недорогого лабораторного стенда для вивчення мехатронних технологічних систем з машинним зором. Стенд повинен використовувати доступні усім компоненти. Тому було обрано такі компоненти: плата Arduino UNO, сервопривід SG90, персональний комп'ютер, веб-камера та вільне програмне забезпечення (Python, pyFirmata, StandardFirmata, OpenCV, scikit-image).

Arduino Uno – це найбільш популярна і документована мікроконтролерна плата, основана на ATmega328P [1]. Вона має 14 контактів цифрового введення/виведення (з яких 6 можуть використовуватись для ШІМ-виведення), 6 аналогових входів, керамічний резонатор на 16 МГц, USB з'єднання, роз'єм живлення, ICSP і кнопку скидання. Популярна високорівнева мова програмування загального призначення Python ідеально підходить для вивчення програмування мехатронних систем завдяки її здатності до системної інтеграції різнотипних програмних компонентів та до простого вивчення і застосування. Firmata – це загальний протокол для комунікації мікроконтролерів з головним комп'ютером [2]. OpenCV – програмна бібліотека з відкритим кодом для комп'ютерного зору і машинного навчання, яка має оптимізовані швидкодії

алгоритми з фокусом на оброблення зображень в реальному часі [3]. Вона також має Python-інтерфейс. `scikit-image` – це колекція гнучких процедур мовою Python для обробки зображень, побудована на основі `scipy.ndimage` [4]. Цей пакет спрямований на вивчення обробки зображень та має детальну документацію і велику кількість прикладів.

На рис. 1 показано схему лабораторного стенда. Кулька 1 може перекочуватись вздовж кривошипа з жолобом 2. Цей кривошип з'єднаний з кривошипом (коромислом) сервоприводу 3 за допомогою гнучкої ланки. Сервопривід (SG90 9g Micro Servo) може повертати кривошип вправо або вліво на заданий кут. Ціллю мехатронної системи є виставлення кульки в задане положення. Сервопривід приєднаний до Arduino UNO трьома провідниками: жовтим (Y-9), червоним (R-5V), коричневим (B-GND). Arduino UNO з'єднана з комп'ютером (PC) за допомогою USB. Фактично для передачі даних між Python програмою, що виконується на комп'ютері, і Arduino використовується віртуальний COM-порт і протокол Firmata. Для цього в мікроконтролер Arduino завантажена програма StandardFirmata, а Python використовує пакет `pyFirmata` [5]. Для визначення положення кульки використовується USB-веб-камера та програмне забезпечення для комп'ютерного зору OpenCV і `scikit-image`. В даному випадку OpenCV використовується тільки для отримання зображення з камери, а `scikit-image` реалізує алгоритми машинного зору для визначення положення кульки. Проте, з метою підвищення швидкодії системи, користувач може використовувати тільки процедури OpenCV.

В розробленій програмі [6] створюється об'єкт для комунікації з Arduino, об'єкт `servo` для управління сервоприводом та об'єкт `cap` для отримання відеокadrів з камери. Основний алгоритм являє собою цикл, в якому отримується відеокadr, зображення конвертується у відтінки сірого, передається у функцію користувача `detObj`, яка призначена для визначення координат кульки за допомогою процедур `scikit-`

image. Ці координати використовуються об'єктом `servo` для управління сервоприводом.

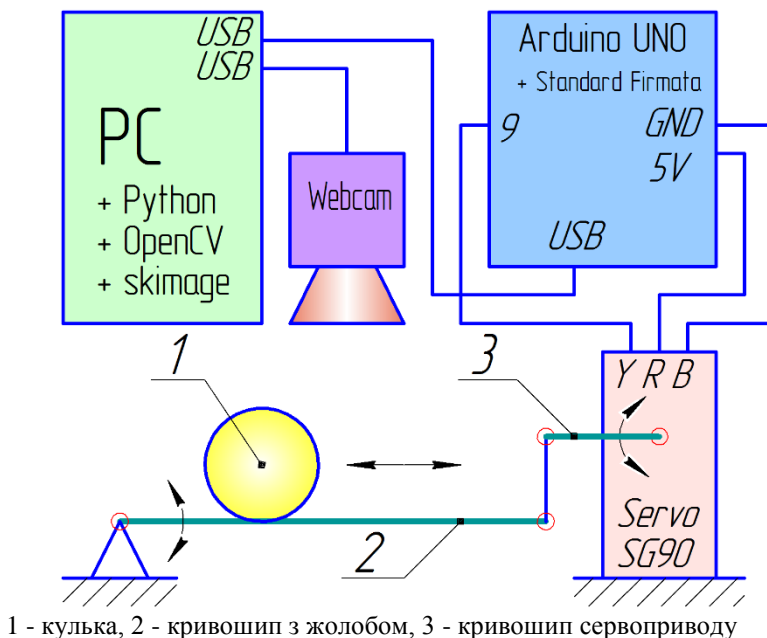


Рис. 1 - Схема лабораторного стенда

```
while(True):  
    ret, frame = cap.read()  
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)  
    cx, cy, r = detObj(gray)  
    servo.write(cx/20)
```

У `detObj` для визначення границь об'єктів використовується алгоритм Кенні. Ці границі і список значень радіусів кілець  $R$ , які потрібно виявити, передаються функціям для визначення кільцевих форм на основі перетворення Хафа. Функції знаходять найбільш імовірні координати центра кільця ( $cx, cy$ ):

```
edges = canny(image, sigma=2, low_threshold=10,  
high_threshold=20)  
R = [16]; hough_res = hough_circle(edges, R)  
accums, cx, cy, r = hough_circle_peaks(hough_res, R,  
total_num_peaks=1)
```

Розроблений стенд та програма можуть бути основою для проектування більш складних систем для автоматизації машинобудівного виробництва з простим приєднанням інших компонентів, таких як датчики, актуатори чи Python-пакети.

### **Список посилань**

1. Arduino Uno Rev3. – Available at: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
2. firmata/protocol. – Available at: <https://github.com/firmata/protocol>.
3. Real-time computer vision with OpenCV / K. Pulli, A. Baksheev, K. Korniyakov, V. Eruhimov // Communications of the ACM. – June 2012. – Vol. 55, No. 6. – P. 61-69. – DOI: 10.1145/2184319.2184337.
4. scikit-image: Image processing in Python / Stéfan van der Walt et al // PeerJ. – 2014. – 2:e453. – Available at: <https://doi.org/10.7717/peerj.453>.
5. tino/pyFirmata. – Available at: <https://github.com/tino/pyFirmata>.
6. vkopey/mechatronics1: Simple mechatronic system based on Arduino, Python, OpenCV and scikit-image. – Available at: <https://github.com/vkopey/mechatronics1>.



## СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТАМИ НА ОСНОВІ ВІДКРИТОЇ АРХІТЕКТУРИ

*Лобов Є. С., аспірант, Амелін М. М., студент, Іванов В. О., докт. техн. наук, доцент, Сумський державний університет; Гатала М., докт. техн. наук, професор, Технічний університет м. Кошице, Словаччина*

Керування сучасними верстатами з ЧПК відбувається контролерами, кожен з яких має програмний модуль всередині, відомий як інтерпретатор. Функція інтерпретатора полягає у зчитуванні даних із сформованого коду системи САМ та перетворенні в команди управління контролером. Проблемою інтерпретаторів є те, що вони унікальні для верстатів залежно від виробника та системи ЧПК. Це, в свою чергу, позбавляє верстата можливості розширення, модульності та відкритості, адаптованості та універсальності, що є важливими параметрами для користувачів. З цього слідує, що програмне забезпечення системи керування не повинно бути пов'язане з обладнанням для можливості його конфігурації між собою, повинно мати високу сумісність та рівень взаємозв'язку. Відповідно до сучасних потреб, широкого розвитку набуває напрям систем відкритого управління верстатами.

Дослідження в цьому напрямку набули високої актуальності за останні роки та проводяться вченими з України, Малайзії, Китаю, Швеції, США, Словаччини. Серед досліджень можна виділити «Відкрите управління архітектурою верстатів» [1]. Результатами дослідження є система, здатна інтерпретувати коди ISO 14649 та 6983 відповідно до внутрішньої структури, необхідної машині з ЧПК. Вона інтерпретує дані про положення, швидкість подачі, інструмент, частоту обертання шпинделя, тощо та переводить на верстат із ЧПК. Метою цієї технології є розробка контролера, незалежного від технології виготовлення, що дозволяє користувачеві збирати системи з апаратного та програмного забезпечення різних виробників.

Схожі функції виконує інтерпретатор CADCAMConSys [2]. Він виступає як міст зв'язку між системою CAD/CAM та системою керування, дозволяючи пов'язати віртуальне моделювання та процес оброблення у реальному часі. Для подолання проблем сумісності модулів, гнучкості системи, розроблена система OACNC [3]. Вона реалізувала архітектуру PC-NC, яка побудована за допомогою відкритого API, який не використовує фірмове програмне забезпечення для зв'язку. Відкрита конструкція системи ЧПК [4] пропонує відкриту архітектуру системи ЧПК для декількох інтелектуальних функцій на основі TwinCAT та .NET з відкритими підсистемами, що забезпечує функції інтерполяції, моніторингу вібрацій, моніторингу споживання енергії та зв'язок між ними і верстатом.

Однак, жодна із наведених систем не забезпечує повного взаємозв'язку між пристроями і не має повністю завершеного робочого варіанту, отже дослідження у даному напрямку є актуальними для сучасних виробництв.

### **Список посилань**

1. Yusof, Y., Latif, K. New interpretation module for open architecture control based CNC systems. *Procedia CIRP*. 2015. Vol. 26. С. 729–734.
2. Yasuda, G. Intelligent Manufacturing and Engineering: *The Handbook of Applied Expert Systems*. 2019. 22-1-22-14с.
3. Boyang, M., Maoyue, L., Xianli, L., та ін. Open architecture CNC system based on soft-integrated communication. *Procedia CIRP*. 2018. Vol. 72. С. 671–676.
4. Sun, P., Liu, Q., Ding, J., та ін. Open CNC system design for multiple intelligent functions based on TwinCAT and.NET framework. 2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2017. 2017. С. 910–915.

## ШАСІ–АВТОМАТ НА ОСНОВІ ПРОГРАМОВАНОГО КОНТРОЛЕРА

*Лукань Т. В., асистент, Винничук Б. Б., студент, Сидор Н. І., студент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

В межах проведення самостійних студентських робіт із дисципліни «Мікропроцесорне керування механотронних систем» [1, 2] авторами виконано проєкт автоматичного програмованого чотириколісного шасі і реалізовано його у вигляді діючої моделі.

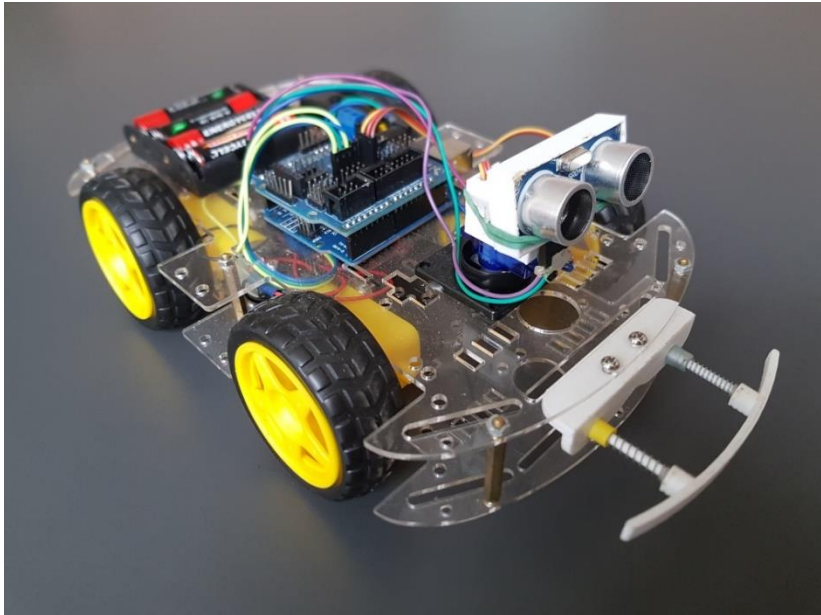


Рис. 1 – Діюча модель програмованого автоматичного чотириколісного шасі

Характеристики моделі: довжина – 240 мм, ширина – 165 мм, висота 125 мм. Привід на два задні колеса, передній механізм повороту, живлення – 12 в.

Вхідними даними до портів контролера є інформація від двох розміщених у передній частині шасі світлочутливих сенсорів. Основна функція, що генерується програмою – це рух із об'їздом перешкод, висота яких є не меншою, ніж висота розміщення сенсорів, тобто понад 110 мм.

У випадку появи перешкоди із висотою меншою від 110 мм передбачено можливість запрограмувати: вимкнення, реверс на певну кількість обертів привода, чи реверс із поворотом.

На разі дану модель включено до навчальних засобів лабораторії робототехніки кафедри комп'ютеризованого машинобудування ІФНТУНГ.

### **Список посилань**

1. Онисько О.Р., Панчук В.Г., Панчук А.Г. Мікропроцесорне управління механотронними системами: Лабораторний практикум. — Івано–Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. —39 с.

2. Онисько О.Р., Панчук В.Г., Лукань Т. В. Мікропроцесорне керування мехатронних систем: навчальний посібник. — Івано–Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. —302 с.

## **АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ В МІШКАХ**

*Нєженцев О.Б., канд. техн. наук, доцент, Година А.О., студент,  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря  
Сікорського»*

В даний час досить актуальна задача автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт (ВРР), оскільки їх трудомісткість і собівартість становить від 10 до 20% в загальній собівартості промислової продукції [1, 2]. В першу чергу це стосується перевантаження сипучих вантажів в різноманітній тарі, включаючи мішки, на всіх видах транспорту (залізничному, автомобільному, морському / річковому).

Метою роботи є аналіз технічних рішень для здійснення автоматизації ВРР сипучих вантажів в мішках на залізничному і автомобільному транспорті.

Слід зазначити, що зараз жодна технологія не може вирішити задачу повної автоматизації ВРР. Проте, аналіз існуючих рішень дозволяє виділити технології, які можуть вирішити базову задачу - підвищити ефективність і безпеку ВРР.

Було проаналізовано ряд технічних рішень, що мають різну ступінь автоматизації та відповідають критеріям зростання ефективності вантажно-розвантажувальних операцій [3]: стаціонарні конвеєри; мобільні конвеєри; навантажувачі (стаціонарні і мобільні вилкові); вантажопідйомні крани (з традиційними вантажозахоплювальними пристроями і з напівавтоматичними захватами).

Аналіз показав, що: а) не всі вантажно-розвантажувальні операції можуть бути автоматизовані за існуючого рівня розвитку підйомно-транспортної техніки; б) часто висока вартість технічних рішень по автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт істотно знижує економічний ефект від їх впровадження; в) має місце вузькоспеціалізований характер застосовуваних технічних рішень; г) необхідність постійної участі людини як при оперативному прийнятті та коригування управлінських рішень, так і для контролю за роботою промислових роботів.

За результатами аналізу найбільш прийнятних і ефективних технічних рішень в області автоматизації ВРР було виділено три групи [3]: 1) компактні вилочні навантажувачі; 2) вантажозахватні пристрої вантажопідйомних кранів, оснащених гаками з автоматизованим закриттям (розкриттям) замків з пульта дистанційного керування; 3) телескопічні конвеєри.

Необхідно відзначити, що досить перспективною є група компактних навантажувачів - роботів з дистанційним управлінням. Їх порівняно легка вага (до двох тон) і компактні розміри зі складними вилами, дозволяють використовувати не

тільки на перевалочних терміналах або складах, а також транспортувати їх на транспортному засобі разом з вантажем. Отже, виконувати вантажно-розвантажувальні роботи можна в необладнаних для цього місцях - на віддалених територіях, гірській місцевості, в «чистому полі». Навантажувачі дозволяють перевантажувати велику номенклатуру вантажів на палетах - тарні вантажі (мішки), коробки, бочки, біг-беги тощо. Це просте до впровадження, автономне, і яке не потребує модернізації інфраструктури рішення, здатне вже сьогодні скоротити обсяги ручної праці на місцях.

Також цікавими представляються компактні вантажопідйомні крани, що мають можливість швидкого переобладнання в вилкові навантажувачі. За рахунок компактних розмірів і прийнятною вантажопідйомністю (до двох тон), а також за рахунок можливості роботи без аутригерів (тобто можливості переміщення крана з підвішеним на гаку вантажем), такі рішення є максимально гнучкими за номенклатурою вантажів, що піднімаються, і можуть використовуватися як всередині виробничих приміщень, так і в умовах обмеженого простору розвантаження невеликого автотранспорту.

Використання кранових гаків з напівавтоматичним закриттям (розкриттям) замків за допомогою пульта дистанційного керування, які вже зараз можна використовувати при ВРР автотранспорту, з/д вагонів і морських / річкових суден за допомогою портових кранів. Це найсуттєвішим чином може знизити як травмонебезпеку перевантажувальних операцій, виключаючи з процесу стропальників (при цьому економлячи на фонді оплати праці), так і підвищити загальну продуктивність робіт.

Застосування пропонованих для кожного конкретного випадку автоматизованих технічних рішень: підвищить швидкість і кількість вантажів, що одночасно перевантажуються; зменшить кількість людей, необхідних для виконання ВРР; підвищить рівень безпеки ВРР за рахунок виключення

знаходження стропальників і кранівників безпосередньо в зоні проведення зазначених робіт.

Автоматизація ВРР з біг-бегами розвивається в двох напрямках:

1. Автоматизація відчеплення вантажу. Найбільш розвиненим напрямом автоматизації перевантаження біг-бегів є процес відчеплення вантажу від зачепів. Тут існує ряд рішень, які працюють на основі гідравліки, пневматики або електрики. Ці рішення вимагають стропальників тільки для зачеплення строп до підйомних гаків і повністю виключають участь людини на етапі розвантаження (відчеплення вантажу). На даний момент саме ці напівавтоматичні рішення дають найбільший ефект.

2. Повна автоматизація захвата біг-бегів. Другим напрямком є автоматизація захвата біг-бегів. Для цього використовують магніти, які притягують лямки спеціального типу біг-бегів з вшитим дротом або залізним кільцем до спеціальної площадці та закривають над нею гак. Відповідно, при відчеплення біг-бега (розвантаженні), участь людини не потрібна.

Крім того, застосування рам незалежно від ступеня автоматизації дозволяє збільшити ефективність вантажно-розвантажувальних робіт, однак застосування великих рам без автоматизованих гаків пов'язано з низкою складнощів (чим більше канатів, тим більше потрібно стропальників). Комбінація ж поворотної рами і автоматизованих гаків дозволяє одночасно розвантажувати до 20 біг-бегів, що фактично дозволяє розвантажити, наприклад, напіввагон в два заходи (при наявності крана відповідної вантажопідйомності).

На даний момент, найефективнішим рішенням автоматизації вантажно-розвантажувальних робіт біг-бегів є застосування комбінації поворотної рами і автоматизованих гаків. На них в ручному режимі зачіплюються лямки біг-бегів, а після перенесення вантажу в потрібне місце кранівник сам може натисканням кнопки на пульті звільнити всі гаки, здійснивши розвантаження. Така поворотна рама застосовується на кранах-

маніпуляторах і має кілька видів поворотних механізмів. Дане рішення оптимальне з точки зору витрат, дозволяє знизити споживання електроенергії, підвищити продуктивність праці, а за рахунок скорочення числа задіяних співробітників безпосередньо в місці проведення вантажно-розвантажувальних робіт, - знижує рівень виробничої травмонебезпеки.

### **Список посилань**

1. Транспортно-грузовые системы [Электронный ресурс] // URL: <http://www.tgs-jd.ru>
2. Морохова Н.А. Автоматизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ / Н.А. Морохова, В.М. Перепелкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13646>
3. Материалы J'son & Partners Consulting [Электронный ресурс] // URL: [https://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/robotizatsiya-i-avtomatizatsiya-pogruzochno-razgruzochnyh-rabot-vklyuchaya-big-begi-20200211054432](https://json.tv/ict_telecom_analytics_view/robotizatsiya-i-avtomatizatsiya-pogruzochno-razgruzochnyh-rabot-vklyuchaya-big-begi-20200211054432)



## **АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОНТРОЛЮ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ**

*Денисенко Ю. О., канд. техн. наук, ст. викладач, Царицин В. О.,  
аспірант, Сумський державний університет*

Із розвитком галузі машинобудування сьогодні значно зросли можливості щодо виготовлення складнопрофільних поверхонь. Значна частка виготовлюваних на такому обладнанні деталей мають складні криві поверхні, які виконують відповідальне призначення. Прикладами деталей із складнопрофільними поверхнями є оснащення для заготівельного виробництва (штампи, прес-форми), лопатки турбін, деталі автомобілів і літальних апаратів, а також шліцеві з'єднання. Обґрунтовну класифікацію деталей із складним профілем, а також їхніх поверхонь наведено в [1].

Водночас із складністю виготовлення таких деталей постає питання підвищення ефективності контролю їх поверхонь. Це пояснюється тим, що інформація про вимірювання отримана під час процесів контролю має великі обсяги даних і в основному є складною для сприйняття й інтерпретування контролером без додаткового її оброблення і подання у зручній для аналізу формі (графік, гістограма, таблиця тощо) [2]. Алгоритми обробки інформації про вимірювання мають різну складність. Крім того час, який витрачається на процеси контролю може значно перевищувати нормативний (економічно обґрунтований). Для скорочення часу на оброблення результатів вимірювання останнім часом спостерігається широке використання обчислювальної техніки, застосування пристроїв, які дозволяють збирати і обробляти великі масиви даних вимірювань без участі людини.

Отже, сьогодні актуальним є дослідження питань підвищення ефективності контролю складнопрофільних деталей шляхом удосконалення процесів вимірювання та оброблення

**Науковий напрям:**

**Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення**

даних. Це дозволить скоротити час та таким способом зменшити собівартість складнопрофільних деталей.

### **Список посилань**

1. Решетникова Е. П. Повышение эффективности изготовления деталей со сложнопрофильными поверхностями на основе разработки комплекса контрольно-измерительных процедур в системе планирования многономенклатурных технологических процессов: дис. канд. техн. наук: 05.02.08 – Технология машиностроения / Е. П. Решетникова ; СГТУ им. Гагарина Ю. А. – Саратов : 2019. – 207 л.

2. Залізецький А. М. Методи і засоби отримання вимірювальної інформації при автоматичному вимірюванні і контролі [Електронний ресурс] // Залізецький А. М., Мельник В. І. Режим доступу: [https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/94277/mod\\_resource/content/0/rozdil\\_11.pdf](https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/94277/mod_resource/content/0/rozdil_11.pdf)

## **РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ДЛЯ УСПІШНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ «EUROPEAN GREEN DEAL»**

*Дядюра К.О., д.т.н., проф., Калініченко І.П., асистент, Сумський державний університет*

Зелена угода являє собою набір ініціатив Єврокомісії, головною метою яких є зробити Європу кліматично нейтральною до 2050 року [1]. Вони переслідують низку цілей, що охоплюють кілька економічних секторів серед яких будівництво, біорізноманіття, транспорт і продовольство (рис. 1) Стандарти якості навколишнього середовища мають бути повністю дотримані. Вся виробнича діяльність має здійснюватися в середовищі, яке є вільним від токсичних речовин.

Європейський зелений курс також має на меті установити потенційні тарифи на викиди вуглецю для тих країн, які не скоротять забруднення парниковими газами. Дія яка в

подальшому здійснюватиме регулювання називається механізмом прикордонного вуглецевого регулювання (Carbon border adjustment mechanism). Стандартизація та нормативне забезпечення є невід’ємною частиною економічної та інноваційної політики для енергетичного переходу. Стандарти не лише відіграють ключову роль на Єдиному ринку шляхом гармонізації технічних специфікацій на товари та послуги, але також мають значний вплив на інші аспекти суспільства, забезпечуючи презумпцію відповідності вимогам регулювання[3]. Як такі, вони широко використовуються для реалізації політики в секторах, пов'язаних з навколишнім середовищем, і їх значення також повинно зростати разом із збільшенням екологічних ініціатив.

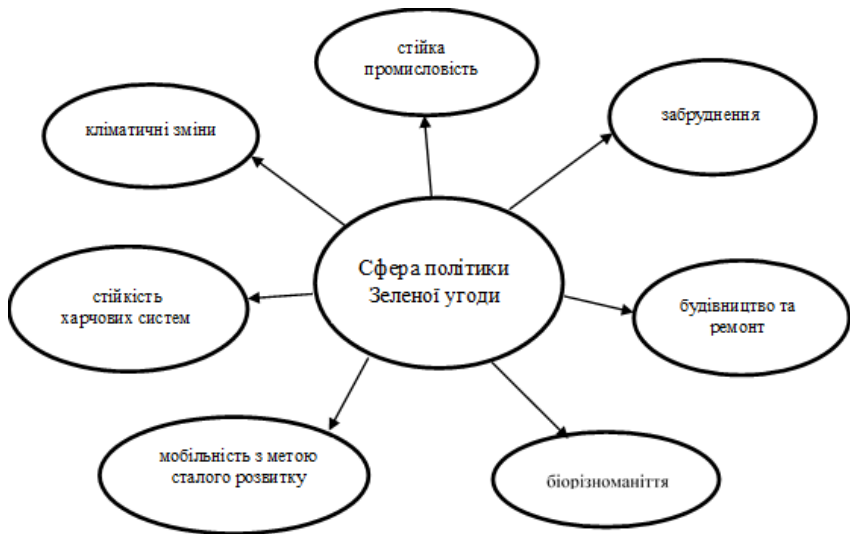


Рис.1 - Області, на які спрямована політика в рамках Європейського зеленого курсу

Важливою передумовою для досягнення кліматичного нейтралітету є єдиний працюючий ринок з європейськими нормами, які знижують витрати, сприяють інноваціям,

## **Науковий напрям:**

### **Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення**

полегшують взаємодію між різним продуктами та послугами, особливо при використанні штучного інтелекту. Це може спричинити перегляд існуючих стандартів або розробку нових з урахуванням нових секторів, нових матеріалів, нових процедур випробувань та нових бізнес-моделей.

Більшість майбутніх політичних ініціатив в рамках Зеленого курсу ЄС охоплюють широкий спектр секторів і націлені на те щоб зробити більш стійкими та менш токсичними, як методи виробництва так і самі продукти.

Коли ми говоримо про мінімізацію впливу на навколишнє середовище, дизайн виробу представляє собою один із важливих етапів, тому ЄС має в повному розпорядженні ефективну і успішну політичну структуру екодизайну. Щоб повністю реалізувати свій потенціал, необхідно розробити методи і стандарти для широкого спектру продуктів, що охоплюють ряд аспектів від енергоефективності до ефективності матеріалів. Це в свою чергу включає в себе наступні показники, як[2]:

- довговічність виробу – які базуються на стрес-тестах і прискорених тестах, показниках які є специфічними для продукту і дозволяють встановити мінімальні вимоги, а також інформувати споживачів щодо очікуваної стійкості і строку експлуатації продукту чи його компонентів (наприклад, батареї).

- ремонтпридатність виробу – опираючись на стандарт EN 45554, потрібно буде встановити показники для конкретних виробів, які дозволять ефективно оцінити демонтаж зі збереженням цілісності виробу, а також забезпечить основу для обов'язкової оцінки ремонту виробу.

- можливість модернізації, повторного використання і відновлення виробу. Окрім ремонту, стандарти для конкретних виробів, оцінка можливості модернізації, повторного використання і відновлення можуть також сприяти продовженню строку служби експлуатації виробу і як результат зменшенню відходів.

- енергоефективність. Нові і оновлені стандарти містять методи і тести для визначення енергоефективності виробу, мають відображати технічний процес, відображати достовірне використання, щоб вимоги і інформація на етикетці енергоефективності були точними і могли стимулювати менше використання енергії.

- декларація хімічного складу має на меті інформувати переробні компанії про вміст тих чи інших хімічних речовин, для відповідних методів обробки, утилізації після закінчення строку експлуатації виробу.

До розширення можливостей європейської стандартизації відносять наступні напрямки стандартизації:

- стандарти оцінки експлуатаційного ресурсу, що дозволяють точно визначити екологічні характеристики виробу, відносячи їх до категорії виробів одноразового чи багаторазового використання, виробам які підлягають ремонту на основі матеріалів вторинної переробки.

- стандарти з інформацію про виріб та його складові (інтегровані аспекти пов'язані з довговічністю, можливістю відремонтувати виріб, складом і т.д). для підтримки розроблення технічного паспорту виробу. Ця інформація має передаватися від одного учасника поставок до іншого , що в свою чергу дозволить пов'язати різні етапи життєвого циклу виробу: від виробників продукту, ремонтних майстерень і перероблювальних установ.

- стандарти, які забезпечують співвідношення вуглецевих і екологічних слідів із різних секторів, які мають сильний вплив на навколишнє середовище за допомогою узгоджених методів орієнтованих на стійкість при розробці продукції і ринковий попит.

### **Список посилань**

1. **European Green Deal** [Electronic resource] – Access mode: <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobotnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda>

**Науковий напрям:**

**Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення**

2. Standards in the time of the European Green Deal. How standards can support the environment. [Text]// Brussels, April 2020/ - 11 p.

3. European Green Deal: Opportunities and Threats to Ukraine [Electronic resource] – Access mode:[https://fileview.fwdcdn.com/?url=https%3A%2F%2Fmail.ukr.net%2Fapi%2Fpublic%2Ffile\\_view%2Flist%3Ftoken%3DWDZXnb76N15oLNkmYcGN1K](https://fileview.fwdcdn.com/?url=https%3A%2F%2Fmail.ukr.net%2Fapi%2Fpublic%2Ffile_view%2Flist%3Ftoken%3DWDZXnb76N15oLNkmYcGN1K)

## ЗМІСТ

### Науковий напрям:

#### «Технологія машинобудування»

Підвищення ефективності використання енергії на підприємствах машинобудівного комплексу.....	3
<i>Авраменко С. Є., Дегтярьов І.М.</i>	
Алгоритми проектування захоплювальних пристроїв промислових роботів.....	8
<i>Андрусичин В. К., Іванов В. О, Павленко І. В., Куріц І., Чижак О.</i>	
Прогресивний підхід механічного оброблення багатокоординатних деталей.....	10
<i>Амелін М.М., Шоломицький О.Л., Колос В.О., Залога В.О., Іванов В.О.</i>	
Вибір і призначення системи параметрів поверхневого шару циліндричних крупномодульних зубчастих коліс, що визначають їх експлуатаційні властивості.....	12
<i>Анциферова О. О., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В., Митрохина К. М.</i>	
Установка для подрібнення твердих полімерних матеріалів.....	15
<i>Васильків В.В., Паращук В.Р.</i>	
Динамічний аналіз шпинделя на конічних газових опорах з канавками змінної глибини.....	18
<i>Віштак І. В.</i>	
До питання пошуку критеріїв вибору матеріалів на основі їхніх механічних характеристик для ортопедичних устілок (ортезів) в залежності від цілей їх практичного використання..	20
<i>Гаврилко В. М., Залога Р. О., Дядюра К.О., Залога В.О.</i>	
Аналіз точності штифтових конічних з'єднань та особливості їх застосування.....	22
<i>Герасько К.Р., Дегтярьов І.М.</i>	

Перспективи зменшення витрат енергоресурсів під час технологічного процесу виготовлення паливних брикетів .....	24
<i>Герасько К.Р., Дегтярьов І.М.</i>	
Ways Of Solving The Problem Of Data Synchronization Between Small Machine-Building Enterprises Within The Solution Of Industry 4.0 Problems .....	26
<i>Zinchenko A., Dobrotvorsky S., Basova Ye., Trubin D.</i>	
Аналіз конструкції штамбу для витягування деталей складної форми на стадії проєктування у середовищі “Pam-Stamp” .....	29
<i>Картик Р.Т., Винничук Б.Б.</i>	
Комплексного розрахунку параметрів системи охолодження деталей із реактопластів.....	32
<i>Картик Р.Т., Лейбюк Т.Т.</i>	
Види оптимізацій (DOE) у програмі moldflow .....	34
<i>Картик Р.Т., Сидор Н.І.</i>	
Дослідження способів охолодження довгих пуансонів .....	38
<i>Картик Р.Т., Ільків Н.В.</i>	
Дослідження гнучкого верстатного пристрою для оброблення деталей типу кронштейни .....	42
<i>Колос В.О., Шоломицький О.Л., Іванов В.О., Заяць Й., Радченко С.</i>	
Дослідження та переваги штифтових конічних з’єднань .....	45
<i>Кононович В.М.</i>	
Використання структурної податливості для розробки адаптивних захватів.....	46
<i>Кравець В.О., Кравець О.М., Литвин О.В.</i>	
Конструкторське та технологічне забезпечення виготовлення індивідуального діафізарного стегового імплантату по типу ферми .....	50
<i>Кривенко М.О., Пасічник В.А, Бурбурська С.В.</i>	



Експериментальне дослідження явища гідродинамічної люмінесценції при кавітації в гідравлічних системах під впливом інертних газів..... 53

*Кривошеєв В. С., Ночніченко І. В., Костюк Д. В.*

Застосування явища переносу при побудові магнітореологічного демпфера протеза колінного суглоба людини..... 57

*Ночніченко І. В., Довгополий М. М.*

Розробка новітніх механізмів для інтеграції енергосистем і впровадження відновлюваного водню ..... 60

*Ночніченко І.В., Пилипенко В.В.*

Розрахунок контактної тиску між муфтою і ніпелем в осенавантаженому бурильному замку ..... 63

*Онисько О. Р., Пендерецький М. В.*

Дослідження точності позиціонування деталей різної геометричної форми у верстатних механізмах кріплення і силової фіксації..... 66

*Орищук Р.М., Чернявський І.В., Шанайда В.В.*

Особливості вентиляції тепличних об'єктів ..... 69

*Синицина Є. Ю., Губарев О. П.*

#### **Науковий напрям:**

#### **«Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»**

До питання вибору програмного продукту для моделювання процесів обробки металів тиском ..... 73

*Васильків В.В., Паращук В.Р., Головатий О.І.*

Перспективи використання механізму для безступінчатого регулювання числа обертів для металорізальних верстатів..... 76

*Вода М.В., Дегтярьов І.М.*

Three-Dimensional Parametric Simulation Of Tool Joint For Drill Pipes..... 78

*Vriukalo V.V., Buchak V.S.*

Магнітно-абразивна обробка дрібнорозмірного кінцевого інструменту .....	81
<i>Гаврушкевич Н.В., Майборода В.С.</i>	
Покращення шорсткості плоских поверхонь при магнітно-абразивному обробленні торцевими головками на основі постійних магнітів .....	84
<i>Джулій Д.Ю., Майборода В.С., Зелінко О.І.</i>	
Дослідження механізму впливу автоколивачів на точність обробки при кінцевому фрезеруванні.....	85
<i>Дядя С.І., Козлова О.Б., Горбань А. М., Стішова М. В.</i>	
Комп'ютерне моделювання процесів налагодження та програмування верстатів з ЧПК.....	89
<i>Карабут В.М.</i>	
Зміна мікрорельєфу та радіусу заокруглення різальної кромки інструментів із ПКНБ при обробці методом вімао .....	91
<i>Клименко С. А., Чумак А. О.</i>	
Підвищення працездатності медичних інструментів обробкою імпульсним магнітним полем.....	94
<i>Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Майских І.О.</i>	
Експериментальне дослідження динаміки пуску механізму підйому електроталі .....	96
<i>Краєвий В. А., Лукавенко В. П.</i>	
Імовірно-статистичний метод оцінювання точності подачі токарних, свердлильних і фрезерних верстатів загального призначення.....	99
<i>Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Лось І. Г., Петречко І. Р., Тимошенко Н. М.</i>	
Дослідження результатів імітаційного моделювання процесу механічного оброблення важкооброблюваних матеріалів в системі Deform 2D .....	102
<i>Крохмалюк О. А., Ступницький В. В.</i>	

Спрямований генетичний синтез настільних фрезерних верстатів.....	106
<i>Кузнєцов Ю.М., Кривчук Ю.Т.</i>	
Вплив індукції магнітного поля на ефективний момент при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні в умовах великих магнітних зазорів .....	110
<i>Майборода В.С., Заставський К. О., Жук Р.Б.</i>	
Дослідження динамічних характеристик процесу торцевого фрезерування з метою підвищення енергоефективності обробки .....	114
<i>Мироненко Є.В., Гузенко В.С., Муляр І.С., Гончаренко О.О.</i>	
Обґрунтування потреб в застосуванні сучасних інженерних систем динамічного моделювання для дослідження процесів різання.....	116
<i>Николайчук М. М., Карпик Р. Т.</i>	
Дослідження результатів імітаційного моделювання процесу високошвидкісного різання в системі Deform-2D.....	118
<i>Проданчук О.О., Ступницький В.В.</i>	
Комп’ютерне моделювання та дослідження вібростійкості фрезерного супорта .....	121
<i>Пронюк І. В., Боруцк Л. О.</i>	
Дослідження напружено-деформованого стану циклоїдальної передачі без проміжних тіл кочення.....	126
<i>Струтинський С. В., Семенчук Р. В.</i>	
Оцінка сталості процесу різання при токарному обробленні .....	130
<i>Трибрат К. О., Петраков Ю. В.</i>	
Моделювання процесу формоутворення фрагменту порожнистої лопатки без наповнювача.....	134
<i>Тітов В.А., Гараненко Т.Р., Слінько Н.О.</i>	

Використання вібростійкої інструментальної системи для підвищення ефективності розточування отворів на токарних верстатах.....	136
<i>Хорошайло В. В., Ємельянова Є. С.</i>	
Визначення впливу динамічних характеристик системи на процес оброблення.....	138
<i>Чорний І.І., Кореньков В.М.</i>	
Моделювання сил різання при розточуванні отвору.....	141
<i>Шихалєєв М.М., Медведєв В.В.</i>	
Підвищення ефективності фрезерування торців вала відцентрового насоса.....	145
<i>Шульга Ю.І., Кушніров П.В.</i>	
Проектування портативних верстатів для модернізації і ремонту габаритних деталей. ....	147
<i>Яковенко І.Е., Іщенко М.Г, Балаєн Б.А., Логвін В.Є., Мілєєва О.О.</i>	
<b>Науковий напрям:</b> <b>«Матеріалознавство»</b>	
Синтез термітних жароміцних сталей з карбідним зміцненням .....	149
<i>Жигуц Ю. Ю., Аліксійчук В. М.</i>	
Синтез високохромованих сталей з порошкових матеріалів .....	150
<i>Жигуц Ю. Ю., Бугірь М. С.</i>	
Термітний чавун для зварювання.....	152
<i>Жигуц Ю. Ю., Готра Д. В.</i>	
Спеціальна камера для технологій СВС та плазмового напилення .....	154
<i>Жигуц Ю. Ю., Панько М. М.</i>	
Високотверді матеріали синтезовані СВС та лазерним променем .....	155
<i>Жигуц Ю. Ю., Почіль М. М.</i>	

**Науковий напрям:  
«Автоматизація»**

Лабораторний стенд на основі ARDUINO, PYTHON, OPENCV та SCIKIT-IMAGE для вивчення мехатронних систем ..... 158  
*Копей В. Б., Бурак О. В.*

Системи керування верстатами на основі відкритої архітектури ..... 162  
*Лобов Є. С., Амелін М. М., Іванов В. О., Гатала М.*

Шасі–автомат на основі програмованого контролера..... 164  
*Лукань Т. В., асистент, Винничук Б. Б., студент, Сидор Н. І.*

Аналіз технічних рішень автоматизації перевантаження сипучого матеріалу в мішках..... 165  
*Неженцев О. Б., Година А. О.*

**Науковий напрям:  
«Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення»**

Актуальність дослідження процесів контролю складнопрофільних поверхонь ..... 170  
*Денисенко Ю. О., Царицин В.О.*

Розширення можливостей європейської стандартизації для успішності впровадження «European Green Deal»..... 171  
*Дядюра К.О., Калініченко І. П.*

Наукове видання

**МАШИНОБУДУВАННЯ  
ОЧИМА МОЛОДИХ:  
прогресивні ідеї – наука – виробництво**

Матеріали ХІХ Міжнародної науково-практичної  
конференції

**(м. Суми, 25–26 листопада 2020 року)**

Відповідальний за випуск В. О. Залога  
Комп'ютерне верстання О. О. Залоги

Стиль та орфографія авторів збережені.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 10,70. Обл.-вид. арк. 9,56. Тираж 70 пр. Зам № .

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.

