МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО «ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО “ФЕД”

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО ЗАВОД ІМ. В.О.МАЛИШЕВА

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ХАРКІВСЬКЕ АГРЕГАТНЕ КОНСТРУКТОРСЬКЕ БЮРО"

МАТЕРІАЛИ
ТРИДЦЯТЬ ТРЕТЬОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ “НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ”

ХАРКІВ, УКРАЇНА
ВЕРЕСЕНЬ 4 – 7 2023

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ВИДАВНИЦТВО І.С. ІВАНЧЕНКА
Харків 2023

УДК 621.002:620.3:004.9(063)
М34

М34 Матеріали тридцять третьої всеукраїнської конференції «Нові технології в машинобудуванні». – Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 135 с.

ISBN 978-617-8059-99-6.

Доповіді всеукраїнської конференції містять результати наступних досліджень: загальні питання машинобудування; сучасні технології проектування, виготовлення й зміцнення деталей агрегатів та різального інструменту; процеси автоматизації та роботизації; функціональні комплекси логістичних систем на виробництві; питання проектування роботів; технології агрегатобудування; процеси фізико-технічної обробки та нанотехнології; системи автоматичного управління виробництвом; сучасні інноваційні технології економіки підприємства.

Роботи друкуються в авторській редакції, в збірці максимально зменшено втручання в обсяг та структуру відібраних до друку матеріалів. Редакційна колегія не несе відповідальність за достовірність статистичної та іншої інформації, що надано в рукописах, та залишає за собою право не розподіляти поглядів деяких авторів на ті чи інші питання. Збірник становить інтерес для студентів, аспірантів, викладачів та наукових працівників.

УДК 621.002:620.3:004.9(063)

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Нечипорук М.В. – д.т.н., професор, перший проректор ХАІ.

Заступник голови: Баранов О.О. – д.т.н., професор, завідувач кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем ХАІ.

Відповідальний секретар: Руденко Н.В. – к.т.н., доцент кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем ХАІ

Члени комітету:

Попов В.В. – д.т.н., голова правління АТ «ФЕД».

Бобирь М.І. – д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, директор механіко-машинобудіного інституту "КПІ і. Ігоря Сікорського".

Долматов А.І – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології авіаційних двигунів ХАІ.

Сисоєв Ю.О. – д.т.н., професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем ХАІ.

Миттерау В. – доктор, професор (Австрія).

Андерс А. – доктор, професор (США).

Клименко С.А – д.т.н., професор, член-кореспондент Національної Академії Наук України, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля.

Кёниг Д. – доктор, професор (Німеччина).

Хуа Линь – доктор, професор (Китай)

Пермяков О.А. – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів ХПІ.

Федорович О.Є – д.т.н., завідувач кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій ХАІ.

ISBN 978-617-8059-99-6

© Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2023.

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ 7

Гереш Т.В. СИНТЕЗ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНІЗМУ $2A - AA$ З УРАХУВАННЯМ КУТІВ ЗАЧЕПЛЕННЯ ДЛЯ РАДІАЛЬНОГО ДАЛЬНЬОГО РОЗТАШУВАННЯМ САТЕЛІТІВ 7

Данилов В.М. КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНЕТАРНИХ ЗУБЧАСТИХ МЕХАНІЗМІВ 10

Kladova O.Yu., Chaika V. MATHEMATICAL MODEL OF CYLINDRICAL MANIPULATOR 14

Кузнецова А.В., Гнитько О.М. ОЦІНКА ТВЕРДОСТІ ЗУБА КОНІЧНОЇ ШЕСТІРНІ ІЗ КРУГОВИМИ ДВООПУКЛО-ВВІГНУТИМИ ЗУБЦЯМИ 17

Назін В.І. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА ПАЛИВНОГО НАСОСУ НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ 18

Повгородній В.О. ЗАСТОСУВАННЯ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ТЕРМОПРУЖНОСТІ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ 20

Усік В.В., Косенко О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПЛАНЕТАРНИХ І ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ 22

Хазанов М.О. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ АТМОСФЕРНИХ УМОВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТУРБОВАЛЬНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА 25

Шехов О.В. 3D ТВЕРДІЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ЗАДАЧІ ОЦІНКИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОПТИМАЛЬНОЇ ПО МАСІ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНІЗМУ ДЖЕЙМСА 27

2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ Й ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТІВ ТА РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ 33

Бреус А.О., Сердюк О.Л. СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ КАРТИ НАЛАГОДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDCAM 33

Андрющенко В.М., Топал М.С. КОРОЗІЙНІ ПОШКОДЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ І ВПЛИВ КОРОЗІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВИД ПОШКОДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАКА 35

Гнитько О.М., Кузнецова А.В. СИСТЕМНА УЯВА ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАНІ ЗАКРИТИХ ПРОФІЛЬНИХ ПАЗІВ 40

Доценко В.М., Ковеза Ю.В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТАКТНОЇ РІВНОМІЦНОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХНЕЙ ШЕСТЕРНІ ТА КОЛЕСА 41

Нарижний О.Г. ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕРМОМЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ СТРУГАННЯ 43

Онисько О.Р., Гаврилюк І. І., Матей Ю. Г. ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ ПІДВИЩЕНИМИ МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ 45

Пермяков О.А., Яковенко І.Е. РЕВЕРСИВНИЙ ІНЖИНІРИНГ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ПРОЦЕСІВ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ 48

Пірогов Д.О., Воронцов Б.С. ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ТИТАНОВИХ ЗАГОТОВОК ОТРИМАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ XBEAM 3D METAL PRINTING 51

Стрельчук Р.М. АНАЛІЗ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ШЛІФУВАННІ ЗІ ЗМІННОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ 53

Третяк В.В., Сорокін В.Ф., Некрасов О.Д. КОНСТРУКЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ТОВСТОЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ ІМПУЛЬСНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ 55

Цибуленко В.О. ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД ДО ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З TI-6AL-4V З ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ ТА СУБТРАКТИВНИХ МЕТОДІВ 58

3. ПРОЦЕСИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЇ 61

Губка О.С., Губка С.О. РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ВХІДНОГО ВІДБОРУ СЛУХАЧІВ НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ 61

Залета О.М., Повстяной О.Ю., Залета А.О. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР ОПТИМІЗАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ МОДУЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НОВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 62

Кушнір Є.А., Козар О.Я. РОЗРОБКА ДОДАТКУ ЗАМОВЛЕННЯ ФАСТФУДУ 67

Лещенко О.Б., Анікін А.М. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ INTERSYSTEMS IRIS ДЛЯ РОЗРОБКИ ВЕБЗАСТОСУНКУ З РЕКРУТИНГУ 68

Лещенко О.Б., Скопін М.В. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ INTERSYSTEMS IRIS ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ З ПРОГРАМНИМ КОМПЛЕКСОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ РЕСТОРАНУ R-KEEPER 69

Лещенко Ю.О., Некрасова А.С. ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ДИТЯЧОЇ СТУДІЇ МИСТЕЦТВ 70

Лещенко Ю.О., Сергієнко І.С. ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ В МЕРЕЖІ МАГАЗИНІВ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ 71

Лещенко Ю.О., Кумова Ж.А. МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ КООРДИНАЦІЇ ДІЙ ПРИ ВИЯВЛЕННІ ПІДОЗРІЛИХ ОБ'ЄКТІВ 72

Міланов М.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗРОБКИ КОМП’ЮТЕРНИХ МЕРЕЖЕВИХ ІГОР В ЖАНРІ MULTIPLAYER FIRST – PERSON SHOOTER 73

Момот М.О., Шкурапет М.О. РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПІДБОРУ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА 75

Московська Н.М. ВПЛИВ КОНФІГУРАЦІЇ ПІДСИЛЕННЯ УСТАНОВЛЮВАЛЬНИХ ОТВОРІВ РЕЗЕРВУАРУ НА ЦЕНТРУВАННЯ ФАСУВАЛЬНИХ ПАТРОНІВ ПРИ ДОЗУВАННІ 77

Науменко С.В., Холодняк О.О., Мізинець В.Є. МУЛЬТИАГЕНТНИЙ ПІДХІД ПРИ КЕРУВАННІ ГРУПОВОЮ ПОВЕДІНКОЮ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ ТА ДРОНІВ 78

Pavlyk H.V. COMBINATORIAL PLANS OF MULTIFACTOR EXPERIMENT 80

Плужник А.С., Бєлявський О.В., Косенко О.В. ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ГІДРОАПАРАТІВ 81

Попов А.В., Громенко А.І. РОЗРОБКА TELEGRAM-БОТУ ДЛЯ ОФОРЛМЕННЯ ЗАМОВЛЕНЬ 85

Попов А.В., Давиденко А.Л. РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПОСЛУГАМИ ПРАЛЬНІ З ВИКОРИСТАННЯМ REACT NATIVE 86

Попов А.В., Дронов Д.Р. ПРОГРАМНА ПОШУКОВА СИСТЕМА ДЛЯ МЕДІА ФАЙЛІВ ТА ДОКУМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ AI 87

Попов А.В., Іванов В. М. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОНЛАЙН-ПРОДАЖУ АВТОБУСНИХ КВИТКІВ 88

Попов А.В., Калюга І.О. РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ПІДБОРУ ТОВАРІВ МАРОК «ЗОРЯНІ ВІЙНИ» З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ 89

Попов А.В., Костенко В.С. РОЗРОБКА ГРИ У ЖАНРІ ШУТЕР ДЛЯ ОКУЛЯРІВ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ OCULUS QUEST 90

Прохоров О.В., Алексєєв В.О. Демченко А.В. ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ МАЛОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ «РОЗУМНИХ» ТЕХНОЛОГІЙ, ЯК НАПРЯМ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ 91

Степаненко Д.Р. МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАРІЗАННЯ СВІЧОК НА БАЗІ КОНТРОЛЕРУ ARDUINO 93

Федорович О.Є., Поліщук Є.В., Малєєв Л.В. СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ ФОРМУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ З АВТОНОМНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТА СПОЖИВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ 95

4. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВИРОБНИЦТВІ 96

Rudenko N., Rudenko O. REDUCTION OF LOGISTIC COSTS AT DISTRIBUTOR CENTERS OF THE COMPANY 96

Баранов О.О. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НАКОПИЧУВАЧІВ РОБОТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА 98

Рибка А.В. Федорович В.А., Пісклова Т.С. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛОКАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ У МИРНИЙ ЧАС ТА В ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД 101

Сидоренко О.М., Сломчинський О.В., Соловйов В.С. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ 102

Харченко М.В. КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЛОГІСТИКИ НА ПІДПРИЄМСТВІ 103

5. ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТІВ 106

Шатохін В.М., Соболь В.М. СИНТЕЗ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНИХ МОНТАЖНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБОТІВ ЗА ВЛАСНИМИ ФОРМАМИ КОЛИВАНЬ 106

6. ТЕХНОЛОГІЯ АГРЕГАТОБУДУВАННЯ 111

Селезень О.Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОСЕЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА 111

Яковенко І.Е., Пермяков О.А. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПОРТАТИВНИХ ВЕРСТАТІВ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ 113

7. ПРОЦЕСИ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ 116

Красношапка Р. Ю., Кучерський В. Ю. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ 116

Добротворський С.С., Попов В.В., Кошсінський М. ІДЕНТИФІКАЦІЯ 3D LIPSS СТУКТУР НА ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ ПІСЛЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ 117

Малков І.В. МЕХАНІЗМ НАНОМОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ 118

Сисоєв Ю.О., Торосян О.В. УСУНЕННЯ ПРОДУКТІВ ЕРОЗІЇ КАТОДА НА ВІКНІ ВВЕДЕННЯ У ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМАХ ЗАПАЛЮВАННЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ 123

Сисоєв Ю.О., Торосян О.В. КОМБІНАЦІЙНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ ВАКУУМНО-ДУГОВИЙ ГЕНЕРАТОР ПЛАЗМИ 126

Shirokii Iu., Torosian O., Torosian-Zhydieieva H. OBTAINING NANOSTRUCTURES IN NEAR-SURFACE LAYERS 128

Широкий Ю.В., Костик К.О., Постельник Т.О. ПОБУДОВА ПРОСТОРОВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ОБ'ЄМУ НАНОСТРУР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЇХ ОТРИМАННЯ НА СТАЛІ У12А 129

Shirokii Iu., Torosian O., Torosian-Zhydieieva H. EFFICIENCY OF THE MODEL WITH HIGH TEMPERATURE GRADIENTS 130

8. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ 131

Бондар Д.В., Басова Є.В., Водка О. О. ЦИФРОВА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ АНСАМБЛЕВИХ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА SMEs 131

Зінченко А.Ю., Басова Є.В., Добротворський С.С. 3D ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЯ НА ШЛЯХУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОСТІ ЛАНЦЮЖКІВ ПОСТАЧАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ SMEs 133

9. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОНОМІКИ ПІДПРИЄМСТВА 134

Гарашко В.О., Яшина О.С. РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ УПРАВЛІННЯ ФАЙЛОВИМ СХОВИЩЕМ ДЛЯ БУХГАЛТЕРІЇ ПРИВАТНОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ФІРМИ 134

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.865.6

Гереш Т.В., асистент
t.geresh22@khai.edu

СИНТЕЗ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНІЗМУ $2A-\overline{AA}$ З УРАХУВАННЯМ КУТІВ ЗАЧЕПЛЕННЯ ДЛЯ РАДІАЛЬНОГО ДАЛЬНЬОГО РОЗТАШУВАННЯМ САТЕЛІТІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

Постановка проблеми. Планетарні механізми широко використовуються в різних механічних систем і розгляд питання їх синтезу з різними кутами зачеплення пар зубчастих коліс, що входять до його складу, є досить цікавим. Такі механізми можуть реалізувати більші передавальні відношення за інших рівних умов. Але слід зазначити, що під час їхнього виготовлення виникають питання з вибором коефіцієнтів зсуву ріжучого інструменту для забезпечення прийнятних параметрів із погляду геометрії зачеплення пар коліс, що входять до його складу.

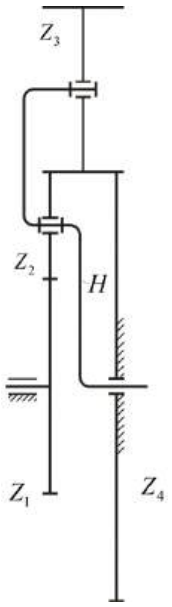


Рисунок 1

Основна частина. Як відомо, для працездатності планетарного механізму необхідне виконання таких умов: співвісності, складання, передавального відношення і сусідства. Так, для схеми $2A-\overline{AA}$ (рис. 1), умови складання і передавального відношення мають відповідно вигляд [1]:

$$\begin{cases} \frac{Z_1+Z_4}{k} = N, \\ i_{1\text{H}}^4 = 1 + \frac{Z_4}{Z_1}. \end{cases} \quad (1)$$

Визначимо умову співвісності в загальному вигляді з урахуванням кутів зачеплення для першої і другої ступенів для дальнього радіального розташування сателітів:

$$a_{12} + a_{23} = a_{43}.$$

Використовуючи формулу для визначення міжосьової відстані, отримаємо:

$$m\frac{Z_1+Z_2}{2}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_{w_{12}}} + m\frac{Z_2+Z_3}{2}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_{w_{23}}} = m\frac{Z_4+Z_3}{2}\cdot\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_{w_{34}}}.$$

Отже, умову співвісності можна записати у вигляді:

$$Z_1 + Z_2 + (Z_2 + Z_3)t_1 = (Z_4 + Z_3)t_2, \quad (2)$$

Де параметри $t_1 = \frac{\cos\alpha_{w_{12}}}{\cos\alpha_{w_{23}}}$, $t_2 = \frac{\cos\alpha_{w_{12}}}{\cos\alpha_{w_{34}}}$.

Використовуючи вирази (1), отримують рівняння для визначення чисел зубців коліс Z_1 і Z_4:

$$Z_1 = k\frac{N}{i_{1H}^4},\ Z_4 = Z_1(i_{1H}^4 - 1). \quad (3)$$

Числа зубців зубчастих коліс Z_2 і Z_3 пов'язані між собою параметром y [1]:

$$Z_3 = yZ_2. \quad (4)$$

Отримаємо рівняння для визначення чисел зубців зубчастого колеса Z_2. Використовуючи умову співвісності (2), підставивши раніше визначені Z_3 і Z_4, отримаємо:

$$Z_1 + Z_2(1 + t_1) + yt_1Z_2 = Z_1t_2(i_{1H}^4 - 1) + yt_2Z_2$$

звідки виразимо Z_2:

$$Z_2 = \frac{t_2(i_{1H}^4-1)-1}{1+t_1(1+y)-yt_2} Z_1. \quad (5)$$

Параметри t_1 і t_2 можна приймати в межах $[0{,}8\ldots1{,}2]$, у цьому разі кут зачеплення зубчастої пари для першої ступені змінюватиметься в межах $[20°\ldots44°]$ і для другої ступені в межах $[40°\ldots20°]$ [2].

Отримаємо нерівності, що визначають область існування планетарного механізму $2A-\overline{AA}$.

З рівнянь (3) і (5) можна зробити висновок, що генеральні рівняння мають сенс, якщо виконані умови:

$$\begin{cases} i_{1H}^4 - 1 > 0; \\ \frac{t_2(i_{1H}^4-1)-1}{1+t_1(1+y)-yt_2} > 0, \end{cases} \quad (6)$$

звідки отримаємо умову для передавального відношення:

$$i_{1H}^4 > \frac{1+t_2}{t_2}. \quad (7)$$

Визначимо верхню межу за передавальним відношенням. Розглянемо умову сусідства для механізму $2A-\overline{AA}$:

$$\begin{cases} (Z_1+Z_2)\, sin\frac{\pi}{k} \geq Z_2 + 2; \\ (Z_4+Z_3)\, sin\frac{\pi}{k} \geq Z_3 + 2. \end{cases} \quad (8)$$

Розглянемо перше рівняння системи (8). Підставимо генеральні рівняння для числа зубців Z_2:

$$\left(Z_1 + \frac{t_2(i_{1H}^4-1)-1}{1+t_1(1+y)-yt_2} Z_1\right) \cdot sin\frac{\pi}{k} \geq \frac{t_2(i_{1H}^4-1)-1}{1+t_1(1+y)-yt_2} \cdot Z_1 + 2.$$

Поділивши обидві частини на Z_1, отримаємо:

$$\frac{t_1(1+y)-yt_2+t_2(i_{1H}^4-1)}{1+t_1+y(t_1-t_2)} \cdot sin\frac{\pi}{k} \geq \frac{t_2(i_{1H}^4-1)-1}{1+t_1+y(t_1-t_2)} + \frac{2}{Z_1}.$$

При синтезі планетарного механізму $2A-\overline{AA}$ рекомендується вибирати число зубців $Z_1 \geq 18$, отже, виконується відношення $\frac{2}{Z_1} \leq \frac{1}{9}$. При цьому максимальне значення досягається для $Z_1 = 18$, а в разі інших значень значно менше. На практиці під час синтезу планетарних механізмів вибір передавального відношення на межі меж його зміни не бажаний, тому для оцінки меж передавального відношення доданків доданком $\frac{2}{Z_1}$ можна знехтувати. Отже, нерівність набуде вигляду:

$$\frac{t_1(1+y)-yt_2+t_2(i_{1H}^4-1)}{1+t_1+y(t_1-t_2)} \cdot sin\frac{\pi}{k} > \frac{t_2(i_{1H}^4-1)-1}{1+t_1+y(t_1-t_2)}.$$

Враховуючи те, що $1+t_1+y(t_1-t_2) > 0$, отримаємо:

$$\left(t_1(1+y) - yt_2 + t_2(i_{1H}^4-1)\right) \cdot sin\frac{\pi}{k} > t_2(i_{1H}^4-1) - 1,$$

звідки виразимо передавальне відношення i_{1H}^4:

$$i_{1H}^4 < \frac{t_2+1+(t_1-t_2)(1+y)\, sin\frac{\pi}{k}}{1-t_2\, sin\frac{\pi}{k}}. \quad (9)$$

Передавальне відношення i_{1H}^4 має бути більшим за нуль, отже $1-t_2\, sin\frac{\pi}{k} > 0$. Таким чином, для параметра t_2 отримаємо умову:

$$t_2 < \frac{1}{sin\frac{\pi}{k}}.$$

Використовуючи отриману нерівність, запишемо умову вибору параметра t_2 для синтезу. З урахуванням меж можливої зміни t_2 під час синтезу планетарних механізмів зі зв'язаними колесами [2], випливає:

$$\begin{cases} 0{,}8 < t_2 < \frac{1}{sin\frac{\pi}{k}}. \\ 0{,}8 < t_2 < 1{,}2 \end{cases} \tag{10}$$

Розглянемо друге рівняння системи (8).
Підставляючи вирази для чисел зубців Z_4 і Z_3 (формули (3), (4), (5)), отримаємо:

$$\left(Z_1(i_{1H}^4 - 1) + \frac{yt_2(i_{1H}^4-1)-y}{1+t_1(1+y)-yt_2} Z_1\right) sin\frac{\pi}{k} \geq \frac{yt_2(i_{1H}^4-1)-y}{1+t_1(1+y)-yt_2} Z_1 + 2.$$

Використовуючи аналогічні припущення, як і для першого рівняння, отримаємо:

$$\left((i_{1H}^4 - 1)(1 + t_1(1 + y) - yt_2) + yt_2(i_{1H}^4 - 1) - y\right) sin\frac{\pi}{k} > yt_2(i_{1H}^4 - 1) - y,$$

або

$$(i_{1H}^4(1 + t_1 + y) - y)\, sin\frac{\pi}{k} > yt_2 i_{1H}^4 - yt_2 - y,$$

звідки

$$i_{1H}^4 > \frac{y\, sin\frac{\pi}{k} - y(t_2+1)}{(1+t_1+y)\, sin\frac{\pi}{k} - yt_2}. \tag{11}$$

Розглядаючи отриманий вираз (11) разом з умовою (7), отримаємо:

$$\begin{cases} i_{1H}^4 > \frac{y\, sin\frac{\pi}{k} - y(t_2+1)}{(1+t_1+y)\, sin\frac{\pi}{k} - yt_2}; \\ i_{1H}^4 > \frac{1+t_2}{t_2}. \end{cases} \tag{12}$$

Загальні висновки. Отримані генеральні рівняння для синтезу планетарного механізму $2A - \overline{AA}$ з урахуванням коригування кутів зачеплення для пар зв'язаних і незв'язаних зубчастих коліс на етапі синтезу механізму. Записані умови для визначення меж можливих передавальних відношень проектованого механізму для кожного поєднання параметрів t_1 і t_2. Синтез планетарного механізму $2A - \overline{AA}$, проведений з використанням генеральних рівнянь (3), (4) і (5), дає можливість отримати додаткові комбінації чисел зубів, які не можна отримати за допомогою генеральних рівнянь, наведених в [1].

Список використаних джерел

1. Ткаченко В.А. Планетарні механізми (оптимальне проектування). – Харків: Видавничий центр ХАІ. – 2003. – 446 с.
2. Кавецький С.М., Гереш Т.В. Залежність кутів зачеплення зубчастих пар планетарних механізмів зі зв'язаними та незв'язаними колесами. // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: Машинобудування і САПР. – № 2. – 2008. – С.115-120.
3. Кавецький С.М., Гереш Т.В. Синтез планетарних механізмів *АА* та *ІІ* зі зв'язаними та не пов'язаними колесами з урахуванням кутів зачеплення. // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: Машинобудування і САПР. – № 9. – 2008. – С.98-103.

УДК 621.833.6

Данилов В.М., ст. викладач
v.danylov@khai.edu

КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНЕТАРНИХ ЗУБЧАСТИХ МЕХАНІЗМІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Вступ. Планетарні механізмів мають порівняно велике передавальне відношення від провідної ланки до вихідної при малій масі та габаритах, що робить їх використання привабливими у багатьох галузях машинобудування. При проектуванні таких передач часто використовують колеса з числами зубців від 18 до 180. Для багатьох схем це дозволяє підбирати десятки та навіть сотні варіантів рішення [1]. В зв'язку з цим постає питання вибору більш доцільної схеми за деякими критеріями.

Розглянуті планетарні механізми шести схем (рис. 1).

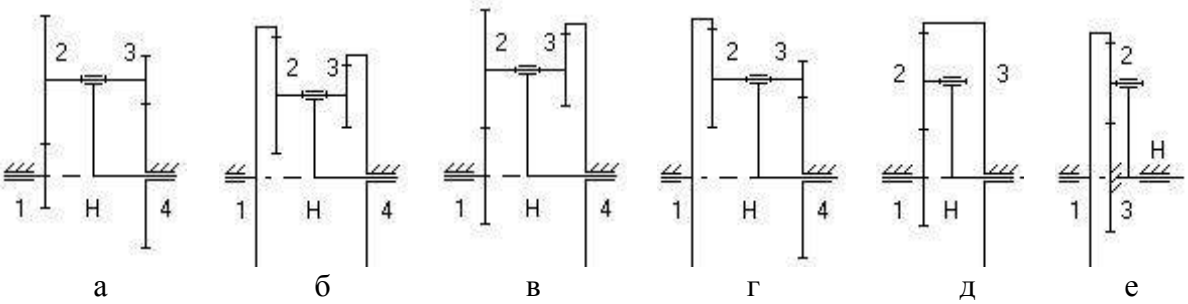


Рисунок 1 – Планетарні механізми:
а – схема *AA*; б – схема *II*; в – схема *AI*; г – схема *IA*; д – схема $\overline{AI}$; е – схема $\overline{IA}$;
1, 2, 3, 4 – номера зубчастих коліс; Н – водило

Для наведених схем оптимізація можлива по тьом основним критеріям:

1) мінімальна маса;
2) максимальна швидкодія;
3) максимальний ККД.

Критерій мінімальної маси. Щоб оптимізувати планетарний механізм за мінімальною масою треба спочатку знаходити сумарну площу усіх зубчастих коліс даної схеми і потім залишити найменшу. При цьому площа одного колеса для зовнішнього зачеплення слід визначати як $S = \pi \cdot r^2$, а для внутрішнього зачеплення як $S = \pi(r + 3m)^2 - \pi \cdot r^2$, де r – це радіус ділильного кола, m – модуль зачеплення. Маси водила, та корпусу не враховуються.

Таким чином мінімальну масу можна визначати через коефіцієнт:

$$\mu = 4 \cdot \sum S_i / \pi, \tag{1}$$

де S_i – площини відповідного зубчастого колеса

Для схеми *AA:*

$$\mu = z_1^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_2^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_3^2 \cdot m_2^2 + z_4^2 \cdot m_2^2. \tag{2}$$

Для схеми *II:*

$$\mu = (z_1 + 6)^2 \cdot m_1^2 - z_1^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_2^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_3^2 \cdot m_2^2 + (z_4 + 6)^2 \cdot m_2^2 - z_4^2 \cdot m_2^2. \tag{3}$$

Для схеми *AI:*

$$\mu = z_1^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_2^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_3^2 \cdot m_2^2 + (z_4 + 6)^2 \cdot m_2^2 - z_4^2 \cdot m_2^2. \quad (4)$$

Для схеми *IA:*

$$\mu = (z_1 + 6)^2 \cdot m_1^2 - z_1^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_2^2 \cdot m_1^2 + k \cdot z_3^2 \cdot m_2^2 + z_4^2 \cdot m_2^2. \quad (5)$$

Для схеми $\overline{AI}$:

$$\mu = \left(z_1^2 + k \cdot z_2^2 + (z_3 + 6)^2 - z_3^2 \right) \cdot m_1^2. \quad (6)$$

Для схеми $\overline{IA}$:

$$\mu = \left((z_1 + 6)^2 - z_1^2 + k \cdot z_2^2 + z_3^2 \right) \cdot m_1^2. \quad (7)$$

В наведених вище формулах (2) – (7) z_i – числа зубців коліс, k – кількість сателітів, m_1 – модуль першого сателітного колеса, m_2 – модуль другого сателітного колеса.

Критерій максимальної швидкодії. Під максимальною швидкодією планетарного механізму мається на увазі, що його зведений момент інерції $I_{зв}$ до провідної ланки приймає мінімальне значення.

Таким чином максимальну швидкодією зручно визначати через коефіцієнт:

$$\beta = \frac{32 \cdot I_{зв} \cdot U_{1H}^2}{\pi \cdot b \cdot \gamma \cdot m_1^4}, \quad (8)$$

де U_{1H} – передавальне відношення від першого колеса до водила; b – товщина зубчастих коліс; γ – питома вага.

Для схем *AA* и *AI:*

$$\beta = z_1^4 U_{1H}^2 + 2kz_2^2 (z_1 + z_2)^2 + \frac{kz_2^4 m_1^2 (z_1 + z_2)^2}{z_3^2 m_2^2} + \frac{3kz_3^2 m_1^2 (z_1 + z_2)^2}{m_1^2}. \quad (9)$$

Для схем *II* и *IA:*

$$\beta = 144 (z_1 + 3)^2 U_{1H}^2 + 2kz_2^2 (z_1 - z_2)^2 + \frac{kz_2^4 m_1^2 (z_1 - z_2)^2}{z_3^2 m_2^2} + \frac{3kz_3^2 m_2^2 (z_1 - z_2)^2}{m_2^2}. \quad (10)$$

Для схемы $\overline{AI}$

$$\beta = z_1^4 U_{1H}^2 + 3kz_2^2 (z_1 + z_2)^2. \quad (11)$$

Для схемы $\overline{IA}$

$$\beta = 144 (z_1 + 3)^2 U_{1H}^2 + 2kz_2^2 (z_1 - z_2)^2. \quad (12)$$

Формули (9) – (12) корисні для швидкого визначення максимальної швидкодії планетарних механізмів (рис. 1).

Коефіцієнт корисної дії. Планетарний механізм тривалий час повинен працювати при порівняно постійних зовнішніх силах і моментах, виключаючи режими пуск-зупинка. При цьому чисельне значення ККД дорівнює відношенню роботи сил виробничого опору до роботи рушійних сил, обчислене за час, що дорівнює періоду руху.

Спочатку визначаємо коефіцієнт втрат [2] як суму втрат у підшипнику $\psi_{підш}$, на змазку $\psi_{зм}$ та тертя $\psi_{тер}$:

$$\psi = \psi_{підш} + \psi_{зм} + \psi_{тер}. \quad (13)$$

Перші два коефіцієнта (13) слід визначати експериментально, або брати у виробника. Коефіцієнт тертя для схем *AA, II, AI, IA* слід визначати за формулою:

$$\psi_{тр} = \frac{\pi \cdot \varepsilon_{\alpha 12} \cdot f \cdot \left(\frac{1}{z_2} \pm \frac{1}{z_1} \right)}{2} + \frac{\pi \cdot \varepsilon_{\alpha 34} \cdot f \cdot \left(\frac{1}{z_3} \pm \frac{1}{z_4} \right)}{2}; \quad (14)$$

Для схем $\overline{AI}$, $\overline{IA}$ за формулою:

$$\psi_{тр} = \frac{\pi \cdot \varepsilon_{\alpha 12} \cdot f \cdot \left(\frac{1}{z_2} \pm \frac{1}{z_1} \right)}{2} + \frac{\pi \cdot \varepsilon_{\alpha 23} \cdot f \cdot \left(\frac{1}{z_2} \pm \frac{1}{z_3} \right)}{2}, \quad (15)$$

де $\varepsilon_{\alpha ij}$ – коефіцієнта торцевого перекриття для пари коліс z_i и z_j;

f – коефіцієнт тертя ковзання.

У формулах (14), (15) знак "+" необхідно брати для зовнішнього зачеплення, "–" для внутрішнього.

Таким чином коефіцієнти корисної дії (η) для схем, що розглядаються наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти корисної дії

Тип механізму	Відоме колесо	Передавальне відношення	
		$U_{1H} < 0$ або $U_{H1} < 0$	$U_{1H} > 0$ або $U_{H1} > 0$
AA	z_1	$\eta = 1 - \frac{U_{1H} - 1}{U_{1H}} \cdot \psi$	$\eta = \frac{U_{1H} - \psi}{U_{1H} \cdot (1 - \psi)}$
	H	$\eta = 1 - \frac{U_{H1} - 1}{U_{H1}} \cdot \psi$	$\eta = \frac{U_{H1} - \psi}{U_{H1} \cdot (1 - \psi)}$
II	z_1	$\eta = 1 - \frac{U_{1H} - 1}{U_{1H}} \cdot \psi$	$\eta = \frac{U_{1H} - \psi}{U_{1H} \cdot (1 - \psi)}$
	H	$\eta = \frac{1 - \psi}{1 - U_{H1} \cdot \psi}$	$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{U_{1H}} - 1 \right) \cdot \psi}$
AI, IA, $\overline{AI}$ і $\overline{IA}$	z_1	–	$\eta = 1 - \frac{U_{1H} - 1}{U_{1H}} \cdot \psi$
	H	–	$\eta = \frac{1 - \psi}{1 - U_{H1} \cdot \psi}$

Програма розрахунку. Для спрощення оптимізації планетарних зубчастих механізмів заданих схем було написано комп'ютерну програму Planmex (Planetary gearings) (рис. 2) – свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 106199 від 13.07.21 р.

Ця програма дозволяє визначати мінімум коефіцієнта μ (1) для знаходження мінімальної маси, мінімум коефіцієнта β (8) для знаходження максимальної швидкодії та максимум ККД (η), що робить її зручною у використанні при відповідних розрахунках. Програма автономна у середовищі Windows і не вимагає будь яких навичок для її встановлення і роботи з нею.

Дане програмне забезпечення було створено на кафедрі теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем та використовується студентами під час курсового проектування у курсі «Теоретична механіка та теорія машин і механізмів (курсовий проект)».

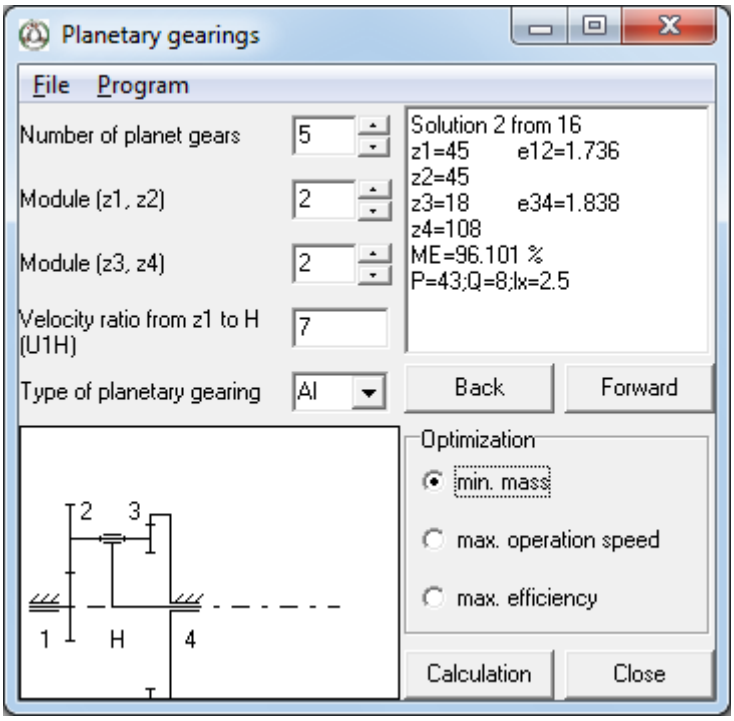


Рис. 2 – Програма Planetary gearings

На рис. 2 показано розрахунок схеми *AI* для параметрів: кількість сателітів k = 5, модулі коліс m_1 = m_2 = 2 мм, передавальне відношення від першого колеса до водила $U_{1H} = 7$. Підібрано 16 варіантів рішення серед яких другий виявився з мінімальною масою. Результати підбору чисел зубців z_i, розрахунки коефіцієнтів торцевого перекриття $\varepsilon_{\alpha 12}$ та $\varepsilon_{\alpha 34}$, ККД, числа P і Q необхідні для складання механізму, показник $\lambda\chi$ для умови існування механізму заданої схеми показані у верхньому правому вікні.

Висновки. 1. На підставі отриманих розрахунків відбувається швидкий вибір необхідного варіанта рішення для простих схем планетарних механізмів. 2. Для зубчастих передач до складу яких входять зазначені схеми планетарних механізмів як окремі ступені оптимізація за зазначеними критеріями суттєво спрощується. 3. Вибір необхідного варіанта рішення можливий на початковому етапі при проектуванні складних структурних схем зубчастих передач. 4. Застосування програми Planmex (Planetary gearings) дозволяє отримувати необхідні рішення для подальшого аналізу.

Список використаних джерел

1. Данилов В. Н. «Подбор чисел зубьев планетарных механизмов схем *AA, II, AI, IA,* $\overline{AI}$ и $\overline{IA}$ с помощью программного обеспечения». Зб. наук. пр. «Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології» . – Харків: ХАІ. – 2021р. – Вип.92. С. 87-100.
2. Ткаченко, В. А. Планетарные механизмы / В. А. Ткаченко. – Харьков: ХАИ, 2003. – 446 с.

UDC 621.7.014

Kladova O.Yu., Ph.D. associated professor,
o.kladova@khai.edu
Chaika V.
v.o.chayka@student.khai.edu

MATHEMATICAL MODEL OF CYLINDRICAL MANIPULATOR

National Aerospace University named after M. Ye. Zhukovsky
'Kharkiv Aviation Institute'

Developing of methods of manipulator driving forces and moments determination is important tasks of robotics. It is necessary for the reasonable choice of drives ensuring the mobility of the robot's mechanical system [1].

The work object of analysis is driving forces and moments (hereinafter, generalized forces) in kinematic pairs of a manipulator operating in a cylindrical coordinate system (Fig. 1). To simplify calculations, it is assumed that the center of gravity of the load is located on the axis of link 3, point A in fig. 1. The trajectory and law of movement $v_A(t)$ of the working body of the manipulator are considered given. The inverse problem of kinematics for determining the movements of individual links of the mechanism is solved analytically. Generalized forces are determined using Lagrange equations of the second sort [2]:

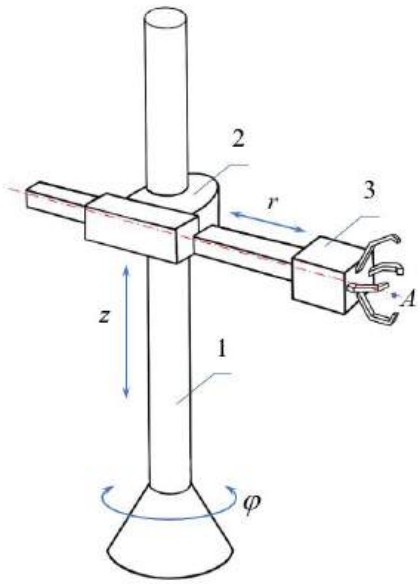


Fig. 1.

$$\begin{cases} I_{Oz}\ddot{\varphi} + 2m_3\left(r - l_{AC_3}\right)\dot{r}\dot{\varphi} + 2m_l r\dot{r}\dot{\varphi} = Q_1, \\ (m_2 + m_3 + m_l)\ddot{z} + (m_2 + m_3 + m_l)g = Q_2, \\ \left(m_3 + m_l\right)\ddot{r} - m_3\left(r - l_{AC_3}\right)\dot{\varphi}^2 - m_l r\dot{\varphi}^2 = Q_3. \end{cases} \quad (1)$$

де

$$q_1 = \varphi;\ q_2 = z;\ q_3 = r.$$

Mass moment of inertia I_{Oz} is function of horizontal coordinate r

$$I_{Oz}(r) = I_{1z} + I_{2z} + I_{3Cz} + m_3\left(r - l_{C3}\right)^2 + m_l r^2.$$

Fig. 2 presents the function $I_{Oz}\left(r\right)$. It can be noticed that there is a position where the function has a minimum. The position corresponds situation in which common mass center of link with the load is on the axis of link 1 rotation.

In the first stage of the solution, the friction forces were neglected. The reactions in kinematic pairs were obtained by the kinetostatics method [3]. Later they were used for the second stage of the solution when sliding friction forces were taken into account.

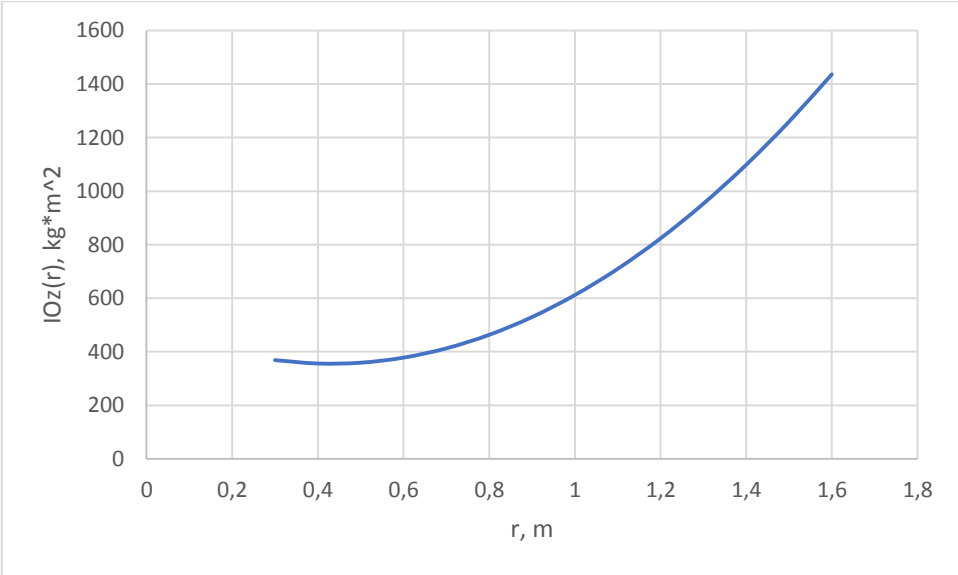
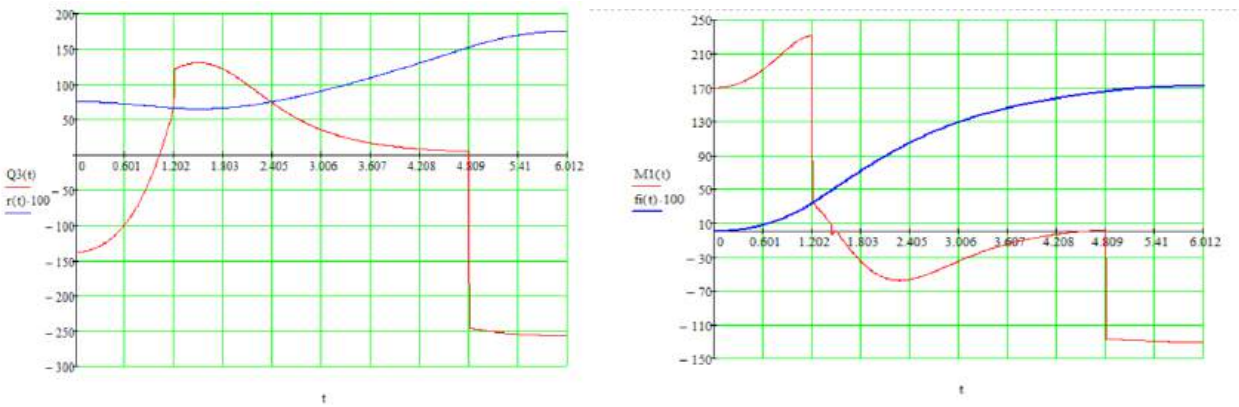


Fig. 2

For some problems, the dependences of generalized forces on time were obtained. Fig. 3 shows the generalized forces and the coordinates to which they correspond, provided that the mass of the load is $m_l = 450$ kg, the mass of the third link is $m_3 = 340$ kg: a) the horizontal coordinate of the working body and the driving force Q_3, N acting on link 3, b) the angle of rotation φ and the driving moment $Q_1 = M_1$, Nm, which ensures the rotation of links 2 and 3.



a) b)

Fig. 3.

The influence of friction forces on the driving force Q_3 acting on the third link is shown in fig. 4, the coefficient of friction in the kinematic pair 2-3 is $\mu = 0.1$: thin solid line - calculation with friction, thick line - without friction. Additionally, in Fig. 4, the dashed line shows the scaled speed of link 3 relative motion. As we can see, it is the forces of friction that largely determine this driving force.

The results make it possible to reasonably choose link drive motors. The mathematical model can also be used to choose the trajectory of the load, which is optimal from the point of view of the load on the mechanism.

The fact that the inverse problem of kinematics for this manipulator is solved analytically and unambiguously allows us to use the developed mathematical model for testing a general

software complex that analyzes the kinematics and dynamics of any manipulator with three degrees of freedom.

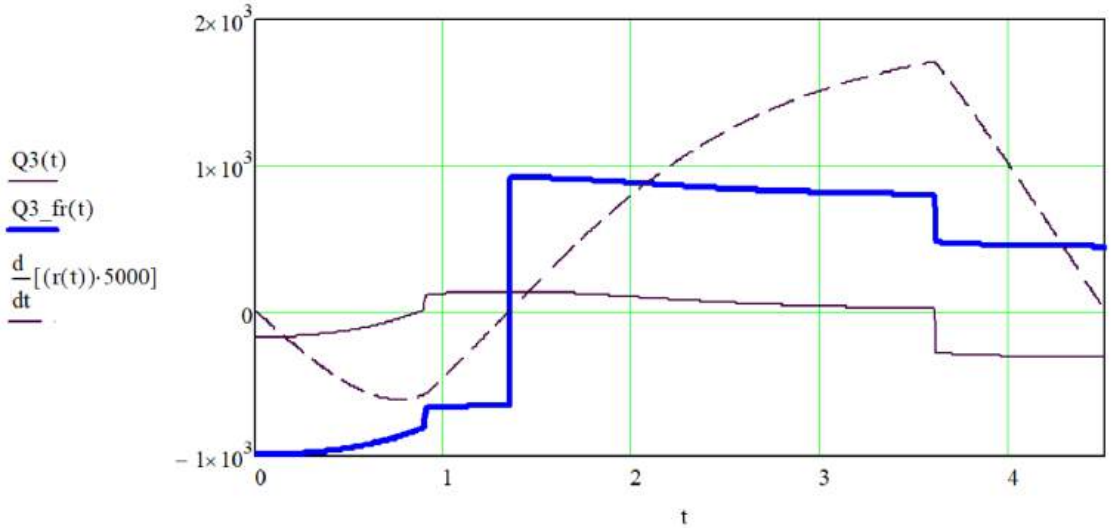


Fig. 4

The analysis of the obtained results allows us to set the problems of further development of the model:

1. Add the possibility to consider the load as a solid body, and not as a partical.
2. Include in the model damping elements that provide damping of vibrations that may occur during movement.

References

1. John J. Craig, Introduction to Robotics Mechanics and Control, Third Edition, 2005
2. Grand R. Fowles, George L. Cassiday. Analytical mechanics, Seventh Edition, 2005
3. Shigley, Josef Edward, Theory of machines and mechanisms, 1981.

УДК 621.833

Кузнецова А.В., к.т.н., доцент
a.kuznetsova@khai.edu
Гнитько О.М., к.т.н., доцент
o.gnytko@khai.edu

ОЦІНКА ТВЕРДОСТІ ЗУБА КОНІЧНОЇ ШЕСТІРНІ ІЗ КРУГОВИМИ ДВООПУКЛО-ВВІГНУТИМИ ЗУБЦЯМИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

У роботі розглядається вплив на жорсткість зачеплення тільки пружної деформації двоопукло-ввігнутих (ДВВ) зубів. Вплив інших факторів (прогин валів, зсув зон контакту підшипників, деформація корпуса приводу машини) на положення точки контакту (за винятком пружної деформації валів) вважалося незначним, що, однак, не виключає подальшого вдосконалювання розроблених методик розрахунку шляхом врахування цих факторів.

Для моделювання напружено-деформованого стану зуба методом кінцевих елементів у справжній роботі була використана універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу ANSYS.

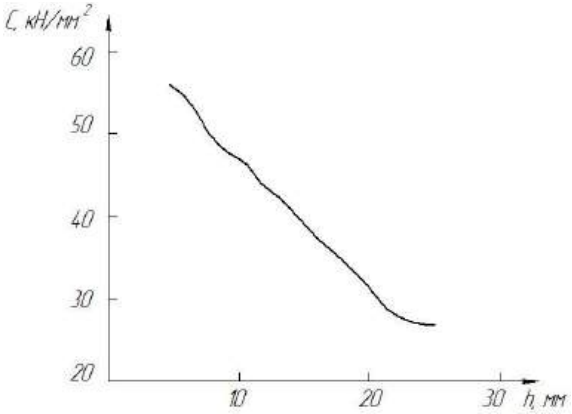
Розподілене по довжині зуба навантаження прикладалося по лінії контакту. Було закладено 32 варіанта навантаження, відповідних до послідовного прикладення розподіленого навантаження по висоті зуба. Ширина кожного варіанта навантаження відповідала половині ширини герцевської смужки контакту зубів.

Питома жорсткість шестірні визначається як відношення нормального погонного навантаження до повного переміщення точки її прикладення, тобто сумі згинної деформації зуба шестірні і контактної деформації (зближення центрів кривизни) у зоні зачеплення

$$C = \frac{q}{\delta},$$

де C – питома жорсткість зубів шестірні, кН/мм2; q – нормальне погонне навантаження на зуб шестірні, кН/мм; δ – деформація зубів шестірні в зоні контакту з колесом, мм.

Графік розподілу твердості по висоті зуба шестірні для середнього перетину представлено на рисунку.



Таким чином, запропонований підхід дозволяє врахувати пружні характеристики зубів зубчастої передачі, що забезпечує більший ступінь наближення створюваних моделей до реальних об'єктів. Отримані значення жорсткість зачеплення є одним з вихідних параметрів моделі для дослідження динамічних процесів у зачепленні, а також моделі зношування зубів, що враховує взаємовплив параметрів контакту на форму профілю зуба і форми зуба на параметри контакту в результаті чого суттєво підвищується надійність розрахунків зубчастих передач на міцність і довговічність.

УДК 621.822.

Назін В.І., д.т.н., доцент
v.nazin@khai.edu

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА ПАЛИВНОГО НАСОСУ НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Одним з важливих агрегатів в системі роботі двигуна є паливний насос. Найбільш широко як опори валів паливних насосів застосовують підшипники кочення. Однак застосування підшипників кочення має деякі недоліки. Через великі навантаження, що діють на підшипники кочення, вони мають великі діаметральні розміри, які часто перевищують діаметри зубчатих коліс. Крім того для змащення підшипників кочення потрібна додаткова система мастила. Одним з основних переваг гідростатичних підшипників є можливість застосування як мастильного матеріалу робочого тіла агрегату, в даному випадку, палива. Паливо в насосі перебуває під великим тиском, що також вказує на можливість застосування гідростатичного підшипника. Ці підшипники відносяться до підшипників рідинного тертя. Основним критерієм працездатності гідростатичних підшипників є мінімальна товщина робочої рідини, що розділяє поверхні, що труться. Товщина мастильної плівки повинна перевищувати сумарну висоту мікронерівностей і відхилень від форми вала і підшипника, тобто за один повний оберт не повинно відбуватися контакту мікронерівностей. Тому ці підшипники є практично беззносними, якщо не враховувати початкові миті пуску і кінець зупинки. Також використання гідростатичних підшипників розширяє асортимент застосованих матеріалів. Діаметральні розміри гідростатичних підшипників також менше, ніж підшипників кочення. На відміну від підшипників кочення, які мають дискретні стандартні діаметри, гідростатичні підшипники ковзання можна виготовити будь- якого діаметру.

Цілий ряд розглянутих переваг гідростатичних підшипників вказують на необхідність їх застосування в паливних насосах, а дослідження цих підшипників є дуже актуальними.

Аналіз роботи агрегатів енергоустановок, показує, що як правило, робочими тілами агрегатів енергоустановок, є малов´язкі рідини. Мала в´язкість робочих тіл і порівняно високі швидкості ковзання створюють умови, при яких може мати місце турбулентний режим течії робочої рідини. Режим течії робочої рідини може істотно впливати як на статичні так і на динамічні характеристики підшипника.

Однією з основних вимог, що пред´являються до будь-яких проектованих підшипників, є висока надійність і довговічність на всіх режимах їх роботи. Крім того до них ставиться така вимога, як вибухо-та пожежобезпечність.

В існуючих конструкціях енергоустановок використовуються різні типи підшипників ковзання рідинного тертя. Відома велика кількість типів розточки вкладишів. Найбільш часто застосовують найпростіше циліндричне розточення.

При розробці конструкції гідростатичного підшипника розглядалися дві конструктивні схеми, які враховують особистості роботи шестерного насосу. Традиційна конструкція втулкового гідростатичного підшипника була змінена, тому що в шестерному насосі навантаження на підшипник діє постійно в одному напрямку.

Розглядались схеми с двома і трьома несучими камерами на робочих поверхнях гідростатичних підшипників. Робоча рідина подається в несучі камери під великим тиском. На вході в камери встановлюються вхідні компенсатори тиску з невеликим діаметром. В якості рідини використовують робоче тіло, яке знаходилося всередині насоса, в даному випадку гас.

Основними статичними характеристиками гідростатичного підшипника є несуча здатність і витрати робочої рідини. В основі визначення цих характеристик лежить функція розрахунку тисків у шарі робочої рідини, яку визначають із спільного рішення рівнянь

Рейнольдса і балансу витрат робочої рідини. Тиск у камерах визначають із рішення рівнянь балансу витрат робочої рідини. Баланс витрат робочої рідини записується за умовою рівності витрат рідини через вхідні компенсуючі пристрої і витрат по контуру камери. Рівняння Рейнольдса узагальнювалося на випадок турбулентної течії робочої рідини за допомогою коефіцієнтів турбулентності, які визначались методом Константинеску.

Процес визначення тисків у камерах ітераційний. Задаючи початкові значення тисків у камерах і використовуючи рівняння балансу витрат рідини визначались значення тисків у камерах на наступному кроці. Отримані значення тисків у камерах використовувались для наступної ітерації як початкові значення тисків. Ітераційний процес продовжувався до отримання необхідної точності. Отримані значення тисків у камерах і перепад тиску на зливі використовувались як граничні значення при визначенні тисків на міжкамерних перемичках. Тиски на міжкамерних перемичках визначались із чисельного розв´язання рівняння Рейнольдса. Це рівняння не має точного аналітичного рішення і розв´язувалось чисельно з використанням методу кінцевих різниць. Різницева схема записувалась в неявному вигляді, так як в порівнянні з явними вона має більшу стійкість і не вимагає жорсткого обмеження по кроку сітки. Це призводить до необхідності розв´язаня системи алгебраїчних рівнянь. Важливим окремим випадком в системі так званих «трехточкових» різницевих рівнянь, які пов´язують невідомі значення сіткових функцій в трьох сусідніх вузлах сітки. Розв´язувати такі системи дозволяє відомий метод поздовжно-поперечної прогонки. Основна ідея методу поздовжно-поперечної прогонки полягає в зведенні переходу із шару на шар до послідовного розв´язання одновимірних задач уздовж рядків і вздовж стовпців. При записі рівняння Рейнольдса у різницевому вигляді поверхня між камерами покривалась регулярною сіткою. Рівняння Рейнольдса записувалось у різницевому вигляді з використанням п´ятиточкового шаблону. Задаючи початкові значення тисків у вузлах сітки визначались тиски у вузлах сітки на наступному кроці.

Після визначення тисків у камерах і на міжкамерних перемичках розраховувалась несуча здатність підшипника і витрата робочої рідини. Розраховувались також втрати потужності на тертя та прокачування.

Результати розрахунків показали, що при всіх розглянутих зазорах в гідростатичному підшипнику несуча здатність підшипника з двома несучими камерами була більше у порівнянні з несучою здатністю підшипника з трьома камерами. При зазорі в підшипнику 0,0225 мм несуча здатність двокамерного підшипника була більше трьохкамерного приблизно у 2,16 рази, а при зазорі 0,0425- у 2,6 рази. Витрати робочої рідини двокамерного підшипника менше витрат робочої рідини трьохкамерного підшипника при всіх розглянутих зазорах у підшипнику. При зазорі в підшипнику 0,0225 мм витрати робочої рідини у двокамерному підшипнику були менше ніж трьохкамерного в 1,88 рази, а при зазорі 0,0425- в 1,59 рази.

Наведений аналіз показує, що гідростатичний підшипник с двома несучими камерами має більшу несучу здатність і менше витрати робочої рідини у порівнянні з трьохкамерним підшипником. Тому для подальшого аналізу характеристик гідростатичного підшипника для паливного авіаційного шестерного насосу була обрана схема з двома несучими камерами.

Розрахунок несучої здатності гідростатичного підшипника с двома камерами при різних значеннях діаметру жиклера показав, що залежність несучої здатності підшипника від діаметру жиклера має нелінійний характер. Необхідна несуча здатність підшипника забезпечувалася при діаметрі жиклера 2,3 мм і дорівнювала 1024 Н.

Дуже важливим для будь яких насосів, у тому числі і шестерних, є забезпечування необхідних об´ємних витратних характеристик. Тому дуже важливою була оцінка кількостного відбору робочої рідини (палива) на роботу гідростатичного підшипника. На основному режимі роботи паливного шестерного насосу відбір палива на роботу гідростатичного підшипника склав 1,3% від витрат через насос.

Наведений аналіз показує, що гідростатичні підшипники можна рекомендувати як опори валів паливних насосів шестерного типу.

УДК 536.24.2

Повгородній В.О., к.т.н, доцент
v.povgorodny@khai.edu

ЗАСТОСУВАННЯ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ТЕРМОПРУЖНОСТІ В НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Ефективність прийнятих рішень при конструюванні різного промислового обладнання залежить від достовірності знань про теплофізичні процеси під час його експлуатації. В основу методів моделювання та ідентифікації процесів теплообміну можуть бути покладені розв’язання обернених задач термопружності (ОЗТП). У ряді випадків визначення теплофізичних характеристик матеріалу або параметрів теплообміну методом ОЗТП є практично єдиним способом отримання необхідної інформації про об'єкт, що досліджується.

На сьогоднішній день обернені задачі, в яких причинні характеристики фізичних процесів визначаються за результатами вимірювань або за іншими наслідковими проявами, впевнено зайняли своє місце при дослідженні фізичних процесів різної природи, в тому числі і теплофізичних. Розв’язання внутрішніх ОЗТП з ідентифікації теплофізичних характеристик матеріалів є важливим етапом при побудові математичних моделей теплових процесів у більшості матеріалів, що використовуються в сучасній аерокосмічній техніці, у металургійному виробництві та в різних галузях господарської діяльності.

Обернені задачі термопружності відносяться до некоректних задач. Адамаром були введені умови коректності для операторного регулювання, що встановлює причинно-наслідковий зв'язок між характеристиками досліджуваної системи та її станом. У загальних рисах коректність по Адамару складається з того, що розв’язок існує, він єдиний, а також неперервно залежить від вихідних даних, тобто розв’язок стійкий.

Будь-яка ОЗТП, яка може бути формалізована таким чином:

$$A[C,\lambda] = T\ ,$$

де C,λ – шукані теплоємність та коефіцієнт теплопровідності;

T – змінна стану процесу і в більшості випадків відома з теплофізичного експерименту;

A – оператор, що зв’язує C,λ з вихідними даними T.

Така задача в наслідок порушення причинно-наслідкового зв'язку є некоректно поставленою по Адамару, а значить, її розв’язок є нестійким. При вирішенні такої некоректної задачі необхідно або звести її до умовно-коректної, або використовувати один із методів регуляризації (градієнтні та варіаційні методи, зокрема, варіаційний метод А. М. Тихонова А.М.).

Крім того, в різних областях науки та техніки з метою пізнання закономірностей роботи деякого об'єкту або природного явища проводяться експерименти самого різного виду. Мета цих експериментів - виявлення основних закономірностей явища і формування на його основі деякої математичної моделі. Дуже часто на практиці зустрічаються ситуації, коли об'єкт дослідження або недоступний для спостереження, або проведення такого експерименту дорого, а відповідно, економічно недоцільно.

Прикладами можуть служити експерименти з вивчення внутрішньої будови Землі, на основі яких можна було б прогнозувати родовища корисних копалин, передбачати час і місце руйнівних землетрусів. Наприклад, глибина найглибших шахт, пробурених за допомогою найсучаснішого обладнання, не перевищує 20 км, а середній радіус Землі дорівнює 6371 км.

Таким чином, для безпосереднього спостереження доступна лише приповерхнева частина Землі. При цьому, необхідно робити висновок про властивості Землі (наприклад, про зміну її щільності з глибиною) по виміряним в ході експерименту непрямим спостереженнями. Другий приклад – це саме проблеми неруйнівного контролю виробів і конструкцій, коли потрібно виявити дефект (тріщину, порожнину) всередині працюючого об'єкта (літака, ракети, ядерного реактора, ротора турбіни і т.д.). Ще приклад - медичні дослідження, спрямовані на виявлення патологій внутрішніх органів людини. Таким способом в даний час є ультразвукове дослідження, котре широко застосовується в медицині і дозволяє досить просто виявляти патології різних органів, а також використовується в техніці. У цьому випадку об'єкт дослідження також недоступний для безпосереднього вивчення. Ми судимо про структуру та розміри органів лише на основі непрямих даних вимірювань. Всі вище перераховані дослідження відносять до так званих обернених задач, що бурхливо розвивається в даний час галузі сучасної математики і фізики (діагностика плазми). Слід сказати, що метрологічні питання невизначеності вимірювань при розв’язку обернених задач відіграють велику роль.

Крім того, для внутрішніх ОЗТП сформовано загальний універсальний підхід до їх розв’язання, в основі якого полягає ітераційний процес мінімізації функціоналу Тихонова, на кожній ітерації якого він представляється у квадратичному вигляді відносно ідентифікованих параметрів. Це досягається завдяки утриманню двох доданків у розкладі розрахункової температури та температурних напружень у ряд Тейлора відносно шуканих параметрів математичної моделі теплового процесу. Отже на кожній ітерації мінімізація квадратичного функціоналу зводиться до розв’язання лінійної системи алгебраїчних рівнянь відносно шуканих параметрів. Також можна відзначити що описаний ітераційний процес збігається до стійкого розв’язку ОЗТП.

До переваг пропонованого підходу до вирішення ОЗТП стосовно задач неруйнівного контролю можна віднести: простоту його реалізації; можливість використання експериментальної інформації як від одного, так і від кількох датчиків; застосовність його для неоднорідних середовищ; слабку чутливість до похибок вимірів; необов’язковість руйнування конструкції з метою визначення її дефекту. До недоліків слід віднести досить складний математичний апарат для вирішення оберненої задачі термопружності.

УДК 621.865.

Усік В.В., к.т.н., доцент
v.usik@khai.edu
Косенко О.В., асистент
o.kosenko@khai.edu

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПЛАНЕТАРНИХ І ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Планетарні та диференціальні зубчасті механізми широко використовуються в машино та літакобудуванні, автомобільній техніці, в механізмах приладів та інших транспортних засобах. Вони мають високу надійність та забезпечують високу точність передатного відношення.

Вибір планетарних і диференціальних механізмів починають із схеми механізму, оскільки одне й те передатне відношення можна забезпечити різними схемами механізмів, які відрізняються коефіцієнтом корисної дії (ККД), габаритами і вагою.

Поширені схеми простих планетарних механізмів типу $\overline{AI}$ та AI (A - зовнішнє зачеплення, I - внутрішнє) (рис.1), які використовують як силові редуктори з високим ККД при ведучому колесі z_1.

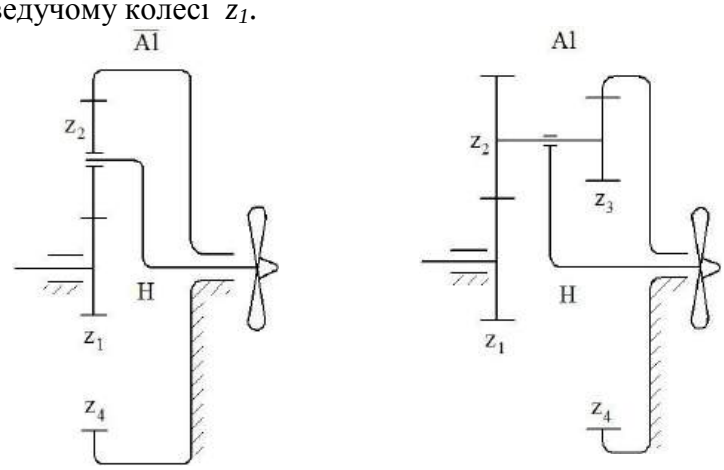


Рис. 1

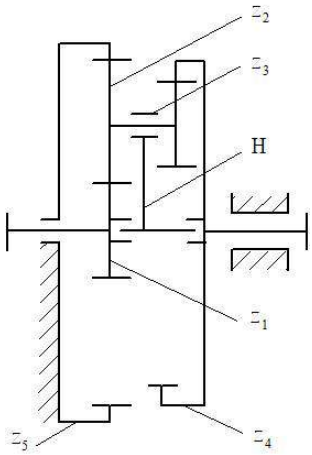


Рис. 2

Присутність декількох сателітів дозволяє знизити габарити і поліпшити динаміку механізму – зрівноважити механізм, розгрузити опірні вузли центральних коліс і водила, зменшити вагу.

Для кожної схеми планетарного механізму існують можливі значення передатних відношень $i_{1H}^{4} = \dfrac{\omega_1}{\omega_4} = 1 - i_{14}^{H}$, яке залежить від числа сателітів ($к$) і параметра $x\lambda = \dfrac{z_2 m_{12}}{z_1 m_{34}}$

Так для схеми AI - $1{,}6 < i_{1H}^{4} < 22$ при $к=3$, для схеми $\overline{AI}$, у якої $x\lambda = 1$ $2{,}1 < i_{1H}^{4} < 13{,}7$.

Підвищені передатні відношення має планетарний механізм з трьома центральними колесами (схема $\overline{AII}$) (рис. 2).

В цій схемі водило вільно обертається в своїх опорах і не передає рух на вихідний вал. При кінематичному дослідженні такий механізм розкладають на два простих: перший складається з центральних коліс z_1 і z_5, сателіта z_2 і водила H (схема $\overline{AI}$), а другий включає

центральне колесо z_4, сателіт z_3 і водило H (схема I). При нерухомому колесі z_5 передатне відношення такого редуктора має вираз

$$i_{14}^{5} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = i_{1H}^{5} \cdot i_{H4}^{5} = \left(1 + \frac{z_5}{z_1}\right)\left(\frac{1}{1 - \frac{z_3}{z_4}\frac{z_5}{z_2}}\right).$$

Такий механізм при відповідному виборі чисел зубців забезпечує значні передатні відношення [2] $12 < i_{14}^{5} < 200$ і має високий ККД і малі габарити.

З метою збільшити передатне відношення використовують послідовно з'єднані прості планетарні , або замкнені планетарні механізми.

Замкнені планетарні механізми дозволяють зменшити вагу і габарити механізму за рахунок розподілу потужності, яка передається на два паралельні струми і збільшити крутний момент на вихідному валу редуктора, при цьому вони мають більш високий ККД. На рисунку 3 показана одна із схем замкненого планетарного механізму, який має підвищене передатне відношення $i_{17} = \frac{\omega_1}{\omega_7} = i_{17}^{4} + i_{17}^{H} = \left(1 + \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}\right) + \frac{z_2 z_4 z_7}{z_1 z_3 z_5}$.

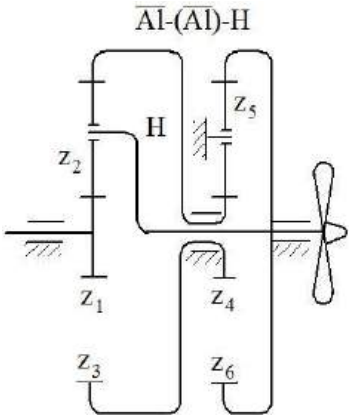


Рис. 3

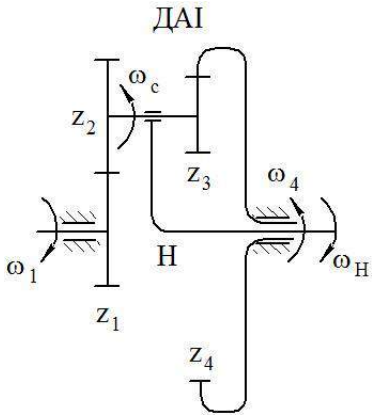


Рис. 4

Така схема дозволяє збільшити передатне відношення i_{17} до 270.

Складовою замкнених планетарних механізмів являються прості диференціальні механізми, які набули широкого застосування в різних галузях машинобудування.

Вони дозволяють складати обертові рухи паралельно працюючих валів, або передавати обертовий рух від одного джерела енергії (ведучого вала) до двох вихідних валів, при цьому забезпечують безступеневе регулювання як рух окремих валів, так і регулювання потужностей і крутних моментів цих валів, наприклад, задніх мостів вантажних автомобілів і автобусів.

Зв’язок між абсолютними кутовими швидкостями зубчастих коліс і водила в диференціальних простих механізмах, які мають три центральні ланки (рис.4) випливає з формули Вілліса

$$\omega_1 = \omega_4 i_{14}^{H} + \omega_H \left(1 - i_{14}^{H}\right). \qquad (1)$$

Це рівняння показує, як розподіляються кутові швидкості між ведучим валом і двома вихідними.

В авіації має місце випадок, коли диференціальний механізм використовують як редуктор для обертання в різних напрямках двох співвісних гвинтів (рис.4).

В цьому випадку ведучим є колесо z_1, а кутові швидкості $\omega_4 = -\omega_H$. Тоді рівняння (1) має вираз $i_{1H} = \frac{\omega_1}{\omega_H} = 1 - 2i_{1H}^4 = 1 + 2\frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}$.

В цьому випадку передатне відношення диференційного механізму приблизно в два рази більше подібної схеми планетарного механізму.

Щоб забезпечити рівність кутових швидкостей $\omega_4 = -\omega_H$ до колеса z_4, з яким зв'язаний задній гвинт, необхідно підводити крутний момент T_4, а до водила H, на виході якого розташований передній гвинт - крутний момент T_H.

Ці крутні моменти є різними $T_4 < T_H$. На практиці, щоб забезпечити нерівність крутних моментів встановлюють лопасті переднього і заднього гвинтів під різними кутами, або гвинти з різною кількістю лопастей.

Інший шлях забезпечити рівності $\omega_4 = -\omega_H$ - це використання замкнених диференціальних механізмів (рис.5), побудованих аналогічно замкненим планетарним механізмам, тобто в простий диференціальний механізм вводиться додатковий замикальний зубчатий механізм, який складається з коліс z_5 - z_6 і z_7 - z_8 з'єднує кінематично водило H і зубчате колесо z_4.

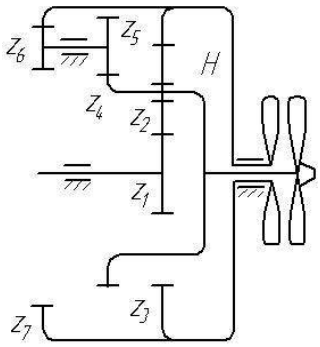


Рис. 5.

Передатне відношення замикального механізму має дорівнювати одиниці (за модулем).

$$i_{зам} = i_{45} i_{67} = -\frac{z_5 z_7}{z_4 z_6}.$$

У схемах замкнених диференціальних редукторах забезпечується рівність кутових швидкостей. а також необхідних крутних моментів T_4 *і* T_H.

Висновки

Результати аналізу наведених даних дозволяють порівняти і виявити переваги і недоліки різних схем планетарних і диференціальних механізмів та визначити напрямок вдосконалення існуючих схем цих механізмів.

Список використаних джерел

1. Ткаченко. В. А. Планетарные механизмы, оптимальное проектирование : учеб. пособ. / В. А. Ткаченко. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. М. Е. Жуковского «ХАИ», 2003. – 446 с.
2. Кудрявцева, В. Н. Планетарные передачи: / В. Н.Кудрявцева, Ю. Н. Кирдашова; под ред. В. Н.Кудрявцева. – Л.: Машиностроение, 1977. 535 с.
3. Сілевич, В.Ю. Порівняння передавальних відношень планетарних систем Сімпсона і Равіньо / Сілевич В. Ю., Усік В. В. // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «ІСТМ-2019». : тези доп. / Нац. аерокосм. ун-т ім.. М. Є. Жуковського «Харків. авіа. ін-т». – Харків, 2019. – том 2. – с. 143-146.

УДК 621.452.3

Хазанов М.О., студент
m.o.khazanov@student.khai.edu

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ АТМОСФЕРНИХ УМОВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТУРБОВАЛЬНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Умови навколишнього середовища істотно впливають на параметри робочого процесу, режим роботи та основні показники газотурбінного двигуна (ГТД). Турбовальні двигуни з двохкаскадним газогенератором, які призначені для приводу газоперекачувального агрегату (ГПА) складаються з каскаду низького тиску, каскаду високого тиску і вільної силової турбіни, що дає більшу гнучкість для експлуатації завдяки незалежній роботі нагнітача природного газу та газогенератора. Для ГПА зміна тиску газу, що перекачується, дається взнаки тільки на роботі нагнітача та трохи – на роботі силової турбіни, але не впливає на газогенератор. Стосовно коливань параметрів атмосферного повітря, то вони вже впливають на роботу тільки турбокомпресора та мало відображаються на роботі силового валу.

Барометричний тиск у будь-якій місцевості зазвичай не змінюється більше ніж на ± 4% від середнього значення. Внаслідок цього і витрата повітря, і потужність ГТУ при коливаннях тиску змінюються тобто несуттєво. Однак, зі збільшенням висотної відмітки площадки компресорної станції над рівнем моря , потужність ГТУ буде спадати приблизно на 1% на кожні 100 м висоти. Це справедливо для будь-яких схем ГТУ відкритого циклу.

Зміна температури атмосферного повітря $T_п$ значно сильніше, ніж коливання барометричного тиску, впливає на потужність та інші параметри ГТУ. Це пояснюється тим, що двигуни можуть працювати в різних кліматичних широтах з різною температурою навколишнього середовища, а також є вплив від зміни пори року.

В зв’язку з цим актуальною є задача визначення впливу зміни температури робочого тіла на вході в двигун на його термогазодинамічні параметри.

Для вирішення цієї задачі необхідно розрахувати кліматичну характеристику з використанням методів математичного моделювання [1]. В якості об’єкта дослідження використано ГТД, схема якого зображена на рис. 1.

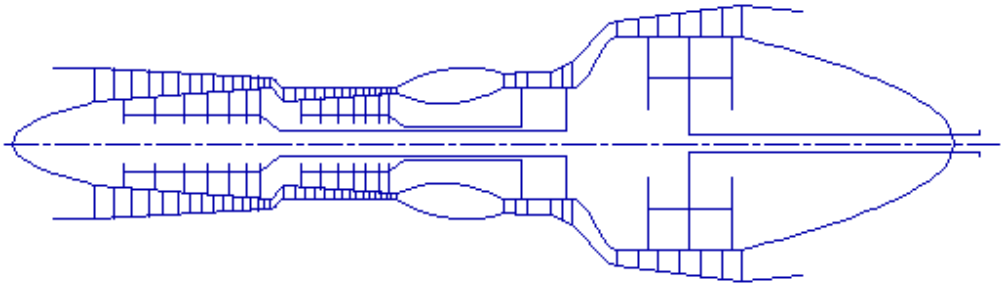


Рис. 1 – Схема проточної частини ГТД

Дослідження кліматичної характеристики проведено в діапазоні температур навколишнього середовища від –50°С до +45°С. Даний діапазон температур охоплює усі можливі області експлуатації двигуна. Складаємо три блоки зміни поля температур: у першому блоці температура зростає в інтервалі 15…45°С, а у другому та третьому знижується від 15°С до –50°С. Розмежування характеристики на три блоки необхідно виконати в зв’язку з використанням різних програм регулювання двигуна. В першому блоці використовується програма регулювання двигуном $T^*_г$ = const, $F_{р.н.}$ = const, в другому блоці програма регулювання N_e = const, $F_{р.н.}$ = const, в третьому - $T^*_г$ = const, $F_{р.н.}$ = const та N_e =

const, $F_{р.н.}$ = const. Використання в третьому блоці двох програм регулювання обумовлене тим, що максимальне навантаження ГПА для покриття пікових режимів складає на 10…15% більше їх номінальної потужності. Для дослідження можливості реалізації максимального режиму роботи установки на нерозрахункових режимах, визначають температуру атмосферного повітря, за якої ця потужність досягається – програма $T^*_г$ = const, $F_{р.н.}$ = const. Далі розрахунок йде по програмі N_e = const, $F_{р.н.}$ = const.

В результаті отримані кількісні показники зміни параметрів турбовального газотурбінного двигуна:

1) Потужність N_e: при $T_н$=15ºС N_e=10850 кВт, при $T_н$=45ºС потужність зменшилась на 25,85 %, при $T_н$= -50ºС та програмі N_e = const не змінила своє значення, але за тієї ж температури навколишнього середовища та зі змішаною програмою, ГТД вийшов на максимальне значення потужності N_e = 12300 кВт;

2) Питома витрата палива C_e: при $T_н$=15ºС C_e = 0,2152 кг/(кВт год), при $T_н$=45ºС питома витрата підвищила своє значення на 8,37% , при $T_н$= -50ºС знизилась на 4,64%;

3) Повна температура газу на виході з камери згоряння $T^*_г$: при $T_н$=15ºС та $T_н$=45ºС $T^*_г$ =1380 К, що відповідає номінальному значенню та зберігається, тому що програма регулювання $T^*_г$ = const. При $T_н$= -50ºС знизила значення на 16,98%;

4) Запас стійкості $\Delta К_{уНТ}$ та $\Delta К_{уВТ}$ при $T_н$=15ºС $\Delta К_{уНТ}$ =0,2125, $\Delta К_{уВТ}$ = 0,2225. При $T_н$=45ºС $\Delta К_{уНТ}$ знизився на 26,57%, а $\Delta К_{уВТ}$ підвищив своє значення на 10,11%. При $T_н$= -50ºС $\Delta К_{уНТ}$ збільшився на 5,03%, а $\Delta К_{уВТ}$ зменшився на 5%.

Список використаних джерел

1. Волов А.Г., Дегтярьов О.Д., «Дослідження експлуатаційних характеристик гахотурбінних двигунів» [Текст] / Волов А.Г., Дегтярьов О.Д., Павленко Г.В. - Харків: ХАІ, 2006. - 57 с

Науковий керівник: асистент каф. 201 Даценко В. А.

УДК 621.833.6

Шехов О.В., старший викладач
o.shekhov@khai.edu

3D ТВЕРДІЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ЗАДАЧІ ОЦІНКИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОПТИМАЛЬНОЇ ПО МАСІ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНІЗМУ ДЖЕЙМСА

Національний аерокосмічний університет ім. Н.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Практика проектування і створення приводів систем управління літальних апаратів показує, що вимога забезпечення найменшої маси конструкції приводу і вимога до його здатності навантаження можуть бути не сумісні. Іноді такі вимоги можуть бути взаємно суперечливими. Вирішення такого протиріччя бути виконано двома різними підходами. При першому підході критерій мінімуму маси вважається основним, а оцінка несучої здатності виконується за знайденими параметрами оптимальної по масі конструкції. Для другого підходу умова забезпечення заданої несучої здатності враховується при оптимізації маси конструкції приводу. Обидва підходи мають свої плюси і мінуси. Тому оцінка несучої здатності конструкції вищеназваних приводів, що мають мінімальну масу є актуальною.

Розробка методики оцінки несучої здатності оптимальної по масі конструкції планетарного механізму Джеймса (механізму типу $\overline{\text{AI}}$), кінематична схема якого показана на рис.1, розглянута в роботі [1]. У цій роботі сумарна маса механізму визначається за формулою

$$M_{\overline{AI}} = \frac{\pi\rho_1}{4}\cdot b_1 d_1^2 \cdot \left(1 + k\cdot\left(\frac{u-2}{2}\right)^2 + n_M \cdot \frac{u^2}{4}\right) = \frac{\pi\rho_1}{4} b_1 d_1^2 \cdot A, \qquad (1)$$

де ρ_1, b_1 d_1 – щільність матеріалу, ширина зубчастого вінця і діаметр ділильного кола центрального зубчастого колеса z_1; k – число сателітів z_2 механізму; n_M – коефіцієнт приведення мас корпусу, водила і нерухомого зубчастого колеса z_3 до маси умовного диска, діаметр якого дорівнює подвоєній міжосьовій відстані зовнішнього зубчастого зачеплення z_1-z_2, а ширина дорівнює ширині зубчастого вінця центрального рухомого зубчастого колеса z_1; $u = u_{1H}^3 = 1 + z_3/z_1$ – передаточне відношення механізму; $A = 1 + k\left(\frac{u-2}{2}\right)^2 + n_M \frac{u^2}{4}$ – безрозмірний коефіцієнт.

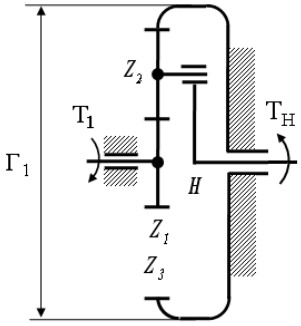


Рис. 1 – Простий планетарний механізм типу $\overline{\text{AI}}$

Формула (1) отримана в припущенні, що матеріали усіх зубчастих коліс однакові і однакові їх ширина зубчастих вінців. При заданих значеннях параметрів k, n_M і передаточного

відношення u сумарна маса механізму визначається масою умовного об'єму $0,25\pi b_1 d_1^2$ центрального рухомого зубчастого колеса z_1.

Умовний об'єм $0,25\pi b_1 d_1^2$ центрального рухомого зубчастого колеса z_1 може бути знайдений з різних умов міцності. Введемо в розгляд коефіцієнт маси

$$C_{ic} = \frac{\pi\rho_1}{4}\left(b_1 d_1^2\right)_{ic}. \tag{2}$$

У формулі (2) нижній індекс «іс» вказує на позначення критерію міцності, з якого знаходять відповідну величину $\left(b_1 d_1^2\right)_{ic}$.

З урахуванням (2) формулу (1) перепишемо у безрозмірному вигляді

$$\overline{M}_{ic} = \frac{M_{\overline{AI}}}{C_{ic}}. \tag{3}$$

Наприклад, з урахуванням умови контактної міцності зовнішнього зубчастого зачеплення z_1-z_2 отримаємо формулу (3) у вигляд [1]

$$\overline{M}_H = \frac{M_{\overline{AI}}}{C_H} = \frac{A}{k(u-2)} = \frac{1+k\left(\frac{u-2}{2}\right)^2 + n_M\frac{u^2}{4}}{k(u-2)}, \tag{4}$$

де $C_{ic} = C_H = \frac{\pi\rho_1}{4}\frac{0,7T_1\left(\Omega_H E_{np} K_{H\beta} K_{Hv}\right)_{12}}{\left(\sigma_{HP}^2\right)_{12}\cos^2\left(\alpha_t\right)tg\left(\alpha_{tw12}\right)}$ – коефіцієнт маси при розрахунку на контактну міцність; Ω_H – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження серед сателітів при розрахунку на контакт (H); $\overline{M}_H$ – аналог маси простого планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$ при розрахунку на контактну міцність зовнішнього зачеплення z_1-z_2.

При заданих значеннях параметрів k і n_M конструкції механізму аналог його маси $\overline{M}_H$ є функцією передаточного відношення механізму u, тобто $\overline{M}_H = \overline{M}_H\left(u\right)$. На рис, 2 наведено графіки цієї функції.

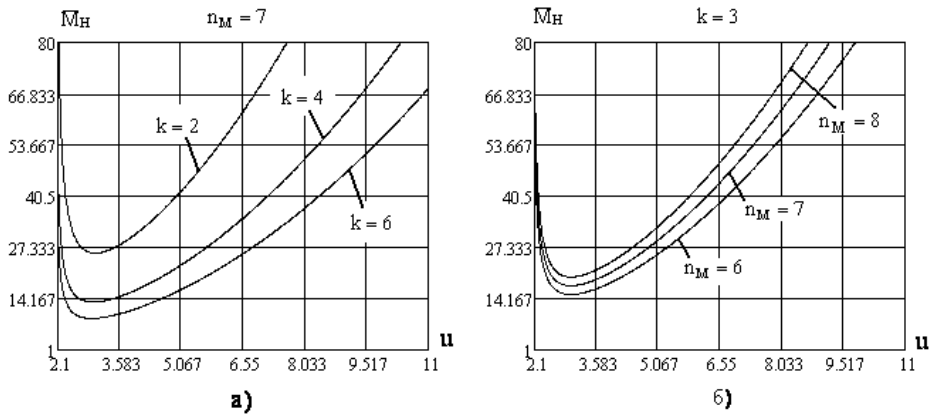


Рис. 2 – Графіки функції $\overline{M}_H = \overline{M}_H\left(u\right)$

З представлених на рис. 2 графіків видно, що функція аналога маси планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$ при розрахунку контактну міцність його зовнішнього зачеплення z_1-z_2 має явний мінімум. При цьому зі збільшенням числа сателітів k або зменшенням значення параметра n_M значення цього мінімуму зменшується.

З умови контактної міцності зовнішнього зубчастого зачеплення z_1-z_2 отримаємо формулу для визначення значення моменту на вході механізму $[T_1]_H$ [1]

$$[T_1]_H = \frac{\left(\sigma_{HP}^2\right)_{12}}{0,418^2 4}\frac{k}{\Omega_H}\frac{\cos^2(\alpha_t)\,tg(\alpha_{tw12})}{\left(E_{np}K_{H\beta}K_{Hv}\right)_{12}}\frac{u-2}{u}b_1 d_1^2. \tag{5}$$

Значення допустимого моменту навантаження механізму $[T_H]_H$ знаходимо з (5) [1]

$$[T_H]_H = [T_1]_H\, u = \frac{\left(\sigma_{HP}^2\right)_{12}}{0,418^2 4}\frac{k}{\Omega_H}\frac{\cos^2(\alpha_t)\times tg(\alpha_{tw12})}{\left(E_{np}K_{H\beta}K_{Hv}\right)_{12}}(u-2)\,b_1 d_1^2. \tag{6}$$

Перепишемо формулу (6) у вигляді, який більш підходить для аналізу [1]

$$[T_H]_H = K_{\overline{AI}_H}\frac{d_3^3}{50\Omega_H}\frac{\left(\sigma_{HP}^2\right)_{12}\cos^3(\alpha_t)\,tg(\alpha_{tw12})}{0,7\left(E_{np}K_{H\beta}K_{Hv}\right)_{12}\cos(\alpha_{tw12})}, \tag{7}$$

де $K_{\overline{AI}_H} = \begin{cases} \dfrac{50k\psi_{bd12}(p-1)}{p^3}, & p \ge 3 \\ \dfrac{25k\psi_{bd12}(p-1)^2}{p^3}, & p < 3 \end{cases}$ – коефіцієнт, що характеризує несучу здатність механізму типу $\overline{\text{AI}}$ при розрахунку на контактну міцність його зовнішнього зачеплення z_1-z_2; $\psi_{bd12} = b_1/d_{w1}$ – коефіцієнт ширини зубчастого вінця щодо діаметра для зовнішнього зубчастого зачеплення механізму.

При заданих значеннях $K_{H\beta}$, K_{Hv}, α_t, α_{tw12}, E_{np}, σ_{HP} для зовнішнього зачеплення механізму та значення діаметра епіциклу d_3 несуча здатність механізму залежить від значення коефіцієнта $K_{\overline{AI}_H}$. На рис. 3 наведено графік залежності коефіцієнта $K_{\overline{AI}_H}$ від величини параметра $p = z_3/z_1$. При цьому значення параметра прийнято дорівнює 0,7 [1]. При збільшенні значення параметра понад 0,7 до 1,4 значення коефіцієнта теж зростає. Однак при цьому збільшується осьовий розмір механізму.

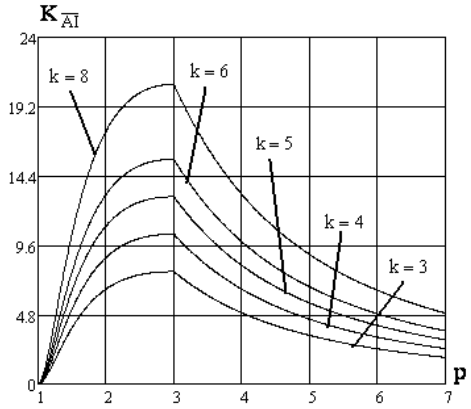


Рис. 3– Графік залежності коефіцієнта $K_{\overline{AI}_H}$ в ід величини параметра p

Аналіз графіків, наведених на рис. 2 і 3, показує, що значення передаточного відношення механізму $u_{\max}$, при якому його несуча здатність буде найбільшою, більше значення передаточного відношення $u_{opt\ H}$, коли його маса буде найменшою.

Із застосуванням розглянутого підходу, але для згинальної міцності, наводиться у роботах [1] і [2]. Також у цих роботах розглядаються різні варіанти обмежень на основні параметри конструкції планетарного механізму $\overline{\text{AI}}$. Зауважимо, що чим більше буде конструкторських обмежень, тим складнішим буде аналіз цільових функцій проектування.

Поліпшити розглянуту методику щодо надання як формул і графіків, а й у вигляді моделей (комп'ютерних макетов) проектованої конструкції, можна з допомогою застосування 3D твердотільного геометричного моделювання.

1. На першому етапі виконується перевірочний розрахунок міцності (контактної та згинальної) зовнішнього зубчастого зачеплення z_1-z_2 та внутрішнього зачеплення z_2-z_3 при дії максимального навантаження. Далі виконується розрахунок на довговічність зубчастих зачеплень. Розрахунки виконуються за ГОСТ 21354-87. Кожний розрахунок виконається для двох значень передаточного відношення планетарного механізму – для $u_{opt\ \text{ci}}$ та $u_{\max}$ відповідно.

Розрахунки можна виконати, наприклад, у програмному середовищі КОМПАС-3D засобами бібліотеки „КОМПАС-SHAFT 2D“ або іншими програмними середовищами (Mathcad, MATLAB, Maple і так далі).

На основі аналізу результатів розрахунків вибираються відповідні значення варійованих параметрів конструкцій зубчастих зачеплень. Ці значення визначиться у відповідності прийнятому критерію вибору.

2. Будується параметричні 3D твердотільні геометричні моделі двох планетарних механізмів типу $\overline{\text{AI}}$, у яких передаточні відношення рівні відповідно $u_{opt\ \text{ci}}$ та $u_{\max}$. На даному етапі необов'язково будувати моделі, у складі яких є вали, підшипники, корпуси та інші деталі конструкцій. Пов'язано це з тим, що метою виконання цього етапу це отримання інформації про масові, інерційні і габаритні дані кінематичних схем проектованих механізмів з урахуванням реальної геометрії зубчастих коліс.

На рис. 4 показані 3D моделі зубчастих коліс двох аналізованих кінематичних схем планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$, які були побудовані в програмному середовищі SolidWorks. При побудові моделей було використано бібліотеку Toolbox.

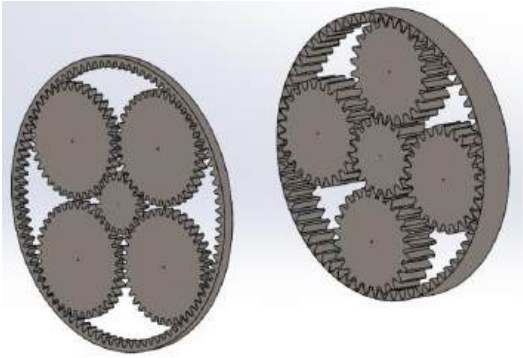


Рис. 4 – 3D твердотільні геометричні моделі планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$

Моделі були побудовані для конструкцій зубчастих коліс. у яких варійованим параметром була ширина зубчастих вінців. При цьому інші параметри (спосіб і характеристики процесу зміцнення, параметри вихідного контура профілю зубців, типи зуборізного інструменту для коліс із зовнішніми зубцями і внутрішніми зубцями відповідно) приймалися однаковими. Модулі зубчастих коліс вибиралися з умов міцності і з урахуванням конструкторських обмежень. Числа зубців вибиралися з урахуванням того, що їх сума (сонячного, сателіта і епіциклу) має бути мінімальною, але ці значення повинні реалізовувати задані передаточні відношення. Діапазон числа зубців зубчастого колеса приймався рівним від 18 до 200. Коригування зубчастих коліс не виконувалося.

3. Дослідження динаміки руху побудованих моделей планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$ виконувалося інструментом SolidWorks Motion. Цей інструмент дозволяють моделювати рух збірки планетарного механізму від простого без урахування мас і матеріалів деталей у збірці (рух збірки) до точного моделювання та аналізу ефектів руху елементів (включаючи сили, контакт, пружини, демпфери та тертя) у збірці (аналіз руху). Моделювання тривимірного руху компонент збірки та їх взаємодії ґрунтуються на динаміці твердих тіл.

Базове рух дозволяє отримати попередню оцінку обраних технічних рішень, оскільки здатне враховувати контакт між деталями без додавання сполучення між ними, а також враховує масу деталей і дозволяє задавати сили і пружини при моделюванні фізичного руху елементів у збірці. Аналіз руху можна використовувати для точного моделювання руху в збірці при перевірці аналітичних розрахунків чи уточнення експериментальних досліджень, оскільки дозволяє врахувати як матеріал деталей, але і їх жорсткість, тертя між деталями та багато інших параметрів.

На рис. 5 показано параметричну модель планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$ для дослідження динаміки його руху в SolidWorks Motion. Тут показаний лише один сателіт із чотирьох, які були показані на рис. 4. Для завдання закону руху сонячного колеса (центрального рухомого зубчастого колеса z_1) застосовують інструмент "Двигун", в якому вибирається обертальний двигун і напрямок обертання (червона стрілка на рис. 5).

Застосування інструменту "Контакт" забезпечує контактну взаємодію зубчастих коліс. Як видно із рис. 5 задані наступні контактні пари – z_1-z_2 (сонце-сателіт) та z_2-z_3 (сателіт-епіцикл). Таким чином моделюється контактна взаємодія відповідних зубчастих зачеплень. Усього задається 4 контакти для зовнішніх зубчастих зачеплень z_1-z_2 та 4 контакти для внутрішніх зубчастих зачеплень z_2-$z_{3д}$.

Для проведення кінематичного аналізу збірки планетарного механізму достатньо наявність двох інструментів – "Двигун" і "Контакт" і тип дослідження руху – Базовий рух.

Для моделювання руху планетарного механізму з урахуванням чинного на механізм навантаження, шо прикладається до водилу. застосовують інструмент "Сила" (синя стрілка на рис. 5).

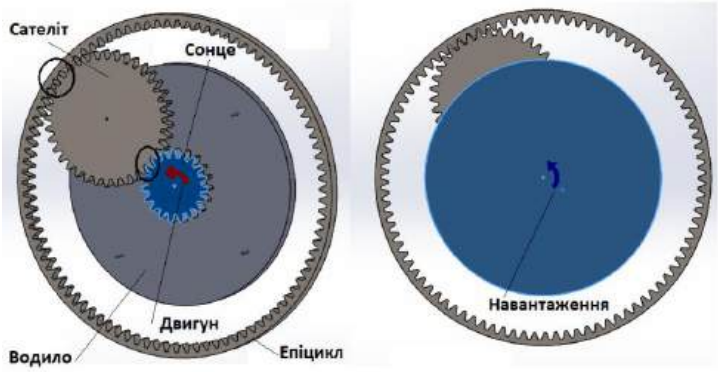


Рис. 5 – 3D твердотільні геометричні моделі планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$ (інструмент "Контакт" позначений овальною лінією)

Налаштування інструментів "Двигун" та "Сила" дозволяють задавати різні закони зміни руху сонячного колеса та навантаження, що прикладається до водила. Налаштування інструментів "Двигун" та "Сила" дозволяють задавати різні закони зміни руху сонячного колеса та навантаження, що прикладається до водила. Інструмент "Контакт" може бути налаштований для моделювання як абсолютно жорсткого удару, а й пружного удару з урахуванням дії сил тертя. Для виведення результатів моделювання динаміки руху планетарного механізму у вигляді графіків (епюр) та таблиць застосовується інструмент "Результати та епюри".

Результати моделювання динаміки руху двох конструкцій планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$ надають конструктору достатній обсяг даних, щоб ухвалити рішення про вибір тієї чи іншої конструкції. Якщо конструктор моделювання проводить для складання, де є дві досліджувані конструкції планетарного механізму, і однойменні епюри кожного механізму виводяться в одному графічному вікні, то крім графіків і таблиць конструктор отримує додатково візуальну інформацію про габарити конструкцій. Ефективність використання можливостей інструменту SolidWorks Motion для оптимізації динамічних параметрів конструкції планетарного механізму була продемонстрована для задачі, розглянутої у роботі [2].

Список використаних джерел

1. Умови міцності та оцінка здатності до навантаження оптимальної по загальної маси конструкції простого планетарного механізму типу $\overline{\text{AI}}$ / О. В. Шехов // Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.:НТУ “ХПІ”, 2015. - №31 (1124). - С.100-116. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0791.
2. Параметрична оптимізація несучої здатності замкнутого планетарного механізму, утвореного із двох механізмів типу $\overline{\text{AI}}$ / В. А. Матусевич, Ю. В. Шарабан, О. В. Шехов // Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Машинознавство та САПР. – Х.:НТУ “ХПІ”, 2020. – №2(2020). – С.66-67. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0775.

2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ Й ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТІВ ТА РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

УДК 621.865.6

Бреус А.О., к.т.н.
a.breus@khai.edu
Сердюк О.Л., аспірант
alserdyuk@fed.com.ua

СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ КАРТИ НАЛАГОДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDCAM

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Україна

Сучасний рівень розвитку металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) дозволяє суттєво автоматизувати процес обробки деталей. Обробні центри, які використовуються в промисловості будуть сприяти розвитку нових підходів до питань технології механічної обробки деталей, що у свою чергу забезпечить значне підвищення якості і точності продукції, що випускається. Незважаючи на велику складність і високу вартість устаткування з ЧПК, його застосування економічно виправдане за умови комплексного розв'язку питань організаційно-технічного переозброєння підприємств. Підготовка програм для верстатів з ЧПК трудомістка й складна, тому актуальні проблеми вдосконалення способів підготовки програм і створенню інформаційних карт для налагодження верстатів з ЧПК.

У сучасному виробництві при використанні верстатів ЧПК, разом з САМ системами, оператор верстата обов'язково повинен представляти, що робить конкретна КП, і мати певну інформацію для налагодження верстата. Найбільш важливими критеріями, яким варто приділяти особливу увагу, є нуль деталі, ріжучий інструмент який використовується, а також оснащення. У цей час ця інформація зберігається в основному двома способами: за допомогою коментарів у програмі або в інформаційній карті. Основні дані, які відображаються в інформаційній карті, представлено на рисунку 1.

Рисунок 1 – Основні дані інформаційної карти

Інформаційна карта дозволяє оператору швидко й правильно зібрати потрібний інструмент, оправлення, оснащення в якій кріпиться деталь, що дозволить виконати прив'язки й наладнати верстат. Інформаційну карту можна розділити на дві умовні частини, перша містить у собі список інструмента, друга – графічна, яка відображає розташування оснащення й деталі й вказує де необхідно виконати прив'язку. Для створення інформаційної карти, у процесі написання КП необхідно вказати максимальну кількість інформації, яка потім буде сгенерована в загальний документ. Особливу увагу варто приділити таблиці інструмента й інформації, яка туди заноситься.

Відображення графічної інформації в інформаційній карті відіграє значну роль. Графічні дані дозволяють оператору за мінімальну кількість часу зробити налагодження обладнання й виконати прив'язки деталі й інструмента. Для найбільш повного відображення графічної інформації був запропонований підхід відмінний від стандартних методів написання керуючих програм. Основною перевагою є, те, що після створення 3D моделі за допомогою інструмента «конфігурації» є можливість створити повний цикл етапів обробки деталі в 3D середовищі, рисунок 2, що надалі буде відображатися в інформаційній карті.

Конфігурації

000 010 020

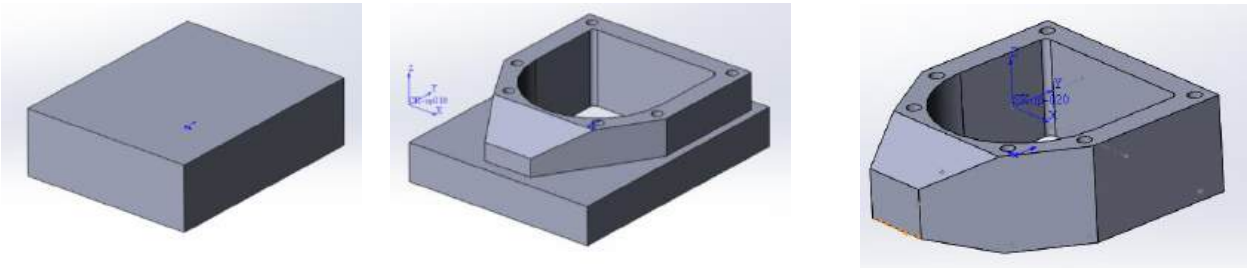


Рисунок 2 – Конфігурації деталі

На рисунку 2 показані етапи створення конфігурацій, у конфігурації «000» створюється заготівля виходячи з розмірів деталі, далі конфігурація «010», «020» відображає які контури деталі будуть оброблені в першу й другу установку. Також при створенні послідовності обробки деталі можна додати оснащення за допомогою створення складання збірки в середовищі SOLIDWORKS, що у свою чергу спростить процес написання КП й дасть можливість мінімізувати ризики зіткнення інструмента з деталлю або оснащенням. Відображення нуля деталі дозволяє операторові виконати прив'язку, що суттєво скоротить час настроювання верстата. Запропонований підхід створення інформаційної карти дозволяє, суттєво знизити ймовірність помилки при настроюванні верстатів з ЧПК й скоротити час настроювання, що дозволить інтенсифікувати процес виробництва.

Список використаних джерел

1. https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/sldworks/c_Configurations_Overview.htm
2. https://httpssolidworks.com/2021/english/SolidWorks/sldworks/c_Managing_Configuration_Data_Help.htm
3. https://www.solidcam.com/videos/solidcam-professor-video-tutorials

УДК 629.735.33

Андрющенко В.М., к.т.н., доцент
v.andryushchenko@khai.edu
Топал М.С.
m.topal@khai.edu

КОРОЗІЙНІ ПОШКОДЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ І ВПЛИВ КОРОЗІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВИД ПОШКОДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАКА

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Проектування сучасної авіаційної техніки за принципом припустимості пошкоджень є комплексною науково-технічною проблемою, яка вирішується на основі інтеграції наукових досліджень фахівців авіаційної промисловості та наукових центрів [1].

Серед головних чинників, які призводять до порушення характеристик працездатності або відмов деталей, вузлів і агрегатів авіаційної техніки, є: втома, знос, корозія і фретинг-корозія. Ці чинники залежать як від стану поверхні, так і від її хімічних та фізичних властивостей, змінюючи які поліпшують втомні і корозійні характеристики конструкцій.

Досвід експлуатації авіаційної техніки показує, що повністю виключити корозію авіаційних матеріалів неможливо [1]. Корозія конструкцій літаків була і залишається однією з найактуальніших проблем сучасності в авіаційній галузі.

Виходячи з характерних типів корозійного пошкодження і місця розташування конкретного конструктивного елемента при проектуванні авіаційних конструкцій вибирають матеріал, схему його покриття, вибір конструктивного рішення з урахуванням корозійної поведінки, термінів виконання періодичних оглядів і регламентних робіт [1].

Безпечна експлуатація за умов міцності реалізується на основі принципу припустимості пошкоджень. Припустимість пошкоджень передбачає гарантію безпеки конструкції шляхом встановлення термінів її огляду в експлуатації для виявлення можливих пошкоджень і ремонту або заміни пошкоджених елементів, перш ніж дефекти та пошкодження досягнуть критичних розмірів і призведуть до руйнування конструкції.

Нинішній підхід до боротьби з корозією полягає в тому, щоб видалити її, як тільки вона знайдена, відремонтувати кородовану структуру або замінити компонент. Це є дорогим з точки зору збільшення часу обслуговування та зниження доступності літаків до використання. Лікування корозії сполуками для запобігання корозії і залишенням її на місці, поки не буде спрощений доступ до постраждалих від корозії районів під час планового обслуговування, збільшує доступність літаків. Однак цей підхід вимагає детального вивчення швидкості поширення специфічного типу корозії після обробки, і в даний час ця інформація недоступна [2].

Корозійне середовище істотно впливає на довговічність конструктивних елементів літальних апаратів.

Межа витривалості гладких зразків з неплакованих матеріалів Д16АТ, В95Т і Д1Т, випробуваних в 3 - х відсотковому водному розчині NaCl (база випробувань $N = 2{\cdot}10^7$ циклів) знижується від 3 до 5 разів у порівнянні з межею витривалості, отриманою при випробуванні цих зразків на повітрі. Довговічність на рівнях напруги, близьких до межі витривалості в повітрі, знижується в кілька десятків разів.

Корозійне середовище (3-х відсотковий водний розчин NaCl) при $N = 5{\cdot}10^6$ циклів знижує межу витривалості плакованих листових матеріалів Д16АТ, Д16АТВ і В92Т (час спільної дії циклічних навантажень і середовища – 420 годин) на 35-40%, а довговічність на рівнях напружень, близьких до межі витривалості в повітрі, зменшується від 7 до 10 раз.

Специфічні корозійні середовища, такі як конденсаційна рідина гермокабіни фюзеляжу літака і насичений водний розчин суперфосфату, при $N = 5{\cdot}10^6$ циклів знижують межу витривалості сплаву В92Т (час випробування 280 годин) на 45 і 60% відповідно, довговічність – у 15-20 разів [3].

Зараз в експлуатації повітряного транспорту відбраковування елементів конструкції з корозійним ураженням проводиться по геометричним розмірам корозійного дефекту, а саме по глибині, що не повинна перевищувати 10% від товщини виробу [3].

Тому розробка методик оцінки граничного стану елементів конструкції, використовуючи, як необхідний засіб, результати аналізу напружено-деформованого стану в зоні корозійного дефекту, дозволить уточнити допустимі параметри корозійного пошкодження.

Ще більшу інформацію щодо впливу корозії на втомну довговічність конструкцій можуть надати їх втомні випробування при наявності корозійних ушкоджень.

В умовах науково-дослідницької лабораторії найбільш прийнятну інформацію про вплив корозійного середовища та корозійних пошкоджень на втомну довговічність конструкцій літака можуть надати втомні дослідження зразків конструкцій літаків із алюмінієвих сплавів, виготовлених відповідно до ОСТ 1 00872-77 З'ЄДНАННЯ ЗАКЛЕПКОВІ. В тому числі зразків з'єднань пластин з заповненими не завантаженими отворами (рис.1) і трирядного з'єднання пластин внапуск (рис. 2).

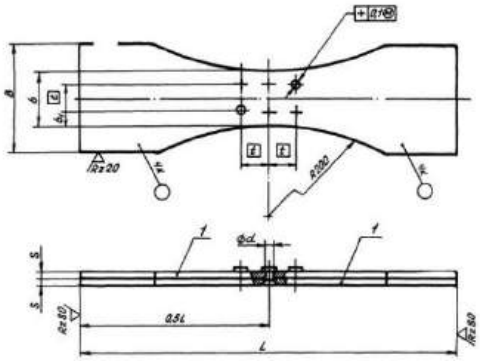


Рисунок 1 – Зразки з'єднань пластин з заповненими не завантаженими отворами

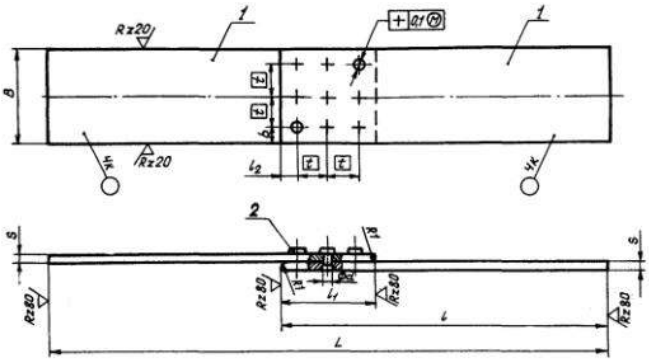


Рисунок 2 – Зразки трирядного з'єднання пластин внапуск

Одна з проблем для досліджень – вибір корозійного середовища для дії на зразки, враховуючи, що різні корозійні середовища викликають різні типи і виді корозії. Наприклад розглянемо ГОСТ 9.913-90. АЛЮМІНІЙ, МАГНИЙ І ЇХ СПЛАВИ. Методи прискорених корозійних випробувань. ГОСТ поширюється на алюміній, магній та їх сплави без захисних покриттів і встановлює методи прискорених та імітаційних корозійних випробувань для отримання порівняльних даних по корозійній стійкості металів і сплавів. Випробування проводять, імітуючи різні кліматичні зони у штучно створюваних умовах з використанням корозійних середовищ згідно табл. 2.

Таблиця 2 – Методи прискорених корозійних випробувань алюмінієвих сплавів

Методи випробувань	Матеріал	Призначення
Повне занурення в розчин, що містить 3% хлористого натрію і 0,1% перекису водню	Алюміній і його сплави	Імітація впливу морського клімату при періодичному або постійному контакті з морською водою
Вплив нейтрального соляного туману	Алюміній, магній і їх сплави	Імітація впливу тропічного клімату, включаючи морський туман
Змінне занурення в 3%-й розчин хлористого натрію	Алюміній і його сплави	Імітація впливу помірного клімату з впливом і без впливу хлоридів
Вплив вологи при періодичній конденсації, підвищених значеннях відносної вологості і температури	Алюміній, магній і їх сплави	Імітація впливу тропічного клімату, включаючи атмосферні опади

ГОСТ 9.021-74. АЛЮМІНІЙ І СПЛАВИ АЛЮМІНІЄВІ. Методи прискорених іспитів на міжкристалітну корозію. ГОСТ поширюється на алюміній і його сплави без захисних

покриттів і встановлює методи прискорених випробувань на міжкристалітну корозію. При цьому встановлюється, що випробування слід проводити в розчині I, що містить: 3%-й розчин хлористого натрію плюс 1% соляної кислоти (30 г/л хлористого натрію плюс 10 мл/л соляної кислоти щільністю 1,19 г/см^3), при температурі розчину 18 - 25 °С.

Допускається проводити випробування і в розчині II, що містить:

1 н. розчин хлористого натрію плюс 0,3% перекису водню (58 г/л хлористого натрію плюс 10 мл/л 33% розчину перекису водню), температура розчину 30 ± 5°С, тривалість випробувань 6 годин.

ГОСТ 9.904-82. СПЛАВИ АЛЮМІНІЄВІ. Метод прискорених випробувань на розшаровуючу корозію. Державний стандарт встановлює метод прискорених випробувань для алюмінієвих сплавів без захисних покриттів.

Розчин для випробування вибирають в залежності від складу сплаву і його термічної обробки відповідно до таблиці 3.

Таблиця 3 – Розчини для випробування на розшаровуючу корозію

Сплави, стан	№ розчину	Зміст компонентів, г/дм^3				
		Калій двохромово-кислий	Кислота соляна	Калій хлористий	Калій азотнокислий	Кислота азотна
Сплави системи Al-Zn-Mg в природному стані старіння	1	20	9	–	–	–
Сплави системи Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Fe в штучному стані старіння	2	10	–	225	50	5,5
	3	–	–	225	50	5,5
Всі сплави крім зазначених вище систем і станів при всіх режимах старіння	4	20	13,5	–	–	–

Примітка. У розчині № 2 допускається заміна двухромовокислого калію на суміш: хром (VI) окис - 9 г/дм^3 і калій двухромовокислий 1,5 г/дм^3.

ГОСТ 9.019-74. ЄДИНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ І СТАРІННЯ. СПЛАВИ АЛЮМІНІЄВІ І МАГНІЄВІ. Методи прискорених випробувань на корозійне розтріскування. Дія цього державного стандарту поширюється на алюмінієві і магнієві сплави без захисних покриттів і встановлює методи прискорених випробувань на корозійне розтріскування.

Стандарт встановлює два методи випробувань, а саме при заданій деформації та при постійному осьовому розтягуючому навантаженні.

Випробування алюмінієвих сплавів на корозійне розтріскування проводять при періодичному зануренні зразків в 3% розчин хлористого натрію по ГОСТ 4233-77 по циклу: 10 хв. в розчині, 50 хв. на повітрі при температурі навколишнього середовища 18 - 25 °С.

В роботах різних авторів пропонуються розчини різного складу, які, за інформацією авторів, максимально повно вирішують поставлені перед дослідниками задачі.

Для «вирощування» в плакованому листі із сплаву Д16АТ корозійного дефекту, який за своєю структурою відповідний експлуатаційному, в роботі [3] використовувався розчин складу 25% - кислота соляна, 25% - натрій хлористий. Корозійний дефект при цьому являє собою пляму діаметром 10 мм, протравлену на глибину від 0.1 мм до 0.4 мм. Зовнішній вигляд штучного коррозийного дефекту показаний на рис. 3.

На рис. 4 представлений знімок шліфа, зроблений при проведенні металографічного дослідження. Металографія проводилась на мікроскопі NU2E.

Рисунок 3 – Зовнішній вигляд штучного корозійного дефекту

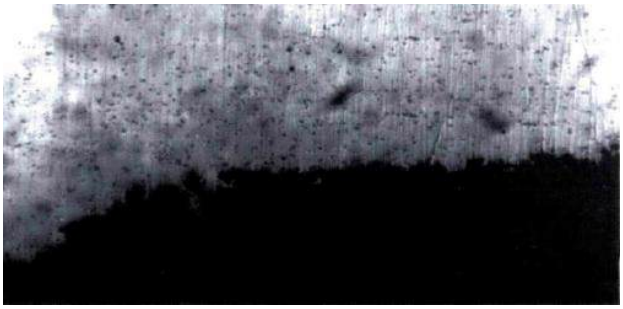


Рисунок 4 – Шліф. Збільшення в 100 раз

В роботі [4] для імітації на алюмінієвих сплавах корозійних поразок різних видів, що відбуваються в натурних умовах, проведені дослідження анодного розчинення алюмінієвих сплавів в різних розчинах. На рис. 5 показаний зовнішній вид зразків із алюмінієвого сплаву 1163 - Т після проведення анодного розчинення в розчинах NaCl, NaCl+Na_2SO_3 та NaCl+Na_2SO_3+$NaNO_3$

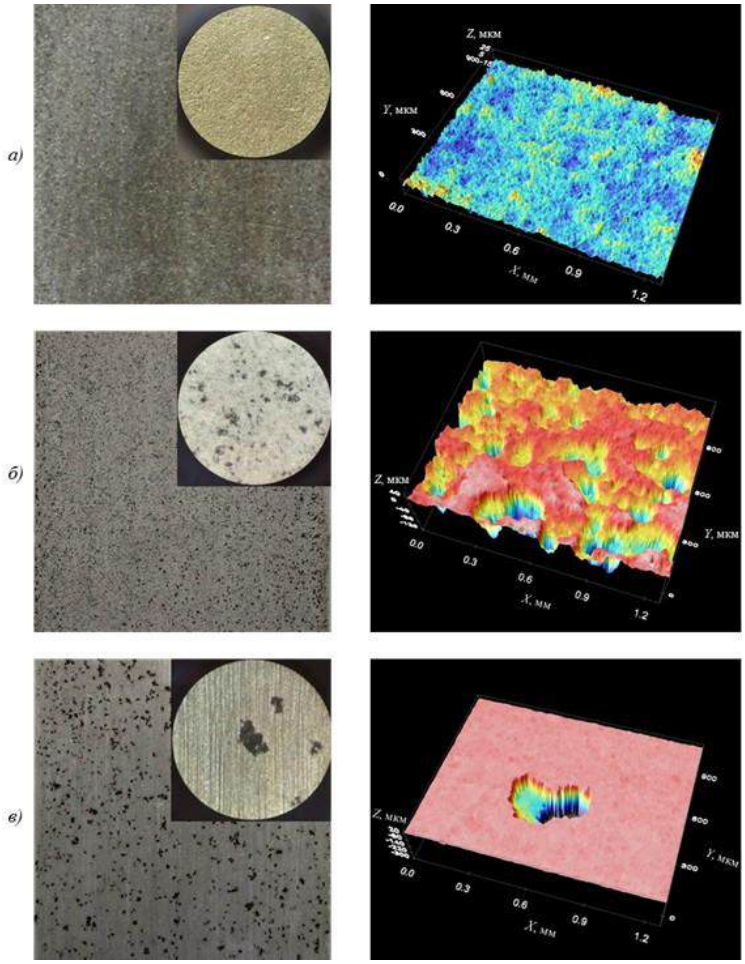


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд зразків (збільшення в 7 разів) і 3D-профілометрія алюмінієвого сплаву 1163-Т після проведення анодного розчинення (при щільності струму $i = 4 \cdot 10^{-3}$ А/см^2 протягом 2 годин) в розчинах: а - NaCl – рівномірне розчинення ($h_{кор} \approx 20$ мкм); б – NaCl + Na_2SO_3 – пітінгове ураження ($h_{пит} \approx 130$ мкм); в – NaCl + Na_2SO_3 + $NaNO_3$ – пітінгове ураження ($h_{пит} \approx 300$ мкм); де $h_{кор}$ та $h_{пит}$ – глибина корозійного ураження поверхневою та пітінговою корозією відповідно.

В цій роботі розроблено розчин, що містить нітрат натрію, сульфіт натрію і хлорид натрію з добавкою «Екомет», який дозволяє наносити при анодній поляризації корозійні поразки з таким же фактором пітінгової корозії, як і при атмосферній корозії. Для нанесення не тільки пітінгових, але й міжкристалітних (розшаровуючих) корозійних поразок запропонований цей же розчин з підвищеним вмістом хлоридів або проведення комплексного анодного розчинення алюмінієвих сплавів спочатку в нітратно-сульфітно-хлоридному розчині, потім в сульфітно-хлоридному.

В роботі [5] наведено склад розчину для проведення дослідження впливу корозії на з'єднання двох листів зі сплаву AA2024-T3 алюмінієвими заклепками (сплав AA5052). Цей склад (еталонне рішення) містить 20 М хлориду, 4 М бікарбонату, 4 М нітриту і 2 М фториду при pH 9.

З'єднання розміщали в спеціальних контейнерах, в яких розчин впливав на них протягом трьох місяців. При цьому застосовувався розчин еталонного рішення і розчин без

бікарбонату і з мінімізацією діоксиду вуглецю (система CO_x). Для мінімізації CO_2 використаний гідроксид натрію через його здатність поглинати CO_2.

Після впливу корозійних середовищ зразки з'єднань досліджували з використанням мікроскопії поперечного перерізу (рис. 6).

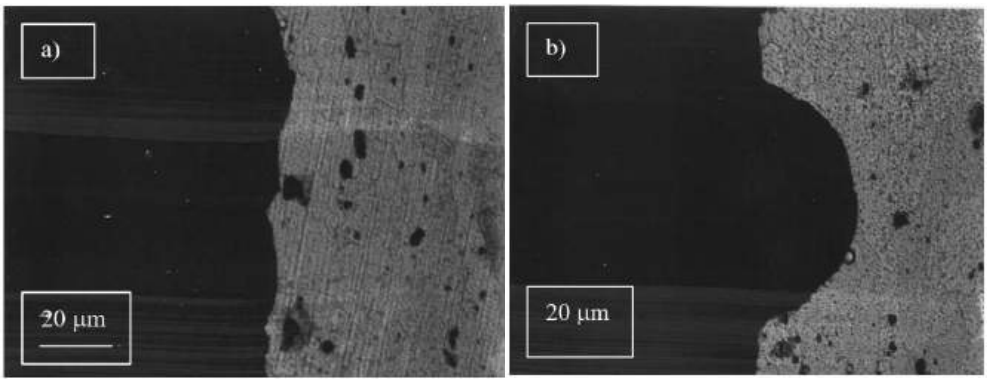


Рисунок 6 – Вид під мікроскопом при збільшенні в 500 разів поперечного перерізу зразків з'єднань двох листів зі сплаву AA2024-T3 після трьох місяців дії а) розчину еталонного рішення і b) розчину системи CO_x

Видно, що зразок з'єднання, який піддавався впливу розчину еталонного рішення, мав топологію корозії, яка була суцільною.

Зразок з'єднання, який піддавався впливу розчину системи CO_x, мав топологію корозії, яка була пітінговою.

В умовах корозійної втоми кілька досліджень показали збільшення швидкості росту втомної тріщини в порівнянні з «базовими» умовами втоми.

МакАдам вперше припустив, що корозії, викликані корозійними ямами, можуть діяти як концентратори напружень, з яких можуть утворюватися тріщини [6].

Також в середовищі NaCl в умовах корозійної втоми спостерігалося зниження втомної довговічності через утворення ямок в вуглецевій сталі і в алюмінієвому сплаві 7075-T6.

Отже, для оцінки втомної довговічності з'єднань авіаційних конструкцій в умовах корозії дуже важливо використовувати їх реалістичні моделі для встановлення взаємозв'язку між корозійними ушкодженнями та втомною довговічністю. При цьому враховуючи матеріали, з яких виготовлені конструкції, корозійне середовище, в якому конструкції працюють та температурні режими їх експлуатації.

Список використаних джерел

1. Концепція створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків [Текст]: монографія / П. В. Балабуєв, В. О. Богуслаєв, О. Д. Донець та ін. – Харьків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 254 с.
2. Електронний ресурс. URL: http://www.corrosion-doctors.org/Aircraft/Introduction.htm
3. Лапаев А. В. Расчетно-экспериментальная оценка влияния коррозионных поражении на характеристики несущей способности элементов конструкции планера воздушных судов. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. М.: МГТУ ГА. 2004 - 207 с.
4. Разработка раствора для нанесения коррозионных поражений на алюминиевых сплавах в гальваностатическом режиме/А. Е. Кутырев, Д. В. Чесноков, и др. Труды ВИАМ № 9, 2018.
5. Електронний ресурс. URL: http://www.virginia.edu/cese/research/Lewis%20Abstract.PDF
6. Електронний ресурс. URL: https://www.corrosion-doctors.org/Journal-2000/No3/No3-page4.htm

УДК 621.9: 519 256

Гнитько О.М., к.т.н., доцент
o.gnytko@khai.edu
Кузнецова А.В., к.т.н., доцент
a.kuznetsova@khai.edu

СИСТЕМНА УЯВА ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАНІ ЗАКРИТИХ ПРОФІЛЬНИХ ПАЗІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Предметом системного моделювання як наукового напрямку є вивчення загальних закономірностей вибору і обґрунтування моделей системи, реалізація обчислювальних експериментів, обробка і інтерпретація їх результатів.

У цей час при проектуванні систем видалення стружки методи системного моделювання практично не використовуються. Повною мірою це відноситься і до систем видалення стружки при фрезеруванні закритих профільних пазів (Т-подібних, прямокутних, типу «ластівчин хвіст» і ін.).

Розглянутий системний підхід до проблеми моделювання робочих процесів видалення стружки при фрезеруванні закритих профільних пазів. Стосовно до розв'язуваних завдань у якості представницького об'єкта досліджень виділена механо-пневмо-гідродинамічна (у загальному випадку) система видалення стружки (СВС) при фрезеруванні закритих профільних пазів.

Система видалення стружки СВС розглянута як сукупність двох підсистем – механічна підсистема відділення і нагромадження стружки (ПВНС) і механо-пневмо-гідродинамічна підсистема впливу на стружку (ПВС).

Надалі підсистеми розділені на модулі, що є допоміжними структурними одиницями. Підсистема ПВНС підрозділяється на модулі відділення і заповнення простору між зубами (МВЗПЗ) і заповнення паза (МЗП). Підсистема ПВС містить у собі модуль інерційного впливу (МІВ), модуль внутрішнього пневмо-гідродинамічного впливу (МВПГВ), модуль зовнішнього пневмо-гідродинамічного впливу (МЗПГВ).

Функціонування кожного з модулів описується однієї або декількома математичними моделями, а функціонування системи в цілому – сукупністю математичних моделей ММ1…ММ6:

- ММ1 відділення і заповнення стружкою простору між зубами
$$k_{зп} = f_1(l, h1, \beta_з, \omega_n, S_z, d, a, k_p, N);$$
- ММ2 заповнення стружкою паза
$$L = f_2(x_n, d, c, \varepsilon, a, l, k_p);$$
- ММ3 видалення елемента стружки із простору між зубами
$$y = f_3(\omega, f_n, \alpha, \delta, F_{пр}, \rho_c, S_z, d, a, l, \beta, g, f_н, h1, r_{фр}),$$
$$\dot{y} = f_3(\omega, f_n, \alpha, \delta, F_{пр}, \rho_c, S_z, d, a, l, \beta, g, f_н, h1, r_{фр});$$
- ММ4 переміщення елемента стружки уздовж паза
$$x_n = f_4(\rho_c, S_z, d, a, l, k_y, k_p, \rho_0, h, Q_н, F_н, d_0);$$
- ММ5 видалення стружки з паза; ММ6 пневмо-гідродинамічного впливу
$$F_{пр} = f_5(f, \rho, g, L, \gamma, d, h_{фр}, n_б, d_к);$$
- ММ6 пневмо-гидродинамического воздействия
$$F_{пр} = f_6(d_0, h, p_0).$$

Інтегральна математична модель дозволяє визначати конструктивні і режимні параметри пристроїв видалення стружки для закритих профільних пазів при них фрезеруванні.

УДК 621.822.5:621.89.012.7

Доценко В.М., д.т.н., професор
v.dotsenko@khai.edu
Ковеза Ю.В., к.т.н., доцент
i.koveza@khai.edu

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТАКТНОЇ РІВНОМІЦНОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХНЕЙ ШЕСТЕРНІ ТА КОЛЕСА

Національний аерокосмічний університет ім. Н.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Відповідно до ГОСТ 21354 допустиме контактне напруження (ДКН) визначають окремо для шестерні і колеса за формулою:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{Hlim} Z_N}{S_H} Z_R Z_V Z_X Z_L,$$

де σ_{Hlim} – межа контактної витривалості поверхонь зубців, що відповідає базовому числу циклів; Z_N – коефіцієнт довговічності; S_H – мінімальний коефіцієнт запасу міцності; Z_R - коефіцієнт, що враховує вплив шорсткості сполучених поверхонь; Z_V – коефіцієнт, що враховує вплив окружної швидкості; Z_X – коефіцієнт, що враховує розміри коліс; Z_L – коефіцієнт, що враховує вплив мастила.

Базова межа витривалості залежить від твердості та виду термічної обробки, її визначають за емпіричними формулами.

Коефіцієнт довговічності теж залежить від твердості через базове число циклів навантаження і від передатного числа при заданому терміні служби – через еквівалентне число циклів. Він визначається за формулою:

$$Z_N = \sqrt[m]{\frac{N_{Hlim}}{N_{Hk}}},$$

де базове число циклів

$$N_{Hlim} = 30(H_{HB})^{2,4} \leq 120 \cdot 10^6,$$

Числа циклів навантажень шестерні/колеса:

$$N_{Hk} = 60CnL_h,$$

де n – частота обертання шестерні/колеса, мин$^{-1}$;
C – число навантажень зубця шестерні/колеса за один оборот;
L_h – ресурс;
H_{HB} – твердість за Брінеллем;
N_{HE} – еквівалентне число циклів навантаження;
m – показник ступеня, $m = 6$ при $N_K \leq N_{Hlim}$, $m = 20$ при $N_K > N_{Hlim}$.

При проектувальному розрахунку використовують менше з двох ДКН. Таким чином, при невдалому виборі значень твердості робочих поверхонь передача може виявитися надмірно міцною та дорогою. Але знайти аналітичну залежність ДКН від основних параметрів досить важко, тому доцільно встановити цю залежність розрахунковим шляхом, тобто для різних значень параметрів визначити таку різницю твердості робочих поверхонь шестерні і колеса, при якій різниця ДКН буде мінімальною.

З перерахованих вище параметрів найбільш істотними є межа витривалості і коефіцієнт довговічності, а добуток інших коефіцієнтів при проектуванні приймають рівним 0,9.

Для вирішення поставленої задачі змінювалися передатне число та твердість робочої поверхні зубців колеса при незмінній твердості шестерні (55 HRC). Таким чином виявлені

зони мінімальної різниці ДКН шестерні та колеса.

Отримані залежності при різних передатних числах показано на рис. 1.

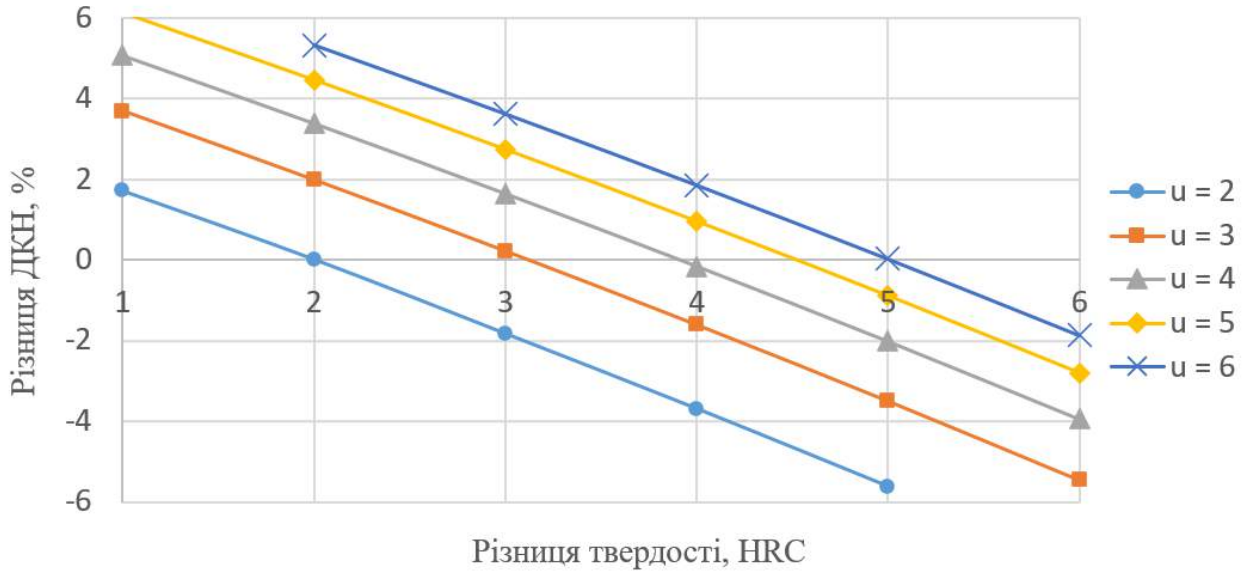


Рисунок 1 – Залежність відносної різниці ДКН, %, від абсолютної різниці твердості шестерні та колеса, HRC

Очевидно, що для кожного $\boldsymbol{u}$ є точка, де лінія різниці ДКН перетинає нуль, і ця точка на осі абсцис приблизно дорівнює передатному числу. Крім того, зі збільшенням передатного числа різниця твердості також збільшується. Цей результат, отриманий розрахунковим шляхом при частотах обертання шестерні $\boldsymbol{n = 1000}$ хв$^{-1}$, $\boldsymbol{n = 3000}$ хв$^{-1}$ та $\boldsymbol{n = 100}$ хв$^{-1}$, показано на рис. 2 (дві перші лінії співпали).

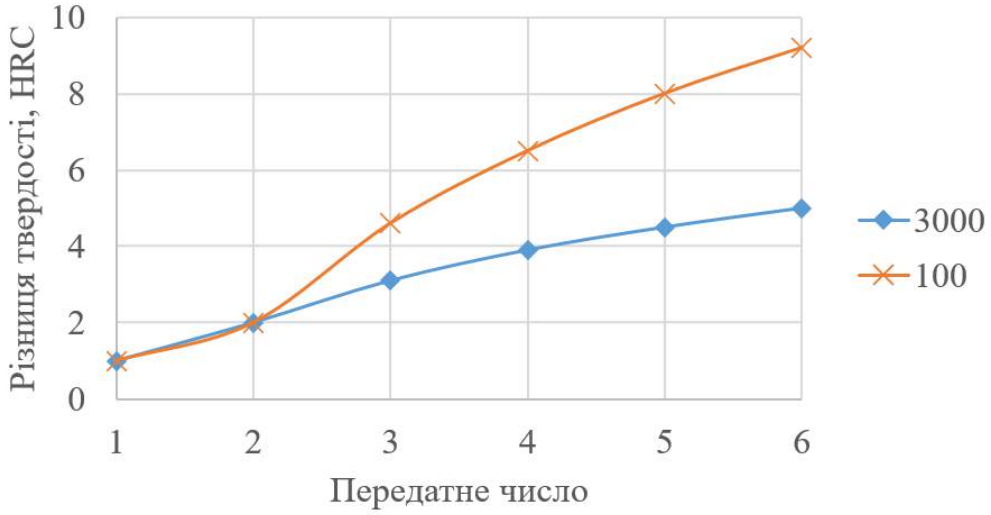


Рисунок 2 – Залежність різниці твердості від передатного числа u

Встановлено, що рівноміцність зубчастого зчеплення забезпечується при різниці твердостей шестерні і колеса, приблизно рівної передатному відношенню передачі. За низької частоти обертання (100 хв$^{-1}$) різниця твердостей має бути більшою, чим при більш високих частотах.

УДК 621.91:004.94

Нарижний О.Г., к. т. н, доцент
o.naryzhniy@khai.edu

ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕРМОМЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ СТРУГАННЯ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Загальновідомо, що методи різання (прямолінійного стругання, обточування, фрезерування, протягування, розсвердлювання) на машинобудівних підприємствах мають долю 50-70% усього об′єму механічної обробки. Тому, особливо з урахуванням використання нових матеріалів, нових режимів різання та нового обладнання, задачі підвищення продуктивності різання, точності обробки, міцності та стійкості інструменту, ефективності обладнання будуть ще довгий час актуальними.

В зв′язку з цим виникає потреба в дослідженнях процесів різання та методах дослідження процесів різання. Експериментальний спосіб рішення задач різання майже вичерпав свої можливості, тому потрібно розвивати теоретичний підхід, який поділяється на два основні напрямки. Перший напрямок – це побудова аналітичних співвідношень, які описують взаємозв′язок параметрів різання та дозволяють розрахувати потрібні значення параметрів в кожному випадку. Другий напрямок передбачає формулювання та рішення задач різання на основі використання фундаментальних законів механіки деформованого твердого тіла. Велика кількість досліджень виконана за методом скінченних елементів (МСЕ), що пов'язано з невиконанням фундаментальних законів механіки.

В доповіді наведена обчислювальна математична модель стругання з урахуванням руйнування матеріалу та теплообміну, які характерні усім видам обробки різанням. На відміну від багатьох досліджень для дискретизації та вирішення рівнянь моделі рішення використаються метод скінченних елементів (МСЕ) разом з методом згладжених часток Галеркіна (SPG).

В основі моделі лежать фундаментальні закони механіки деформованого твердого тіла.

Закон балансу маси

$$\rho J = \rho_0, \tag{1}$$

де $J = \det(F) = \det\left(\frac{\partial x_i}{\partial X_j}\right)$ – якобіан, функціональний визначник, що дорівнює величині відносного об′єму в точці тіла, $x_i, X_i, i = 1,2,3$ – лагранжеві та ейлерові координати точки, F – градієнт руху, ρ, ρ_0 – густина матеріалу тіла в даний момент часу та на початку руху, відповідно.

Закон балансу енергії за умов неізотермічності та неадіабатичності процесу різання

$$\dot{w} = \frac{1}{\rho}\sigma_{ij}D_{ij} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + Q \text{ або } \dot{w} = \frac{1}{\rho}\boldsymbol{\sigma}\bullet\bullet\boldsymbol{D} - \frac{1}{\rho}\nabla\bullet\boldsymbol{q} + Q, \tag{2}$$

де w - масова густина внутрішної енергії, $\boldsymbol{D}$ - тензор швидкості деформації, ∇ - диференціальний оператор Гамільтона, $\boldsymbol{q}$ - вектор теплового потоку, Q - масова потужність джерел тепла. Справа позначена $\bullet\bullet$ подвійна згортка добутку тензорів.

Закон теплозміни з урахуванням кондуктивного переносу тепла

$$\rho c_e \dot{\theta} - \nabla\bullet\nabla(\lambda\theta) = Q, \tag{3}$$

та теплового контакту між елементами технологічної системи

$$-\lambda\nabla\theta\bullet\mathbf{n} = \delta(\theta - \theta_{ext}), \tag{4}$$

де θ - температура, c - коефіцієнт теплоємності, λ - коефіцієнт теплопровідності, Q - потужність джерел тепла, , в якості яких розглядається перетворення роботи пластичної деформації в тепло, δ - коефіцієнт теплопередачі, θ_{ext} температура зовні.

Закон балансу кількості руху

$$\rho \ddot{u}_i = \rho f_i + \sum_j \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}, i = 1,2,3 \text{ або } \rho \ddot{\mathbf{u}} = \rho \mathbf{f} + \nabla \bullet \boldsymbol{\sigma}, \quad (5)$$

де u_i – проекції вектора переміщення, f_i – проекції вектора зовнішніх об′ємних сил, σ_{ij} – компоненти тензора напруг Коши.

Контактні умови визначають взаємодію тіл механічної системи-

$$\begin{gathered} \boldsymbol{\sigma}^+ \bullet \mathbf{n} = \boldsymbol{\sigma}^- \bullet \mathbf{n} = \mathbf{0} \text{ при } \left(\mathbf{u}^+ - \mathbf{u}^-\right) \bullet \mathbf{n} > 0, \\ \left(\boldsymbol{\sigma}^+ - \boldsymbol{\sigma}^-\right) \bullet \mathbf{n} = 0 \text{ при } \left(\mathbf{u}^+ - \mathbf{u}^-\right) = 0, \end{gathered} \quad (6)$$

де $\boldsymbol{\sigma}^+, \boldsymbol{\sigma}^-$ – тензори напруг на поверхнях двох тіл, $\mathbf{u}^+, \mathbf{u}^-$ – вектори переміщення на поверхні двох взаємодіючих тіл, $\mathbf{n}$ – вектор нормалі.

Граничні умови визначають стан на вільних поверхнях

– в переміщеннях

$$\mathbf{u} = \mathbf{U}, \quad (7)$$

– в напругах

$$\boldsymbol{\sigma} \bullet \mathbf{n} = \mathbf{P}, \quad (8)$$

де $\mathbf{U}$ - заданий вектор переміщень поверхні як функція координат та часу, $\mathbf{P}$ - заданий вектор поверхневих напруг як функція координат та часу.

Початкові умови

$$\mathbf{u}|_{t=0} = 0, \ \dot{\mathbf{u}}|_{t=0} = 0. \quad (9)$$

Матеріальні моделі елементів технологичної системи:

– різець виконаний з абсолютно твердого матеріала;

– поведінка матеріала деталі підлягає закону Джонсона-Кука, який визначає поведінку матеріала в широкому діапазоні деформацій, швидкостей деформацій та температур. Межа текучесті визначається

$$\sigma = \left(A + B\varepsilon^n\right)\left[1 + C\ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right]\left[1 - \left(\frac{\theta - \theta_{room}}{\theta_{melt} - \theta_{room}}\right)^m\right], \quad (10)$$

де ε – ефективна пластична деформація, $\dot{\varepsilon}$ - швидкість деформації, $\dot{\varepsilon}_0$ - базова швидкість деформації, θ –температура материала, θ_{melt} - точка плавлення материалу, A, B, C, m та n - эмпіричні константи.

Умова руйнування матеріалу деталі – при досягненні критичної величини середнього значення пластичної деформації ε_{pl} двох сусідніх часток безпосередній зв'язок між ними переривається і не поновлюється . В деталі утворюється порожнина в області, де здійснилось руйнування.

Метод вирішення рівнянь моделі. Рівняння моделі (1)-(10) є суттєво нелінійними, тому для рішення використаються метод скінченних елементів (МСЕ) разом з методом згладжених часток Галеркіна (SPG). Дискретизація та рішення відбувається в середовищі пакету LS-DYNA.

Розглянуто приклади моделювання технологічної системи.

УДК 621.9.01.5

Онисько О.Р., д.т.н., доцент
onysko.oleg@gmail.com
Гаврилюк І.І., аспірант
Матей Ю. Г., аспірант

ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ ПІДВИЩЕНИМИ МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Нарізеві з'єднання труб і інших елементів, які застосовують для буріння свердловин повинні забезпечувати такі експлуатаційні показники [1]:

1. Швидке згвинчування і розгвинчування у процесі опускально – підіймальних операцій бурильної колони.
2. високий опір навантаженням розтягу (у залежності від ваги бурильної колони), згину (при похило–скерованому та горизонтальному бурінні), кручення (із–за присутності обертових моментів у процесах буріння);
3. необхідна герметичність (особливо при турбінному методі буріння, де тиск промивної рідини сягає 20 МПа);
4. зносостійкість при багаторазовому згвинчуванні–розгвинчуванні.

Як відомо конічні нарізеві з'єднання за своєю конструкцією у порівнянні із циліндричними є більш придатні до швидкого згвинчування–розгвинчування, бо легко центруються, потребують невелику кількість обертів для завершення згвинчення і мають певні переваги для забезпечення герметичності. Проте з технологічної точки зору виготовлення конічних замкових нарізей є складнішим, аніж звичайних циліндричних, оскільки для забезпечення експлуатаційних характеристик потрібно мати відповідні механічні властивості.

Механічні властивості бурильних труб регламентуються за відповідними стандартами, серед них ГОСТ Р 54383 -2011[2] (табл.1).

Таблиця 1 – Механічні властивості тіла бурильної труби після термообробки згідно з ГОСТ Р 50278–92, ГОСТ Р 51245–99, ГОСТ Р 54383 -2011

Назва показника, розмірність	Позначення	Норма механічних властивостей за групами міцності сталі						
		Д	Е	Л	М	Р	Т*	У*
Межа міцності, МПа	$\sigma_в$	655	689	724	792	999	1104	1241
Межа плинності , МПа: min	$\sigma_т$	379	517	655	724	930	1035	1170
max		-	724	862	930	1138	1241	1379
Відносне видовження, % min	δ_5	16	14	14	12	12	11,5	10,5
Відносне звуження після розриву, % min	ψ	50	50	50	45	45	40	40
Ударна в'язкість, дж/см^2 min	KSV	690	690	690	690	690	-	-

*Групи міцності Т і У введені у стандарт як перспективні.

За інформацією американського нафтового інституту механічні властивості бурильних труб дещо корелюють до даних стандарту [2] проте не містять аналогів перспективних груп міцності за групами міцності Т і У.

Таблиця 2 – Механічні властивості груп сталей за Specification for Drill Pipe . ANSI/API SPECIFICATION 5DP 2009

Назва показника, розмірність	Позначення	Норма механічних властивостей за групами міцності сталі				
		D	E	X	G	S
Межа міцності, МПа	$\sigma_в$	655	689	724	793	1000
Межа плинності , МПа: min	$\sigma_т$	379	517	655	724	931
max		-	724	862	931	1138

Вказані сталі, а також сталі груп M, P, S як правило відносять до середньолегованих та високолегованих хромонікелевих. Згідно даних компанії Walter Tools [3] низьколеговані сталі за їх механічною оброблюваністю належать до груп P7–P10, а високолеговані – до груп P11–P13. (таблиця 3).

Таблиця 3 – Рекомендовані швидкості різання для нарізеточіння за групами сталей згідно з Walter Tools

Поділ за легованістю	Твердість За Брінелем, НВ	Межа міцності $\sigma_в$, МПа	Група обробності	Швидкість різання, v мм/хв.	
				пластинка VHM з покриттям	HSS –E(-PM) без покриття
Низьколегована відпалена	170	591	P7	100	15
Низьколегована покращена	300	1013	P8	50	7,5
	380	1282	P9	35	4
	430	1477	P10	20	2
Високолегована відпалена	200	675	P11		15
Високолегована покращена	300	1013	P12	50	7,5
	400	1361	P13	30	3

Судячи із рекомендованих низьких швидкостей різання сталі груп P9, P10, P13, а частково груп P8, P12 їх слід вважати важкооброблюваними. Таким чином можна зробити висновок, що усі перспективні матеріали, з яких нині продукують замкові з’єднання обважнених бурильних труб відносяться до важкооброблюваних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Онисько О. Р. Про технологічну неможливість відтворення теоретично точного профілю гвинтової різьби токарним різцем. Вісник ЖДТУ. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. 2015. № 15. С.87–100.
2. ГОСТ Р 50864–96. Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Технические требования. Москва: Издательство стандартов, 2010. 14 с.
3. Recommended cutting modes for threading from the company Walter Tool. URL: //lab2u.ru/rekomenduemye-rezhimy-rezaniia-ot-kompanii-walter-dlia-rezbonarezaniia-vnutrennikh-rezb-v-razlichnykh-obrabatyvaemykh-materialakh-metchikami-iz-tverdogo-splava-i-byst-katalog-walter-2012-instrument-i-osnastka-str-d396-1322-lab2u.html (дата звернення: 06.08.23).

УДК 621.9

Пермяков О.А., д.т.н., професор
perm_a@i.ua
Яковенко І.Е., к.т.н., доцент
igor.dych59@gmail.com

РЕВЕРСИВНИЙ ІНЖИНІРИНГ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ПРОЦЕСІВ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Запропоновано підхід до реверсивного інжинірингу зношених деталей шляхом створення точної копії за вже існуючим зразком.

На сьогодні у реноваційних галузях найрозвиненіших країн світу задіяно близько 30% технологічного обладнання та робочої сили. Такий обсяг залучених ресурсів в машинобудуванні пов'язаний з тим, що відновлення зношених деталей залишається дуже важливим резервом підвищення ефективності використання техніки, економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів. Технічна та економічна доцільність відновлення деталей зумовлена можливістю повторного (дуже часто неодноразового) використання 65-75% деталей. Собівартість відновлення зношених деталей не перевищує 50% вартості нових, а витрати на матеріал в 15-20 разів нижчі, ніж під час виготовлення деталей [1].

Поряд з економією матеріальних, енергетичних, трудових і природних ресурсів ремонтне виробництво за рахунок зниження кількості деталей, що надходять на утилізацію, а також пов’язаних з ними технологічними відходами, значно скорочує забруднення навколишнього середовища. Використання таких екологічно чистих методів обробки, як електроконтактне приварювання стрічки, електроіскрові методи, нанотехнології (фінішна антифрикційна безабразивна обробка тощо) та ін., дає змогу вважати сферу відновлення деталей безальтернативною з точки зору екологічності та економічності.

Процес відновлення деталей – складне конструкторсько-технологічне завдання, під час розв'язання якого, крім геометричних розмірів, частково змінюються деякі характеристики деталі, закладені в ній конструктором: матеріал окремих ділянок, фізико-механічні властивості, шорсткість поверхні тощо. У зв'язку з цим особливої ваги набуває питання проектування технологічного процесу відновлення деталей, під час якого вирішуються питання якості відновлення деталей.

Сучасний розвиток інформаційних технологій у машинобудуванні надає альтернативу існуючим процесам відновлення деталей.

Реверсивний інжиніринг (реверс інжиніринг, зворотне проектування, reverse-engineering) – процес створення точної копії об'єкта за вже існуючим зразком. Зворотне проектування деталей потрібне, коли необхідне: відновлення втрачених деталей; відновлення зношених або деталей, що вийшли з ладу; збереження інформації про об'єкти для їхнього подальшого ремонту чи відтворення.

Реверс-інжиніринг прискорює та спрощує виробничі процеси. За допомогою сучасних високоточних технічних рішень – 3D-сканерів та програмного забезпечення – метод забезпечує кілька важливих переваг:

- швидкість - багаторазове прискорення вимірювань порівняно з класичним методом (від кількох днів за кілька годин чи хвилин);
- точність – сканування дозволяє уникнути накопиченої помилки при знятті розмірів;
- універсальність - відтворення геометрії будь-якої складності та вироби практично будь-яких габаритів;
- контроль при проектуванні – швидка та наочна перевірка відхилення геометрії виробу від 3D-моделі у спеціалізованих програмах.

Реверсивний інжиніринг не може існувати без відповідних програмних та технічних засобів. У наш час існує величезна кількість різноманітного високоточного обладнання та

програмних засобів для проведення вхідного, міжопераційного та вихідного контролю (Inspection) деталей на виробництві, а також для проведення зворотного моделювання (reverse engineering). Одним із основних етапів зворотного моделювання є процес 3Д-сканування існуючого виробу. 3D-сканування об'єктів – це процес перетворення фізичної форми реального об'єкта на цифровий вигляд. При використанні певних технологій можливе збереження текстури і навіть кольору вихідного зразка. Таким чином, 3D модель необхідного виробу можна отримати без зайвих зусиль. 3D-сканування об'єктів допомагає підготувати необхідну модель до 3D-друку, або використовувати цю модель для інжинірингу. На даний момент існують такі методи сканування: контактний метод та безконтактний метод. Кожен із методів має свої плюси і мінуси, і вимагає використання відповідного обладнання.

Можливість створення 3D-моделей виробів методами ручного комп'ютерного графічного дизайну або за рахунок 3D-сканування, їх подальший експорт до CAM систем та використання методів традиційного субтрактивного виробництва (на основі верстатів з ЧПК) або методів адитивного виробництва (3D-друк) значно спрощує процес технологічного проектування та виготовлення деталі (рис.1).

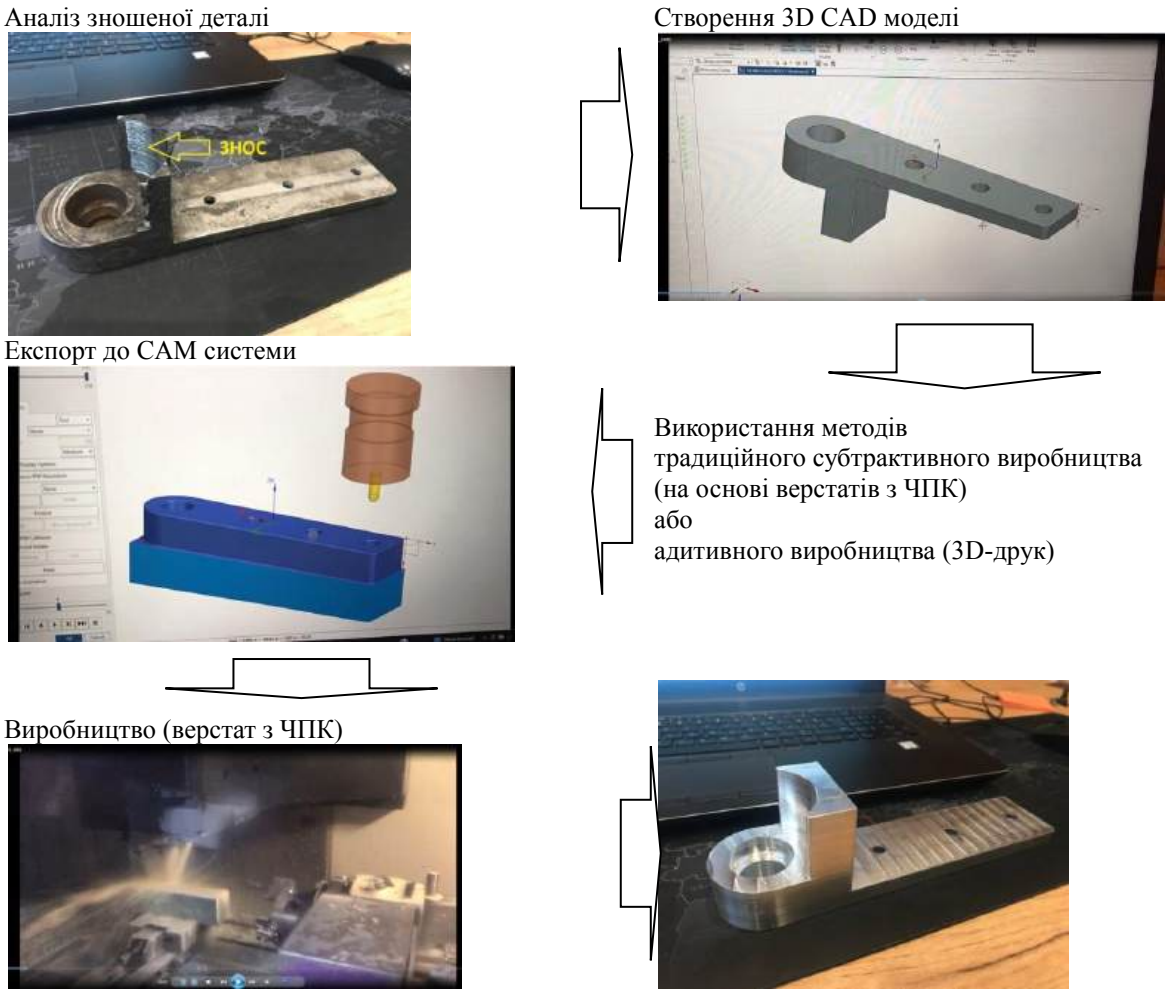


Рисунок 1 – Реверсивний інжиніринг - створення точної копії об'єкта за існуючим зразком

Звичайною практикою став саме реверсивний інжиніринг зношених деталей за багаторазово перевіреною послідовністю (рис.2). Після аналізу деталі, відновлену копію якої необхідно отримати, створюється її 3D-модель методами ручного комп'ютерного графічного дизайну. Цей підхід є раціональним для нескладних деталей коли їх розміри є можливість отримати за допомогою звичайного мірильного інструменту. Подальший експорт 3D-моделі до CAM системи дозволяє згенерувати керуючу програму та виконати обробку на відповідному верстаті з ЧПК.

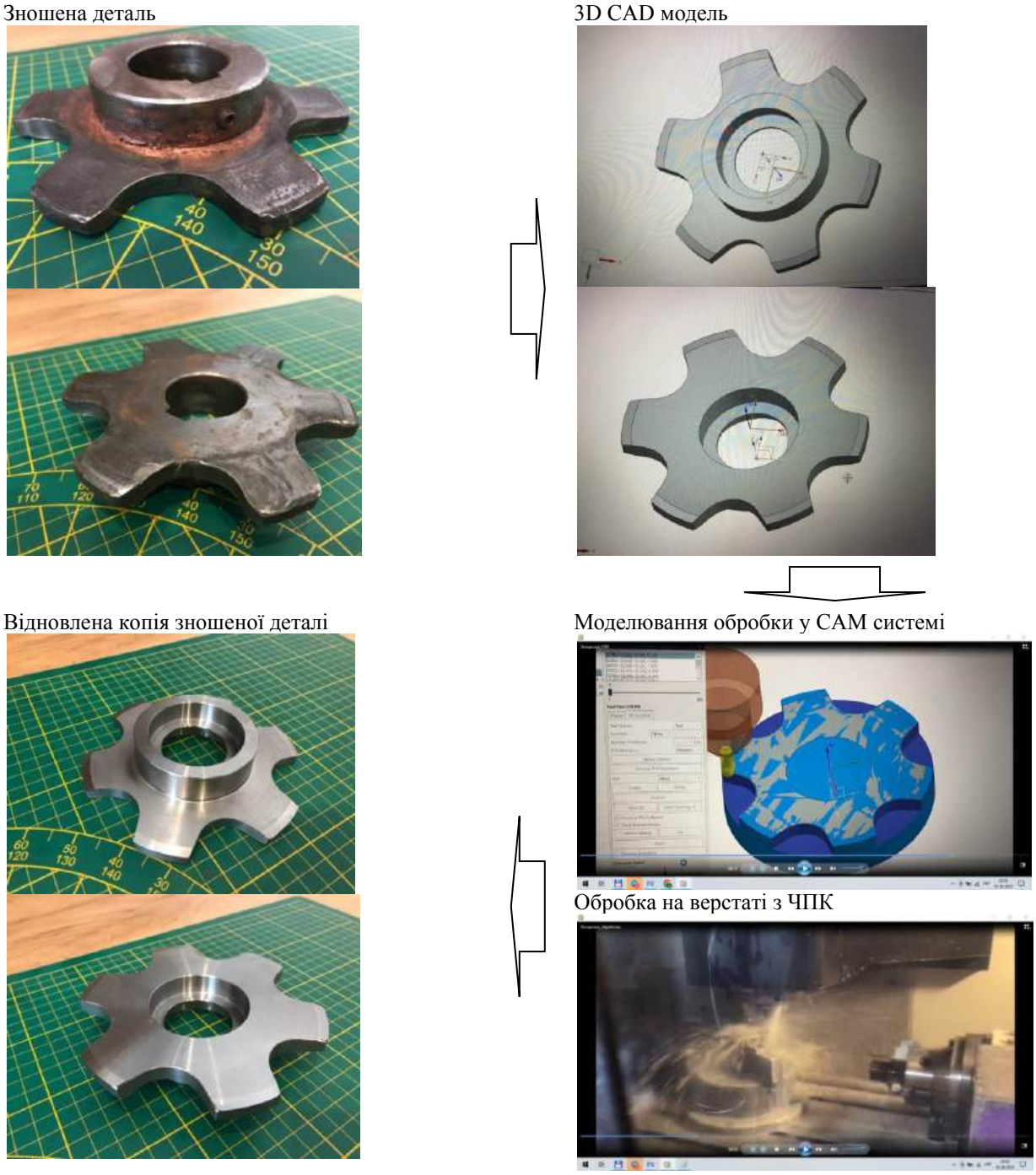


Рисунок 2 – Послідовність створення відновленої копії зношеної деталі

Слід вважати за доцільне вивчення, засвоєння та впровадження в практику роботи інженерів-механіків-технологів сучасного обладнання та програмних засобів для реалізації реверсивного інжинірингу на підприємствах машинобудівної галузі. Відповідно при підготовці фахівців за спеціальностями 131 Прикладна механіка та 133 Галузеве машинобудування виникає потреба у підготовці та викладанні окремого лекційного курсу та створення необхідної лабораторної бази для його забезпечення.

Список використаних джерел

1. Методологія технологічного проектування процесу відновлення деталей /М.І. Черновол, О.А.Пермяков, Я.Б.Немировський, В.І.Горбулик, І.В.Шепеленко //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук.пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 2 (8) 2023. – С. 61–68. – ISSN 2079-004X, DOI: 10.20998/2079-004X.2023.2(8).01

УДК 621.9

Пірогов Д.О., аспірант
dimapirohov@gmail.com
Воронцов Б.С., д.т.н., професор
voronts@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ТИТАНОВИХ ЗАГОТОВОК ОТРИМАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ XBEAM 3D METAL PRINTING

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Титанові сплави дуже популярні в аерокосмічній, автомобільній, оборонній та біомедичній галузях завдяки своїй високій питомій міцності, легкій вазі, біосумісності та корозійній стійкості. Але виготовлення заготовок на основі титану є дуже дорогим і пов'язано з надзвичайно високими витратами часу в порівнянні з іншими конструкційними металами, такими як сталь і алюміній. Це призвело до розробки процесу адитивного виробництва, який дозволяє виготовляти важкооброблювані металеві деталі, тим самим скорочуючи час підготовки і відходи матеріалу, а також значно підвищуючи продуктивність [1]. Технологія отримання заготовок xBeam 3D metal printing вирішує більшу частину технічних та економічних проблем сфери адитивного виробництва. Застосування профільного електронного променя, як джерела нагріву і використання титанового дроту в якості основного матеріалу, використовуючи спеціальну низьковольтну газорозрядну електронну гармату, яка генерує електронний конічно-порожнистий промінь дозволяє виготовити заготовки, які не будуть мати високого проплавлення матеріалу, а плавний нагрів матеріалу, збереже властивості титанового сплаву та його структуру, забезпечить зменшення залишкових напружень і деформацій, швидку кристалізацію та охолодження, на відміну від конкурентів, які використовують високу концентрацію потужності [2]. Крім того дана технологія за рахунок контрольованого нагрівання, високій продуктивності розплавлення і подачі дроту, в пошарово сформованому матеріалі дозволяє забезпечити досить високі показники геометричних параметрів сформованого виробу тим самим знижуючи до мінімуму фінішне механічне оброблення. Дослідження показали, що час на отримання готової деталі із застосування даної технології склав 130 хвилин, що в порівнянні із конкурентами, які використовують лиття від 10 до 14 тижнів виготовляють подібні деталі. Отже, технологія швидко і якісно дозволяє виготовити заготовки із титанових сплавів, зберігаючи задовільні механічні властивості, міцність та пластичність, а також високі показники використання витратного матеріалу, в результаті заготовка максимально наближена до кінцевого виробу, а вартість виготовлення мінімальна [3].

Незважаючи на це, все ще існує потреба в фінішному обробленні отриманих заготовок, для забезпечення відповідності вимогам до розмірів і шорсткості поверхні, тому вирішення цих питань залишається сферою активних досліджень. Необхідних рекомендацій із застосування технології xBeam 3D в поєднання із процесами різання відсутні, тому на маті є провести необхідні дослідження і експерименти із режимами різання для досягнення зазначеної шорсткості та точності. Необхідно виділити деякі особливості оброблення заготовок із титанових сплавів, для уникнення помилок в подальших експериментах.

Основні рекомендації щодо обробки титанових заготовок, виготовлених із використанням адитивних технологій, такими як точіння та фрезерування, а також відповідно до авіаційних стандартів, вказують на те, що зміни в стратегіях обробки та траєкторіях руху інструменту можуть вплинути на якість кінцевої поверхні. Основною проблемою при обробці титану є подолання стійкості інструменту, яка зазвичай унеможливлює високошвидкісне різання. Щоб забезпечити хороший термін служби інструменту, швидкості різання в Ti-6Al-4V часто обмежують. Існує кілька способів покращити оброблюваність титану. Вони включають використання стандартних мастильно-охолоджувальних рідин та альтернативних ріжучих матеріалів, таких як твердосплавні

ріжучі інструменти з покриттям, які подвоюють термін служби інструменту в порівнянні з твердосплавними інструментами без покриття [4].

Фрезерування титану є більш складною операцією, ніж точіння. Оскільки фреза зрізає необхідний матеріал за кожен оберт, то стружка має тенденцію прилипати до зубців під час обертів. Якщо стружка збивається при наступному контакті, зубці можуть бути пошкоджені. Цю проблему можна значно зменшити, використовуючи фрезерування з підйомом замість звичайного фрезерування. Цей тип фрезерування мінімізує налипання стружки, оскільки фреза контактує з найтоншою частиною стружки при виході з різу. Твердосплавні інструменти забезпечують збільшення швидкості різання на 20-30% порівняно з інструментами зі швидкоріжучої сталі, але це не обов'язково компенсує додаткові витрати на перезаточування інструментів. Тому рекомендується випробувати як інструменти зі швидкоріжучої сталі, так і твердосплавні інструменти, щоб визначити, які з них найкраще підходять для кожного конкретного випадку фрезерування. Рекомендується використовувати мастильно-охолоджувальні рідини на водній основі. Слід використовувати високопродуктивні, довговічні інструменти з цементованого твердого сплаву. Для обробки швидкорізальної сталі рекомендується дуже висока швидкість обертання. Слід уникати прогину інструменту, а мастильно-охолоджувальна рідина повинна забезпечувати сильний і постійний потік до поверхні різання [4].

Адекватне розуміння оброблюваності титанових сплавів має важливе значення для забезпечення ефективної обробки. Специфічні проблеми, пов'язані з механічною обробкою цих сплавів тісно пов'язані з їх властивими характеристиками, стійкість до пластичних деформацій, необхідних для утворення стружки, обумовлена високою міцністю титанових сплавів, яка зберігається при підвищених температурах під час обробки, високий "коефіцієнт тертя" на межі інструмент-стружка. Утворення тонкої стружки зі зменшеною площею контакту з ріжучим інструментом. Це є причиною виникнення високих напружень на передній поверхні інструменту під час обробки. Нестабільність процесу стружкоутворення призводить до утворення зубчастої або сегментованої стружки. Низький модуль пружності титанових сплавів, який швидко зменшується навіть при помірних температурах, що може призвести до виникнення прогину і небажаного притирання інструменту до свіжостворених поверхонь, а також до викривлення деталей із тонкими стінками та недостатньою точністю обробки. Більша пружність заготовки і прогин тонкостінних конструкцій часто призводять до вібрації інструменту та неякісної обробки. Висока швидкість зміцнення титанових сплавів, а також висока хімічна реактивність титану при підвищених температурах (>550C) з більшістю доступних інструментальних матеріалів і, як наслідок, їх зварювання за рахунок налипання на ріжучу кромку, за рахунок адгезії до ріжучого інструменту під час обробки призводить до надмірного викришування та/або передчасного виходу інструменту з ладу та неякісної обробки поверхні [5].

Список використаних джерел

1. Review on machining of additively manufactured nickel and titanium alloys [Електронний ресурс] / [K. Navneet та ін.] // Journal of materials research and technology 2021.– Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.088.
2. Новые возможности аддитивного производства с технологией xBeam 3D Metal Printing (Обзор) / [Д. В. Ковальчук та ін.]. // Автоматическая сварка. – 2017. – №12. – С. 26–33.
3. Технологія xBeam 3D Metal Printing на шляху до промислового виробництва / [Д. В. Ковальчук та ін.]. // Сучасна електрометалургія. – 2020. – №3. – С. 30–34.
4. Analysis of the Machining Process of Titanium Ti6Al-4V Parts Manufactured by Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) [Електронний ресурс] / [Fernando Veiga та ін..] // Materials 2020.. – Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.3390/ma13030766.
5. Overview of the Machining of Titanium Alloys [Електронний ресурс] // Encyclopedia of Sustainable Technologies. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489102167.

УДК 621.923

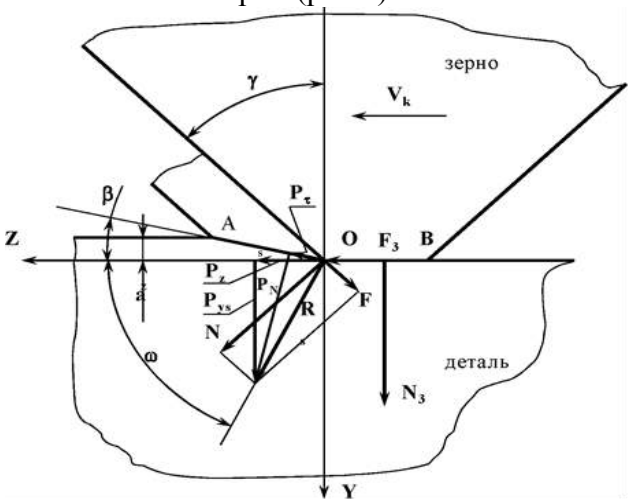
Стрельчук Р.М., к.т.н.
r.m.strelchuk@gmail.com

АНАЛІЗ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ШЛІФУВАННІ ЗІ ЗМІННОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Характер взаємодії робочої поверхні круга з матеріалом в умовах електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів при обробці різних важкооброблюваних матеріалів не вивчений [1]. У зв'язку з цим цікавий аналіз таких показників процесу, як сили різання. Вони відбивають процес різання у поступовій динаміці, вплив температурно-швидкісного чинника, властивостей оброблюваного матеріалу, стан робочої поверхні круга. При великих значеннях сили P_z взаємодія абразивного інструменту з матеріалом ефективніше. Слід зазначити, що за умов пружного шліфування більшому значенню сили P_z відповідає краща ефективність процесу шліфування, оскільки тангенціальне зусилля визначається сумарним миттєвим перерізом зрізу. Для розрахунку інтенсивності видалення зв'язки круга та перед зруйнованого шару оброблюваного матеріалу в результаті дії електричних розрядів необхідно мати силові залежності, що описують збільшення складових сил різання в часі, обумовлене зміною параметрів поверхні круга і деталі, та знати умови стійкого закріплення алмазного зерна у зв'язці.

Сила різання на шліфувальному крузі являє собою суму сил на окремих зернах, що одночасно знаходяться в контакті з поверхнею деталі, у зв'язку з чим спочатку визначимо силу різання на одиничному зерні. При визначенні рівнодіючої сили різання виходитимемо з рівноваги ряду активних (зовнішніх) сил, що діють на шар, що зрізається, і реактивних (внутрішніх) сил, що діють на алмазне зерно (рис.1).



1. Рисунок 1 – Схема дії сил при електроерозійному шліфування на шар, що зрізається

Для розрахунку складових сил різання на одиничному зерні, отримали наступні залежності:

$$P_{zk} = \frac{\left(\frac{\sqrt{1+M^2}a_z cos\omega}{sin\beta} + к_з M\mu l_з\right) bC}{1+\left(\frac{\sqrt{1+M^2}a_z cos\omega}{sin\beta} + к_з M\mu l_з\right) bz_p \frac{4a\alpha V_k\sqrt{H}\alpha_в}{\sqrt{\pi}\lambda V_д S}}, \quad (1)$$

$$P_{yk} = \left(\frac{\sqrt{1+M^2}a_z \sin\omega}{sin\beta} + к_з M\mu l_з\right) b\left(C - \frac{4a\alpha V_k\sqrt{H}\alpha_в}{\sqrt{\pi}\lambda V_д S} P_{zk}\right). \quad (2)$$

Коректність формул (1), (2) при розрахунку складових сил різання в процесі електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів (умови обробки: сталь Р6М5, круги з алмазів АС6 зернистістю 50/40, 100/80, 160/125) була підтверджена експериментально (рис.2). При цьому розбіжність теоретично розрахованих та певних експериментально величин складових сили різання знаходиться в межах 15-25%. Дещо більша розбіжність спостерігається при зіставленні величин складової P_y, особливо для круга зернистістю 50/40 (до 35%). Це зниженням профілю алмазного круга, що у найбільшою мірою проявляється на дрібнозернистому крузі і чого не враховує розроблена методика розрахунку [2].

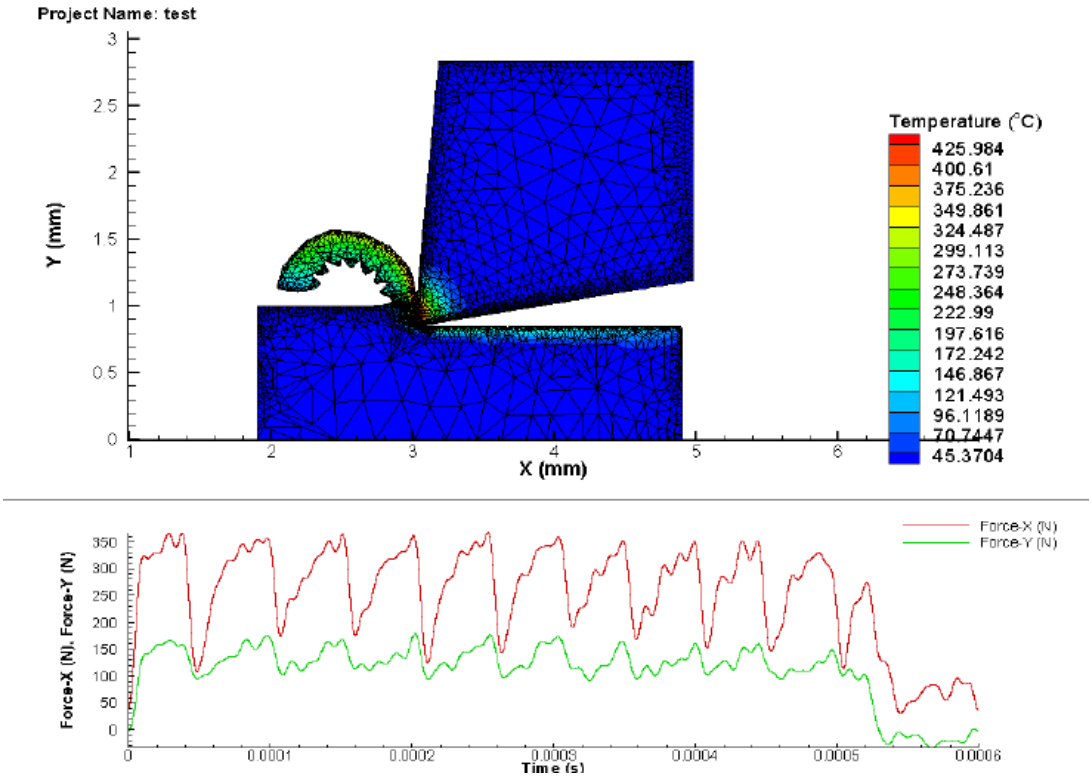


Рисунок 2 – Експериментальні значення складових сил різання в процесі шліфування

Проведено аналіз існуючих математичних залежностей для визначення сили різання при електроерозійному шліфуванні зі змінною полярністю електродів. Значення сили різання, що діє при шліфуванні, є найважливішою характеристикою процесу обробки. Від неї залежать умови роботи верстата, інструменту та рівень точності деталі, що отримується. Розроблено методику визначення складових сили різання при шліфуванні враховує вплив не тільки ріжучих зерен, а й деформуючих, де сумарні нормальна та тангенціальна складові сили різання діють уздовж лінії контакту як на периферії, так і на торці шліфувального круга.

Список використаних джерел

1. Пат. України на корисну модель №131894, МПК (2018.01) B24B 1/00. Спосіб електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів / Стрельчук Р. М., Узунян М. Д. – № u 201806851; заявл. 18.06.2018; опубл. 11.02.2019.–Бюл. № 3.
2. Arun, I., Yuvaraj, C., Jyothibabu, P. Influence of Silica on Microstructural Modification of Electrical Discharge Composite Coating and its Wear Performance // Silicon 12, p. 2375–2386 (2020).

УДК 621.7.044

Третяк В.В., к. т. н., доцент
v.tretyak@khai.edu
Сорокін В.Ф., д.т.н., професор
v.sorokin@khai.edu
Некрасов О.Д. , к. т. н., доцент,
o.nekrasov@khai.edu

КОНСТРУКЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ТОВСТОЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ ІМПУЛЬСНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Україна

Пристрої для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії можуть бути використані у машинобудуванні для виготовлення деталей з товстолистового матеріалу без використання пресового та штампувального обладнання.

Відомі пристрої, в яких притиснення заготівки здійснюється силами додаткового імпульсного джерела енергії, наприклад, при використання складної композиції імпульсних джерел енергії [1].

Однак застосування складної композиції імпульсних джерел енергії вимагає точних розразунків, використання складної технології композиціїї встановлення імпульсних джерел енергії, а також спеціальної апаратури для синхронізації імпульсів.

Разом з тим така система ненадійна і часто приводить до браку виробів. Також дуже складно механізувати такий процес штампування.

Найбільш близьким за технічною суттю є пристрій для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії, який складається з матриці, джерела імпульсної енергії, передатного середовища (технічної води), додатково містить матрицю, розміщену симетрично першій таким чином, що вони утворюють спільну порожнину для розміщення передатного середовища та джерела імпульсного навантаження, а між матрицями розташовані притискні кільця з кільцевою прокладкою між ними.

Матриці з'єднані між собою гвинтами з шайбами та гайками [2, 3].

Оскільки заготовка навантажується в основному тільки ударною хвилею, яка з’являється в технічній воді, недоліками даного пристрою є низикий коефіцієнт корисної дії. Оскільки в такій конструкції відсутнє дно матриць, не можливе отримання деталей складної і точної форми. А якщо деталь має високу деформацію, її треба виконувати в декілька переходів.

В основі конструкції розробленого пристрою вирішується задача вдосконалення конструкції для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії, в итому числі в якому забезпечується збільшення коефіціента корисної дії, підвищення точності і складністі деталі за рахунок компенсування підскоку і остаточних деформацій.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для штампування товстолистових деталей імпульсними джерелами енергії містить джерело імпульсної енергії, передатне середовище, дві матриці, розміщені симетрично таким чином, що вони утворюють спільну порожнину для розміщення передатного середовища та джерела імпульсного навантаження.

Між матрицями розташовані притискні кільця з кільцевою прокладкою між ними, а матриці з'єднані між собою гвинтами з шайбами та гайками, згідно з корисною моделлю, передатним середовищем є зволожений пісок, під вставкою нижньої матриціі встановлена гумова прокладка-компенсатор[4].

На рис.1 зображена схема пристрою для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії.

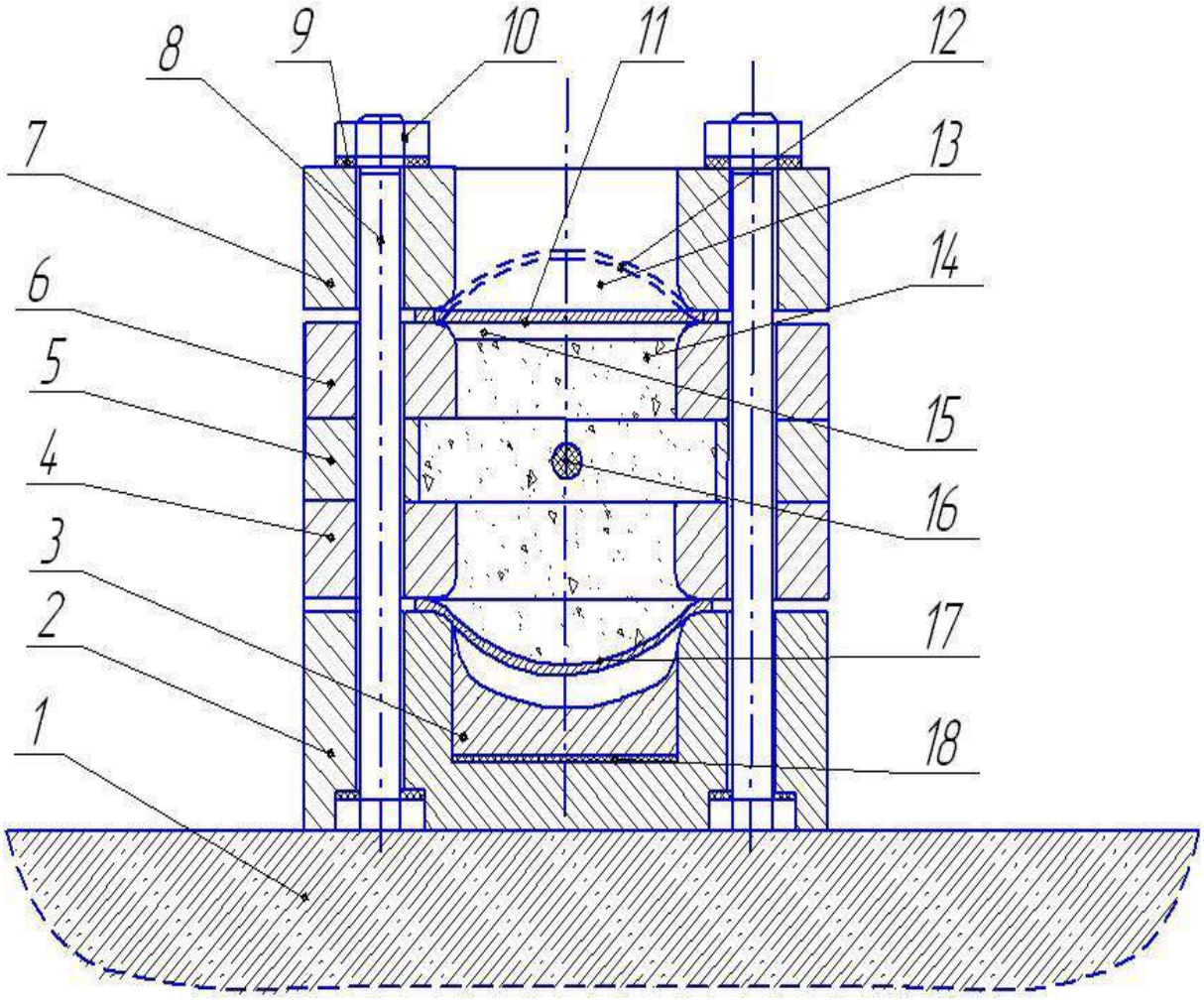


Рисунок 1 – Схема пристрою для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії

Пристрій працює наступним чином. На залізобетонну підлогу 1 встановлено корпус 2 і вставку 3 нижньої матриці, між якими прокладено гумову прокладку-комперсатор 18.

Верхня матриця 7 розміщена симетрично нижній таким чином, що вони утворюють спільну порожнину для розміщення передатного середовища 14 та джерела імпульсного навантаження 16, а між матрицями розташовані притискні кільця 4 і 6 з кільцевою прокладкою 5 між ними.

Матриці з'єднані між собою гвинтами 8 з шайбами 9 та гайками 10.

Заготовка 17 встановлена між корпусом нижньої матриці 2 та притискним кільцем 4, заготовка 11 встановлена між верхньою матрицею 7 та притискним кільцем 6. Джерело імпульсного навантаження 16, передатне середовище 14, яке являє собою зволожений пісок, розміщено в порожнині між заготівками 11 і 17, притисненими нижньою 2 та верхньою 7 матрицями до притискних кілець 4, 6 та кільцевої прокладки 5.

Між передатним середовищем 14 і заготовкою 11 є зазор 15.

Пристрій працює таким чином. Деталь отримують в два переходи: перший перехід реалізують в верхній частині пристрою, другий - в нижній.

На залізобетону підлогу 1 устанавлюють корпус нижньої матриці 2, вставку нижньої матриці 3 і гумову прокладку-компенсатор 18.

На корпус нижньої матриці 2 встановлюють заготовку 18, притискні кільця 4, 6 і кільцеву прокладку 5.

Далі встановлюють заготовку 11, верхню матрицю7, розміщають джерело імпульсного навантаження 16 і передатне середовище 14.

Між передатним середовищем 14 і заготовкою 11 роблять зазор 15.

Корпус нижньої матриці 2, притискні кільця 4, 6 і кільцеву прокладку 5, верхню матрицю 7 фіксують і центрують за допомогою комплекту фіксуючих елементів - гвинтів 8, шайб 9 та гайок 10.

Після роботи джерела імпульсного навантаження 16 за рахунок більшого діаметра і об'єму в порожнині, де розташоване передатне середовище 14 виникає ударна хвиля, яка діє на притискні кільця 4 і 6 і передає їм рух у напрямі заготівок 11 і 17.

Проте рух притискних кілець 4 і 6 обмежений через жорсткий зв'язок гвинтів 8 і шайб 9 з матрицями 2, 7.

Тому виникає зусилля притиснення, яке передається на заготовки 11 і 17.

За рахунок того що, передатне середовище 14 є зволоженим піском тиск ударної хвилі має значно менше і рівномірне значення, що значно краще впливає на процес деформування за рахунок менш складного поля деформацій.

Заготовки деформуються не тільки за рахунок зменшеного тиска уданої хвилі, а також за рахунок пісчано-гідравлічного потока, який теж виникає в передатному середовищі 14 після дії ударної хвилі.

За рахунок цього тиск на заготовки вирівнюється і зменшується. Швидкість удара заготовки 17 по вставці 3 значно зменшується. За рахунок гумової прокладки-компенсатора 18 компенсуються підскок і остаточні деформації готової деталі.

Після закінчення процесу деформування пристрій розбирається.

Отриману на першому переході деталь 12 використовують, як заготовку 17 при виконанні другогого переходу. Далі процес повторюють.

Для розрахунків конструктивних елементів і параметрів для імпульсного навантаження заготовки в технологічному процесі, а також розрахунків напружено-деформованого стану листової заготовки в процесі імпульсного навантаження на кафедрі технологій виробництва авіаційних двигунів розроблені алгоритм і діюча програма, яка може бути використана як в навчальному процесі для дипломного проектування, так і для отримання первинних данних деформації заготовки в процесі моделювання таких технологічних процесів.

Список використаних джерел

1. Піхтовников Р.В. Перспективи розвитку обробки металів вибухом. - В кн.; Нове в технології штампувального виробництва. Київ, 1961, с. 12-16).

2. Гринченко А. М., Дорофеев В. Г. Применение энергии взрыва для прижатия фланца заготовки. - В кн.: Импульсная обработка металлов давлением. Харьков, 1975, с. 5-7.

3. Пристрій для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії, патент на корисну модель №100458, опублікований МПК B21D 26/06 (2006.01), B21D 26/02 (2011.01) опублікований 27.07.2015, Бюл.№ 14.

4. Пристрій для штампування листових деталей імпульсними джерелами енергії, патент на корисну модель №150486, опублікований МПК B21D 26/02 (2011.01), B21D 26/06 (2006.01), опублікований 23.02.2022, Бюл.№ 8/22.

УДК 621.01: 621.77.04

Цибуленко В.О., аспірант
momosc2tv@gmail.com

ІНТЕГРОВАНИЙ ПІДХІД ДО ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З TI-6AL-4V З ВИКОРИСТАННЯМ ГІБРИДНИХ ТА СУБТРАКТИВНИХ МЕТОДІВ

Національний технічний університет
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Металеві деталі, виготовлені аддитивно, мають низьку розмірну/геометричну точність та низьку якість поверхні через "сходовий ефект" та нерівномірне плавлення порошку [1]. Для вирішення цих проблем широко застосовується субтрактивна обробка, включаючи фрезерування та токарну обробку, при наступній обробці критично важливих деталей якості, таких як лопаті турбін низького тиску та лопаткові диски. Однак обробка внутрішніх поверхонь, недоступних для ріжучих інструментів, неможлива. Ця проблема суттєво обмежила високорівневу гнучкість проектування аддитивного виробництва та обмежила його застосування у виробництві функціональних деталей складної форми. Для вирішення цієї проблеми "недоступних місць" недавно був розроблений новий тип верстата "гібридного виробництва" шляхом інтеграції процесу обробки та аддитивного виробництва АМ [2]. Обробка внутрішніх поверхонь проводиться під час процесу АМ до того, як поверхні стануть недоступними після завершення процесу АМ (рис. 1) [3]. Тим не менше, через відсутність глибоких знань про гібридний процес, стратегії, використовувані під час обробки, залишаються такими, що розроблені для субтрактивної обробки, і в результаті часто виникають серйозні проблеми з якістю, такі як дефектні поверхні та надмірний знос інструменту [4].

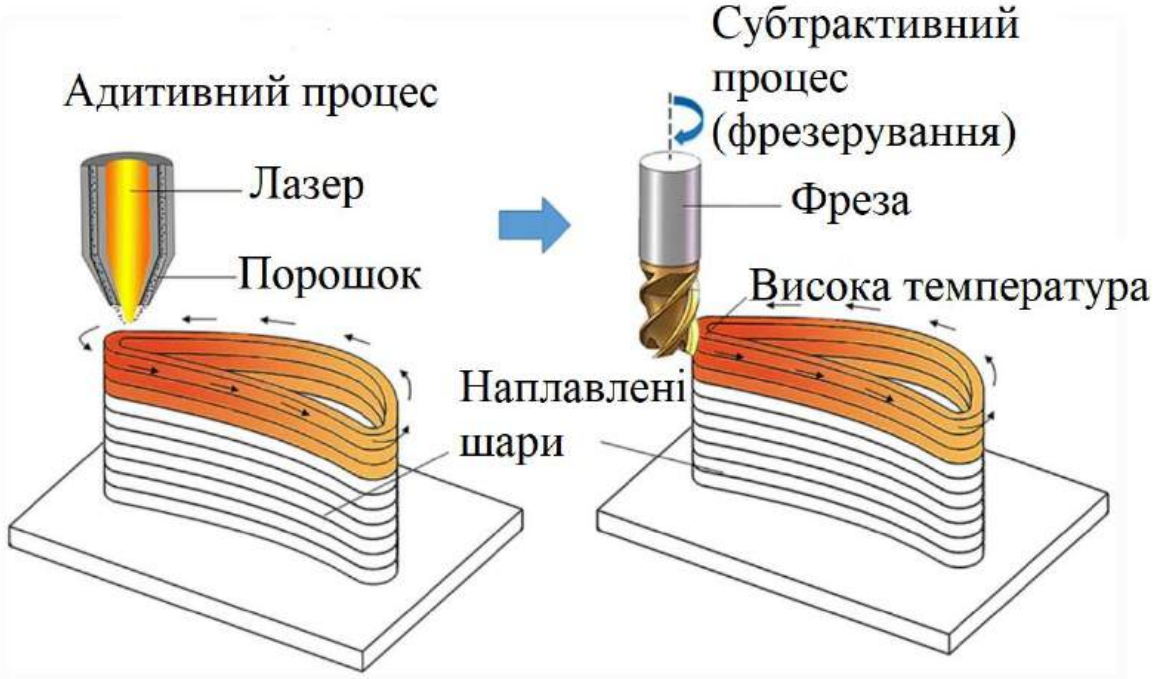


Рисунок 1 – Адитивні та субтрактивні гібридні виробничі процеси [3]

"Ye" та інші [5] розробили гібридний виробничий верстат, що складається з високошвидкісного фрезерування та прямого плавлення металу для отримання аддитивно виготовлених деталей з високою якістю поверхні та високою точністю. Якість поверхні може бути значно покращена завдяки видаленню шорстких шарів в процесі фрезерування. Jeng та інші [6] представив гібридний процес, що поєднує селективне лазерне нанесення (SLC) та

процес фрезерування, щоб довести можливість модифікації / ремонту деталей за допомогою гібридного процесу.

Як гібридний підхід, що поєднує лазерну та звичайну механічну обробку, лазерна обробка (LAM) може покращити оброблюваність металевих деталей за рахунок попереднього нагріву матеріалів за допомогою лазерного променя як зовнішнього джерела тепла для зм'якшення матеріалу заготовки [7]. Дослідження, проведені Gao та ін. [8], дозволили краще зрозуміти вплив параметрів різання на знос інструменту та якість поверхні, а також надали цінну інформацію про складнощі обробки титанових сплавів за підвищеної температури. Navas та ін. [9] дослідили оброблюваність Inconel 718 і виявили, що лазерне нагрівання призводить до значного зниження ефекту зміцнення, а межа міцності та межа текучості Inconel 718 знижуються, коли температура в зоні зсуву складає приблизно 600-650 °C. Лазерне нагрівання може призвести до зменшення зусиль різання за умови правильної швидкості подачі. Також Dandekar та ін. [10] дослідили характеристики обробки гібридної титанової заготовки з лазерною обробкою та кріогенним охолодженням інструментів. Вони виявили, що специфічна енергія різання знизилася на 20%, а шорсткість поверхні зменшилася на 30% порівняно зі звичайною обробкою. У гібридному виробничому процесі кріогенне охолодження призвело до зниження температури на межі інструменту та стружки, що спричинило зниження температури різання та зносу інструменту. Якість поверхні також покращилася завдяки меншому тертю між бічною поверхнею інструменту та заготовкою.

У LAM послаблюючий ефект оброблюваного матеріалу за рахунок локального нагріву є критичним фактором, що знижує зусилля різання та знос інструменту. Однак під час процесу аддитивно-субстрактивного гібридного виробництва (ASHM) лазерне джерело призводить до підвищення температури, і вся заготовка нагрівається. Це призводить до температурного поля, відмінного від локального нагріву, і реакція обробки (наприклад, зусилля обробки, цілісність поверхні та знос інструменту) змінюється під час послідовних процесів обробки [11]. Li та ін. [3] досліджували вплив підвищення температури на оброблюваність Ti-6Al-4V, отриманого прямим лазерним плавленням DMD, під час процесу ASHM. Нагрівальний пристрій був розроблений для проведення експериментів з фрезерування за певної температури. Температура різання збільшувалась з підвищенням температури попереднього нагріву, що знижувало напругу матеріалу. Ефект термічного пом'якшення нейтралізувався ефектом зміцнення, коли температура попереднього нагріву була менше 300 °C. З подальшим підвищенням температури попереднього нагріву, посилено ефект термічного пом'якшення, що призводить до значного зниження зусиль різання.

У іншому дослідженні Moritz та ін. [11] проаналізували вплив кріогенного фрезерування на оброблюваність компонентів Ti-6Al-4V, виготовлених прямим лазерним плавленням LMD, за допомогою використання вуглекислого газу, як охолоджуючої рідини для оцінки цілісності поверхні та зносу інструменту. Було виявлено, що кріогенна обробка може призвести до зменшення шорсткості поверхні та меншого зносу інструменту, що призводить до відсутності забруднення поверхонь порівняно з іншими методами обробки. Результат показує, що гібридне виробництво, що складається з LMD та кріогенного фрезерування, надає значущі переваги для кінцевих деталей при обробці Ti-6Al-4V.

Точно так само, для ще більшого поліпшення оброблюваності деталей, виготовлених аддитивно з використанням ASHM, Du та ін. [12] представили творчий метод, який інтегрував вихретокове виявлення (ECD) в процес ASHM для виявлення дефектів у процесі виробництва. Цей метод надає можливість виявлення / усунення дефектів у процесі виробництва без необхідності використання сучасного обладнання та пропонує ефективний спосіб подальшого поліпшення якості деталей складної форми, виготовлених аддитивним способом.

Список використаних джерел

1.MALEKIPOUR, Ehsan; EL-MOUNAYRI, Hazim. Common defects and contributing parameters in powder bed fusion AM process and their classification for online monitoring and control: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 95: 527-550. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1007/s00170-017-1172-6
2. SOMMER, David, et al. Tool Wear and Milling Characteristics for Hybrid Additive Manufacturing Combining Laser Powder Bed Fusion and In Situ High-Speed Milling. Materials, 2022, 15.3: 1236. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.3390/ma15031236
3. LI, Shuai; ZHANG, Bi; BAI, Qian. Effect of temperature buildup on milling forces in additive/subtractive hybrid manufacturing of Ti-6Al-4V. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 107: 4191-4200. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1007/s00170-020-05309-7
4. DU, Wei; BAI, Qian; ZHANG, Bi. Machining characteristics of 18Ni-300 steel in additive/subtractive hybrid manufacturing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 95: 2509-2519. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1007/s00170-017-1364-0
5. YE, Zhi-peng, et al. Study of hybrid additive manufacturing based on pulse laser wire depositing and milling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 88: 2237-2248. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1007/s00170-016-8894-8
6.JENG, Jeng-Ywan; LIN, Ming-Ching. Mold fabrication and modification using hybrid processes of selective laser cladding and milling. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 110.1: 98-103. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00850-5
7.SUN, Shoujin; BRANDT, Milan; DARGUSCH, M. S. Thermally enhanced machining of hard-to-machine materials—a review. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2010, 50.8: 663-680. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2010.04.008
8.GAO, Yanfeng, et al. Cutting force, chip formation, and tool wear during the laser-assisted machining a near-alpha titanium alloy BTi-6431S. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 79: 1949-1960. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1007/s00170-015-6917-5
9.GARCÍ, Virginia, et al. Mechanisms involved in the improvement of Inconel 718 machinability by laser assisted machining (LAM). International journal of machine tools and manufacture, 2013, 74: 19-28. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2013.06.009
10.DANDEKAR, Chinmaya R.; SHIN, Yung C.; BARNES, John. Machinability improvement of titanium alloy (Ti–6Al–4V) via LAM and hybrid machining. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2010, 50.2: 174-182. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.10.013
11.MORITZ, Juliane, et al. Hybrid manufacturing of titanium Ti-6Al-4V combining laser metal deposition and cryogenic milling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 107: 2995-3009. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://doi.org/10.1007/s00170-020-05212-1
12.DU, Wei, et al. Eddy current detection of subsurface defects for additive/subtractive hybrid manufacturing. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 95: 3185-3195. [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу https://doi.org/10.1007/s00170-017-1354-2

Науковий керівник д.т.н., професор Воронцов Б.С.

3. ПРОЦЕСИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЇ

УДК 004.67

Губка О.С., к.т.н., доцент
o.gubka@ khai.edu
Губка С.О., к.т.н., доцент
s.gubka@ khai.edu

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ВХІДНОГО ВІДБОРУ СЛУХАЧІВ НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

В даний час спостерігається бурхливе зростання та розвиток навчальних центрів, які пропонують підготовку фахівців у сфері IT-технологій. Як правило, такі навчальні центри пропонують досить багато різних програм підготовки. Слухач курсів може сформувати персональну програму навчання з урахуванням деяких обмежень та рекомендацій фахівців центру для досягнення найкращого кінцевого результату. Важливим фактором для формування персональної програми навчання також є набір вхідних знань та вмінь потенційного слухача, оскільки слухачі приходять на курси різного віку, освіти тощо. Особливо ця проблема гостро стоїть, коли мова заходить про претендентів із Центрів зайнятості (ЦЗ). Для оцінки вхідних знань та умінь проводиться тестування претендента з необхідних предметів та знань. Окремо стоїть питання щодо перевірки рівня володіння іноземними мовами (насамперед англійською мовою). Всі ці проблеми стають ще важливішими, оскільки до вимог ЦЗ зазвичай належить високий рівень працевлаштування слухачів.

Метою доповіді є автоматизація вищеописаних завдань навчального центру та полегшення роботи його співробітників. Для вирішення цього завдання було розроблено мобільний додаток, що дозволяє вести облік усіх претендентів та слухачів навчального центру, в автоматичному режимі проводити тестування претендентів з відповідних знань [1], облік результатів роботи в рамках конкретних курсів навчального центру, формування підсумкових рейтингів слухачів для подальшого працевлаштування тощо.

При цьому розроблено три основні режими роботи програми: режим вхідного контролю знань для вступу до навчального центра, режим перевірки знань у процесі навчання та режим підсумкового контролю знань за результатами навчання. У цій доповіді ми зосередимось на першому режимі.

Режим вхідного контролю знань дозволяє якісно відібрати слухачів із великої кількості претендентів та вибудувати їх рейтинг для вступу. Для забезпечення неможливості різних "махінацій" у додатку проходження тестів можливе лише за допомогою спеціального одноразового пароля, який створюється навчальним центром. Також має місце обмеження кількості спроб і лімітація часу, відведеного на тест. Крім того, список питань і завдань тесту вибирається з бази даних випадковим чином. Все це дозволяє отримати якісний та достовірний результат.

Мобільний додаток розроблено під дві основні платформи Android та iOS. Дослідна експлуатація розробленого мобільного додатку в рамках навчального центру показала скорочення часу на обробку даних слухачів та підвищення якості їхнього відбору.

Список використаних джерел

1. Губка О.С., Губка С.О. Адаптивний метод оцінки знань на базі IRT. Проблеми інформатизації. 2019. Т.1., С. 11. - https://studmat.club/prochee/tezi-dopovidej-problemi-informatizaczii/11/

УДК 621.73

Залета О.М., к.т.н., доцент
olga_zaleta@ukr.net
Повстяной О.Ю., д.т.н., професор
povstjanoj@ukr.net
Залета А.О., аспірант
zaleta.andriy@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР ОПТИМІЗАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ МОДУЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НОВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Луцький національний технічний університет

Постановка проблеми. Сучасне технологічне обладнання являє собою сукупність уніфікованих вузлів, які часто класифікуються проектувальниками як технічна система з функціонально-модульною структурою. Також цей же принцип можна використовувати для обладнання, яке структурно утворює виробничу лінію або виробничий комплекс.

Ідея модульного підходу до розгляду структури технологічного обладнання визначається вимогами сучасного виробництва. Як відомо, технологічний процес поділяється на елементарні технологічні операції. Далі можна вибрати тип функціонального модуля для реалізації кожної операції. Функціональний модуль в даному випадку – це функціонально самостійна та конструктивно завершена сукупність механізмів, об’єднаних спільним функціональним призначенням [1, 2].

Під модульним принципом слід розуміти спосіб створення різноманітних технічних систем шляхом поєднання функціональних модулів необхідної номенклатури один з одним у певній послідовності в порядку технологічного процесу [3-5].

У сучасній промисловості асортимент обладнання різного призначення настільки великий, що, як правило, кожен функціональний модуль може бути представлений кількома варіантами. Вони можуть мати різну конструкцію і характеризуватися різними техніко-економічними параметрами, які впливають на ефективність всієї системи.

Тому наступним кроком є прийняття рішення про включення того чи іншого альтернативного функціонального модуля в загальну структуру проектованої системи. Це означає, що необхідно вирішити задачу оптимізаційного синтезу [6-8].

Саме тому **метою нашого наукового дослідження** є автоматизація процедур оптимізаційного синтезу модульного технологічного обладнання з використанням розробленого нового програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень. Загалом оптимізаційний синтез будь-якого технологічного обладнання поділяється на наступні етапи [1, 8].

1. Постановка проблеми. На цьому етапі проектувальник повинен чітко сформулювати завдання проектування.
2. Визначення переліку технологічних операцій, які повинен реалізовувати об'єкт.
3. Аналіз функціональних модулів, які можуть реалізувати кожну операцію.
4. Вибір будь-якої кількості варіантів функціонального модуля для кожної окремої операції.
5. Встановлення числових значень обраних техніко-економічних характеристик кожної одиниці обраного функціонального модуля.
6. Генерація всіх можливих варіантів структури цілого об'єкта.
7. Оцінка всіх версій методом структурної оптимізації.
8. Вибір найкращого (оптимального) розв’язку задачі.

Сформована множина моделей обладнання з множиною числових значень критеріїв оптимізації є вихідними даними для вирішення задачі.

Формалізація процедур оптимізаційного синтезу здійснюється за одним із таких принципів:

– одноетапний оптимізаційний синтез, що полягає в синтезі можливих варіантів структури об'єкта без їх проміжної оцінки [7]. Часто генетичний алгоритм також використовується як інструмент для вирішення різноманітних задач комбінаторної оптимізації, включаючи задачу модульного проектування [9];

– багатоетапний оптимізаційний синтез. Послідовні алгоритми дають змогу звести задачу великої розмірності до набору проблем малої розмірності [10, 11].

Відоме програмне забезпечення для проектування різноманітного технологічного обладнання дозволяє вирішити багато інженерних завдань.

Зокрема, проектувальники можуть широко використовувати технології CAD, CAM і CAE для створення 3D-моделей обладнання та його елементів або виконання деяких стандартних розрахунків параметрів обладнання [12, 13]. Для складних математичних розрахунків можна використовувати такі спеціалізовані програми, як Mathcad або Matlab [14, 15].

Вирішення загальної проблеми. Для реалізації автоматизації процесу вирішення нашої наукової задачі оптимізації було розроблено нове програмне забезпечення «OptiTech». Дане ПЗ може обробляти великий масив вхідних даних, видавати всі можливі та логічно допустимі результати за повним алгоритмом пошуку та представляти їх у зручному вигляді для користувача.

Послідовність роботи з «OptiTech» наступна. Приймаємо, що технологічний процес включає 4 операції, які реалізуються окремими видами функціональних модулів. Потім для кожного типу було підібрано кілька альтернативних варіантів: 3, 5, 4 і 2 моделі відповідно. Таким чином, у цьому випадку кількість варіацій структури технологічного комплексу становитиме:

$$N = 3 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 2 = 120 \quad (1)$$

Для формалізації даних кожна одиниця функціональних модулів має бути закодована як E (елемент) із визначеною нумерацією.

Якщо множина виду обладнання за призначенням (виконуваними операціями) буде наступною:

$$O = \{O_1,\ O_2,\ O_3,\ \ldots, O_n\} \quad (2)$$

де O – технологічна операція;

n – порядковий номер операції в технологічному процесі, тоді множина моделей обладнання – функціональних модулів, які реалізують окрему операцію, буде:

$$X_n = \{E_{11},\ E_{12},\ E_{13}, \ldots, E_{nm}\} \quad (3)$$

де m – порядковий номер функціональних модулів у наборі, які можуть виконувати цю операцію.

Робота з програмою «OptiTech» починається зі створення нового документа (рис. 1).

«OptiTech» підраховувує значення критеріїв для нових модулів в одній структурі по черзі, а значення альтернативного модуля вважає нульовими.

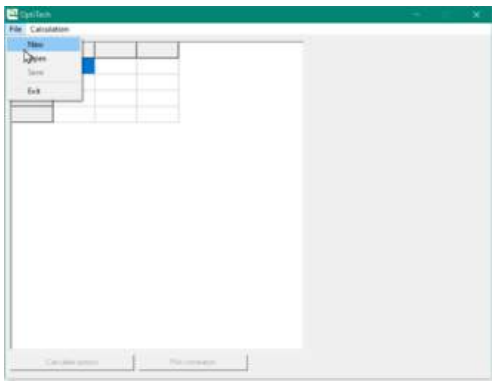


Рисунок 1 – Головне вікно програми «OptiTech»

Таблиця з усіма обчисленими результатами (рис. 2) заповнюється сумами значень для кожного критерію, які відповідають певному варіанту розв’язку задачі.

Для візуального відображення результатів розрахунків використовуються розкривні списки, розміщені у верхньому лівому (вісь Z), нижньому лівому (вісь X) і нижньому правому (вісь Y) кутах вікна програми.

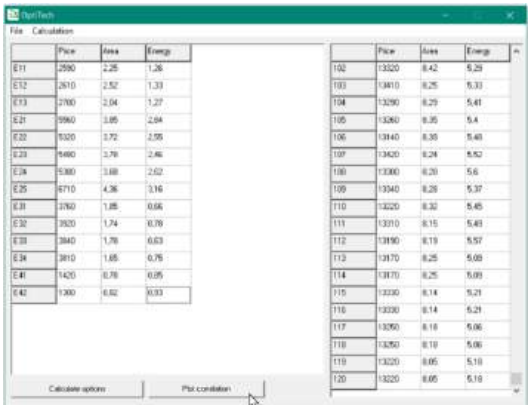


Рисунок 2 – Вікно програми «OptiTech» з результатами розрахунків

Виклад основного матеріалу. Отримані результати показали, що деякі точки множини Парето проектуються відразу на 2 площини, тому ми отримуємо 8 варіантів розв’язку, які за якістю домінують над рештою 112. Сумарні числові значення критеріїв оптимальності зведені в таблиці 1.

Програма «OptiTech» не дає єдиного рішення задачі, а метод Парето лише звужує коло пошуку, але не дає остаточного результату. Вибрати найкращий варіант, перебираючи точки, що належать множині Парето — це завдання користувача. Для цього потрібно перейти до математичних розрахунків інтегрального критерію оптимальності.

Найпростішим у цьому випадку є пошук значень адитивного критерію [11]. При застосуванні адитивного критерію цільову функцію отримують шляхом підсумовування нормованих значень часткових критеріїв.

Таблиця 1 – Значення критеріїв оптимізації варіацій складних конструкційна

Варіант (X^j) / Критерії	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7	X^8
Ціна $P, \$$	13220	13250	13140	13130	13110	13020	12970	13060
Площа S, m^2	8,05	8,18	8,39	8,23	8,26	8,44	8,64	8,46
Споживання енергії $E, \frac{kw \cdot s}{pc}$	5,18	5,06	5,05	5,5	5,17	5,49	5,4	5,08

Загалом цільова функція матиме наступний вигляд:

$$F(X^j) = \sum_i^k C_i \frac{f_i(X^j)}{f_i^0(X^j)} = \sum_i^k C_i f_i^*(X^j) \to \max(min) \quad (4)$$

де j – кількість точок у множині Парето;

C_i – ваговий коефіцієнт і-го частинного критерію;

$f_i(X^j$ – значення і-го часткового критерію;

$f_i(X^j$ – і-й нормуючий дільник (максимальне (мінімальне) значення і-го критерію;

$f_i^*(X^j$ – нормоване значення і-го часткового критерію.

Таким чином, кожному значенню часткових критеріїв у табл. 1 присвоїмо вагові коефіцієнти C_i. Роблять це за принципом зростання значень часткових критеріїв, оскільки маємо задачу мінімізації для всіх критеріїв оптимізації (табл. 2).

Таблиця 2 – Оцінка варіацій складних конструкцій за ваговими коефіцієнтами

Варіант (X^j) / Criterion	X^1	X^2	X^3	X^4	X^5	X^6	X^7	X^8
Ціна $P, \$$	7	8	6	3	4	2	1	5
Площа S, m^2	1	2	5	3	4	6	8	7
Споживання енергії $E, \frac{kw \cdot s}{pc}$	5	2	1	8	4	7	6	3

Висновки. В даному науковому дослідженні було розроблено програмне забезпечення «OptiTech», яке використовується для структурної оптимізації більшості типів технічних систем (технологічної машини, потокової лінії або виробничого комплексу), що мають функціонально-модульну структуру. Дане ПЗ «OptiTech» дозволяє ввести необхідну кількість функціональних модулів, кількість варіантів побудови для кожного з них, не більше трьох критеріїв, за якими проводиться оцінка варіацій конструкції, і в результаті отримати візуалізовану множину всіх рішень. Крім того «OptiTech» забезпечує важливу функціональну особливість: між окремими функціональними модулями можуть бути встановлені логічні зв’язки, які слід розуміти як взаємне виключення цих елементів у структурі, якщо вони реалізують одну і ту ж функцію. Таким чином можна уникнути рішень, в яких одна і та ж функція в структурі об’єкта реалізується двома різними функціональними

модулями, що дозволяє здійснювати автоматизацію процедур оптимізаційного синтезу модульного технологічного обладнання будь-якого функціонального призначення.

Список використаних джерел

1. Zabolotnyi, O., Zaleta, O., Bozhko, T., Chetverzhuk, T., Machado, J. (2022). Algorithmization of Functional-Modular Design of Packaging Equipment Using the Optimization Synthesis Principles. In: , et al. Innovations in Mechatronics Engineering II. icieng 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09385-2_13
2. Shaik, A.M., Rao, V.V.S.K. & Rao, C.S. Development of modular manufacturing systems—a review. Int J Adv Manuf Technol 76, 789–802 (2015). https://doi.org/10.1007/s00170-014-6289-2
3. Usubamatov, R., Alwaise, A.M.A. & Zain, Z.M.: Productivity and optimization of section-based automated lines of parallel-serial structure with embedded buffers. Int J Adv Manuf Technol 65, 651–655 (2013). https://doi.org/10.1007/s00170-012-4204-2
4. Pavlov, K.S., Khobotov, E.N. Models for equipment selection and upgrade in manufacturing systems of machine building enterprises. Autom Remote Control 76, 292–303 (2015). https://doi.org/10.1134/S0005117915020083
5. Guo, X., Cheng, G.D.: Recent development in structural design and optimization. Acta Mech Sin 26, 807–823 (2010). https://doi.org/10.1007/s10409-010-0395-7
6. Yakovenko. I., Permyakov, A., Naboka, O., Prihodko, O., Havryliuk, Y.: Parametric Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_9
7. Marmion, M.É.: Local search and combinatorial optimization: from structural analysis of a problem to efficient algorithms design. 4OR-Q J Oper Res 11, 99–100 (2013). https://doi.org/10.1007/s10288-012-0204-1
8. Saliba, M.A., Azzopardi, S., Pace, C. et al. A heuristic approach to module synthesis in the design of reconfigurable manufacturing systems. Int J Adv Manuf Technol 102, 4337–4359 (2019). https://doi.org/10.1007/s00170-019-03444-4
9. Kamrani, A.K., Gonzalez, R. A genetic algorithm-based solution methodology for modular design. Journal of Intelligent Manufacturing 14, 599–616 (2003). https://doi.org/10.1023/A:1027362822727
10. Allen-Zhu, Z., Li, Y., Singh, A. et al. Near-optimal discrete optimization for experimental design: a regret minimization approach. Math. Program. 186, 439–478 (2021). https://doi.org/10.1007/s10107-019-01464-2
11. Wang, K., Zhou, Y., Tian, G. et al. A structured solution framework for fuzzy minimum spanning tree problem and its variants under different criteria. Fuzzy Optim Decis Making 20, 497–528 (2021). https://doi.org/10.1007/s10700-021-09352-1
12. Chetverzhuk, T., Zabolotnyi, O., Sychuk, V., Polinkevych, R., Tkachuk, A.: A Method of Body Parts Force Displacements Calculation of Metal-Cutting Machine Tools Using CAD and CAE Technologies. Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC), Print ISSN: 2516-0281, Online ISSN: 2516-029X, pp. 37-47, Vol. 3, No. 4, 1st October 2019, Published by International Association of Educators and Researchers (IAER) (2019). Doi: 10.33166/AETiC.2019.04.004, Available: http://aetic.theiaer.org/archive/v3/v3n4/p4.html
13. Wen, X., Liu, J., Du, C. et al. The key technologies of machining process design: a review. Int J Adv Manuf Technol 120, 2903–2921 (2022). https://doi.org/10.1007/s00170-022-08982-y
14. Kudryavtsev, Y. M.: Structurally-Parametrical Optimization Technological Process by Dijkstra's Method in System Mathcad. In Materials Science Forum. Vol. 931, pp.1238-1244. Trans Tech Publications, Ltd (2018). Doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.931.1238
15. Calusdian, J., Yun, X. A simple and highly portable MATLAB interface for learning robotics. SN Appl. Sci. 1, 890 (2019). https://doi.org/10.1007/s42452-019-0941-2.

УДК 004.8

Кушнір Є.А., студент
y.a.kushnir@student.khai.edu
Козар О.Я., аспірант
o.y.kozar@student.khai.edu

РОЗРОБКА ДОДАТКУ ЗАМОВЛЕННЯ ФАСТФУДУ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В українському ринку з'являються нові веб-додатки та сервіси доставки, які пропонують широкий вибір страв та зручність замовлення. Люди все більше цінують можливість насолоджуватися смачною їжею, не виходячи з дому або офісу. Зростаючий інтерес до доставки їжі через веб-додатки створює багато можливостей для розвитку цього сегмента ринку в Україні. Компанії, що надають такі послуги, мають можливість залучити нових користувачів та розширити свою аудиторію. Зручність, швидкість та широкий вибір є ключовими факторами, які привертають українських користувачів до доставки їжі через веб-додатки [1, 2]. Застосування технологій дозволяє створити високоякісний та зручний для використання веб-додаток, який має потенціал зайняти свою нішу на ринку.

Бізнес-процес, який потрібно автоматизувати, полягає в замовленні фаст-фуду на доставку. Типовий процес включає такі кроки:

– користувач переглядає список доступних страв та вибирає потрібні. Користувач додає обрані страви до кошика;

– користувач здійснює замовлення, вказуючи адресу доставки та інші необхідні деталі;

– користувач отримує підтвердження замовлення та очікує доставку;

– доставка здійснюється до вказаної адреси.

Автоматизація цього процесу дозволить прискорити замовлення та доставку, зменшити кількість помилок, покращити взаємодію з клієнтами та ефективно відстежувати замовлення та історію популярності страв.

Основний висновок дипломного проекту про розробку веб-додатка для замовлення фастфуду полягає в тому, що обраний стек технологій - React, Django та PostgreSQL - є потужним і ефективним для створення веб-додатків з високою продуктивністю та швидкістю роботи. Дизайн інтерфейсу зрозумілий і забезпечує швидкий та зручний процес замовлення їжі. Веб-додаток для замовлення фастфуду на базі бібліотеки React JS є зручним і простим у використанні, має великий функціонал та можливості для користувачів та адміністраторів закладу. Крім того, правильно спроектована структура бази даних дозволяє легко додавати нові функції та модифікувати існуючі дані у майбутньому. Обрана архітектура та структура проекту допоможуть зрозуміти організацію додатка та спростити подальший розвиток та підтримку. Також важливим аспектом розробки веб-додатка для замовлення фастфуду є забезпечення безпеки та захисту даних користувачів. Для цього у проекті були використані різні заходи безпеки, такі як хешування паролів користувачів та використання токенів авторизації.

Список використаних джерел

1. Клименко Д. О. Веб-додаток для сервісу складання раціону здорового харчування та доставки продуктів / Д. О. Клименко, О. А. Руденко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2019. – Вип. 2. - С. 103-109. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2019_2_23
2. Клушин Ю. –., Захарчин Ю. Б. Підвищення швидкості роботи веб-додатків //Комп’ютерні системи та мережі. – 2020. – Т. 2. – №. 1. – С. 33-43. . – DOI: https://doi.org/10.23939/csn2020.01.033

Науковий керівник к.т.н., доц. Яшина О. С.

УДК 004.9

Лещенко О.Б., канд. техн. наук, доц.
o.leshchenko@khai.edu
Анікін А.М., канд. техн. наук, доц.
a.anikin@khai.edu

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ INTERSYSTEMS IRIS ДЛЯ РОЗРОБКИ ВЕБЗАСТОСУНКУ З РЕКРУТИНГУ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Питання автоматизації рекрутингу стає актуальним через зростання об'єму робіт пов'язаних з пошуком та підбору співробітників за напрямками. Перелік робіт може включати такі етапи: пошук кандидатів, розсилку листів, проведення співбесід, мотивацію на виконання технічного завдання, ведення переговорів із замовником по кандидатах тощо. В зв'язку з цим дана задача є актуальною.

Метою доповіді є використання технологій InterSystems IRIS для розробки вебзастосунку з рекрутингу.

Були виконані наступні задачі: аналіз предметної області та аналогічних застосунків для формування вимог до розроблюваного застосунку, проектування функціональних можливостей за допомогою UML-засобів проектування, розробка структури бази даних, обрання інструментальних засобів для розробки застосунку, опис основних режимів роботи з вебзастосунком.

Для моделювання роботи застосунку прийнято рішення про використання мультиагентних технологій. Проведено дослідження щодо використання можливостей мультиагентних технологій. Мультиагентні технології мають дуже широке застосування в різних сферах життя та є одними з найважливіших напрямків досліджень та розробок в області інформаційних технологій та штучного інтелекту. В мультиагентних системах увага приділяється процесу взаємодії агентів як причини виникнення системи з новими якостями [1].

В доповіді наводяться результати аналізу особливостей мультиагентної технології для розробки вебзастосунка з рекрутингу. Розроблена мультиагентна модель застосовує інтелектуальні агенти, поведінка яких визначається накопленою базою знань. Рівень інтелектуальності агента оцінюється здатністю використовувати існуючі знання в нових, заздалегідь невідомих ситуаціях, де оцінюваний агент прийнятний як активний вирішувач завдань.

Використання високопродуктивної платформи InterSystems IRIS [2] для розробки вебзастосунка дозволяє скоротити затримки під час підготовки даних для аналізу та дозволяють отримувати інформацію в оперативному режимі. Реалізація на платформі InterSystems IRIS масштабується як горизонтально, так і вертикально, що дозволяє системі ефективно обробляти зростаючі робочі навантаження з великими обсягами даних та паралельними запитами. Використання мультиагентної технології та технологій InterSystems IRIS поєднує найкращі інструменти та технології аналізу даних, бізнес-аналітики, прогнозування та вибудовувати ефективні аналітичні процеси. Завдяки аналітичним можливостям вебзастосунок з рекрутингу дозволяє в реальному часі отримувати корисну інформацію та використовувати її для ухвалення оперативних рішень щодо вибору фахівців за напрямками.

Список використаних джерел

1. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems [Text] / M. Wooldridge. – Second Edition. – John Wiley & Sons, 2009. – 640 p.
2. Лещенко, О. Б. Застосування технології DeepSee InterSystems для побудови багатовимірних баз даних і сховищ інформації [Текст] / О. Б. Лещенко, Ю. О. Лещенко. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т", 2021. – 66 с.

УДК 004.78:640.43

Лещенко О.Б., канд. техн. наук, доц.
o.leshchenko@khai.edu
Скопін М.В., студент
m.v.skopin@student.khai.edu

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ INTERSYSTEMS IRIS ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ З ПРОГРАМНИМ КОМПЛЕКСОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОТИ РЕСТОРАНУ R-KEEPER

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

У сучасному світі ресторанний бізнес стає все більш конкурентним, тому власники ресторанів та кафе змушені шукати способи оптимізації своїх процесів та забезпечення якісного та швидкого обслуговування. Один із таких способів – використання системи управління рестораном, які надають широкі можливості для автоматизації різних процесів [1]. R-Keeper – це одна з таких систем, що використовується у ресторанному бізнесі. Вона дозволяє оптимізувати роботу персоналу, контролювати стан запасів та управляти фінансовими операціями.

У доповіді представлені результати дослідження впливу R-Keeper на операційну ефективність та якість обслуговування у ресторанах. Для цього проаналізовані дані з кількох ресторанів, які використовують R-Keeper, порівняно з даними з ресторанів, де ця система не використовується. Проаналізовані такі показники як час обслуговування, кількість помилок у замовленнях, кількість замовлень на одного клієнта, кількість відвідувань ресторану, прибутковість та інші. Розглянуто вплив R-Keeper на роботу персоналу та його задоволеність роботою [2].

У доповіді висвітлено також можливості для подальшого розвитку системи та її інтеграцію з іншими технологіями, такими як InterSystems IRIS® [3], що дозволяє менеджерам отримувати важливу інформацію від мережі ресторанів для підтримки прийняття рішень.

Платформа InterSystems IRIS® створена для проектів із цифрової трансформації організацій та використовує концепцію Unified Data Model, яка заснована на принципі «дані одні – багато моделей представлення». Технологічно InterSystems IRIS® поєднує в собі мультимодельну систему керування базами даних, сервер додатків (Caché), засоби для управління програмними інтерфейсами, інтеграції додатків та автоматизації бізнес-процесів (Ensemble), а також інструменти аналітики (DeepSee) та засоби застосування машинного навчання.

Отже, результати дослідження дозволять власникам ресторанів та кафе використовувати аналітичні додатки на базі платформи InterSystems IRIS® та зрозуміти, наскільки інтеграція межі систем управління рестораном R-Keeper може покращити їхню операційну ефективність та якість обслуговування. Ця доповідь допоможе розширити знання про технологічні інновації у ресторанному бізнесі та дозволить власникам ресторанів та кафе прийняти обґрунтовані рішення щодо використання систем управління рестораном. Висновки з доповіді можуть бути корисними для менеджерів ресторанів та кафе, а також працівникам в галузі готельно-ресторанного бізнесу.

Список використаних джерел

1. Гудзовата, О. О. Автоматизовані системи управління підприємствами ресторанного бізнесу [Текст] / О. О. Гудзовата // Торгівля, комерція, підприємництво. – 2012. – Вип. 14. – С. 76-82.
2. Характеристика системи R-Keeper для автоматизації ресторану [Електронний ресурс]. – Режим доступу https://neagent.org.ua/stati/harakteristika-sistemy-rkeeper-dlya-avtomatizacii-restorana.php. – 12.06.2023.
3. Лещенко, О. Б. Застосування технології DeepSee InterSystems для побудови багатовимірних баз даних і сховищ інформації [Текст] / О. Б. Лещенко, Ю. О. Лещенко. – Харків. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т", 2021. – 66 с.

УДК 004.8

Лещенко Ю.О., канд. техн. наук, доцентка
j.leshhenko@khai.edu
Некрасова А.С., студентка
k302@khai.edu

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ДИТЯЧОЇ СТУДІЇ МИСТЕЦТВ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Зараз існують багато веб-програм для автоматизації діяльності навчальних закладів. Багато навчальних закладів, серед них і університети, користуються системою, що була розроблена та рекомендована до застосування. Існуючі функціональні можливості, як показала практика та аналіз, дозволяють охопити практично всі індивідуальні особливості вузів без програмного доопрацювання коду, але функціонал цього застосунку значно перевищує те, що потрібно дитячій студії мистецтв.

Для того, щоб дитяча студія мистецтв змогла б краще організувати свою роботу, в складних умовах останніх років, вивести якість послуг на новий рівень і, найголовніше, поліпшити відносини з батьками та вихованцями, необхідно використовувати CRM-системи.

Створення CRM-підсистеми у вигляді веб-застосунку для подібних навчальних закладів дозволить вирішити низку питань щодо автоматизації бізнес-процесів та забезпечення взаємодії співробітників закладу з учнями та батьками.

Метою дослідження є розробка веб-застосунку для обліку контингенту дитячої школи мистецтв, який дозволить спростити комунікацію викладачів, батьків та учнів.

Для розробки застосунку були використані: мова програмування C#; середовище MS Visual Studio Code [1]; СУБД MySQL [2]. Також використовувалась платформа .NET Core із використанням технології ASP.NET Core. ASP.NET Core [3] спроектовано для забезпечення оптимізованого середовища розробки для застосунків, які розгортаються в хмарі або запускаються локально та працюють на Windows, Mac і Linux. Клієнт-серверну архітектуру забезпечує використання патерну MVC (Model-View-Controller).

В результаті роботи було створено прототип застосунку для дитячої школи мистецтв у м. Харкові [4], який реалізує базовий функціонал готовий для використання.

Розроблений веб-застосунок для дитячої студії мистецтв дозволяє проводити облік контингенту, що навчається у студії. Для цього створено режими «Викладачі», «Учні», «Батьки», «Класи», «Дисципліни», «Відділення» де для кожного є можливості перегляду, редагування, додавання та видалення. У системі передбачено заповнення довідників, зміну даних довідників, внесення оцінок, звітність за довідниками, а також можливість виводу зведеної інформації про успішність учнів. Усі звіти можна налаштовувати за допомогою зміни основних параметрів формування звіту.

Список використаних джерел

1. Visual Studio Code Web Development Setup and Extensions [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://medium.com/@ipenywis/visual-studio-code-web-development-setup-and-extensions-79bbc4119cc1
2. MySQL Shell for VS Code [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://dev.mysql.com/doc/mysql-shell-gui/en/mysql-shell-for-vscode-setup.html
3. Фрімен А. ASP.NET Core MVC з прикладами на C# для професіоналів. 6 видання [Текст] / А. Фрімен // «Діалектика». – 2017. – 992 с.
Мистецька освіта Слобожанщини [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://onmcpk.kh.ua/mistets-ka-osvita-harkivshhini/

УДК 004.8

Лещенко Ю.О., канд. техн. наук, доцентка
j.leshhenko@khai.edu
Сергієнко І.С., магістриня
k302@khai.edu

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ В МЕРЕЖІ МАГАЗИНІВ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Найважливішим завданням кожної компанії, що спеціалізується на роздрібній торгівлі, є забезпечення населення України якісними продуктами харчування та непродовольчими товарами першої необхідності, гарантування якості товару за рахунок використання високоефективних технологій і етичне ведення роздрібного бізнесу [1].

Метою дослідження є розробка веб-застосунку для організації доставки товарів в мережі магазинів роздрібної торгівлі.

Розробка застосунку є актуальною та корисною, тому що кожен магазин роздрібної мережі прагне отримувати найсвіжішу продукцію в найкоротші строки, а це залежать від швидкості доставки зі складу до магазину [2].

Даний застосунок дозволяє, за допомогою алгоритму, розраховувати оптимальний шлях від складу до магазину [3]. Місце відбуття та прибуття обирається користувачем та відмічається на карті. На карті нанесені точки знаходження складів та магазинів.

За вихідну карту було взято карту Харкова, яка в свою чергу, складається з 9 частин (районів). В застосунку реалізовано функцію збільшення або зменшення карти для зручності перегляду маршруту.

Для розробки застосунку були використані: мова розмітки HTML для розробки інтерфейсу, каскадні таблиці стилів CSS, мова програмування JavaScript та бібліотека jQuery; MySQL та PhpMyAdmin для розробки та адміністрування бази даних; мова програмування PHP для написання програмного коду та взаємодії з БД.

Основна увага в доповіді приділена розробленню застосунку для мережі магазинів роздрібної торгівлі, що слугує для організації доставки товарів та дозволяє проводити розрахування оптимального шляху їх доставки. При побудові враховується тривалість зберігання, вимоги до вологості та температури, складність доставки та інші вимоги. До кожного маршруту можна додавати чи видаляти необхідні магазини з мережі, що дозволить формувати оптимальний маршрут до кожної доставки товару. Застосунок дозволяє користувачу формувати необхідні маршрути постачання, зберігати їх, корегувати в залежності від вимог та змін і застосовувати, при необхідності.

Розроблений застосунок дозволить скоротити ресурси та час, що необхідний для планування маршрутів і доставки товарів по магазинах мережі роздрібної торгівлі.

Список використаних джерел

1. Оцінювання заходів міської логістики: моделювання потоку вантажних транспортних засобів : монографія / М. В. Ольхова, Д. М. Рославцев ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 99 с.
2. Barcik, R. A. The Significance of Customer Service in Logistics [Electronic resource] / R. A. Barcik, M. B. Jakubiec // Logistics and Transport. – 2013. – Vol. 17, №1. – P. 5–10.
3. Яковенко, А. В. Система побудови оптимальних маршрутів на основі алгоритмів найкоротших шляхів / А. В. Яковенко, М.В. Фолькін // Біомедична інженерія і технологія 2019, №2. DOI: https://doi.org/10.20535/2617-8974.2019.2.185416

УДК 004.8

Лещенко Ю.О., канд. техн. наук, доцентка
j.leshhenko@khai.edu
Кумова Ж.А., студентка
k302@khai.edu

МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ КООРДИНАЦІЇ ДІЙ ПРИ ВИЯВЛЕННІ ПІДОЗРІЛИХ ОБ'ЄКТІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Виявлення підозрілих об’єктів або вибухонебезпечних предметів на деокупованих територіях України становить серйозну загрозу як для окремих осіб, так і для цілих громад. Наявність цих вибухових речовин не тільки створює ризик фізичної шкоди, але також перешкоджає поверненню переселених осіб, загальному процесу відновлення, є перешкодою для розвитку і відновлення економіки. Ця ситуація вимагає систематичного і координованого підходу до розмінування, що містить знаходження, видалення, знищення вибухонебезпечних предметів і, що важливо, освіту населення про небезпеку, яку вони становлять. Крім того, ця загроза підкреслює важливість взаємодії між різними організаціями і службами. Необхідно не тільки забезпечити ефективне виявлення та видалення вибухонебезпечних предметів, але й зосередити зусилля на превентивних заходах, освіті та підвищенні обізнаності громади про цю серйозну проблему.

Метою дослідження є вирішення задачі координації дій при виявленні підозрілих об'єктів або вибухонебезпечних предметів за допомогою створення мобільного застосунку, який дозволить спростити комунікацію населення з різними службами та організаціями для планування або проведення операцій з розмінування.

Розроблений застосунок може служити ефективним засобом негайного повідомлення відповідних органів про знайдені підозрілі предмети, що скорочує час від моменту їх виявлення до моменту обробки та нейтралізації.

Крім того, застосунок надає можливість для освітнього компоненту [1], інформуючи користувачів про вибухонебезпечні предмети, їх визначення та відповідну поведінку у випадку їх виявлення. Це важливо у контексті регіонів, де населення може не бути повністю обізнаним з цих питань.

Останнім, але не менш важливим, є збір важливих даних про місця та кількість вибухонебезпечних предметів, які виявлені за допомогою застосунку. Ці дані можуть бути використані урядовими та недержавними організаціями для планування та проведення масштабних операцій розмінування.

Для розробки застосунку були використані: мова розмітки гіпертекстових документів XML; мова програмування Kotlin [2]; SQLite бази даних.

Розроблений мобільний застосунок для координації дій при виявленні підозрілих об'єктів або вибухонебезпечних предметів є важливим і практичним кроком у забезпеченні безпеки та прискоренні відновлювальних процесів після війни.

Список використаних джерел

1. Дивись під ноги! Дивись, куди ідеш! Онлайн-курс про мінну безпеку з Фаготом. // Зрозуміло! Освітня онлайн-платформа. – Режим доступу: https://courses.zrozumilo.in.ua/courses/course-v1:eef+EEF-033+dec2022/about
2. Kotlin vs Java, 2 languages to program from Android and create apps [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.todoandroid.es/en/kotlin-vs-java-2-lenguajes-para-programar-desde-android-y-crear-apps/

УДК 004.6

Міланов М.В., к.т.н., доцент
milanov1954@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖЕВИХ ІГОР В ЖАНРІ MULTIPLAYER FIRST – PERSON SHOOTER

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Актуальність розробки мережевої гри в жанрі Multiplayer First-Person Shooter обумовлена низкою чинників, а саме: незаповненості сегменту ігрової індустрії продуктами даного жанру з безкоштовною моделлю розповсюдження; малою кількістю безкоштовних ігор жанру Multiplayer First-Person Shooter без внутрішніх транзакцій; високими вимогами до апаратного забезпечення у існуючих програмних продуктів на ринку; потребою в якісних ігрових програмах українських розробників в цілому [1]. Аналіз технологій розробки онлайн ігор допомагає зібрати більше інформації, яку можна використати у процесі проектування, чим зробити її ефективнішою для користувачів. Дана робота дає можливість наблизитися до бажання користувачів грати онлайн навіть в умовах повільного підключення до мережі Інтернет.

Метою дослідження є створення системи механік для гри у жанрі First-Person Shooter з подальшою її реалізації у вигляді багатокористувацької командної мережевої гри. В сьогоденні комп'ютерні ігри стали культовою частиною повсякдення, тому часто ігри створюються на основі сторонніх джерел, таких як фільми або книги. Проте останнім часом стали з'являтися зворотні випадки, коли за відомою ігровою серією починають випускати додаткові матеріали, що розширюють всесвіт гри. Більш того спеціально розроблені ігри можуть виступати в якості навчального матеріалу або дозволяють використовувати гравців в науково-дослідних цілях [2].

Комп'ютерні ігри надали настільки істотний вплив на суспільство, що останнім часом в інформаційних технологіях з'явилася стійка тенденція до гейміфікації неігрового прикладного програмного забезпечення. Таким чином, для потреб різних галузей стали з'являтися спеціальні симулятори для тренувань. З усього цього випливає, що комп'ютерні ігри щільно влилися в сучасне життя суспільства. Більш того, сфера їх використання за останні 10-15 років сильно зросла, тепер ігри використовують не тільки для розваги і відпочинку, а й для навчання людей і проведення наукових досліджень.

Водночас, комп'ютерні ігри мають особливості і відрізняються від інших видів програмних продуктів, а саме: призначення (прикладне програмне забезпечення в основному призначене для вирішення конкретних завдань, комп'ютерні ігри ж, як правило, спрямовані на культурні, естетичні, соціальні потреби людини, на задоволення потреб в дозвіллі та розвагах); комп'ютерні ігри формують критерії вибору цільової аудиторії не на потенційній користі від гри як продукту, а на основі вподобань до досвіду, який створюється грою; критерії вибору цільової аудиторії для комп'ютерних ігор є абсолютно суб'єктивними; комп'ютерні ігри як мистецький процес не завжди придатний до формалізації та планування робіт [3].

Ґрунтуючись на потребах сучасного суспільства та класифікації комп'ютерних ігор було прийнято рішення розробити 3D комп'ютерну гру в жанрі Multiplayer First-Person Shooter, орієнтовану на молодих людей, для персональних комп'ютерів. Дане рішення було прийнято тому, що мережеві багатокористувальницькі ігри завжди користуються попитом та є актуальними, також подібні ігри мають можливість вдосконалення алгоритмів передачі даних, що дає можливість розробити нову та більш ефективну систему. Після проведення аналізу додатків-аналогів було сформовано представлення про ігри даного типу. Результатом цього стали визначені основні вимоги до розробляємого додатку, з'явилося основне бачення інтерфейсу і подальші принципи розробки.

Ігрові платформи відразу включають в себе всі необхідні алгоритми для правильного функціонування гри і її розробки. В сьогоденні існує величезна кількість як платних, так і безкоштовних інструментів по розробці ігор, починаючи від простих бібліотек для популярних мов програмування, закінчуючи повноцінними редакторами з великим функціоналом. Основні їх відмінності полягають в мовах програмування, які вони підтримують, функціональності і, що не менш важливо, в вартості ліцензії.

Оскільки середовища для розробки додатків стали дуже популярними, кількість їх на ринку прибуває з кожним днем. Для аналізу були обрані наступні ігрові движки: Unreal Engine, Unity, і Godot Engine [4]. У доповіді наведений короткий огляд ігрових платформ, а також основні плюси та мінуси використання тієї чи іншої ігрової платформи. Отже в даній роботі був проведений аналіз існуючих ігрових платформ для реалізації проекту. Було порівняно переваги і недоліки таких ігрових рушіїв як Unity3d, Unreal Engine та Godot. Було проаналізовано ключові властивості мови програмування C# та здатність її імплементації у даний проект.

Розробляючи мережеву комп’ютерну гру у жанрі Multiplayer First Person Shooter, було виконано проектування системи з боку ігроладу, мережевої архітектури, естетики і взаємодії з гравцем. Було вирішено, що особливу увагу треба приділити реалізації мережевої архітектури, а одним із головних завдань є компенсація затримань підчас мережевої гри та оптимізація алгоритмів зв’язку з сервером. Отже розробляючи мережеву комп’ютерну гру у жанрі Multiplayer First Person Shooter, було виконано реалізацію системи з боку мастер-серверу, імплементація системи ігрової кімнати (лобі) та програмна реалізація мережевих об’єктів.

В результаті виконання цієї роботи здійснено проектування мережевої комп’ютерної гри у жанрі Multiplayer First-Person Shooter, її послідовну розробку та тестування. Розробка мережевої комп'ютерної гри в жанрі Multiplayer First-Person Shooter має певні особливості і є унікальним процесом, що поєднує творчі здібності, технічний талант та вміння представити створений продукт. Комп’ютерна гра реалізована ітеративно, з використанням методології гнучкої розробки, цей підхід дозволив коригувати поставлені задачі у відповідності до умов. Під час розробки здійснено чітке планування завдань та розподіл їх пріоритету. Створення мережевої комп’ютерної гри на основі сучасних програмних інструментів дозволило значно спростити процес розробки та полегшити виконання низькорівневих завдань реалізації технічних деталей. Це забезпечило адаптивність розробки гри до нових вимог та ефективність використання ресурсів – як матеріальних, так і часових. Серед варіантів розвитку мережевої комп’ютерної гри є наступні: 1) продовження фінансування, нарощування мережевої інфраструктури з Unity Engine та підготовка до комерційної дистрибуції у відповідних платформах; 2) припинення фінансових вкладень та безкоштовне розповсюдження проекту; 3) підготовка проекту до дистрибуції через Unity Asset Store з метою навчання бажаючих. Проект пропонує нетривіальні можливості з точки зору ігроладу та значний набір високоякісних моделей, які, у комплексі, можуть заохотити інших розробників отримати проект в освітніх цілях для використання у розробках.

Список використаних джерел

1. 'No Bugs' Hare. Development and Deployment of Multiplayer Online Games, Vol. I: GDD, Authoritative Servers, Communications. – ITHare.com Website GmbH, 2017. – 332 p.
2. Фурсова, Н. А. Особливості розробки мережевої комп'ютерної гри в жанрі Multiplayer First-Person Shooter [Текст] / Н. А. Фурсова, О. Є. Козак // Наука і виробництво : міжвуз. тем. зб. наук. пр. – Маріуполь : ПДТУ, 2019. – № 1 (20). – С. 200-206.
3. Fullerton, T. Game design workshop: a playcentric approach to creating innovative games. – New York : CRC Press, 2008. – 556 p.
4. Schell, J. The Art of Game Design: A Book of Lenses. – New York : CRC Press, 2008. – 520 p.

УДК 004.4

Момот М.О., к.т.н., доц.
m.momot@khai.edu
Шкурапет М.О., студент
m.o.shkurapet@student.khai.edu

РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПІДБОРУ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В даний час, коли людина замислюється про купівлю або апгрейд персонального комп'ютера (ПК), вона стикається з тим, що треба проаналізувати безліч інформації: сумісність комплектуючих ПК, які саме потужності потрібні для вирішення тих чи інших задач тощо. Більшість людей не хочуть стикатися з такими труднощами, вони просто купують першу збірку в магазині, покладаючись на менеджера-консультанта. Однак в цій ситуації рекомендована конфігурація може не підійти під потреби покупця, крім того, альтернативна конфігурація може бути зібрана за менші гроші. Таким чином, існує актуальна задача розробки веб-застосунку для допомоги в комплектуванні ПК, для продажу комплектуючих, а також з можливістю самостійного підбору комплектуючих ПК під широке коло задач.

Метою доповіді є дослідження процесів прийняття рішень щодо формування конфігурації ПК під вимоги користувача для розробки веб-застосунку для підбору конфігурації та комплектуючих ПК. Було проведено аналіз існуючих рішень для формування конфігурації ПК - онлайн-конфігураторів ПК [1], [2]. Виділено декілька типів конфігурацій: 1) ПК офісного класу (найекономічніший варіант); 2) мультимедійний ПК (середнебюджетний варіант); 3) ігровий ПК (найдорожчий варіант). Окремо можна виділити сервера та спеціалізовані комп’ютери, наприклад, для монтажу відео, майнінгу тощо. Починати формувати збірку майбутнього ПК слід з ключовою та найдорожчою складової. Це, як правило, процесор, а при покупці ігрового ПК - зв’язка процесор + відеокарта, іноді - монітор.

Розроблено веб-застосунок, який здійснює підбір конфігурації ПК, виходячи з вимог та бюджету користувача з урахуванням апаратної сумісності комплектуючих. Є інтеграція з інтернет-магазином для отримання даних про комплектуючі.

Для застосунку пропонується автоматичний підбір комплектуючих, що базується на рівнянні. Розроблено шаблон рівнянь виходячи з кількості комплектуючих, необхідних для комп'ютера. Шаблон подано у формулі:

$$cost = Kcpu*cost + Kmb*cost + Kram*cost + Kvc*cost + Kps*cost + Khd*cost + Kssd*cost$$

де Kcpu – коефіцієнт, за яким розраховується ціна процесора; Kmb – коефіцієнт, за яким розраховується ціна материнської плати; Kram – коефіцієнт, за яким розраховується ціна оперативної пам'яті; Kvc – коефіцієнт, за яким розраховується ціна відеокарти; Kps – коефіцієнт, за яким розраховується ціна блоку живлення; Khd – коефіцієнт, за яким розраховується ціна жорсткого диска; Kssd – коефіцієнт, за яким розраховується ціна твердотільного накопичувача; cost – ціна, яку користувач готовий сплатити за збірку. Сума усіх коефіцієнтів дорівнює 1.

Для отримання коефіцієнтів були зібрані тестові збірки на одному з сайтів конфігураторів для кожного з основних типів (офісний, ігровий, монтажний). Після цього відбувався підбір числових значень коефіцієнтів кожного типу збірок. Після отримання коефіцієнтів починається підбір комплектуючих з урахуванням їх сумісності.

Перевірка ігрової збірки відбувалася за допомогою сервісу systemrequirementslab.com, який дозволяє дізнатися, чи запускатиметься та чи інша гра на даній конфігурації ПК, виходячи з апаратних вимог гри. Перевірка монтажної збірки відбувалася за рахунок порівняння системних вимог програм AdobeAfterEffects та AdobePremierPro. Перевірка офісних збірок відбувалася вручну, шляхом порівняння системних вимог MS Office.

Характерні властивості збірок:

1. Офісні комп'ютери не зазнають сильного навантаження та не вимагають від себе більших потужностей. Цільове завдання – робота в продуктах пакета Microsoft Office, користування інтернетом через браузер Chrome й іноді гра в не найвибагливіші ігри.

2. Ігрові комп'ютери вимагають досить високих потужностей та гармонійної роботи процесора, відеокарти та оперативної пам'яті. Цільове завдання – гра в нові ігри на високих чи максимальних налаштуваннях графіки.

3. Комп'ютер для монтажу повинен мати досить потужний процесор, так як більшість програм для монтажу задіють потужність саме CPU, а відеокарта не задіяна. Цільове завдання – робота у програмах для відеомонтажу.

Після отримання коефіцієнтів формувалося по 20 різних конфігурацій, якщо якась з конфігурацій не проходила перевірку, коефіцієнти вважалися неправильними, і відбувалася їх зміна. Результат отримання значень коефіцієнтів для варіантів збірки наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти підбору комплектуючих (частини від загальної вартості збірки ПК різних типів)

Комплектуючі ПК (коефіцієнт)	Значення коефіцієнтів		
	Офісний ПК	Ігровий ПК	Монтажний ПК
Процесор (Kcpu)	0.205	0.2686	0.2769
Материнська плата (Kmb)	0.205	0.0803	0.1242
Оперативна пам'ять (Kram)	0.155	0.0803	0.1285
Відеокарта (Kvc)	0.195	0.4245	0.2396
Блок живлення (Kps)	0.078	0.0504	0.0545
Жорсткий диск (Khd)	0.161	0.035	0.0631
Твердотільний накопичувач (Kssd)	0	0.0609	0.1132

Веб-застосунок розроблено за допомогою середовища розробки Microsoft Visual Studio мовою програмування C#, та з використанням фреймворку Asp.Net.Core [3]. Був використаний патерн MVC (Model-view-controller, Модель–вигляд–контролер), який розділив веб-застосунок на три частини: 1) модель, що описує дані; 2) подання, що відповідає за візуальну частину; 3) контролер, який містить логіку обробки запиту.

В ході реалізації було обрано MySQL для збереження даних про комплектуючі ПК, доступ до БД здійснюється за допомогою SQL Server Management Studio, підключені пакети NuGet.

Для взаємодії з базою даних вибрано об'єктно-орієнтовану технологію доступу до даних EntityFrameworkCore, для динамічного підвантаження даних на сторінку вибрано технологію Ajax.

Список використаних джерел

1. Конфігуратор магазину електроники Elmir [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://elmir.ua/ua/configurator/
2. Конфігуратор інтернет-магазину chip-chip [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://chip-chip.com.ua/configurator
3. Get started with web development using Visual Studio Code [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://learn.microsoft.com/en-us/training/modules/get-started-with-web-development/

УДК 629

Московська Н.М., к.т.н., доцент
n.moskovska@khai.edu

ВПЛИВ КОНФІГУРАЦІЇ ПІДСИЛЕННЯ УСТАНОВЛЮВАЛЬНИХ ОТВОРІВ РЕЗЕРВУАРУ НА ЦЕНТРУВАННЯ ФАСУВАЛЬНИХ ПАТРОНІВ ПРИ ДОЗУВАННІ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
„Харківський авіаційний інститут”

Можливість автоматизації дозувальних процесів значною мірою визначається точністю та стабільністю параметрів процесу фасування при наявності великої кількості факторів впливу. Одним з таких факторів є необхідність забезпечення центрування тари при контакті з фасувальним патроном дозатора.

Основною характерною рисою дозувально-фасувальних автоматів є наявність великої кількості отворів у резервуарі під установку патронів, що створює множинний концентратор напруги та може привести до значної деформації та переміщення цієї зони відносно первинного положення і, як результат, до зміщення дозувальної головки відносно тари. Класичним варіантом рішення проблеми «послаблених зон» є компенсація відсутності матеріалу у отворі шляхом створення «підсилення» навкруги нього. Тож метою даного дослідження був розгляд напружено-деформованого стану рідинного резервуару циліндричної форми та різних варіантів посилення зон отворів для мінімізації можливого перекосу дозувальних патронів та виявлення найбільш стабільного варіанта їх положення.

При проведенні дослідження були прийняті наступні припущення: фіксація баку здійснюється шляхом вільного спирання по нижній частині (днище) та жорсткого кругового кріплення по верхній кромці, навантаження – гідростатичне, розподіллено рівномірно по максимальному значенню (без урахування зміни стовпа рідини у резервуарі та зміни тиску по його висоті). Дослідження проводилось для конструкції без посилення (варіант 1), з місцевим кільцевим посиленням отворів (варіант 2) та круговим посиленням по нижній частині баку у зоні отворів (варіант 3).
Результати дослідження наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження

Варіант посилення	Переміщення		Деформація, мм		Напруга, Н/м^2	
	min	max	min	max	min	max
1	$2{,}582*10^{-5}$	$3{,}258*10^{-2}$	0	3,141	$7{,}873*10^{6}$	$8{,}66*10^{9}$
2	$2{,}604*10^{-5}$	$2{,}719*10^{-2}$	0	2,717	$8{,}694*10^{6}$	$7{,}842*10^{9}$
3	$2{,}56*10^{-5-}$	$2{,}872*10^{-2}$	0	2,765	$8{,}799*10^{6}$	$7{,}946*10^{9}$

Зважаючи на отриманні данні, найменші значення напруга та деформація мають у зоні отворів під установку фасувальних патронів при місцевому кільцевому підсиленні (максимальна деформація складає 2,72 мм, максимальна напруга 7,842*109 Н/м2). Але найбільша стабільність форми, та відповідно якісне центрування, забезпечується переміщенням, яке є найменшим при круговому підкріпленні зони отворів (максимальне значення складає 2,872*10-2).

УДК 004.942

Науменко С.В., аспірант
s.v.naumenko@khai.edu
Холодняк О.О., аспірант
o.o.kholodniak@khai.edu
Мізинець В.Є., аспірант
v.y.mizinets@khai.edu

МУЛЬТИАГЕНТНИЙ ПІДХІД ПРИ КЕРУВАННІ ГРУПОВОЮ ПОВЕДІНКОЮ АВТОНОМНИХ РОБОТІВ ТА ДРОНІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Застосування різного роду мобільних роботів та дронів для виконання різних завдань вже міцно увійшло в наше повсякденне життя. Мобільні роботи можуть використовуватися при вирішенні таких завдань, як інспекція та дослідження важкодоступних приміщень, спостереження за різними об'єктами, побудова карти забруднення робочого простору тощо. Останнім часом все більший інтерес представляють не тільки відокремлені мобільні роботи, але і їх групи.

Використання групи мобільних роботів дозволяє отримати більший радіус дії, розширений набір виконуваних функцій, і, нарешті, більш високу ймовірність виконання завдання, що досягається за рахунок можливості перерозподілу цілей між роботами групи в разі виходу з ладу деяких з них. У більшості випадків при реалізації алгоритмів групової взаємодії мобільних роботів використовується централізована схема комунікації, в якій один з роботів є лідером, а всі інші члени групи або повторюють його рухи, або орієнтуються на нього [1].

Іншою схемою, значно складнішою в реалізації, групової взаємодії є децентралізована. Для забезпечення ефективного виконання спільної справи децентралізованою системою все більшої популярності набирають мультиагентні технології, де основними діючими елементами є агенти, які можуть мати як однакову, так і різну значимість і функціональність в системі.

З математичної точки зору, планування групових дій є завданням оптимізації: вибрати маршрут спільного відвідування цілей, при цьому забезпечивши найбільшу ефективність: мінімум витрат (палива, часу) і максимум доходу (обслуговуваних об'єктів). Однак відомі методи оптимізації в даному випадку не застосовуються з таких причин. Інформація про можливі пункти маршруту невідома, тобто їх координати надходять на робототехнічну платформу у реальному часі і не всі відразу, а значить вирішити задачу оптимізації до виконання задачі неможливо. Як наслідок, вибір поточної поведінки має здійснюватися оперативно бортовою системою планування мобільного роботу, причому не завжди є спосіб оцінити ефективність окремого прийнятого рішення. Тільки після закінчення виконання завдання можна визначити якість сукупності всіх прийнятих рішень.

Таким чином, для забезпечення необхідних властивостей автономності, ефективного планування завдань між групою мобільних роботів чи дронів, у тому числі в польових умовах та забезпечення координації спільних дій, доцільно використання моделей, заснованих на мультиагентному підході. Серед переваг цього підходу слід особливо відзначити те, що він допускає динамічний перерозподіл завдань між агентами в групі і динамічну зміну загальної стратегії поведінки.

Таким чином, мультиагентні підходи до групової поведінки автономних роботів та дронів відкривають нові можливості для ефективного вирішення різноманітних завдань. Однак для реалізації цих можливостей необхідно вирішити ряд викликів, пов'язаних з безпекою, ефективністю та координацією дій між агентами.

Дослідження в галузі мультиагентних систем та кооперативної робототехніки має великий потенціал для розвитку та вдосконалення автономних роботів та дронів, що забезпечить їх широке застосування в різних галузях цивільного та військового застосування. Прогрес у технологіях автономних роботів та дронів, а також розробка нових методів координації та співпраці, сприятиме створенню ефективних, адаптивних та безпечних мультиагентних систем.

Таким чином, проблеми групового управління і комунікації, пов'язані з організацією колективної поведінки роботів можливо вирішити за допомогою мультиагентного підходу. Застосування мультиагентних технологій дає можливість реалізувати автономну групову взаємодію в гомогенної або гетерогенної мережі мобільних роботів зі змінною мережевою топологією. Принцип дії мультиагентних систем ґрунтується на декомпозиції загальної задачі на ряд більш простих завдань, покладених на агентів-роботів, розподілу цих завдань між системами управління агентів, плануванні колективної поведінки агентів, координації взаємодії агентів на основі кооперації, реконфігурації, комунікації та вирішення конфліктних ситуацій.

Розглянемо основні етапи мультиагентного моделювання процесів управління групою мобільних роботів:

- вибирається тип завдання, координати мети;
- територія поділяється на ділянки, і формуються окремі завдання для кожного члена групи;
- агенту-роботу групи надаються данні глобального завдання (параметри досліджуваної території тощо) та окремого завдання цього агенту-роботу;
- кожен агент приступає до виконання поставленого йому завдання;
- передача накопиченої інформації між агентами та при необхідності взаємне уточнення окремих завдань;
- агент базової станції при її наявності приймає інформацію від інших роботів;
- отримана інформація обробляється та візуалізується.

Наявність зворотного зв'язку з агентами-роботами дозволяє оперативно формувати інструкції з коригування їх завдань. Пропоноване мультиагентне рішення може бути застосовано в системах які значно різняться як за своїм призначенням, так і за використовуваними в них робототехнічними комплексами.

Загалом завданнями мультиагентної системи управління групою мобільних роботів є:

- планування маршрутів та траєкторій, поради щодо вибору стратегії моніторингу та числа роботів (облік площі моніторингу, тактико-технічні характеристики платформ, завдань, періодичності, витратних характеристик та ін.);
- формування рекомендацій щодо дистанційного керування або керуючих впливів у разі автономного функціонування у складі керуючої програми: контроль та аналіз інформації про поточне значення навігаційних параметрів (для дрону це кутів крену, курсу та тангажу, швидкості польоту); аналіз витрати та запасу палива чи заряду акумуляторів; виявлення відхилень в режимах роботи бортового обладнання; контроль маршруту та графіка руху, стеження за відвідуванням контрольних точок маршруту, охоронних та заборонених зон; проведення необхідних вимірювань, зміна траєкторії стеження за об'єктом, розширення області спостереження та інше.
- управління групою роботів (координація та узгодження спільних дій).

Список використаних джерел

1. Тимошин Ю., Шевченко М. Система інтелектуального управління для групи роботів. Адаптивні системи автоматичного управління. 2021. Т. 2, № 39. С. 106–114. doi: https://doi.org/10.20535/1560-8956.39.2021.247420

Науковий керівник д.т.н., професор Прохоров О.В.

UDC 519.2

Pavlyk H.V., PhD, associate professor
h.pavlyk@khai.edu

COMBINATORIAL PLANS OF MULTIFACTOR EXPERIMENT

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"

Experimental research methods are widely used in the branches of mechanical engineering, instrument making, and the chemical industry in search of calculations for the optimal technology, optimal instrument configuration, the most advantageous system characteristics, recipe ratios, and the best time for technological processes. Therefore, the systematization of experimental studies aimed at obtaining adequate mathematical models of processes is of great importance. At the same time, it is natural for experimenters to strive to optimize the parameters of production processes and systems with minimal time and cost costs.

The experiment planning method is one of the most effective methods that allow one to obtain statistical mathematical models of processes. The use of experiment planning makes the behavior of the experimenter purposeful and organized, significantly contributes to increasing the productivity of his work and the reliability of the results obtained.

The modern method of planning an experiment is intended to expand the technology of industrial planning of an experiment and consists of integrated methods and tools for planning, performing and analyzing an experiment [1].

The most promising are the methods of planning an active experiment, which are characterized by universality and suitability for use in many areas of research. The order of alternation of levels of factor change has a significant effect on the cost of the experiment. With an active experiment, the experimenter can change the values of the factors according to a given program by changing the order of the experiments.

To improve the efficiency of experimental studies, it is of great importance to develop a strategy for optimal planning of the experiment. The analysis performed showed that the existing methods for optimizing multifactor experiment (MFE) plans are effective for a small number of factors, and it is necessary to develop new methods to solve this problem.

Optimal design of experiments requires a complex ordering of experiments in accordance with the levels of factors, which is based on the use of combinatorial schemes. Experiment plans based on combinatorial schemes are also called combinatorial experimental plans. Combinatorial experimental plans are widely used in various studies. In technological research - the search for multicomponent materials and the development of formulations for their production [2].

A method has been developed for constructing optimal combinatorial plans that take into account the cost of changing the levels of factors. The solution of the stage-by-stage tasks of the method is considered: generation of a set of transformations of experimental plans, evaluation of the characteristics of MFE plans obtained as a result of transformations, and formation of a set of different representatives [3].

For automation of researches and construction of experiment optimum plans specialized hardware-software complex is developed. The application of the proposed method will simplify the process of constructing MFE plans close to optimal for a large number of factors.

References

1. Wang M. et al. Multi-factor of path planning based on an ant colony optimization algorithm //Annals of GIS. – 2020. – T. 26. – №. 2. – C. 101-112.
2. Kacker R. N. et al. Factorials Experiments, Covering Arrays, and Combinatorial Testing //Mathematics in Computer Science. – 2021. – T. 15. – C. 715-739.
3. Koshevoy N. D. et al. Research of multiple plans in multifactor experiments with a minimum number of transitions of levels of factors //Radio electronics, computer science, control. – 2019. – T. 49. – №. 2. – C. 53-59.

УДК 681.513.3

Плужник А.С., магістр
a.s.pluzhnyk@student.khai.edu
Бєлявський О.В., ст. викладач
o.bieliavskyi@khai.edu
Косенко О.В., асистент
o.kosenko@khai.edu

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ГІДРОАПАРАТІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Метою роботи є вдосконалення алгоритмів керування розподільчим гідравлічним обладнанням за умов поліпшення його динамічних характеристик у колі гідравлічної технічної системи (ТС).

Актуальність роботи визначається необхідністю розробки вдосконалених промислових систем та алгоритмів керування роботомеханічним обладнанням на основі стандартизованих мікропроцесорних пристроїв, а саме, на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК).

Розгляду запропоновано систему управління циклом гідравлічного виконавчого маніпулятора, що використовується при автоматизації прямолінійних рухів робочого органу промислового робота з постійною, але різною швидкістю пересування або довжиною шляху у рамках стендового дослідження властивостей гідроапаратури.

Досвід використання гідравлічної розподільчої апаратури свідчить про нестабільність її роботи за параметрами якості робочої рідини. Саме ці параметри через зміну властивостей робочої рідини найбільш суттєво впливають на динамічні властивості гідророзподілювачей. Зокрема, змінюється час затримки вмикання пристрою.

Електромагнітну силу, яка потрібна для вмикання гідравлічного розподілювача можна визначити за співвідношенням [1]:

$$F_{em} = C_{em} \cdot I = F_{\text{тр}} + m \cdot \frac{d^2h}{dt^2} + f \cdot \frac{dh}{dt} + c \cdot h$$

де, c – коефіцієнт пружності зворотної пружини;
$c \cdot h$ – зусилля стискання пружини розподілювача;
f – коефіцієнт в’язкого тертя золотника розподілювача;
m – маса золотника;
h – лінійне переміщення золотника;
C_{em} – електрична постійна електромагнітної котушки розподілювача;
I – номінальний струм котушки;
F_{mp} – сила тертя спокою.

Динамічні характеристики такої технічної системи (тобто перехідний процес, перерегулювання та час встановлення), що пов’язують собою координати I та h, можна встановити за рівняннями коливальної ланки, що поводить себе в часі як коло ударного збудження, для забезпечення роботи якого потрібне виконання умови $F_{em} > F_{\text{тр}} + c \cdot h$. Але виконання цієї умови залежить від параметрів робочої рідини, а саме від її температури (тобто густини). Якщо остання умова не виконується, то виникає неконтрольована затримка вмикання розподілювача, що може призвести до небажаних, або й фатальних наслідків. Для вирішення проблеми, може бути запропонований режим форсування вмикання розподілювача збитковим током, що надається від джерела підвищеної напруги на певний інтервал часу до подолання тертя спокою механічної системи розподілювача. Найбільш

доцільним, є включення такого алгоритму керування до кола керуючої програми ПЛК, що задає повний технологічний цикл керування.

Гідророзподілювачі золотникового типу ПБГМ 5422-01, що використовуються у ТС, розраховані на змінну напругу 127 В, 50 Гц (за паспортом), споживають номінальний струм 0.27 А при опорі $Z=26+j470$ Ом (за вимірюваннями) та розраховані на подолання зусилля навантаження 1.6 Кгс. При підвищеній напрузі живлення до 220 В струм зростає до величини 2.4 А, а опір змінюється до $Z=26+j87$ Ом, що свідчить про суттєво нелінійні властивості магнітної системи котушки розподілювача. При цьому споживана потужність ($U \cdot I \cdot cos\varphi$) змінюється з 2 до 152 Вт відповідно. Проте тягове зусилля електромагніта суттєво зростає, що призводить до подолання сили тертя спокою механічної системи розподілювача (за лабораторних умов використання). Такий режим роботи ТС є доцільним, якщо час форсування обмежений достатньо малим значенням (тобто енергія, що виділяється котушкою, не викликає її теплової руйнації). При перевищенні часу форсування і неподоланні тертя спокою, форсування вимикається і формується сигнал відмови ТС.

Гідравлічна схема лабораторного стенда зображена на рис. 1.

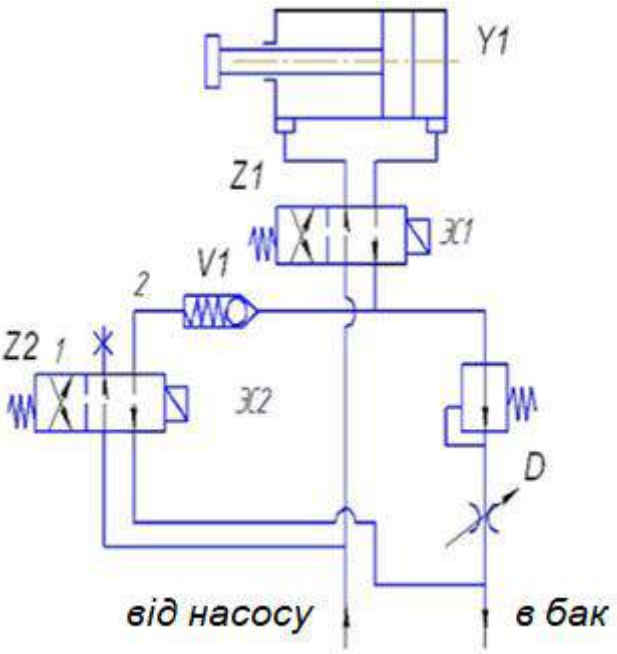
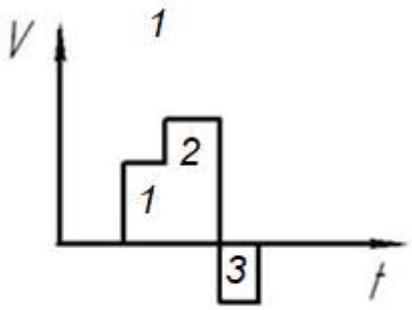


Рисунок 1. Гідравлічна схема лабораторного стенда: *Y*1 – виконавчий гідроциліндр (ГЦ); *Z*1 – золотниковий розподілювач напряму руху; *Z2* – золотниковий розподілювач швидкості руху; *V1* – обернений клапан; *D* – регульований гідродросель

При знеструмленій схемі розподілювачі *Z1* і *Z2* повертаються у вихідне положення під дією пружини. Технологічне завдання руху механізму задається діаграмою швидкостей руху штока ГЦ (рис. 2). Для зміни швидкості та напряму руху використовуються шляхові датчики переміщень тактильного типу.

Система керування гідравлічним стендом, що забезпечує заданий цикл руху виконавчого механізму на базі ПЛК, розроблена у середовищі OwenLogic та приведена на рис. 3:



Періодичний цикл	
1	Повільно вперед
2	Швидко вперед
3	Повільно назад

Рисунок 2 – Типова діаграма швидкостей руху штока ГЦ

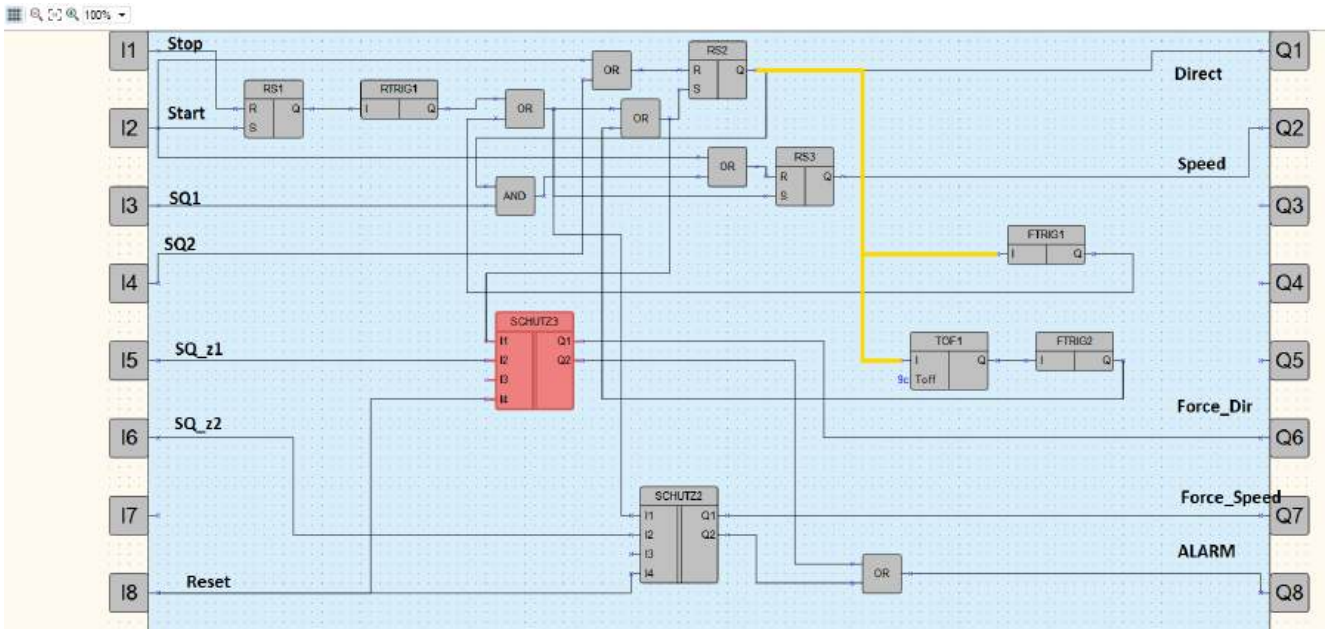


Рисунок 3 – Комутаційна схема програмного забезпечення ПЛК мовою FBD у середовищі OwenLogic

Для забезпечення форсування гідравлічних розподілювачів Z1 та Z2 у комутаційну схему контролера введені додаткові елементи: схеми форсування та захисту SCHUTZ2, SCHUTZ3, структуру яких розкриває однойменне макровизначення, що приведене на рис. 4. Підвищення струму котушки призводить до повного подолання спротиву спокою золотника та до його негайного вмикання. Регулювання часу форсування для усього діапазону температур використання робочої рідини повинно забезпечити надійне вмикання гідравлічного розподілювача без суттєвого перегріву його котушки. Сигнали форсування виведені на додаткові виходи контролера (*Q6*, *Q7* на рис. 3). Тригер DTRIG1 (рис. 4) фіксує факт вмикання розподілювача за фронтом сигналу «Forsage» на вході C, і якщо тригер не повернеться у початковий стан сигналом сенсора зворотного зв’язку SQN (тобто ввімкнення розподілювача не відбудеться), то за спадом сигналу «Forsage» вихідний сигнал DTRIG1 буде записаний до пам’яті DTRIG2, що призведе до появи сигналу відмови «ALARM» на виході *Q8* ПЛК. Для забезпечення алгоритму потрібне встановлення сенсора зворотного зв’язку за координатою золотника. Водночас з цим заходом потрібно передбачити зміну

конструкції розподілювача з встановленням додаткової форсажної котушки (що не бажано), або ж побудову спеціального ключа, який подає на котушку гідравлічного розподілювача підвищену напругу при одночасному приході до нього двох сигналів (вмикання і форсажу) і переходить на звичайне живлення номінальною напругою у разі вимикання сигналу форсування. Синтез такого електронного пристрою не викликає труднощів і значних додаткових витрат.

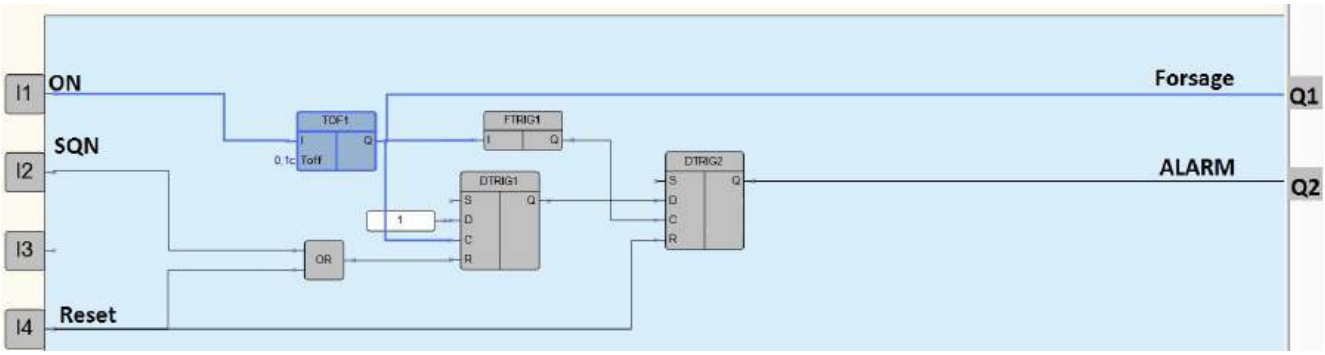


Рисунок 4 – Комутаційна схема макровизначення SCHUTZ програмного забезпечення мовою FBD з урахуванням сигналу форсування гідророзподілювачів

Розглянуті динамічні властивості розподільчих гідроапаратів за нестабільних зовнішніх умов експлуатації для покращання яких запропоновані комплексні заходи на базі використання ПЛК.

Список використаних джерел

1. Смирнова, В. И. Проектирование и расчет автоматизированных приводов : учеб. для сред. спец. учеб. заведений / В. И. Смирнова, В. И. Разинцев. – Москва: Машиностроение, 1990. – 364 с. ISBN 5-217-01004-5

УДК 004.8

Попов А.В., к.т.н., доцент
a.popov@khai.edu
Громенко А.І., бакалавр
k302@ khai.edu

РОЗРОБКА TELEGRAM-БОТУ ДЛЯ ОФОРЛМЕННЯ ЗАМОВЛЕНЬ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В даний час зростає популярність онлайн-замовлень їжі, і телеграм-боти стають все популярнішим засобом для оформлення таких замовлень. В рамках цього дослідження було розроблено телеграм-бот, призначений для зручного та швидкого оформлення замовлень їжі.

Телеграм-боти мають ряд переваг, які роблять їх популярними засобами для оформлення замовлень їжі. По-перше, вони надають зручний інтерфейс у месенджері Telegram, який багато користувачів вже використовують у повсякденному житті. Можливість оформляти замовлення прямо в чаті без необхідності перемикатися на інші програми або сайти робить процес більш зручним та швидким. По-друге, телеграм-боти мають широкі можливості взаємодії з користувачем. Вони можуть надавати меню з вибором страв, приймати замовлення, обробляти платежі, надсилати повідомлення про статус замовлення та багато іншого. Це дозволяє користувачам отримати повноцінний досвід оформлення замовлення їжі, не виходячи із месенджера. Крім того, телеграм-боти надають можливість автоматизувати процеси, пов'язані з оформленням замовлень. Завдяки використанню програмування та інтеграції з базами даних, боти можуть обробляти замовлення та дані клієнтів, автоматично формувати звіти та статистику, оптимізувати процеси доставки та багато іншого. Це дозволяє знизити людський фактор, прискорити обробку замовлень та підвищити якість обслуговування.

Для реалізації цього бота була обрана мова програмування Python [1], яка має широкі можливості та зручний синтаксис. В якості бази даних було обрано SQLite [2], легку і компактну систему керування баз даних, і для роботи з базою даних була використана бібліотека SQLalchemy, яка надає зручні інструменти для роботи з базами даних у Python. Для взаємодії з API Telegram [4] було обрано бібліотеку AIogram [3], яка надає високорівневі інструменти створення ботів.

Розробка телеграм-бота для оформлення замовлень їжі з використанням Python, SQLite, SQLalchemy та AIogram дозволяє створити ефективну та зручну систему, яка скорочує час та зусилля, що витрачаються на оформлення замовлень. Завдяки використанню цих інструментів, розробники можуть зосередитися на створенні якісного досвіду користувача і забезпеченні зручності використання бота.

Список використаних джерел

1. Посібник програмування мови Python [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://metanit.com/python/tutorial/
2. SQLite [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:https://www.sqlite.org/index.html
3. Aiogram 2.25.1 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://pypi.org/project/aiogram/
4. Telegram API [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:https://core.telegram.org/

УДК 004.8

Попов А.В., к.т.н., доцент
a.popov@khai.edu
Давиденко А.Л., бакалавр
k302@ khai.edu

РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПОСЛУГАМИ ПРАЛЬНІ З ВИКОРИСТАННЯМ REACT NATIVE

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Керування послугами пральні є актуальною темою в сучасній цифровій епосі. Оскільки більша частина бізнесів переходять в мережу Інтернет, не є винятком і індустрія прання. Автоматизація процесу керування послугами пральні може значно підвищити продуктивність та ефективність, а також збільшити задоволеність та лояльність клієнтів. Прання в житі кожного є невід'ємною необхідністю, але нажаль не у всіх є час, або бажання прати самостійно. Гарним прикладом застосунку керування послугами пральні є Oxwash [1]. Саме тому послуги пральні сприяють вирішенню цих задач. Послуги пральні є зручним способом випрати, висушити, та скласти одежу без потреби робити це самостійно. Клієнти повинні мати можливість планувати час забирання та доставки одягу, вказувати свої вподобання щодо прання та оплачувати надані послуги. У той же час, постачальники послуг пральні повинні відстежувати замовлення, керувати і гарантувати, що все працює безперебійно.

Розробка застосунку для керування послугами пральні ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: фреймворк React Native [2], каскадні таблиці стилів CSS [3], мова програмування JavaScript [4], платформа Expo [5], та база даних Fire Store від платформи Firebase [6].

Розроблений застосунок для керування послугами пральні є повноцінним програмним продуктом та підтримує наступний функціонал: реєстрація, та авторизація користувача; можливість вибрати бажаний одяг, та послугу дня нього; формування замовлення з можливістю вибору дати, часу, та місця звідки забрати одяг. керування та перегляд замовлень; редагування особистої інформації в профілі; панель адміністратора для керування речами, послугами, замовленнями. Під час тестування застосунку було перевірено весь функціонал та сумісність з операційною системою Android. Застосунок був перевірений на інтуїтивність та зручність інтерфейсу.

Список використаних джерел

1. Oxwash [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://is.gd/z9xQHX
2. React Native [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://reactnative.dev/docs/tutorial.
3. Основи CSS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/CSS_basics
4. JavaScript [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://learn.javascript.ru/
5. Expo [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://expo.dev.
6. Документація Firebase [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://firebase.google.com/docs.

УДК 004.62

Попов А.В., к.т.н., доцент
a.popov@khai.edu
Дронов Д.Р., бакалавр
k302@ khai.edu

ПРОГРАМНА ПОШУКОВА СИСТЕМА ДЛЯ МЕДІА ФАЙЛІВ ТА ДОКУМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ AI

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

З розвитком комп’ютерних технологій та зростанням кількості цифрових медіа сервісів, люди генерують все більше і більше даних у вигляді відео, аудіо файлів, зображень та текстових документів. Це призводить до збільшення обсягів даних, які необхідно обробляти та зберігати, що в свою чергу створює потребу у гнучкому інструменті пошуку серед цих файлів. Сучасні пошукові системи для файлів повинні бути здатні швидко та ефективно виконувати пошук по великій кількості файлів, у тому числі і у форматі відео, аудіо та зображень [1]. Ці системи широко використовуються в офісах та для домашніх комп'ютерів, щоб знайти файли, які користувачі потребують. Одна з переваг файлових пошукових систем - це швидкість пошуку. Вони дозволяють користувачам знайти файли за декілька секунд, що зекономить час при пошуку великої кількості документів. Крім того, багато файлових пошукових систем мають можливість налаштування критеріїв пошуку, що забезпечує більш точні результати. У світі інформаційних технологій файлові пошукові системи є необхідністю для багатьох користувачів. Досвідчені користувачі використовують різні програми для роботи з файлами, але важливо знати, які можливості та обмеження є у кожній програмі, щоб вибрати найкращий варіант для виконання потреб користувача.

Використання технологій штучного інтелекту в програмах пошуку може значно полегшити цей процес та зменшити час, необхідний для знаходження потрібних документів та медіа файлів. Також, з врахуванням зростання кількості користувачів, які використовують цифрові пристрої та медіа-платформи, програмна пошукова система з штучним інтелектом може забезпечити більш персоналізований досвід для кожного користувача [2,3].

Розробка пошукової файлової системи ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: Python, Docker, ZincSearch, ElasticSearch [4, 5].

Розроблена пошукова система є повноцінним програмним продуктом та підтримує наступний функціонал: аналіз файлі, пошук файлів, видалення та видалення проаналізованих об’єктів. Додаток розгортується за допомогою технології Docker-compose та має мікро сервісну архітектуру.

Список використаних джерел

1. PyTorch documentation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: https://pytorch.org/docs/stable/index.html.
2. FastAPI documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: https://fastapi.tiangolo.com
3. Docker documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: https://docs.docker.com/
4. Діаграма прецедентів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: uk.wikipedia.org/wiki/Діаграма_прецедентів а діаграм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: https://app.diagrams.net

УДК 004.8

Попов А.В., к.т.н., доцент
a.popov@khai.edu
Іванов В.М., магістр
k302@ khai.edu

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОНЛАЙН-ПРОДАЖУ АВТОБУСНИХ КВИТКІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

У наш час сучасний веб-додаток є унікальною розробкою, орієнтованою на вирішення певних завдань. Воно стає все більш затребуваним, оскільки дозволяє ефективніше вести бізнес-процеси. Для розширення кількості послуг, підвищення їх якості та простоти представлення, компанії вважають за краще замовити web-додаток. І до цього подібні системні веб-додатки мають ряд відмінних факторів, допустимо комфорт за рахунок скорочення часу процесу бронювання, користувачам не потрібно дзвонити на автовокзал, щоб поговорити з консультантом або продавцем, тому що вони можуть забронювати послугу самостійно, відповідно до своїх уподобань. Зниження вартості підтримки клієнтів є великою частиною процесу бронювання, що передається клієнту. Таким чином, підтримка гілки може бути зведена до мінімуму. Більше того, якщо програма добре розроблена, задоволеність клієнтів зростає, тому що вони можуть приймати рішення без консультацій і виправляти проблеми без довгого очікування на гарячій лінії [1,2].

Спрощений процес оплати бронювання завдяки онлайн платежу, всьому процесу бронювання від вибору послуги, дати та інших параметрів до бронювання та оплати з підтвердженням. Тому подібні веб-додатки дуже корисні та ефективні, з достатніми зручностями для клієнтів, та користування додатком.

Розробка системи онлайн-продажу автобусних квитків ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: мова розмітки гіпертекстових документів HTML, каскадні таблиці стилів CSS, браузерна мова програмування JavaScript, мова програмування PHP, веб-сервер Apache та MySQL-база даних [3,4,5].

Розроблений веб-додаток система онлайн-продажу автобусних квитків є повноцінним програмним продуктом та підтримує наступний функціонал: купити квиток на певний рейс, реєстрація клієнтів, управління профілем з боку клієнта;, перегляд куплених квитків;, повна інформаційна статистика, список бронювання, управління автобусами. Під час тестування веб-додатку було виявлено, що він працює і на інших популярних браузерах Chrome, Opera, Microsoft Edge, Mozilla Firefox. Веб-додаток був перевірений на інтуїтивність та зручність інтерфейсу.

Список використаних джерел

1. Веб-додаток та його характеристики: сайт [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://it-rating.ua/veb-prilojenie-i-ego-harakteristiki
2. Система для управління автобусними перевезеннями [Електронний ресурс] – Режим доступу https://bussystem.eu/
3. Htmlbook - довідник HTML і CSS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://htmlbook.online/
4. JavaScript [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://learn.javascript.ru/
5. PhpMyAdmin [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://docs.phpmyadmin.net/uk/latest/intro.html

УДК 004.8

Попов А.В., к.т.н., доцент
a.popov@khai.edu
Калюга І.О., бакалавр
k302@ khai.edu

РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ПІДБОРУ ТОВАРІВ МАРОК «ЗОРЯНІ ВІЙНИ» З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

У сучасному світі веб-додатки стали неймовірно популярними та різноманітними, пропонуючи користувачам безліч функцій і можливостей. Вони можуть бути простими і складними, як, наприклад, каталоги онлайн-магазинів або додатки для нотаток Веб-додаток, створений для відбору товарів зі світу "Зоряних воєн" із застосуванням машинного навчання, обіцяє принести новизну і свіжий погляд на ринок. З огляду на широту франшизи і різноманітність товарів, пов'язаних з нею, багато фанатів можуть зіткнутися з труднощами при виборі ідеального продукту. Однак, хоча запропонований функціонал персоналізованих рекомендацій на основі вподобань користувача та зібраної інформації про його попередні вибори не доступний, цей веб-додаток все одно надає значні переваги. Він використовує передові методи машинного навчання і навчені моделі для розпізнавання товарів, що підвищує рівень зручності для користувачів.

Розробка веб-додатку для підбору товарів марок «Зоряні війни» з використанням машинного навчання ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: мова розмітки гіпертекстових документів HTML [1], каскадні таблиці стилів CSS [3] браузерна мова програмування JavaScript [2,4], мова програмування Python, веб-сервер Apache з підтримкою PHP та MySQL баз даних [5], сервер Flask, бібліотека jQuery, бібліотека Keras, AJAX.

Розроблений веб-додаток для підбору товарів марок «Зоряні війни» з використанням машинного навчання є повноцінним програмним продуктом та підтримує наступний функціонал: підбір товарі за категорією, підбір товарів за текстовим параметром, підбір товарів но основі розпізнаного персонажу, реєстрація та авторизація в особистому кабінеті, можливість переглядати або залишати власні коментарі, о можливість переглядати або залишати власні оцінки, переглядати історію переглянутих товарів, додавати та переглядати товари в списку бажаного. Під час тестування веб-додатку було виявлено, що він працює на всіх популярних браузерах Chrome, Opera, Microsoft Edge, Mozilla Firefox. Веб-додаток був перевірений на інтуїтивність та зручність інтерфейсу.

Список використаних джерел

1. Основи HTML [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/HTML
2. Сучасний підручник з JavaScript [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.javascript.info/
3. Основи CSS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/CSS_basics
4. JavaScript [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://learn.javascript.ru/
5. PhpMyAdmin [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.phpmyadmin.net/

УДК 004.8

Попов А.В., к.т.н., доцент
a.popov@khai.edu
Костенко В.С., бакалавр
k302@ khai.edu

РОЗРОБКА ГРИ У ЖАНРІ ШУТЕР ДЛЯ ОКУЛЯРІВ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ OCULUS QUEST

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Прогрес не стоїть на місці і з розвитком технологій виходять нові пристрої з більшою потужністю та можливостями. І в наш час одним із нових та найбільш привабливих пристроїв – це окуляри віртуальної реальності. І може технологія віртуальної реальності не нова технологія, але все ще актуальна, оскільки ринок віртуальної реальності постійно розширюється, а Oculus Quest [1] є однією з найбільш популярних платформ в цій галузі, котрі створили девайс з незалежною операційною системою та більш привабливою ціною, що дозволило ще більшій кількості користувачів зануритися у світ віртуальної реальності та випробувати різні ігри та додатки. Крім того, важливо враховувати особливості контролю віртуальною реальністю. Oculus Quest має контролери з 6-ма ступенями свободи, які можна використовувати для точного відтворення рухів гравця. Варто максимально використовувати ці можливості, дозволяючи користувачеві взаємодіяти з грою натуральним імпульсом. Не менш важливим є також забезпечення наявності цікавого та змістовного геймплею. У жанрі шутер, рух, стрілянини та взаємодія з оточуючим світом є ключовими елементами. Розробники повинні забезпечити різноманітність зброї, ворогів та рівнів, щоб гравець постійно відчував себе в центрі подій та отримував насолоду від гри.

Проектування та розробка гри у жанрі шутер для Oculus Quest є складним завданням, оскільки ця платформа має свої технічні та технологічні обмеження. Розробники мають знати, які техніки та підходи потрібно використовувати для створення гри, яка буде максимально іммерсивною та забезпечуватиме досвід, наближений до реального життя. Від них потребується ретельне планування та використання оптимальних стратегій. Один з ключових аспектів - це оптимізація графіки та продуктивності, оскільки Oculus Quest має обмежену потужність. Розробники повинні бути вдумливими та ефективно використовувати ресурси, щоб забезпечити стабільну кадрову частоту та якісний візуальний досвід [2].

Розробка гри у жанрі шутер для окулярів віртуальної реальності ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: мова програмування C# [3], ігровий рушій Unity [4].

Розроблена гра у жанрі шутер є повноцінним програмним продуктом та підтримує наступний функціонал: система стрільби, система переміщення, система ворогів, система взаємодії користувача з віртуальними предметами та світом.

Список використаних джерел

1. Meta Quest [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.meta.com/
2. Oculus Integration [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://developer.oculus.com/downloads/package/unity-integration/
3. C# Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/
4. Unity [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://unity.com/

УДК 004.942

Прохоров О.В., д.т.н, професор
o.prokhorov@khai.edu
Алексєєв В.О., аспірант
v.o.aleksieiev@khai.edu
Демченко А.В., аспірант
a.v.demchenko@khai.edu

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ ЕНЕРГОМЕРЕЖІ МАЛОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА ОСНОВІ «РОЗУМНИХ» ТЕХНОЛОГІЙ, ЯК НАПРЯМ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Для післявоєнного відновлення та розвитку енергосистеми країни Кабінет Міністрів України визначив основні напрямки як її відновлення, децентралізація, подальша інтеграція з енергосистемою ЄС, а також розвиток «зеленої» енергетики [1].

Йдеться про масштабну кампанію з будівництва, реконструкції та захисту енергосистеми України, яка, у тому числі, передбачає, що на базі таких споживачів, як будинки, школи, лікарні, торгові центри тощо, розташованих в одному місці, може бути сформовано власну енергосистему «розумної» мікромережи із засобами самостійного виробництва та управління розподілом електроенергії. Мікромережі включають розподілені енергетичні ресурси (можливо від різних джерел відновлюваної енергії), системи зберігання енергії і навантаження, які повинні працювати узгоджено і можуть бути або підключеними до основної мережі на рівні розподілу через точку загального з’єднання або в ізольованому (острівному) режимі.

Ця величезна трансформація є надскладним завданням, що потребує науково-обґрунтованих методів та засобів моделювання та управління процесами формування та обслуговування таких децентралізованих енергомереж малої генерації та розподілу на основі «розумних» технологій, що включає останні досягнення в інформаційних і комунікаційних технологіях Індустрії 4.0, Інтернету речей, великих даних, машинного навчання та штучного інтелекту.

Спираючись на ці технології, цифрові близнюки набирають обертів як багатообіцяючий інструмент для реалізації та дослідження подібних інтелектуальних енергосистем.

Наші дослідження спрямовані на розроблення: методів створення інтелектуальної енергетичної системи мікромереж (рисунок 1) на базі технологій Інтернету речей та енергоефективних бездротових мереж LPWAN та моделей цифрових двійників мікромереж; методів мультиагентного моделювання процесів генерації та споживання електроенергії в децентралізованих енергомережах з урахуванням балансування навантаження; методів предиктивної аналітики енергоспоживання в мікромережах в умовах дерегульованого маркетингу, ризиків та надзвичайних ситуацій; моделювання логістики формування та обслуговування децентралізованих енергомереж тощо.

Дані збираються за допомогою польових вимірювань, пристроїв Інтернету речей та інтелектуальних лічильників із різних компонентів енергосистеми: ліній, шин, комутаторів, трансформаторів, навантажень, метрологічна інформація тощо. На основі потоку даних у реальному часі, який збирається за допомогою систем моніторингу та обробляється методами аналізу даних, моделі цифрових двійників оновлюються та адаптуються.

Підхід на основі цифрових двійників розумних мікромереж надає потужний інструмент для ефективного й безпечного аналізу та керування великими історичними даними і потоком даних у реальному часі та буде підтримувати роботу мікромереж, допомагаючи в їх проектуванні, управлінні та обслуговуванні [2].

За допомогою таких цифрових двійників, що є віртуальним клоном фізичної інфраструктури децентралізованої енергосистеми та процесів генерації, розподілу та споживання енергії, можливо виконувати інтелектуальний аналіз даних, імітаційне моделювання та використовувати машинне навчання, щоб підвищити ефективність вирішення завдань планування, прогнозування та прийняття рішень. Це дозволить готувати управлінські рішення тоді, коли вже з'являються відповідні значення індикаторів та сигнали, за якими можна помітити ранні ознаки настання важливих подій в енергетичної ситуації та для прийняття попереджувального управління енергоспоживанням.

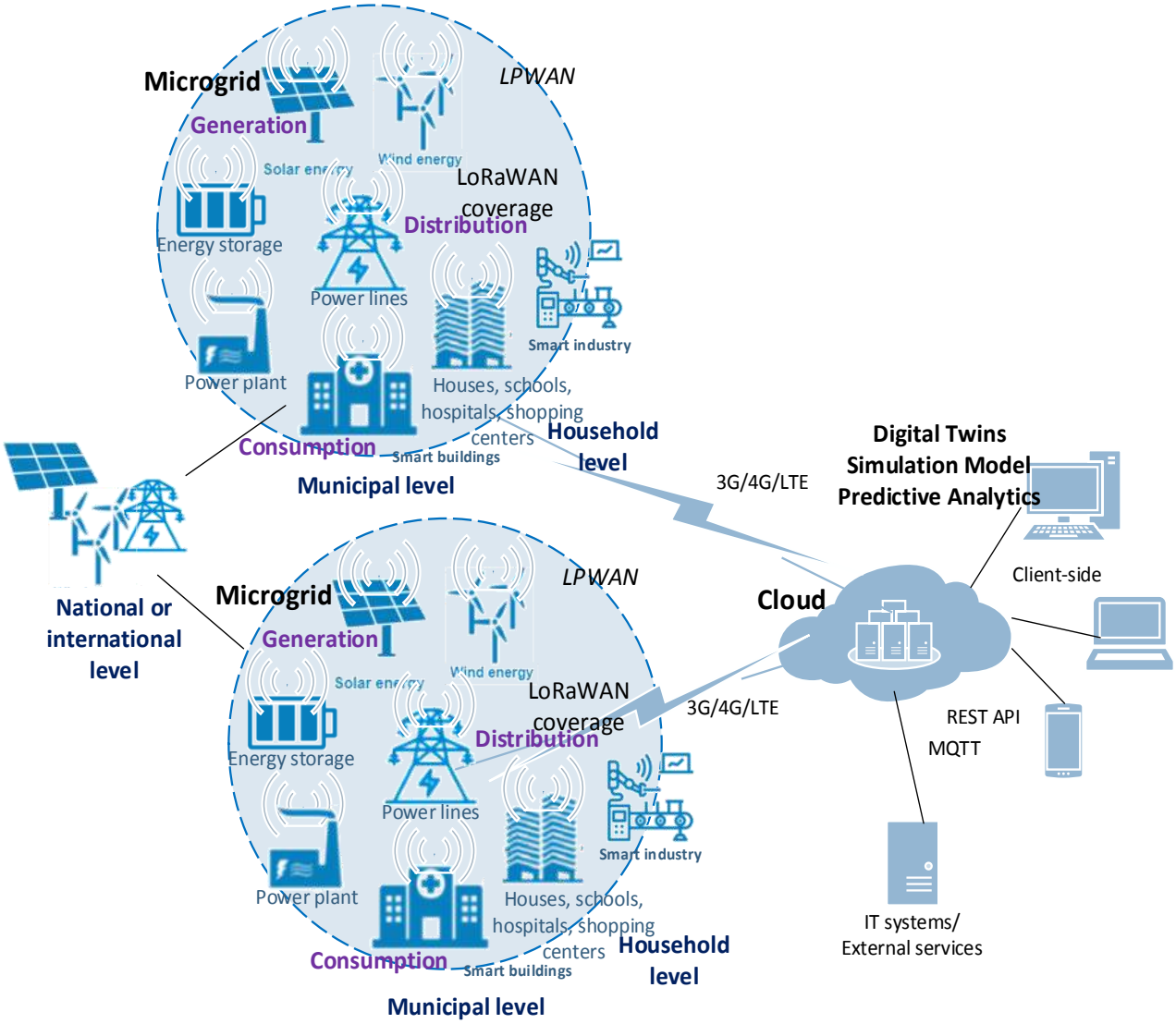


Рисунок 1 – Концепція інтелектуальної енергетичної системи мікромереж

Список використаних джерел

1. Крижний А. У Кабміні назвали ключові напрямки у розвитку енергосистеми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.unian.ua/economics/energetics/u-kabmini-nazvali-klyuchovi-napryamki-u-rozvitku-energosistemi-12228363.html. – Назва з екрану.
2. Pronchakov Y, Prokhorov O, Fedorovich O. Concept of High-Tech Enterprise Development Management in the Context of Digital Transformation. Computation. 2022; 10(7):118. https://doi.org/10.3390/computation10070118

УДК 621

Степаненко Д.Р. асистент
d.stepanenko@khai.edu

МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАРІЗАННЯ СВІЧОК НА БАЗІ КОНТРОЛЕРУ ARDUINO

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Сучасний світ – це автоматизація і прискорення виробництва з високими показниками якості. Мілке та серійне виробництво особливий сектор, котрий потребує максимальної автоматизації з мінімальними затратами. Розглянемо виробництво свічок.

Для виготовлення є різні варіанти: лиття та витискання. Розглянемо задачу автоматизації витискання свічок. Розглядати технологію будемо наступним разом, зараз маємо на виході з пресу безперервну свічку, котру необхідно розділяти на задані розміри. Почнемо з простого варіанту коли рух буде в одному напрямку з однією швидкістю це ідеальні умови, котрих на виробництві не буває. На рисунку 1 представлена схема установки для порізу свічок

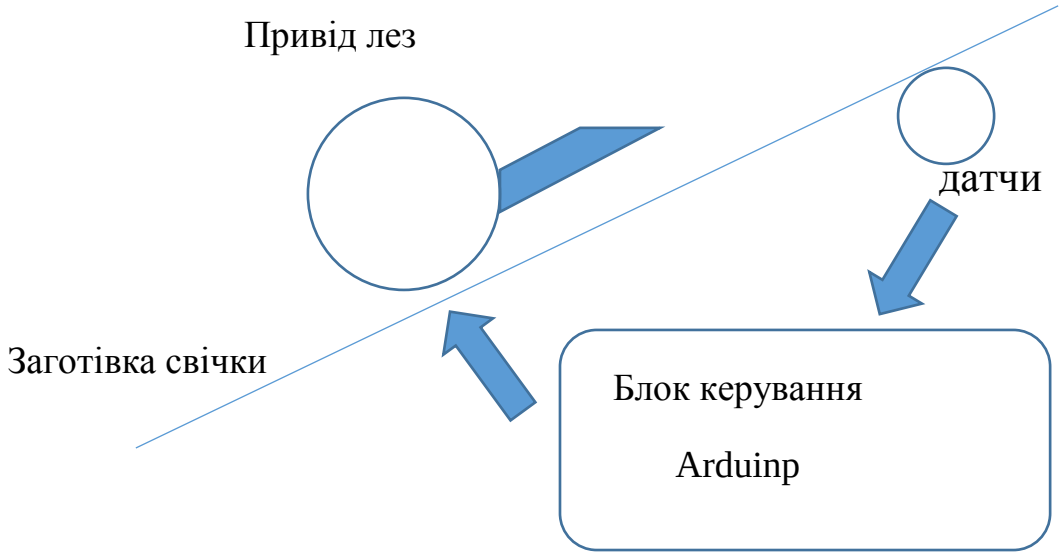


Рисунок 1 – Схема установки для порізу свічок

Безперервну свічку потрібно ділити на задані розміри. Є різні конструкційні варіанти механіки лез. В нашій моделі пропонується механізм з двома лезами, котрий керується кроковим двигуном від контролера Arduino.

В найпростішому варіанті знаючи швидкість і напрямок руху обертаємо кроковий двигун з постійною швидкістю для розмірної розрізки свічок. Цей варіант покращимо для виробничих умов, коли завжди щось змінюється чи швидкість чи напрямок руху. Для адаптації змінної швидкості додаємо зворотній зв’язок в вигляді енкодеру. Таким чином завдання перетворюється на управління двигуном від сигналів енкодеру.

Для даної задачі розроблений алгоритм та модель для перевірки правильності роботи програми для контролера Arduino[1]. Модель вузла установки показана на рисунку 2.

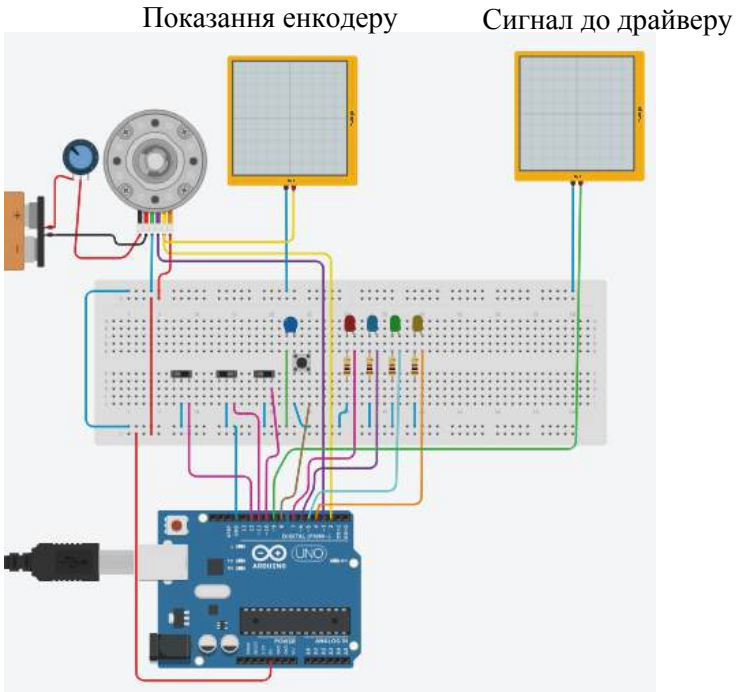


Рисунок 2 – Модель вузла установки панелі керування та енкодеру

Для імітації подачі безрозмірної свічки та спрацювання енкодеру використаємо базовий двигун з енкодером, за допомогою потенціометру можемо задавати різну кількість обертів та формувати показання для програми контролеру.

В даній моделі присутні чотири кнопки для керування системою. Та 4 світлодіоди для показання режимів.

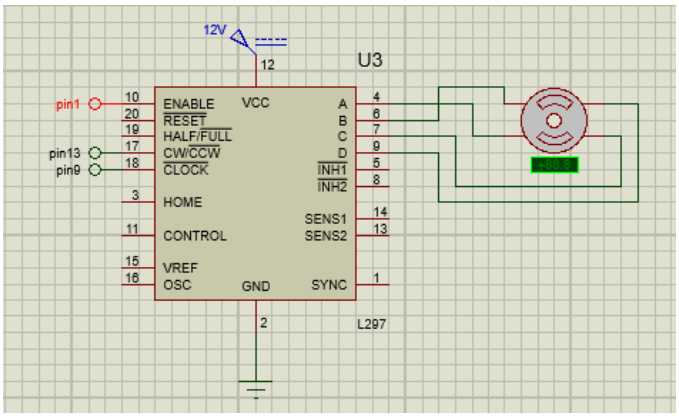


Рисунок 3 – Модель керування кроковим двигуном

Далі сигнал керує драйвером та задає значення для обертання кроковим двигуном.

Таким чином а рахунок можливості регулювати швидкість руху заготівки модель дає можливість чітко відпрацювати та налаштувати параметри роботи системи та перейти до виконання верстату.

Список використаних джерел

1. Arduino [Електронний ресурс] // ArduinoUA: сайт. – режим доступу: https://arduino.ua/articles

УДК 004.272.34

Федорович О.Є., д.т.н., професор
oe.fedorovich@gmail.com
Поліщук Є.В., аспірант
kafius@ukr.net
Малєєв Л.В., аспірант
kafius@ukr.net

СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ ФОРМУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ З АВТОНОМНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТА СПОЖИВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Проблеми, які виникли в енергетичній галузі країни після блекауту, потребують, для свого вирішення, сучасних підходів для енергогенерації та споживання енергії. Тому, одним з перспективних напрямків відновлення енергосистеми є децентралізація на основі створення мікромереж генерації та споживання енергії. Використання джерел енергії малої потужності, які відновлюються, дає можливість споживачам (населення, малий та середній бізнес, тощо) використовувати отриману енергію (сонячні панелі, вітрогенератори, тощо) на місці споживання без створення каналів та магістралей, великої вартості, для передачі енергії. Тому, актуальна тема пропонованого докладу, в якому наведено результати дослідження мікромереж для з'єднання джерел генерації та споживачів енергії та їх взаємодія з централізованою системою енергопостачання. Проведено структурний аналіз мікромереж енергоспоживання. Виділено типи можливих структур мікромереж, проаналізовані їх переваги та недоліки. Розроблена модель логістики формування та обслуговування мікромереж енергопостачання за допомогою агентного імітаційного моделювання на платформі AnyLogic. Проведене дослідження взаємодії мікромереж з центральною енергетичною системою. Залишки енергії, які виникають, передаються у централізовану енергетичну систему. Проведена оптимізація логістичних витрат, які пов'язані з формуванням та обслуговуванням мікромереж в проектах створення сучасних децентралізованих енергосистем. Враховуючи, що основні показники для оцінки мікромереж енергопостачання, які створюються, мають суперечливий характер, створена оптимізаційна модель для пошуку компромісного рішення.

Наукова новизна дослідження пов'язана з розробкою комплексу оригінальних моделей оптимізації та імітаційного моделювання для вирішення актуальних задач, які виникають в проектах створення децентралізованих енергосистем. Використані математичні моделі та методи: системний аналіз, структурна декомпозиція, оптимізаційні моделі, комбінаторний аналіз, імітаційне подійне моделювання, агентне моделювання.

Запропонований підхід дозволяє, на початкових етапах планування управління проектами щодо створення децентралізованих енергосистем, обґрунтувати структуру, логістику формування та обслуговування енергосистем для мікромереж.

Список використаних джерел

1. Федорович, О.Є. Метод формування логістичних транспортних взаємодій для нового портфелю замовлень розподіленого віртуального виробництва / О.Є. Федорович, Ю.Л. Прончаков // Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2020, № 2. – С. 102-108.
2. Федорович О. Е. Моделі та методи забезпечення якості в життєвому циклі та логістиці високотехнологічного виробництва продукції підприємств, що розвиваються: моногр. / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков, Ю. О. Лещенко. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2017. – 255 с.

4. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВИРОБНИЦТВІ

UDC 621

Rudenko N., Ph.D. associated professor
n.rudenko@khai.edu
Rudenko O., master
rudenkoolua@gmail.com

REDUCTION OF LOGISTIC COSTS AT DISTRIBUTOR CENTERS OF THE COMPANY

National Aerospace University named after M. Ye. Zhukovsky
'Kharkiv Aviation Institute'

One of the methods of increasing business profit is decreasing its expenses. The optimization of inner logistics processes opens huge opportunities in this walk of life.

First of all, thrifty logistics makes great demands for the storehouse, main tandem of the company. Its optimal work provides in a lot success of other departments and in contrast, the problems with the storehouse can at all paralyze the company activity. Concerning the storehouse stock the statistics exists [1]: if «the life» of the goods is taken for 100 %, 2 % of time take their production, 13 % go for transportation, the rest 85 % of time the goods lie on the shelves of different levels and the business bears direct losses. During the process of goods moving from purchase to their realization the expenses sum for the storing (rent, electricıty, load, salary for the staff) makes 3 – 12 % from the sum of all logistic costs [2].

İnitial data for the organization delivery of the goods from the suppliers to the main storehouse are choice of goods, establishment of the current and perspective level of the stock, including of new production into nomenclature of goods.

In present work there are the ways of the costs reduction for the transportation and storing of distributor center by means of combinations selection of redistribution of production categories, as well as the absence of negative influence on the customer.

At this work analyzing model will be regarded on the sample of distributor centers (DC) of the company Freeway Ukraine, which has its own system of distribution and decentralized technology of the logistic DC. In Ukraine the company owns two DC: the first is in Dnepropetrovsk (own storehouse – DC1) and the other one in Kyiv (rented storehouse – DC2).

All products of Freeway in Ukraine are divided into two groups: products for home use and products for professional purpose (big packs for corporative clients – laundries, cafes, restaurants, hotels and etc.).

Choice task of the best decision concerning the variant of the work organization DC as a link of the delivery goal can be realized as multi criterion task by the following private criteria:

– private criteria A — expenses for the storing and load rework (factor is minimized);
– private criteria B — expenses for operations 3PL of services (factor is minimized);
– private criteria C — expenses for products transportation between DC and retail outlet (factor is minimized);
– private criteria D — time of order producing in hours (factor is minimized);
– private criteria E — average annual cost of stock at DC (factor is minimized).

In the network of organization «AAA» it is necessary to make decision as to the choice about optimal work organization DC within one products group, which best of all corresponds to the strategy of logistic expenditures minimization, which the company keeps to. Thereby, in the network of one model the enterprise has to make a choice as to the strategy of goods stock management and technologies of goods movement with a glance of many criteria, which essentially influence the distribution process and dividing of logistic expenses according to the kinds of operating activity.

Using statistics, data about current statement DC of company Freeway Ukraine contrastive analyses of variants of categories redistributions between DC2 in Kiev and DC1 in Dnepropetrovsk were done. The economy was calculated with incoming flows, shipping to the customers, storing and processing.

And finally in the table showing the most beneficial combinations of redistribution between DC of the company Freeway Ukraine. In our case this variant is with full movement of the categories “B&R” (Razors and Blades) in DC1 in Dnepropetrovsk.

During the work it was revealed, that key factors of the cost for shipping to the customers DC of the company Freeway Ukraine are dividing into the categories between DC and geographical location DC. In connection with these factors we are on the way of indicators improvement of trailer workload. After these factors optimization new opportunities are opened for transportation and temporary stopping to repack the order.

Table 1 – Categories redistribution (general)

Savings (-) / hurts (+)	**Only BabyCare Shift**	**BabyCare to DC2, other categories to DC1**	**BabyCare to DC2, other categories to DC1 with stop in DC2**	**New to DC1**	**Only FemCare to DC1**	**Only B&R to DC1**
Inbound	- 242	319	197	439	451	110
Customer freight	- 168	- 168	- 230	0	- 2	3
Storage	423	- 301	- 301	- 724	- 238	- 486
Handling	103	- 122	57	- 46	- 25	- 41
Total	**116**	**- 272**	**- 277**	**- 331**	**186**	**-414**

References

1. Rudenko N. Research of logistic processes in production of technical difficult products //Open Information and Computer Integrated Technologies. – 2022. – №. 96. – С. 210-217.
2. Serdiuk O., Baranov O., Rudenko N. Calculation of transport system in flexible manufacturing //10.25673/85925. – 2022.
3. Chen Q., Miller-Hooks E., Huang E. Assessing transportation infrastructure impacts from supply chain restructuring for increased domestic production of critical resources //Computers & Industrial Engineering. – 2023. – Т. 178. – С. 109116.

УДК 519.872

Баранов О.О., д.т.н., професор
O.Baranov@khai.edu

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НАКОПИЧУВАЧІВ РОБОТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,

Сучасна автоматизація є беззаперечним трендом у рамках програми Індустрія 4.0, яка представляє новий виток промислової революції, що характеризується інтеграцією виробництва та мережевих комунікацій. Останні десятиліття показали недоліки концепції жорстких «конвеєрних» рішень і необхідність переходу до гнучкого виробництва з огляду на необхідність задоволення виробниками різноманітних запитів споживачів. При цьому впроваджуються різні підходи у виробництво відповідно до номенклатури деталей, що випускаються. При незначній номенклатурі можуть бути застосовані принципи, закладені в автоматичних лініях (прямолінійний рух деталей, ритмічність, пропорційність), але в той же час гнучкість основного і допоміжного обладнання забезпечується впровадженням робочих станцій з ЧПК і промислових роботів [1]. На гнучких автоматизованих лініях виготовляються технологічно схожі деталі, що відрізняються часом роботи. Робота ліній налаштована на виконання всього комплексу операцій за заданою номенклатурою продукції. Таке виробництво можна розглядати як планове, так і вироблене з чітким циклом випуску. При цьому відносно прості методи дозволяють з високою точністю розрахувати необхідну кількість обладнання, а процес подачі заготовок на обробку на різні установки ЧПУ є детермінованим. Однак із розширенням номенклатури процес постачання заготовок на конкретне обладнання стає стохастичним, що ускладнює прогнозування процесу виробництва [2].

Теорія масового обслуговування вже широко застосовується для розрахунку складних систем, таких як телекомунікації, енергетика та військова справа [3, 4, 5]. У той же час теорія масового обслуговування є потужним інструментом для розрахунку виробничих систем [6] за умови, що потоки деталей, напівфабрикатів та інструментів (потоки називаються узагальненим терміном «надходження») задовольняють певним вимогам [7]. Розглядаючи гнучке виробництво як «сервісну систему», різні групи технологічного обладнання як набір «серверів», набір буферних накопичувачів як пристрої для обслуговування «черги», а також використовуючи відомі підходи до розрахунку одно- та багатоканальних систем масового обслуговування, - можна значно підвищити точність розрахунків і зменшити ймовірність утворення купи напівфабрикатів біля верстата з ЧПК [8, 9].

Розглянуто складську систему в гнучкому автоматизованому виробництві з різною номенклатурою заготовок з урахуванням розрахунків на основі усереднених тактових показників випуску, де теорія масового обслуговування використовується для розрахунку місткості міжопераційного та буферних (верстатних) накопичувачів заготовок. Показано, що розрахунок кількості обладнання за «середнім значенням» часу роботи призводить до збільшення похибки розрахунку за рахунок коливань часу виконання операцій. Ця помилка може призвести до формування об’єму напівфабрикатів біля верстатів через випадковий характер процесу оброблення, що зумовлено різницею в часі обробки деталей різних типів, вимогами складальних цехів тощо, в результаті чого виникає проблема виробничої логістики.

Запропонована схема до розрахунку місткості операційного та буферних накопичувачів, показана на рис. 1. Передбачено, що гнучка виробнича система (ГВС) виготовляє N_v типів заготовок, що складається з N_{wi} заготовок i-го типу на місяць. З обробкою однієї заготовки типу i пов’язаний час виробництва t_{0i} (год); при цьому терміни виготовлення для різних типів дещо відрізняються. Фонд часу роботи обладнання (год) на місяць дорівнює Φ_0. Усі заготовки відносяться до групи коробчастих заготовок і можуть оброблятися за один або кількох

установів на одному типі верстата з ЧПК – таким чином, у розглянутому ГВС використовується лише одна модель верстата з ЧПК.

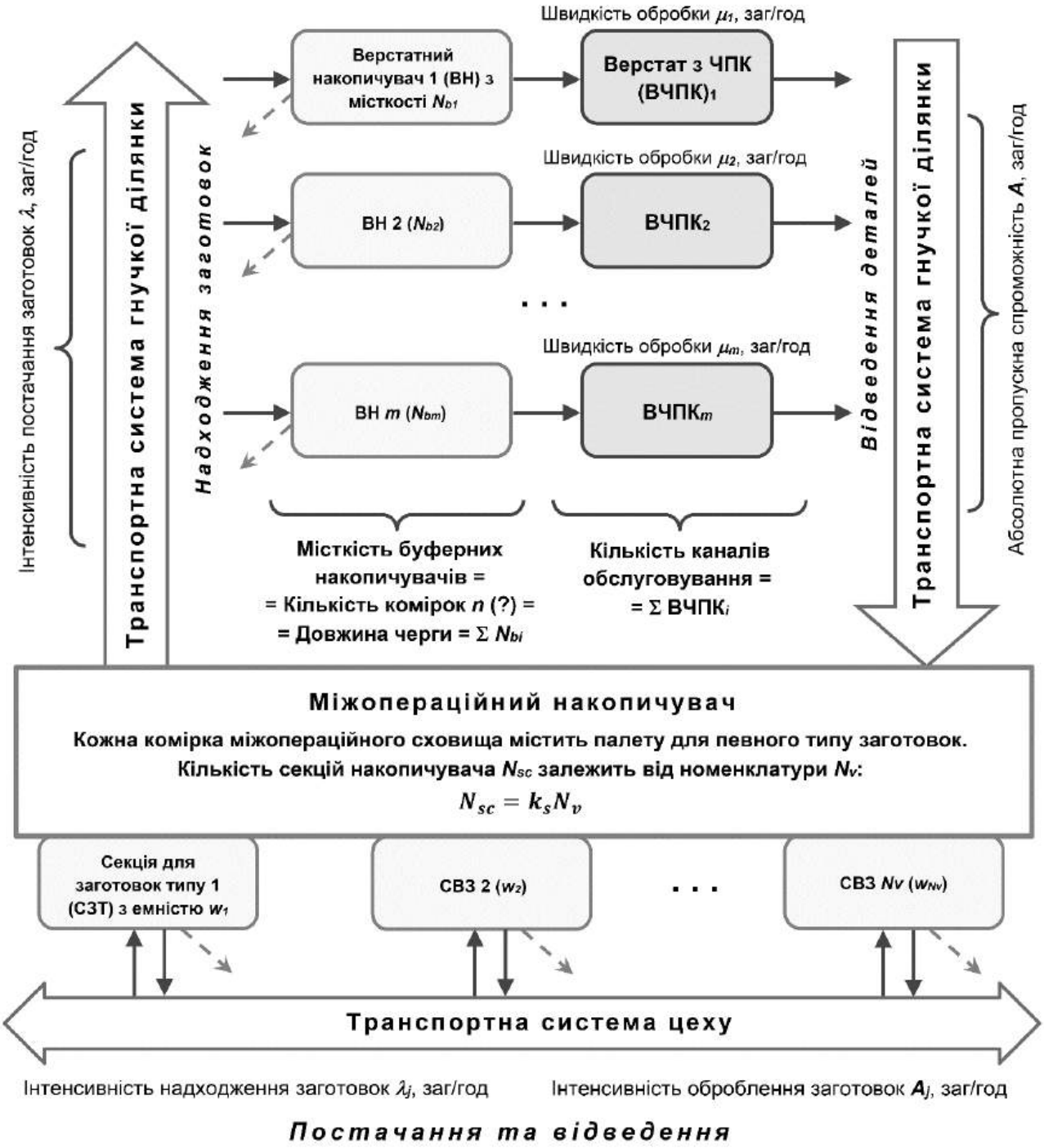


Рисунок 1 – Схема до розрахунку місткості операційного та буферних накопичувачів.

Перед введенням у зону обробки заготовки, що надходять, ідентифікуються та фіксуються на палетах, що зберігаються в міжопераційному накопичувачі, який є також місцем зберіганням палет з напівфабрикатами. При цьому кожен тип заготовок пов'язаний зі своїм типом палет, на яких змонтовано відповідне устаткування для закріплення заготовок. Внаслідок такої організації, міжопераційний склад розділений на секції, у кожній з яких зберігається певний тип піддонів. Заготовки доставляються до ГВС цеховим транспортом, а після обробки готові деталі підлягають поверненню на зберігання до цехового складу у разі, коли зайняті всі палети певного типу у міжопераційному складі. Щоб зменшити

навантаження на транспортну систему цеху, необхідно розрахувати кількість комірок, зарезервованих для зазначеного типу палети в міжопераційному складі. Крім того, при подаванні на обробку до верстатів ЧПК заготовок, закріплених на палетах, вони транспортуються робокаром не безпосередньо до цих верстатів, а в буферні магазини, які безпосередньо пов'язані з верстатами. Оскільки верстати однотипні, то позиції буферного накопичувача не відрізняються, і заготовку, що надійшла, можна помістити на будь-яку вільну позицію. Однак, якщо всі верстати з ЧПК задіяні в обробці, і всі позиції буферного накопичувача зайняті, робокар повинен повернути заготовку до міжопераційного накопичувача. Це збільшує навантаження на транспортну систему ГВС, тому необхідно розрахувати місткість буферного накопичувача.

Кількість верстатів з буферними магазинами розглядалася як багатоканальна система масового обслуговування з обмеженою чергою. За припущенням, заготовка, яка надходить на обробку, може зберігатися лише за умови, що черга (тобто кількість заготовок, які вже зберігаються на позиціях буферного накопичувача) не перевищує задане значення *n*. При цьому обмежена черга є єдиною причиною виходу заготовки із зони обробки та повернення до міжопераційного накопичувача, а час перебування в черзі не враховується (він може бути великим). У той же час, оскільки кожна комірка міжопераційного накопичувача містить піддон для певного типу заготовок, то кількість секцій залежить від номенклатури заготовок. У запропонованому підході міжопераційний накопичувач розглядається як набір комірок, які налаштовані для певного типу заготовок, а заготовки, що доставлені цеховим транспортом для обробки в ГВС, отримують відмову в обслуговуванні, якщо всі комірки відповідного типу зайняті. Таким чином, міжопераційний накопичувач розглядається як багатоканальна система з відмовами.

В обох випадках – буферного і міжопераційного зберігання, обчислення можна припинити після отримання бажаної продуктивності обслуговування або після розгляду вимоги щодо досягнення мінімальних витрат.

Список використаних джерел

1. Hitomi K., Nakajima M., Osaka Y. Analysis of the Flow-Type Manufacturing Systems Using the Cyclic Queuing Theory / K. Hitomi, M. Nakajima, Y. Osaka // Journal of Engineering for Industry. – 1978. – iss. 100, no.4. – p. 468-474.
2. Ullah, H. Petri net versus queuing theory for evaluation of FMS / H. Ullah // Assembly Automation. – 2011. – iss. 31, no. 1. – p. 29-37.
3. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник / А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.
4. Моделі та методи дослідження систем масового обслуговування марківського типу в умовах стохастичної періодичності та їхнє застосування в енергетиці / М.В. Приймак, О.В. Мацюк, О.В. Маєвський, С.Ю. Прошин // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 2. – С. 11-16.
5. Майстренко, О.В., Бубенщиков Р.В., Карга О.В. Теорія масового обслуговування як засіб удосконалення моделі прийняття рішення / О.В. Майстренко, Р.В. Бубенщиков, О.В. Карга // Військово-технічний збірник. – 2019. – № 20. – с. 14–19.
6. Bhat, U. N. An Introduction to Queueing Theory, Statistics for Industry and Technology. Boston MA, Birkhäuser. – 2015.
7. Wainwright, C. The application of queuing theory in the analysis of plant layout / C. Wainwright // International Journal of Operations & Production Management. – 1996. – is. 16, no. 1. – p. 50-74.
8. Application of queuing theory in production-inventory Optimization / R. Rashid, S. F. Hoseini, M. R. Gholamian, M. Feizabadi // Journal of Industrial Engineering International. – 2015. – no. 11. – p. 485–494.
9. Marsudi, M.; Shafeek, H. The Application of Queuing Theory in Multi-Stage Production Line. In: Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. – Bali, Indonesia. – 2014. – pp. 668-675.

УДК 004.272.34

Рибка А.В., аспірант
kafius@ukr.net
Федорович В.А., аспірант
kafius@ukr.net
Пісклова Т.С., мл. наук. співроб.
kafius@ukr.net

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛОКАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ У МИРНИЙ ЧАС ТА В ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Довгі логістичні ланцюги постачання, які виникли при створенні розподілених виробничих систем, у дійсний час є вразливими та можуть призвести до порушення планів виробництва. Ризики довгих логістичних ланцюгів можливі з-за виникнення загроз, пов'язаних з політичною напругою, локальними війнами, терористичними актами, змінами клімату, тощо. Тому, актуальна тема доповіді, в якій досліджується процеси релокації підприємств та створення нових логістичних ланцюгів, що дозволяє мінімізувати ризики логістики постачання високотехнологічних виробництв. Проведене дослідження за наступними етапами:

1. Системний аналіз процесу релокації високотехнологічних підприємств.
2. Оптимізація логістичних витрат при проведенні процесу релокації підприємства.
3. Моделювання логістики переміщення підприємства на нове місце розташування.
4. Імітаційне моделювання нових логістичних ланцюгів постачання.
5. Моделювання релокації (евакуації) підприємств в особливий період.

Створена оптимізаційна модель для мінімізації логістичних витрат процесу релокації підприємства, з урахуванням переміщення технологічного обладнання, проведення будівельних робіт на нових ділянках розміщення підприємства, монтажу та пусконалагоджувальних робіт на новому місці.

Створена імітаційна модель для дослідження логістики переміщення підприємства на агентній платформі AnyLogic. Проведене моделювання логістики переміщення підприємства в умовах виникнення загроз та збудження можливих вразливостей. В мовах воєнного стану країни виникають військові ризики переміщення (евакуації) високотехнологічних підприємств. Тому, створена імітаційна модель релокації підприємства, яка дозволяє сформувати шляхи постачання технологічного обладнання в умовах військових загроз.

Наукова новизна дослідження полягає у створенні комплексу методів та моделей, які дозволяють планувати процеси релокації підприємства, мінімізувати логістичні витрати та ризики як у мирний час, так і у період особливого стану країни.

Використані математичні методи та моделі: системний аналіз, цілочислельна (булева) оптимізація, лексикографічне впорядкування варіантів, метод якісного оцінювання варіантів за допомогою лінгвістичних змінних, імітаційне агентне моделювання.

Список використаних джерел

1. Моделювання транспортної логістики військових вантажів з урахуванням збитків, які виникають у зоні бойових дій через запізнення у постачанні [Текст] / О. Є. Федорович, О. С. Уруський, І. Б. Чепков, М. І. Луханін, Ю. Л. Прончаков, К. О. Рибка, Ю. О. Лещенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2022. – № 2. – С. 63-74. DOI: 10.32620/reks.2022.2.05.

УДК 004.272.34

Сидоренко О.М., к.т.н., докторант
k302@khai.edu
Сломчинський О.В., к.т.н., ст. викл.
ovs1228@gmail.com
Соловйов В.С., аспірант
kafius@ukr.net

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ РИЗИКІВ ТА ЗАГРОЗ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Сучасні розподілені підприємства мають високий рівень інформатизації та автоматизації управління технологічними процесами з використанням методів віртуалізації та цифровізації виробництва, на платформі Industry 4.0. Це дозволяє планувати швидкій випуск актуальної продукції для потреб сучасного ринку споживачів високотехнологічних виробів. Але, з-за розподіленості виробництва, виникли довгі ланцюги постачання, які мають вразливості та можуть порушити плановий характер високотехнологічного виробництва. Тому, актуальна тема доповіді, в якій розглядаються результати дослідження довгих логістичних ланцюгів постачання для виробництва високотехнологічної продукції. Глобалізація економіки ускладнює виробництво з-за використання довгих, іноді заплутаних логістичних ланцюгів постачання, які мають множину вразливостей (моральне та фізичне старіння транспортних систем, вузькі місця транспортування вантажів, перевалки з однією транспортної магістралі на іншу, тощо). Вразливості збуджуються при виникненні загроз різного характеру (політичного, економічного, терористичного, кліматичного, військового, тощо). У роботі проведено дослідження логічної послідовності подій, які пов’язані з виникненням можливих загроз в довгих логістичних ланцюгах постачання: виникнення загрози – збудження можливих вразливостей – виникнення збитків – ліквідація збитків. Для мінімізації можливих збитків з-за загроз, необхідно сформувати превентивні заходи.

Запропоновано комплекс моделей для дослідження впливу загроз та виникнення збитків у довгих логістичних ланцюгах постачання:

1. Формування каналів постачання високотехнологічних виробництв за допомогою комбінаторного структурного аналізу.
2. Прогнозування та моделювання можливих збитків при виникненні загроз та збудження вразливостей.
3. Оптимізація витрат на проведення превентивних заходів щодо мінімізації збитків.
4. Імітаційне моделювання раціональних маршрутів постачання у довгих логістичних ланцюгах, в умовах виникнення можливих загроз.

Наукова новизна дослідження пов’язана з розробкою комплексу оригінальних математичних моделей та методу імітаційного моделювання, які дозволяють формувати ланцюги постачання високотехнологічних виробництв в умовах ризиків та виникнення можливих загроз.

Використані методи: системний аналіз, теорія перерахування варіантів, оптимізаційні моделі, імітаційне агентне моделювання.

Список використаних джерел

1. Федорович, О. Є. Метод формування логістичних транспортних взаємодій для нового портфелю замовлень розподіленого віртуального виробництва / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2020. – № 2. – С. 102-108.

УДК 621.73.06

Харченко М.В., к.е.н.
atlanta1680@gmail.com

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЛОГІСТИКИ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Філія класичного приватного університету у місті Кременчук

Концептуальний підхід до розвитку системи логістики на підприємстві передбачає, що функції логістики розглядають як дуже важливу підсистему загальної системи управління на підприємстві. Це означає, що створювати логістичні системи і управляти ними слід виходячи із загальної мети — досягнення максимальної ефективності роботи підприємства в цілому. Концепція логістичного управління визначається на основі оптимізації виробничо-господарської діяльності завдяки ефективному управлінню матеріальними потоками та пов'язаних з ними інформаційних і фінансових потоків підприємства на основі системного підходу.

Під матеріальним потоком розуміють сукупність сировини, матеріалів, напівфабрикатів, які у вигляді предметів праці надходять від постачальників до виробничих підрозділів і, перетворюючись там на готові продукти праці, крізь канали розподілу доводяться до споживачів. Циркуляція охоплює надходження матеріальних ресурсів до складу підприємства, переміщення їх до цеху на початкову операцію транспортування незавершених продуктів праці в межах цеху, між цехами і, нарешті, після закінчення всіх операцій, переміщення завершених продуктів праці за межі підприємства до сфери їх споживання.

Розгляд цих формально різнорідних, але за змістом єдиних процесів як цілісного комплексу відіграє важливу роль. Зрозуміло, що функції, які формують матеріальний потік промислового виробництва, технологічно пов'язані, а обумовлені ними витрати — економічно залежні. Це означає, що зміни в одному з видів діяльності впливають на всі інші, а намагання знизити окремі витрати можуть призвести до більш високих сукупних витрат.

З точки зору обробки матеріального потоку можна виділити наступні області в логістиці: запаси, транспортування продукції, складування, складська обробка і інформаційне забезпечення матеріального потоку (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні завдання логістики, що вирішуються в різних областях діяльності підприємства

№№ п/п	Область логістики	Основні завдання
1	Запаси	Планування, формування та зберігання необхідних матеріальних запасів
2	Транспортування продукції	Вибір виду транспорту, транспортного засобу, планування і моніторинг доставки продукції
3	Складування і складська обробка	Вибір варіанту розміщення складу, управління складської переробки, упакування
4	Інформаційне забезпечення	Збір даних про рух матеріальних потоків

Логістична інфраструктура підприємства – це сукупність елементів, що виконують важливі логістичні завдання і забезпечують здійснення логістичних процесів; цілісна система управління (сукупність будівель, споруд з необхідним обладнанням для складування продукції, транспортні та маніпуляційні засоби, засоби пакування, засоби отримання, передачі та обробки інформації).

Під час розробки стратегії планування на підприємстві логістика повинна становити частину виробничої функціональної стратегії, яка поряд з маркетинговою і організаційною стратегією є частиною загальної господарської стратегії підприємства.

Логістичний підхід створює умови для поліпшення багатьох показників функціонування матеріалопровідної системи, оскільки удосконалюється її загальна організація, підвищується взаємний зв'язок окремих ланок, покращується керованість. Сукупний економічний ефект від використання логістики, як правило, перевищує суму ефектів від поліпшення перерахованих показників. Це пояснюється виникненням у логістично-організованих системах так званих інтеграційних властивостей, тобто якостей які властиві усій системі в цілому, але не властиві жодному з елементів окремо.

В логістичну систему при розробці стратегії мають бути включені: транспортні операції і витрати, потужності, зв’язок, управління запасами, піднімально-транспортні роботи, планові і контрольні системи, організаційні системи.

Основна концепція побудови логістичної системи управління повинна полягати в розвитку і реалізації логістичних функцій як єдиного комплексу функцій; у здійсненні них всіма структурними утвореннями, пов’язаними з товаропросуванням; у забезпеченні економії сумарних витрат на переміщення, зберігання і утримання запасів продукції. При цьому повинні бути враховані такі вимоги логістики:

- поставка всіх матеріалів у відповідній кількості, якості і асортименті до моменту місця споживання;
- заміна політики продажу вироблених товарів політикою виробництва товарів, що продаються;
- скорочення виробничих циклів через системну оптимізацію процесів;
- оптимізація технології та техніки складування, транспортування, пакування;
- управління загальними логістичними витратами для їх мінімізації;
- виконання всіх замовлень та запитів з вищою якістю і в мінімальні строки.

Використання логістичних систем управління матеріальними потоками значно покращує роботу підприємств незалежно від їх розмірів і виробничої спеціалізації. Зокрема, за даними різних обстежень своєчасність забезпечення підприємства матеріалами при виконанні такої системи підвищується до 95-97%, рівень запасів готової продукції на складах скорочується на 10-12%, обсяг незавершеного виробництва – на 20-30%, кількість порушень строків поставок – в середньому на 30-35%.

Отже, можна сказати, що логістична система є засобом управління економічними процесами, які спрямовані на максимальне прискорення оборотних фондів і на максимальне використання потенціалу ефективності у сфері обігу.

На рівні підприємства логістична система поділяється на ряд структур, які можна представити у вигляді горизонтальних підсистем у ділянці постачання, виробництва і збуту. Водночас, в рамках кожної із підсистем знаходяться структури функціонального характеру – складське господарство, транспорт, послуги, забезпечення й обробка інформації. Кожний з цих елементів є присутнім на будь-якому виробництві, а логістична концепція об’єднує їх у систему із загальними цілями і завданнями, що лежать у сфері мінімізації витрат усього виробництва загалом, а не окремих його елементів.

Інструментом такого об’єднання є інформаційне забезпечення процесів виробництва, починаючи з постачання і закінчуючи збутом продукції а також інформаційні системи, що дозволяють органічно об’єднувати в єдине ціле всі логістичні підсистеми. Це зумовлено тим, що інформація на сучасному рівні розвитку – це самостійний виробничий чинник, потенційні можливості якого відкривають широкі перспективи для зміцнення конкурентоспроможності підприємства. При цьому інформаційна логістична система припускає створення комп’ютерної мережі, баз даних, комунікацій, комплексу заходів щодо прийняття оперативних рішень. В умовах невизначеності і нестійкості ринкового середовища підвищується важливість логістичного підходу до управління підприємством. Це пояснюється рядом факторів, серед яких розширення асортименту та ріст номенклатури

продукції, зростаючий об'єм фізичних операцій у системах постачання та розподілу, підвищення вимог споживачів до рівня обслуговування. Покращення роботи у сфері розподілу може забезпечити високу конкурентоспроможність за рахунок зниження загальних витрат і одночасного підвищення надійності та якості поставок.

В основі логістичного управління лежить ідея неперервного моніторингу всього ланцюга поставок, починаючи з постачання сировини та закінчуючи доставкою готової продукції споживачам. Керівництво підприємства отримує можливість оцінити ступінь використання ресурсів, виявити джерела та причини втрат, скоординувати діяльність працівників з метою покращення результатів.

Економічний ефект від застосування логістики утворюється за рахунок скорочення часу проходження товарів по логістичному ланцюгу результатом якого є мінімізація витрат і збільшення прибутку.

Список використаних джерел

1. Гюлєв Н. У. Конспект лекцій з курсу «Логістичний менеджмент»; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 52 с.
2. Кононенко , А. В. Логістика: навч . посіб. до виконання практ. робіт / А. В. Кононенко, Ю. О. Романенков, В. П. Гатило. – Харків: Нац. аерокосм. ун - т ім. М. Є. Жуковского «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 56 с.
3. М. Окландер Логістика: Навчальний посібник, Центр навчальної літератури, 2018. – 346 с.
4. Марченко В.М. Логістика: Підручник/ В.М. Марченко, В.В. Шутюк. – К.: Видавничий дім «Артек», 2018. – 312 с.

5. ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТІВ

УДК 62-26:62-50

[1]**Шатохін В.М.,** д.т.н., професор
shatokhinvlm@gmail.com
[2]**Соболь В.М.,** к.т.н., доцент
sobol_vn@ukr.net

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНИХ МОНТАЖНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБОТІВ ЗА ВЛАСНИМИ ФОРМАМИ КОЛИВАНЬ

[1]Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
[2]Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Вступ. Актуальною в різних галузях промисловості є проблема автоматизація складання із застосуванням роботів (маніпуляторів) для збільшення продуктивності праці, вивільнення робочих рук, підвищення якості робіт, а також при виконанні небезпечних для здоров'я, фізично важких і монотонних робіт. Одним з перспективних напрямків при вирішенні цієї проблеми є застосування так званих некерованих, зокрема, вібраційних монтажних пристроїв. Використання їх дозволяє відмовитися при складанні навіть неосесиметричних деталей без фасок від дорогих датчиків і сервоприводів, не висуває високих вимог до жорсткості всієї конструкції робота. Складання здійснюється наступним чином. Грейфер робота "грубо" підводить деталь, яка встановлена в вібраційному монтажному пристрою, до місця з'єднання з іншою деталлю (наприклад, плунжер до гільзи плунжера). Включається монтажний пристрій, деталь починає здійснювати певні просторові коливання, при цьому відбувається з'єднання деталей, навіть незважаючи на те, що спочатку положення деталі, що монтується, було неточним. Просторові коливання пристрою та деталі надаються електромотором з дебалансом, встановленим на монтажному пристрої.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Аналіз конструктивних особливостей вібраційних монтажних пристроїв дано у роботах [1, 2]. Там же викладено найпростіші прийоми вибору параметрів механізмів. Моделюванню динамічних процесів у деяких пристроях розглянуто у статях [1, 3].

Створені зразки складальних пристроїв підтвердили їхню високу ефективність. Однак недостатня розробка математичних моделей зазначених пристроїв, методів їх дослідження, оптимального вибору параметрів і режимів роботи ускладнює шляхи вдосконалення існуючих конструкцій і раціонального компонування аналогічних механізмів.

Мета та постановка задачі. Метою роботи є побудова математичних моделей динамічних процесів у вібраційних монтажних пристроях, а також розробка алгоритмів синтезу їх параметрів. Моделі повинні володіти можливостями дослідження руху ланок механізму і характерних точок деталей, що монтуються не тільки в процесі пуску, але і на усталених режимах.

Математична модель вібраційного монтажного механізму. На рис. 1 показана схема механізму для складального пристрою. Конструктивне пристрій складається з кількох жорстких тіл, з'єднаних між собою пружними елементами: 1 – основа для кріплення механізму до руки маніпулятора; 2 – кільце; 3 – похилі стержні; 4 – грейфер; 5 – деталь, що монтується; 6 – пластинчасті пружини; 7 – тахометр; 8 – електромотор; 9 – дебаланс; 10 – пластина пружної опори збудника, яка вигнута під кутом 45° і кріпиться до кільця так, щоб вісь електромотора утворювала кути в 45° з напрямками паралельними осям плоских пружин.

Узагальнені координати. Нерухому систему координат зв'яжемо з маніпулятором, її початок помістимо в площині кріплення грейфера до плоских пружин (передбачається, що

вони статично деформовані). Осі Ox і Oy направляємо вздовж зазначених пружин, а вісь Oz вертикально вгору. Положення кільця в нерухомій системі координат $Oxyz$ з точністю до нескінченно малих вищого порядку визначається трьома узагальненими координатами: x, y, φ. Координати x і y визначають положення центру мас кільця. Координата φ визначає поворот рухомий, жорстко пов'язаної з кільцем системи координат $O_1x_1y_1z_1$, по відношенню до нерухомої.

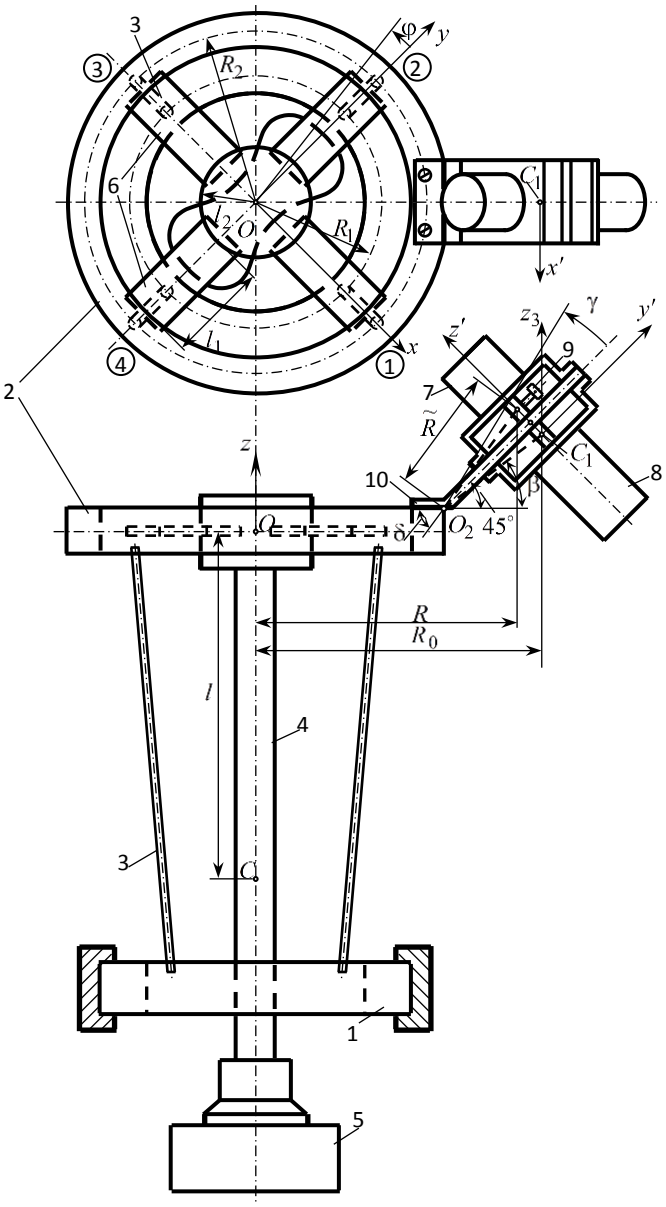


Рис. 1. Схема вібраційного монтажного механізму

Можна показати, що положення грейфера по відношенню до кільця з точністю до нескінченно малих вищих порядків також визначається трьома узагальненими координатами: координати ϑ_{x_1}, ϑ_{y_1} характеризують обертання грейфера навколо осей Ox_1 і Oy_1; координата $z_1 = z$ – вертикальне зміщення точки підвісу. Експерименти показали, що на експлуатаційних режимах роботи механізму, положення збудника по відношенню до кільця цілком визначається кутовою координатою γ, а його пружну опору можна моделювати шарніром зі спіральною пружиною (точка O_2 на рис. 1), коефіцієнт жорсткості якої легко визначається експериментальним шляхом.

Таким чином рух механізму характеризують сім узагальнених координат: x, y, φ, ϑ_{x_1}, ϑ_{y_1}, z_1, γ.

Диференціальні рівняння коливань механізму. Виконавши стандартні операції зі складання рівнянь Лагранжа 2-го роду (складні та громіздкі викладки, пов'язані з отриманням кінетичної енергії та узагальнених сил, через обмеженість місця тут не наведено), диференціальні рівняння малих коливань механізму виявилося можливим представити у вигляді

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\mathbf{q} = \mathbf{P}, \qquad (1)$$

де $\mathbf{M}$ – матриця інерції; $\mathbf{q} = \left[x, y, \varphi, \vartheta_{x_1}, \vartheta_{y_1}, z_1, \gamma\right]^{\mathrm{T}}$ – вектор узагальнених координат (т – знак транспонування); $\mathbf{K} = diag\left\{4c, 4c, 4cR_2^2, \tilde{c}, \tilde{c}, 4c_1, c_2\right\}$ – діагональна матриця жорсткості; c, $\tilde{c}$, c_1, c_2 – еквівалентні коефіцієнти жорсткості відповідно стержня на вигин, пластинчастих пружин при повороті грейфера, пластинчастої пружини на вигин, пружної опори збудника;

$$\mathbf{P}=\left[\frac{F\sqrt{3}}{2}\sin(\omega t+\psi),-\frac{F\sqrt{3}}{2}\sin(\omega t-\psi),-FR\sin\omega t,0,0,0,-F\cos\omega t\tilde{R}\sin(\delta-45^\circ)\right]^{\mathrm{T}}$$ – вектор збурювання; $F=m\omega^2 r$ – амплітуда відцентрової сили інерції дебалансу; m – маса дебалансу; r – відстань від центру мас дебалансу до осі електродвигуна.

Для ненульових елементів матриці інерції отримано такі вирази:

$m_{1,1}=m_1+m_2+m_3$, $m_{1,3}=m_{3,1}=-m_{2,3}=-m_{3,2}=-m_3R_0\cos45^\circ$, $m_{1,5}=m_{5,1}=-m_2 l$,

$m_{1,7}=m_{7,1}=m_{2,7}=m_{7,2}=-m_3R^*\sin\beta\cos45^\circ$, $m_{2,2}=m_1+m_2+m_3$, $m_{2,4}=m_{4,2}=m_2 l$,

$m_{3,3}=J_{z_1}+J_\zeta+J_{z_3}+m_3R_0^2$, $m_{4,4}=J_\xi+m_2 l^2$, $m_{5,5}=J_\eta+m_2 l^2$, $m_{6,6}=m_2$,

$m_{7,7}=m_3R^{*2}+J_{x'}$,

де m_1 – маса кільця; m_2 – маса грейфера та деталі; m_3 – маса збудника (електромотор, тахометр та дебаланс); R^* – відстань від центру мас збудника до осі шарніра; J_{z_1} – момент інерції кільця відносно вертикальної осі; J_ξ, J_ζ, J_η – моменти інерції грейфера та деталі відносно відповідно осей $C\xi$, $C\eta$, $C\zeta$, які є головними центральними осями інерції і в положенні рівноваги паралельні відповідним осям системи координат $Oxyz$; $J_{x'}$, J_{z_3} – моменти інерції збудника відносно відповідно осей C_1x' и C_1z_3. Інші позначення дано на рис. 1.

Розрахунково-експериментальні дослідження динамічних процесів. Для уточнення параметрів моделі використовувалися отримані в експерименті частоти та форми власних коливань. На рис. 2 наведено найважливіші з практичної точки зору розрахункові форми коливань, отримані після коригування моделі. Для зручності зображення кутові координати попередньо множилися на характерні лінійні розміри: φ – на R_2; ϑ_{x_1} і ϑ_{y_1} – на l; γ – на R^*.

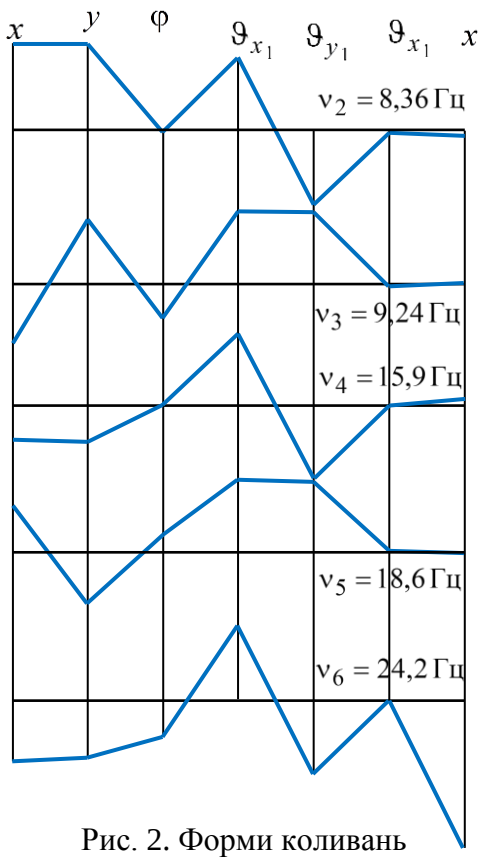


Рис. 2. Форми коливань

Алгоритм синтезу формами коливань. Особливість пристрою полягає в тому, що він працює поблизу резонансу. Ця обставина дає можливість при розв'язані задачі синтезу користуватися розрахунками власних коливань, оскільки форма останніх близька до форми резонансних коливань.

Конструктивні міркування вимагають, щоб на експлуатаційному режимі зміни координат ϑ_{x_1}, ϑ_{y_1} і φ були максимальними (для полегшення та прискорення монтажу), а зміни координат x і y – мінімальними (з метою зменшення вібрацій всього монтажного пристрою). Задача тому ставиться так. Необхідно розглянути форми власних коливань моделі механізму і сприятливі з них "поліпшити" у зазначеному вище сенсі варіюючи конструктивні параметри.

Можливий шлях розв'язані задачі – використання ідей теорії чутливості [4]. Нехай після розв'язані задачі про власні значення та власні вектори

$$\left(-\omega^2\mathbf{M}+\mathbf{K}\right)\Phi=0 \qquad (2)$$

для рівняння

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{z}}+\mathbf{K}\mathbf{z}=0 \tag{3}$$

виявилося доцільним власному вектору Φ_i ($i=\overline{1,n}$; у нашому випадку $n=7$) надати більш сприятливу конфігурацію Φ_i^*. Позначимо зміну Φ_i через

$$\Delta\,\Phi_i=\Phi_i^*-\Phi_i. \tag{4}$$

Вважаючи $\Delta\,\Phi_i$ достатньо малим, введемо у розгляд частинні похідні вектора Φ_i за параметрами p_k ($\overline{k=1,m}$), що варіюються; тоді з точністю до малих другого порядку можна записати

$$\Delta\,\Phi_i=\sum_{k=1}^{m}\frac{\partial\Phi_i}{\partial p_k}\,\Delta\,p_k, \tag{5}$$

де $\Delta\,p_k$ – зміна k-го параметра.

Справедливим є очевидне розкладання

$$\frac{\partial\Phi_i}{\partial p_k}=\sum_{j=1}^{n}a_{ijk}\Phi_j \quad (\overline{j=1,n}). \tag{6}$$

Якщо тепер вираз

$$\left(-\omega_i^2\mathbf{M}+\mathbf{K}\right)\Phi_i=0$$

продиференціювати за параметром p_k та помножити зліва на Φ_l^{T} ($l\neq i$), то з урахуванням (6) отримаємо

$$a_{ilk}=\frac{\Phi_l^{\mathrm{T}}\left(\dfrac{\partial\mathbf{K}}{\partial p_k}-\omega_i^2\dfrac{\partial\mathbf{M}}{\partial p_k}\right)\Phi_i}{\left(\omega_i^2-\omega_l^2\right)\Phi_l^{\mathrm{T}}\mathbf{M}\,\Phi_l}. \tag{7}$$

Якщо $l=i$, то доцільно покласти $a_{iik}=0$.

З урахуванням (6) виразу (5) можна надати вигляду

$$\Delta\,\Phi_i=\mathbf{S}\,\Delta\,\mathbf{p}, \tag{8}$$

де $\mathbf{S}$ – матриця чутливості; $\Delta\mathbf{p}=\left[\Delta p_1,\ldots,\Delta p_m\right]^{\mathrm{T}}$ – вектор зміни параметрів.

Вираз (8) можна розглядати як рівняння відносно $\Delta\,\mathbf{p}$. Залежно від співвідношення n і m для $\Delta\mathbf{p}$ мають місце такі вирази:

$$\Delta\,\mathbf{p}=\left(\mathbf{S}^{\mathrm{T}}\mathbf{S}\right)^{-1}\mathbf{S}^{\mathrm{T}}\,\Delta\,\Phi_i \quad (m<n); \tag{9}$$

$$\Delta\,\mathbf{p}=\mathbf{S}^{-1}\,\Delta\,\Phi_i \quad (m=n); \tag{10}$$

$$\Delta\,\mathbf{p}=\mathbf{S}^{\mathrm{T}}\left(\mathbf{S}\mathbf{S}^{\mathrm{T}}\right)^{-1}\Delta\,\Phi_i \quad (m>n). \tag{11}$$

Формула (9) одержана методом найменших квадратів. За допомогою виразу (11) з нескінченної множини розв’язків виділяється єдине, що має властивість $\|\Delta\mathbf{p}\|_2\Rightarrow\min$.

Нове значення вектора параметрів, що відповідає зміненій формі, наближено представимо у вигляді

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 + \Delta\mathbf{p}, \qquad (12)$$

де $\mathbf{p}_0$ – вихідний вектор параметрів.

У формулі (5) $\Delta\Phi_i$ передбачається малим, що рідко виконується. Для більших значень $\Delta\Phi_i$ розроблений спеціальний алгоритм, що дозволяє визначити необхідні зміни параметрів за допомогою однієї з формул (9) - (11).

Зауважимо, що такий підхід можна застосувати і у разі одночасного коригування кількох форм коливань.

Результати оптимізації за формами коливань. У якості параметрів, що варіюються, розглядалися: $p_1 = d_c^4$; $p_2 = h^3$; (d_c – діаметр стержня; h – товщина пластинчастої пружини). Ці параметри не входять до матриці інерції, тому $\frac{\partial\mathbf{M}}{\partial p_1} = \frac{\partial\mathbf{M}}{\partial p_2} = 0$. Для похідних від матриці жорсткості з урахуванням явних виразів для c, $\tilde{c}$, c_1, c_2 маємо:

$$\frac{\partial\mathbf{K}}{\partial p_1} = diag\left\{4\frac{3\pi E}{16l_c^3}, 4\frac{3\pi E}{16l_c^3}, 4R_2^2\frac{3\pi E}{16l_c^3}, 0,0,0,0\right\}; \quad \frac{\partial\mathbf{K}}{\partial p_2} = diag\left\{0,0,0,sb,sb,4\frac{Eb}{l_1^3},0\right\},$$

де $s = \frac{l_2(l_1+2l_2)E}{l_1^3} + \frac{(4l_1+6l_2)E}{6l_1^2} + \frac{0{,}6G}{l_1}$.

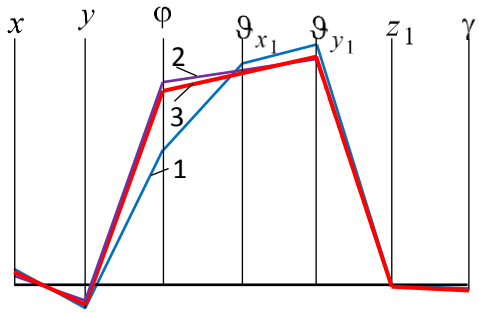


Рис. 3. Синтез п’ятої форми коливань:
1 – вихідна; 2 – бажана; 3 – після синтезу

На рис. 3 наведено результати оптимізації п’ятої форми коливань. У якості бажаної форми коливань узята розрахункова форма, у якої значення координати φ збільшено на 30% і настільки ж відсотків зменшено значення координат x і y; інші координати бралися без змін. На рисунку ця форма показана після відповідного нормування, прийнятого у програмі

$$\Phi_5\Phi_5^{\mathrm{T}} = 1,$$

через що значення координат ϑ_{x_1}, ϑ_{y_1} і γ мають дещо менші значення, ніж у вихідної форми. З рисунку видно, що форма, отримана після оптимізації, має сприятливішу конфігурацію, ніж вихідна, особливо для координати φ. Значення параметрів, що варіюються, виявилися такими: $d_c = 0{,}288\cdot10^{-2}$ м; $h = 0{,}177\cdot10^{-2}$ м. Відповідне значення п’ятої частоти – 24,25 Гц.

Висновки. 1. Побудовано математичну модель вібраційного монтажного пристрою для складального робота. 2. Запропоновано алгоритм синтезу параметрів пристрою за власними формами коливань. 3. Викладений підхід перспективний при створенні та вдосконаленні аналогічних конструкцій.

Список використаних джерел

1. Shatokhin V.M., Sobol V.N., Wójcik W., Mussabekova A., Baitussupov D. Dynamical processes simulation of vibrational mounting devices and synthesis of their parameters. Przegląd Elektrotechnicz.– Vol 2019.– No 4.– P. 86-92.
2. Vartanov M.V., Bojkova L.V., Zinina I.N. Mathematical model of robotic assembly by means of adaptation and low-frequency vibration. Assembly Automation.– 2017.– 37.– P. 130-134.
3. Шатохин В.М. Моделирование динамических процессов в вибрационных монтажных устройствах для сборочных роботов. Вібрації в техніці та технологіях.– 2010.– 3 (59).– С. 143-153.
1. Charles W. White, Bruce D. Maytum. Eigensolution sensitivity to parametric model perturbations. The shock and vibration bulletin.– 1996.– 46.– P. 123-133.

6. ТЕХНОЛОГІЯ АГРЕГАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.452.3

Селезень О.Г., студент
selezen.oleh@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОСЕЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

За життєвий цикл газотурбінний двигун (ГТД) працює не тільки на розрахунковому режимі, але й на нерозрахункових режимах. Ці режими мають суттєвий вплив на його роботу. Без аналізу цих режимів не можливо спрогнозувати наскільки спроектований двигун є надійним та економічним і чи зможе відпрацювати гарантований термін.

До експлуатаційних характеристик, які обов’язково досліджують при проектуванні, відносяться дросельна та кліматична характеристики. Дросельна характеристика більше необхідна для двигунів працюючих на різних режимах. В наземних умовах це привідні двигуни газоперекачувальних агрегатів, так як необхідна потужність може змінюватися зі зміною часу.

Для дослідження дросельної характеристики в залежності від розв'язуваної задачі можуть використовуватися математичні моделі двигунів різного рівня складності. Відповідно до наявної класифікації [1, 2] такі моделі поділяються на різні рівні. Так моделі ГТД 1-го рівня спираються на математичні моделі 0-го рівня вузлів, які до них входять. Характеристики моделей 0-го рівня задаються ззовні в вигляді таблиць чи залежностей.

Більш точними є методи розрахунку характеристик газотурбінних двигунів, що ґрунтуються на математичних моделях 2-го рівня. Такі моделі спираються на розрахунок параметрів потоку за середньомасовими показниками з урахуванням геометричних параметрів проточної частини та решіток профілів лопаткових вінців (1 рівень деталізації процесів у вузлах) на середньому радіусі. Перевагою таких моделей в порівнянні з моделями 1-го рівня є поступеневий (повінцевий) опис процесів в багатоступінчастому компресорі та турбіні в одновимірній постановці, наприклад, [3, 4].

Ще більшими можливостями володіють математичні моделі ГТД 3-го рівня, в яких при описі процесів у вузлах застосовуються математичні моделі 2-го рівня [5], які спираються на розрахунок параметрів течії в двовимірній осесиметричній постановці. Такі моделі дозволяють врахувати вплив нерівномірності вхідного потоку на параметри лопаткових машин, їх сумарні характеристики, а також характеристики ГТД в цілому.

На початковому етапі проектування двигуна доцільно використовувати більш прості моделі, які не потребують великої кількості вихідних даних. В представленій роботі побудована математична модель турбовального газотурбінного двигуна, призначеного для приводу газоперекачуючого агрегату. Дана модель спирається на метод розрахунку термогазодинамічних параметрів ГТД, що розроблений в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», та має 1-й рівень деталізації.

Результати розрахунку дросельної характеристики представлені на рис.1

За графіками видно, що при зменшені відносної частоти обертання з 1,0 до 0,84, питома потужність зменшується на 67%, питома витрата палива зростає на 51,9 %. Також було встановлено, що ККД знижується на 10 %, витрата повітря зменшується на 40,0 %, температура газу зменшується на 25 %.

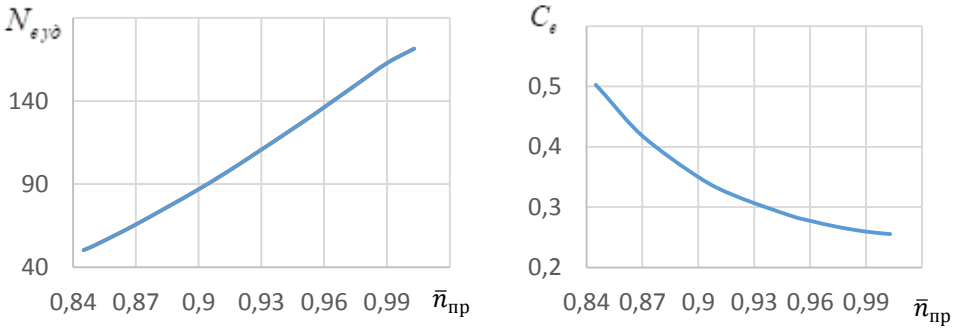


Рис. 1 – Залежність питомої потужності та питомої витрати палива від приведеної частоти обертання ротора високого тиску

Список використаних джерел

1. Тунаков, А. П. Методы оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей / А. П. Тунаков. – М.: Машинобудування, 1979. – 184 с.
2. Ахмедзянов, А. М. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей / А. М. Ахмедзянов, Ю. С. Алексеев, Х. С. Гумеров и др.; під ред. А. М. Ахмедзянова. – М.: Машинобудування, 2000. – 454 с.
3. Бойко, Л. Г. Разработка метода расчета характеристик турбовального двигателя с повенцовым описанием многоступенчатого осевого компрессора [Текст] / Л. Г. Бойко, О. Л. Карпенко // Вісник двигунобудування. – 2007. – №3. – С. 143 – 146.
4. Бойко, Л. Г. Метод расчета термогазодинамических параметров турбовального ГТД на основании повенцового описания лопаточных машин ч. 1. Основные уравнения [Текст] / Л. Г. Бойко, О. В. Кіслов, Н. В. Піжанкова // Авіаційно-космічна техніка та технологія. – 2018. - №1(145). – С. 48 – 58.
5. Бойко Л. Г., Даценко В.А, Піжанкова Н. В. «Определение дроссельной характеристики турбовального ГТД на основе метода математического моделирования с использованием одно- и двумерных подходов к расчету параметров компрессора» // Авіаційно-космічна техніка та технологія. – 2019, №7/159, стр 21-30. DOI:10.32620/aktt.2019.7.03

Науковий керівник: асистент каф. 201 Даценко В. А.

УДК 621.9-11

Яковенко І.Е., к.т.н., доцент
igor.dych59@gmail.com
Пермяков О.А., д.т.н., профессор
perm_a@i.ua

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПОРТАТИВНИХ ВЕРСТАТІВ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

У сучасному світі експлуатується досить велика кількість унікальних машин та установок (і кількість таких машин постійно зростає) з тривалим терміном служби.Зазвичай це великогабаритні машини та агрегати: турбіни електростанцій, магістральні трубопроводи, гірничодобувна техніка, судна тощо. Ремонт та модернізація таких об'єктів машинобудування потребує застосування механічної обробки за місцем експлуатації без повного демонтажу обладнання, що дозволяє значно скоротити терміни виконання необхідних робіт, а відтак і фінансові витрати. Якщо раніше такі роботи виконувались, переважно, висококваліфікованими робітниками з використанням ручного інструменту та додаткових оригінальних технологічних пристроїв, то останнім часом для цього все частіше використовуються портативні верстати. Як показали дослідження, прогнозований обсяг випуску портативних верстатів за 10 років з 2020 по 2030 роки збільшиться практично вдвічі у фінансовому вираженні (з $23 млрд. у 2020 році до $43 млрд. у 2030 році) [1]. Передбачається що, найбільш затребуваними портативні верстати будуть у нафтогазовій промисловості, машинобудівному виробництві та енергетичній галузі.

Порівняно зі стаціонарними верстатами мобільними портативні верстати мають кілька принципових відмінностей:

- не заготовка транспортується до верстата, а портативний верстат транспортується до об'єкта обробки.
- не заготовка базується і закріплюється на верстаті, а портативний верстат базується, монтується з окремих вузлів та закріплюється на існуючій деталі, при цьому сама оброблювана деталь зазвичай виконує функцію несучої системи верстата.
- портативний мобільний верстат практично завжди виконує одну конкретну технологічну операцію, що унеможливлює використання редукторів та пристроїв перетворення руху, дозволяє максимально точно, враховуючи параметри процесу різання, опрацювати конструкцію елементів верстата.
- компонування портативного верстата має на увазі простоту транспортування, монтажу та демонтажу вузлів й елементів за умов забезпечувати необхідну точність обробки, оскільки портативний верстат монтується безпосередньо на об'єкті обробки.
- після виконання виробничого завдання портативний верстат необхідно демонтувати задля забезпечення нормального функціонування основного виробу.
- конкретний портативний верстат практично не використовують повторно.

Зазвичай при експлуатації такого обладнання споживачами використовуються дві схеми роботи. Перша полягає у придбанні верстата у особисту власність та, найчастіше, із залученням фахівців підприємства-виробника обладнання для виконання ремонтних та відновлювальних робіт. У цьому випадку, після виконання необхідних робіт, верстат стає марним, оскільки такі ремонти здійснюються не дуже часто (періодичність може досягати кількох років або десятків років). Друга схема передбачає запрошення фахівців підприємства-виробника портативного обладнання разом з верстатом для виконання ремонтно-відновлювальних робіт, що дозволяє підвищити якість та скоротити час виконання робіт за рахунок досвіду монтажу та експлуатації такого обладнання. При цьому портативний верстат залишається у власності підприємства-виробника. В цьому випадку можливе і доцільне повторне використання модулів та елементів при створенні нових

верстатів, оскільки час роботи обладнання в цьому випадку відносно невеликий порівняно з регламентними термінами експлуатації агрегатів і технологічних модулів. Вочевидь, що друга схема для підприємства замовника краща з економічної точки зору, а для підприємства розробника дозволяє багаторазово використовувати силові та виконавчі модулі при розробці нових компонувальних схем портативних верстатів.

Розглянуті вище особливості створення та експлуатації портативних верстатів, а також аналіз варіантів кінематики формоутворення та компонувальних схем реально випущених портативних верстатів для різних галузей промисловості дозволили авторам зробити висновок про те, що агрегатно-модульний принцип компонування портативних верстатів є найбільш доцільним [2].

Такий підхід дозволяє:

- розробити модель синтезу структур компоновок портативних верстатів на основі агрегатно-модульного принципу;
- підвищити точність обробки за рахунок більш детального опрацювання уніфікованих елементів верстата;
- багаторазово використовувати агрегати та технологічні модулі при створенні портативних верстатів під конкретні технологічні завдання;
- розробити каталог портативних станків агрегатно-модульної конструкції для механічної обробки великогабаритних деталей та вузлів;
- використовувати параметричні 3D моделі оригінальних вузлів та елементів із постійним поповненням бази таких моделей.

Укрупнено математична модель синтезу структур компоновок портативних верстатів представлена у вигляді HIPO діаграми.

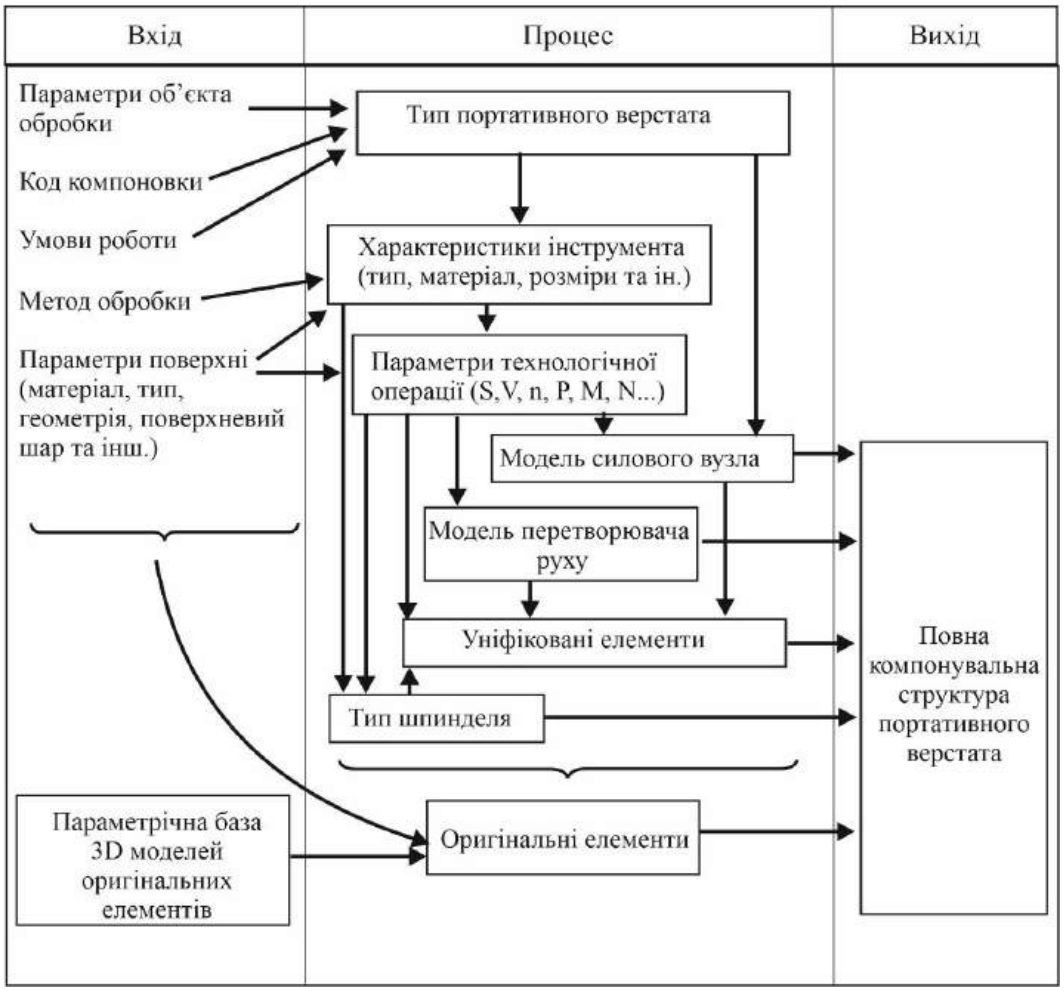


Рисунок 1 – HIPO діаграма синтезу компоновок портативних верстатів

Спочатку, на підставі умов роботи та коду компонування верстата, вибирається тип портативного верстата, для якого надалі формуватимуться інші елементи компонування. Паралельно з цим вибирається метод технологічного впливу на об'єкт обробки (технологічна операція) на підставі його технічних та розмірних характеристик (матеріал, його фізико-механічні властивості, форма та розміри оброблюваної поверхні, жорсткість конструкції, доступ до зони обробки, наявність поверхонь, які можуть бути використані як базові тощо). Для вибраного методу обробки підбирається ріжучий інструмент та встановлюються його характеристики.

Наступним етапом є визначення параметрів обраної технологічної операції (швидкість різання, подача, кількість обертів, силові характеристики тощо). Даний етап може виконуватися як автоматично на підставі нормативних матеріалів бази даних, так і вручну технологом на основі раніш отриманих знань обробки аналогічних деталей (поверхонь) з наступним введенням необхідної інформації в систему проектування.

Отримана технологічна інформація та обраний варіант компонування верстата дозволяють організувати вибір моделейнеобхідних силових вузлів, уніфікованих механізмів перетворення рухів, шпиндельної групи та деяких інших уніфікованих елементів конструкції портативного верстата. Вибір може здійснювати за декількома критеріями (вартість, габарити, маса тощо) залежно від необхідності забезпечити найбільш ефективне рішення. Зазвичай як критерій вибору приймається вартість, інші характеристики виступають як системи обмежень. Пошук може здійснюватися як на внутрішній базі даних, що включає наявні на виробництві або у найближчих партнерів модулі та агрегати, так і розширеній базі даних, яка включає відомих серійних постачальників необхідного обладнання (особливо це стосується енергетичного обладнання: пневмодвигунів та пневмомоторів).

Вочевидь, що використання запропонованої концептуальної моделі процесу проектування дозволяє значно скоротити терміни випуску портативних верстатів за рахунок автоматизації процесу проектування компонувальних рішень, широкого застосування уніфікованих вузлів і технологічних модулів (як нових, так і тих, що використовувались раніше), наявності параметричної бази 3D моделей оригінальних елементів і деталей , наявності технологічних процесів обробки оригінальних деталей та технологічних процесів монтажу портативних верстатів на місці експлуатації.

Зрештою, такий підхід дозволяє скоротити вартість портативного верстата.

Список використаних джерел

1. Забезпечення точності при обробці об’єктів важкого машинобудування портативними верстатами /І.Е. Яковенко, О.А. Пермяков, Є.В. Басова, О.В. Котляр, О.О. Руденко //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР/ Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 1 2023. – С. 160–166. – ISSN 2079-004X, doi: 10.20998/2079-0775.2023.1.15

2. Analysis and Synthesis of Mobile Portable Machine Tools Layouts /I. Yakovenko, D. Shepeliev, V. Sharlay, A. Permyakov, S. Slipchenko, Yu. Havryliuk //International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2022 pp 160–171. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2_16

3. Prospects for the Developmentof Process Equipmentin Aggregate-Modular Design for Sustainable Mechanical Engineering /I. Yakovenko, A. Permyakov, S. Dobrotvorskiy, Yev. Basova, A. Kotliar, A. Zinchenko // InternationalJournalofMechatronicsandAppliedMechanics, 2023, Issue 13, p. 145-156. dx.doi.org/10.17683/ijomam/issue13.18

4. Про створення каталогу портативних верстатів агрегатно-модульної конструкції для механічної обробки великогабаритних деталей і вузлів турбоагрегатів /О.А.Пермяков, М.Г.Іщенко, Д.К.Шепелєв //Матеріали тридцять першої міжнародної конференції «Нові технології в машинобудуванні. – Харків : ТОВ «Планета-Прінт», 2021. – С.19-20.

7. ПРОЦЕСИ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 623:355

Красношапка Р.Ю., аспірант
roman.krasnoshapka@mit.khpi.edu.ua
Кучерський В.Ю., аспірант
vladyslav.kucherskyi@mit.khpi.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ БРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Під час проведення бойових дій на території України гострим питанням стало відновлення та введення в експлуатацію військової бронетанкової техніки. Через активне користування деталі двигунів, валів вентилятора, гальмівних валів, корінних шийок колінчатих валів піддаються згубній дії тертя, абразивній дії пилу, високому тиску та температурі. Що призводить до виведення їх з ладу.

Роботи щодо захисту та подовженню строку експлуатації деталей техніки ведуться в багатьох країнах світу. Існує декілька сталих методів нанесення покриття: газовим полум'ям, електрично дуговий, плазмовим струменем або током високої частоти [1]. Газодетонаційний метод напилення металевого шару є одним з ефективних методів поліпшення експлуатаційних властивостей деталей агрегатів бронетанкової техніки. Завдяки високій температурі при контакті утворюється надійне зчеплення на молекулярному рівні напилюємого матеріалу з поверхньою деталі. Регулюючі кількість пострілів встановлюється потрібна товщина покриття.

Порівняння проводилось за такими параметрами покриття, як пористість, адгезія, шорсткість поверхні та вартість. Встановлено, що розроблена технологія має певні переваги щодо пористості та продуктивності. Дані вимірювань показують, що тиск продуктів детонації досягає 1,68 МПа. Температура продуктів детонації змінюється в діапазоні від 1845 до 2200 К [2].

Попередніми теоретичними та експериментальними дослідження підтверджено, що устаткування може застосовуватись до окремих частин деталей. Просте в використанні, має високу виробничу продуктивність, низьку трудомісткість.

Однак цей технологічний процес потребує певного вдосконалення для підвищення адгезії та зменшення пористості.

Список використаних джерел

1. Харламов Ю.А., Полонский Л.Г. Газотермическое напыление. Современное состояние и перспективы развития // Вісник Східноукр. нац. университету імені В.Даля, №2 (226), 2016, с. 5-19.
2. K.V. Korytchenko, V.Yu. Kucherskyi, R.Y. Krasnoshapka, D.P. Dubinin, S.M. Shevchenko, R.I. Kovalenko. Comparing of the Characteristics of Thermal Spray Coating Technologies: Air-Fuel Detonation Aluminium Spraying onto Steel with other Technologies. // Journal "Functional Materials" – 2023.

УДК 62-91 : 62-97/-98

[1,2]**Добротворський С.С.,** д.т.н., професор
sergiy.dobrotvorskyy@khpi.edu.ua
[3]**Попов В.В.,** д.т.н.
popov@fed.com.ua
[2]**Кошсінський М.,** Ph.D, доцент
mikolaj.koscinski@up.poznan.pl

ІДЕНТИФІКАЦІЯ 3D LIPSS СТУКТУР НА ПОВЕРХНІ МЕТАЛІВ ПІСЛЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ

[1] Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
[2] Познанський університет природничих наук, Польща
[3] Приватне акціонерне товариство «ФЕД»

Проблема суттєвого підвищення ефективності формоутворення деталей аерокосмічного агрегатобудування та їх ресурсу й надійності залишається актуальною та потребує розвитку існуючих підходів та методів. Тому розвиток концепції та принципів конструювання високоресурсних деталей агрегатобудування з урахуванням ефективного утворення наноструктурованих шарів є своєчасним.

Практична апробація сухого лазерного наклепу дозволила підтвердити можливість одержання як традиційних, так і періодичних 3D наноструктур завдяки застосуванню фемтосекундного лазерного випромінювання. Серед результатів натурних експериментів була доведена вірогідність отримання сухого лазерного наклепу у матеріалах зі створенням наноструктур при урахуванні конкуруючих квантово-механічних процесів поглинання, переносу енергії, абляції, випаровування, лазерної термохімії та кристалізації.

Аналіз шляхів створення гідрофільних і гідрофобних лазерно-індукованих періодичних поверхневих структур (LIPSS) деталей аерокосмічного агрегатобудування визначило передумови створення доступного методу контролю поверхні для оперативного спостереження за зміною гідрофобних властивостей поверхонь у часі. Це пояснюється тим, що формування LIPSS - досить складний процес, і його механізм в цілому не визначено. Вплив надшвидких імпульсів і миттєві локальні зміни властивостей матеріалів являють собою динамічні процеси із взаємними зворотними зв'язками, що значно ускладнює надійний контроль формування наноструктур.

Результатом поточного етапу практичного дослідження стала розробка, обґрунтування та апробація унікального методу контролю лазерно-індукованих періодичних поверхневих структур - відбиття ковзного інфрачервоного лазерного променя. Важливо зазначити, що такий метод придатний для визначення відповідності з'єднувальних поверхонь деталей аерокосмічного агрегатобудування, технологічним вимогам перед технологічними операціями збирання агрегатів, у процесі хонінгування, а також для контролю перед нанесенням клейових і лакофарбових покриттів. Результат практичного експерименту повністю корелює із результатом попередньо проведеного комп'ютерного моделювання.

Пропонований метод дає змогу з достатньою точністю оцінити геометричні характеристики мікрорельєфу за величиною параметра періоду дифракційної решітки. Таким чином, підтверджується висока інформативність технології контролю мікрорельєфу поверхні методом ковзного відбиття лазерного променя за одночасної її простоти, дешевизни та доступності.

УДК 621.763.002.2:678.027.94

Малков І.В., д.т.н., професор
i.malkov@khai.edu

МЕХАНІЗМ НАНОМОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

У сучасній авіаційно-космічній техніці однією з проблем залишається зниження ваги конструкцій літальних апаратів. Заміна металевих вузлів на полімерні дає змогу знизити вагу конструкції апаратів на 20-30%. Однак полімерні матеріали повинні поєднувати в собі високу міцність, стійкість до динамічних навантажень і мати малу вагу. Найперспективнішими матеріалами стають матеріали на основі скло- і вуглеволоконних наповнювачів з наномодифікованою епоксидною матрицею. Проблемою є пошук ефективного наномодифікатора, розробка технології його введення в матрицю і пошук оптимальних технологій виготовлення деталей і вузлів конструкцій літальних апаратів.

Отриманню полімерних композиційних матеріалів з різними наномодифікаторами в останнє десятиліття приділяється величезна увага. Про це свідчать обсяги фінансування програм з нанотехнологій провідних країн світу [1]. Щорічно уряд США інвестує в розвиток нанотехнології близько 4,4 млрд. дол., країни Європи - 3,5 млрд. дол, країни Азії - близько 4,0 млрд. дол.

Перші результати з отримання та використання нановуглецевих модифікаторів наведено в роботі американських вчених [2]. Нанотрубки, астралени, фулерени використовувалися ними для модифікації епоксидних смол. Кількість наномодифікатора була від 20 до 60 %. Ці модифікатори надзвичайно дорогі, технологія їх отримання прецизійна. Однак, саме астралени і фулерени - структурні різновиди вуглецю, і в даний час широко вивчаються. Особливий інтерес представляє C_{60}, пропонований вченими до застосування від медицини до аерокосмічної промисловості [2-4].

Особливість нановуглецю полягає в поверхні частинок (до 300 $м^2$ /г), що є активною за рахунок вільних π-електронів

Пропонуються дешевші методи отримання нановуглецю [4, 5]. Одержуваний ультрадисперсний алмазний порошок (УДА) містить як алмазну, так і графітову складову (УДА-Г) [4].

Найперспективнішим для застосування в промисловому масштабі пропонується шунгіт - мінерал, до складу якого входить від 30 до 70% нановуглецю [6].

Модифікація епоксидної смоли C_{60}, УДА і шунгітом значно покращують фізико-механічні характеристики: за даними робіт [2,4,6], межа міцності під час розриву і межа міцності під час зсуву збільшується на 30%.

Однак, більшість авторів не розглядають механізм взаємодії наномодифікаторів з матрицею на молекулярному рівні, обмежуючись твердженнями про зміну структури, хоча не тільки експериментальні результати, а й теоретична їх інтерпретація можуть забезпечити раціональний технологічний процес.

Метою роботи є розробка технології отримання полімерних композиційних матеріалів з поліпшеними фізико-механічними характеристиками за допомогою модифікації наночастинками.

Вибір та ідентифікація модифікаторів епоксидної матриці

Об'єктом дослідження були модифікатори різної природи - аеросил і вуглецеві матеріали - (алмазний порошок, шунгіт, графіт) з різною структурою. Метод досліджень - рентгеноструктурний аналіз. Рентгенограми отримано на дифрактометрі ДРОН-І, випромінювання CuK_{α}.

Ідентифікацію зразків проводили з використанням таблиць [7]. Розрахунок

міжплощинних відстаней (d) визначали за рівнянням Вульфа-Брегга:

$$2\sin\theta = \frac{\lambda}{d}, \quad (1)$$

Дисперсність порошків була розрахована за формулою:

$$\beta = \xi\lambda/D \times \cos\theta, \quad (2)$$

де θ - кути відбиття «біля підошви»;

D - середній розмір кристалітів;

ξ - множник, що враховує форму частинок та індекси площини, що відбиває, оскільки діапазон змін від 0,98 до 1,39, на практиці заведено вважати ξ=1;

β - інтегральна ширина;

λ – довжина хвилі випромінювання.

Цей метод найчастіше застосовується для визначення дисперсності кристалітів коксу, що мають дископодібну форму з товщиною 2-5 нм і діаметром 5-12 нм. [8].

Дані розмірів кристалів, розраховані за розширенням ліній на рентгенограмі задовільно збігаються з даними електронної мікроскопії.

Ідентифікація модифікаторів за рентгенограмами показала наступне:

а) аеросил, на рентгенограмі (рис.1) чітко індикуються рефлекси від площин 101; 112; 100, що відповідає кристалічній структурі SiO_2 гексагональної модифікації. Домішні лінії не ідентифікувалися. Дисперсність порошків до 5 нм.

б) алмазний порошок (рис.2) містить дві кристалічні структури вуглецю - алмазну та графітову. Індекси площин чітко визначаються та наведені в таблиці 1.

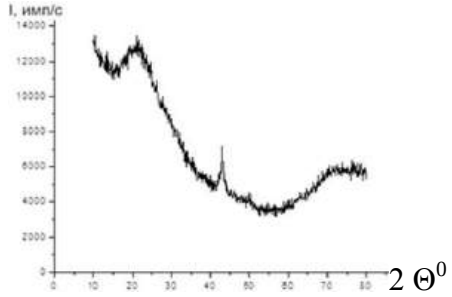


Рис. 1. Дифрактограма аеросилу А-300

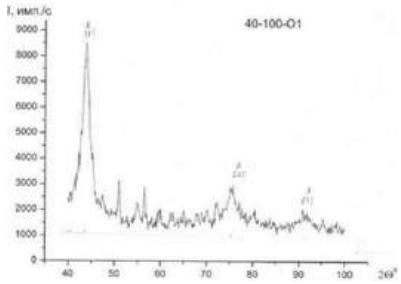


Рис.2. Дифрактограма алмазного порошку УДАГ

Таблиця 1- Розшифрування рентгенограм

Інтенсивність	Індекси (h, k, l)	Тип
100	111	А
22	220	А
11	311	А

Співвідношення алмазної та графітової складової приблизно 4:1. Дисперсність склала 5-10 нм, що узгоджується з даними роботи [4].

в) шунгіт (рис.3) – природний матеріал, що містить від 30 до 70% вуглецю. У шунгіті, який використовується в нашому експерименті міститься вуглець в одному з різновидів - графіті. Матеріал текстурований з чітко вираженою орієнтацією графіту за площиною 002; 004 та вмістом SiO_2 більше 50%.

г) терморозширений графіт (ТРГ), що випускається промисловістю України, має таку ж кристалічну структуру, що й шунгіт (рис. 4).

На відміну від шунгіту, він не має значної кількості домішок (рис. 3, 4).

Виходячи з порівняння вивчених модифікаторів, були обрані - аеросил, шунгіт та терморозширений графіт з метою дослідити вплив (кількісного та якісного) модифікатора на фізико-хімічні властивості наномодифікованого композиту на основі епоксидного компаунду.

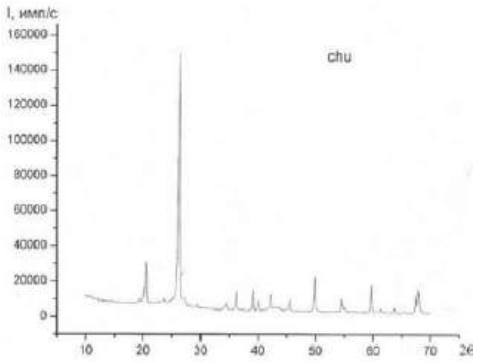


Рис. 3. Дифрактограма шунгіту

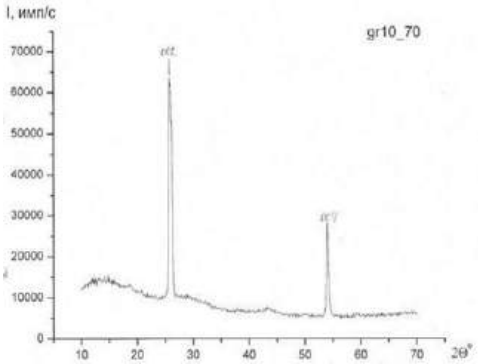


Рис. 4. Дифрактограма терморозширеного графіту ГС-4

Оптимізація режимів одержання наномодифікованих полімерних композитів

Об'єктом дослідження обрано полімерні композити на основі епоксидної смоли, наномодифіковані: а) аеросилом; б) шунгітом; в) терморозширеним графітом; г) алмазним порошком. Епоксидні смоли – це продукти поліконденсації епіхлоргідрину з поліатомними фенолами. Активними групами, що беруть участь у процесі полімеризації, в даному випадку утворення сітчастої структури при введенні затверджувача є: епоксидна $CH(CH_2)O$ та гідроксильна OH групи.

Затверджувачем служив гексаметилендіамін (ГМДА) - NH_2 $(CH_2)_6$ NH_2. Згідно з літературними даними, найбільший ефект отримували при співвідношенні матриця-модифікатор 100:(1-10) вага %. Для з'ясування механізму взаємодії матриці з твердою фазою модифікатора отримано серії зразків із вмістом модифікаторів від 1 до 20% (табл.2).

Висушений модифікатор вводили в затверджувач, ретельно перемішували і витримували при температурі t=120°C до припинення виділення бульбашок повітря. Затвердіння зразків проводили за наступним режимом:

- на повітрі (20-40^{0}C) 6 годин + 5 годин при температурі 120 ^{0}C.

Таблиця 2 – Співвідношення матриця: модифікатор

Модифікатор	На 100 вагових % матриці							
	1	2	3	4	5	6	10	20
Аеросил	+	+	+	+	+			
Шунгіт	+	+	+	+	+		+	+
Графіт	+	+	+	+	+	+	+	+
Алмазний порошок		+			+		+	+

Про зміну у структурі судили щодо зміни інтенсивності ліній на рентгенограмах. На рис. 5 наведена рентгенограма полімерної матриці ЕДТ-10 без модифікаторів. Максимуми вказують на стабільну структуру з відстанню 4,52 Ă між блоками.

Введення аеросилу до 5% не призводить до зміни основної відстані, але знижує інтенсивність. Ймовірно, дисперсність SiO_2 дозволяє впровадитись у сітчасту структуру

матриці (рис.6). Такий самий ефект спостерігали при введенні 2% алмазного порошку.

Модифікаторам шунгіту та терморозширеному графіту приділено особливу увагу, оскільки механізм взаємодії вуглецевих наповнювачів з епоксидною матрицею не з'ясовано, а саме співвідношення «модифікатор: матриця» є визначальним для отримання композитних матеріалів з покращеними фізико-механічними властивостями.

Аналіз рентгенограм серій зразків, модифікованих шунгітом (рис.7) та терморозширеним графітом (рис.8) показує значну зміну в структурі полімерного композиту.

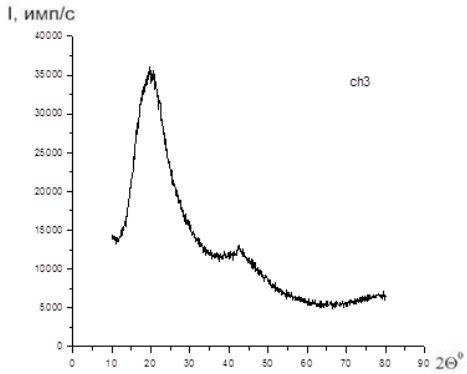


Рис.5. Дифрактограма епоксидної матриці ЕДТ-10 без модифікатора

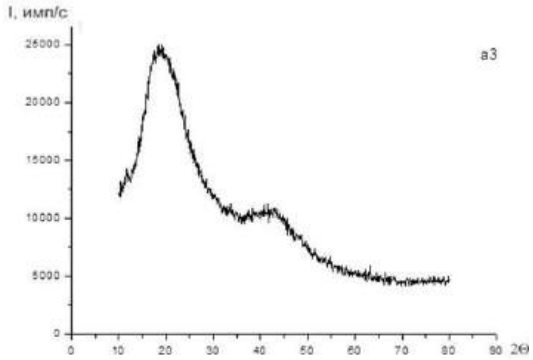


Рис.6. Дифрактограма епоксидного композиту + 3% аеросилу

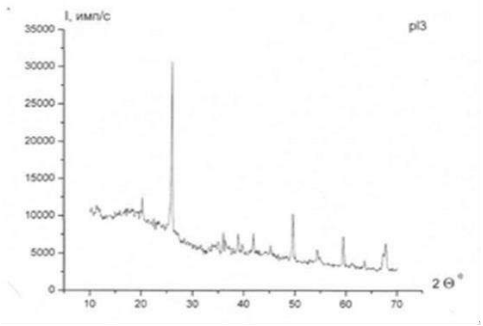


Рис.7. Дифрактограма епоксидного композиту +3% шунгіту

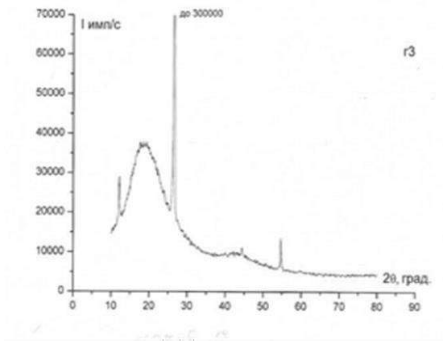


Рис.8. Дифрактограма епоксидного композиту + 3% технічного графіту ГС-4

Зміна інтенсивності максимумів, що характеризують структуровані блоки і відстані між ними в полімері, залежить від кількості модифікатора, що вводиться.

На основі раціональних режимів отримання модифікованих полімерних композитів розроблено механізм взаємодії наномодифікаторів з полімерною матрицею.

Висновки

1. Проведено аналіз сучасного стану проблеми створення матеріалу на основі полімерних матриць з наномодифікатором та обґрунтовано значний вплив наномодифікаторів різної природи на структуру полімерного композиту.

2. Зроблено вибір наномодифікаторів, ідентифіковано їх структуру та дисперсність.

3. Встановлено, що утворення більш однорідної структури призводить до підвищення властивостей міцності полімерних композитів.

4. Вивчення дослідних зразків модифікованих епоксидних композитів методом рентгенофазового аналізу підтверджує зміну структури композиту.

5. Запропоновано механізм взаємодії наномодифікаторів з епоксидною матрицею на молекулярному рівні.

Список використаних джерел

1. Ляшенко, В.И. Большая книга о малом наномире /В.И. Ляшенко, И.В. Жихарев, К.В. Павлов, Т.Ф. Бережная – Луганск: «Альмаматер», 2008. – 580 с.
2. A. Bogdanovich etal. Fabrication and Mechanical characterization of Carbon Nanotube Yarn, 3-D Braids and Their Composites. SAMPE Journal.Vol. 43№1, 2007. – p.6-17.
3. Пономарев, А.Н. Астролены - углеродные наномодификаторы фуллероидного типа / А.Н. Пономарев, В.А. Никитин, Б.А. Шахматов и др. // Труды 4-й Международной конференции «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов» – М.: Знание, 2006. – С. 147-154.
4. Пузырь, А.П. Модифицированные наноалмазы детонационного синтеза: фракционирование, свойства, варианты применения / А.П. Пузырь, В.С. Бондарь и др. //Труды 4-й Международной конференции «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов» – М.: Знание, 2006. – С. 649-653.
5. Гуняев, Г.М. Использование природных шунгитов для упрочнения и придания проводящих свойств конструкционным углепластикам / Г.М. Гуняев, Г.В. Начинина, И.А. Ковалевский // Труды 4-й Международной конференции «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов» – М.: Знание, 2006. – С. 102-106.
6. Справочник по ренгеноструктурному анализу поликристаллов – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1961. – 863 с.
7. Уманский, Я.С. Кристаллография, ренгенография и электронная микроскопия / Я.С. Уманский [и др.] – М.: Металлургия, 1982. – 631 с.
8. Малков, И.В. Физико-химические основы наномодификации полимеров / И.В. Малков, Л.П. Бондарь, Г.В. Сыровой // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008, вип. 5/ 2008 (52) частина 1. – С. 70-71.

УДК 621.385:533.9.03

Сисоєв Ю.О., д.т.н., с.н.с.
i.sysoiev@khai.edu
Торосян О.В., асистент
o.tarasyan@khai.edu

УСУНЕННЯ ПРОДУКТІВ ЕРОЗІЇ КАТОДА НА ВІКНІ ВВЕДЕННЯ У ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМАХ ЗАПАЛЮВАННЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Проблема із запиленням продуктами ерозії катода вікна введення (ВВ) променю лазеру у вакуумну камеру полягає у тому, що з зменшенням прозорості ВВ суттєво падає ймовірність збудження вакуумної дуги. Вона вирішується в сучасних джерелах плазми в основному способом мінімізації кількості продуктів ерозії (насамперед пари матеріалу) катода, які потрапляють на ВВ променю лазера. Прикладами реалізації цього способу є роботі [1, 2], у яких ВВ закрите заслінкою, що відкривається тільки на короткий час під час проходження лазерного випромінювання (ЛВ).

Більш кардинально ця проблема вирішується завдяки повному закриттю шляху потоку пари матеріалу катода до ВВ. Прикладом цього вирішення є імпульсне джерело плазми [3], у якому приблизно через дві секунди (1000 імпульсів) роботи джерела з графітовим катодом через осадження вуглецевої плівки прозорість ВВ зменшується на 60 %, що призводить до такого ж зниження ймовірності збудження дуги. З метою захисту ВВ променю лазера від запилення перед ним встановлюється стрічка з прозорого полімерного матеріалу, яка під час роботи джерела рухається перед вікном, безперервно оновлюючи прозорість каналу введення випромінювання.

Запропоновані рішення по захисту ВВ від запилення не є досконалими, тому що вони суттєве ускладнюють конструкцію системи запалювання (СЗ) і самого джерела плазми, що підвищує його вартість та істотне знижує надійність. Крім того, рішення по мінімізації запилення вікна ведення [2] все одно вимагають періодичного очищення ВВ або його заміни.

Аналіз умов конденсації пари металів на ВВ показав, що конденсація не відбувається ні на яких мішенях, якщо їх температура не нижче деякої критичної температури, що залежить від щільності потоку пари [4]. Ця температура буде визначатися також матеріалом, який надходить до підкладки, а також рядом інших обставин. У самому першому наближенні її можна прийняти не менше температури плавлення матеріалу катода, пари якого надходять на підкладку, якою в нашому випадку є ВВ. Оскільки ВВ виготовляють з різних видів скла, найбільш термостійким з яких є кварцове скло, що витримує температуру 1100 ºС (короткочасно до 1400...1500 ºС), а з іншого боку температура плавлення одного з найчастіше застосовуваних матеріалів катода джерела плазми – титану є 1671 ºС, то можна зробити висновок, що підтримувати температуру ВВ на рівні, при якому на ньому не відбувається конденсація є неможливим.

Виходом з такого положення може бути один із способів введення енергії у зону конденсації: або в дуже тонкий поверхневий шар ВВ, на який надходять молекули матеріалу катода, або безпосередньо в шар конденсату, що формується. Ця енергія може вводитися відомими способами – НВЧ випромінюванням, електронним променем, випромінюванням лазера.

Нами було застосовано введення енергії променем лазера. Відомо, що щільність потужності q лазерного випромінювання на поверхні, що очищується, має бути такою, щоб забезпечувався механізм ударно-механічного очищення (див. рис. 1), який реалізується при

щільності потужності q лазерного випромінювання, що лежить у діапазоні 10^4 – 10^5 Вт/см^2 [5]. При меншій щільності потужності q, що вводиться в плівку (випадок, коли $q < 10^4$ Вт/см^2), на поверхні, що очищується, відбуватиметься просто теплове нагрівання сформованої плівки без її видалення. У разі коли $q > 10^5$ Вт/см^2 видалення плівки відбуватиметься за випарним механізмом лазерного очищення. Однак при реалізації випарного механізму температура плівки може досягати декількох тисяч градусів, а оскільки ця плівка знаходиться на поверхні вікна введення лазерного випромінювання (виготовленого з крихкого матеріалу – скла), можливий локальний перегрів цієї поверхні з її подальшим руйнуванням.

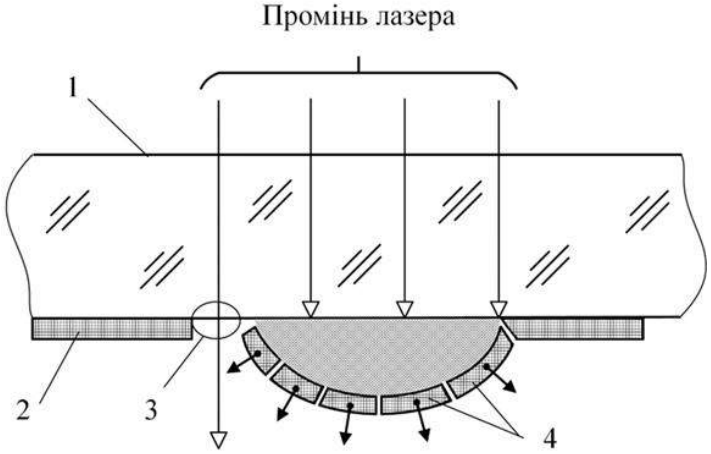


Рис. 1. Механізм ударно-механічного очищення поверхні вікна введення лазерного випромінювання від сформованої плівки:
1 – вікно введення променю лазера,
2 – плівка (острівці плівки), яка лежить на поверхні вікна введення,
3 – ділянка поверхні вікна введення, вільна від острівців плівки,
4 – фрагменти зруйнованої плівки.

Запропонованій спосіб очищення ВВ від запилення був реалізований у розробленому імпульсному вакуумно-дуговому генераторі плазми, зображеному на рис. 2.

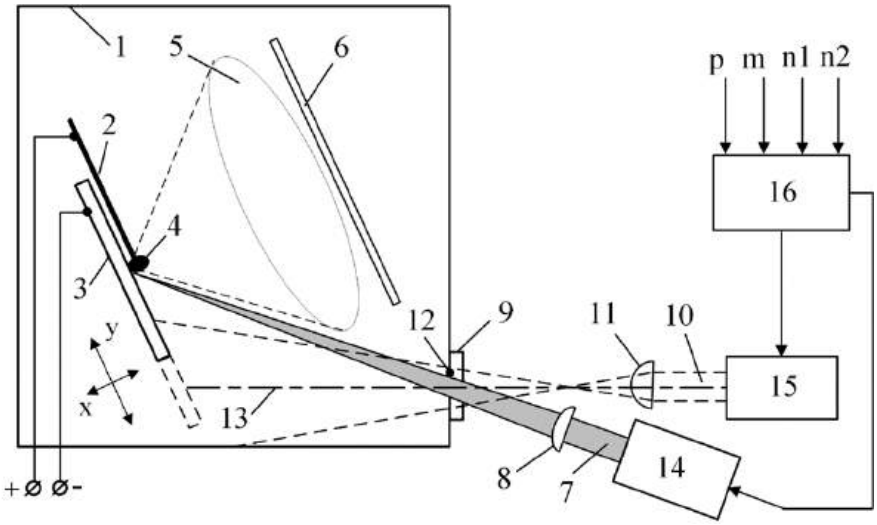


Рис. 2. Конструкція розробленого імпульсного джерела плазми з лазерною СЗ:
1 – вакуумна камера; 2 – анод; 3 – катод, що переміщуються; 4 – катодна пляма вакуумної дуги; 5 – згусток плазми, який створюється катодною плямою;
6 – підкладка; 7 – промінь лазера, який ініціює вакуумну дугу; 8 – оптична система, що фокусує ініціюючій промінь лазера на катод; 9 – вікно введення лазерного випромінювання; 10 – допоміжній промінь лазера; 11 – оптична система, що розфокусує допоміжний промінь лазера; 12 – бік вікна введення, на якому конденсується матеріал катоду; 13 – оптична вісь допоміжного промінню лазера; 14 – допоміжний лазер; 15 – основний лазер; 16 – блок керування

Імпульсний генератор плазми розміщений усередині вакуумної камери 1, що відкачується до робочого тиску порядку 10^{-3} Па. Основні його елементи – стрижневий анод 2 і плоский катод 3 були виготовлені з вуглецю марки АГ–1500 . Напруга живлення на електроди пристрою подавалася від формуючою лінії (на рис. 2 не показано). Для рівномірного вироблення катоду було організовано (за допомогою крокових двигунів) його переміщування по взаємно перпендикулярним координатам X і Y.

Збудження вакуумно-дугового розряду в генераторі плазми здійснюється імпульсом променю 7 лазера 14, який проходить через довгофокусну лінзу 8, вікно введення 9 і фокусується на поверхні катода поблизу краю анода. При цьому на поверхні катода, куди потрапив промінь лазера, виникає катодна пляма 4 вакуумної дуги. Ця катодна пляма створює плазмовий потік 5, який потрапляє на підкладку 6, формуючи на ній покриття з матеріалу катода.

Для створення імпульсів лазерного випромінення використовувався Nd-YAG-лазер. У нашому випадку він працював у режимі λ = 1,06 мкм, енергія в імпульсі 6 мДж, частота імпульсів 300 Гц, пікова потужність 67 кВт. Сфокусована пляма променю лазера на поверхні катода мала параметри: діаметр плями 150 мкм, щільність потужності у плямі $3{,}8 \cdot 10^8$ Вт/см^2.

Для очищення поверхні 12 вікна введення 9 застосовується лазерний промінь 10, створений лазером 15, оптична вісь 13 якого перпендикулярна поверхні 12 вікна введення 9 і який проходить через короткофокусну лінзу 11, фокус якої розташовується поза вакуумною камерою 1.

Роботою лазерів керує блок керування 16, до якого надходить інформація про тиск у вакуумний камері p, матеріал катода m, кількість необхідних спрацьовувань імпульсного джерела плазми (імпульсів вакуумно-дугового розряду) n1 і кількість спрацьовувань імпульсного джерела плазми у поточному технологічному процесі n2.

Імпульсне джерело плазми було використане для отримування алмазоподібних плівок (DLC) на зразках з нержавіючої сталі товщиною близькою 1 мкм. Для цього здійснювалось 1,6 10^5 спрацьовувань пристрою при частоті збудження імпульсів вакуумної дуги 300 Гц. При роботі імпульсного джерела плазми через кожні 100 актів збудження дуги подавався один імпульс ЛВ від допоміжного лазера, яке очищувало ВВ від плівки, що створювалась на ньому до того моменту. Система лазерного очищування у процесі отримання DLC покриттів забезпечувала ймовірність збудження вакуумної дуги у імпульсному джерелі плазми на постійному рівні близькому до 95 % як з початку, так і у кінці процесу напилення.

Список використаних джерел

1. Сысоев, Ю. А. Автоматизированная система измерения температуры для вакуумных многоцелевых технологических установок / Ю. А. Сысоев // Новые технологии в машиностроении : тр. V Междунар. конф. – Рыбачье, 3-8 сент. 1996. – Харьков : ХАИ, 1996. – С. 285–287.

2. Пат. РФ № 2176681, МПК C23C14/00. Способ получения покрытий в вакууме, устройство для получения покрытий в вакууме, способ изготовления устройства для получения покрытий в вакууме / В. В. Волков, С. И. Мирошкин, С. В. Шалимов, А. А. Савельев. – Опубл. 10.12.2001.

3. Scheibe, H.-J. Preparation of diamond-like films by laser-controlled arc deposition (LASER – ARC) [Text] / H.-J. Scheibe, D. Dreschner // Thin Films Proc. of the joint 4th Int. Symp. TATF’94 and the 11th Conf. HVITF’94, Dresden, march 7–11, 1994. – P. 139-142.

4. Rideal, Eric K. Concepts in Catalysis. Aca-demic Press Publ., 1968. 194 p.

5. Афанасьєва О. В. Лазерна поверхнева обробка матеріалів / О. В. Афанасьєва, Н. О. Лалазарова, Є. П. Федоренко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2020. 100 с.

УДК 621.793.7.027.236

Сисоєв Ю.О., д.т.н., с.н.с.
i.sysoiev@khai.edu
Торосян О.В., асистент
o.tarasyan@khai.edu

КОМБІНАЦІЙНИЙ ІМПУЛЬСНИЙ ВАКУУМНО-ДУГОВИЙ ГЕНЕРАТОР ПЛАЗМИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Проблема створення імпульсного вакуумно-дугового джерела плазми з високим ресурсом до цього моменту остаточно не вирішена, в першу чергу через недостатній ресурс відомих систем запалювання вакуумно-дугового розряду (див. роботи [1-4]. З метою підвищення ресурсу таких пристроїв був розроблений комбінаційний імпульсний вакуумно-дуговий генератор плазми, конструкція якого схематично зображена на рис. 1.

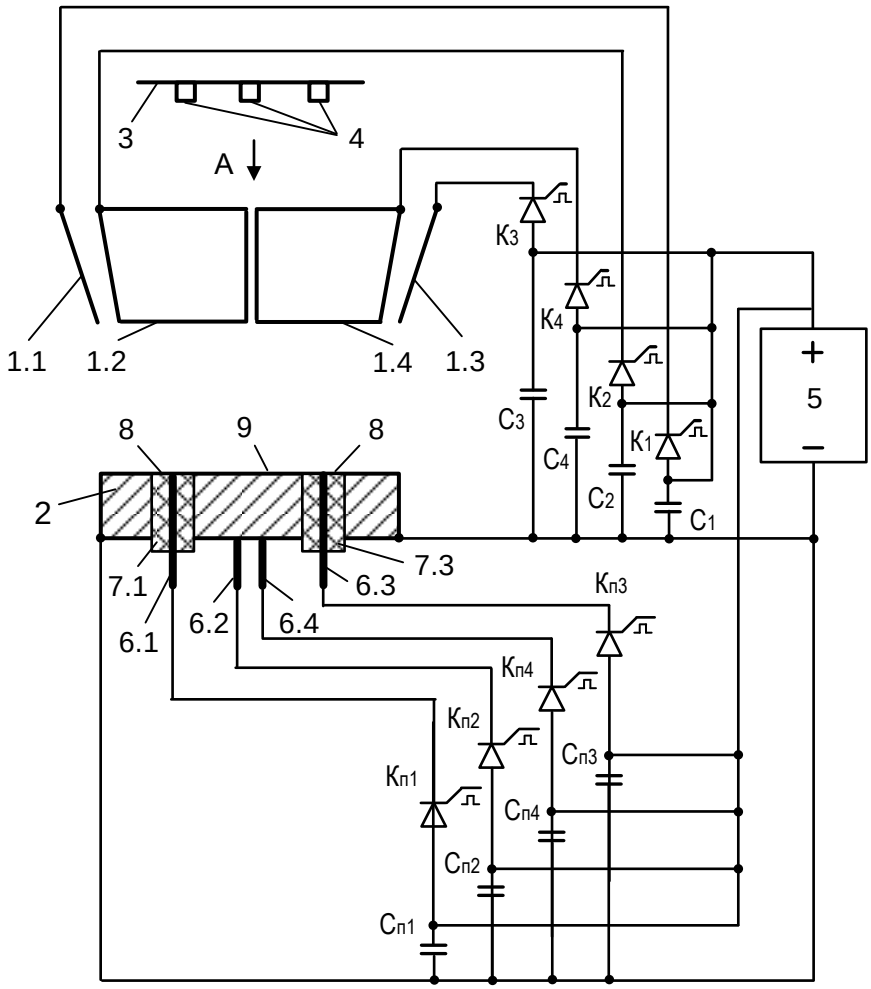


Рис. 1. Конструкція комбінаційного імпульсного вакуумно-дугового генератора плазми: 1.1 … 1.4 – секції анода 2 – катод; 3 – тримач підкладки з виробами 4; 5 – джерело живлення; 6.1 … 6.4 – підпалюючи електроди; 7.1 … 7.4 – діелектрична втулка; 8 – струмопровідна плівка; 9 – робоча поверхня катоду; $К_1 \ldots К_4$ – комутуючі елементи у ланцюзі вакуумної дуги; $С_1 \ldots С_4$ – накопичувачі у ланцюзі вакуумної дуги; $К_{п1} \ldots К_{п2}$ – комутуючі елементи у ланцюзі підпалювання вакуумної дуги; $С_{п1}$ … $С_{п2}$ – накопичувачі у ланцюзі підпалювання вакуумної дуги

У розробленому імпульсному генераторі плазми завдяки використанню анода, який секціонований, і застосуванню розділених ланцюгів живлення як основного імпульсного дугового розряду, так і ланцюгів запалювання дуги, здійснюється незалежна робота кожної секції цього пристрою. По суті, запропонована конструкція є комбінацією чотирьох імпульсних джерел плазми в одному. узгоджена робота яких забезпечується системою керування (на рис. 1 не показано).

Таке рішення дозволяє отримувати наступні результати:

– підвішуєтеся ресурс системи запалювання у N разів, де N – кількість секцій анода і вузлів запалювання вакуумної дуги; крім того крім того, почергова робота системи збудження дуги сприяє підвищенню надійності її запалювання, оскільки умови для формування на робочій поверхні діелектричної втулки струмопровідної плівки, яка є необхідною складовою для збудження дуги, покращуються;

– досягається рівномірне вироблення робочої поверхні катода, для чого вузли збудження вакуумної дуги розміщуються рівномірно по поверхні катода; у загальному випадку кількість секцій (вузлів) підпалюючого електрода визначається діаметром катода і тривалістю імпульсних вакуумно-дугових розрядів, а час існування імпульсних розрядів визначає радіус окружності навколо кожної секції підпалюючого електрода, де відбувається ерозійне вироблення катоду;

– забезпечується підвищення продуктивності роботи джерела плазми, оскільки імпульси вакуумної дуги в запропонованому джерелі плазми можуть слідувати один за одним через дуже короткий проміжок часу, що можливо завдяки тому, що накопичувальний конденсатор у кожній секції анода, який розряджається після її спрацювання, має час на зарядження більший завдяки часу, поки будуть спрацьовувати інші секції анода, а зменшення часу затримки між послідовними імпульсами джерела плазми призводить до суттєвого підвищення продуктивності роботи запропонованого пристрою, так як співвідношення між часом існування імпульсних вакуумно-дугових розрядів (продуктивний час) і часом затримки між імпульсами (допоміжний час) суттєво збільшується;

– підвищення якості отримуваних покриттів, яке досягається за рахунок того, що проміжок часу між імпульсами вакуумно-дугового розряду у запропонованому пристрої суттєво зменшується у порівнянні відомими пристроями а це призводить до меншого часу негативного впливу залишкової атмосфери у робочому об’ємі вакуумної камери на покриття, що формується на оброблюваних виробах тільки під час протікання струму імпульсного вакуумно-дугового розряду.

Список використаних джерел

1. Сисоєв, Ю. О. Підвищення ефективності запалювання вакуумно-дугового розряду в джерелах плазми. / Ю. О. Сисоєв, Ю. В. Широкий, О. В. Торосян // АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ, 2022, № 2(178), С. 47–54.

2.. Сисоєв Ю.О. Запалювання вакуумно-дугового розряду в джерелах плазми нетрадиційними методами. / Ю. О. Сисоєв, Ю. В. Широкий, А. Ю. Сисоєв // АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ, 2022, № 4(180), С. 36–45.

3. Scheibe, H.-J. Preparation of diamond-like films by laser-controlled arc deposition (LASER – ARC) [Text] / H.-J. Scheibe, D. Dreschner // Thin Films Proc. of the joint 4th Int. Symp. TATF’94 and the 11th Conf. HVITF’94, Dresden, march 7–11, 1994. – P. 139-142.

4. Пат. BY 15519, МПК H 05H 1/24, C 23C 14/24 Импульсный генератор электроэрозионной плазмы для нанесения алмазоподобной тонкой пленки / Зеленин В. А.; Зеленковский Э. М.; Акула И. П. Опуб. 2012.02.28.

UDC 538.95

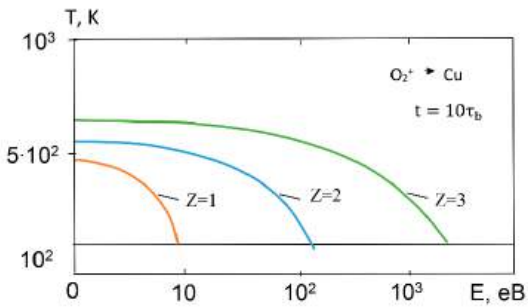
Shirokii Iu., Ph.D. technical sciences,
associate professor,
i.shyrokyi@khai.edu
Torosian O., assistant,
o.tarasyan@khai.edu
Torosian-Zhydieieva H., postgraduate
goarita888@gmail.com

OBTAINING NANOSTRUCTURES IN NEAR-SURFACE LAYERS

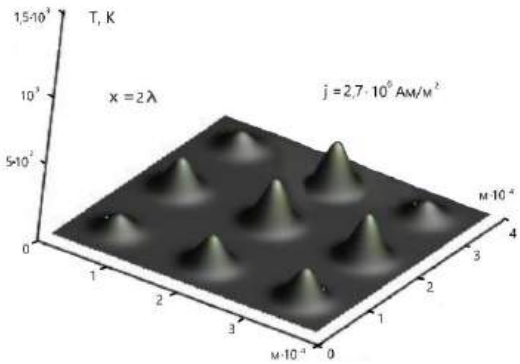
National Aerospace University named by N. E. Zhukovsky
"Kharkiv Aviation Institute"

The paper developed a mathematical model for describing the generation of temperature fields during ion-plasma treatment of the copper surface during the formation of nanostructures in the near-surface layers. Conducted studies of temperature fields during ion-plasma treatment of copper with oxygen ions show that it is possible to create temperature fields with high temperature gradients in a given plane $x = 0,5\lambda_m$, at a current density of J = $2.7 \cdot 10^6$ A/m^2 with fairly high temperature stress indicators (10^8 N/m), which will contribute to the formation of stable nanostructures. The created theoretical model is regulated and controlled. It will be in demand for improving the technologies for obtaining nanostructures by plasma-ion methods.

Also, thanks to the developed mathematical model, the structures of the temperature fields during the ion-plasma treatment of copper with a large number of oxygen ions for different particle penetration depths were obtained (Fig. 1).



a



b

Fig. 1. a – dependence of temperature on ion energy at different exposure times;
b – temperature distribution during the action of oxygen ions on copper at different depths, at a current density of J = $2.7 \cdot 10^6$ A/m^2

The developed model will contribute to a more accurate determination of technological parameters for the formation of conditions that will contribute to the stable growth of nanostructures in the near-surface layers of the processed materials. The temperature fields in the zone of action of ions were calculated for three levels of the plane of the surface layer depending on the depth of penetration of ions for different times of their interaction and at different current densities from $2.7 \cdot 10^6$ to $2.1 \cdot 10^8$ A/m^2.

УДК 621.9.044

[1]**Широкий Ю.В.,** к.т.н, доцент
i.shyrokyi@khai.edu
[2]**Костик К.О.,** д.т.н, професор
[1]**Постельник Т.О.,** асистент

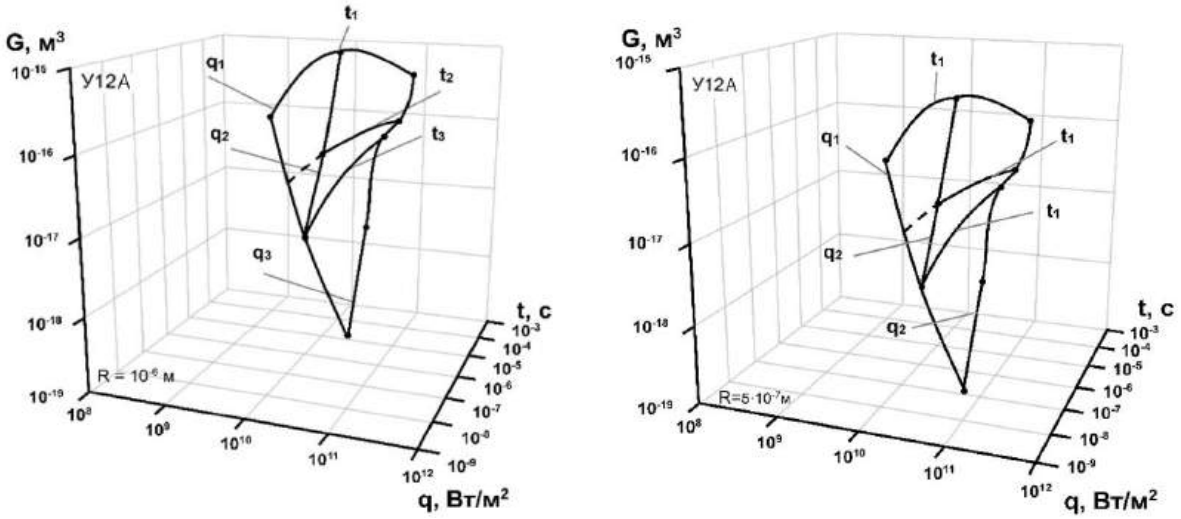
ПОБУДОВА ПРОСТОРОВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ОБ'ЄМУ НАНОСТРУР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЇХ ОТРИМАННЯ НА СТАЛІ У12А

[1]Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
[2] Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Сучасні наукові дослідження наноструктурованих матеріалів (НС) та наноструктур зумовлені як можливістю появи нових матеріалів, так і появою нових властивостей у вже відомих матеріалах після виникнення на їхній поверхні наностуктур.

Особливої уваги заслуговують перспективи створення наноструктурних шарів на деталях та різальному інструменті (РІ). Так, наприклад, інструменти зі сталі У12А на даний час практично не використовуються через невисокі експлуатаційні характеристики цих інструментів, а при створенні на їх поверхні наноструктурних шарів появляється велика ймовірність підвищення їх працездатності та ефективності за рахунок унікальних властивостей НС. У наноструктурному шарі суттєво підвищується твердість, а, отже, збільшується і зносостійкість РІ.

Використовуючи раніше запропоновану теплову модель проведено дослідження зміни максимальної температури на різних глибинах поверхневого шару У12А. Також досліджувались швидкості зміни максимальної температури та температурної напруги від щільності теплового потоку лазерного випромінювання (ЛВ).



а б

Рисунок 1 – Залежність об'єму нанокластера від щільності теплового потоку ЛВ q та часу його дії t у зоні, де утворюються наноструктури

Для визначення технологічних параметрів ЛВ, що забезпечують отримання НС, були побудовані просторові залежності об'єму НС від щільності теплового потоку та з різним часом його дії від $t = 10^{-9}$ с до $t = 10^{-3}$ с для радіуса плями $R=10^{-6}$ м (рис. 1а) та $R=5\cdot10^{-7}$ м (рис. 1б). Очевидно, що отримання НС ймовірніше для розміру плями з радіусом $R=5\cdot10^{-7}$ м. Отримані результати дозволяють, знаючи необхідний розмір зерна, вибрати технологічні параметри ЛВ необхідні для утворення НС.

UDC 538.95

Shirokii Iu., Ph.D. technical sciences,
associate professor
i.shyrokyi@khai.edu
Torosian O., assistant
o.tarasyan@khai.edu
Torosian-Zhydieieva H., postgraduate
goarita888@gmail.com

EFFICIENCY OF THE MODEL WITH HIGH TEMPERATURE GRADIENTS

National Aerospace University named by N. E. Zhukovsky
"Kharkiv Aviation Institute"

In the paper, a theoretical model was used and studied, which considers various mechanisms of target energy transfer during ion-plasma treatment, and the dependence of the temperature change on the ion energy in the copper target for different interaction times t was obtained. The maximum surface temperature is reached at the end of the thermal action of the ion. In this case, the highest temperatures correspond to the interaction time $t_1 = 1{,}1\tau_b$, while at the same time, the temperature does not increase significantly when the interaction time increases.

Also, thanks to the developed mathematical model, the structures of the temperature fields during the ion-plasma treatment of copper with a large number of oxygen ions for different particle penetration depths were obtained (Fig. 1).

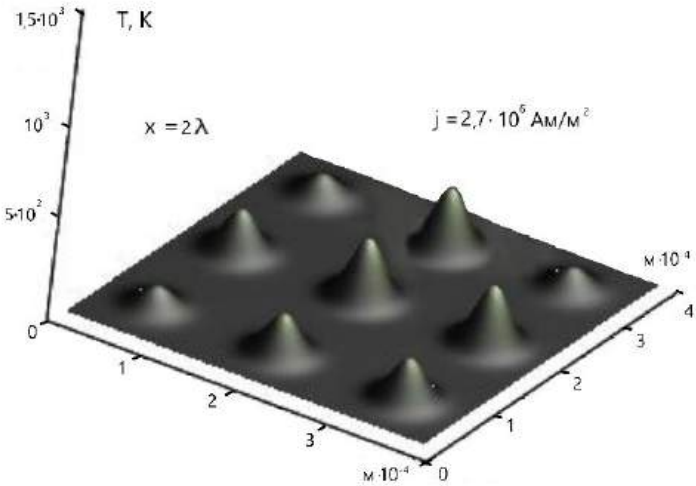


Fig. 1. Temperature distribution during the action of oxygen ions on copper at different depths, with a current density of $J = 2.7 \cdot 10^6$ A/m^2

Conducted studies of temperature fields during ion-plasma treatment of copper with oxygen ions show that it is possible to create temperature fields with high temperature gradients in a given plane $x = 0{,}5\lambda_m$, at a current density of $J = 2.7 \cdot 10^6$ A/m^2 with fairly high temperature stress indicators (108 N/ m), which will contribute to the formation of stable nanostructures.

8. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

УДК 65.011.56 : 621

Бондар Д.В., здобувач
bondard1996@gmail.com
Басова Є.В., к.т.н., доцент
Yevheniia.Basova@khpi.edu.ua
Водка О. О., к.т.н., доцент
oleksii.vodka@khpi.edu.ua

ЦИФРОВА КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ АНСАМБЛЕВИХ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ВИРОБНИЦТВА SMEs

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”

Сучасне машинобудування характеризується широким застосуванням цифрових сервісів на всіх етапах життєвого циклу виробу. Однак, існуючі системи автоматичного управління та прорахунку вартості виробництва є або закритими та комерційними, або не надають повною мірою можливостей для невеликих груп інженерів проектувальників у швидкому проектуванні нових деталей або при збиранні комплексних агрегатів, що особливо актуально для малих та середніх машинобудівних підприємств (SMEs), в умовах євроінтеграції. На сьогоднішній день для вирішення такої задачі здебільшого залучають численну кількість фахівців з проектування, які в свою чергу місцево координують процеси змін та адаптації виробництва. Однак слід зазначити, що такий підхід має обмежену масштабованість та високу додаткову вартість.

В межах парадигми Industry 4.0 та в контексті сучасних технологій машинного навчання, відкриваються нові можливості для прискорення машинобудівного виробництва, наприклад шляхом автоматизації вибору технологічних процесів виготовлення нових деталей на основі попередньо прийнятих рішень.

Застосування методів класифікації зображень деталей на основі кластеризації складних об’єктів дозволить автоматизувати аналіз візуальної інформації про об’єкт виробництва та ідентифікувати його характеристики, що визволить потенціал для швидкого і точного вибору оптимальних виробничих процесів. Використання ансамблевих методів для вирішення виробничих задач SMEs дозволить комбінувати прогнози декількох класифікаторів для отримання більш об'єктивних та надійних результатів із вибору ефективного методу виготовлення поточного об’єкту виробництва у відповідь на швидкозмінний попит на ринку. Наприклад, використання набору текстових атрибутів дозволить враховувати інші релевантні параметри, які можуть вплинути на процеси виробництва.

Значна частина сучасних рішень з моделювання та обрахунку вартості виробництва деталей машин та збирань ґрунтується на емпіричних підходах. Серед популярних систем нами були проаналізовані наступні представники SAP ERP, Dassault Systèmes CATIA, Siemens Teamcenter. Було підкреслено, що системи із переліку широко використовують для моделювання та прогнозування виробничих процесів, однак вибір параметрів пов'язаних із оптимізацією вартості виробництва, у більшості випадків, все одно залежить від фахівців, які використовують свій досвід та знання для визначення оптимальних значень.

В контексті огляду існуючих рішень з моделювання вартості виробництва, стало очевидним, що є потреба в більш точних та ефективних методах прийняття рішень. Розробка класифікатору може відіграти ключову роль у полегшенні процесу початкового аналізу та оцінки вартості виробництва для забезпечення сталого розвитку SMEs. На підставі існуючих даних про попередньо прийняті рішення, такий класифікатор зможе надавати рекомендації з

високою ймовірністю щодо того, які конкретні технічні та технологічні рішення можуть бути більш перспективними в кожному випадку.

Однією з ключових задач даного дослідження є розробка та побудова класифікатора, який базуватиметься на аналізі вхідних даних про об’єкти виробництва в графічному вигляді, представлених у вигляді CAD (Computer-Aided Design) файлів, а також на тестових атрибутах, таких як матеріал деталі, тип заготовки тощо. Кореляція між цими даними дозволить машинобудівним SMEs з високою точністю визначати найбільш ефективні методи виготовлення малочисельних партій деталей та збирань відповідно до поточного попиту на ринку. Візуалізація деталей у вигляді CAD файлів надає важливу інформацію щодо їхньої геометрії та конструктивних особливостей. Це стає додатковим інструментом для прогнозування щодо використання різноманітних виробничих процесів, адаптованих до специфіки деталі та вимог до її якості. У поєднанні з іншими тестовими атрибутами, такими як матеріал, заготовка деталі тощо можна з високою точністю припустити оптимальні технічні та технологічні рішення для виготовлення поточного об’єкту виробництва.

Розуміння основ прийняття інженерних рішень щодо можливості ефективного виготовлення деталей машин і збирань стане основною перевагою створюваного класифікатору. Отже, головною метою представленої роботи є обґрунтування доцільності, розробка і навчання класифікатора, який зможе ефективно аналізувати візуальне відображення деталей у формі CAD файлів та їхні матеріальні атрибути, знаходити зв'язки між цими даними і, враховуючи реальні обмеження виробництва, надавати високоякісні рекомендації щодо ефективних технічних і технологічних рішень.

В сучасному машинному навчанні найбільш поширені системи класифікації зображень є на основі Convolutional Neural Networks (CNN). Вони успішно застосовуються для класифікації зображень у 2D-форматі, але для обробки 3D-об'єктів, які представлені у форматі CAD файлів, потрібна адаптація. Для використання CAD файлів у системах класифікації зображень потрібно перетворити 3D-інформацію у 2D-зображення, що представляють перерізи об'єкту з різних площин. Це дає можливість використовувати стандартні методи класифікації, які розроблені для зображень, та для аналізу CAD даних. За основу ансамблевого класифікатору був використаний алгоритм Random Forest, принцип роботи якого дозволив об’єднати текстові дані та зображення для побудови розроблюваного класифікатора. Серед особливостей алгоритму - можливість використання текстових атрибутів (що включають початкову інформацію про деталь) у поєднанні з обробкою зображень за допомогою CNN. Random Forest здатний взаємодіяти зі специфічними особливостями обох видів даних та забезпечити високу точність класифікації.

Результатом поточного етапу роботи є попередній алгоритм тренування розроблюваного класифікатору. Запропонований підхід дозволить використовувати переваги існуючих систем класифікації зображень для аналізу 3D-даних у форматі CAD, що, на нашу думку, надасть змогу малих колективам SMEs в автоматичному режимі спростити вибір ефективних технічних і технологічних рішень для виготовлення деталей машин і механізмів. Такий класифікатор в майбутньому може виступити як підтримка прийняття рішень для інженера, серед обов’язків якого і надання високоякісних рекомендацій з виготовлення нового виду продукції відповідно до швидкозмінного попиту, на основі аналізу широкого спектра даних та варіантів існуючих технічних та технологічних рішень. Класифікатор може бути впроваджений як новий продукт або як покращення існуючих рішень з оптимізації виробництва.

Серед майбутніх перспективних досліджень слід відзначити можливість розвитку технології класифікації за рахунок збору даних від користувача або розробки більш складних моделей. Що дозволить здійснити перехід від статичного класифікатора до динамічної та адаптивної системи, яка буде брати до уваги внесені користувачем зміни та невизначеності, і, як результат, зможе значно покращити ефективність та практичну варіабельність такої технології у сучасному виробничому середовищі, особливо в умовах малих та середніх виробничих компаній.

УДК 65.011.56 : 621

Зінченко А.Ю., аспірант
zinchenko.artem1996@gmail.com
Басова Є.В., к.т.н., доцент
Yevheniia.Basova@khpi.edu.ua
Добротворський С.С., д.т.н., професор
sergiy.dobrotvorskyy@khpi.edu.ua

3D ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЯ НА ШЛЯХУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОСТІ ЛАНЦЮЖКІВ ПОСТАЧАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ SMEs

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”

Малі та середні машинобудівні підприємства (SMEs) мають великий потенціал для розвитку відповідного сектора економіки, що особливо прийнятне для післявоєнної відбудови економіки України. Однак для сталого розвитку таких підприємств в умовах швидкозмінного попиту та з метою їх екологізації постає необхідність у розробці шляхів представлення та обміну інформацією про об’єкт виробництва, як всередині компанії, так і при побудові коопераційних зв’язків, через залучення сучасних цифрових сервісів та інновацій, наприклад із використання інструментів виробництва з доповненою реальністю, відповідно до концепції Industry 4.0. Це пов’язано у тому числі і з тим, що такі підприємства мають ряд бар’єрів, що обмежують їх сталий внутрішній та зовнішній розвиток. Такі бар’єри здебільшого не притаманні для великих компаній (заводів): обмеження по ресурсах, обмеження складських приміщень, ускладнена логістика, більш низька продуктивність та збільшений вплив на довколишнє середовище.

Із аналізу шляхів внутрішнього і зовнішнього сталого розвитку SMEs, в тому числі і в умовах Force Majeure обставин (воєнних дій на території України), були визначені основні логістичних проблем, як фактор стримування росту конкурентоспроможності.

Нами обгрунтована перспективність використання цифрової інтеграції інформації про твердотільний об’єкт виробництва для керування життєвим циклом продукту на етапах від CAD/CAE/CAM/CAPP до постачання та збуту в умовах горизонтальної кооперації, ефективності планування ланцюжків постачання, економічного зростання виробництва та сталого внутрішнього та зовнішнього розвитку малих та середніх машинобудівних компаній в цілому. Особливу увагу, на наш погляд, ми приділяємо питанню визначення ролі цифрових 3D-моделей в умовах Force Majeure обставин, це пов’язано з тим, що в таких умовах, на наш погляд, 3D моделювання стає передовим інструментом забезпечення сталості малого чи середнього підприємства.

В ході роботи нами розроблено мобільний додаток для платформи Android, який дозволяє зчитувати QR-код та відображати на екрані 3D-модель з даними (масса, габаритні розміри, та інші). Розпізнавання маркеру було реалізовано шляхом застосування плагіну Vuforia, який дозволив отримати просторову візуалізацію положення маркера та відображати 3D модель виробу-учасника ланцюжка постачання чітко над ним. Для вирішення супутніх задач в роботі застосовані цифрові сервіси для конвертації файлів з векторних форматів, таких як .stl, до растрових (FBX). Представлені шляхи подальшого розвитку концепції застосування 3D моделей у ланцюжках постачання з метою забезпечення сталого розвитку SMEs, як всередині компанії, так і при створенні коопераційних об’єднань.

Науковою новизною роботи полягає в обґрунтуванні ролі 3D-моделей деталей в ланцюжках постачання, особливо для SMEs, які опинилися в умовах Force Majeure обставин, заснованої на переглянутому підході від технологічного проектування до збуту продукції, в умовах різкої зміни попиту та пропозиції, та застосування створеного інформаційного та програмного забезпечення.

.

9. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОНОМІКИ ПІДПРИЄМСТВА

УДК 004.8

Гарашко В.О., студент
v.o.harashko@student.khai.edu
Яшина О.С., к.т.н., доцент
o.yashina@khai.edu

РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ УПРАВЛІННЯ ФАЙЛОВИМ СХОВИЩЕМ ДЛЯ БУХГАЛТЕРІЇ ПРИВАТНОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ФІРМИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

У сучасному світі, де бізнеси використовують все більше технологій, важливо мати зручний та надійний інструмент для управління бухгалтерською документацією. Розробка програмного забезпечення для управління файловим сховищем бухгалтерії є дуже актуальним з точки зору ефективного ведення обліку та збереження фінансової інформації підприємства. Це дозволить бухгалтери швидко знаходити, зберігати та обробляти необхідну фінансову документацію, а також отримувати різні звіти та аналітичну інформацію для прийняття рішень на основі облікових даних [1, 2]. Бізнес-процеси для цієї системи, включають:

– завантаження та оновлення даних;

– операції з податками, такі як розрахунок податків, підготовка декларацій та звітів для податкової служби;

– ведення бухгалтерського обліку, включаючи ведення журналу головних книг та реєстру заборгованості;

– аналіз фінансового стану компанії для планування бюджету та прийняття управлінських рішень;

– керування заробітною платою, включаючи розрахунок зарплати, збір інформації про відпустки та хвороби;

– співпраця з аудиторами, щоб забезпечити правильність бухгалтерського обліку та відповідність фінансової звітності законодавству.

У процесі розробки програмного забезпечення для управління файловим сховищем для бухгалтерії приватної будівельної фірми були досліджені та проаналізовані різні аспекти веб-розробки та збереження даних. Були розглянуті переваги та недоліки використання MERN-стеку, Node.js, Express, Redux Toolkit, Single Page Applications (SPA), Heroku та різних хмарних сховищ даних, таких як Google Drive, Dropbox та OneDrive.

На основі аналізу бізнес-процесів було розроблено структуру файлового сховища для файлів бухгалтерії. Було визначено, що ієрархічна структура каталогів має свої переваги та недоліки, зокрема, можливість легкої організації файлів та швидкого доступу до них, але також можливість змішування та дублювання файлів у різних каталогах.

Загалом функціонал повністю розробленого веб-додатку відповідає поставленим вимогам. Його використання покращить роботу бухгалтерії приватної будівельної фірми, забезпечить зручне та безпечне збереження даних.

Список використаних джерел

1. Тардаскіна Т. М., Тардаскина Т. Н., Грищук Т. В. Особливості використання та розвитку хмарних технологій в умовах цифрової економіки. Бізнес Інформ. – 2021. – № 3. – С. 254-260. – Режим доступу: http://biblio.onat.edu.ua:443/xmlui/handle/123456789/4768.

2. Гаркуша С. А. Використання засобів мережевих інформаційних технологій і телекомунікацій в освіті та наукових дослідженнях у сфері бухгалтерського обліку [Електронний ресурс] / С. А. Гаркуша // Актуальні питання сучасного розвитку соціально-гуманітарної сфери : колективна монографія. – Харків : СГ НТМ «Новий курс», 2022. – С. 94-124. – Режим доступу: https://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/10017.

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ
ТРИДЦЯТЬ ТРЕТЬОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ»

ХАРКІВ, УКРАЇНА
ВЕРЕСЕНЬ 4 – 7 2023

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», протокол № 01 від 23.08.2023

Відповідальний за випуск к.т.н. Руденко Н.В.

Підписано до друку 24.08.2023 р.
Формат 60х84 $^{1/16}$. Папір офс. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 7,8. Наклад 50 прим.
Замовлення 24-08.

Видавництво та друк
ФОП Іванченко І. С.
пр. Тракторобудівників, 89-а/62, м.Харків, 61135.
Тел.: +38 (050/093) 40-243-50.
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників та розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК №4388 від 15.08.2012 р.
www.monograf.com.ua

ДЛЯ НОТАТОК