

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

**Тридцять четвертої Всеукраїнської конференції
«НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ»**

4 – 7 ВЕРЕСЕНЬ 2024

Харків «ХАІ» 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

Акціонерне товариство «ФЕД»
Державне підприємство «Завод імені В. О. Малишева»

Державне підприємство
«Харківське агрегатне конструкторське бюро»

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

**Тридцять четвертої Всеукраїнської конференції
«НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ»**

4 – 7 ВЕРЕСЕНЬ 2024

Харків «ХАІ» 2024

УДК 621.002:620.3:004.9(063)

М34

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», протокол № 01 від 28.08.2024

М34 Нові технології в машинобудуванні [Текст]: тези доп. Тридцять четвертої Всеукраїн. конф.«». – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац.ін-т», 2024. – 154 с.

ISBN 978-966-662-933-6

Матеріали доповідей Всеукраїнської конференції містять результати таких 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 керування виробництвом; сучасні інноваційні технології економіки підприємства.

Для студентів, аспірантів, викладачів та наукових працівників.

Програмний комітет конференції

Голова:

Павліков В. В. – д-р.техн. наук, професор, проректор ХАІ.

Заступник голови:

Баранов О. О. – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем ХАІ.

Відповідальний секретар:

Руденко Н. В. – канд. техн. наук, доцент кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем ХАІ.

Члени комітету:

Кравченко І. Ф. – д-р. техн. наук, професор, член-кореспондент НАН України, генеральний конструктор - директор ДП «Івченко-Прогрес»;

Попов В. В. – д-р. техн. наук, голова правління АТ «ФЕД»;

Бобирь М. І. – д-р. техн. наук, професор, член-кореспондент НАН України, директор механіко-машинобудівного інституту "КПІ і. Ігоря Сікорського";

Сисоєв Ю. О. – д-р. техн. наук, професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем ХАІ;

Широкий Ю. В. – канд. техн. наук, декан факультету авіаційних двигунів ХАІ;

Клименко С. А. – д-р. техн. наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук України, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля;

Пермяков О. А. – д-р. техн. наук., професор, завідувач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів ХПІ;

Федорович О. Є. – д-р. техн. наук, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій ХАІ.

УДК 621.002:620.3:004.9(063)

ISBN 978-966-662-933-6

© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2024

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	11
Гереш Т. В. Залежність кутів зачеплення зубчастих пар планетарних механізмів зі зв'язаними і незв'язаними колесами	11
Головіна О. В., Рудасьов В. Б. Використання сталей підвищеної міцності в кузовних деталях автомобілів.....	14
Кузнецова А. В., Гнитько О. М. Математична модель бічних тривимірних поверхонь двоопукло-ввігнутих зубців конічних передач	17
Московська Н. М. Рельєф жорсткості як засіб впливу на деформаційні та міцнісні параметри резервуарів	18
Назін В. І. Вплив виду термічної обробки і типу зачеплення на діаметральні розміри зубчастого колеса	19
Світличний С. П. Розробка численної моделі для моделювання процесу зіткнення птаха з лопаткою двигуна	21
Усік В. В., Кладова О. Ю. Особливості синтезу планетарних механізмів авіаційних редукторів	26
Фесенко К. В., Даценко В. А., Василевський Ю. В. Параметричне моделювання зубчастих коліс у системі SIEMENS NX	27
Шатохін В. М., Соболев В. М. Особливості вібраційних процесів у кулькових радіально-поршневих насосах гідрооб'ємних передач транспортних машин	30
Шехов О. В. Оцінка оптимального вибору числа ступенів конструкції рядного планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ за критерієм загальної маси	35
Щербакова Ю. А. Узагальнений метод Фур'є для аналізу багатозв'язних трансверсально-ізотропних тіл з різними пружними властивостями.....	40
2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ Й ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТІВ ТА РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	43
Гнитько О. М., Кузнецова А. В. Моделювання пристроїв видалення стружки при фрезеруванні закритих профільних пазів	43
Добротворський С. С., Кононенко С. М., Рафал Талар. Розробка технології адаптивної гідроструминної підтримки торцевого фрезерування тонкостінних деталей змінної жорсткості для їх поверхневого стуктурування.....	44

Нарижний О. Г., Тараненко М. Є. До точності обчислювання моделі електрогідравлічного ефекту.....	45
Онисько О. Р., Фарилюк Р. М., Матей Ю. Г. Проблеми забезпечення продуктивності нарізеточіння деталей із підвищеними механічними властивостями	49
Пономаренко О. І., Радченко О. О., Євтушенко Н. С. Системний підхід до вирішення інженерної проблеми зниження газонасиченості сталі	51
Руденко Н. В., Руденко О. Л. Вплив стану поверхні на витривалість	54
Стрельчук Р. М. Порівняльний аналіз теплонапруженості процесів електроерозійного шліфування	55
3. ПРОЦЕСИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЇ	57
Євсюкова Ф. М., Єнікєєв О. Ф., Захаренков Д. Ю. Інформаційна технологія покращення ефективності технологічного процесу алмазного шліфування	57
Архіпов О. В., Кривенко С. С., Лукін В. В. Автоматизація стиснення медичних та інших типів зображень без візуально помітних втрат	60
Губка О. С., Губка С. О. Розробка мобільного застосунку для підбору комплектації сонячної станції	64
Єлізева А. В., Костенко Є. М. Розробка ігрового мобільного застосунку.....	65
Єлізева А. В., Куліш Є. І. Розробка мобільного застосунку для пошуку спеціалістів сфери обслуговування.....	66
Єлізева А. В., Потерайло Г. О. Розробка веб-застосунку для підбору комп'ютерних комплектуючих.....	67
Ярещенко В. В., Косенко В. В. Енергоефективні коди	68
Лавченко Р. Р. Інтелектуальний веб-інструмент для прогнозування властивостей металів: data-driven підхід	72
Лещенко О. Б., Анікін А. М. Інформаційна технологія для адміністрування івентів з використанням технології InterSystems IRIS	73
Лещенко Ю. О., Глушко Д. В. Веб-застосунок для обміну книжками за технологією Буккросингу	74
Лещенко Ю. О., Рябуха С. В. Веб-застосунок для обліку закупівельної діяльності кав'ярні	75
Лещенко Ю. О., Стойка Ф. В. Веб-застосунок «Fitness Tracker»	76
Мартинюк М. В., Яшина О. С. Автоматизація підготовки варіантів завдань з вивчення мови SQL.....	77

Момот М. О., Амосов М. Є. Розроблення веб-застосунку для розміщення комерційних оголошень.....	78
Павлик Г. В., Доценко Н. В. Діагностичне забезпечення інформаційних систем.....	80
Попов А. В., Ігнатюк Є. О. Аналіз відгуків користувачів з використання інформаційних технологій обробки природної мови	81
Радченко Є. П., Яшина О. С. Розробка веб-застосунку для оцінювання і обговорення книг	82
Ребров В. С., Лукін В. В. Автоматизація постфільтрації зображень після стиснення з втратами	83
Шевченко Р. І., Яшина О. С. Веб-застосунок для пошуку роботи.....	88
Щеколда М. О., Лещенко О. Б. Використання штучного інтелекту для аналізу потенціалів рухомих одиниць у міографії	89
4. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВИРОБНИЦТВІ	90
Лещенко Ю. О., Рибка К. О., Федорович В. А. Моделі та інформаційна технологія планування логістичних дій до відновлення виробництва високотехнологічної продукції	90
Лещенко Ю. О., Швець Ф. С., Макаренко Т. С. Моделі та інформаційна технологія формування запасів комплектуючих високотехнологічного виробництва.....	91
Прончаков Ю. Л., Неронов С. М., Рибка А. В. Моделі та інформаційна технологія планування логістики транспортування вантажів на передову та тил	92
Федорович О. Є., Губка С. О., Поліщук Є. В. Моделі та інформаційна технологія управління діями для запобігання впливу загроз на критичну техногенну систему	93
Федорович О. Є., Сломчинський О. В., Соловійов В. С. Моделі та інформаційна технологія пошуку раціональних маршрутів постачання в різнорідній транспортній мережі в умовах воєнного стану країни.....	94
Харченко М. В. Експрес-перевезення як логістична складова в діяльності транспортно-експедиційних підприємств	95
Цимбалістова О. А. Логістична підтримка в підвищенні конкурентостроможності підприємств.....	98
Черніхова О. С. Суб'єктно-об'єктна взаємодія логістичного забезпечення ринку транспортних пасажирських послуг.....	101
5. ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТІВ	104

Баранов О. О., Баранова Є. О. Пряма задача кінематики для робота моделі Annin Robotics AR3	104
Голіней М. М., Копей В. Б. Робот-павук підвищеної безвідмовності.....	108
Шатохін В. М., Соболев В. М. Моделювання усталених і перехідних динамічних процесів у вібраційних монтажних пристроях для складальних роботів.....	113
6. ТЕХНОЛОГІЯ АГРЕГАТОБУДУВАННЯ	118
Піжанкова Н. В., Селезень О. Г. До оптимізації витрати охолоджуючого повітря у сучасних високотемпературних ГТД	118
Корчагін І. Д., Котляр О. В., Старченко М. С. Аналіз та дослідження конструкторсько-технологічних параметрів фрезерно-центрувального верстата з ЧПК	122
Плахотников С. В., Овчаров Б. А. Вибір конструктивно-технологічного рішення хвостової балки легкого багатоцільового вертольота	123
7. ПРОЦЕСИ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ.....	126
Sunhurov M. S., Sukhareva T. V., Shakhov Yu. N. Research and development of nonmagnetic TiN/Ni-9.5 at.% W composite substrates for coated superconductors	126
Бреус А. О., Сердюк О. Л. Застосування наноструктурних поверхневих шарів із заданими фізико-механічними властивостями для оброблення високоміцних матеріалів і загартованих сталей	129
Головко С. Т. Розробка технології обробки керамічних втулок для іоно-плазмових двигунів холлівського типу з нікель-молібденовим покриттям.....	130
Добротворський С. С., Басова Є. В., Міколай Кошчінськи. Забезпечення стійкості змочування поверхні нержавіючої сталі за рахунок fs-імплементації графену при лазерній модифікації поверхні агрегатів подвійного призначення.....	132
Добротворський С. С., Басова Є. В., Павел Завадски. Дослідження параметрів шорсткості та твердості титановмісної сталі AISI321 структурованої наносекундним лазерним опроміненням.....	133
Малков І. В. Оптимізація режимів термообробки розміростабільних вуглепластикових трубчатих елементів.....	134
Pylypenko M. M., Stadnik Yu. S. Nanostructured zirconium materials.....	138
Сисоєв Ю. О., Торосян О. В. Отримання багатокомпонентних покриттів при використанні складного катодного вузла імпульсного джерела плазми.....	141
Сисоєв Ю. О., Чайка В. О. Визначення тривалості імпульсів дуги на елементах з різних матеріалів складового катода імпульсного джерела плазми	144
Степаненко Д. Р. Методи нанесення зносостійкого покриття та їх комбінування.....	146

Широкий Ю. В., Торосян-Жидеева Г. Д., Торосян О. В. Ефективність використання параметрів впливу температурних полів в зоні дії лазерного випромінювання на сталі з ріним вмістом вуглецю	148
Shirokii Yu., Torosian O., Zhydieiev P. Study of optimal laser parameters for obtaining nanostructures in the surface layers of carbon steel	150
Широкий Ю. В., Фесенко Є. І. Моделювання умов отримання наноструктур при іонно-плазмовій обробці	151
8. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ.....	152
Лоскутов І. Р., Белявський О. В. Багатоканальна, багатовідлікова інформаційно-вимірювальна система	152
Федорович О. Є., Єременко Н. В., Коновалова О. В. Моделі та інформаційна технологія управління проектами щодо утилізації високотехнологічних виробів.....	154
Федорович О. Є., Єлізева А. В. Моделі та інформаційна технологія управління реструктуризацією високотехнологічних підприємств.....	155
9. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОНОМІКИ ПІДПРИЄМСТВА	156
Федорович О. Є., Попов А. В., Пісклова Т. С. Моделі та інформаційна технологія запобігання старіння техногенних систем	156

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.865.6

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

ЗАЛЕЖНІСТЬ КУТІВ ЗАЧЕПЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ ПАР ПЛАНЕТАРНИХ МЕХАНІЗМІВ ЗІ ЗВ'ЯЗАНИМИ І НЕЗВ'ЯЗАНИМИ КОЛЕСАМИ

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

Постановка проблеми. Під час виготовлення зубчастих коліс планетарного механізму важливе значення має вибір коефіцієнтів зміщення ріжучого інструменту. При цьому слід враховувати той факт, що коефіцієнти зміщення впливають на значення кута передачі та якісних показників кожної зубчастої пари. Тому під час вибору коефіцієнтів зміщення різального інструменту величезне значення має залежність кутів передачі в різних ступенях проєктованого планетарного механізму. Для планетарних механізмів зубчасті колеса першого, другого і наступних ступенів можуть утворювати: 1) зв'язані колеса (присутні сателіти, що входять у зачеплення з кількома колесами одночасно); 2) незв'язані колеса (відсутні сателіти, що входять у зачеплення з кількома колесами одночасно). При цьому використовувати відомі блокуючі контури можна спільно для пар зубчастих коліс різних ступенів, якщо буде відома залежність кутів передачі різних ступенів для зв'язаних і незв'язаних коліс.

Основна частина. Планетарний механізм з наперед заданим передавальним відношенням буде існувати, якщо можливо вибрати такі числа зубців зубчастих коліс, що входять до складу механізму, які забезпечать для обраної схеми виконання таких умов: 1) передавального відношення, 2) збірки, 3) співвісності, 4) сусідства.

Перші три умови використовують для отримання генеральних рівнянь [1], за допомогою яких можна визначити різні набори чисел зубців зубчастих коліс, зауважимо, що генеральні рівняння індивідуальні для кожної схеми планетарного механізму. Четверта умова не бере участі в генеральних рівняннях і її перевіряють окремо для кожного набору чисел зубців, отриманого в результаті розрахунків. Слід зауважити, що умова співвісності впливає не тільки на вибір чисел зубців зубчастих коліс першого і наступних ступенів, а й на вибір коефіцієнтів зміщення під час виготовлення зубчастих коліс.

Традиційно під час визначення генеральних рівнянь умову співвісності використовували за умови, що зубчасті колеса першої та наступних ступенів мають однаковий кут зачеплення (зазвичай брали пари коліс першої та наступних ступенів із нульовими коефіцієнтами зсуву), а після визначення чисел зубців визначали справжні значення коефіцієнтів зміщення різального інструменту та проводили геометричний розрахунок. Розрахунок у такій послідовності має низку недоліків:

1) під час визначення чисел зубців втрачається низка можливих комбінацій, що задовольняють умовам для обраної схеми;

2) після виконання коригування коефіцієнтів зміщення пар зубчастих коліс не завжди виходять прийнятні значення якісних показників і кутів зачеплення, що знижує ККД і довготривалість майбутнього планетарного механізму.

Умова, що приносить необхідність коригування коефіцієнтів зміщення, є умовою співвісності. Суть умови співвісності в рівності міжосьових відстаней зв'язаних і незв'язаних пар зубчастих коліс. При цьому слід врахувати, що в планетарних механізмах можливі варіанти зачеплення зубчастих пар внутрішнього і зовнішнього зачеплень. Запишемо умову співвісності для можливих варіантів зачеплень зубчастих пар, використовуючи справжнє значення міжосьової відстані зміщеної передачі.

Випадок зв'язаних коліс. Розглядаємо один або два ступені залежно від типу схеми механізму:

а) пара зубчастих коліс Z_1, Z_2 –зовнішнє зачеплення і пара зубчастих коліс Z_2, Z_3 – зовнішнє зачеплення:

$$\frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))} = \frac{Z_2 + Z_3}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{23}}(x_2, x_3))}$$

$$\frac{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))}{\cos(\alpha_{w_{23}}(x_2, x_3))} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2 + Z_3}, \quad (1)$$

б) пара зубчастих коліс Z_1, Z_2 –зовнішнє зачеплення і пара зубчастих коліс Z_2, Z_3 – внутрішнє зачеплення:

$$\frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))} = \frac{Z_3 - Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{23}}(x_2, x_3))}$$

$$\frac{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))}{\cos(\alpha_{w_{23}}(x_2, x_3))} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_3 - Z_2}, \quad (2)$$

в) пара зубчастих коліс Z_1, Z_2 –внутрішнє зачеплення і пара зубчастих коліс Z_2, Z_3 – внутрішнє зачеплення:

$$\frac{Z_1 - Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))} = \frac{Z_3 - Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{23}}(x_2, x_3))}$$

$$\frac{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))}{\cos(\alpha_{w_{23}}(x_2, x_3))} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_3 - Z_2} \quad (3)$$

Випадок незв'язаних коліс. Розглядаємо один або два ступені залежно від типу схеми механізму:

а) пара зубчастих коліс Z_1, Z_2 –зовнішнє зачеплення і пара зубчастих коліс Z_3, Z_4 – зовнішнє зачеплення:

$$\frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))} = \frac{Z_3 + Z_4}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{34}}(x_3, x_4))}$$

$$\frac{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))}{\cos(\alpha_{w_{34}}(x_3, x_4))} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_3 + Z_4}, \quad (4)$$

б) пара зубчастих коліс Z_1, Z_2 –зовнішнє зачеплення і пара зубчастих коліс Z_3, Z_4 – внутрішнє зачеплення:

$$\frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))} = \frac{Z_4 - Z_3}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{34}}(x_3, x_4))}$$

$$\frac{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))}{\cos(\alpha_{w_{34}}(x_3, x_4))} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_4 - Z_3}, \quad (5)$$

в) пара зубчастих коліс Z_1, Z_2 – внутрішнє зачеплення і пара зубчастих коліс Z_3, Z_4 – внутрішнє зачеплення:

$$\frac{Z_1 - Z_2}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))} = \frac{Z_4 - Z_3}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_{w_{34}}(x_3, x_4))}$$

$$\frac{\cos(\alpha_{w_{12}}(x_1, x_2))}{\cos(\alpha_{w_{34}}(x_3, x_4))} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_4 - Z_3}. \quad (6)$$

Таким чином, із виразів (1) – (6) можна дійти такого висновку: для виконання умови співвісності в планетарному механізмі зі зв'язаними та незв'язаними колесами необхідно, щоб відношення суми чи різниці чисел зубців (залежно від типу зачеплень пар коліс) дорівнювало

відношенню косинусів кутів зачеплень відповідних зубчастих пар. Отже, для визначення прийнятних значень кутів зачеплень, можна розглянути параметричні рівняння:

$$\cos \alpha_{w_{12}} = t \cdot \cos \alpha_{w_{23}}, \quad (7)$$

$$\cos \alpha_{w_{12}} = t \cdot \cos \alpha_{w_{34}}, \quad (8)$$

де t - поточний параметр (довільне раціональне число, очевидно, що $t = 1$ відповідає нульовим парам, які традиційно приймаються).

Із залежностей (7) і (8) видно, що для обраного значення параметра t існує цілком певна залежність кутів зачеплення пар зв'язаних і незв'язаних коліс.

Вибір параметра t і визначення чисел зубців ступенів планетарного механізму з парами зв'язаних і незв'язаних коліс, можна проводити в такому порядку:

1) вибрати допустимі значення кута зачеплення пар зубчастих коліс для ступенів зі зв'язаними парами зубчастих коліс $\alpha_{w_{12}}$ і $\alpha_{w_{23}}$, або незв'язаними парами зубчастих коліс $\alpha_{w_{12}}$ і $\alpha_{w_{34}}$,

2) визначити межі зміни параметра;

3) прийняти значення параметра з проміжку, визначеного в п.2, рівним раціональному числу,

4) використовуючи те, що $\frac{\cos(\alpha_{w_{12}})}{\cos(\alpha_{w_{23}})} = t$ для зв'язаних пар зубчастих коліс і $\frac{\cos(\alpha_{w_{12}})}{\cos(\alpha_{w_{34}})} = t$

для незв'язаних коліс, записати за допомогою виразів (1) – (6) скориговані умови співвідності, після чого разом з іншими умовами визначити числа зубців планетарного механізму, що проектується.

Загальні висновки. Визначена залежність кутів зачеплення для пар зв'язаних і незв'язаних зубчастих коліс планетарного механізму. Також показана можливість проведення синтезу планетарного механізму за обраною схемою з урахуванням коригування кутів зачеплення для пар зв'язаних і незв'язаних зубчастих коліс. Синтез планетарного механізму для заданої схеми проведений за допомогою вищевикладеного порядку, дає змогу одержати додаткові комбінації чисел зубців зубчастих коліс, які не можна одержати за допомогою генеральних рівнянь, наведених у [1].

Список використаних джерел

1. Ткаченко, В. А. Планетарні механізми (оптимальне проектування). - Харків: «ХАІ», 2003. – 446 с.
2. Попов, С. В. Теорія механізмів технологічних машин: навч. посіб / С. В. Попов, М. Я. Бучинський, С. М. Гнітько, А. М. Чернявський. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. – 268 с.
3. Бучинський, М. Я. Основи творення машин: навч. посіб / М. Я. Бучинський, О. В. Горик, А. М. Чернявський, С. В. Яхін. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. – 448 с.

ВИКОРИСТАННЯ СТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ В КУЗОВНИХ ДЕТАЛЯХ АВТОМОБІЛІВ

Дніпровський державний технічний університет
Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук

Забезпечення вдосконалення технічних характеристик машинобудівних виробів є основним завданням для досягнення економічної ефективності та підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств. Автомобілебудування, як одна з найбільших і найінтенсивніших галузей споживання металу, використовує значну частину металевого прокату для виробництва кузовів легкових автомобілів. Цей процес передбачає не лише витрати на матеріали, але і складні технологічні операції, такі як штампування, які суттєво впливають на якість кінцевих виробів.

З точки зору споживання металу автомобілебудування є найінтенсивнішою галуззю машинобудування, в якій витрачається майже третина всього металевого прокату, що застосовується в різних секторах машинобудівного комплексу. Розподіл матеріалів у масі сучасного легкового автомобіля показана на рис. 1.

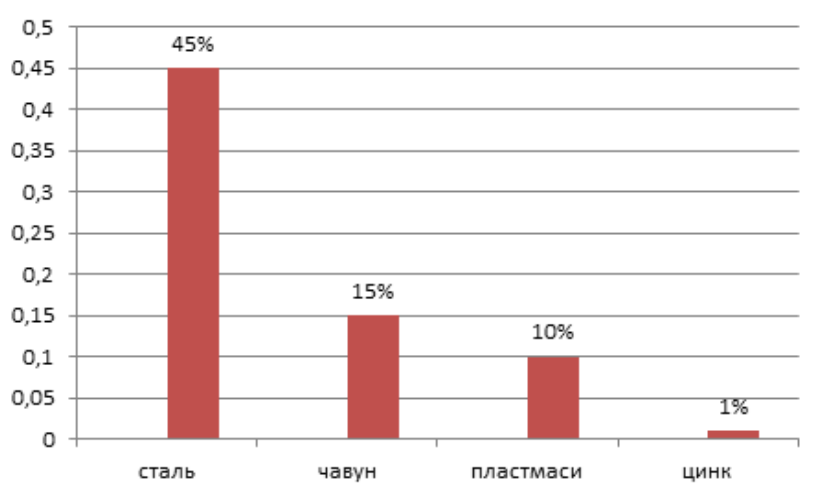


Рис. 1. Розподіл матеріалів у масі сучасного легкового автомобіля

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю покращення процесу виробництва кузовних деталей автомобілів, зокрема шляхом підвищення ефективності використання сталей підвищеної міцності. Враховуючи високі вимоги до механічних властивостей та пластичності матеріалів, виникають значні технічні труднощі, що потребують ретельного аналізу і впровадження нових технологічних рішень.

Мета цього дослідження полягає в оцінці можливостей і обмежень застосування сталей підвищеної міцності для виготовлення кузовних деталей автомобілів, а також, вплив технологічних рішень, таких як вибір мастильних матеріалів, на процес штампування і, відповідно, на якість кінцевих виробів..

Досвід у виробництві та використанні сталей підвищеної міцності виявив ряд суттєвих обмежень. По-перше, ці стали характеризуються зниженою пластичністю, зокрема, обмеженим подовженням. Це ускладнює процес штампування, зокрема, при створенні отворів, і вимагає коригування дизайну кузовних деталей, а також впровадження специфічних

технологічних рішень для поліпшення якості штампування. Для покращення деформованості використовуються спеціальні добавки або адаптуються параметри штампування.

По-друге, що стосується прокатки, то на етапі гарячої прокатки можливо виготовити лише товстолістовий прокат, тоді як для тонкого листа потрібне холоднокатання. Це обмежує вибір можливих варіантів прокату для конкретних застосувань. Виробництво сталей підвищеної міцності також вимагає додаткових легуючих елементів і ретельного контролю як за процесом прокатки, так і за хімічним складом. Локальні коливання вмісту вуглецю та зміни в режимах охолодження можуть призвести до неоднорідності мікроструктури, що негативно вплине на механічні властивості матеріалу. Також важливим є моніторинг температурних режимів і швидкостей прокатки, що можуть впливати на остаточні властивості сталі.

Двофазні сталі, хоч і мають високі характеристики міцності, зазвичай дорожчі за звичайні сталі підвищеної міцності. Однак, при використанні низьковуглецевих сплавів і високих швидкостей охолодження, їх вартість може наблизитися до вартості мікролегованих сталей типу HSLA, що забезпечує певні економічні вигоди. Крім того, двофазні сталі мають потенціал для поліпшення оброблювальності, що може бути корисним при виготовленні складних форм.

Ще однією проблемою є зменшення жорсткості, яке спостерігається при заміні звичайних сталей на сталі підвищеної міцності в конструкціях кузовів автомобілів. Це може потребувати перегляду розмірів і форм деталей для підтримання необхідної жорсткості. Важливо також враховувати вплив на зменшення маси автомобіля, що може позитивно вплинути на споживання пального та екологічні показники.

Корозійна стійкість є ще одним важливим фактором, оскільки вплив навколишнього середовища на сталі підвищеної міцності і звичайні сталі часто подібний. Для підвищення довговічності використовуються спеціальні захисні покриття, антикорозійні обробки та технології для підвищення стійкості до корозії.

Крім того, виробництво кузовних деталей автомобілів за допомогою штампування стикається з серйозними викликами через необхідність поєднати високу міцність сталі з її пластичністю. Ця проблема зумовлена технічними обмеженнями та складнощами, що виникають під час обробки матеріалів. Підвищення міцності сталі часто веде до зменшення її пластичності, і навпаки, що ускладнює процес штампування.

Щоб подолати ці проблеми, необхідно впроваджувати нові технологічні рішення та інноваційні методи в процес штампування кузовних деталей із сталей підвищеної міцності. Одним із ключових аспектів є вибір ефективних мастильних матеріалів і детальний аналіз напруженостей та деформацій у заготовках під час обробки. Зокрема, дослідження [1] розглядає взаємозв'язок між тертевими і тисковими навантаженнями при штампуванні за умов невеликих навантажень. Для експериментів були обрані три основні категорії мастильних матеріалів:

1. Мінеральні олії, що відрізняються за в'язкістю, включаючи трансформаторну олію, індустріальну олію 50 та циліндрову олію 52. Ці олії використовуються для зменшення тертя і покращення процесу формування.

2. Жири, такі як пальмовий і бавовняний, які застосовуються для забезпечення належного змащення і зниження зносу.

3. Сухі мастила, такі як графіт і дисульфід молібдену, які ефективні при зменшенні тертя і можуть витримувати високі навантаження.

Для більш точного розрахунку характеристик штампування і оцінки тертя на згині матриці була введена величина напруги тертя. Виявлено, що при тисках до 40–50 МПа закон Амонтона адекватно описує умови тертя, тому його застосування є доцільним у таких умовах. Проте при більших тисках цей закон не виконується.

При зростанні тиску досягається критична точка, після якої коефіцієнт тертя може різко збільшуватися, що супроводжується значним зростанням напруги тертя, а потім стабілізується на певному рівні, що свідчить про те, що напруга тертя більше не змінюється з подальшим підвищенням тиску. В інших випадках, якщо інтенсивність зростання напруги тертя

залишається сталою до досягнення певного тиску, спостерігається різке збільшення напруги тертя, яке потім стабілізується. Дослідження мінеральних мастил показали, що при тисках понад 50 МПа закон Амонтона не застосовується, і ділянка стабільної напруги тертя не спостерігається. Залежність напруги тертя від тиску для графіту виявилася подібною до такої, що спостерігається при використанні пальмової олії.

Висновки.

1. Попри обмеження, сталі підвищеної міцності мають вагомні економічні переваги порівняно з іншими "легкими" матеріалами, такими як алюмінієві сплави та пластики. Їх переваги полягають у забезпеченні високих механічних властивостей при менших витратах на виробництво і обробку, а також у зниженні загальної ваги конструкцій, що робить їх вигідним вибором для автомобільної промисловості та інших сфер. Крім того, впровадження високоякісних сталей сприятиме вирішенню проблем безпеки, екологічності у виробництві автомобілів.

2. Інноваційні технології обробки та нові розробки у галузі легування можуть ще більше розширити можливості застосування сталей підвищеної міцності і підвищити їх конкурентоспроможність на ринку.

3. Для розрахунків напруги тертя при штампуванні з різними мастилами на тисках до 50 МПа слід використовувати закон Амонтона. При більших тисках, де цей закон не застосовний, необхідно або використовувати закон незалежності напруги тертя від тиску, або застосовувати складніші математичні моделі.

Список використаних джерел

1. Рудасьов, В. Б. Аналіз умов і напруги тертя при штампуванні тонколистового прокату із сталей підвищеної міцності / В. Б. Рудасьов, О. В. Головіна, О. М. Якубовський, Г. В. Москаленко // Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки», Том 35(74). – 2024. – №1. – С. 6 – 15.
2. Lovell, M. Increasing formability in sheet metal stamping operations using environmentally friendly / M. Lovell, C. F. Higgs, P. Deshmukh, A. Mobley // Journal of Materials Processing Technology. – Volume 177. – Issues 1–3. – 3 July 2006. – p. 87-90.
3. Santofimia, M. J. Overview of Mechanisms Involved During the Quenching and Partitioning Process in Steels / M. J. Santofimia, L. Zhao, J. Sietsma // Metallurgical and materials transactions. – Volume 42a. – December 2011. – pp.110-119.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БІЧНИХ ТРИВИМІРНИХ ПОВЕРХОНЬ ДВООПУКЛО-ВВІГНУТИХ ЗУБЦІВ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ

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

Інтегральна модель зачеплення двоопукло-ввігнутих (ДОВ) зубців містить у собі комплекс наступних моделей:

1. Модель зачеплення зубців, яка містить наступні блоки: математичного опис профілю бічних поверхонь ДОВ зубців шестірні і колеса, побудови апроксимуючих кривих робочої поверхні зубців, визначення положень контактної точки, визначення геометричних, кінематичних і навантажувальних параметрів зачеплення.

2. Модель зношування.

Для математичного опису робочої поверхні зубця була прийнята ортогональна система координат ($Oxyz$). Початком координат є вершини початкових конусів шестірні і колеса. Віссю абсцис є лінія симетрії зуба шестірні і проходить уздовж осі колеса; вісь ординат розташовується перпендикулярно лінії симетрії зуба шестірні; вісь аплікату проходить уздовж осі шестірні.

Математична модель зачеплення ДОВ зубців конічних передач містить у собі опис бічних тривимірних поверхонь зубців. Математичний опис бічної тривимірної поверхні зубця шестірні і колеса щодо системи координат $Oxyz$ представлені в наступній формі:

$$\begin{cases} x_{1,2,i,j} = \frac{m_{nj} \cdot z_{1,2} \cdot \cos \alpha_b}{2 \cos \alpha_{i,j}} \cos(\gamma_{0,j} - \operatorname{tg} \alpha_{i,j} + \alpha_{i,j}), \\ y_{1,i,j} = \mp \frac{m_{nj} \cdot z_1 \cdot \cos \alpha_b}{2 \cos \delta_{w1} \cdot \cos \alpha_{i,j}} \sin(\gamma_{0,j} - \operatorname{tg} \alpha_{i,j} + \alpha_{i,j}) \mp \sqrt{4R^2 \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi_j}{2}\right) - l_j^2}, \\ y_{2,i,j} = \mp \frac{m_{nj} \cdot z_2 \cdot \cos \alpha_b}{2 \cos \delta_{w2} \cdot \cos \alpha_{i,j}} \sin(\gamma_{0,j} - \operatorname{tg} \alpha_{i,j} + \alpha_{i,j}) \mp R \pm \sqrt{R^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} \pm \sqrt{4R^2 \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi_j}{2}\right) - l_j^2}, \\ z_{1,2,i,j} = \frac{m_{nj} \cdot z_{1,2} \cdot \cos \alpha_b}{2 \cdot \operatorname{tg} \delta_{w1,2} \cdot \cos \alpha_{i,j}} \cos(\gamma_{0,j} - \operatorname{tg} \alpha_{i,j} + \alpha_{i,j}), \end{cases}$$

де $x_{1,2,i,j}$, $y_{1,2,i,j}$, $z_{1,2,i,j}$ – координати точок профілю зубців (1 - шестірні, 2 - колеса); i – номер точки бічного робочого профілю зубця ($i = 41$, відстань між точками прийняте рівним половині ширини смужки контакту по Герцу); j – номер точки по довжині зуба ($j = 10$); m_{nj} – нормальний модуль в j -ом перетині; $z_{1,2}$ – кількість зубців відповідно шестірні або колеса; $\alpha_b = 20^\circ$ – кут профілю вихідного контуру; $\alpha_{i,j}$ – евольвентний кут; $\gamma_{0,j}$ – кутова координата початкової робочої точки евольвенти в j -ом перетині по довжині зубця шестірні або колеса; \mp – верхній знак відповідає лівому профілю зубця, нижній - правому; $\delta_{w1,2}$ – кут початкового конуса відповідно шестірні або колеса; R – радіус резової головки; φ_j – кутова координата дуги окружності, що описує бічний опуклий профіль зубця шестірні або ввігнутий профіль зубця колеса в j -й точці; l_j – відстань від внутрішнього торцевого перетину до j -ої точки по довжині зубця шестірні або колеса; b – ширина зубчастого вінця конічної передачі.

РЕЛЬЄФ ЖОРСТКОСТІ ЯК ЗАСІБ ВПЛИВУ НА ДЕФОРМАЦІЙНІ ТА МІЦНІСТНІ ПАРАМЕТРИ РЕЗЕРВУАРІВ

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

Класичне застосування гофрування холодним методом або рельєфу жорсткості базується на забезпеченні крутильної жорсткості та стійкості тонкостінних конструкції. У якості базових варіантів рельєфу зазвичай обирають гофрування у вигляді умовних трикутника, півкола та трапеції. При подібних методах підсилення, як правило ігнорується можливий вплив на деформаційні параметри конструкції та на зміну коефіцієнту запасу міцності, що може досить суттєво вплинути на можливість зменшення коефіцієнту використання матеріалу (КВМ) у готовому виробі.

Зразком для проведення дослідження виступає циліндричний резервуар, навантажений гідростатичним тиском (без урахування зміни стовпа рідини у резервуарі та зміни тиску по його висоті). Дослідження проводилось методом скінчених елементів для визначення напружено-деформованого стану ємності. Такі параметри, як обсяг резервуару, його висота (визначено за формулою Торрічеллі для години безперервної роботи дозатора, поєднаного з резервуаром), навантаження та спосіб встановлення на опору залишались незмінними. Для оцінки впливу розглянуто класичне гофрування с висотою рельєфу не більше (3—5) s, де s — товщина матеріалу. Порівняння було проведене для гладкого резервуару та трьох варіантів гофрування, здійсненого по всій висоті резервуару (для більш наглядного оцінювання впливу). Результати дослідження наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати дослідження

Варіант рельєфу	Коефіцієнт міцності	Деформація, мм	Напруга, Н/м ²
Гладка конструкція	17	0,0438150	10 269 456
Гофрування-Півколо	35	0,0177821	6 386 950
Гофрування-Трикутник	28	0,0238015	7 173 676
Гофрування-Трапеція	30	0,0399116	8 132 989

Зважаючи на отриманні данні, найменші значення напруга та деформація мають при рельєфі у формі півкола, також даний варіант забезпечує найбільше зростання коефіцієнту міцності (від 17 для базового резервуару до 35). Враховуючи, що товщина матеріалу стінки резервуара була однаковою для всіх варіантів, можна зробити висновок, що гофрування у вигляді півкола дозволяє зменшити товщину стінки без втрати експлуатаційних характеристик ємності. Одночасно забезпечується зменшення КВМ.

Подальший розвиток дослідження потрібно проводити у напрямку оцінювання економічного ефекту від введення у конструкцію ємності гофрування, який має враховувати як його переваги, пов'язані з зменшенням КВМ, так і збільшення витрат, яке може бути викликано введенням додаткового обладнання у процес виготовлення резервуару (такого як преси або спеціальні установки для гофрування) а також складнощами зварювання швів через зламні та хвилясті лінії прилягання

ВПЛИВ ВИДУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ І ТИПУ ЗАЧЕПЛЕННЯ НА ДІАМЕТРАЛЬНІ РОЗМІРИ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА

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

В силових установках літальних апаратів особливе місце мають авіаційні зубчасті передачі, які суттєво відрізняються від загальномашинобудівних. При високому рівні надійності, який забезпечує небезпечність польоту, в авіаційних виробках значення питомої маси виробу на один два порядку менше, ніж в загальному машинобудуванні. Авіаційні зубчасті передачі забезпечують передачу крутного моменту від двигуна до валу несучого гвинта і кермового гвинта вертольота, здійснюють зміну стрілоподібних крил у літаку і так далі. Вони збільшують крутний момент двигуна у десятки разів при високій надійності роботи, малої маси і габаритних розмірів, незначних втратах на тертя.

При виборі матеріалів для зубчастих коліс необхідно забезпечити міцність зубів на згин, стійкість поверхневих шарів зубів викришуванню, опір заїданню. Допустимі контактні напруження у зубцях пропорційні твердості матеріалів, а несуча здатність передач по контактній міцності пропорційна квадрату твердості. Це вказує на доцільність широкого використання для зубчастих коліс сталей, загартованих до значної твердості.

Для зубчастих коліс використовують такі основні види поверхневого зміцнення: загартування, цементацію та нітроцементацію з загартуванням, азотування.

Для важконавантажених зубчастих передач використовують цементацію з наступним загартуванням. Вона забезпечує високу твердість і несучу здатність поверхневих шарів зубів і високу міцність зубів на згинання. Цементацію використовують для хромистих сталей, а для дуже важливих зубчастих коліс, які працюють з перевантаженнями та ударними навантаженнями використовують нітроцементацію.

Для середньо навантажених зубчастих передач використовують сталі з поверхневим загартуванням. Поліпшені сталі використовують для зубчастих коліс при відсутності жорстких вимог до габаритів. В мало навантажених передачах для забезпечення безшумності, самозмащування і хімічної стійкості використовують пластмасові зубчасті колеса у парі з металевими.

Для авіаційних зубчастих передач використовують леговані хромонікелеві марки сталей. У зарубіжній практиці набули поширення сталі 3310, 3310H, E9310 та інші. В США для зубчастих коліс використовують сталь E9310 (типу сталі 12X2H4A), додатково легована молібденом 0,08...0,3% для підвищення прожарювання та зменшення величини зерна. В нашій країні для авіаційних зубчастих передач використовують хромонікелеві сталі 12X2H4A, 14XГСН2МА, які характеризуються великим змістом нікелю 1,8...2,0%.

Основною метою цієї роботи була кількісна оцінка впливу виду термічної обробки матеріалу зубчастого колеса на його діаметральні розміри. Також розглядалось питання впливу типу зачеплення зубчастих коліс на їх габаритні розміри.

Круговий профіль зуба запропоновано М.Л.Новіковим у 1954 р.

Евольвентне зачеплення, що отримало в техніці, через свої безперечні переваги, найбільшого поширення має деякі недоліки:

- 1) малі зведені радіуси кривизни робочих поверхонь;
- 2) підвищену у зв'язку з лінійним контактом зубів чутливість до перекосів;
- 3) підвищені втрати на тертя в зачепленні в зв'язку з істотним ковзанням

Ці недоліки частково усунені в зачепленні Новікова. У цьому зачепленні точка контакту зубів переміщується не за профілем, як у прямозубому евольвентному зачепленні, а уздовж зуба, причому швидкість переміщення і кут тиску залишаються постійними. У

передачах Новікова коефіцієнт торцевого перекриття дорівнює нулю.

Профілі зубів у зачепленні Новікова окреслені дугами кіл з близькими радіусами кривизни при внутрішньому дотику. Лінія зачеплення розташована паралельно осям коліс, а не в площині їх обертання. Необхідною умовою безперервності зачеплення зубів і сталості передаточного відношення є умова, щоб коефіцієнт перекриття був більше одиниці.

У передачах Новікова торцевий коефіцієнт перекриття дорівнює нулю. Тому осьовий коефіцієнт перекриття має бути більше одиниці, а колеса обов'язково мати непрямі зуби.

У поздовжній площині у зв'язку з великими радіусами кривизни активних поверхонь дотик відбувається також з великим зведеним радіусом кривизни. Таким чином, тиск поширюється на значну площу контакту.

Передачі Новікова мають підвищену контактну несучу здатність порівняно з евольвентними в 1,5-2 рази. Це пов'язано, по-перше, дотиком опуклої поверхні по увігнутій і відповідно більший площині контакту, по-друге, підвищеною питомою несучою здатністю масляного клина між зубами. Передачі Новікова набули поширення у нас в країні і за рубежом у редукторах загального призначення, у суднобудуванні, авіабудуванні та інших галузях машинобудування. Застосування передач Новікова почалося з передач з однією лінією зачеплення (ОЛЗ), а нині в основному застосовують передачі з двома лініями зачеплення (ДЛЗ).

У передачах з однією лінією зачеплення профіль зуба одного колеса (зазвичай шестерні) роблять опуклим, а іншого- увігнутих. Якщо ведучим є зубчасте колесо з опуклим профілем зубів, то точка контакту розташована за полюсом і передачу називають заполюсною. Якщо ведено колесо є увігнутих профілем, то передача стає дополюсною.

Опуклий профіль розташовується поза початковим колом. У результаті припрацювання забезпечується дотик по висоті зубів, близький до лінійчастого.

Передачі з двома лініями зачеплення можливо подати як поєднання дополюсної і заполюсної передач. Головки зубів шестерні і колеса мають опуклий профіль, а ніжки увігнутий. Несуча здатність ДЛЗ вище ніж ОЛЗ і виготовлення простіше - один інструмент. Ці передачі мають велику контактну і згинальну міцність. Зачеплення Новікова стандартизовано. Кількість зубів шестерні зазвичай вибирають 10...25. Модуль зачеплення Новікова також стандартизований.

Вибір допустимих напружень, урахування змінності режиму роботи для передач Новікова проводять так, як для евольвентних. З зачепленням Новікова виготовляють передачі не тільки циліндричні, але й конічні. Для передач Новікова застосовують тіж матеріали, що й для евольвентних.

Для порівняння розмірів зубчастого колеса, в залежності від виду термічної обробки матеріалу і типу зачеплення, у розрахунках були прийняті дві леговані сталі 40ХН і 12Х2Н4А та два типу зачеплення: евольвентне і зачеплення Новікова. Розрахунки виконувались для трьох видів термообробки: поліпшення, загартування і цементация з наступним загартуванням. Розрахунки виконувались у діапазоні крутних моментів від 250 до 1000 н.м.

Виконані розрахунки для евольвентного зачеплення при різних видах термічної обробки показали, що найменші розміри діаметр шестерні буде мати при використанні для його виготовлення матеріалу 12Х2Н4А. В порівнянні з матеріалом із загартованої сталі 40ХН розмір зубчастого колеса із сталі 12Х2Н4А мав розміри діаметра шестерні менше в 1,36 рази, а в порівнянні з поліпшеною сталлю 40ХН менше в 1,7 рази. Якщо зубчасті колеса виконати з використанням зачеплення Новікова, то їх діаметральні розміри в порівнянні з евольвентним зачепленням, при всіх розглянутих матеріалах (40ХН і 12Х2Н4А) і видах термообробки, будуть менше у даному випадку в 1,736 рази.

Отримані результати розрахунків показують, що вибір матеріалу для виготовлення зубчастого колеса, його вид термообробки і типу зачеплення суттєво впливають на діаметральні розміри зубчастого колеса, а отже впливають на габарити і вагу виробу в цілому.
УДК 519.6:539.3

Світличний С. П., к.т.н, доцент

РОЗРОБКА ЧИСЛЕННОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗІТКНЕННЯ ПТАХУ З ЛОПАТКОЮ ДВИГУНА

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

Попадання птахів у двигун призводить до пошкоджень різного ступеня важкості, висуваючи питання безпеки польотів на перший план. У зв'язку з цим одним із етапів розробки та введення в експлуатацію нових авіаційних двигунів є етап сертифікаційних випробувань, метою якого є підтвердження шляхом випробувань того, що попадання птаха у двигун не призведе до катастрофічних наслідків, внаслідок яких літак не зможе здійснити аварійну посадку. Ця процедура є трудомісткою і досить дорогою. Одним із недоліків такого підходу є те, що у наслідок таких випробувань доводиться неминуче жертвувати конструкцією двигуна, який сам є досить дорогим виробом.

Чисельне моделювання є ефективним інструментом, здатним частково замінити натурні випробування та знизити витрати на їх проведення. В даному аспекті актуальним є питання розробки ефективних та робастних моделей, що дозволяють отримувати точні та достовірні результати.

Про актуальність цього підходу свідчить зростаюча кількість наукових публікацій з цього питання [1-5]. Причому інтерес до цієї проблеми спостерігається не тільки в авіації, а й в інших галузях, таких як автомобільна промисловість та ядерна енергетика, де питання безпеки та надійності є першорядними.

Огляд робіт, присвячених даному питанню, дозволяє сформулювати не вирішені питання: 1. відсутність єдиного підходу та чітких критеріїв при розробці моделі птаці; 2. нестача експериментальних даних ускладнює процес верифікації результатів численного моделювання.

Метою даної роботи є розробка моделі для чисельного дослідження процесу зіткнення птаха з лопаткою двигуна, застосування якої дозволить скоротити час та обсяг натурних випробувань.

Об'єктом дослідження є лопатка прямокутної форми в плані з розмірами b , L і t , а також птах (м'яке тіло), що моделюється у вигляді циліндра з плоскими торцями зі співвідношенням розмірів L до D яке дорівнює 2 (рис. 1).

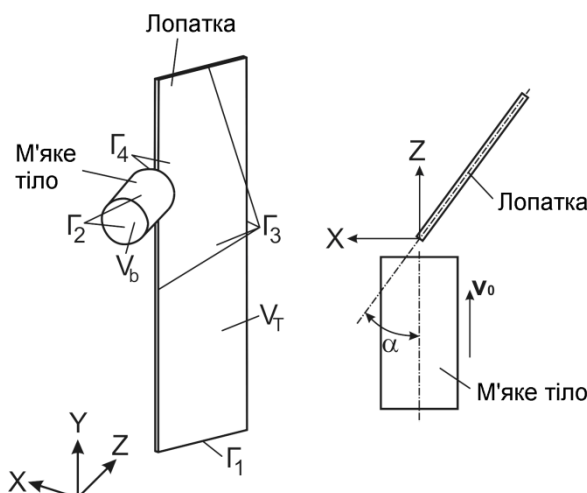


Рис. 1. Розрахункова схема завдання про зіткнення птаха з лопаткою двигуна

Розміри м'якого тіла пов'язані з параметрами суцільного середовища, що моделюється, наступними співвідношеннями:

$$R = \sqrt[3]{\frac{m}{2\pi\rho_0 A}}, L = 2AR, A = L/D = 2, \quad (1)$$

де m – маса птаха, кг; $\rho_0 = -0.063 \lg(m) + 1,148$ – щільність середовища, що моделює м'яке тіло, г/см³.

При розробці моделі ударної взаємодії птаці з лопаткою двигуна застосовували феноменологічний підхід (рис. 2), що передбачає опис суттєво нелінійного, нестационарного процесу контактної взаємодії на основі рівнянь механіки суцільних середовищ із подальшим застосуванням моделей та чисельних методів, реалізованих у системі LS-DYNA.



Рис. 2. Расчетно-экспериментальный метод исследования соударения птицы с лопаткой двигателя

Основні рівняння математичної моделі, що описують рух і термомеханічний стан деформівних суцільних середовищ, записано в актуальній конфігурації і наведено в роботі [6]. Вони включають основні рівняння механіки, що виражають фундаментальні закони збереження маси, імпульсу та енергії, а також кінематичні, геометричні та фізичні співвідношення, доповнені граничними, контактними та початковими умовами.

При чисельному розв'язанні задачі використовуємо слабку форму рівнянь руху:

$$\delta\pi = \int_{\Omega} \rho \ddot{x}_i \delta x_i d\Omega + \int_{\Omega} \sigma_{ij} \frac{\partial \delta x_i}{\partial x_j} d\Omega = 0 \quad (2)$$

де δ – символ Кронекера, ρ – щільність суцільного середовища у поточний момент часу, x – Лагранжеві координати точок суцільного середовища в актуальній конфігурації, \ddot{x} – прискорення точок суцільного середовища у поточний момент часу, σ_{ij} – напруження Коші, Ω – об'єм у поточний момент часу.

Розроблено чисельну модель, в якій застосовано два методи: сітковий (метод скінчених елементів) та безсітковий метод (метод згладжених часток SPH) дискретизації суцільних середовищ.

У разі скінчено-елементної дискретизації рішення інтегрального рівняння руху зводиться до розв'язання системи матричних рівнянь.

Скінчено-елементна модель лопатки двигуна представлена набором чотирьох вузлових оболонкових елементів із трьома точками інтегрування по товщині [7].

Для опису руху та деформування птаха застосовано безсітковий метод згладжених частинок [8], який передбачає опис деформівного суцільного середовища у вигляді набору

рівномірно розподілених за об'ємом дискретних частинок. Кожна з частинок є носієм властивостей про суцільне середовище та описується своїми просторовими координатами $x_i(t)$ і масою $m_i(t)$.

Для дискретизації за часом застосовано метод скінчених різниць, який реалізовано у вигляді явної схеми 2-го порядку [9]. Для забезпечення стійкості явної різницевої схеми зі змінним кроком за часом повинна виконуватися умова Куранта-Фрідріхса-Леві:

$$\Delta t_i^2 \leq \frac{4\delta_i}{\omega_{max}^2},$$

де ω_{max} – вища власна частота системи, параметр $0 \leq \delta_i = \frac{\Delta t_i}{\Delta t_{i-1}} \leq 1$.

Для опису матеріального відгуку суцільних середовищ у процесі їх ударно-контактної взаємодії вибрано такі моделі: для лопатки двигуна – модель пружно-пластичного середовища, яка враховує вплив швидкості деформування [10]; для м'якого тіла – гідродинамічна модель суцільного середовища з рівнянням стану поліноміального типу [11, 12].

Розроблена чисельна модель (рис. 3) дозволяє моделювати випадки фронтального ($\alpha=90^\circ$) та косого удару птаха по лопатці, яка виготовлена з титанового сплаву Ті 8-1-1 без урахування можливого руйнування лопатки.

Результат чисельного моделювання зіткнення птаха (маса $m=82,6$ г, швидкість удару $V_{im} = 302.1$ м/с) з лопаткою двигуна у разі косого удару $\alpha=36,4^\circ$ показано на рис. 4.

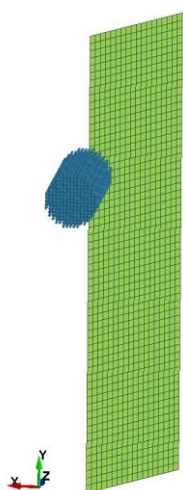


Рис. 3. Чисельна модель для моделювання зіткнення птаха з лопаткою двигуна (випадок косого удару $\alpha=36,4^\circ$)

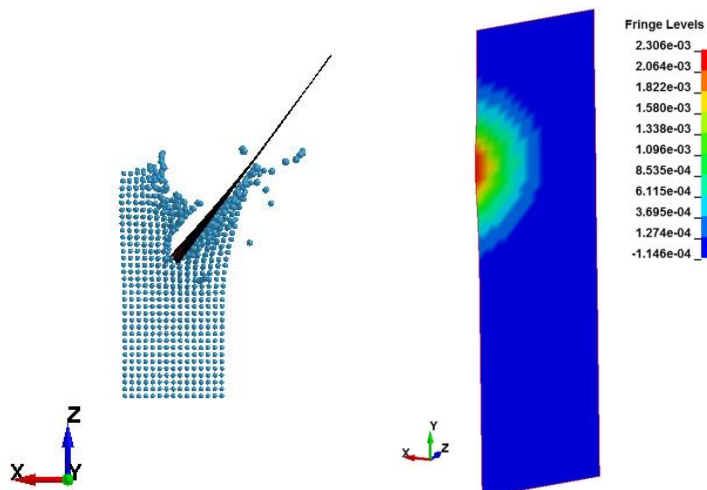


Рис. 4. Результат чисельного моделювання зіткнення птахи з лопаткою двигуна при косому ударі $\alpha=36,4^\circ$:
а) характер деформування м'якого тіла та лопатки в момент часу $T=107,9$ мкс
б). прогин лопатки у напрямку Z в момент часу $T=107,9$ мкс

У процесі розробки моделі виконано верифікацію шляхом порівняння результатів чисельного моделювання з результатами натурних експериментів [13, 14], а також розрахунковими даними інших авторів [15].

Досліджено вплив кількості SPH частинок у моделі м'якого тіла на розподіл тиску у разі удару по абсолютно жорсткій перешкоді (рис. 5), а також зміна максимального тиску при ударі залежно від кількості частинок (рис. 6). Змодельовано випадок фронтального удару птахи масою $m=1,0$ кг зі швидкістю $V_{im} = 100$ м/с.

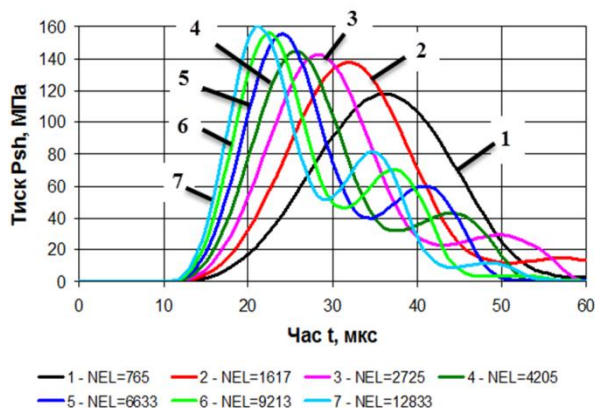


Рис. 5. Вплив кількості частинок на розподіл тиску при ударі м'якого тіла по жорсткій перешкоді

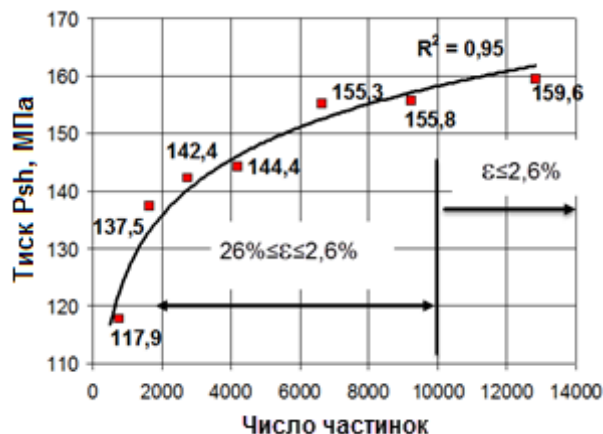
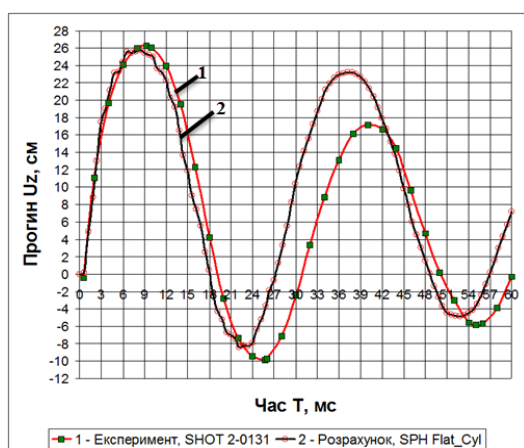


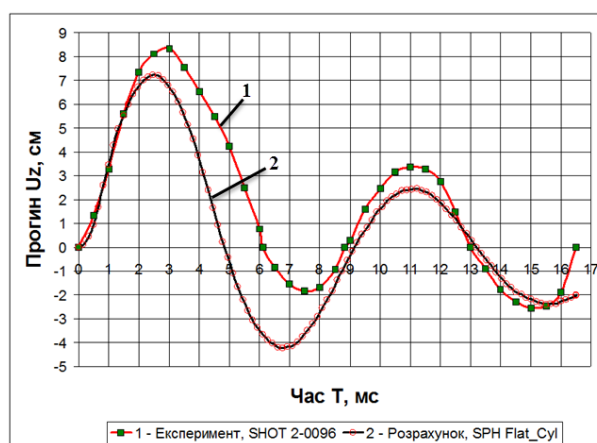
Рис. 6. Вплив кількості частинок на зміну тиску Гюгоніо при ударі м'якого тіла по жорсткій перешкоді

Отриманий результат дозволяє виконати налаштування моделі шляхом вибору необхідної кількості частинок моделі м'якого тіла і оцінити при цьому похибку розрахунку.

На рис. 7 показано результати чисельного моделювання зіткнення птаха з лопаткою двигуна у разі фронтального удару. Під час моделювання розглянуто два варіанти лопаток: довгі зразки з розмірами $L=311,2$ мм, $b=88,9$ мм і $t=4,27$ мм та короткі зразки з розмірами $L=155,6$ мм, $b=88,9$ мм і $t=4,27$ мм.



а



б

Рис. 7. Графік зміни динамічного прогину лопатки в кінцевому перерізі при фронтальному ударі: а) маса птаха $m=85,9$ г, швидкість удару $V_{im} = 189,6$ м/с; б) маса птаха $m=98,6$ г, швидкість удару $V_{im} = 99,4$ м/с

Отримано задовільне узгодження результатів чисельного моделювання з натурним експериментом, що вказує на здатність моделі достовірно описувати процеси, які супроводжують процес зіткнення птаха з лопаткою двигуна.

Невирішеними залишаються питання щодо можливості урахування ймовірного руйнування лопатки при ударі, а також розгляд випадків удару по лопатках, виконаних з композиційних матеріалів, що є предметом подальшого вдосконалення моделі.

Висновки:

1. Розроблено чисельну модель для дослідження процесу зіткнення птаха з лопаткою двигуна.
2. Проведено верифікацію моделі шляхом порівняння результатів чисельного моделювання з результатами натурних експериментів. Задовільне узгодження результатів підтверджує адекватність та достовірність отриманих результатів.

3. Досліджено вплив параметрів моделі на отриманий результат, що дозволяє виконати налаштування параметрів моделі для отримання необхідної точності рішення.

Список використаних джерел

1. Івченко, Д. В. Розробка моделі птаха-ударника для математичного моделювання процесів пошкодження деталей турбореактивного двоконтурного двигуна / Д. В. Івченко, В.М. Меркулов, Н.В. Сметанкіна. // *Авіаційно-космічна техніка та технологія*. – 2020. – № 8 (168). – С. 82-90.
2. Ванін, В. А. Чисельне дослідження птахо стійкості лопаток авіаційного двигуна / В. А. Ванін, С. П. Світличний // *Математичне моделювання в економіці: міжнародний науковий журнал*. – Київ, 2019. – №1 (14). – С. 48–62.
3. Minki, K. An Extensive Crashworthiness Methodology for Advanced Propulsion Systems, Part I: Soft Impact Damage Assessment of Composite Fan Stage Assemblies / K. Minki, A. Zammit, A. Siddens, J. Bayandor // *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. – 4 - 7 January 2011. – Orlando, Florida. – pp. 10116-10124. <https://doi.org/10.2514/6.2011-981>
4. Anghileri, M. Preliminary Investigation on the Feasibility of a Bird Surrogate for Fullscale Bird Impact Test / M. Anghileri, A. Milanese, G. Moretti, L. Castelletti // *28th International congress of the aeronautical sciences*. –2019. – p. 129–136. https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2012/PAPERS/855.PDF
5. Yupu, G. Foreign Object Damage to Fan Rotor Blades of Aeroengine Part II: Numerical Simulation of Bird Impact / G. Yupu, Z. Zhenhua, C. Wei, G. Deping // *Chinese Journal of Aeronautics* 21(2008) p. 328-334.
6. Світличний, С. П. Моделі взаємодії м'якого тіла з перешкодою і результати їх дослідження [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02; захищена 16.10.2019; утв. 00.12.2019 / Світличний Сергій Петрович. – Х., 2019. – С. 41 – 45.
7. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 7. Belytschko-Lin-Tsay Shell – Livermore: LSTC, 2006. – p. 111–116.
8. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 38. SPH – Livermore: LSTC, 2006. – p. 637–642.
9. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 24. Time Integration – Livermore: LSTC, 2006. – p. 501.
10. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 19. Material Models. Material Model 3: Elastic Plastic with Kinematic Hardening – Livermore: LSTC, 2006. – p. 273–276.
11. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 19. Material Models. Material Model 9: Null Material – Livermore: LSTC, 2006. – p. 283.
12. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 20. Equation of State Models. Equation of State Form 1: Linear Polynomial – Livermore: LSTC, 2006. – p. 475–476.
13. Impact Behavior of Low Strength Projectiles: Technical report / University of Dayton Research Institute; Wilbeck J. S. – Jule 1978. – 129 p. – AFML–TR–77–134. – ADA060423.
14. Structural Element and Real Blade Impact Testing [Text]: Technical report: / University of Dayton Research Institute; Bertke, R. S. – January 1983. – 468 p. –AFWAL–TR–82–2121. – ADA127744.
15. Онгірський, Г. Г. Експериментальне дослідження птахостійкості елементів конструкції літака / Г. Г. Онгірський, А. Н. Шупиков, С. В. Угримов та ін // зб. наук. тр. Нац. аерокосм. ун-ту ім. Н. Є. Жуковського "ХАІ". Питання проектування та виробництва конструкцій літальних апаратів. – 2011. – Вип. 2. – С. 49-59.

ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ ПЛАНЕТАРНИХ МЕХАНІЗМІВ АВІАЦІЙНИХ РЕДУКТОРІВ

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

Зубчасті передачі авіаційних редукторів літаків і гелікоптерів в більшості є важко навантаженими високо швидкісними передачами, у яких колова швидкість сягає 100..130 м/с. Особливістю таких зубчастих коліс є їх мала відносна вага.

Підвищення працездатності, зменшення маси та габаритних розмірів, збільшення терміну служби авіаційних зубчастих передач є однією з важливих проблем у галузі авіаційного редукторобудування. Її вирішують шляхом надання таким передачам відповідних конструктивних і технологічних властивостей, використанням високоякісних матеріалів та ефективних методів розрахунків з використанням зсуву (зміщення) різального інструменту при виготовленні зубчастих коліс.

Біля 94% циліндричних прямозубих передач, що застосовуються в редукторах і приводах, мають кут зачеплення більше 20° .

Для авіаційних силових передач згідно з авіаційними нормами застосовують вихідний твірний контур з кутом профілю $\alpha = 25^\circ, 28^\circ$. Розрахунок геометричних параметрів передач зі зміщенням виконують з використанням блокувальних контурів, побудованих для кожного зубчастого зачеплення. За допомогою таких контурів одержують оптимальні значення коефіцієнтів зсуву, які суттєво впливають на контактну і згинну міцність зубців. Крім цього використання коефіцієнтів зсуву дає можливість змінювати міжосьову відстань зубчастого зачеплення (a_w). Цю властивість зубчастих передач використовують при проектуванні планетарних і диференціальних редукторів авіаційної техніки.

Використання зачеплення зі зсувом з різними кутами зачеплення дозволяє попередньо відмовитися від умови співвісності при підборі чисел зубців для планетарних механізмів по «генеральному рівнянню». Такий шлях дозволяє підібрати числа зубців, наприклад, для схеми $AI - z_1, z_3$, використовуючи рівняння передатного відношення і умову складання, а пізніше призначити число зубців для сателіта так, щоб задовільнити умову співвісності. В такому випадку використовують зовнішнє зубчасте зачеплення зі зміщенням, у якого кут зачеплення $\alpha_{w12} > 25^\circ$, а в коригованому внутрішньому зачепленні кут α_{w23} біля 25° , якщо при нарізуванні коліс використовували профільний кут 25° . Треба зауважити, що геометрія зубців внутрішнього зачеплення в значній мірі залежить від ВТК вихідного твірного контуру довбача, яким вони нарізуються. Крім того, передачі з внутрішнім зачепленням дуже чутливі до явища інтерференції. Тому при проектуванні внутрішнього і зовнішнього зачеплень використовують блокувальні контури, які дозволяють вибрати оптимальні значення коефіцієнтів зсуву.

Такий спосіб підбору зубців в планетарному механізмі дозволяє спростити його синтез, а в ряді випадків поліпшити конструкцію механізму – зменшити габарити та вагу.

ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС У СИСТЕМІ SIEMENS NX

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

Зубчасте колесо – основна деталь зубчастої передачі у вигляді диска з зубами на циліндричній або конічній поверхні, що входять в зачеплення із зубами іншого зубчастого елемента. На рис. 1, відповідно до [1], представлені основні параметри евольвентного зубчастого колеса.

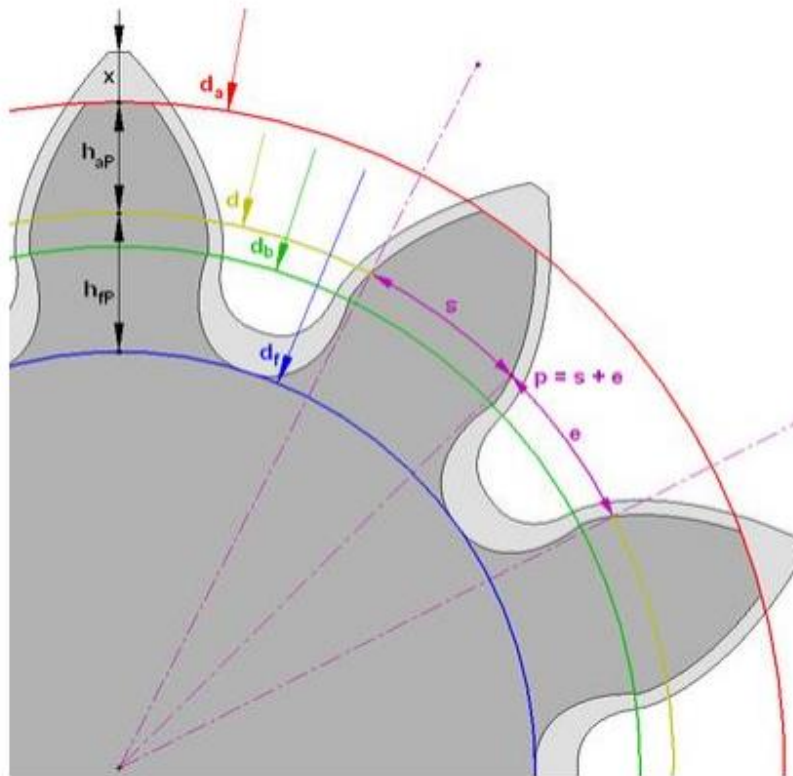


Рис. 1. Параметри евольвентного зубчастого колеса

Параметри евольвентного зубчастого колеса:

- m – модуль колеса – лінійна величина в π разів менша за окружний крок p або відношення кроку по будь-якому концентричному колу зубчастого колеса до π . Темне та світле колеса на рисунку 1 мають однаковий модуль;
- z – кількість зубів колеса;
- P – крок зубів (позначений бузковим кольором);
- d – діаметр ділительного кола (позначено жовтим кольором);
- d_a – діаметр кола вершин темного колеса (позначено червоним кольором);
- d_b – діаметр основного кола – еволюти (позначено зеленим кольором);
- d_f – діаметр кола западин темного колеса (позначено синім кольором);
- $h_{aP} + h_{fP}$ – висота зуба темного колеса;
- $x + h_{aP} + h_{fP}$ – висота зуба світлого колеса.

Побудова евольвенти можлива деякими способами: існують таблиці, за якими відбувається її побудова, або можна побудувати евольвенту приблизно по точках. Для розуміння цього способу потрібно розглянути математичний опис евольвенти кола. Для параметрично заданої кривої рівняння евольвенти:

$$\begin{aligned}x &= (d_main/2)(\cos(t)+t\sin(t)), \\y &= (d_main/2)(\sin(t)-t\cos(t)),\end{aligned}$$

де t – кут, d_main – діаметр основного кола (еволюти).

Зубчасте колесо, що моделюється, має z зубів із модулем m . Для побудови зубчастого колеса потрібні діаметр ділильного кола d , діаметр кола западин d_f , а також діаметр кола вершин d_a . Далі наведено формули, які використовуються для розрахунку діаметрів цих основних кіл:

$$\begin{aligned}d &= m*z; \\d_a &= d+2*m; \\d_f &= d-2.5*m; \\d_main &= d*\cos(20).\end{aligned}$$

Порядок побудови зубчастого колеса у системі Siemens NX наступний:

1. Створення основних керуючих змінних та залежностей для побудови параметричного зубчастого колеса.
2. Створення основних діаметрів зубчастого колеса, що обмежують зубчастий вінець.
3. Побудова профілю зуба відповідно до наведеної вище параметричної форми евольвенти.
4. Побудова всіх z зубів зубчастого колеса.

Створення основних діаметрів відбувається за допомогою команди Sketch in Task Environment. Побудова евольвенти проводиться командою Law Curve. Для побудови профілю зуба знову потрібно використати команду Sketch in Task Environment. Вже існують лінії, що обмежують западини та вершини зуба, є також його бічна поверхня. Товщина зуба обчислюється за формулою $s = m*\pi()/2$. Далі потрібно побудувати лінію симетрії зуба та зробити віддзеркалення евольвенти.

Недостатні частини профілю зуба, а саме плавні переходи між евольвентами та колом западин, можна зробити дугами кола. Неплавний перехід в цих місцях створює концентратори напружень на переламах. Як показано на рис. 2, вони можуть утворитись, коли дуга заходить на матеріал, і також коли дуга повністю лежить поза матеріалом. Концентратори напружень в зоні контактних поверхонь істотно погіршують якість передач під навантаженням. Щоб їх не допускати, дуга заокруглення має бути дотична до обох поверхонь ніжки та западини зуба. Величина радіусу цього заокруглення може бути описана наступною залежністю:

$$r = 0.38*m+0.5*m^{0.8}/z^{0.5}.$$

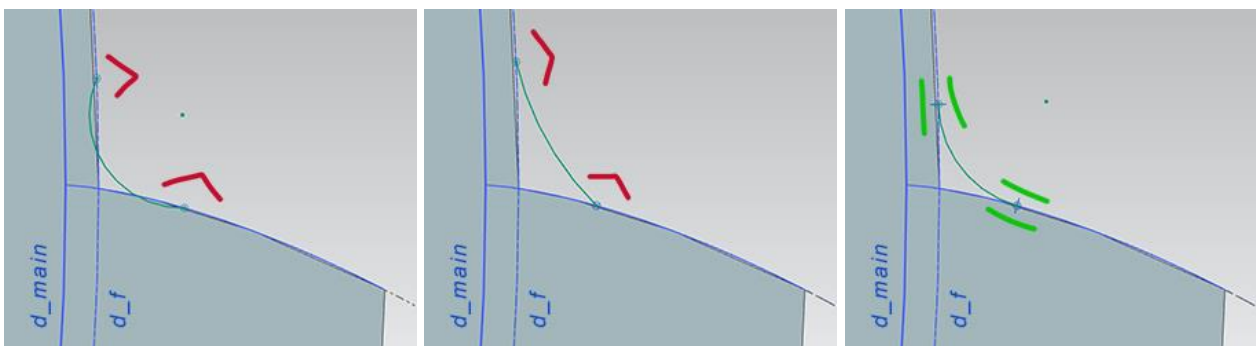


Рис. 2. Заокруглення між ніжкою і западиною зуба

З використанням представлених залежностей побудовано параметричне зубчасте колесо, яке представлено на рис. 3.

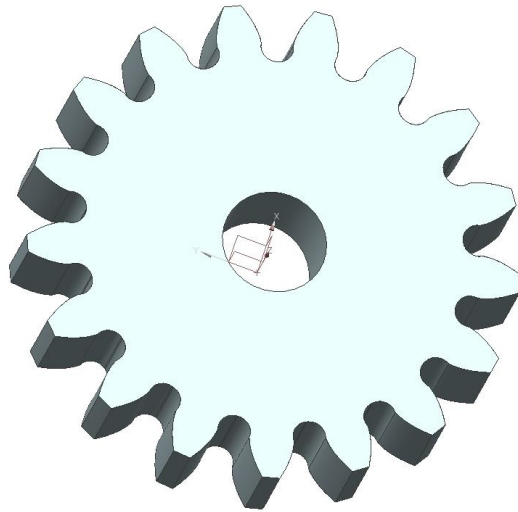


Рис. 3. 3D модель зубчастого колеса

Висновок: запропоновано підхід параметричного 3D моделювання зубчастих коліс та алгоритм послідовної їх побудови у системі Siemens NX.

Список використаних джерел

1. Електронний ресурс. Режим доступу:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D1%83%D0%B1%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%BE.
Дата звертання: 21.06.2024.

ОСОБЛИВОСТІ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У КУЛЬКОВИХ РАДІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ НАСОСАХ ГІДРООБ'ЄМНИХ ПЕРЕДАЧ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

Вступ. Один із найпередовіших та найефективніших напрямків створення безступінчастих трансмісій мобільних транспортних та спеціальних гусеничних машин пов'язаний із застосуванням гідрооб'ємних передач (ГОП), що дозволяють реалізувати паралельні потоки гідравлічної та механічної потужності. У найбільш сучасних варіантах такої передачі використовуються радіально-поршневі гідромашини (РПГ) з кульковими поршнями. З їхньою допомогою можливе створення досить компактних конструкцій трансмісії. Встановлено, що гідравлічні машини радіального типу здатні витримувати значно більші навантаження, ніж аксіальні гідромашини. Зазначені пристрої забезпечують також значно вищу швидкість обертання. Однак для цих передач характерний високий рівень навантаженості найбільш відповідальних елементів, зокрема циліндро-поршневих пар. Їх надмірний знос веде до зменшення потужності, що передається, зниження надійності пристроїв і навіть до поломок.

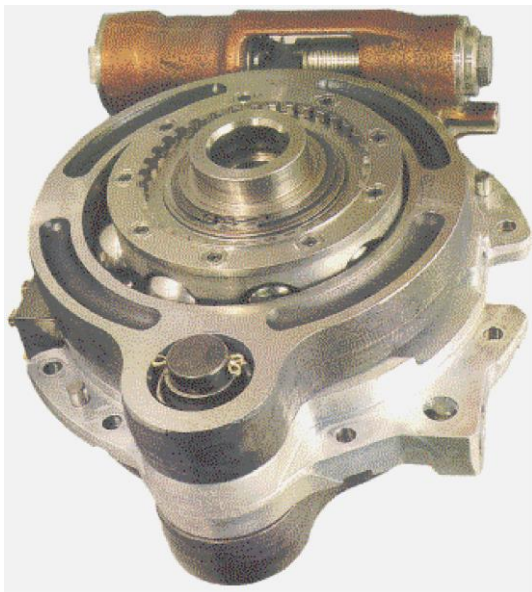


Рис. 1. Радіально-поршнева гідромашина з кульковими поршнями фірми “Martin-Marietta”

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Інтерес до застосування РПГ з кульковими поршнями для транспортних та спеціальних гусеничних машин різко зріс після того, як такого типу гідромашини (рис. 1) стали випускатися серійно фірмою “Martin-Marietta” (США) [1, 2]. Ці пристрої починають застосовувати і у вітчизняному машинобудуванні [2, 3].

Досить велика кількість робіт присвячена дослідженням, спрямованим на вдосконалення РПГ: вплив зносу циліндропоршневих пар на втрату потужності в гідромашинах; визначення зусиль, що діють у циліндрі РПГ. Дослідження різних втрат у гідромашинах, напружено-деформованого стану елементів

гідрооб'ємних передач, пульсацій тиску в поршневі камері насоса. Деякі конструктивні особливості РПГ, наприклад, розглядаються у роботах [1, 2]. У статті [3] викладено найпростіші прийоми вибору параметрів пристроїв.

Дослідження, присвячені вивченню динамічних процесів у силових передачах із радіально-поршневими ГОП, створенню алгоритмів діагностики параметрів РПГ із кульковими поршнями ще не знайшли достатнього відображення у науковій літературі.

Мета та постановка задачі. Метою роботи є створення достовірної математичної моделі динамічних процесів у насосі РПГ, що враховує інерційні властивості кульок-поршнів і статора, пружні властивості стовпа рідини в циліндрі керування, ексцентриситет, тиск

підживлення й у порожнині нагнітання, частоту обертання ротора. Це обумовлено потребами оцінки динамічних навантажень в елементах РПГ, діагностування різноманітних відхилень параметрів пристрою від номінальних, побудови загальної динамічної моделі силового ланцюга транспортної машини з урахуванням двигуна, трансмісії та ходової частини. Проведення розрахунково-експериментальних досліджень.

Математична модель насоса РПГ. На кінематичній схемі насоса РПГ (рис. 2, а) показано: 1 – блок циліндрів (ротор), 2 – кулька-поршень, 3 – цапфовий розподільник, 4 – статорне кільце, 5 – корпус ГОП, 6 – гідроциліндр системи керування, 7 – цапфа керування статорного кільця, 8 – вісь обертання статорного кільця. Вісь обертання ротора проходить через точку O , а через точки O_1 , O_3 проходять відповідно вісь статорного кільця і вісь його обертання.

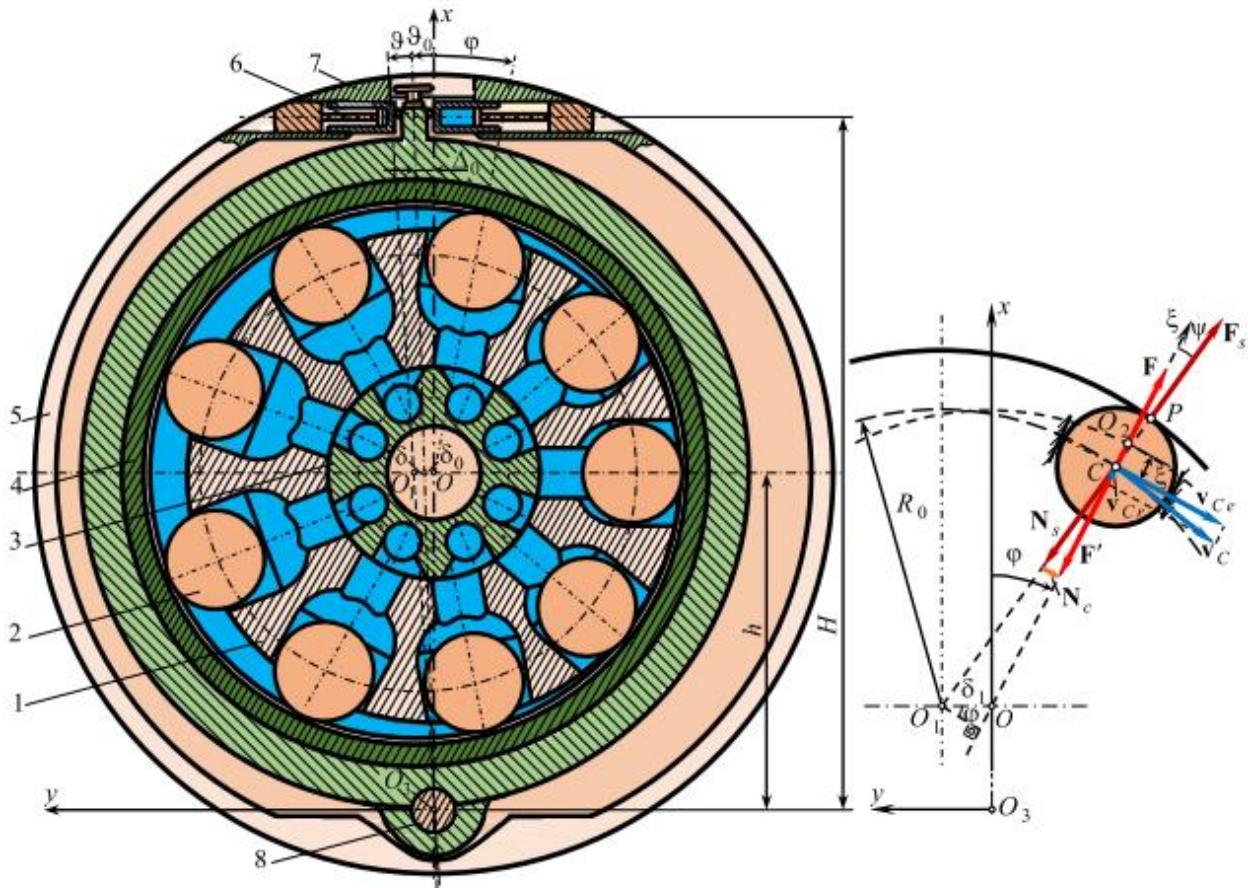


Рис. 2. Радіально-поршневий насос з кульковими поршнями:
а) кінематична схема; б) складові швидкості центра мас кульки і сили, що діють на кульку і статор

Геометричні і кінематичні співвідношення. Вважаючи кутові відхилення статора малими, маємо (див. рис. 2, а):

$$\vartheta_0 = \frac{\Delta_0}{H}; \quad \delta_0 = \vartheta_0 h; \quad \vartheta = \frac{\Delta}{H}; \quad \delta = \vartheta h; \quad \delta_1 = \delta_0 + \delta = (\vartheta_0 + \vartheta)h, \quad (1)$$

де Δ – поточне відхилення цапфи статора; H – відстань від осі обертання статора до осі гідроциліндра керування; h – відстань від осі обертання статора до осі ротора.

Тепер формули для модуля переносної швидкості v_{Ce} , проекції відносної швидкості $v_{Cr\xi} = v_{Cr}$ на вісь $O\xi$ і квадрата абсолютної швидкості центра кульки v_C (див. рис. 2, а) з урахуванням (1) запишуться у вигляді:

$$v_{Ce} = \dot{\varphi} \rho_1 = \dot{\varphi} (R_0 - \delta_1 \sin \varphi); \quad (2)$$

$$v_{Cr} = -h(\dot{\vartheta} \sin \varphi + (\vartheta_0 + \vartheta)\dot{\varphi} \cos \varphi); \quad (3)$$

$$v_C^2 = v_{Cr}^2 + v_{Ce}^2 = h^2 [\dot{\vartheta} \sin \varphi + (\vartheta_0 + \vartheta)\dot{\varphi} \cos \varphi]^2 - [R_0 - h(\vartheta_0 + \vartheta)\sin \varphi]^2 \dot{\varphi}^2 - [R_0 - h(\vartheta_0 + \vartheta)\sin \varphi]^2 \dot{\varphi}^2. \quad (4)$$

Кінетична енергія системи. Повну кінетичну енергію системи (n – кульок і статорне кільце) можна представити як функцію наступної структури [3]

$$T = \sum_{k=1}^n T_p \left(\varphi - (k-1) \frac{2\pi}{n}, h, R_0, \vartheta, \vartheta_0, \dot{\varphi}, \dot{\vartheta} \right) + T_s(\dot{\vartheta}). \quad (5)$$

Узагальнена сила повинна відображати пружні властивості стовпа рідини в циліндрі керування (**поновлюючий пружний момент**), момент від сил тиску робочої рідини в циліндрах насоса (**збурюючий момент**), дисипативні властивості моделі (**момент в'язкого опору**).

У багатьох випадках для поновлюючого пружного моменту та моменту в'язкого опору цілком прийнятними виявляються лінійні моделі відповідно

$$M_{O_3z}^{(\vartheta)}(\vartheta) = -cH^2\vartheta, \quad (6) \quad M_{O_3z}^{(\dot{\vartheta})} = -b_e\dot{\vartheta}, \quad (7)$$

де c – еквівалентний коефіцієнт пружності рідини; b_e – еквівалентний коефіцієнт опору.

Збурюючий момент у розглянутій моделі формується силами тиску робочої рідини в підпоршневих просторах циліндрів насоса. Закон зміни тиску в першому циліндрі на одному оберті ротора для зазначених вище зон високого і низького тисків з урахуванням зробленого припущення відносно закиду тиску представлений на рис. 3.

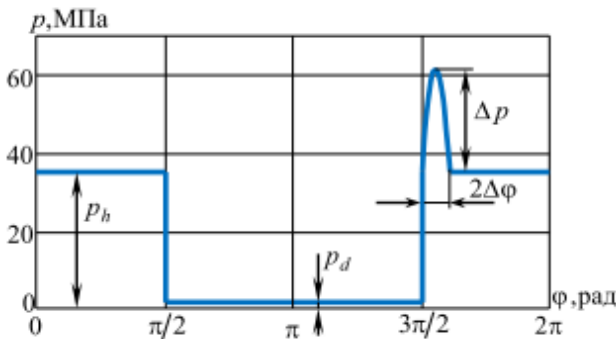


Рис. 3. Залежність тиску в підпоршневому просторі від кута повороту ротора

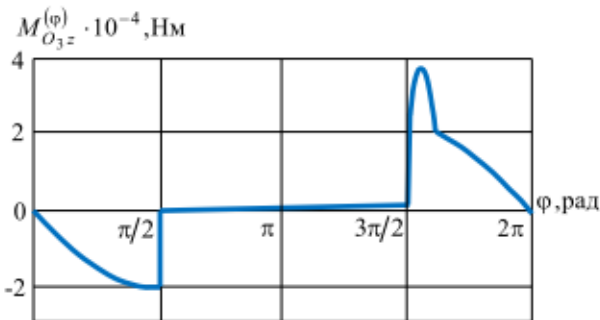


Рис. 4. Залежність моменту сил тиску рідини в першому циліндрі від кута повороту ротора

Прийнято наступні позначення: p_h – тиск у порожнині нагнітання; p_d – тиск підживлення; Δp – величина закиду тиску.

Для модуля сили \mathbf{F} , що діє на кульку з боку робочої рідини, справедлива очевидна формула $F = p\pi r^2$. До кульки прикладена також реакція циліндра \mathbf{N}_c і реакція статора \mathbf{N}_s (див. рис. 2, б). Там же показана і рівнодіюча цих сил $\mathbf{F}' = \mathbf{N}_c + \mathbf{N}_s$. Тому що $\mathbf{F}' = -\mathbf{F}$, то з прямокутного силового трикутника легко знаходиться модуль сили \mathbf{N}_s , а значить і модуль сили \mathbf{F}_s , що діє з боку

кульки на статор.

Введемо в розгляд радіус-вектор точки прикладання цієї сили $\mathbf{r}_{F_s} = \overline{O_3P}$, тоді для вектора-моменту сили відносно центра O_3 буде справедливий вираз

$$\mathbf{M}_{O_3}^{(\varphi)}(\mathbf{F}_s) = \mathbf{r}_{F_s} \times \mathbf{F}_s. \quad (8)$$

Залежність моменту від кута повороту ротора показана на графіку рис. 4.

Для сумарного збурюючого моменту від n циліндрів маємо

$$\tilde{M}_{O_{3z}}^{(\varphi)} = \sum_{k=1}^n M_{O_{3z}}^{(\varphi)} \left(\varphi - (k-1) \frac{2\pi}{n} \right). \quad (9)$$

Склавши моменти (6), (7) і (8), одержимо остаточний вираз для узагальненої сили:

$$Q_{\vartheta} = M_{O_{3z}}^{(\dot{\vartheta})} + M_{O_{3z}}^{(\vartheta)} + \tilde{M}_{O_{3z}}^{(\varphi)}. \quad (10)$$

Рівняння Лагранжа. Після виконання стандартних операцій по визначенню похідних від кінетичної енергії системи, при урахуванні тотожностей [5] рівняння Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\vartheta}} - \frac{\partial T}{\partial \vartheta} = Q_{\vartheta} \quad (11)$$

здобуває вигляд

$$\left(\frac{7}{10} mn h^2 + I_{O_{3z}} \right) \ddot{\vartheta} - \frac{7}{5} mn h^2 (\vartheta_0 + \vartheta) \dot{\varphi}^2 = \tilde{M}_{O_{3z}}^{(\varphi)} + M_{O_{3z}}^{(\vartheta)} + M_{O_{3z}}^{(\dot{\vartheta})}. \quad (12)$$

Коли обертання ротора є рівномірним, тобто $\dot{\varphi} = \omega = const$, то поновлюючий момент (6) стає періодичною функцією часу:

$$M_{O_{3z}}^{(\varphi)}(t) = \sum_{k=1}^n M_{O_{3z}}^{(\varphi)} \left(t - \frac{2\pi(k-1)}{\omega n} \right), \quad (13)$$

де $M_{O_{3z}}^{(\varphi)}(t)$ – функція часу, що виходить з (6) після відповідних заміни φ на ωt .

Рівняння (12) на сталому режимі з урахуванням (6), (7) і (13), після відповідного перегрупування доданків, здобуває вигляд

$$I_{O_{3z}}^{(e)} \ddot{\vartheta} + b_e \dot{\vartheta} + c_e \vartheta = M_{O_{3z}}^{(0)} + M_{O_{3z}}^{(\varphi)}(t), \quad (14)$$

де $I_{O_{3z}}^{(e)} = \frac{7}{10} mn h^2 + I_{O_{3z}}^{(s)}$ – еквівалентний момент інерції моделі; $c_e = c H^2 - \frac{7}{5} mn h^2 \omega^2$ – еквівалентна жорсткість; $M_{O_{3z}}^{(0)} = \frac{7}{5} mn h^2 \vartheta_0 \omega^2$ – постійний момент, обумовлений рухом кульок.

Розрахунково-експериментальні дослідження. Для перевірки коректності побудованої математичної моделі проведено розрахунково-експериментальні дослідження пристрою з наступними відносними геометричними параметрами: $r = 1$; $R_0 = 4,039$; $h = 6,142$; $H = 14,803$; $\Delta_0 = 0,315$; $d = 1,26$; $L = 0,756$. Для формування пружного і збурюючого моментів прийняті такі параметри $p_h = 35$ МПа; $p_d = 1,5$ МПа; $k_p = 0,75$; $\Delta\varphi = \pi/18$; $E = 1,35 \cdot 10^3$ МПа. Остаточні значення для коефіцієнтів диференціального рівняння (14) при використанні постійних переходу $I_0 = 1$ кгм²,

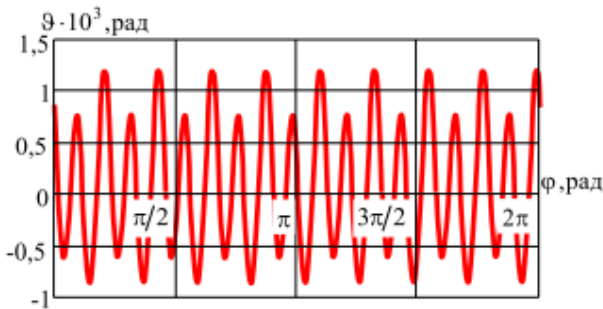


Рис. 5. Залежність кута відхилення статора від кута повороту ротора

використанні постійних переходу $I_0 = 1$ кгм², $c_0 = 1 \cdot 10^8$ Нм: $I_{O_{3z}}^{(e)} = 3,719$; $c_e = 0,3774$; $b_e = 0,02$; $M_{O_{3z}}^{(0)} = 0,9601 \cdot 10^{-5}$. При цьому в розрахунках момент $M_{O_{3z}}^{(\varphi)}(t)$ варто зменшити в c_0 раз. Безрозмірне значення частоти – $\omega = 0,03$.

На рис. 5 представлений графік зміни кута повороту статора для одного повного оберту ротора. Його аналіз показав, що

найбільш сильна вісімнадцята гармоніка в законі руху формується зміною тиску в циліндрі за законом прямокутного синуса без урахування закиду тиску (див. рис. 4). Дев'ята ж гармоніка саме обумовлена закидом тиску при переході циліндра з зони високого тиску у зону низького тиску.

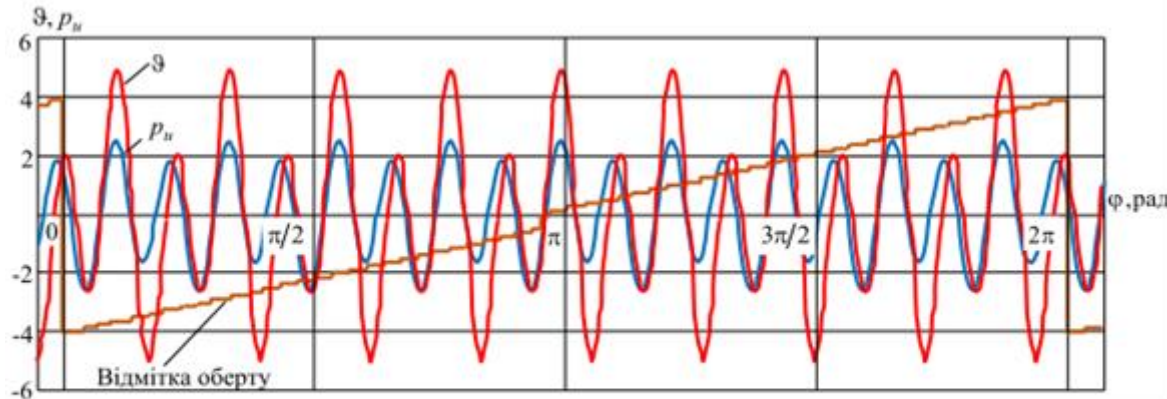


Рис. 6. Експериментальні залежності для кута відхилення статора і тиску в циліндрі керування на одному оберті ротора

Експериментальні залежності кутового відхилення статора θ і тиску в циліндрі керування p_u на одному оберті показані на рис. 6. Графіки приведені у відносних одиницях (кутові відхилення статора отримані шляхом перерахування експериментально обмірюваного віброприскорення). На рисунку зображена також відмітка оберту. Має місце гарний збіг відповідних кривих рис. 5 і 6.

Висновки. 1. Створено універсальну математичну модель динамічних процесів у насосі радіально-поршневої гідромашини з кульковими поршнями. 2. Враховано інерційні властивості кульок-поршнів, статора, пружні властивості стовпа рідини в циліндрі керування, тиск рідини в магістралях і його закиди, частоту обертання ротора, ексцентриситет. 3. Запропоновано модель формування закону зміни тиску з урахуванням його закидів у циліндрах насоса на оберті ротора. 4. Знайдено механізм формування в законі руху статора насоса з номінальними параметрами істотних дев'ятої і вісімнадцятої гармонік. 5. Установлено причини появи в законі руху статора значних гармонік більш низького порядку. 6. Запропонована модель має значні перспективи для рішення широкого кола проблем динаміки ГОП з кульковими РПП у загальній динамічній моделі силового ланцюга транспортної машини.

Список використаних джерел

1. HMPT-1250. Compact transmission for AFAS/FARV. Transmission Programs Defense Systems Martin Marietta.– 1993.
2. Bohach, G. A Study and optimization of a radial ball piston pump for high-speed applications : дис.– University of Minnesota, 2021.
3. Vladimir M. Shatokhin, Boris F. Granko, Vladimir N. Sobol. Vibration diagnostic of wear for cylinder-piston pumps couples of a radial piston hydromachine. Mechatronic Systems I. Applications in Transport, Logistics, Diagnostics and Control, edied by Waldemar Wójcik, Sergii Pavlov, Maksat Kalimoldayev, (2021), Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book Boca Raton, London, New York, Leiden, PP. 39-52, 306 P. ISBN 978-1-032-10583-3 <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208771905>.
4. Башта, Т. М. Об'ємні насоси та гідравлічні двигуни гідросистем. – М.: Машинобудування, 1982. – 606 с.
5. Двайт, Г. Б. Таблиці інтегралів та інші математичні формули. – М.: Наука, 1973. – 228 с.

**ОЦІНКА ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ ЧИСЛА СТУПЕНІВ КОНСТРУКЦІЇ
РЯДНОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНІЗМУ ТИПУ $n \times \overline{AI}$ ЗА КРИТЕРІЄМ
ЗАГАЛЬНОЇ МАСИ**

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

Серед механізмів приводів систем управління літальних апаратів найбільше поширення отримали багатоступінчасті рядні планетарні механізми типу $n \times \overline{AI}$. Застосування в якості їх базового ступеня планетарного механізму схеми \overline{AI} (планетарний механізм Джеймса) дозволяє при однакових передаточних відношеннях в порівнянні з іншими схемами мати менші габарити в осьовому напрямі. Зниження маси таких механізмів призводить до зменшення габаритів, металоємності і собівартості виготовлення, а також підвищення економічності експлуатації виробу, до складу якого входить механізм.

Мінімізація маси багатоступінчастого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ є актуальним завданням. Одним з параметрів конструкції таких механізмів, значення якого впливає на загальну масу механізму, є число ступенів його конструкції.

Кінематична схема рядного багатоступінчастого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ показана на рис. 1. Наскрізна нумерація усіх зубчастих коліс механізму показана на рис. 1, а. Локальна нумерація зубчастих коліс (в межах одного ступеня) показана на рис. 1, б.

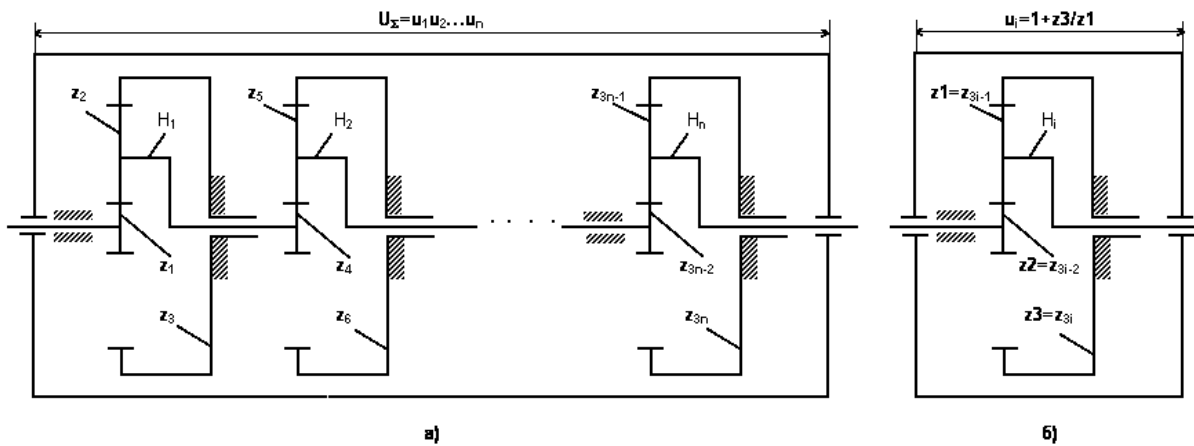


Рис. 1. Рядний планетарний механізм типу $n \times \overline{AI}$

Сумарна маса рядного багатоступінчастого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ визначається у вигляді наступної суми

$$M_{\Sigma} = M_1 + M_2 + \dots + M_n = \sum_{i=1}^n M_i, \tag{1}$$

де M_i – маса i -го ступеня механізму; n – число ступенів механізму.

Маса окремого ступеня може бути визначена за формулою [1]:

$$M_i = \frac{\pi \rho_{3i-2}}{4} b_{3i-2} d_{3i-2}^2 \left(1 + k_i \left(\frac{u_i - 2}{2} \right)^2 + n_{Mi} \frac{u_i^2}{4} \right), \tag{2}$$

де ρ_{3i-2} , b_{3i-2} , d_{3i-2} – щільність матеріалу, ширина вінця та діаметр ділильного кола центрального зубчастого колеса z_{3i-2} ; k_i – число сателітів i -го ступеня механізму; u_i – передаточне відношення i -го ступеня механізму; n_{Mi} – коефіцієнт приведення мас корпусу, водила і нерухомого зубчастого колеса до маси умовного диска, прийнятий для i -го ступеня механізму.

Підставивши (2) в (1) і виносячи за дужки загальний множник, отримаємо

$$M_{\Sigma} = \frac{\pi\rho_1}{4} b_1 d_1^2 \left(A_1 + \sum_{i=2}^n A_i B_i \right), \quad (3)$$

де $A_i = 1 + k_i \left(\frac{u_i - 2}{2} \right)^2 + n_{Mi} \frac{u_i^2}{4}$, $B_i = \frac{\rho_{3i-2} b_{3i-2} d_{3i-2}^2}{\rho_1 b_1 d_1^2}$ – безрозмірні коефіцієнти.

Співвідношення (3) можна записати іншим чином, а саме

$$M_{\Sigma} = \frac{\pi\rho_{3n-2}}{4} b_{3n-2} d_{3n-2}^2 \left(\sum_{i=1}^{n-1} A_i B_i + A_n \right), \quad (4)$$

де $B_i = \frac{\rho_{3i-2} b_{3i-2} d_{3i-2}^2}{\rho_{3n-2} b_{3n-2} d_{3n-2}^2}$ – безрозмірний коефіцієнт.

Відмінність приведених формул полягає тільки в тому, що в них по-різному обчислюються коефіцієнти B_i . Формулу (4) прийнятніше використати стосовно так званих силових механізмів. В цьому випадку самим навантаженим ступенем механізму буде його останній ступінь. Відповідно формулу (3), як правило, використовують у разі так званих кінематичних механізмів.

Часто при конструюванні рядного багатоступінчастого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$, виходячи з технологічних і економічних міркувань, приймають рівні модулі і ширину зубчастих вінців, а також однакові матеріали зубчастих коліс окремих ступенів. Такий підхід забезпечує виконання умови для коефіцієнтів $B_i = 1$. При цьому міцність механізму досягається за рахунок величини $b_1 d_1^2$ або $b_{3n-2} d_{3n-2}^2$. Ще одно обмеження, також широко вживане, це однакові числа зубців усіх нерухомих центральних зубчастих коліс (епіциклів) усіх ступенів механізму

$$z_3 = z_6 = \dots = z_{3i} = \dots = z_{3n}, \quad (5)$$

і як наслідок однакове значення передаточних відношень u_i для усіх ступенів механізму.

У цій роботі в якості раціональної області значення передаточного відношення одного планетарного ступеня типу \overline{AI} прийнятий діапазон від 2,4 до 8. Помітимо, що цей діапазон залежить від числа сателітів планетарного ступеня. Виходячи з прийнятого діапазону для передаточного відношення, були визначені значення передаточних відношень для рядного багатоступінчастого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ залежно від числа його ступенів. Ці дані приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Діапазони можливих значень передаточного відношення планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$

Діапазон передаточного відношення u_i	2,4...8	5,76...8	8...13,824	13,824...33,178
Число ступенів механізму n	1	1,2	2	2,3
Діапазон передаточного відношення u_i	33,17...64	64...79,626	79,62...191,10	191,10...512
Число ступенів механізму n	2,3,4	3,4	3,4,5	3,4,5,6
Діапазон передаточного відношення u_i	512...4096	4096...32768	32768...262144	262144...2097152
Число ступенів механізму n	4,5,6	5,6	6	6,7

Визначимо коефіцієнти B_i , що входять в залежність (3), з умови контактної міцності робочих поверхонь зубців.

Згідно [2] для зовнішніх зачеплень центральних рухливих зубчастих коліс z_{3i-2} і сателітів z_{3i-1} маємо наступні умови:

$$b_1 d_1^2 = \frac{0,7 T_1 \Omega_{H1} (K_{H\beta} K_{Hv} Z_E)_1 (p_1 + 1)}{k_1 \cos^2(\alpha_{t1}) \operatorname{tg}(\alpha_{tw1}) \sigma_{HP1}^2 (p_1 - 1)}, \quad b_{3i-2} d_{3i-2}^2 = \frac{0,7 T_{3i-2} \Omega_{Hi} (K_{H\beta} K_{Hv} Z_E)_i (p_i + 1)}{k_i \cos^2(\alpha_{ti}) \operatorname{tg}(\alpha_{twi}) \sigma_{HPi}^2 (p_i - 1)}, \quad (6)$$

де T_1, T_{3n-2} – крутні моменти на відповідних центральних рухливих зубчастих колесах; $p_1 = \frac{z_3}{z_1}$,

$p_i = \frac{z_{3i}}{z_{3i-2}}$ – кінематичні параметри відповідно 1-го та i -го планетарного ступеня механізму; k_1, k_i –

число сателітів відповідно -го та i -го планетарного ступеня механізму; Ω_{H1}, Ω_{Hi} – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між сателітами при розрахунку на контактну міцність зовнішнього зачеплення відповідно 1-го та i -го планетарного ступеня механізму. Позначення інших величин, приведених в цій формулі, таке ж, як і в ДСТУ ISO 6336-1:2005. Нижній індекс "i" означає приналежність зовнішнього зачеплення до i -го ступеня механізму.

З урахуванням співвідношення $p_i = u_i - 1$, отримаємо наступне співвідношення

$$\frac{p_i + 1}{p_i - 1} = \frac{u_i}{u_i - 2}. \quad (7)$$

Нехай усі ступені рядного багатоступінчастого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ мають однакові числа сателітів

$$k_1 = k_2 = \dots = k_i = \dots = k_n = k, \quad (8)$$

а також усі центральні рухливі зубчасті колеса виготовлені з одного і того ж матеріалу

$$\rho_1 = \rho_4 = \dots = \rho_{3i-2} = \dots = \rho_{3n-2} = \rho. \quad (9)$$

З урахуванням умов (6) - (9) вираження для визначення коефіцієнта B_i набирає вигляду

$$B_i = \frac{\rho_{3i-2} b_{3i-2} d_{3i-2}^2}{\rho_1 b_1 d_1^2} = \frac{T_{3i-2} \Omega_{Hi} (K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot Z_E)_i (\operatorname{tg} \alpha_w \cdot \sigma_{HP}^2)_i (u_i - 2) u_i}{T_1 \Omega_{H1} (K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot Z_E)_1 (\operatorname{tg} \alpha_w \cdot \sigma_{HP}^2)_1 (u_i - 2) u_i}. \quad (10)$$

З урахуванням умови (8) можна прийняти умову рівності коефіцієнтів Ω_{Hi} , тобто $\Omega_{Hi} = \Omega_H$, де $i = \overline{1, n}$.

З умови (9) можна прийняти умову однаковості властивостей міцності матеріалів зубчастих коліс, тобто. справедливі рівність допустимих напружень $\sigma_{HPi} = \sigma_{HP}$, де $i = \overline{1, n}$.

Отже, формула (10) буде мати наступний вигляд

$$B_i = \frac{\rho_{3i-2} b_{3i-2} d_{3i-2}^2}{\rho_1 b_1 d_1^2} = \frac{T_{3i-2} (K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot Z_E)_i \operatorname{tg} \alpha_{w1} (u_i - 2) u_i}{T_1 (K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot Z_E)_1 \operatorname{tg} \alpha_{w1} (u_i - 2) u_i}. \quad (11)$$

Для оціночних розрахунків будемо вважати, що справедливе таке співвідношення

$$\frac{(K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot Z_E)_i \operatorname{tg} \alpha_{w1}}{(K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot Z_E)_1 \operatorname{tg} \alpha_{w1}} \approx 1. \quad (12)$$

З урахуванням умови (12) формула (11) має наступний вигляд

$$B_i = \frac{\rho_{3i-2} b_{3i-2} d_{3i-2}^2}{\rho_1 b_1 d_1^2} = \frac{T_{3i-2} (u_i - 2) u_i}{T_1 (u_i - 2) u_i}. \quad (13)$$

Співвідношення між крутними моментами, які є у формулі (13), має вигляд

$$T_{3i-2} = T_1 \cdot \prod_{j=1}^{i-1} u_j. \quad (14)$$

Для рядного багатоступінчатого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ з однаковими передаточним відношеннями окремих ступенів u_i величина коефіцієнта B_i визначається наступним чином

$$B_i = \prod_{j=1}^{i-1} u_j. \quad (15)$$

Підставивши (15) в (3), отримаємо

$$M_\Sigma = \frac{\pi \rho_1 0,7 T_1 \Omega_{H1} (K_{H\beta} K_{H\nu} Z_E)_1 u_1}{4 \cos^2(\alpha_{t1}) \operatorname{tg}(\alpha_{tw1}) \sigma_{HP1}^2 k_1 (u_1 - 2)} A_1 \sum_{j=1}^n u_1^{j-1}, \quad (16)$$

Формулу (16) можна записати у безрозмірному виді

$$\overline{M}_{\Sigma H} = \frac{M_\Sigma}{C_H} = \frac{u_1}{(u_1 - 2)} A_1 \sum_{j=1}^n u_1^{j-1}, \quad (17)$$

де $C_H = \frac{\pi \rho_1 0,7 T_1 \Omega_{H1} (K_{H\beta} K_{H\nu} Z_E)_1}{4 k_1 \cos^2(\alpha_{t1}) \operatorname{tg}(\alpha_{tw1}) \sigma_{HP1}^2}$ – коефіцієнт маси при розрахунку на контактну міцність

(нижній індекс "H"); $u_1 = \sqrt[n]{u_\Sigma}$ – передаточне відношення першого ступеня механізму.

Безрозмірну масу (17) розглядаємо як цільову функцію передаточного відношення u_1 і параметрів k_I і коефіцієнта n_{Mi}

$$\overline{M}_{\Sigma H} = \overline{M}_{\Sigma H}(u_1). \quad (18)$$

Дослідження функції (18) виконане на межах області можливих передаточних відношень, де їх реалізація можлива різним числом ступенів рядного багатоступінчатого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$. Результати розрахунків приведені в табл. 2. При цьому було прийнято $k_I=3$ і $n_{Mi}=7$.

Таблиця 2

Число ступенів n	2					
u_Σ	13,79	33,17	47,45	64		
$u_1 = \sqrt[n]{u_\Sigma}$	3,713	5,759	6,888	8		
$\overline{M}_{\Sigma H}$	279,225	721,22	1133,364	1680		
Число ступенів n	3					
u_Σ	13,82	33,2	47,465	64	191,1	269,77
$u_1 = \sqrt[n]{u_\Sigma}$	2,4	3,214	3,621	4	5,76	6,461
$\overline{M}_{\Sigma H}$	615,644	777,106	1026,344	1344	4262,038	6242,725
Число ступенів n	4					
u_Σ	63,9	190,33	270,1	1507,12		
$u_1 = \sqrt[n]{u_\Sigma}$	2,827	3,714	4,054	6,231		
$\overline{M}_{\Sigma H}$	1823,625	4132,987	5726,088	34926,18		
Число ступенів n	5					
u_Σ	190,38	269,96	1514,4	10435,8	10529	
$u_1 = \sqrt[n]{u_\Sigma}$	2,857	3,064	4,326	6,364	6,375	
$\overline{M}_{\Sigma H}$	5383,284	6859,572	31995,547	244416,51	246812,196	
Число ступенів n	6					
u_Σ	191,1	270,76	1509,7	10506,9	10546	
$u_1 = \sqrt[n]{u_\Sigma}$	2,4	2,543	3,387	4,68	4,683	
$\overline{M}_{\Sigma H}$	9124,913	10259,051	34755,796	222925,341	223771,295	

За отриманими даними з табл. 2 можна визначити оптимальні значення числа ступенів і відповідні діапазони передаточних відношень рядного багатоступінчатого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$. Такі дані представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Число ступенів механізму n	1	2	3	4	5	6
Діапазон відношення u_Σ	2,4 ...8	8,1 ...46,485	46,656 ...269,774	279,106 ...1507,118	1514,369 ...10435,527	$\geq 10506,9$
Діапазон відношення u_1	2,4 ...8	2,846 ...6,818	3,6 ...6,4615	4,054 ...6,2307	4,3256 ...6,3636	4,68 ...8

Якщо в якості незалежної змінної функції (18) прийняти передаточне відношення усього механізму u_Σ , а потім провести аналіз її диференціальних властивостей [2], то можна отримати наступні результати. Формула досліджуваної функції приведена нижче

$$\overline{M}_{\Sigma H} = \overline{M}_{\Sigma H}(u_\Sigma) = \frac{\sqrt[n]{u_\Sigma}}{(\sqrt[n]{u_\Sigma} - 2)} A_1 \sum_{j=1}^n (\sqrt[n]{u_\Sigma})^{j-1} \quad (19)$$

Параметрами функції (19) є число ступенів механізму n і коефіцієнт A_1 . Як видно з формули (19), функція знає розрив. Передаточне відношення, при якому має місце розрив функції (19) визначається по формулі $u_\Sigma^* = 2^n$. Також для передаточного відношення u_Σ повинне виконуватися наступне обмеження: $\sqrt[n]{u_\Sigma} > 2$.

Маючи отримані дані, по заданому передаточному відношенню U^* рядного багатоступінчатого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$, визначають передатне відношення окремого ступеня механізму $u_1 = \sqrt[n]{U^*}$. Потім виконується підбір чисел зубців окремого ступеня z_1, z_2 і z_3 відповідно. Далі уточнюються отримані значення передаточних відношень окремого ступеня u_1^y і усього механізму $u_\Sigma^y = (u_1^y)^n$.

Отримана цільова функція оптимізації маси рядного багатоступінчатого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ з однаковими передаточними відношеннями його ступенів з урахуванням забезпечення контактної міцності зовнішніх зубчастих зачеплень ступенів механізму. Виконано дослідження поведінки цільової функції оптимізації і отримані оцінки оптимального числа ступенів рядного багатоступінчатого планетарного механізму типу $n \times \overline{AI}$ залежно від його загального передаточного відношення і числа складових ступенів.

Розглянута методика оцінювання оптимального числа ступенів механізму може бути поліпшена, наприклад, за рахунок використання графічних діаграм у виді, який зручний для розробки вказаних механізмів. Дані, які були приведені в таблицях, були використані на практиці створення різних приводів. В цілому методику можна оцінити як ефективний інструмент, вживаний при проектуванні.

Список використаних джерел

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

УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ФУР'Є ДЛЯ АНАЛІЗУ БАГАТОЗВ'ЯЗНИХ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНИХ ТІЛ З РІЗНИМИ ПРУЖНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

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

Узагальнений метод Фур'є (УМФ) дозволяє отримати точні розв'язки задачі. Це дає можливість верифікувати результати, що отримано чисельними методами. Актуальність представленої задачі обумовлена малою вивченістю багатозв'язних трансверсально-ізотропних тіл, важливістю аналітичного та чисельного аналізу напружено деформівного стану (НДС) залежно від взаємного розташування концентраторів напружень, граничних поверхонь та пружних властивостей матеріалу. Апарат УМФ для багатозв'язних трансверсально-ізотропних тіл було розроблено В.С. Проценко та О.Г. Ніколаєвим.

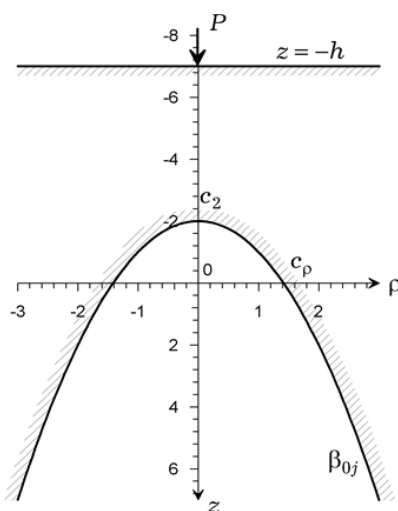


Рис. 1

Розглянуто НДС трансверсально-ізотропного півпростору з нерухомою параболоїдальною основою. Математичний апарат УМФ для трансверсально-ізотропних тіл такої геометрії було розроблено роботах автора у співпраці з О.Г. Ніколаєвим.

Метою цієї роботи є аналіз НДС для трансверсально-ізотропних матеріалів з різними пружними характеристиками, на прикладі задачі про тривимірне тіло, обмежене площиною та параболоїдом, коли параболоїдальна основа є закріпленою, а на граничну площину діє нормальна зосереджена сила P (напрямок співпадає з віссю симетрії параболоїда обертання, див. рис. 1). Досліджено НДС між площиною та параболоїдом обертання залежно від геометричних параметрів (форма параболоїда, відстань між поверхнями) для трансверсально-ізотропних матеріалів різними пружними характеристиками, які наведено в таблиці 1. Розрахунки напружень проводилися між вершиною параболоїда та граничною площиною в

напрямах, які паралельні границі півпростору. Зазначено, що концентрація напружень спостерігалась безпосередньо під точкою докладання зосередженої сили та в околі вершини параболоїда. Причому абсолютна величина тим більше, чим більше кривизна основи.

Таблиця 1

Пружні постійні

	кварц (Гпа)	піщаник (Гпа)	піщаний сланець(па)	алевроліт (па)	склопластик (па)
C_{11}	$1.184 \cdot 10^3$	58.576	$0.19301 \cdot 10^{-9}$	$7.2924 \cdot 10^5$	4318.1818
C_{12}	$0.19 \cdot 10^3$	25.019	$0.33976 \cdot 10^{-9}$	$2.2023 \cdot 10^5$	681.8182
C_{13}	$0.32 \cdot 10^3$	20.793	$0.62965 \cdot 10^{-9}$	$2.2787 \cdot 10^5$	2500
C_{33}	$1.07 \cdot 10^3$	61.105	$0.13547 \cdot 10^{-8}$	$6.7738 \cdot 10^5$	22500
C_{44}	$0.358 \cdot 10^3$	16.584	$0.11921 \cdot 10^{-9}$	$2.29 \cdot 10^5$	300

У таблиці 2 представлено дійсні корені v_1^2 та v_2^2 характеристичного рівняння

$$C_{11}C_{44}v^2 - (C_{33}C_{11} - 2C_{13}C_{44} - C_{13}^2)v + C_{33}C_{44} = 0,$$

про які доведено, що вони є додатними. Коефіцієнти v_j ($j=1, 2$) визначають ступінь анізотропії матеріалу. Чим більше вони відрізняються один від одного, тим більше виражені анізотропні властивості. Вони використані во всіх розрахунках.

Таблиця 2

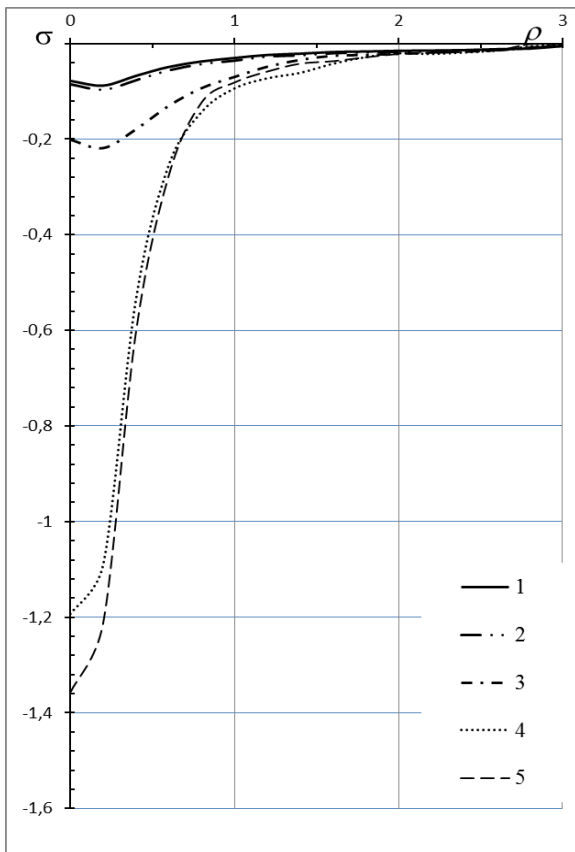
Корені характеристичного рівняння

	кварц	піщаник	піщаний сланець	алевроліт	склопластик
v_1	0.7371	0.7203	0.5032956855	0.8399	0.2749
v_2	1.2897	1.4181	2.914433209	1.1474	8.3031

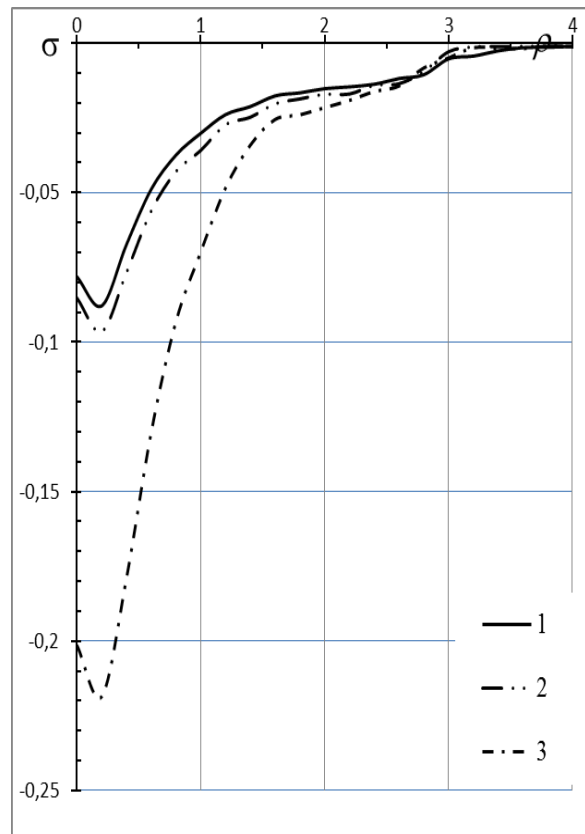
НДС досліджувалося між граничними поверхнями в 5-ти площинах ізотропії, які паралельні границі півпростору та рівновіддалені одна від одної. Розрахунки було проведено для різної геометрії – відстань між граничними поверхнями та кривизна параболоїда.

На наведених нижче малюнках напруження $\sigma = \frac{\sigma_z}{\sigma_0} \left(\sigma_0 = \frac{P}{2\pi} C_{44} \right)$ подано залежно від змінної ρ . σ_z – нормальні напруження (перпендикулярні до площини ізотропії). Лінія 1 відповідає напруженням у піщанику, лінія 2 – у кварці, лінія 3 – у піщаному сланці, лінія 4 – в алевроліті, а лінія 5 – у склопластику. На рис. 2 – відносна відстань $= L$, на рис. 3 – на відстані $\frac{1}{5}L$.

Нормуючий множник σ_0 – свій для кожного матеріалу (залежить від C_{44}). Малюнки *a* та *b* є графіками розподілу напружень в різному масштабі для більшої наочності.



(a)



(b)

Рис. 1

Аналізуючи отримані результати слід зазначити, що з матеріалів, для яких відношення коренів характеристичного рівняння є близькими (наприклад, кварц і піщаник), розподіл напружень практично збігається. Матеріали, що мають різні значення відношення коренів характеристичного рівняння (наприклад, пісковика та алевроліт, кварц та склопластика) мають суттєві відмінності у напруженнях.

Також має місце залежність НДС досліджуваного тіла від коефіцієнтів Пуассона в поздовжньому та поперечному напрямках. Абсолютні величини пружних констант (табл. 2), які відрізняються на кілька порядків, меншою мірою відображені, бо нормуючим множником при розрахунках напруги обраний модуль зсуву G' .

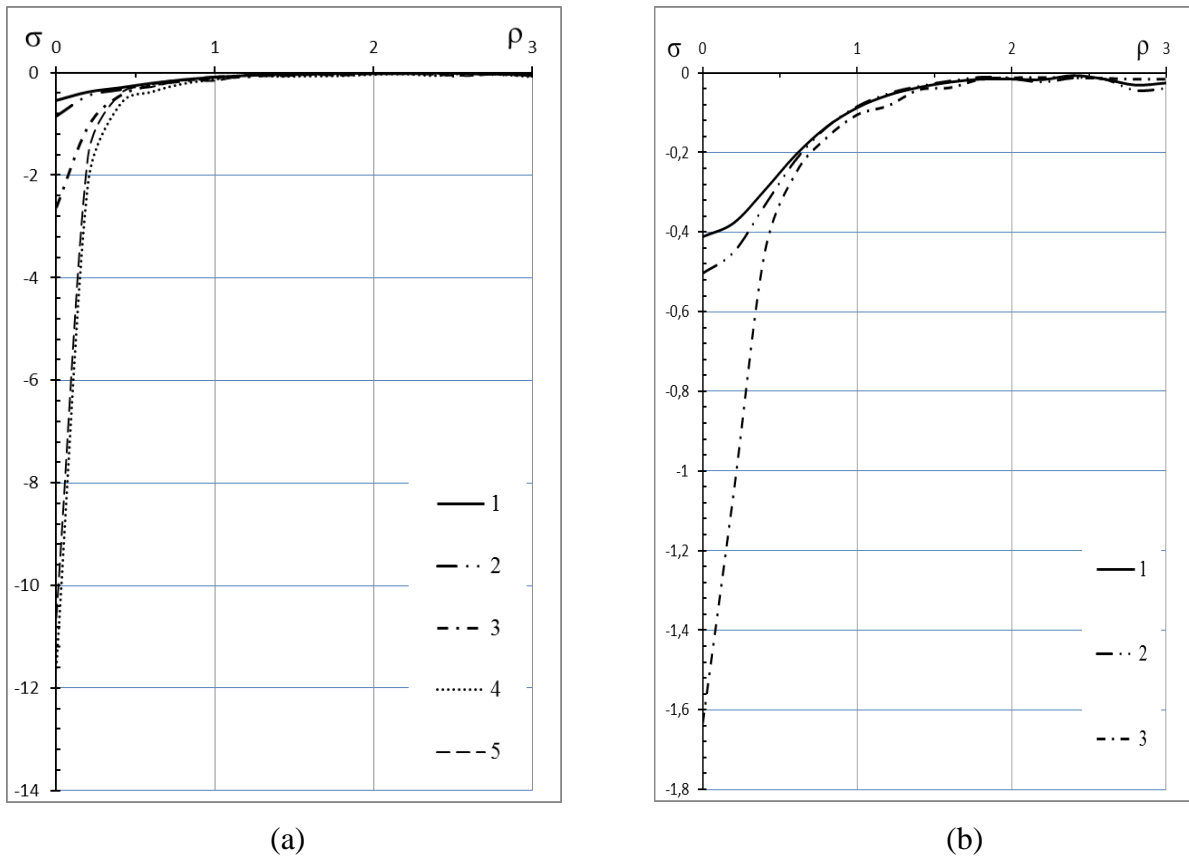


Рис. 3

2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ Й ЗМІЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТИВ ТА РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

УДК 621.9: 519 256

Гнисько О. М., к.т.н., доцент
o.gnytko@khai.edu

Кузнецова А. В., к.т.н., доцент
a.kuznetsova@khai.edu

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ ВИДАЛЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ЗАКРИТИХ ПРОФІЛЬНИХ ПАЗІВ

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

У деталях загального машинобудівного призначення знаходить застосування велике різноманіття профільних пазів, у тому числі закритих (з обмеженим простором для розміщення відділеної стружки). У той же час, можливість своєчасного видалення стружки при фрезеруванні закритих пазів традиційними методами, особливо в умовах автоматизованого виробництва, практично виключається. Це визначає доцільність видалення стружки, що утворюється на операціях їх фрезерування, за рахунок використання напірних струменів МОТС.

Однак, ефективних технічних рішень і відповідних моделей для визначення параметрів пристроїв евакуації стружки при фрезеруванні закритих Т-подібних пазів, практично не існує.

Розроблена математична модель переміщення елемента стружки уздовж паза для цих випадків. Модель призначена для визначення відстані X , на яке переміщається елемент стружки в результаті примусового гідродинамічного впливу на нього за межами інструмента (фрези).

У якості вихідного рівняння для розробки моделі прийнята залежність

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \sum_{k=1}^n A(F_k),$$

де m - маса елемента стружки; v_1, v_2 - відповідно швидкості елемента стружки в початковий і кінцевий момент часу його руху по пазові; $\sum_{k=1}^n A(F_k)$ - сума робіт сил діючих на елемент стружки при його русі по пазові.

Кінцева залежність має вигляд

$$X = \frac{\rho_c \cdot S_z \cdot (d - a) \cdot l \cdot \rho_0 \cdot h^2 \cdot (\pi \mu d_0^2)^2 \cdot p_0}{4 \cdot F_n \cdot \left(\frac{\rho_0 \cdot \pi \cdot d_0^2 \cdot h}{4} + \rho_c \cdot S_z \cdot (d - a) \cdot l \right)^2},$$

де ρ_c - щільність елемента стружки; S_z - подача на зуб; d - діаметр фрези; a - ширина попередньо обробленого паза; l - висота ріжучої частини фрези; ρ_0 - щільність робочого середовища, використовуваної для переміщення елемента стружки уздовж паза; h - довжина струменя робочого середовища; μ - коефіцієнт витрати насадка (довідкова величина); d_0 - діаметр отвору насадка; p_0 - тиск у насадка; F_n - сила тертя по нижній поверхні паза.

УДК 623.98

^{1,2}Добротворський С. С., д.т.н., професор,
sergiy.dobrotvorsky@khp.edu.ua

¹Кононенко С. М., м.н.с.
sergeykono@gmail.com

³Рафал Талар, др.інж.
rafal.talar@put.poznan.pl

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ АДАПТИВНОЇ ГІДРОСТРУМИННОЇ ПІДТРИМКИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ ДЛЯ ЇХ ПОВЕРХНЕВОГО СТРУКТУРУВАННЯ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

²Познанський університет природничих наук, Польща

³Познанська політехніка, Польща

Широкий спектр тонкостінних деталей використовується в авіаційній, аерокосмічній та енергетичній промисловості. Складність і висока вартість виготовлення тонкостінних деталей виправдані їх використанням у механізмах подвійного призначення, де потрібні мала маса та високий ККД. Інтерес до цієї галузі підтверджується постійно зростаючою кількістю публікацій за аналітичними базами даних, що індексуються. Під час традиційного адаптивного оброблення тонкостінних деталей із вимірюванням на верстаті виникають серйозні проблеми, що були визначені і обґрунтовані авторами. Методика представленого дослідження перебувала в межах попереднього моделювання нетвердого контакту гідроструменевої опори для вирівнювання та зменшення похибок фрезерування тонкостінних деталей за різних положень інструменту кінцевої фрези. Комбінація адаптивної технології обробки, що ґрунтувалася на скоригованих даних про час обробки, і спроектованому кріпленні деталі використовували для стабілізації деталі та зменшення помилок через небажаний вплив змінної жорсткості. Оскільки тонкостінні деталі піддатливі тиску з боку оброблення і зворотного боку, з погляду зменшення похибок запропоновано використати цю властивість для підтримки деталі компенсуючим внеском гідроструменевої підтримки. Теоретично ітераційний метод гідродинамічної підтримки полягає в адаптації параметрів струменю до заданого допуску ϵ , який встановлюють для управління обробкою доти, доки не буде досягнуто збіжності. Моделювання фактичного відхилення під час обробки виконується для розрахунку фактичного початкового кута занурення гнучкої деталі, оскільки він відрізняється від жорсткої. В основу силового моделювання було покладено загальну механічну модель із доповненнями тонкостінних деталей. Кількість ітерацій розрахунку прикладання сил залежало від кількості заданих критичних точок. Що більше точок, то точніші вхідні дані алгоритму, а отже, менший розрив у здатності для досягнення відповідного допуску і менші обчислювальні витрати.

Для перевірки запропонованого підходу оброблялися лопатка осьової турбіни. Чисельне моделювання було виконано з використанням Abaqus/Explicit для операцій фрезерування. Результати моделювання та прогнозу різнилися на початкових етапах різання. Це спричинено тим, що аналітична силова модель не враховувала мінливість величини припуску, що знімався, на початку процесу різання. Однак при досягненні номінальної глибини величини сил починають збігатися і лежать у межах 6%. Для моделювання потоку рідини було використано метод гідродинаміки згладжених частинок. Для подальших досліджень розглядаються наближення представлених моделей до реальних умов та планується експериментальна перевірка запропонованого підходу.

Дослідження розроблено в межах НДР «Формування і трансформація періодичних нановуглецевмісних структур на поверхні металів короткоімпульсними лазерними, мікрохвильовими і плазмовими методами» (ДР №0124U000481), що виконується на замовлення МОН України.

УДК 539.374+621.7.044.4

Нарижний О. Г., к. т. н., доцент
o.naryzhniy@khai.edu
Тараненко М. Є., д. т. н., професор
m.taranenko@khai.edu

ДО ТОЧНОСТІ ОБЧИСЛЮВАННЯ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ

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

Електрогідравлічний ефект (ЕГЕ) – складний електро-термо-механічний процес перетворення електричної енергії в механічні фактори (рух та тиск середовища), який в цілому нагадує повітряну блискавку. Спочатку в рідкому передавальному середовищі утворюється тонкий канал, наповнений плазмою. Потім в каналі тече імпульсний електричний струм, за рахунок омичних втрат плазма розігрівається та поширюється, утворюючи паро-газову порожнину (ППП) та примушуючи рухатись передавальне середовище. Насамкінець передавальне середовище разом з ППП у формі тиску діє на технологічний об'єкт та пристосування.

ЕГЕ є основою багатьох технологічних процесів: штампування, очищення деталей, ущільнення матеріалів тощо. Особливість цих процесів полягає у високій швидкості, неоднорідності та інтенсивності зміни полів швидкості та тиску передавального середовища, яке діє на технологічний об'єкт, а також самого технологічного об'єкта. Для ефективного використання, проектування та оптимізації технологічних процесів з використанням ЕГЕ потрібно визначити як закономірності, так і особливості протікання процесів в кожному окремому випадку.

Сучасний підхід дослідження технологічних процесів, пов'язаних з ЕГЕ, – математичне моделювання з використанням комп'ютера. Цей напрямок пов'язаний з побудовою математичної моделі сукупності взаємопов'язаних процесів, що відбуваються в елементах технологічної системи, вибором відповідного методу вирішення системи визначальних математичних співвідношень та організацією і керуванням обчислювального процесу на комп'ютері [1,2].

Математична модель ЕГЕ, розглянута нижче, у вигляді системи диференціальних рівнянь в частинних похідних (ДРЧП) механіки суцільних середовищ є суттєво нелінійною, що пов'язано з великими деформаціями передавального середовища та ППП. Такі нелінійні системи ДРЧП загалом не мають рішень у вигляді обчислюваних функцій, тому вони вирішуються за допомогою чисельних методів, які є за походженням наближеними, тобто з похибками. Звичайний поширений лагранжевий метод скінченних елементів (МСЕ) є дуже обмеженим в зв'язку з відзначеними великими деформаціями, тому використовується варіант МСЕ-ALE (Arbitrary Lagrangian–Eulerian), який використовує одночасно лагранжеву та ейлерову мережі вузлів та додаткову процедуру адвекції. Спочатку виконується декілька циклів рішення на лагранжевій мережі, внаслідок чого скінченні елементи набувають загрозливої з точки зору стійкості та точності обчислювального процесу деформації. Потім обчислювальний процес зупиняється та виконується переніс рішення з лагранжевої мережі на незмінну ейлерову мережу. Наступний крок – побудова нової лагранжевої мережі скінченних елементів, яка вільна від недоліків попередньої мережі. Надалі відбувається переніс рішення з ейлерової мережі вузлів на нову лагранжеву мережу і відновлюється процес рішення на новій лагранжевій мережі і так далі. Такий подвійний повторюваний переніс рішення має назву адвекції, він призводить до додаткових в порівнянні з лагранжевим МСЕ похибок, які важко піддаються аналізу, тому їх потрібно вивчати безпосередньо.

В зв'язку з наближеним характером рішення моделі ППП за методом МСЕ-ALE виникає задача визначення та дослідження похибок метода обчислення кінетики ЕГЕ на комп'ютері для обґрунтування використання результатів для дослідження закономірностей та особливостей механічних процесів, проектування та оптимізації технологічних процесів та

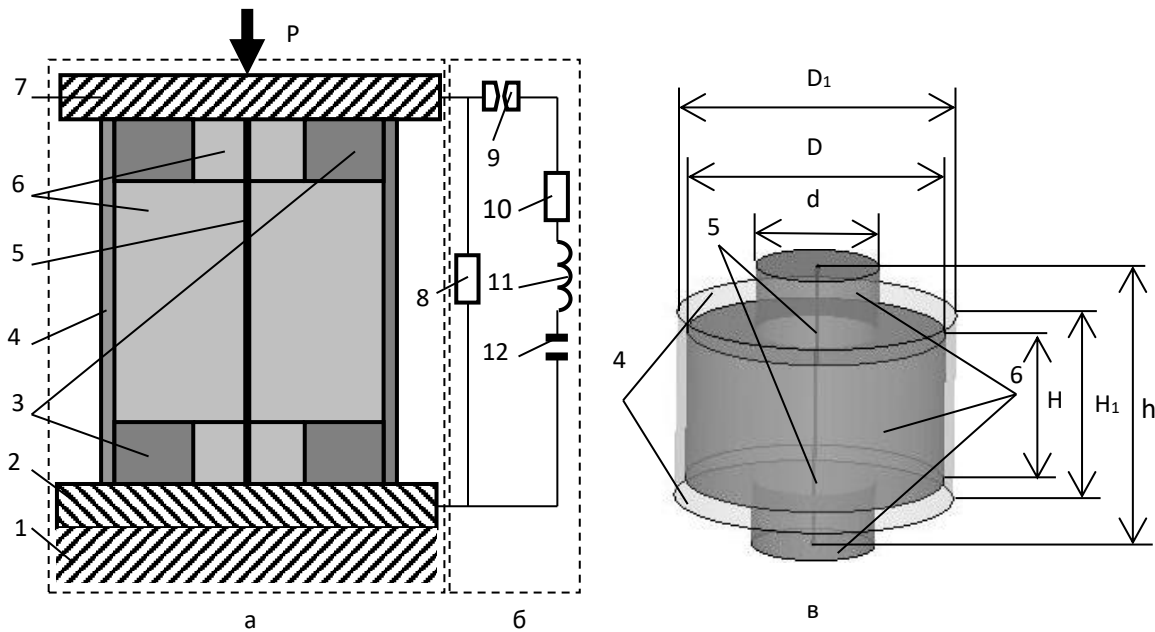


Рис. 1. Схема системи: а) механічна частина; б) електрична частина; в) схема заготівки з позначенням розмірів

технологічних систем. Загалом до похибок обчислення саме ЕГЕ додаються похибки, пов'язані з обчисленням напружено-деформованого стану (НДС) технологічного об'єкта та пристосування. Для визначення саме похибок обчислення ЕГЕ використовується модель технологічної системи з твердими недеформувемими технологічним об'єктом та елементами пристосування, які утворюють камеру з жорсткими стінками.

Технологічна система з жорсткими стінками, показана на рис.1. Вона включає дві частини - електрофізичну та механічну. Перша частина системи забезпечує електричний розряд у рідині та керує ним. Друга частина організує механічний рух і включає чотири елементи, кожен з яких відіграє певну роль, - ПГП, рідина, технологічний об'єкт та оснащення. Позначення на рис. 1,а: 1- основа, 2, 7-верхня та нижня плити, 3- центруючі поліетиленові кільця, 4- заготівка, 5- ініціююча дротинка, 6-технологічна рідина, 8- електричний опір ланцюга, 9- повітряний розрядник, 10- внутрішній електричний опір, 11- електрична індуктивність ланцюга, 12-ємність батареї конденсаторів.

Геометричні параметри системи, показаної на рис. 1,в, наступні: малий діаметр камери $d=32$ мм, внутрішній діаметр оболонки, $D=67$ мм, середній діаметр оболонки $D_1=70$ мм, висота камери $h=75$ мм, розмір $H=40$ мм, висота оболонки $H_1=50$ мм, товщина оболонки $\delta=5$ мм. Поперечні початкові розміри каналу розряду $0,5 \times 0,5$ мм, довжина каналу розряду $h=75$ мм, об'єм $1,875 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$.

Речовина каналу розряду (а в подальшому ПГП) має властивості ідеального газу з сталою адіабати $\gamma=1,26$ та густиною за нормальних умов $1,25 \text{ кг/м}^3$. Технологічна рідина має густину $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ з об'ємним модулем пружності $K=2.25 \times 10^9 \text{ Па}$. Заготівка недеформуєма.

В доповіді наведені: а) схема розглянутої системи з жорсткими стінками, що використовує ЕГЕ; б) обчислювальна математична модель ЕГЕ в жорсткій камері для рішення за чисельним методом MCE-ALE на великому проміжку часу; в) алгоритм рішення задачі аналітично в асимптотичному сенсі.

Математична модель електрогідралічного ефекту, що обчислюється за методом MCE-ALE, включає наступні рівняння механіки суцільних середовищ. Рівняння руху (рівняння збереження імпульсу)

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \rho \mathbf{b}, \quad (1)$$

де ρ – густина; \mathbf{v} - вектор швидкості матеріальної частинки; \mathbf{b} - масова густина зовнішніх сил; $\boldsymbol{\sigma}$ - тензор напруг Коші; ∇ - диференціальний оператор Гамільтона.

Рівняння збереження маси

$$\frac{d\rho}{dt} = \rho \nabla \cdot \mathbf{v}. \quad (2)$$

Рівняння балансу енергії

$$\rho \frac{du}{dt} = \boldsymbol{\sigma} : \mathbf{D} + \nabla \cdot \mathbf{q} + r, \quad (3)$$

де u – масова густина внутрішньої енергії; $\mathbf{D} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{v} + \nabla^T \mathbf{v})$ - симетричний тензор швидкостей деформації, $\boldsymbol{\sigma} : \mathbf{D}$ – питома потужність внутрішніх сил як подвійна згортка тензорів; \mathbf{q} - потік тепла; r - питома потужність джерел тепла.

У разі контактної взаємодії поверхня контакту визначається як безліч усіх граничних точок одного тіла, для кожної з яких існує гранична точка іншого тіла з тим самим значенням актуального лагранжева радіус-вектора $\mathbf{x}^+ = \mathbf{x}^-$. Контактні граничні умови виражають безперервність нормальної складової швидкості

$$(\mathbf{v}^+ - \mathbf{v}^-) \cdot \mathbf{n}^+ = 0, \quad (4)$$

та протилежність тензорів контактної напруги (третій закон Ньютона)

$$\boldsymbol{\sigma}^+ = -\boldsymbol{\sigma}^-. \quad (5)$$

Визначимо аналітично параметри системи в асимптотичному стані. Розглянемо рівняння стану ідеального газу у вигляді

$$P = (\gamma - 1) \frac{\rho}{\rho_0} E = (\gamma - 1) \frac{V_0}{V} E, \quad (6)$$

де P – тиск газу в деформованому стані, γ - постійна адиабати, ρ, V - густина та об'єм порції газу в деформованому стані, ρ_0, V_0 - густина та об'єм порції газу в нормальних умовах, E – внутрішня енергія на одиницю об'єму.

Вважаємо, що в асимптотичному рівноважному стані тиск P_∞ однаковий в ПГП та рідини. Тоді обсяг рідини дорівнює

$$V_{L\infty} = V_{L0} \left(1 - \frac{P_\infty}{K} \right), \quad (7)$$

де V_{L0} – початковий об'єм рідини, K – модуль об'ємного стиснення рідини.

Об'єм ПГП в асимптотичному стані V_∞ отримаємо з (6)

$$V_\infty = \frac{(\gamma - 1) V_0 E_\infty}{P_\infty}, \quad (8)$$

де E_∞ – повна енергія ПГП.

Сумарний об'єм рідини та ПГП у камері з жорсткими стінками величина незмінна, тому

$$V_\Sigma = V_{L0} + V_0 = V_{L\infty} + V_\infty = V_{L0} \left(1 - \frac{P_\infty}{K} \right) + \frac{(\gamma - 1) V_0 E_\infty}{P_\infty} \quad (9)$$

або

$$P_{\infty}^2 V_{L0} + K(V_{\Sigma} - V_{L0})P_{\infty} - (\gamma - 1)V_0 K E_{\infty} = 0. \quad (10)$$

Розглядаючи (10) як рівняння щодо P_{∞} , визначимо його корені

$$P_{\infty} = \frac{-K(V_{\Sigma} - V_{L0}) + \sqrt{K^2(V_{\Sigma} - V_{L0})^2 + 4V_{L0}(\gamma - 1)V_0 K E_{\infty}}}{2V_{L0}}. \quad (11)$$

Другий корінь негативний, отже, шуканий асимптотичний тиск у системі дорівнює

$$P_{\infty} = \frac{-K(V_{\Sigma} - V_{L0}) + \sqrt{K^2(V_{\Sigma} - V_{L0})^2 + 4V_{L0}(\gamma - 1)V_0 K E_{\infty}}}{2V_{L0}}. \quad (12)$$

Рівняння математичної моделі вирішуються за допомогою пакету LS-DYNA [3]. За рахунок аналізу різниці чисельного та аналітичного рішень можна зробити висновок щодо загальних похибок чисельного методу при обчисленні параметрів ЕГЕ. Використання жорсткої камери дозволяє виключити долю похибок, пов'язаних з наближеним обчисленням НДС технологічного об'єкта та оснащення.

Список використаних джерел

1. Taranenko M., Naryzhniy O. Modelling the Process of Interaction of a Pulsed Jet with a Workpiece by Electrohydraulic Forming. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2021, M. Nechyporuk et al. (Eds.): ICTM 2021, M. Nechyporuk et al. (Eds.): ICTM 2021, LNNS 367, https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_41
2. Mina, Woo Numerical Estimation of Material Properties in the Electrohydraulic Forming Process Based on a Kriging Surrogate Model / Woo Mina, Lee Kyunghoon, Song Woojin, Kang Beomsoo, Kim Jeong // Mathematical Problems in Engineering. – Hindawi. – Vol. 2020. – Article ID 3219829. – 12 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3219829>
3. LS-DYNA Keyword user's manual. – Livermore: LST an ANSYS comp. 2021. – 3826 P.

ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАРІЗЕТОЧІННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ПІДВИЩЕНИМИ МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

За інформацією американського нафтового інституту API механічні властивості олбсадних труб фактично корелюють до даних міждержавних стандартів ГОСТ. Кореляція стосується усіх норм механічних властивостей за групами міцності D, E, X, G, S (див табл.1), які є відповідниками груп зі стандартів ГОСТ, а саме D, E, Л, М, Р [1].

Таблиця 1

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

Назва показника, розмірність	Познач	Норма механічних властивостей за групами міцності сталі				
		D	E	X	G	S
Межа міцності, МПа	σ_B	655	689	724	793	1000
Межа плинності, МПа: min	σ_T	379	517	655	724	931
		max	-	724	862	931

Проте стандарт API не містять аналогів перспективних груп міцності за групами міцності T і Y, де регламентовано межу міцності $\sigma_B=1241$ МПа і $\sigma_B=1379$ МПа відповідно [2]. Сталі з такими показниками як правило відносять до важкооброблюваних і тому вимагають спеціальних режимів різання [1] і спеціальних геометричних параметрів, особливо це стосується переднього кута у вершинній точці нарізеного різця. У дослідницькій літературі часто зустрічаємо рекомендації застосовувати від'ємне значення вершинного переднього кута для різьбового різця (табл.2). [3].

Таблиця 2

Значення передніх кутів нарізеного різця у залежності від механічних властивостей матеріалу нарізеної деталі

Матеріал деталі	Межа міцності σ_B , МПа	Нарізовані різці із пластинами	
		Зі швидкорізальної сталі	З твердого сплаву
	637... 785	10	0
	785 ...981	5	
	981... 1177	0	
	1177... 1765		-5
	> 1765		-10

За інформацією, що надають провідні виробники інструментів для виготовлення нарізей передній кут є такий, що дорівнює виключно нулю [4]. Тобто різальна пластина з конструктивних міркувань має певний нахил, проте передню площину встановлюють виключно із переднім кутом $\gamma=0$ (рис.1).

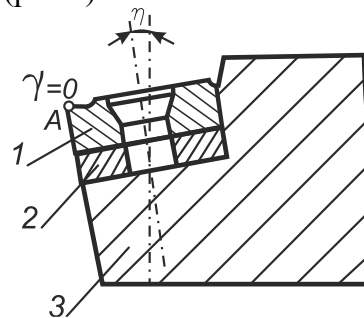


Рис. 1. Схема установки пластины на рабочей части реза при которой передний кут у вершинной точке A став равной 0.

Проблема у тому, що ненульовий передній кут вимагатиме досліджень щодо забезпечення точності різьби, алгоритм розрахунку якої поки що є відомим тільки в обмеженому колі науковців [5]. Фактично нафтогазова промисловість або не має можливості отримати муфтові з'єднання з перспективних матеріалів, або ж продуктивність їхнього виготовлення є доволі низькою щоб задовільнити необхідні потреби.

Список використаних джерел

1. Онисько, О. Р. Проблеми обробки замкових з'єднань із підвищеними механічними властивостями / О. Р. Онисько, І. І. Гаврилюк, Ю. Г. Матей // Нові технології в машинобудуванні: тези доп. XXXIII всеукр. конф., вересень 4–7, 2023. – Харків, 2023. – С. 45-47.
2. ГОСТ 632-80. Трубы обсадные и муфты к ним. Технические условия. Москва: Стандартиформ, 2010, 75 с.
3. Глембоцька, Л. Є. Проблеми обробки важкооброблюваних матеріалів / Л. Є. Глембоцька // Всеукраїнська науково-практична on-line конференція аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки: тези доп., травень 14. 2014 р. / ЖНТУ. – Житомир, 2014. –Т.1. – С. 9–10.
4. Threading. Tread turning tools. Sundwik Coromant.. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/thread-turning-tools.aspx> (датазвернення:30.06.2024).
5. Onysko, O. Theoretical Investigation of Cutting-Edge Rake Angles of Threading Lathe Cutter/ O. Onysko, I. Matei, I. Havryliuk // International Conference on Materials and Technologies in Engineering (MTE-2024): addition for conf., May 14-16, 2024, Lutsk.– P. 29.

Пономаренко О. І., д.т.н., професор

21ponomarenko@gmail.com

Радченко О. О., к.т.н.

rarsed51@gmail.com

Євтушенко Н. С., к.т.н., доцент

natalya0899@ukr.net

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ПРОБЛЕМИ ЗНИЖЕННЯ ГАЗОНАСИЧЕНОСТІ СТАЛІ

Харківський національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Однією з першочергових завдань ливарного виробництва є підвищення якості та експлуатаційних характеристик виливків. При виготовленні сталевих виливків із високомарганцевистої сталі до теперішнього часу залишається високим рівень ливарних дефектів газового походження, що проявляються найчастіше у вигляді ситоподібної пористості та газових раковин [1].

З існуючих методів виробництва високомарганцевистої сталі, таких як окислення та переплав, в Україні застосовується переважно другий процес як найбільш економічний. Основним недоліком цього процесу є невисокий рівень фізико-механічних властивостей та висока газонасиченість рідкого металу. Важливим параметром, значною мірою визначальним багато фізико-механічних властивостей литої сталі є вибір раціональної технології розкислення сталі. Існують великі можливості для вибору типу розкислення на його вигляд - дифузійне або глибинне, часу введення розкислювачів у сталь, кількість компонентів (елементів) та порядку введення розкислювачів у рідку сталь.

Основними напрямками вдосконалення технології розкислення є використання системного підходу до вивчення можливостей зниження газонасиченості рідкої сталі. Для цього було проведено теоретичні та експериментальні дослідження взаємозв'язку між параметрами технології розкислення та утворенням ливарних дефектів, у тому числі газового походження.

Теоретично встановлено, що зародження газової раковини в рідкому металі відбувається в умовах, коли сума тиску основних газів - окису вуглецю та водню перевищує зовнішній тиск у місці її зародження, тобто

$$P_{CO} + P_{H_2} > P_{атм} \quad (1)$$

де P_{CO} , P_{H_2} парціальний тиск окису вуглецю та водню.

Тиск виділення окису вуглецю біля фронту кристалізації в період зародження ситовидної пористості дорівнює

$$P_{CO} = K_c [C]_{кр} [O]_{кр} \quad (2)$$

де K_c константа рівноваги, $[C]_{кр}$, $[O]_{кр}$ концентрація вуглецю та кисню в рідкій сталі біля фронту кристалізації.

З рівняння (1) випливає, що ефективним способом запобігання утворенню дефектів типу ситовидна пористість у сталевому литті є зниження парціального тиску, а значить і вміст окису вуглецю та водню в рідкій сталі. Аналіз існуючих залежностей описують концентрацію розчинених у рідкій сталі газів показує, що їх чисельна величина визначається хімічним складом та температурою сталі [2].

Для оцінки ефективності технології виплавки високомарганцевистої сталі визначено ступінь насичення рідкого металу воднем і критичне значення цієї величини для сплаву, що містить 1,2% C, 12,0% Mn і 0,5% Si при температурі 1330°C.

Отримані результати показують, що вміст водню в сталі коливається в межах

2,0...4,5 см³ / 100 г, при цьому 78 % плавок мають вміст водню вище критичного значення, що дорівнює 2,7 см³ / 100 г, що і наводить до найвищого рівня шлюбу виливків газового походження.

В рамках існуючої технології виготовлення виливків в умовах сталеливарного цеху немає реальних умов для існування зниження концентрації водню в металі, а ефективним методом зниження газонасиченості рідкого металу є вдосконалення його розкислення.

При вивченні можливості підвищення ефективності цього процесу передбачалося, що комплексне розкислення сприятиме зменшенню у виливках дефектів газового походження і може бути досягнуто рахунок створення умов, що перешкоджають реакції окислення вуглецю. Цього можна досягти за рахунок повнішого розкислення металу в печі на основі використання металевих комплексних феросплавів типу феросилікомарганецьалюміній (ФСМА), що містять 2-4% алюмінію [3].

Для зменшення газонасиченості сталі через окислення рідкого металу при його розливанні з печі в роздавальний та розливний ковші в них зазвичай вводять алюміній у кількості до 1 кг на тонну. При цьому сталь розкислена одним алюмінієм має нижчий рівень механічних властивостей і кількість неметалевих включень, розташованих по межах зерен. Введення комплексних розкислювачів на основі Са, РЗМ та інших елементів сприяє зміні форми та розташування неметалічних включень, перевівши їх усередину зерен, а також суттєвому зниженню газонасиченості рідкого металу [4].

При експериментальному вивченні процес розкислення високоорганізованої сталі комплексом феросплавів і розкислювачів був апробований наступний основний варіант:

- розкислення металу в печі дифузійно-осадним способом - присадкою ФСМА в кількості 10 ... 25 кг на тонну;
- розкислення металу в роздавальному ковші силікокальцієм (без алюмінію) у кількості 0,15% на тонну сталі;
- модифікування та розкислення металу в розливному ковші без кремнистої лігатури на нікелевій основі типу АК-ЦеФ у кількості 0,1% на тонну сталі, що містять до 20% РЗМ.

Результати дослідження газонасиченості стали показали, що середній вміст кисню в металі, взятому з ковша розливного дослідних плавок зменшується в 4-5 разів, в порівнянні з вихідною сталлю. При цьому має місце зниження браку виливків «ланка гусениці» відповідального призначення за дефектами газового походження та гарячими тріщинами через зниження вмісту кисню на 0,0035% та підвищення частоти сталі за неметалічним включенням.

Таким чином, реалізація системного підходу до дослідження технології розкислення сталі, зводиться до встановлення характеру залежності газонасиченості металу від способу розкислення та кількості добавок, що вводяться.

Впровадження технології дозволило зменшити витрату розкислювачів, покращити екологію плавки, знизити втричі-вчетверо кількість ливарних дефектів типу ситоподібна пористість, газових раковин та гарячих тріщин у сталеливарному цеху [5]. Однак, застосування зазначеної технології для виливків масового виробництва, стримується через високу вартість складових комплексних модифікаторів і розкислювачів, що викликає необхідність додаткових маркетингових досліджень.

Список використаних джерел

1. Olga Ponomarenko; Nataliia Yevtushenko; Oleg Khoroshylov; Stepan Yevtushenko; Tatyana Berlizeva; Mikhailo Vorobyov; Ihor Lukianov. (2023). Using an Object-Oriented Approach in Foundry Production. In: Ciobotă, D.D. (eds) International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2023. ICoRSE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 762. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7_48
2. Ю ОІ Ponomarenko, SD Yevtushenko, NS Yevtushenko, TV Berlizieva, MM Vorobiov. Robust methods for controlling casting processes and the quality of castings // 4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF-2023) 22/05/2023 - 26/05/2023 Kryvyi Rih, Ukraine, 2023 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1254 012007. DOI 10.1088/1755-1315/1254/1/012007

3. Пономаренко, О. І. Системна оптимізація процесів у ливарному виробництві / О. І. Пономаренко, Н.С. Євтушенко // Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному виробництві : тези доп. 8-ї Міжнар. наук.-техн. конф., вересень 21-24, 2021 р. / Донбас. держ. машинобуд. акад. – Краматорськ, 2021.– С. 96-97.
4. Берлізева, Т. В. Міцність ливарних форм і стрижнів на основі рідкоскляних холоднотвердіючих сумішей : монографія / Т. В. Берлізева, О. І. Пономаренко, Н. С. Євтушенко. – Харків : Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т», 2023. – 96 с.
5. Yevtushenko, N. S. Competences in the digital sphere of mechanical engineering specialists / N. S. Yevtushenko, M. M. Vorobyov // Інформаційні технології у сучасному світі: Міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих вчених: тези доп., 22 квітн. 2024 р. / Державний біотехнологічний ун-т.– Харків, 2024.– С.262-263.

ВПЛИВ СТАНУ ПОВЕРХНІ НА ВИТРИВАЛІСТЬ
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Удосконалення техніки та інтенсифікація робочих процесів у машинах призводить до ускладнення умов їхньої роботи. У зв'язку з цим зростають вимоги до експлуатаційних показників деталей машин. Будь-який механізм, навіть найдосконаліший, схильний до зносу. А величина його ресурсу переважно визначається втомною міцністю конструкції. Втомна міцність деталей машин значною мірою залежить від мікрогеометрії поверхні та фізико-механічних властивостей поверхневого шару, зокрема, від залишкового напруженого стану.

Мікрогеометрія поверхні та стан поверхневих шарів, у свою чергу, залежать від методу та режимів механічної обробки деталей. Це означає, що міцність втоми деталей машин визначається методами і в основному режимами заключних операцій механічної обробки, застосованих для виготовлення деталей.

Зміна швидкості різання впливає по-різному на межу витривалості для різних сортів сталі. Так для середньовуглецевої сталі збільшення швидкості різання до 120 м/хв при роботі малими подачами порядку 0,03 мм/об призводить до деякого збільшення межі витривалості, а при роботі з великими подачами близько 0,18 мм/об на високих швидкостях різання спостерігається зниження межі витривалості.

При обробці високоміцної сталі 30ХГСА підвищення швидкості різання від 12 до 200 м/хв викликає підвищення твердості поверхневого шару на 30 % і витривалості на 10 %. Встановлено, що збільшення подачі також призводить до підвищення межі витривалості.

На величину міцності втоми значний вплив надає геометрія ріжучого інструменту. При зменшенні значень позитивних передніх кутів інструменту та подальшому збільшенні негативних передніх кутів безперервно збільшуються ступінь та глибина поширення наклепу, а також зростає глибина поширення та величини залишкових напруг стиснення. Відповідно до цього підвищується втомна міцність деталей машин.

Аналізом останніх вітчизняних та зарубіжних досліджень, а також у результаті наших нещодавніх розробок встановлено, що простою зміною геометрії ріжучого інструменту, у тому числі передніх кутів, оптимальним вибором режимів обробки можна забезпечити необхідну експлуатаційну надійність виробів з матеріалів, що застосовуються в аерокосмічній промисловості.

Таким чином, вплив якості поверхні на межу витривалості пов'язаний із змінами мікрогеометрії та станом металу в поверхневому шарі після механічної обробки. Найбільш суттєво на міцність впливає наявність специфічного мікрорельєфу та наклепу поверхневого шару, а також його нагрівання, що визначає характер утворення залишкових напруг.

Зазвичай шкідливий вплив мікронерівності поверхні на експлуатаційні характеристики у багатьох випадках пом'якшується дією пластичної деформації, що викликається в поверхневому шарі механічною обробкою і поширюється на деяку глибину, що залежить від режимів різання і, зокрема, від величини подачі. При грубому обточуванні вона може досягати 1 мм і більше, а при шліфуванні та поліруванні вимірюється сотими частками міліметра та мікронами. Пластична деформація поверхневого шару може дати підвищення межі витривалості на 10-20 %.

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОАПРУЖЕНОСТІ
ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ШЛІФУВАННЯ**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Це дослідження присвячене актуальній проблемі в галузі технології обробки матеріалів – вивченню теплонапруженості процесів шліфування, зокрема, електроерозійного шліфування зі змінною полярністю електродів і алмазно-іскрового шліфування [1]. Ці методи обробки становлять значний інтерес у сучасному машинобудуванні через їхній потенціал у підвищенні ефективності обробки важкооброблюваних матеріалів. Під час шліфування основна частина механічної енергії перетворюється на теплову, що може негативно впливати на якість обробленої поверхні. Під час електроерозійного шліфування з'являються додаткові джерела тепла через електричні розряди, що ускладнює теплові процеси та потребує детального вивчення [2].

Дослідження проводилося з використанням комплексного підходу, що включає такі методи: теоретичний аналіз теплових процесів під час шліфування, включно з розглядом рівняння теплового балансу та аналізом джерел тепловиділення; експериментальні дослідження із застосуванням методики багатofакторного планування експериментів. Це дало змогу отримати математичні моделі залежності температури від різних чинників; вимірювання температури обробленої пластини за допомогою інфрачервоного пірометра FLUS IR-833 (рис.1). Наведено обґрунтування вибору безконтактного методу вимірювання температури та проводять порівняння з контактним методом; варіювання ключових параметрів: амплітуди імпульсу розрядного струму (I , А), частоти імпульсів (f , КГц), швидкості обертання круга (V , м/с) та нормального тиску (P , МПа); порівняльний аналіз процесів електроерозійного шліфування зі змінною полярністю електроерозійного струму з полярністю електроподачі (P , МПа); аналіз процесів електроерозійного шліфування зі зміною полярності електродів.



Рис. 1. Вимірювання температури пластини під час шліфування на верстаті 3Д642Е безконтактним способом

Отримано такі результати дослідження: побудовано математичні моделі залежності температури пластини від досліджуваних факторів для обох типів шліфування. Ці моделі представлені у вигляді рівнянь регресії. Встановлено, що розрядний струм і нормальний тиск мають найістотніший вплив на температуру пластини в обох процесах. Збільшення розрядного струму за інших рівних умов призводить до збільшення температури в пластині на 8-15%.

Виявлено, що під час алмазно-іскрового шліфування спостерігається більш інтенсивне теплоутворення порівняно з електроерозійним шліфуванням зі змінною полярністю електродів. При збільшенні нормального тиску від 1,2 до 2,0 МПа різниця температур при порівнюваних видах шліфування збільшилася в 1,19 - 1,28 раза. Виявлено залежність температури пластини від швидкості круга, що характеризується зростанням до певної межі з подальшою стабілізацією. Це пояснюється тим, що за високих швидкостей різання виділене тепло не встигає поширитися і зосереджується в тонких поверхневих шарах оброблюваного матеріалу. Показано значний вплив полярності електродів на температурний режим обробки. Коли алмаз є катодом, його опір був у 6-10 разів більшим, а за зворотної полярності (алмаз - анод) – у 3-4 рази меншим, ніж до обробки. Досліджено вплив частоти імпульсів на температуру пластини. Встановлено, що цей фактор має менший вплив порівняно з розрядним струмом і нормальним тиском.

Результати дослідження демонструють (рис.2), що електроерозійне шліфування зі змінною полярністю електродів має переваги під час фінішного оброблення, бо спричиняє менше нагрівання оброблюваної поверхні. Це може бути особливо важливо для збереження якості поверхневого шару деталей, запобігання фазовим і структурним перетворенням у поверхневих шарах.

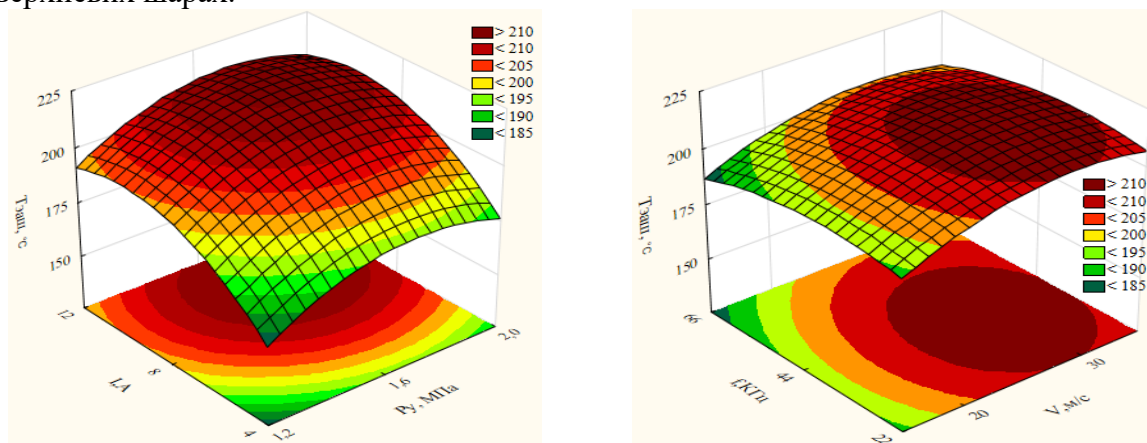


Рис. 2. Графічна залежність температури пластини $T_{пл}$ при різних параметрах шліфування

У роботі показано, що для чорнового шліфування, де основним завданням є продуктивне знімання матеріалу, обидва методи можуть бути ефективні. У цьому випадку інтенсивний самопідігрів шару, що знімається, може бути навіть корисним, оскільки знижує механічні властивості оброблюваного матеріалу. Дослідження також показало важливість врахування адгезійної взаємодії абразивних зерен з оброблюваним матеріалом, що істотно впливає на тепловиділення в зоні контакту.

Дослідження робить значний внесок у розуміння теплових процесів під час електроерозійного та алмазно-іскрового шліфування. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації процесів шліфування та вибору найбільш підходящого методу обробки залежно від конкретних виробничих завдань.

Список використаних джерел

1. Strelchuk, R. Determination of the Distance between the Grains during Electrical Discharge Grinding with Changing Polarity of Electrodes // R. Strelchuk , O. Shelkovyi // 3rd Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes: conf. proc., 7-10 Sept. 2021, Odessa, Ukraine. – Odessa, IATDI, 2021. – P.59.
2. Brosse, A. Temperature measurement and heat flux characterization in grinding using thermography / A. Brosse, P. Naisson, H. Hamdi, J. M. Bergheau // Journal of Materials Processing Technology. – 2008. – 201. – P. 590–595.
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.267>.

3. ПРОЦЕСИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЇ

УДК 681.516.42

¹Євсюкова Ф. М., доцент
fatimaevsukova@gmail.com

²Єнікеєв О. Ф., д.т.н., доцент
Al_enikeev@bigmir.net

²Захаренков Д. Ю., PhD – 151
Dmit.zakharen@gmail.com

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

¹Національний технічний університет «ХПІ»,

²ПВНЗ «Європейський університет»

Вступ. Недоліком відомих комп'ютерних систем координатного управління технологічними параметрами процесу алмазного шліфування є відсутність інформації про стан мікронерівностей поверхні деталі, котра оброблюється верстатом. Побудова замкнених систем зі зворотнім зв'язком за станом мікронерівностей неможлива у зв'язку з відсутністю первинних перетворювачів. Використання комп'ютерною системою апаратних засобів періодичної правки інструменту з метою відновлення його ріжучої спроможності покращує продуктивність процесів алмазного шліфування.

Постановка завдань для досліджень. Авторами пропонується ідея використання сигналу флуктуацій швидкості обертання шліфувального круга для отримання оцінки амплітуди мікронерівностей поверхні деталі, яка оброблюється верстатом. Еталонні рівні сигналу флуктуацій встановлено із використанням відомих квалітетів чистоти поверхні деталі та внесено до банку даних каналу зворотного зв'язку у вигляді нормативів. Флуктуації є сигналом зворотного зв'язку, який містить в собі інформацію про відхилення прогнозованого квалітету чистоти від встановленого програмою обробки партії деталей. Авторами пропонується також процес алмазно-іскрового шліфування у якості методу автоматичної правки шліфувального круга на металевому зв'язуванні. Технічна реалізація програмно-апаратних засобів будується на використанні непрямих методів оцінювання ріжучої спроможності інструменту, які забезпечують встановлену вірогідність, та організації технологічного циклу обробки деталі, який поєднує процеси алмазного та алмазно-іскрового шліфування.

Інформаційне забезпечення системи. Архітектура апаратних засобів покращення продуктивності процесу алмазного шліфування за умов дії випадкових завод на окремі компоненти із використанням непрямих вимірювань мікронерівностей подана на рис. 1.



Рис. 1. Архітектура програмно-апаратних засобів

При розробці архітектури комп'ютерної системи знайшли застосування: ієрархічний принцип побудови; непрямі вимірювання мікронерівностей; принципи управління зі

зворотнім зв'язком за станом, покоординатного управління виконуючими механізмами, безпосереднього цифрового управління та управління за відхиленням. На рис. 2 позначено: ЕП – електричний привод; ВМ – виконуючий механізм; Д – первинний перетворювач; П – перетворювач вихідного сигналу блоку Д у цифровий код; ЦАП – цифро аналоговий перетворювач; ПОРСК – пристрій оцінювання ріжучої спроможності круга; ТДЖ – технологічне джерело живлення для організації періодичної правки круга на металевому зв'язуванні; К – комутатор аналогових сигналів; П5 – вимірювач параметрів вихідного сигналу ТДЖ; $S_{\text{поп}}$, $S_{\text{пр}}$ – відповідно поперечна та повздовжня подачі інструменту; $f_{\text{кр}}$ – швидкість обертання шліфувального круга; $\Delta\omega$ – девіації; I , U , P_v – відповідно струм, напруга та потужність, котрі споживає привод обертання шліфувального круга. Технічну реалізацію пристроїв цифрової обробки сигналів виконано на базі мікроконтролерів.

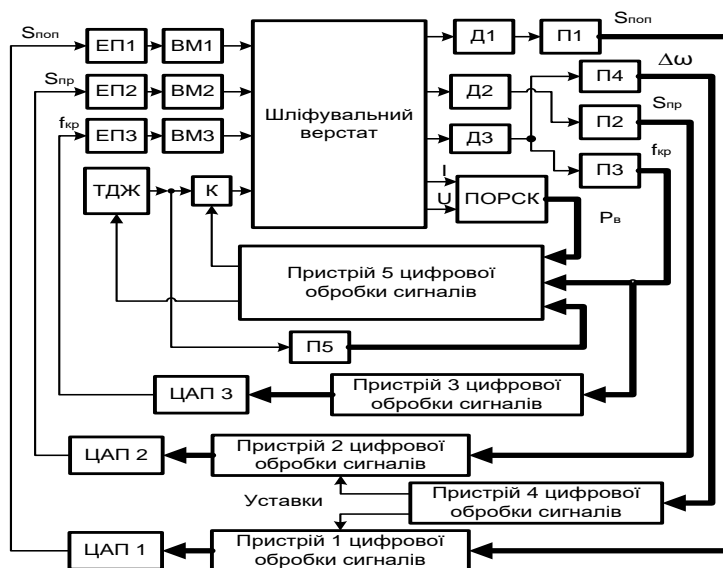


Рис. 2. Архітектура комп'ютерної системи

Перша ступень програмно-апаратних засобів реалізує задачі традиційної технології управління процесом алмазного шліфування (завдання та підтримка встановлених значень подач і середньої швидкості обертання круга). Впливи на виконуючі механізми верстату формуються ним під час прямої та зворотної ходи інструменту. Технічну реалізацію апаратних засобів проведено на основі вимог по швидкодії перетворення, а також з урахуванням технологічних особливостей верстатів:

- підтримка постійної швидкості обертання шліфувального круга. Встановлено, що в цьому випадку сигнал девіації є результатом дії сили різання матеріалу заготівлі і може бути застосованим системою для непрямого оцінювання мікронерівностей;
- покоординатні впливи на виконуючі механізми шліфувального верстату формуються пристроями (1 і 2) цифрового опрацювання сигналів з урахуванням корегуючих уставок апаратних засобів зворотного зв'язку.

Друга ступень системи на основі непрямих вимірювань мікронерівностей поверхні деталі, що оброблюється верстатом, реалізує принцип управління зі зворотнім зв'язком за станом мікронерівностей. Пристрій 4 шляхом вимірювань миттєвої швидкості обертання шліфувального круга та за допомогою інформаційної технології обробки цього сигналу визначає прогнозовані мікронерівності. Технологія обробки складається з таких обчислювальних процедур: виділення сигналу девіації та подання його обмеженим рядом Фур'є; визначення діючого значення та його порівняння з еталонними рівнями банку даних. Якщо діюче значення сигналу девіації перевищує рівень, який встановлено програмою обробки партії деталей, то пристрій 4 корегує величини подач. Покоординатні впливи на

пристрої 1 та 2 цифрової обробки сигналів у вигляді корегуючих уставок подаються під час пауз між прямою та зворотною ходою круга.

Третя ступень системи реалізує періодичну правку шліфувального круга з метою відновлення його ріжучої спроможності. Відсутність первинних перетворювачів безпосереднього контролю ріжучої здатності круга компенсуємо застосуванням таких непрямих методів для її оцінювання:

по збільшенню на 5% потужності, яка споживається приводом обертання шліфувального круга;

по зменшенню на 7% середньої швидкості обертання алмазного інструменту.

Якщо вхідні сигнали апаратних засобів повертаються до встановлених для них меж, то пристрій 5 повертає верстат до процесу алмазного шліфування. При процесі алмазно-іскрового шліфування має місце підвищений знос алмазного інструменту і, отже, він економічно не вигідний. Наявність мікроконтролеру (пристрій 5 цифрової обробки сигналів) у складі апаратних засобів третьої ступені дозволяє організувати регулювання електричних параметрів технологічного процесу алмазно-іскрового шліфування, метою якого є усунення можливих припикань обробленої поверхні деталі.

Висновок. Покращення продуктивності технологічного процесу алмазного шліфування досягнуто завдяки поєднанню у єдиний технологічний цикл обробки деталі процесів алмазного шліфування та правки круга на металевому зв'язуванні. Запропоновано триступеневу комп'ютерну систему формування координатних впливів на виконуючі механізми верстату. Її архітектуру побудовано із використанням ієрархічного принципу, методів безпосереднього цифрового управління та управління зі зворотнім зв'язком за станом, а також непрямих контролю амплітуди мікронерівностей поверхні деталі, яка оброблюється.

Архіпов О. В., аспірант
o.v.arkhipov@khai.edu
Кривенко С. С., к.т.н., докторант
s.kryvevko@khai.edu
Лукін В. В., д.т.н., професор
v.lukin@khai.edu

АВТОМАТИЗАЦІЯ СТИСНЕННЯ МЕДИЧНИХ ТА ІНШИХ ТИПІВ ЗОБРАЖЕНЬ БЕЗ ВІЗУАЛЬНО ПОМІТНИХ ВТРАТ

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

Цифрові зображення (напівтонові, кольорові та інші) широко використовуються у даний час для різних застосувань, зокрема, медичної діагностики, неруйнівного контролю, екологічного моніторингу тощо [1, 2]. Характерними тенденціями для таких зображень є збільшення їх середнього розміру внаслідок покращення розрізняювальної здатності систем формування зображень та кількості каналів, а також збільшення загальної кількості зображень, що отримуються. У зв'язку з цим все більш актуальними стають задачі ефективного стиснення зображень для їх зберігання та/або оперативної передачі по телекомунікаційних каналах [3].

Стиснення без втрат зазвичай не здатне задовольнити користувачів, бо коефіцієнт стиснення (КС), який при цьому забезпечується, є досить малим і фіксованим для заданого кодеру та зображення. Тож доводиться застосовувати методи стиснення з втратами, які потенційно здатні забезпечити суттєво більші значення КС, які можна варіювати. Але виникає багато питань щодо забезпечення бажаного компромісу між КС та якістю стиснутого зображення, бо загальною тенденцією (за виключенням декількох специфічних випадків) є погіршення якості внаслідок підвищення КС.

До такого стиснення висувається низка вимог, які часто суперечать одна одній. По-перше, стиснення часто повинно відбуватись автоматично (що є особливо характерним для віддалених систем спостереження, на борту літального апарату, тощо) та, по можливості, швидко. По-друге, є практичні ситуації, коли необхідно забезпечити заданий КС і якомога краще стиснене зображення, але є й практичні кейси, коли треба забезпечити бажану якість, і при цьому якомога більший КС. По-третє, можуть бути обмеження на вибір кодеру (наприклад, необхідно використовувати JPEG), але може існувати свобода вибору кодеру. Нарешті, існують різні трактування якості стиснених зображень та безліч сучасних метрик, які можуть таку якість описувати (характеризувати кількісно). В цьому сенсі активно розвиваються методи стиснення без візуально помітних втрат і методи на основі ледве помітних викривлень [4, 5].

Для кращого розуміння подальших результатів наведемо деяку корисну інформацію. По-перше, мова йде про такі зображення, де кожне з них займає одиниці, десятки і навіть сотні Мегабайт (відповідно напівтонові розміром більше 1000×1000 пікселів (дивись приклад на рис. 1), кольорові та мультиспектральні й гіперспектральні зображення), а система формування таких зображень здатна зареєструвати десятки й сотні таких зображень щоденно). При цьому користувача може цікавити як зображення в цілому, так і його фрагменти, які аналізуються в кращому масштабі (більш детально) за допомогою скролінга та відповідних програмних і апаратних засобів. Зазначимо, що при візуалізації зображення великого розміру шум або викривлення внаслідок стиснення з втратами можуть бути невидимими, але вони стають помітними при візуалізації та аналізі фрагментів таких зображень.

По-друге, нами розглядаються головним чином метрики візуальної якості, бо вони суттєво більш адекватно відображають особливості людського зору, ніж традиційні метрики, як-то пікове відношення сигнал-шум (peak signal-to-noise ratio – PSNR). На рис. 2,а показані залежності PSNR (дБ) від КС (compression ratio - CR) для фрагменту 512×512 пікселі

медичного зображення для п'яти різних кодерів (JPEG, JPEG2000, AGU-M, ADCT та BPG [6]), де три останні використовують дискретне косинусне перетворення (ДКП) для різних розмірів блоків. Відповідно до PSNR три останні кодери суттєво кращі, ніж JPEG та JPEG2000 для всього діапазону значень КС, а JPEG2000 краще, ніж JPEG для $КС > 10$. Втім, для метрики PSNR-HVS-M (дБ, враховує особливості системи зору людини; чим значення більше, тим вище якість стисненого зображення) спостереження та висновки трохи інші – для $КС < 10$ результати для JPEG кращі, ніж для JPEG2000. Для значень КС від 10 до 20, що нас цікавлять з точки зору стиснення з візуально непомітними спотвореннями, результати для кодерів AGU-M, ADCT та BPG помітно кращі, ніж для двох інших кодерів (стандартів), що свідчить про необхідність звертати увагу на сучасні кодери на основі ДКП.

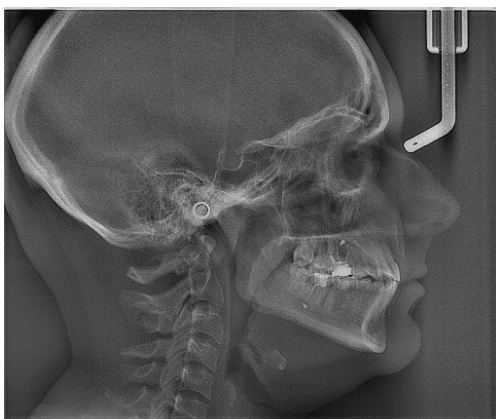
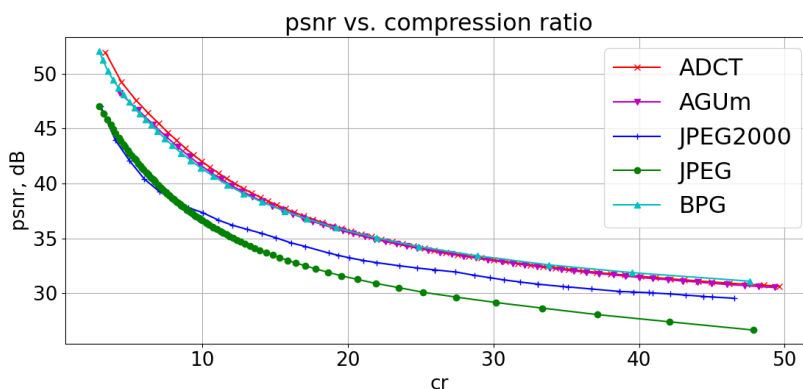
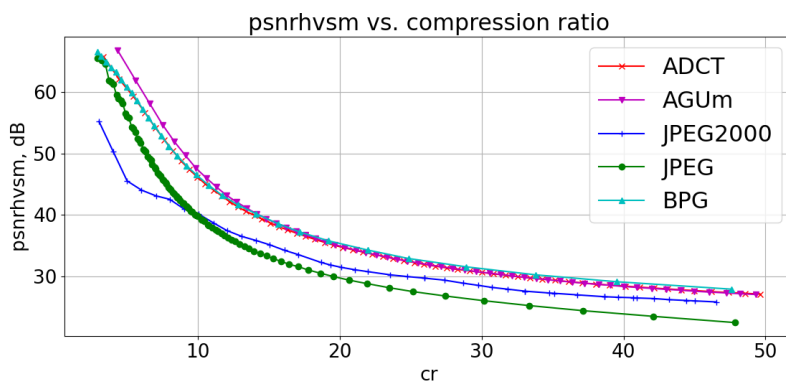


Рис. 1. Приклад медичного стоматологічного зображення великого розміру



а



б

Рис. 2. Залежності PSNR (а) PSNR-HVS-M (б) від КС (CR) для п'яти різних кодерів

Зазначимо, що на даний час є близько десятка сучасних метрик візуальної якості (і метрика PSNR-HVS-M серед них), для яких коефіцієнт рангової кореляції між метрикою та

осередненою оцінкою якості людьми для зображень, що спотворені внаслідок стиснення з втратами, лежить в межах від 0,96 до 0,97, що свідчить про дуже високий ступінь адекватності таких метрик для відповідних застосувань. Втім, вибір метрики для практичного використання залежить від кількох факторів. Головними з них є наступні: 1) як швидко розраховується метрика; 2) чи є її залежність від параметру, що керує стисненням (ПКС) для даного кодеру близькою до лінійної; 3) чи існує для цієї метрики апріорно встановлений поріг непомітності внесених спотворень [7]. Деякі з цих факторів пояснюються на рис. 3, де для восьми фрагментів зображення в градаціях сірого наведені залежності PSNR-HVS-M від ПКС Q для VPG-кодеру, де Q може приймати тільки цілі значення від 1 до 51. Добре видно, що залежності ведуть себе дуже подібним чином і мають велику майже лінійну ділянку від $Q \approx 10$ до $Q \approx 32$. Враховуючи той факт, що поріг помітності внесених викривлень для метрики PSNR-HVS-M приблизно дорівнює 41 дБ, то можна сказати, що використання $Q=28$ дозволяє знаходитись на межі. Втім, дискретна зміна Q призводить до того, що неможливо забезпечити бажане значення PSNR-HVS-M точно – похибка внаслідок цього може сягати 0,7 дБ.

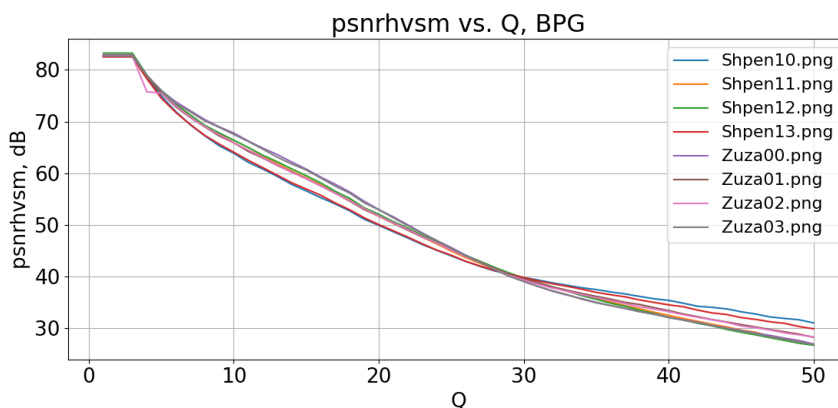


Рис. 3. Залежність PSNR-HVS-M від ПКС Q для VPG-кодеру для восьми тестових фрагментів зображення у градаціях сірого

На даний час є, принаймні, п'ять підходів до забезпечення бажаної якості. Перший – ітераційний [8], у відповідності з яким виконується кілька стиснень та декомпресій з розрахунком значення контрольованої метрики після кожної декомпресії, порівнянням отриманого значення метрики з бажаним і зміною ПКС у належний бік для наближення до бажаного значення метрики та ПКС. Перевагою цього підходу є висока точність забезпечення бажаного значення метрики, якщо значення ПКС не є дискретними. Але при цьому може знадобитись апріорно невідома і досить велика кількість ітерацій, що знижують швидкодію. Другий підхід – встановлювати фіксоване значення ПКС, що відповідає бажаному значенню метрики відповідно до заздалегідь отриманої осередненої кривої, аналогічній осередненій кривій, яку можна отримати з кривих на рис. 3. Але при цьому можливим є досить великий розкид значень метрики в залежності від ступеня складності конкретного зображення [6]. Однією з альтернатив першому й другому підходам може бути двоетапний [6, 9], для якого на першому етапі використовується другий підхід, а на другому етапі виконується уточнення значення ПКС на основі лінійної інтерполяції (при цьому не завжди другий етап виявляється потрібним). Перевагою такого підходу є краща швидкодія, ніж у першого підходу, та краща точність у порівнянні з другим підходом. Четвертий підхід базується на прогнозуванні значення метрики для декількох значень ПКС до стиснення з урахуванням ознак зображення, яке планується стискати, а потім вже виконується стиснення із значенням ПКС, для якого (згідно прогнозу) буде забезпечено бажане значення метрики. Втім, цей підхід на даний час не забезпечує стабільних результатів і не розроблений для широкого кола метрик (існуючі можливості головним чином перевірені для PSNR та середньоквадратичної похибки внесених спотворень). П'ятий підхід [10] базується на використанні баз спотворених зображень та

встановленні залежності між першою точкою ледь помітних спотворень та параметрами, що характеризують складність зображення, що планується стискати. На даний момент цей перспективний підхід вимагає додаткових досліджень для підвищення точності.

Треба зазначити ще декілька моментів. По-перше, метрики якості для випадку стиснення багатоканальних (мульти- та гіперспектральних) зображень на даний час знаходяться в стадії розробки. Відомо лише, що є досить висока кореляція між метриками візуальної якості триканальних зображень та ймовірністю їх правильної класифікації, де зниження цієї ймовірності внаслідок стиснення з втратами зазвичай є малим (задовільним) доки внесені спотворення не стають помітними візуально.

По-друге, слід приділити увагу досить новим кодерам, як-то AVIF та HEIF, які за своєю методою керування стисненням аналогічні JPEG, а за основними характеристиками близькі до VP9, що свідчить про доцільність проведення для них комплексу досліджень.

По-третє, для нових кодерів слід приділити увагу методам і алгоритмам забезпечення бажаного КС.

Список використаних джерел

1. Jayachandran, S. Digital Imaging in Dentistry: A Review /S. Jayachandran // *Contemp Clin Dent.* – 2017. – Vol. 8(2). – P. 193-4.
2. Rad, A. E. Digital dental X-ray database for caries screening / A. E. Rad, M. S. Rahim, A. Rehman, T. Saba// *3D Research.* – 2016. – Vol. 7. – P. 1-5.
3. Blau, Y. Rethinking lossy compression: The rate-distortion-perception tradeoff / Y. Blau, T. Michaeli // *International Conference on Machine Learning (PMLR).* – 2019. – P. 675–685.
4. Krylova, O. A Fast Noniterative Visually Lossless Compression of Dental Images Using AGU-M Coder /O. Krylova, L. Kryvenko, S. Krivenko, V. Lukin// In *2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM).* – 2021. – P. 6-10.
5. Stojanović, N. Just Noticeable Difference Prediction and Image Quality Assessment /N. Stojanović, B. Bondžulić, B. Pavlović, V. Petrović, O. Zelmati// In *2022 IEEE Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC).* – 2022. – P. 234-238.
6. Kryvenko, L. Intelligent visually lossless compression of dental images / L. Kryvenko, O. Krylova, V. Lukin, S. Kryvenko // *Adv. Opt. Technol.* – 2024. – Vol.13:1306142.
7. Ponomarenko, N. Analysis of HVS-metrics' properties using color image database TID2013 /N. Ponomarenko, V. Lukin, J. Astola, K. Egiazarian// In *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems: 16th International Conference, ACIVS 2015.* – 2015. – P. 613-624.
8. Zemliachenko, A. Still image/video frame lossy compression providing a desired visual quality / V. Lukin, N. Ponomarenko, K. Egiazarian, J. Astola// *Multidim Syst Sign Process.* – Jul. 2016. – Vol. 27(3). – P. 697–718.
9. Li, F. Two-step providing of desired quality in lossy image compression by SPIHT /F. Li, S. Krivenko, V. Lukin// *Radioelectronic and computer systems.* – 2020. – Vol. 2. – P. 22-32.
10. Stojanović, N. Just Noticeable Difference Prediction and Image Quality Assessment /N. Stojanović, B. Bondžulić, B. Pavlović, V. Petrović, O. Zelmati// In *2022 IEEE Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC).* – 2022. – P. 234-238.

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПІДБОРУ КОМПЛЕКТАЦІЇ СОНЯЧНОЇ СТАНЦІЇ

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

Встановлення сонячних станцій в Україні вкрай актуально з багатьох причин.

По-перше, країна має великий потенціал сонячної енергії, особливо в південних регіонах, де інтенсивність сонячного випромінювання висока протягом багатьох місяців впродовж року. Це створює унікальні умови для ефективного використання сонячних технологій. По-друге, розвиток сонячних електростанцій сприяє диверсифікації енергетичного міксу України, зменшуючи залежність від імпортованих джерел енергії та покращуючи енергетичну безпеку країни. Це особливо важливо в контексті геополітичних та економічних викликів останніх років. Крім того, встановлення сонячних станцій сприяє зменшенню викидів парникових газів, сприяючи збереженню навколишнього середовища та відновленню екологічно чистих джерел енергії [1].

Однією з головних проблем на шляху встановлення сонячних комплектів є дуже великий набір комплектуючих як самих сонячних панелей, так і інверторів, акумуляторів тощо [2]. Окремою проблемою є підбір цих комплектуючих з точки зору оптимальності конфігурації (ціна, надійність, довговічність тощо). Для цього треба звертатись до професіоналів, які зможуть розрахувати потрібні комплекти, але далеко не всюди є можливість звернутись до таких професіоналів (мала кількість, зайнятість, черги).

Для вирішення цієї задачі було розроблено мобільний застосунок, який є ключовим інструментом у впровадженні сонячних станцій, надаючи користувачам зручний інтерфейс для підбору оптимальної комплектації на основі наявного обладнання та побажань клієнта з точки зору оптимальної конфігурації для конкретного об'єкту. Застосунок розроблено для двох основних платформ iOS та Android, що дозволяє охопити практично всіх можливих користувачів. Алгоритм роботи застосунка складається з кількох кроків:

1. Вибір типу об'єкту (квартира, приватний будинок, господарський об'єкт тощо).
2. Вибір мети встановлення сонячної станції (основне, резервне, змішане живлення).
3. Вибір бажаної потужності для об'єкту (є можливість скористатися підказками застосунку щодо правил підбору потужності).
4. Вибір приблизної вартості комплекту (діапазон мінімум-максимум).

Далі застосунок підбирає відповідно до своїх алгоритмів комплектацію сонячної станції в декількох варіантах від різних виробників (зазвичай 3...5 варіантів). По кожному варіанту є вичерпна інформація як по характеристиках обладнання, та і по кошторису у різних постачальників. Також застосунок формує рекомендовані варіанти розташування (орієнтація у просторі, комбінування панелей в залежності від виду інвертора тощо) та необхідної площі для розташування сонячних панелей. Користувач вибирає той варіант, який його більше влаштовує, та має можливість відразу замовити обладнання, або зберегти конфігурації, сформовані застосунком, для подальшого використання.

Список використаних джерел

1. Яковлева, Г. Альтернативні енергоресурси. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / Г. Яковлева, О. Вовк, С. Бойченко, К. Лейда, С. Шаманський. – Київ: Центр навчальної книги, 2021. – 390 с.
2. Smets, A. Solar Energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems / A. Smets, K. Jager, M. Zeman, O. Isabella, R. van Swaaij. – Bloomsbury, 2016. – 488 p.

РОЗРОБКА ІГРОВОГО МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В сучасному світі відеоігри стали не тільки розважальним засобом, але й об'єктом інтересу для дослідників, розробників та гравців. Ігрова індустрія швидко розвивається, випускаючи нові та захоплюючі ігри, які пропонують користувачам неповторні враження та велику кількість можливостей для взаємодії. Одним з жанрів, який здобув велику популярність серед гравців, є мультиплеєрні ігри, що дозволяють гравцям спільно відчувати атмосферу гри, змагатися або співпрацювати один з одним, що робить гру більш захоплюючою та динамічною [1]. На сьогодні існує велика кількість ігор у різних жанрах, проте не всі додатки пропонують гравцям вибір стратегій [2]. Отже, виникає задача розробити додаток, який дозволяє гравцям реалізовувати різноманітні стратегії й тактики для перемоги над супротивниками та обирати різні локації, а також створити чат для комунікації учасників під час гри.

Для створення гри було обрано ігровий рушій Unity3D та мережеву бібліотеку Mirror [3]. Додаток складається із модулів, що дозволяють працювати із усіма необхідними компонентами (звук, світло, анімації, камера, графічні ефекти) та дозволяє створювати скрипти на мові програмування C# [4, 5].

Розроблена база даних містить інформацію про гравців, їх акаунти та ігрову статистику, що забезпечує комплексний підхід до управління гравцями, дозволяючи покращувати їхній досвід, підтримувати безпеку та розвивати гру на основі зібраної аналітики. Для реалізації мережевої взаємодії було обрано однорангову архітектуру «Peer-to-Peer».

Структура лоббі, тобто ігрового об'єкту, складається з багатьох компонентів, які використовуються для створення ігрового інтерфейсу (UI), анімацій та спеціальних ефектів, обробки подій, адаптації тощо. Перед початком гри до створеного лобі може долучатися гравець та вибрати унікальний колір для танку, різноманітні рівні, деякі елементи користувацького інтерфейсу (наприклад, здоров'я, кнопки пострілу та переміщення). У розробленому лоббі гравці мають змогу побачити ігрові назви суперників, вибрати унікальний колір із доступних та змінювати свій статус на готовий або не готовий.

Слід зазначити, що особливістю розробленого мобільного додатку є чат, в якому гравці можуть спілкуватися один з одним в режимі онлайн. В подальшому можливе доопрацювання графічного дизайну додатку та розробка підтримки більшої кількості гравців, які можуть одночасно грати онлайн.

Список використаних джерел

1. Business of APPS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.businessofapps.com>
2. Computer and video games [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.sciencedaily.com/terms/computer_and_video_games.htm
3. Mirror documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mirror-networking.gitbook.io/docs>
4. Top 10 game development engines today [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.youngwonks.com/blog/Top-10-Game-Development-Engines-Today>
5. The Beginners Guide to Video Game Development [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.gamedesigning.org/video-game-development/>

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПОШУКУ СПЕЦІАЛІСТІВ СФЕРИ ОБСЛУГОВУВАННЯ

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

Несприятлива ситуація, що склалася в Україні за останні роки, призвела до того, що деякі працівники малого бізнесу в сфері обслуговування втратили роботу, спеціалісти сфери послуг змінили місце проживання та роботи. Це викликає складнощі у пошуку фахівців в сфері послуг. З іншого боку, зміна місця роботи ускладнює пошук клієнтів. Таким чином, актуальним стає пошук онлайн за допомогою відповідних сайтів і соціальних мереж. Проте в соціальних мережах не можна відфільтрувати акаунти за формою надання послуги. Просування послуг за допомогою реклами призводить до нерівності в конкурентному середовищі та недостатньої оцінки певних фахівців [1]. Існуючі веб-сайти та мобільні застосунки реалізують функції пошуку й перегляду вакансій, певні сервіси стягують комісію за розповсюдження послуг. Отже, створення мобільного застосунку з реалізацією функції знаходження спеціалістів сфери послуг поліпшить умови пошуку, а також допоможе фахівцям проаналізувати наявних конкурентів у своїй локації.

Аналіз існуючих рішень показав, що функції перегляду, фільтрування й розміщення оголошень реалізовані на високому рівні. Проте відсутня функція пошуку спеціалістів та їх послуг у певному регіоні країни [2 – 4]. Тому було вирішено реалізувати у застосунку такі функції, як пошук спеціалістів, зв'язок зі спеціалістами, перегляд наявних послуг, додавання нових сервісів обслуговування.

Для розробки мобільного застосунку було обрано середовище Android Studio, мову програмування Java, систему управління базами даних Realtime Database Firebase та архітектурний шаблон MVA (Model-View-Adapter) [5]. Розроблені UML діаграми варіантів використання та послідовностей описують функціональні можливості розробленого застосунку для користувача й авторизованого користувача. Розроблена база даних зберігає персональні дані про користувачів, категорії послуг, місцезнаходження авторів оголошень, а також існуючі оголошення.

Розроблений мобільний застосунок може бути використаний профільними спеціалістами (вчителями, майстрами б'юті сфери, юристами тощо) й звичайними користувачами, які потребують допомоги в пошуку послуг. Застосунок дозволяє користувачеві проводити пошук і перегляд оголошень за певними категоріями послуг, зв'язуватися з обраними спеціалістами, а зареєстрованим користувачам – також додавати нові оголошення. В подальшому планується розширення функціоналу застосунку.

Список використаних джерел

1. Державний центр зайнятості. Аналітична та статистична інформація [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://old.dcz.gov.ua/analytics/69>
2. Work.ua – офіційний сайт [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.work.ua/>
3. OLX.ua – офіційний сайт [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.olx.ua/uk/>
4. Preply – офіційний сайт [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://preply.com/>
5. Official documentation. View binding, 2024 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developer.android.com/topic/libraries/view-binding>

РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПІДБОРУ КОМП'ЮТЕРНИХ КОМПЛЕКТУЮЧИХ

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

Сучасні комп'ютери стали необхідною складовою нашого повсякденного життя, використовуючись у всіх сферах, від бізнесу до освіти. Вони стали незамінними для вирішення завдань, які потребують значної обчислювальної потужності, таких як обробка відео, аудіо, 3D-графіка та анімація. Для оптимальної роботи цих програм необхідні нові та високоякісні компоненти, такі як материнська плата, оперативна пам'ять, відеокарта, процесор, блок живлення та накопичувач. Виникає проблема оновлення апаратного забезпечення комп'ютера. Створити збірку комп'ютера самостійно без необхідних знань дуже складно [1]. Отже, вибір комплектуючих для комп'ютера стає дуже актуальною проблемою. До того ж дуже важливо дотримуватися сумісності обраних комплектуючих. Тому задача розробки веб-застосунку для автоматизації процесу підбору комплектуючих комп'ютера з перевіркою їх сумісності є актуальною.

Були проаналізовані інтернет-ресурси, що надають можливість вибрати комп'ютерні комплектуючі. Слід зазначити, що проаналізовані сайти мають зручний інтерфейс, надають детальну інформацію про комплектуючі та можливість легкого вибору за рахунок фільтрів, проте не надають можливості перевірки сумісності комплектуючих [2-4].

На основі аналізу переваг й недоліків існуючих рішень були виділені функціональні можливості застосунку, що розроблюється: для користувачів була забезпечена можливість легко знаходити товари, дізнаватися їх характеристики. Для спрощення процесу пошуку й перевірки сумісності компонентів збірки були використані фільтри. Функціональні можливості веб-застосунку були представлені за допомогою схем .

Структура веб-додатку була також визначена з використанням мов програмування HTML, CSS, JS та PHP. Результатом цього є опис загальної структури додатку, що включає в себе інтерфейс користувача та адміністратора, функціонал для обрання комплектуючих та збірки комп'ютера, а також можливості редагування та додавання нових комплектуючих.

Веб-додаток має два режими роботи: для користувача та адміністратора. Кожен з них має свій окремий функціонал та дизайн, який сприятливо впливає на зручність користування.

Розроблений веб-застосунок може бути корисним для вибору комплектуючих та збірки комп'ютера зручним та ефективним способом. Також він допоможе у перевірці сумісності компонентів комп'ютера.

Список використаних джерел

1. Djuraskovic O. How Many Websites Are There? – The Growth of The (1990 – 2021) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://firstsiteguide.com/how-many-websites/#:~:text=There%20are%20currently%20over%201.84,number%20are%20actually%20active%20sites>.
2. Магазин комп'ютерної техніки та електроніки Telemart [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://telemart.ua/>.
3. Магазин комп'ютерної техніки та електроніки Compx [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://compx.ua/>.
4. Магазин комп'ютерної техніки та електроніки Newegg [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.newegg.com/>.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОДИ

Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", м. Полтава

Основним джерелом розсіювання динамічної потужності у цифрових схемах є шини, які зазвичай навантажені великими ємностями. Через великий обсяг даних, що передаються в сучасних цифрових схемах та ємності шини, втрати потужності можна порівняти з потужністю процесора. В даний час ведуться інтенсивні пошуки схем із низьким енергоспоживанням. Для зменшення динамічних втрат енергії в адресній шині та мінімізації втрат зв'язку між близькими лініями зараз застосовують код Грея, який має низьку збалансованість і велику кількість перемикачів бітів [1].

Метою дослідження є визначення виду та характеристик кодів з найменшою комутаційною активністю.

Методи кодування даних дозволяють зменшити енергію передачі. Ці методи використовують унікальні властивості як з'єднання, так і значень даних для кодування даних таким чином, щоб економити енергію [2]. Розробка методів кодування даних пов'язана з низькою проблем. Враховуючи різні властивості шин команд, даних та мультиплексованих шин, для них потрібні різні методи. Оскільки додаткові контакти коштують дорого, методи кодування повинні уникати чи мінімізувати кількість надлишкових бітів. Наближені методи кодування даних вимагають ретельного балансу між помилками, що вносяться, і досягається ефективністю [3].

Визначено вид кодів, що мають ті ж властивості, що і коди Грея – коди одиначної відстані. Розроблено метод формування кодів одиначної відстані, описаний у роботі [4], в основі якого лежать перетворення кодів, оцінка їхніх характеристик.

Для автоматизації та полегшення формування наборів кодів одиначної відстані розроблена комп'ютерна програма [5], що дозволяє розширити та оптимізувати вибір кодування під час проектування інформаційно-комунікаційних систем та проведення досліджень щодо характеристик кодів.

Розроблено каталоги типових представників кодів для різних варіантів структур та їх збалансованості (табл. 1 - 10).

Таблиця 1

Система типових представників для $C = 1,5$; $S = (3,4,4,4)$

№	T	№	T	№	T
1	013264ceabf75d98	7	013754ce62abfd98	13	0137fb98a26ecd54
2	013267fb9d54cea8	8	01375d98c46efba2	14	0137fb98cd546ea2
3	01326ea89bf75dc4	9	01375dc462aefb98	15	0137fba89d54ce62
4	01326eab9df754c8	10	01375dfe62ab98c4	16	0137fd54c89bae62
5	01326ef75d9ba8c4	11	013762aec45dfb98		
6	013754cd9bfe62a8	12	01376efb9d54c8a2		

Таблиця 2

Система типових представників для $C = 6,5$; $S = (2,3,3,7)$

№	T	№	T	№	T
1	0132645dc89baef7	4	013267fec45d98ab	7	01375dfb98a264ce
2	013264cea89bfd57	5	01326ef754cd98ab	8	01375dfec462a89b
3	013267feab98c45d	6	01326efba89dc457		

Таблиця 3

Система типових представників для $C = 3,5; S = (2,4,4,5)$

№	T	№	T	№	T
1	0132675d9bfea8c4	11	01375d9bfe64c8a2	21	01376ec45dfb98a2
2	01326ea8cd9bf754	12	01375dc46efb98a2	22	0137fb98aec5462
3	01326eabf75d98c4	13	01375dc89bfea264	23	0137fb9d546ec8a2
4	0137546ec89dfba2	14	01375dfb98c46ea2	24	0137fb9d54ce62a8
5	0137546efb9dc8a2	15	01375dfe64c89ba2	25	0137fba26ec45d98
6	013754c8ab9dfe62	16	01375dfeab98c462	26	0137fba26ec89d54
7	013754cdfb98ae62	17	013762a8cefb9d54	27	0137fd546ec89ba2
8	01375d98abfec462	18	013762aec89bfd54	28	0137fd54ce62ab98
9	01375d98cefb9d54	19	0137645d9bfec8a2	29	0137fe62ab9d54c8
10	01375d9bfe62a8c4	20	0137645dfb98cea2	30	0137fec8ab9d5462

Таблиця 4

Система типових представників для $C = 4,5; S = (3,3,3,6)$

№	T	№	T	№	T
1	013264cea89bf75d	3	013267fd54c89bae	5	01375d98c462aefb
2	013267fba89d54ce	4	013754ce62a89bfd	6	013762ab98c45dfe

Таблиця 5

Система типових представників для $C = 5,0; S = (2,3,5,5) iS = (2,3,4,6)$

№	T	№	T	№	T
1	0132645d98ceabf7	22	01326eab98cdf754	43	013762a89bfecd54
2	0132645d9ba8cef7	23	01326eabf754c89d	44	013762ab98cefd54
3	0132645dcea89bf7	24	01326eabf754cd98	45	013762abfec45d98
4	013264c89baefd57	25	01326eabfd98c457	46	013762aefb98c45d
5	013264c8aefb9d57	26	01326ec457fd98ab	47	013762aefb9d54c8
6	013264cd57fea89b	27	01326ec457fd9ba8	48	0137645d98cefb9d54
7	013264cd57feab98	28	01326ec8ab9df754	49	0137645dc89bfea2
8	013264cef75d98ab	29	01326ecd98abf754	50	01376efd54c89ba2
9	013264cef75d9ba8	30	01326ef754cd9ba8	51	0137fb9d5462a8ce
10	013264cefb9d54c8	31	01326efd9ba8c457	52	0137fb9d5462aec8
11	0132675d98abfec4	32	013754c89dfbae62	53	0137fb9d54c8a26e
12	0132675dfb98aec4	33	013754cd98abfe62	54	0137fb9d54c8ae62
13	0132675dfeab98c4	34	013754cdf62a89b	55	0137fbaec89d5462
14	013267fb98aec54	35	013754cdf62ab98	56	0137fd54ce62a89b
15	013267fbaec45d98	36	01375d9bfea264c8	57	0137fe62ab98c45d
16	013267fd54cea89b	37	01375d9bfec462a8	58	0137fe62ab98cd54
17	013267fd54ceab98	38	01375dcefb98a264	59	0137fe645dc89ba2
18	013267feab9d54c8	39	01375dfb98a26ec4	60	0137feab98cd5462
19	013267fec45d9ba8	40	01375dfb98c462ae	61	0137fec5462a89b
20	013267fec8ab9d54	41	01375dfec462ab98	62	0137fec5462ab98
21	01326ea89bfdc457	42	01375dfec89ba264		

Таблиця 6

Система типових представників для $C = 5,5$; $S = (1,4,4,6)$ і $S = (1,4,5,5)$

№	T	№	T	№	T
1	01326457fb9dc8ae	9	01326754c8aefb9d	17	01375462abfd98ce
2	01326457fb9dcea8	10	01326754c8aefd9b	18	01375462abfec89d
3	01326457fbaec89d	11	01326754cd9bfea8	19	01375462abfec9d8
4	01326457fbaecd98	12	01326754cea89dfb	20	01375462aecdfb98
5	01326457fd98ceab	13	01326754ceabfd98	21	01375462aefb98cd
6	01326457fd9baec8	14	01375462a89dcefb	22	01375462aefb9dc8
7	01326457fea8cd9b	15	01375462a8cd9bfe	23	01375462aefdc89b
8	01326457feab9dc8	16	01375462ab9dfec8		

Таблиця 7

Система типових представників для $C = 3,0$; $S = (3,3,4,5)$

№	T	№	T	№	T
1	013264c89baef75d	18	01326ec457fba89d	35	013762a89d54cefb
2	013264c89d57fbae	19	01326ec45d98abf7	36	013762a8c45d9bfe
3	013264c89d57feab	20	01326ef754c8ab9d	37	013762aefd54c89b
4	013264c8ab9d57fe	21	013754c89ba26efd	38	0137fb98a2645dce
5	013264c8aef75d9b	22	013754c89dfba26e	39	0137fb98a26ec45d
6	013264cd57fb98ae	23	013754c89dfe62ab	40	0137fb98cd5462ae
7	013264cea89d57fb	24	013754c8a26efb9d	41	0137fb98cea2645d
8	013267fb98aec45d	25	013754c8a26efd9b	42	0137fba2645d98ce
9	013267fb9d54c8ae	26	013754cd98a26efb	43	0137fd5462ab98ce
10	013267fea8c45d9b	27	013754cdfb98a26e	44	0137fd5462aec89b
11	01326ea89bf754cd	28	013754ce62a89dfb	45	0137fd54c89ba26e
12	01326ea89dc457fb	29	01375d98a264cefb	46	0137fe62a8c45d9b
13	01326ea8c457fb9d	30	01375d98c462abfe	47	0137fea2645dc89b
14	01326ea8c457fd9b	31	01375dc462a89bfe	48	0137fec89ba2645d
15	01326ea8c45d9bf7	32	01375dfea264c89b	49	0137fec89d5462ab
16	01326eab98c457fd	33	013762a89bfd54ce	50	0137fec8a2645d9b
17	01326eab98c45df7	34	013762a89bfec45d		

Таблиця 8

Система типових представників для $C = 7$; $S = (1,3,4,7)$, $S = (1,3,5,6)$, $S = (2,2,4,7)$, $S = 2,2,5,6)$

№	T	№	T	№	T
1	01326457fb98aec8d	12	01326754cdfb98ae	23	01375462aec89dfb
2	01326457fba89dce	13	01326754cea89bfd	24	01375462ecdfb98a2
3	01326457fd9ba8ce	14	01326754cefba89d	25	01375462efdc89ba2
4	01326457fdc89bae	15	013267fbaec89d54	26	01375d9bfea8c462
5	01326457feab98cd	16	01375462a89bfdce	27	01375d9bfec8a264
6	01326457fec8ab9d	17	01375462a89bfecd	28	01375dfb98aec462
7	01326754c89baefd	18	01375462a8cefb9d	29	01375dfb98cea264
8	01326754c89dfbae	19	01375462a8cefd9b	30	013762abfec89d54
9	01326754c89dfeab	20	01375462ab98cdfc	31	013762aefb98cd54
10	01326754c8ab9dfe	21	01375462ab98cefd	32	0137645dcefb98a2
11	01326754cd98aefb	22	01375462aec89bfd	33	0137645dfec89ba2

Таблиця 9

Система типових представників для $C = 8,5; S = (1,3,3,8), S = (2,2,3,8)$

№	T	№	T
1	01326754cd98abfe	2	013267feab98cd54

Таблиця 10

Система типових представників для $C = 9,0; S = (1,2,4,8), S = (1,2,5,7), S = (1,2,6,6)$

№	T	№	T	№	T
1	01326457fdcea89b	4	01326457fecd9ba8	7	01326754cefd98ab
2	01326457fdceab98	5	01326754cdfea89b	8	01326754cefd9ba8
3	01326457fecd98ab	6	01326754cdfeab98		

Застосування розробленого методу та каталогів кодів з одиничною відстанню дозволить аналізувати та вибирати коди, що задовольняють заданим властивостям. Завдяки використанню каталогів кодів з одиничною відстанню у розробників є більше варіантів вибору, ніж при використанні кодів Грея. Це дозволяє отримати найкращі результати з погляду розгалуження, затримок розповсюдження, енергоспоживання або інших обмежень під час проектування цифрових систем. На основі каталогів були розроблені перетворювачі кодів [6,7].

Список використаних джерел

1. Taha, T. B. Nanotechnology and computer science: Trends and advances / T. B. Taha, A. A. Barzinjy, F. H. S. Hussain, T. Nurtayeva // Memories-Materials, Devices, Circuits and Systems. – 2022. – V. 2. – P. 100011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.memori.2022.100011>
2. Mehta, K. A review on strategies and methodologies of dynamic power reduction on low power system design / K. A Mehta // International Journal of Computer Science & Communication. – 2015. – V. 7. – №. 1. – P. 25-33. DOI: <https://doi.org/10.090592/USC.2016.004>
3. Samanth, R., Nayak S. G., Nempu P. B. A Novel Multiply-Accumulator Unit Bus Encoding Architecture for Image Processing Applications / R. Samanth, S. G. Nayak, P. B. A. Nempu // Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering. – 2023. – V. 19. – №. 1. – P. 1 – 11. DOI: <https://doi.org/10.22068/IJEE.19.1.2391>
4. Yareshchenko, V. Coding to reduce the energy of data movement / V. Yareshchenko, V. Kosenko // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ. – 2023. – V. 1 (71). – P. 159-162. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.159>.
5. Комп'ютерна програма «Інструмент генерації кодів одиничної відстані» / В. В. Ярещенко, В. В. Косенко. Свід. Держ. реєстр. прав автора на твір № 122830. – Зареєстр. в Держ. орг. «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій» 11.01.2024 р.
6. Патент України на корисну модель № 153728, МПК Н 03 М 7/16. Перетворювач кодів / В. В. Косенко, В. В. Ярещенко. – № U 2023 01178, опубл. 16.08.2023, бюл. № 33. – 3 с.
7. Патент України на корисну модель № 155281, МПК Н 03 М 7/16. Формувач збалансованих кодів / В. В. Косенко, В. В. Ярещенко. – № U 2023 03583, опубл. 8.02.2024, бюл. № 2. – 3 с.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ВЕБ-ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІВ: DATA-DRIVEN ПІДХІД

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

У роботі розглянуто використання підходу, орієнтованого на дані (data-driven), для прогнозування фізичних властивостей композиційних матеріалів. Наразі існує багато металів та їх сплавів, які активно застосовуються в промисловості, виробництві та будівництві. З огляду на це, важливо мати легкий доступ до інформації про їхні властивості та сфери застосування.

Одним із ефективних способів організації цієї інформації є нормалізація даних у базі даних, наприклад, за допомогою MySQL. У даній роботі використано базу даних, яка містить інформацію про різні типи металів та їхні властивості в зручному форматі.

Розроблений веб-сайт надає користувачам можливість здійснювати пошук металів за назвою та знаходити подібні матеріали за хімічним складом. Також створено програмний інтерфейс для автоматизації роботи з даними про метали, що дозволяє стороннім розробникам створювати власні рішення на їх основі.

Для розробки веб-сайту використано мікрофреймворк Flask та бібліотеку Twitter Bootstrap. Для розгортання програмного інтерфейсу застосовувалися Amazon Web Services: Lambda та DynamoDB. Крім того, для пошуку інформації про матеріали використовувалася бібліотека BeautifulSoup на мові програмування Python.

Веб-сайт має функцію інтелектуального пошуку, що дозволяє знаходити подібні метали за хімічним складом. Також доступні розділи Data Visualization та Articles, які дозволяють графічно відобразити залежності між властивостями металів та додавати власні статті-нотатки.

Список використаних джерел

1. Kirk, A. Data visualisation: A handbook for data driven design / A. Kirk. – Sage, 2016. – 368 с.
2. Voron, F. Building Data Science Applications with FastAPI: Develop, manage, and deploy efficient machine learning applications with Python / F. Voron. – Packt Publishing, 2021. – 426 с.

Науковий керівник д.т.н., професор Львов Г.І.
lvovdpm@ukr.net

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ АДМІНІСТРУВАННЯ ІВЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ INTERSYSTEMS IRIS

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

Кожний клієнт, який має потребу у проведенні приватних чи ділових заходів (івентів), стикається з величезними проблемами (трудовитрати, організаційні тощо), тому й виникає потреба звертатися до компаній які займаються цими питаннями, або мати свій структурний підрозділ в компанії який буде виконувати затребувані заходи.

Підготовка та проведення івенту любого формату пов'язане з великими трудовитратами, оскільки організатор керує процесом підготовки та проведення івенту до якого залучена велика кількість фахівців за необхідним напрямом і, відповідно, успіх його проведення залежить від професіоналізму та досвіду організатора. До кожного клієнта має бути забезпечений індивідуальний підхід, з відповідною увагою до всіх деталей та дрібниць передбачуваного івенту. Оцінка ефективності проведеного івенту допомагає зрозуміти, наскільки окупилися вкладені кошти, і наскільки результати відповідають поставленим цілям.

Зазвичай підготовка та проведення будь-якого івенту включає наступну послідовність робіт: розробка концепції заходу (використати аналог); підбір та бронювання майданчика для проведення заходу; запрошення гостей заходу; організаційна логістика (транспорт, доставка матеріалів та персоналу); організація харчування; підбір артистів та розважальних номерів; декорування приміщень заходу; технічне забезпечення заходу (світло, звук; виробництво брендованої продукції; підбір та тренінг промо-персоналу для заходу); адміністрування та проведення заходів; підготовка фото та відео-звітів, тощо. Кожна з цих робіт має свій сценарій, безпосередніх виконавців, обладнання, матеріали, фірми підрядники, тощо, які потрібно мати в достатній кількості для проведення замовленого заходу. В зв'язку з цим виникає задача по розробці інформаційної технології у вигляді вебдодатка для адміністрування підготовки та проведення івент послуг будь-якого формату.

Метою доповіді є дослідження технологій платформи InterSystems IRIS для розробки вебдодатка для проведення івент послуг з використанням багатовимірних баз даних та сховищ інформації (оперує терабайтами даних). В доповіді наводяться результати моделювання предметної області у вигляді ER-діаграм та аналіз особливостей використаних технологій. Високопродуктивна платформа InterSystems IRIS містить усі необхідні інструменти та можливості для швидкої розробки транзакційних, аналітичних та транзакційно-аналітичних додатків [1], які зменшують затримки під час підготовки даних для аналізу та дозволяють отримувати інформацію дійсно в оперативному режимі. Реалізація вебдодатка на платформі InterSystems IRIS масштабується як горизонтально, так і вертикально, що дозволяє ефективно справлятися з зростаючими робочими навантаженнями, великими обсягами даних та паралельними запитами. Використання технологій поєднує найкращі інструменти та технології аналізу даних, бізнес-аналітики та прогнозування і дозволяє вибудовувати ефективні аналітичні процеси. Завдяки аналітичним можливостям веб-додаток дозволяє в реальному часі отримувати корисну інформацію та використовувати її для ухвалення оперативних рішень.

Список використаних джерел

1. Лещенко, О. Б. Застосування технології DeepSee InterSystems для побудови багатовимірних баз даних і сховищ інформації / О. Б. Лещенко, Ю. О. Лещенко. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т", 2021. – 66 с.

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ОБМІНУ КНИЖКАМИ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ БУККРОСИНГУ

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

Сучасний світ характеризується зростаючою мобільністю населення, тенденцією до оренди житла замість придбання, поширенням віддаленої роботи та подорожей, а також підвищенням екологічної відповідальності та схильності до мінімалізму. Ці фактори суттєво впливають на ставлення людей до паперових книг, створюючи складнощі з транспортуванням та зберіганням особистих бібліотек, а також піднімаючи питання екологічних наслідків виробництва паперових книг. Незважаючи на це, паперові книги залишаються актуальними для багатьох читачів через особливу атмосферу читання, яку створюють запах паперу та якість обкладинки, а також через ритуальність самого процесу читання. У світі книг також з'явилися нові тренди, такі як Буккросинг (BookCrossing) [1], започаткований у 2001 році, та встановлення публічних книжкових шаф у містах.

Метою дослідження є реалізація обміну книжками за технологією буккросингу. На даний час існує декілька технологій буккросингу (класична, за допомогою безпечних місць (полиць, шаф), букрей, букрінг). При створенні застосунку була використана класична технологія буккросингу.

Дуже мало застосунків реалізують ідею обміну книгами. Тому, як зразки, були обрані застосунки, що реалізують відповідний функціонал у соціальних мережах. Вони пропонують спілкування між користувачами, швидке створення пропозицій та відповідь на них. Одже, саме розгляд пропозиції про книгу, виставлення вподобань та створення запиту на обмін є основою реалізації технології буккросингу у нашому застосунку. Також дані застосунки мають регіональну прив'язку та шукають людей поруч. Це дозволить робити обмін книжок, які ми раніше просто залишали в кав'ярнях, особисто у найближчі терміни. Це допоможе будувати спільноти однодумців, що цікавляться читанням у місті, населеному пункті чи районі, враховуючи культурні особливості, що склалися в його межах.

Для розробки застосунку було обрано сучасний стек технологій: React до фронтенду, NestJS до бекенду та MySQL до бази даних.

Особливу увагу було приділено розробці глибокого алгоритму персоналізації пропозицій. Цей алгоритм враховує історію обмінів користувача, жанрові уподобання, рейтинги книг та географічне розташування. Основним результатом цієї роботи є створений функціональний застосунок для обміну книжками, який відрізняється від існуючих рішень наявністю глибокого алгоритму персоналізації пропозицій. Застосунок успішно вирішує проблему ефективного обміну книгами між користувачами, надаючи їм релевантні та персоналізовані пропозиції. Цей застосунок має потенціал стати невід'ємною частиною життя читачів у майбутньому, вдало поєднуючи любов до книг із сучасними тенденціями мобільності та екологічності.

Список використаних джерел

1. Буккросинг. Матеріал з Вікіпедії. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3>

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ОБЛІКУ ЗАКУПІВЕЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАВ'ЯРНІ

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

Потреба у впорядкованому обліку закупівель виникає у будь-якій галузі бізнесу, незалежно від його розміру чи специфіки. Однак, традиційні методи ведення обліку можуть бути часо- та ресурсномісткими, а також супроводжуватися помилками та недоліками в управлінні даними.

В умовах глобалізації та швидкого розвитку технологій компанії змушені адаптуватися до нових умов ринку. Розробка веб-застосунків для ведення обліку закупівель дозволяє забезпечити конкурентні переваги, підвищуючи ефективність управління та скорочуючи витрати.

Метою дослідження є автоматизація обліку закупівельної діяльності кав'ярні. Застосунок допоможе налагодити облік продукції у кав'ярні та закупівель, включаючи створення та редагування замовлень, ведення бази даних постачальників, контролювати кошти, стежити за статистикою по необхідним позиціям, заснувати бонусну програму, за бажанням.

У застосунку є можливість ведення обліку залишків інгредієнтів, визначення мінімальних та максимальних запасів, автоматичне генерування замовлення на поповнення запасів з урахуванням попиту та прогнозів, облік температурного режиму зберігання продуктів, контролювання строку придатності і відстеження харчової безпеки від постачання до подачі страв. Реалізовано інтеграцію з касовими системами для автоматичного відстеження продажів, контролю оплат та обліку доходів і витрат, а також можливість генерації фінансових звітів і аналіз фінансової діяльності.

Для реалізації застосунку було спроектовано архітектуру застосунку, яка включає серверну частину, клієнтську частину та базу даних. Розроблена архітектура забезпечує ефективну взаємодію між компонентами системи та дозволяє легко масштабувати застосунок.

Особлива увага була приділена розробці інтерфейсу користувача, який є інтуїтивно зрозумілим і зручним для користувачів. Не потрібно витратити багато часу на ознайомлення та навчання співробітників. Можна практично одразу приступати до роботи з застосунком.

Для розробки застосунку були використані: мова програмування C#, СКБД MySQL, середовище MS Visual Studio, технологія ASP.NET Core [1].

Проведено детальне тестування застосунку з метою виявлення та виправлення помилок. За результатами тестування застосунок був доопрацьований і підготовлений до впровадження у робоче середовище.

Проведено аналіз економічної ефективності розробленого застосунку, який показав, що його впровадження дозволяє знизити витрати на облік закупівель, підвищити точність і оперативність обліку, а також покращити управління запасами.

Список використаних джерел

1. ASP.NET: Офіційний сайт Microsoft з документацією, новинами та ресурсами для розробників ASP.NET [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dotnet.microsoft.com/apps/aspnet>.

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК «FITNESS TRACKER»
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В основі здоров'я кожної людини є система постійних посильних фізичних навантажень та збалансоване здорове харчування. Кожен з нас знає, що здоровий спосіб життя – це не завжди легко та зручно. Більшості бракує часу та уваги, щоб відстежувати кожен свій крок, розраховувати кількість калорій та час прийому їжі, кількість рідини, вміст кофеїну, цукру або замінників та ін. Але організм одразу реагує на невчасні або недостатні прийоми їжі, води, недостатню кількість сну або взагалі відпочинку, невірно розраховані спортивні навантаження та інші відхилення від здорового режиму життя. Це призводить до стану постійної втоми, роздратованості, травм, порушенням сну, хворобам, що вимагатимуть складного лікування.

Тому, спеціально для того, щоб користувачі могли щохвилини стежити за своїм здоров'ям, постійно розробляються розумні застосунки, з якими людям вести активний спосіб життя стає значно зручніше, навіть, якщо є деякі порушення здоров'я і є необхідність відстежувати деякі показники (тиск, серцебиття) або необхідність дотримуватись режиму прийому ліків (БАДи та ліки, що необхідно приймати за системою). Вже існуючі трекери виконують різні функції, в залежності від потреб користувача, та можуть надавати рекомендації, нагадування і, за необхідністю, викликати лікаря або відповідальну особу.

Метою дослідження є розробка веб-застосунку «Fitness Tracker», що поєднує в собі зручність використання та функціональність для користувачів. При цьому важливим аспектом є не лише збір інформації про фізичну активність, але і її аналіз, візуалізація та надання корисних рекомендацій на основі отриманих даних.

Крім того, розробка веб-застосунку «Fitness Tracker», має значний потенціал для поліпшення користувацького досвіду завдяки інтеграції з іншими цифровими платформами та сервісами. Веб-застосунок може надавати розширені функції, такі як: соціальні мережі для підтримки мотивації, індивідуальні тренувальні програми та дієтичні плани. Таким чином, вони стають незамінними інструментами для користувачів, які прагнуть вести активний і здоровий спосіб життя, що підтверджує важливість і актуальність розробки.

Для розробки застосунку були використані: мова проектування інформаційних систем UML, ERD, мова програмування Python, база даних SQLite3, середовище PyCharm [1], технологія Flask [2].

Проведено тестування системи для визначення її працездатності та надійності. Розроблений застосунок успішно впроваджений та використовується для відстеження денних активностей відвідувачів групи здоров'я.

Реалізований застосунок має потенціал використання в різних галузях, де важливий аспект відстеження стану здоров'я.

Список використаних джерел.

1. PyCharm. The Python IDE for data science and web development [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.jetbrains.com/pycharm/>.
2. Flask Documentation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://flask.palletsprojects.com>.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ ВАРІАНТІВ ЗАВДАНЬ З ВИВЧЕННЯ МОВИ SQL

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

В теперішній час значно зростає використання закладами освіти електронних засобів навчання. Це дає можливість гнучко організувати навчальний процес, використовуючи асинхронний режим, надати кожному студенту можливість навчатися у зручному темпі, використовуючи зручні засоби. Одним з найпоширеніших засобів контролю знань в комп'ютеризованих системах навчання є тестування. Тестування може використовуватися не тільки для контролю теоретичних знань, але й для перевірки практичних завдань. Але процес підготовки варіантів завдань є трудомістким та потребує багато часу викладача.

В даній роботі пропонується застосунок, який полегшує формування великої кількості індивідуальних варіантів завдань шляхом автоматизованої генерації параметризованих запитів. Важливо, щоб запропоновані інструменти були сумісними з існуючими системами комп'ютеризованого навчання. Тому в даній роботі розглядається інтеграція з системою Moodle, що дозволить легко додавати згенеровані завдання до існуючих електронних курсів роботи з базами даних. Створення інструментальних засобів для автоматизації підготовки завдань значно полегшує цю задачу та підвищує ефективність роботи викладача.

В роботі виконано аналіз електронних засобів навчання, зокрема, систем для вивчення мови SQL [1, 2]. Сформульовано вимоги до розроблюваного застосунку та постановку задачі роботи. Описано процес генерування завдань. Для використання згенерованих завдань в навчальних курсах передбачено інтеграцію з системою Moodle. Для цього обрано імпорт через формат файлів Moodle XML. За визначеним викладачем шаблоном може бути автоматично згенеровано декілька завдань, що забезпечить студентів індивідуальними варіантами для проходження тестів.

Описано структуру системи та її основні функції. Запроектований застосунок реалізовано програмно з використанням мови Python. Створений застосунок функціонує згідно вимог.

Основним результатом роботи є веб-застосунок для автоматизації підготовки варіантів завдань з вивчення мови SQL. Він автоматизує параметризацію та формування множини варіантів запитів до навчальної бази даних на основі вказаного викладачем шаблона. Забезпечується перевірка завдань на коректність та підбір варіантів відповідей для тестів. Згенеровані варіанти зберігаються у файлі формату Moodle XML для подальшого імпорту в систему управління навчанням.

Використання застосунку значно полегшить створення тестів для практичних завдань та підвищить ефективність роботи викладача. Застосунок може бути використаний не тільки для вивчення SQL, а і в будь-яких курсах, пов'язаних з обробкою даних.

Список використаних джерел

1. Інтерактивні методи навчання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://oplatforma.com.ua/article/2316-interaktyvni-metody> (дата звернення: 10.07.2024)
2. Andrew Migler and Alex Dekhtyar. 2020. Mapping the SQL Learning Process in Introductory Database Courses. In Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 619–625. <https://doi.org/10.1145/3328778.3366869>

**РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ
ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ КОМЕРЦІЙНИХ ОГолошень**
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

В умовах швидкого розвитку цифрових технологій і глобальної мережі Інтернет, зростає потреба у зручних та ефективних інструментах для ведення бізнесу та комунікації між продавцями та покупцями. Важливість такого інструменту зростає ще більше у зв'язку з пандемією COVID-19, а згодом з повномасштабною війною, коли багато бізнесів були змушені адаптуватися до нових умов і перейти в онлайн-простір. Серед найвідоміших веб-застосунків для розміщення комерційних оголошень можна відмітити: OLX, PROM, NDO. OLX – пропонує широкий спектр категорій для розміщення оголошень, має простий інтерфейс та активну спільноту користувачів, але часто стикається з проблемами безпеки, такими як шахрайські оголошення та спам і має погано оптимізований функціонал. PROM є значущим гравцем на ринку торгових платформ в Україні. Платформа об'єднує як бізнеси, так і приватних продавців. Але її недоліком є те, що для нових користувачів інтерфейс може здаватися складним та незручним загалом у розміщенні оголошень, а також через велику кількість функцій та налаштувань. На відміну від OLX, PROM має меншу кількість приватних продавців, що може обмежити вибір товарів для покупців. NDO є платформою для розміщення оголошень в Україні, з акцентом на такі категорії як нерухомість, авто та послуги. Сайт відрізняється високим рівнем спеціалізації в цих категоріях, він пропонує розширені функціональні можливості для користувачів. Проте до його недоліків можна віднести дизайн, який виглядає простим і застарілим, та погані рекламні можливості з відсутньою інтеграцією платіжних систем. Таким чином, задача розробки веб-застосунку для розміщення комерційних оголошень є актуальною. Необхідно створити платформу, яка враховує недоліки існуючих рішень і надає користувачам більш зручний, безпечний та ефективний інструмент для ведення бізнесу. Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання: проаналізовані існуючі веб-застосунки для розміщення комерційних оголошень, проаналізовано проблеми та вимоги до веб-застосунку, створено адаптивний інтерфейс веб-застосунку, розроблено базу даних (БД) веб-застосунку, реалізовано клієнтську та серверну частини веб-застосунку, проведено тестування основних функцій та режимів роботи веб-застосунку.

Розроблений веб-застосунок побудовано за архітектурою Single Page Application [1], яка включає наступні компоненти системи: 1) клієнтська частина (front-end), відповідає за взаємодію з користувачем, вона надсилає HTTP-запити до серверної частини та отримує HTTP-відповіді; 2) серверна частина обробляє HTTP-запити, отримані від клієнта, виконує бізнес-логіку та взаємодіє з БД; 3) взаємодія з БД здійснюється через ORM Entity Framework, що дозволяє розробникам працювати з даними на рівні об'єктів, а не SQL-запитів. Режими роботи веб-застосунку такі: користувач відвідує сайт, отримує доступ до списку оголошень та детальної інформації щодо них, фільтрує оголошення за категоріями та іншими параметрами. Зареєстровані та авторизовані користувачі можуть виконувати все те, що і гості веб-застосунку, та мають доступ до персонального кабінету, де можна керувати своїми оголошеннями, додавати їх до обраних, створювати свої оголошення, редагувати існуючі, а також залишати відгуки до оголошень і спілкуватися з продавцями у спеціальному чаті, та багато іншого. При створенні або редагуванні оголошення користувачем, воно перевіряється та схвалюється адміністратором.

Вибір TypeScript як основної мови програмування для клієнтської частини обумовлений її перевагами над чистим JavaScript: TypeScript додає статичну типізацію, що допомагає виявляти помилки на етапі компіляції, зменшуючи ризик помилок при виконанні. React обраний для створення динамічних і масштабованих інтерфейсів користувача. Завдяки компонентній архітектурі, React дозволяє створювати повторно використовувані компоненти, що спрощує підтримку та розширення проекту. За допомогою React Context реалізовані «контексти» [2], які дозволяють передавати дані глибоко у дерево компонентів без необхідності передачі: 1) `userContext` – використовується для зберігання даних про авторизованого користувача та надання доступу до певних сторінок веб-застосунку, він забезпечує централізоване управління станом користувача і спрощує процес передачі даних між компонентами; 2) `adminContext` – використовується для управління статусом авторизації адміністратора та надає доступ до панелі адміністратора, що дозволяє легко контролювати доступ до адміністративних функцій застосунку; 3) `categoryContext` – контекст для зберігання категорій оголошень, що допомагає уникнути надмірних запитів до сервера при переході між сторінками або фільтрації оголошень, підвищити продуктивність та зменшити навантаження на сервер, забезпечуючи швидший доступ до даних. Для авторизації користувачів використовується JWT (JSON Web Token) та `localStorage`. Веб-токен JSON – компактний та безпечний спосіб представлення «заявок» (claims) для передачі між двома сторонами. Заявки у JWT являють собою JSON-об'єкт, підписаний за допомогою JSON Web Signature (JWS). Він потрібен, щоб ідентифікувати/здійснити автентифікацію користувача. Для реалізації серверної частини (back-end) було використано мову програмування C# та фреймворк ASP.NET Core [1], який був обраний за його кросплатформенність, високу продуктивність та можливість побудови сучасних веб-застосунків. Структура й функціонування основних рівнів серверної частини веб-застосунку така: 1) `Presentation Layer` відповідає за взаємодію з користувачем і реалізує контролери для обробки HTTP-запитів; 2) `Business Logic Layer` реалізує бізнес-логіку веб-застосунку, цей рівень включає сервіси, що обробляють дані та забезпечують основну функціональність системи; 3) `Data Access Layer` відповідає за доступ до БД та управління даними. Ще однією важливою складовою є бібліотека SignalR [2], яка забезпечує у реальному часі взаємодію між клієнтом та сервером. У кожного користувача своє підключення, він підключається автоматично на front-end частині, по ньому передається інформація оброблена back-end частиною. Для реалізації БД було використано Microsoft SQL Server разом з фреймворком Entity Framework Core, який є об'єктно-реляційним відображенням (Object-Relational Mapping, ORM) для .NET та дозволяє працювати з БД у вигляді об'єктів. Він підтримує підхід Code First, що дозволяє визначати структуру БД безпосередньо у коді C#, що спростило процес розробки і обслуговування БД, дозволяючи зосередитися на бізнес-логіці.

Запропонований веб-застосунок має ряд переваг, які вигідно відрізняють його від існуючих аналогів. По-перше, адаптивний інтерфейс забезпечує зручність використання на різних пристроях, включаючи смартфони і планшети. По-друге, інтеграція з сучасними технологіями, такими як ASP.NET Core і SignalR, забезпечує високу продуктивність та безпеку. По-третє, використання підходу Code First для роботи з базою даних спрощує процес розробки та підтримки системи. Ці переваги роблять новий веб-застосунок ефективним інструментом для розміщення та управління комерційними оголошеннями, сприяючи розвитку електронної комерції та малого бізнесу.

Список використаних джерел

1. Troelsen, A. Pro C# 10 with .NET 6 / A. Troelsen, P. Japikse. – Berkeley CA : Apress, 2022. – 1705 p.
2. Ingebrigtsen, E. SignalR: Real-time Application Development / E. Ingebrigtsen. – Packt Publishing, 2013. – 124 p.

ДІАГНОСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ¹Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна,²Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Розробка діагностичного забезпечення є складною задачею, тому що необхідно задовольняти цілому ряду найчастіше суперечливих вимог до швидкодії, апаратних витрат, надійності функціонування і т.д. [1]. Тому одержує поширення системний підхід до дослідження та проектування структури засобів діагностування, що дозволяє врахувати множину факторів і знайти оптимальну реалізацію системи. Значну проблему представляє контроль складних цифрових систем у зв'язку з великою кількістю можливих станів і труднощів моделювання та значна функціональність.

Метою доповіді є аналіз методів розробки діагностичного забезпечення інформаційних систем. В доповіді розглянуто особливості задачі, що розглядається. Багато задач: пошук мінімальних тестів, вибір оптимального состава перевірок і ін. є логіко-комбінаторними задачами з перебором значної кількості варіантів. Трудомісткість класичних алгоритмів і методів рішення цих завдань змушує шукати нові підходи й розробляти більше ефективні методи. Рівень складності сучасних автоматизованих систем діагностування настільки високий, що для їхнього проектування, як і для проектування самих систем, потрібно застосовувати автоматизовані методи.

Розроблено програмне забезпечення для формування діагностичних моделей, контрольних та діагностичних тестів, що дозволяє автоматизувати процес розробки діагностичного забезпечення, скоротити строки розробки, і підвищити його якість за рахунок формування мінімальних тестових послідовностей та спрощення схеми контролю. Програма [2] призначена для побудови діагностичних моделей дискретних пристроїв для заданого виду відмов. Для опису вихідних даних розроблена спеціалізована проблемно-орієнтована вхідна мова. Програма [3] призначена для побудови контрольних і діагностичних тестів з урахуванням вартості реалізації перевірок. В основі роботи програми лежить послідовна генерація перспективних варіантів побудови тестів, аналіз їхніх властивостей, формування множини рішень, оцінка їхньої вартості, вибір мінімального за вартістю.

Застосування розробленого програмного забезпечення дозволить скоротити трудомісткість розробки діагностичного забезпечення, зменшити тривалість процесу, підвищити якість проектування, зменшити витрати на його розробку.

Список використаних джерел

1. Baron, P. Technical Diagnostics / P. Baron, A. Panda // Application of Troubleshooting Tools in the Monitored Production Processes. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – p. 5-10.
2. Комп'ютерна програма «Electronics simulation» // Павлик Г. В., Доценко Н. В., Кошовий М. Д., Анікін А. М., Доценко М. І. – Свід. про реєстр. автор. права на твір № 108349 – Зареєстр. в ДП «Укрпатент» 30.09.2021.
3. Комп'ютерна програма «TEST» // Павлик Г. В., Сіроклин В. П., Анікін А. М., Доценко М. І. – Свід. про реєстр. автор. права на твір № 118504 – Зареєстр. в ДП «УКРНОІВІ» 26.04.2023.

АНАЛІЗ ВІДГУКІВ КОРИСТУВАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ

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

У сучасному світі цифрових технологій якість досвіду взаємодії користувача з інтерфейсом (User Experience, UX) стала одним з ключових факторів успіху продукту. Зважаючи на конкуренцію, компанії змушені постійно вдосконалювати свої інтерфейси, спираючись на зворотний зв'язок від користувачів. Зі збільшенням обсягів текстових даних виникає потреба в автоматизації процесу їх аналізу. Інформаційні технології обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP) пропонують рішення для обробки та аналізу великих обсягів текстових даних, дозволяючи швидко виявляти ключові тенденції, проблеми та можливості для покращення користувацького досвіду.

Основними компонентами NLP є токенизація, лематизація, частиномовна розмітка та синтаксичний аналіз. Ці базові операції, використовуючи бібліотеки NLTK, SpaCy та Stanford NLP, дозволяють перетворити неструктуровані текстові дані у форму, придатну для подальшого аналізу [1]. Векторне представлення слів Word2Vec або GloVe, дозволяють враховувати семантичні зв'язки між словами [2]. Аналіз тональності тексту в контексті UX-досліджень дозволяє автоматично визначити емоційне забарвлення відгуку, використовуючи словникові методи та методи машинного навчання [3]. До того ж сучасні системи штучного інтелекту допоможуть аналізувати пряму мову користувачів і окрім просто аналізу ключових слів та аналізувати емоційне забарвлення та акценти. Відповідно, це допоможе не лише резюме робити, але і знаходити схожі блоки та схожі звернення поміж усіх отриманих відповідей. Таким чином після аналізу 100 відповідей можна одразу побачити, що, наприклад, 40% користувачів турбує ось ця чи інша частина інтерфейсу. На неї треба звернути увагу відповідним чином. Це допомагає розробникам виконати категоризацію відгуків та кількісно поррахувати зацікавленість користувачів у тій чи іншій частині інтерфейсу.

Використання технологій обробки природної мови в аналізі відгуків користувачів вирішує значну частину проблем сучасних UX-досліджень. Ця автоматизація скорочує час та ресурси, дозволяючи реагувати на зміни у потребах. Застосування цих методів підвищує точність та релевантність аналізу, що призводить до глибшого розуміння користувацького досвіду та дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення щодо вдосконалення інтерфейсів та, в кінцевому підсумку, підвищувати конкурентоспроможність продукту.

Список використаних джерел

1. Loper, E. In Proceedings of the ACL-02 Workshop on Effective Tools and Methodologies for Teaching Natural Language Processing and Computational Linguistics / E. Loper, S. Bird // NLTK: The Natural Language Toolkit. – 2002. – p 63-70.
2. Mikolov, T. Distributed representations of words and phrases and their compositionality / T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. S. Corrado, J. Dean // In Advances in neural information processing systems. – 2013. – p. 3111-3119.
3. Hochreiter, S. (1997). Long short-term memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural computation. – 1997. – 9(8) . – p. 1735-1780.

РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ І ОБГОВОРЕННЯ КНИГ

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

Сьогодні, в еру цифрової комунікації та доступу до інформації, книги залишаються одним з основних джерел знань та розвитку особистості. Проте зростає потреба в інструментах, які спростять процес оцінювання та обговорення книг, забезпечуючи доступність, зручність та ефективність для користувачів. Інтеграція інтелектуальних систем у сферу літературної критики та рецензування може стати ключовим фактором у поліпшенні сприйняття та обговорення літературних творів [1, 2].

У контексті зростаючої популярності веб-платформ для обміну думками та враженнями, розробка спеціалізованого веб-застосунку для оцінювання та обговорення книг стає важливим етапом у вдосконаленні літературної культури. Цей застосунок може стати майданчиком для обміну враженнями, аналізу та обговорення літературних творів, забезпечуючи зручний та доступний інструмент для читачів у всьому світі.

Мета проєкту полягає у створенні платформи, що спрямована на зручне та ефективно отримання об'єктивної оцінки та обговорення книг, незалежно від їх стану – чи це нові, чи вживані книги. Основний акцент має бути зосереджений на забезпеченні зручності та легкості в отриманні об'єктивної оцінки книги, а також на якості та представленні кожної окремої книги.

Процес розробки застосунку базований на глибокому аналізі вимог користувачів та ретельному проєктуванні архітектури програмного забезпечення. Особлива увага приділялася вибору найбільш підходящих інструментів та технологій для забезпечення оптимального функціоналу та ефективної роботи додатку.

Під час дослідження було виявлено, що використання стеку технологій .NET виявилось оптимальним рішенням для досягнення поставлених цілей. Результати практичних випробувань підтвердили ефективність обраного підходу та високу якість розробленого програмного забезпечення. Використання мови програмування C# та платформи .NET дозволило забезпечити стабільність, масштабованість та швидкість роботи додатку. Багатофункціональність та висока продуктивність .NET сприяли зручному та ефективному розвитку програмного забезпечення, що відображається у високому рівні задоволення потреб користувачів.

Отримані результати підтверджують, що розроблений додаток успішно виконує свої функції та відповідає вимогам користувачів. Він забезпечує можливість оцінювати книги, обмінюватися враженнями та отримувати рекомендації, що робить його значущим інструментом для аналізу та оцінки літературних творів.

Список використаних джерел

1. Клішов, М. Р. Розробка компонентів інформаційної системи обміну рецензіями до цифрових художніх та інформаційних продуктів / М. Р. Клішов // 27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» : Зб. матеріалів форуму. Т. 6, Ч. II. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – С. 137.
2. ASP.NET Core web API documentation with Swagger/OpenAPI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/tutorials/web-api-help-pages-using-swagger?view=aspnetcore-8.0>

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОСТФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ПІСЛЯ СТИСНЕННЯ З ВТРАТАМИ

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

В різних областях науки і техніки в даний час широко використовуються напівтонові та кольорові зображення [1]. Кількість зображень, а також їх середній розмір швидко збільшуються. Це зумовлює необхідність використовувати стиснення як для передачі даних по лініях зв'язку з обмеженою пропускнуою здатністю, так і для подальшого зберігання. При цьому стиснення без втрат часто неможливо застосувати через відносно малі значення коефіцієнтів стиснення (КС), які при цьому досягаються [2]. Тому застосовують методи стиснення з втратами, які вносять певні спотворення у стиснені зображення, але дозволяють досягти суттєво більших значень КС і, що теж важливо, надають можливість варіювати КС та якість стиснених зображень [3]. Зазвичай для більших значень КС характерним є більш високий рівень внесених спотворень (викривлень, похибок), що вимагає знаходити певний компроміс між КС та якістю стиснених зображень у кожному конкретному випадку, де якість можна характеризувати як за допомогою традиційних кількісних критеріїв, так і метриками візуальної якості, кількість яких постійно зростає, а властивості покращуються [3, 4].

Нещодавно було проведено аналіз статистичних та просторових спектральних характеристик викривлень, що внесені стисненням з втратами для кількох кодерів на основі дискретного косинусного перетворення (ДКП) [5, 6]. Доведено, що у багатьох випадках внесені викривлення дуже схожі з адитивним білим гаусовим шумом (АБГШ). Відмінності полягають у наступному. По-перше, щільність розподілу ймовірності (ЩРЙ) викривлень може мати більш важкі хвости. Це спостерігається для досить високих ступенів стиснення. По-друге, трохи більша локальна дисперсія внесених викривлень має місце для так званих локально-активних фрагментів, до яких відносяться малорозмірні об'єкти та їх околиці, околиці меж площинних об'єктів, а також текстури. По-третє, із збільшенням ступеня стиснення поступово проявляється й просторова кореляція внесених викривлень.

В такому випадку з'являється гіпотеза про можливість покращення якості стисненого зображення після його декомпресії. Зазначимо, що є кілька відомих підходів до покращення якості стиснених зображень після їх декомпресії. По-перше, це методи деблокінгу, які довели свою корисність для JPEG та інших методів стиснення, які використовують ДКП в блоках фіксованого або адаптивного розміру [7]. По-друге, це методи придушення залишкових завад у випадках, коли стискаються зображення, що спотворені шумом [8, 9]. Відмінність нашої ідеї, що розглядається у даній публікації, полягає в тому, що аналізується стиснення зображень, для яких припускається відсутність шуму (або його непомітність), а також припускається практична відсутність блочних ефектів, які зазвичай спостерігаються при досить великих значеннях коефіцієнта стиснення. Тож ми фокусуємось на такому стисненні зображень, при якому викривлення, що внесені внаслідок стиснення з втратами можуть бути візуально помітними [10], але не дратівливими, що якраз і відповідає очевидності (помітності) блочних ефектів. Саме таких рівень викривлень є типовим для сучасних застосунків стиснення з втратами на рівні або візуально непомітних викривлень, або викривлень, що є трохи більш інтенсивними [4]. Оскільки наша ідея знаходиться на початковому етапі досліджень, то вона перевіряється для зображень в градаціях сірого.

Існує безліч методів фільтрації зображень, що спотворені шумом з характеристиками, які є близькими до адитивного гаусова білого шуму. В якості першого кроку нами було

розглянуто фільтр VM3D [11], який залишається одним з найкращих на даний час з 2007 року, коли його було запропоновано. Його перевагами є наступні: 1) основна версія розроблена саме для АБГШ; 2) завдяки пошуку подібних блоків та їх спільному використанню забезпечується ефективне збереження меж об'єктів; 3) фільтр (на відміну від деяких сучасних методів фільтрації на основі навчених нейромереж) має зрозумілий механізм придушення завад; 4) є досить швидкі реалізації цього фільтру; 5) характеристики фільтру можна легко адаптувати до рівня завад та у певних межах змінювати.

Остання властивість вимагає додаткового пояснення. Фільтр VM3D аналогічно іншим фільтрам на основі ДКП використовує поріг T , який встановлюється як $\beta\sigma$, де σ – середньоквадратичне відхилення завад, а β – параметр, що задається користувачем або встановлюється приблизно рівним 2,7. Збільшення β зазвичай призводить до більш ефективного придушення завад за рахунок гіршого збереження меж та текстур (локально-активних ділянок зображень). Що стосується σ , то його треба знати до початку фільтрації. Наша ідея полягає в тому, що значення σ (або дисперсії викривлень) може бути швидко розраховано після стиснення зображення та збережено у стиснених даних. Крім того, зараз існують досить точні методи автоматичного визначення дисперсії АБГШ [12, 13], які можна застосувати після декомпресії до пост-фільтрації.

Втім, як показали результати дослідження в роботі [8], при пост-фільтрації можливі ситуації, коли оптимальні значення β помітно відрізняються від рекомендованих до використання по дефолту. Крім того, можливою є також залежність оптимального значення β від характеристик (складності) оброблюваного зображення. Тому в ході нашого аналізу розглядався набір тестових зображень, в який входили зображення різної складності, включаючи відносно прості (з великим відсотком пікселів, що належать квазіоднорідним ділянкам) та текстурні зображення. Значення β змінювались під час моделювання в широких межах. Аналізувались дані для кодеру BPG (better portable graphics) [14], який є одним з найефективніших на даний час та використовується як складова частина стандарту стиснення відео HEVC. Параметром, що курує стисненням (PKC), для BPG-кодеру є Q , який є цілим числом, що змінюється від 1 до 51, де більші значення відповідають більшому КС та більшому рівню внесених спотворень відповідно до різних метрик якості, включаючи традиційне пікове відношення сигнал-шум (peak signal-to-noise ratio – PSNR) та метрики візуальної якості, наприклад PSNR-HVS-M [15]. Більші значення PSNR та PSNR-HVS-M (обидві метрики вимірюються в дБ) відповідають кращій якості.

В таблиці 1 наведено дані для тестового зображення Barbara. Дані в таблиці надані тільки для оптимальних значень β .

Як можна побачити, в широкому діапазоні значень Q , що відповідають як ледве помітним спотворенням (середньоквадратична похибка (MSE) внесених спотворень порядку 30-50), так і суттєвим викривленням (MSE>100), пост-фільтрація здатна забезпечити позитивний результат, тобто покращення як PSNR, так і PSNR-HVS-M. Це покращення не є великим (в найкращому разі близько 0,5 дБ). Також спостерігається тенденція до збільшення оптимального значення β при збільшенні Q .

Аналогічні тенденції спостерігаються і для тестового зображення Peppers (табл. 2), хоча й позитивний ефект від пост-фільтрації дещо менше. Втім, для зображень із складною структурою (дивись дані для тестового зображення Baboon в табл. 3) позитивний ефект від фільтрації не спостерігається зовсім (оптимальне значення $\beta=1$ фактично свідчить про те, що пост-фільтрація «нічого не робить»).

Відзначимо, що дещо аналогічні тенденції спостерігались для випадків фільтрації зображень, що спотворені АБГШ, фільтрами на основі ДКП, а також іншими сучасними методами [16]. Тож, з одного боку можна констатувати, що пост-фільтрація здатна забезпечити покращення якості зображень після декомпресії. Втім, це має місце не завжди і тому в подальшому нами планується розробити методи прогнозування ефективності пост-фільтрації та прийняття рішення щодо доцільності її використання.

Таблиця 1

Дані для зображення Barbara

Q	MSE	β	PSNR, дБ (до фільтрації)	PSNR, дБ (після фільтрації)	PSNR-HVS-M, дБ (до фільтрації)	PSNR-HVS-M, дБ (після фільтрації)
37	34,56	4,4	32,74	33,25	33,58	34,08
38	40,63	4,5	32,04	32,56	32,53	33,10
39	46,84	4,6	31,42	31,94	31,66	32,19
40	55,30	4,7	30,70	31,21	30,67	31,24
41	64,84	4,5	30,01	30,51	29,58	30,13
42	74,23	5,1	29,42	29,92	28,84	29,39
43	87,15	5,9	28,72	29,17	27,79	28,37
44	100,22	4,9	28,12	28,50	26,96	27,44
45	115,74	5,1	27,49	27,83	26,14	26,58
46	129,22	5,5	27,01	27,32	25,53	25,95
47	149,67	5,9	26,37	26,62	24,66	25,05
48	169,94	5,6	25,82	26,08	23,86	24,24
49	188,73	5,1	25,37	25,61	23,30	23,64
50	214,58	5,8	24,81	25,02	22,78	23,07

Таблиця 2

Дані для зображення Peppers

Q	MSE	β	PSNR, дБ (до фільтрації)	PSNR, дБ (після фільтрації)	PSNR-HVS-M, дБ (до фільтрації)	PSNR-HVS-M, дБ (після фільтрації)
38	32,39	1,7	33,03	33,15	33,12	33,23
39	35,41	1,9	32,64	32,78	32,44	32,58
40	39,16	2,5	32,20	32,36	31,60	31,76
41	43,64	3,1	31,73	31,90	30,77	30,95
42	47,90	3,2	31,33	31,49	29,99	30,19
43	53,94	4,9	30,81	31,01	29,09	29,32
44	59,18	5,0	30,41	30,59	28,40	28,59
45	66,84	5,6	29,88	30,07	27,56	27,76
46	75,80	4,7	29,33	29,51	26,63	26,82
47	84	5,9	28,89	29,07	25,94	26,13
48	95,62	5,4	28,33	28,48	25,06	25,23
49	105,21	5,7	27,91	28,07	24,43	24,58
50	120,93	5,8	27,31	27,48	23,56	23,76

Дані для зображення Baboon

Q	MSE	β	PSNR, дБ (до фільтрації)	PSNR, дБ (після фільтрації)	PSNR-HVS-M, дБ (до фільтрації)	PSNR-HVS-M, дБ (після фільтрації)
32	30,47	1	33,29	33,10	39,53	39,05
33	37,61	1	32,38	32,18	38,16	37,67
34	45,95	1	31,51	31,33	36,81	36,36
35	56,62	1	30,60	30,44	35,37	34,94
36	67,94	1	29,81	29,66	34,09	33,69
37	81,72	1	29,01	28,87	32,81	32,44
38	98,10	1	28,21	28,10	31,61	31,28
39	115,27	1	27,51	27,38	30,41	30,09
40	135,58	1	26,81	26,69	29,22	28,99
41	162,8	1	26,01	25,90	27,95	27,70
42	190,93	1	25,32	25,21	26,81	26,58
43	222,02	1	24,67	24,57	25,70	25,50
44	258,06	1	24,01	23,92	24,57	24,39
45	295,31	1	23,43	23,34	23,51	23,37
46	336,21	1	22,86	22,80	22,57	22,45
47	379,64	1	22,34	22,29	21,62	21,53
48	429,2	1	21,80	21,76	20,68	20,60
49	475,5	1	21,36	21,33	19,84	19,78
50	529,56	1	20,89	20,87	18,98	18,94

Список використаних джерел

1. Szeliski, R. Computer Vision: Algorithms and Applications 2nd ed / R. Szeliski // Springer Science. – 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-34372-9
2. Hussain, A. J. Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms / A. J. Hussain, A. Al-Fayadh, N. Radi // Neurocomputing. – 2018. – vol. 300. – pp. 44-69. DOI: 10.1016/j.neucom.2018.02.094.
3. Blau, Y. & Michaeli, T. Rethinking lossy compression: The rate-distortion-perception tradeoff / Y. Blau, T. Michaeli // International Conference on Machine Learning. – PMLR. – 2019. – pp. 675–85. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.07821>
4. Bondžulić, B. Efficient prediction of the first just noticeable difference point for JPEG compressed images / B. Bondžulić, N. Stojanović, V. Petrović, B. Pavlović, Z. Miličević, // Acta Polytechnica Hungarica. – 2021. – vol. 18. – № 8. – pp. 201-220. DOI: 10.12700/APH.18.8.2021.8.11.
5. Abramov, S. K. Analysis of statistical and spatial spectral characteristics of distortions in lossy image compression / S. K. Abramov, V. V. Abramova, V. V. Lukin, K. D. Abramov, E. V. Bataeva // Proceedings of IEEE UkrMW-2022. – November 2022, Kharkov, Ukraine, 2022. – pp. 644-649. DOI: 10.1109/UkrMW58013.2022.10036949.
6. Kovalenko, B. Analysis of distortions due to BPG-based lossy compression of noise-free and noisy images / B. Kovalenko, V. Lukin // Herald of Khmelnytskyi National University, Technical sciences. – 2023. – vol. 325. – no. 5. – pp. 128-135. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-325-5-128-135
7. Wang, L. Image Deblocking Scheme for JPEG Compressed Images Using an Adaptive-Weighted Bilateral Filter. / L. Wang, C. Wang, W. Huang, X. Zhou // Journal of Information Processing Systems. – 2016. – vol. 12. – pp. 631-643. DOI: 10.3745/JIPS.02.0046.

8. Rebrov, V. Post-processing of compressed noisy images using BM3D filter. / V. Rebrov, V. Lukin // *Radioelectronic and computer systems*. – 2023. – vol. 108. – no. 4. – pp. 100-111. DOI: 10.32620/reks.2023.4.09
9. Zemliachenko, A. Lossy Compression of Noisy Remote Sensing Images with Prediction of Optimal Operation Point Existence and Parameters. / A. Zemliachenko, S. Abramov, V. Lukin, B. Vozel, K Chehdi // *SPIE Journal on Advances in Remote Sensing*. – 2015. – vol. 9. – no. 1. – p. 26. DOI: 10.1117/1.JRS.9.095066
10. Ponomarenko, N. Analysis of HVS-Metrics' Properties Using Color Image Database TID2013 / N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*. – 2015. – vol. 9386. – pp. 613-624. DOI: 10.1007/978-3-319-25903-1_53
11. Dabov, K. Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering / K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 2007. – vol. 16. – no. 8. – pp. 2080–2095. DOI:10.1109/TIP.2007.901238
12. Colom, M. Nonparametric noise estimation method for raw images / M. Colom, A. Buades, J. Morel // *Journal of the Optical Society of America*. – 2014. – vol. 31. – no. 4. – pp. 863–871. DOI: 10.1364/JOSAA.31.000863.
13. Lukin, V. Segmentation-based method for blind evaluation of noise variance in images / V. Lukin, S. Abramov, B. Vozel, K. Chehdi, J. Astola // *SPIE Journal on Applied Remote Sensing*. – 2008. – vol. 2. – 15 p. DOI: 10.1117/1.2977788
14. Bellard, F. (2024), BPG image format, available at: <http://bellard.org/bpg/>
15. Egiazarian, K. Analysis of the effectiveness of image compression methods in accordance with various quality criteria / K. Egiazarian, N. Ponomarenko, V. Lukin, A. Zelensky // *Radioelectronics and computer science*. – 2007. – pp. 85-90.
16. Rubel, O. Is Texture Denoising Efficiency Predictable / O. Rubel, S. Abramov, V. Lukin, K. Egiazarian, B. Vozel, A. Pogrebnyak // *International Journal on Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. – 2018. – vol. 32. – p. 32. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0218001418600054>

ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ПОШУКУ РОБОТИ

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

У сучасному світі веб-застосунки для пошуку роботи відіграють важливу роль у процесі працевлаштування. Вони допомагають кандидатам знайти підходящі вакансії, а роботодавцям – знайти кваліфікованих фахівців. Проте, існує низка проблем, пов'язаних з ефективністю таких систем, відсутність персоналізації, недостатність інформації про вакансії та кандидатів. Багато систем мають складний інтерфейс, неефективні алгоритми пошуку. Це створює потребу в розробці нових рішень, які б могли забезпечити більш ефективний та зручний процес пошуку роботи. Актуальність теми полягає в необхідності створення веб-застосунку, який би враховував сучасні вимоги до пошуку роботи та підбору персоналу.

Виходячи з аналізу предметної області, основне завдання полягає в розробці веб-застосунку для пошуку роботи, який поєднує в собі переваги існуючих. Завдання проекту спрямоване на створення платформи, що дозволить не тільки шукачам роботи ефективно знаходити вакансії, але й роботодавцям знаходити відповідних працівників за допомогою бази резюме. Платформа також повинна підтримувати функції додавання вакансій та резюме, реєстрації користувачів, а також пошуку з фільтрацією.

Метою даної роботи є надання користувачам інформації, необхідної для пошуку роботи та працевлаштування, а також полегшення процесу підбору персоналу для роботодавців. Ключовими вимогами до системи є ефективний пошук, зручний інтерфейс та високий рівень безпеки даних.

Була розроблена архітектура веб-застосунку на основі моделі клієнт-сервер, що дозволило розділити функціональність системи на клієнтську та серверну частини. Клієнтська частина реалізована за допомогою HTML, CSS та JavaScript [1, 2], а серверна частина – на мові програмування PHP. Була використана реляційна база даних MySQL, яка забезпечує високу продуктивність, надійність та масштабованість системи. Для тестування веб-застосунку використовувався фреймворк PHPUnit. Тестування підтвердило коректність роботи ключових компонентів системи.

Веб-застосунок підтримує режими як шукача роботи так і роботодавця. У режимі шукача роботи користувачі можуть реєструватися, створювати та редагувати резюме, шукати вакансії та надсилати відгуки на них. В режимі роботодавця користувачі можуть створювати вакансії, керувати ними, шукати кандидатів та переглядати відгуки.

Основним результатом проекту є розроблений веб-застосунок для пошуку роботи, який забезпечує зручний та ефективний інструмент для взаємодії між шукачами роботи та роботодавцями. Цей застосунок покращує процес працевлаштування, підвищує ефективність використання сучасних технологій у цій сфері та відповідає вимогам сучасного ринку праці.

Список використаних джерел

1. Бородкіна, І. Web-технології та Web-дизайн : застосування мови HTML для створення електронних ресурсів / І. Бородкіна. – Київ: Ліра-К, 2020. – 212 с.
2. Фрімен, Е. Head First. Програмування на JavaScript / Е. Фрімен, Е. Робсон. – Харків: Фабула, 2022. – 672 с.
3. Nixon, R. Learning PHP, MySQL & JavaScript: A Step-by-Step Guide to Creating Dynamic Websites 7th Edition / R. Nixon. – O'Reilly Media, 2024. – 650 с.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОТЕНЦІАЛІВ РУХОМИХ ОДИНИЦЬ У МІОГРАФІЇ

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

Штучний інтелект (ШІ) у медицині відіграє дедалі важливішу роль, пропонуючи інноваційні рішення для діагностики, лікування та управління пацієнтами [1]. Застосування ШІ охоплює широкий спектр завдань, таких як обробка медичних зображень, прогнозування захворювань, персоналізована медицина та автоматизація рутинних медичних процесів [2]. Висока продуктивність та точність алгоритмів машинного навчання дозволяє ефективно аналізувати великі обсяги медичних даних, забезпечуючи точність діагностичних висновків та скорочення часу на прийняття клінічних рішень.

Потенціали рухомих одиниць, вимірювані за допомогою міографії, є важливими показниками для діагностики та моніторингу стану м'язової та нервової системи. Отримані показники дозволяють оцінити функціональний стан м'язів і нервів, виявляти патології та прогнозувати результати лікування. Однак, аналіз нейроміографічних даних є складним і часозатратним процесом, що вимагає високої точності та знань, тому й використання технології ШІ для аналізу потенціалів рухомих одиниць може значно покращити цей процес, забезпечуючи автоматизацію, підвищення точності діагностики та швидкість обробки даних.

Метою доповіді є дослідження використання штучного інтелекту для аналізу потенціалів рухомих одиниць у нейроміографії та порівняння різних варіантів використання ШІ. Розглянуті можливості автоматизації розміщення міток на графіках потенціалів, пошук схожих патологічних зразків за зображенням або числовими даними, що дозволяє забезпечити точність та ефективність аналізу. Нейронні мережі використовуються для навчання розпізнавання різних типів патологій, аналізуючи потенціали рухомих одиниць. Використання такого підходу допомагає лікарям швидше та точніше встановлювати діагнози. ШІ також може використовуватися для різних завдань, таких як автоматична розстановка міток, пошук схожих потенціалів за зображенням або за числовими даними, що забезпечує комплексний підхід до аналізу. Високопродуктивні алгоритми машинного навчання здатні аналізувати великі обсяги даних, забезпечуючи оперативне отримання інформації та ухвалення рішень. Дослідження порівнює різні варіанти використання ШІ для пошуку потенціалів: використання алгоритмів машинного навчання для класифікації потенціалів рухомих одиниць на основі попередньо маркованих даних; використання нейронних мереж для аналізу міографічних сигналів і виявлення характерних патернів; використання глибоких нейронних мереж для аналізу готових потенціалів рухомих одиниць у вигляді зображень; використання алгоритмів ШІ для аналізу даних, зібраних протягом тривалого часу, для створення бази готових потенціалів, розподілених по певним критеріям та групам.

Список використаних джерел

1. Meskó, B. Will artificial intelligence solve the human resource crisis in healthcare / B. Meskó, G. Hetényi, Z. Györfly // BMC Health Serv Res. – 2018. – vol. 18. – p. 545. DOI: 10.1186/s12913-018-3359-4.
2. Jiang, F. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future / F. Jiang, Y. Jiang, H. Zhi, Y. Dong, H. Li, S. Ma, Y. Wang, Q. Dong, H. Shen, Y. Wang, // Stroke Vasc Neurol. – 2017. – vol. 2. – iss. 4. – pp. 230-243. DOI: 10.1136/svn-2017-000101.

4. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВИРОБНИЦТВІ

УДК 004.272.34

Лещенко Ю. О., к.т.н., доцентка
j.leshhenko@khai.edu

Рибка К. О., к.т.н., доцентка
kafius@ukr.net

Федорович В. А., аспірант
kafius@ukr.net

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ДІЙ ДО ВІДНОВЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

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

Сучасне високотехнологічне виробництво знаходиться в мінливих умовах політико-економічного середовища. Забезпечення функціонування конкурентоспроможного виробництва потребує формування стратегій для відновлення виробництва. При цьому необхідно враховувати ризики впливу факторів зовнішнього та внутрішнього характеру. Тому, актуальна тема доповіді, в якій представлені результати дослідження логістичних дій, які спрямовані на відновлення високотехнологічного виробництва.

Метою доповіді є розробка комплексу моделей та прикладної інформаційної технології, які забезпечать планування проектів щодо відновлення виробництва високотехнологічної продукції. Проаналізовані можливі стратегії, які спрямовані на відновлення виробництва та забезпеченню його конкурентоспроможності. До стратегій відносяться: модернізація виробництва; диверсифікація; реструктуризація виробництва; створення віртуального виробництва; цифрова трансформація виробництва. Множену стратегій можна збільшувати, враховуючи особливості конкурентоспроможного високотехнологічного виробництва, а також видів продукції, які мають попит на ринку споживачів. Наведені основні показники відновлення технологічного виробництва: витрати на модернізацію (W), час, потрібний на модернізацію (T), ризики проекту відновлення виробництва (R). Виділена множина факторів впливу на стан високотехнологічного виробництва. Запропоновано метод для формування суттєвих факторів впливу заснований на віртуальних експериментах за участі експертів-фахівців з модернізації виробництва. Виділені компоненти високотехнологічного виробництва, які підлягають відновленню з-за їх фізичного та морального стану. Запропоновано метод, який використовує лінгвістичні оцінки експертів та лексикографічне впорядкування варіантів можливого відновлення виробництва. Створена оптимізаційна модель для мінімізації витрат на модернізацію виробництва, яка має обмеження за часом модернізації та ризиком проекту. Розроблена агентна модель для дослідження послідовності логістичних дій у відновленні високотехнологічного виробництва.

Наукова новизна дослідження пов'язана з розробкою оригінальних моделей для планування проектів щодо відновлення виробництва, в сучасних умовах воєнного стану країни.

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 // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2020. – № 2. – С. 102-108. <https://doi.org/10.32620/reks.2020.2>

УДК 004.8

Лещенко Ю. О., к. т. н, доцентка
j.leshhenko@khai.edu
Швецъ Ф. С., магістр
k302@khai.edu
Макаренко Т. С., магістр
k302@khai.edu

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЗАПАСІВ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

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

До виконання актуальних замовлень високотехнологічного виробництва для постачання в умовах воєнного стану країни має багато труднощів, які пов'язані з формуванням множини постачальників комплектуючих та довгими логістичними ланцюгами. В цих умовах, тема запропонованої доповіді, в якій наведені результати дослідження формування запасів комплектуючих для виробництва, є актуальною.

Метою дослідження є створення комплексу моделей та прикладної інформаційної технології для планування логістичних дій до формування запасів комплектуючих при виконанні актуальних замовлень країни.

Проведено аналіз проблем пов'язаних з постачальниками комплектуючих високотехнологічного виробництва в умовах воєнного стану країни: проблема відсутності (повної або часткової) виробництва комплектуючих в країні; проблема формування необхідної кількості постачальників комплектуючих, з урахуванням можливостей самого виробництва; проблема формування логістичних ланцюгів постачання в різноманітному транспортному середовищі; проблема формування необхідного рівня запасів комплектуючих до планового виробництва; проблема формування запасів комплектуючих в умовах військових загроз; проблема виконання замовлень та дотримання термінів в умовах військових загроз.

Проведено оптимізацію складу постачальників з урахуванням їх можливостей за кількістю та номенклатурою, через постачання комплектуючих. Створено імітаційну модель для формування і дослідження можливих маршрутів за довгими ланцюгами постачання. Приділено увагу оцінці впливу військових загроз на шляхи постачання та місця тимчасового розташування комплектуючих. Представлено алгоритм пошуку маршрутів постачання комплектуючих з мінімальними ризиками, що пов'язані з можливими військовими загрозами.

Під час роботи були використані такі математичні методи та моделі: системний аналіз логістичних дій по формуванню запасів комплектуючих; оптимізаційна модель для формування множини постачальників; імітаційна модель для дослідження маршрутів постачання; агентне моделювання логістичних дій до формулювання запасів комплектуючих.

Агентне моделювання логістичних дій для формування запасів комплектуючих в умовах військових загроз було проведено з використанням програмної платформи для імітаційного моделювання AnyLogic.

Список використаних джерел

1. Fedorovich, O. Modeling the impact of threats and vulnerabilities in transport logistics of a developing enterprise / O. Fedorovich, Yu. Pronchakov, Yu. Leshchenko, A. Yelizieva // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2021. – № 3. – С. – 29–36. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.3.03>.

Прончаков Ю. Л., к.т.н., доцент
pronchakov@gmail.com
Неронов С. М., старш. викл.
sernikner@gmail.com
Рибка А. В., аспірант
kafius@ukr.net

**МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ ЛОГІСТИКИ
ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ НА ПЕРЕДОВУ ТА ТИЛ**
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Воєнний стан країни різко змінив логістику постачання вантажів. Є два основних напрямки логістики постачання: постачання військової техніки та зброї на передову, постачання вантажів до тилу. Тому, актуальна тема доповіді, в якій представлені результати моделювання логістики транспортних постачань у період воєнного стану країни. Метою дослідження є створення комплексу моделей та прикладної інформаційної технології для планування логістики постачання вантажів у період воєнного стану країни. Логістика постачання вантажів на передову має свої особливості, які розглядаються у роботі. Проведено моделювання шляхів постачання військової техніки та зброї в умовах воєнних загроз. Досліджуються можливі маршрути, які забезпечують відносну безпечність постачання, моделюються тимчасові зупинки та складування вантажів таким чином, щоб забезпечити мінімізацію ризиків дій військових загроз. Розроблена оптимізаційна модель для вибору раціональних маршрутів постачання в умовах підвищених військових загроз. Основним фактором в оптимізації виступає ризик формування шляху постачання в умовах обмеженого часу постачання. Для оптимізації запропоновано метод цілочисельного (булевого) програмування, в якому в якості цільової функції використовується ризик виникнення військових загроз. Створена оптимізаційна модель, в якій, при формуванні шляху постачання військової техніки, накопичується ризик при проходженні вантажів скрізь основні компоненти різномірної транспортної мережі.

Транспортування вантажів до тилу пов'язане з евакуацією та релокацією підприємств з прифронтової зони до тилу. У цьому випадку, в якості основного показника релокації, використовується час транспортування технологічного обладнання в можливе місце розташування, яке відносно безпечне для виробництва складної техніки (у першу чергу, військової техніки та озброєння). В якості обмежень використовуються допустимі ризики транспортування та вартість перевезення. Створена імітаційна модель для пошуку раціонального маршруту постачання за допомогою агентної платформи Any Logic. Проведене моделювання транспортних перевезень у різномірній транспортній мережі на передову та у тил. Запропонований підхід доцільно використовувати для планування логістики перевезень військових вантажів на передову, а також планування перевезень при релокації високотехнологічних виробництв до тилу.

Список використаних джерел

1. Федорович, О. Є. Моделювання транспортної логістики військових вантажів з урахуванням збитків, які виникають у зоні бойових дій через запізнення у постачанні / 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. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.05>.

Федорович О. Є., д.т.н., професор
oe.fedorovich@gmail.com

Губка С. О., к.т.н., доцент
gubka1502@gmail.com

Поліщук Є. В., к.т.н., аспірант
kafius@ukr.net

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ДІЯМИ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ВПЛИВУ ЗАГРОЗ НА КРИТИЧНУ ТЕХНОГЕННУ СИСТЕМУ

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

Критичні техногенні системи (атомна електростанція, енергетичні об'єкти, тощо) знаходяться в умовах факторів впливу терористичних та військових загроз. Це призводить до прискорення їх деградації, що сприяє виникненню надзвичайних ситуацій та забрудненню навколишнього середовища. Тому, актуальна тема запропонованої доповіді, в якій розглядаються результати дослідження щодо планування превентивних логістичних дій для зниження факторів впливу на критичні техногенні системи. Метою доповіді є створення комплексу моделей та інформаційної технології для планування проектів із забезпечення стійкості критичних об'єктів та процесів на вплив терористичних та військових загроз. В якості основного показника, для оцінки ефективності проведених превентивних дій, використовується ризик загроз терористичного та військового характеру. Створена оптимізаційна модель, в якій проведена мінімізація ризиків (R), впливу загроз в умовах обмежень часу та вартості проведених дій. Розроблена оптимізаційна модель за допомогою цілочисельного (булевого) програмування із змінними x_{ij} , де i – відноситься до основних компонент критичної системи, а j – до можливих заходів щодо мінімізації загроз при функціонуванні критичної системи. Створено логістичний ланцюг у вигляді послідовності дій щодо запобігання впливу можливих загроз на функціонування критичної техногенної системи: множина загроз – виявлення вразливих компонент критичної системи – формування множини превентивних дій – оптимізація проведення заходів до мінімізації, або нейтралізації загроз. За допомогою інтерактивної імітаційної моделі (платформа Any Logic) проводиться дослідження логістичного ланцюга превентивних дій за різними сценаріями управління.

Наукова новизна дослідження пов'язана з розробкою комплексу моделей для планування превентивних дій щодо впливу загроз військового та терористичного характеру на критичну техногенну систему.

Використані математичні методи та моделі: системний аналіз, лексикографічне впорядкування, теорія експерименту, цілочисельна (булева) оптимізація, агентне імітаційне моделювання.

Список використаних джерел

1. Fedorovich, O. Modeling the impact of threats and vulnerabilities in transport logistics of a developing enterprise / O. Fedorovich, Yu. Pronchakov, Yu. Leshchenko, A. Yelizieva // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2021. – № 3. – С. 29-36. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.3.03>.

Федорович О. Є., д.т.н., професор
oe.fedorovich@gmail.com
Сломчинський О. В., к.т.н., ст.
викладач
ovs1228@gmail.com
Соловйов В. С., аспірант
kafius@ukr.net

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОШУКУ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПОСТАЧАННЯ В РІЗНОРІДНІЙ ТРАНСПОРТНІЙ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ КРАЇНИ

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

Складна структура різномірної транспортної мережі (автомобільна, залізнична, морська, тощо) ускладнює формування шляхів постачання вантажів для високотехнологічних підприємств в умовах воєнного стану країни. Основні компоненти різномірної транспортної мережі (місця перевалок, розподільчі центри, склади різного рівня, тощо) впливають на час постачання та вартість перевезень. В умовах воєнного стану країни, можливе виникнення військових загроз, що ускладнює формування відносно безпечних шляхів постачання. Тому, актуальна тема доповіді, в якій наведені результати дослідження шляхів постачання комплектуючих високотехнологічних виробництв в умовах військових загроз. Метою дослідження є розробка комплексу моделей та прикладної інформаційної технології для пошуку раціональних маршрутів постачання високотехнологічних виробів в умовах військових загроз. Сформовані основні показники для оцінки можливих шляхів постачання. Розроблена оптимізаційна модель для пошуку відносно безпечного маршруту постачання в різномірній транспортній мережі в умовах виникнення військових загроз. Для вибору оптимального маршруту з мінімальним ризиком, проведено дослідження та аналіз можливих маршрутів, шляхом їх порівняння за основними показниками. Створено алгоритм пошуку раціонального маршруту постачання за допомогою інтерактивного імітаційного моделювання перевезень в різномірній транспортній мережі. Особливістю алгоритму є використання клонів (копій) заявок для їх переміщення та руху в різномірній транспортній мережі. При цьому формується найбільш перспективні маршрути, з точки зору основного показника оптимізації (ризик військових загроз). Значення основного показника накопичується при русі заявок (клонів) шляхом імітації транспортування вантажів в різномірній транспортній мережі. Результати моделювання дозволяють сформулювати множину перспективних маршрутів постачання комплектуючих високотехнологічних виробництв в умовах дій військових загроз.

Наукова новизна дослідження пов'язана зі створенням комплексу математичних та імітаційних моделей для планування маршрутів перевезень комплектуючих високотехнологічних виробництв в умовах воєнного стану країни.

Використані математичні методи та моделі: системний аналіз, оптимізація маршрутів, експертне оцінювання, теорія ризиків, імітаційне агентне моделювання.

Список використаних джерел

1. Fedorovich, O. Modeling of supply logistics and training of military personnel for the successful use of weapons in a combat area / O. Fedorovich, I. Shepikov, M. Lukhanin, Y. Pronchakov, K. Rybka, Y. Leshchenko // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2022. – № 3. – С. 33-46. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.3>

ЕКСПРЕС-ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЯК ЛОГІСТИЧНА СКЛАДОВА В ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Філія класичного приватного університету у місті Кременчук, Україна

Експрес-перевезення – це діяльність, пов'язана з наданням послуг і роботами, що забезпечують вивіз, транспортування і доставку за схемою «від дверей до дверей» документів і вантажів в строго обмежені за часом терміни [4]. Тобто під експрес-доставкою ми розуміємо доставку протягом 1-4 днів вантажів документарного і не документарного характеру, вага яких не перевищує 31,5 кг, а габарити обмежені 150 см для більшої довжини ($L < 150$) і 300 см для суми більшої довжини, двох висот і двох широт відправлення ($L + 2H + 2l < 300$)».

Обмеження за вагою було запозичене у міжнародних поштових операторів, сенс якого полягає в тому, що цю вагу кур'єри/працівники сортувальних центрів можуть переносити/кантувати вручну.

Обмеження за габаритами пов'язані з тим, що основний обсяг кур'єрських вантажів перевозиться авіатранспортом, у якого розміри завантажувальних люків також лімітовані. Деякі експрес-перевізники розширюють ваговий діапазон одного місця, використовуючи такий підхід як свою конкурентну перевагу.

Термінологічний аналіз понять «експрес-доставка», «поштова доставка», «кур'єрська доставка», «адресна доставка» наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Термінологічний аналіз понять, що стосуються термінової доставки

Визначення	Джерело
Поштова доставка – це поштові відправлення - листи, поштові картки, бандеролі, секограми, дрібні пакети, міжнародні відправлення з оголошеною цінністю, посылки, прямі поштові контейнери, оформлені відповідно до законодавства України.	Закон України «Про поштовий зв'язок»
Кур'єрська доставка - це доставка відправлень кур'єром за технологією: «Двері-Двері» - кур'єр здійснює забір відправлень з дому/офісу та доставку відправлення додому/та або в офіс; «Двері-Склад» - кур'єр забирає відправлення з дому/офісу, проте видача відбувається в Дільниці кур'єрської доставки та/або об'єкті поштового зв'язку; «Склад-Двері» – приймання відправлень в Дільниці кур'єрської доставки та/або в об'єкті поштового зв'язку, а доставка - кур'єром додому та/або в офіс.	http://www.ukrpost.com/www/upost.nsf/(documents)
Кур'єрська доставка» (від дверей до дверей) - це доставка логістичною компанією вантажу вагою 1-500 кг безпосередньо від вантажовідправника до вантажоодержувача, при якій головним критерієм для клієнта є максимально стислі терміни.	ТОВ «Асстра Логістик»
«Експрес-доставка» - це пріоритетна доставка посилок і вантажів, а також дистрибуція товарів протягом одного робочого дня.	http://b2blogger.com/pressroom/2009/8/36164.pdf
Міжнародні експрес-відправлення - належним чином упаковані міжнародні відправлення з документами чи товарним вкладенням, які приймаються, обробляються, перевозяться експрес-перевізником будь-яким видом транспорту.	«Митний кодекс України»

Основними ознаками експрес-доставки є:

Швидкість. Більшість компаній з експрес-доставки пропонує своїм клієнтам обслуговування протягом ночі чи наступного дня;

Відстеження та контроль. Наявність точної інформації щодо статусу відправок в транзиті дозволило виробничим фірмам використовувати такі сучасні бізнес-техніки як «точно в строк» (JIT) та управління ланцюгами поставок, а також скоротити час виходу на ринок, витрати на утримання запасів та економію складських площ;

Система дистрибуції «Hub & Spoke». За цієї схемою вибір вузлового аеропорту є життєво необхідним, так як він грає центральну роль в операціях компаній інтегрованих експрес перевезень. Вузлові аеропорти використовують для обробки менших вантажопотоків, які не можуть бути відправлені напряму з економічної точки зору;

Графік. Компанії інтегрованих експрес перевезень використовують фіксований графік. Жорсткий графік та стандартизоване обслуговування роблять послуги інтегрованих експрес-перевезень дещо негнучкими, бо графік обслуговування важко налаштувати під індивідуальні потреби;

Високі стандарти безпеки і збереження ЕВ;

Фінансові гарантії – повернення до 100% вартості перевезення при порушенні заявлених строків та гарантовані строки доставки.

Для кращого розуміння специфіки експрес-перевезень та складності процесів їх організації і виконання нами узагальнено їх класифікацію, яка представлена на рис.1.

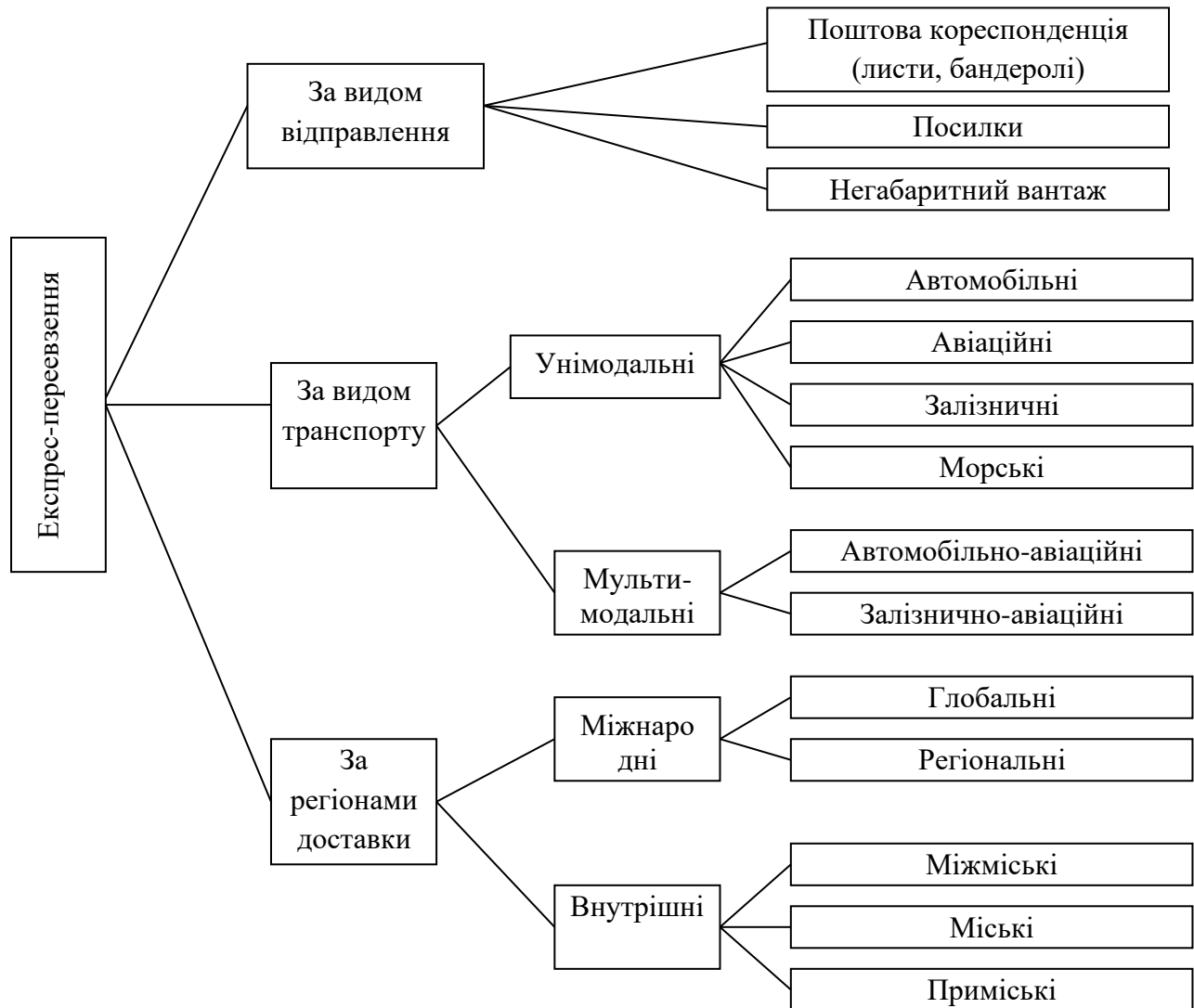


Рис. 1. Класифікація експрес-перевезень вантажів і пошти

Дослідження тенденцій розвитку експрес-перевезень дозволило виявити такі закономірності:

1) змінюється структура експрес-відправлень шляхом збільшення питомої ваги посилок та дрібних вантажів, що обумовлено зростанням каталожної та електронної торгівлі товарами широкого вжитку;

2) найбільшим попитом користуються змішані автомобільно-авіаційні перевезення, що обумовлено зростанням попиту на доставку «від дверей до дверей»;

3) експрес-перевезення здійснюються у глобальному масштабі, тобто в основному це міжнародні перевезення вантажів і пошти у поєднанні з кур'єрською або поштовою доставкою в пунктах споживання товарів.

Організація експрес-доставки певного виду вантажів із декількох пунктів відправлення в декілька пунктів призначення припускає вирішення широкого кола оптимізаційних завдань: дослідження географії перевезень, вибір маршрутів доставки, виду транспорту та способу виконання процедур з оформлення договірних зобов'язань між сторонами тощо.

Як правило, організаторами таких перевезень виступають експедитори. Провідна міжнародна компанія DPD (Dynamic Parcel Distribution) запропонувала на ринку України нову послугу – експрес-експедирування вантажів, гарантуючи при цьому доставку документів, посилок і збірних вантажів за стандартами експрес-доставки.

Отже використання експедиторських компаній як посередників між підприємствами транспортної галузі та вантажовласниками забезпечує останнім ряд переваг, які полягають, перш за все, у звільненні їх від турбот і проблем з організації доставки товарів та скорочення транспортних витрат.

У зв'язку з цим виробничі і торговельні підприємства воліють укладати з транспортно-експедиторськими компаніями відповідні договори на надання комплексу транспортно-експедиторських послуг, передоручаючи їм виконання необхідних операцій, пов'язаних з транспортним обслуговуванням товаропотоків.

Список використаних джерел

1. Гюлев, Н. У. Логістичний менеджмент : консп. лекц. / Н. У. Гюлев. – Харків: Нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, 2016. – 52 с.
2. Кононенко, А. В. Логістика: навч. посіб. / А. В. Кононенко, Ю. О. Романенков, В. П. Гатило. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 56 с.
3. Офіційний сайт Логістичної компанії Делівері. URL: <https://www.delivery-auto.com>
4. Савчук, Т. Інтернет-торгівля та нюанси оподаткування, пов'язані з нею. Юрист і закон. 2020. № 07. URL: <https://idlegallgroup.com/ua/novosti/internet-torgovlya-i-nuansinalogooblojeniya--svyazannie-s-nei---tatyana-savchuk--ayditor-IDLegal-Group--lya-jrnala-urist-izakon>.

ЛОГІСТИЧНА ПІДТРИМКА В ПІДВИЩЕННІ КОНКУРЕНТОСТРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ

Філія класичного приватного університету у місті Кременчук, Україна

Оцінка конкурентоспроможності підприємства полягає в тому, що воно є відкритою реактивною системою, яка здійснює активний обмін інформацією із зовнішнім середовищем: генерує і поставляє власну інформацію як у внутрішнє, так і зовнішнє середовище, а також сприймає та реагує на зовнішню інформацію [3]. Інакше кажучи, в моделі підприємства як відкритої системи функціонують два типи інформаційних потоків – внутрішній і зовнішній, які у сукупності визначають міру її організованості.

Багаторівневий характер конкурентної взаємодії господарських суб'єктів зумовлює широкий діапазон підходів до оцінки їх конкурентоспроможності особливо з точки зору логістичного управління. У сукупності вони охоплюють як вертикальний, так і горизонтальний об'єктний ряд – від оцінки конкурентоспроможності товарів, підприємства, регіону, галузі та економіки країни до оцінки конкурентоспроможності окремих товарів підприємств та видів діяльності.

Конкурентна перевага будь-якого підприємства (галузі, регіону, країни тощо) є визначальним чинником його конкурентоспроможності. Це ексклюзивна цінність, якою володіє об'єкт і яка дає йому перевагу над суперниками (конкурентами). Існують різні види конкурентних переваг.

Конкурентоспроможність підприємства залежить від конкурентоспроможності окремих його товарів, а також від конкурентоспроможності галузі, регіону, країни, у яких воно діє. Головні логістичні фактори, що впливають на конкурентоспроможність продукції підприємства представлені на рис. 1.



Рис. 1. Головні логістичні фактори впливу на конкурентоспроможність підприємств

Взагалі, в дослідженні підприємства логістично-спрямованого слід поєднувати методи SWOT-аналізу, трендового та кореляційного аналізу. Як результат, важливість саме методів прогнозування у виборі найефективнішої стратегії розвитку для логістично-спрямованого підприємства.

Взагалі ідея SWOT-аналізу полягає в наступному:

- прийняття зусиль для перетворення слабкостей у силу, а погроз – у можливості.
- розвиток сильних сторін підприємства-виробника цукрової галузі відповідно до його обмежених можливостей.

SWOT-аналіз можна розбити на ряд етапів.

На першому етапі SWOT-аналізу глибоко вивчаються конкурентні переваги підприємства в таких сферах:

- патентоспроможність продукції, що випускається;
- ціна продукції;
- прогресивність продукції;
- кваліфікація кадрів;
- вартість ресурсів, які використовує підприємство;
- вік основних виробничих підприємств;
- інфраструктура;
- система менеджменту (у т.ч. маркетингу);
- сили конкуренції на «вході» й «виході» системи менеджменту підприємства-виробника та ін.

На другому етапі SWOT-аналізу вивчається слабкість підприємства. Він починається з аналізу конкурентоспроможності продукції, що випускається, по всіх ринках. Збирається або прогнозується слабкість за вивченими на першому етапі конкурентними перевагами підприємства.

На третьому етапі вивчаються фактори макросередовища підприємства-виробника (політичні, економічні, технологічні, ринкові та ін.) з метою прогнозування стратегічних і тактичних загроз підприємства й своєчасному запобіганню збитків від них.

На четвертому етапі вивчаються стратегічні і тактичні можливості підприємства-виробника (капітал, активи й т.п.), необхідні для запобігання загроз, зменшення слабкостей й росту сили.

На остаточному п'ятому етапі SWOT-аналізу погоджуються сила з можливостями для формування проекту окремих розділів стратегії підприємства-виробника.

Підприємства повинні прагнути посилити конкурентні позиції. Особливо це стосується підприємств переробної галузі агропромислового комплексу як цукрові заводи. Таким підприємствам доцільно концентрувати увагу на зниженні рівня затрат і підвищенні конкурентоспроможності продукції. Затрати, як відомо, мають безпосередній вплив на доходи підприємства. Проте затрати є різні. Найбільш загальний поділ затрат – виробничі, адміністративні та збутові. Також варто дослідити рівень впливу вказаних витрат на доход.

Проведений аналіз існуючих методичних підходів щодо визначення конкурентоспроможності підприємств дозволяє зробити висновок про те, що більшість з них заснована на порівнянні досліджуваного підприємства з відповідною базою (лідером).

Конкурентоспроможність може бути визначена тільки зіставленням декількох аналогічних об'єктів і тому являє собою відносний показник.

Рівень конкурентоспроможності слід визначати в умовах конкретного ринку або його сектора (сегмента).

Економічний прогноз дасть можливість підготуватися до змін, які матимуть значення для будь-якої сфери життя суспільства і одночасно розробити декілька варіантів поведінки економічної системи.

Отже, застосування методів прогнозування при формуванні стратегічних альтернатив дасть змогу при розгляді різних моделей економічного розвитку відібрати з них ті елементи, які відповідатимуть конкретній ситуації.

При прогнозуванні та розробці нових стратегій доцільно використовувати кореляційно-регресійний аналіз, який дає змогу не лише визначити вплив тих чи інших факторів на результативний показник, але й спрогнозувати подальшу діяльність підприємства цукрової галузі і розробити прогнозний баланс.

Список використаних джерел

1. Гюлев, Н. У. Логістичний менеджмент : консп. лекц. / Н. У. Гюлев. – Харків: Нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, 2016. – 52 с.
2. Кононенко, А. В. Логістика: навч. посіб. / А. В. Кононенко, Ю. О. Романенков, В. П. Гатило. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 56 с.
3. Кузьмін, О. Є. Конкурентоспроможність підприємства: планування та діагностика: монографія / О. Є. Кузьмін, О. Г. Мельник, О. П. Романко; за заг. ред. д.е.н., проф. Кузьміна О. Є. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – 180 с.

**СУБ'ЄКТНО-ОБ'ЄКТНА ВЗАЄМОДІЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РИНКУ
ТРАНСПОРТНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОСЛУГ**

Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук

Сучасний розвиток суспільно-виробничого середовища повинен забезпечувати оптимальний рівень функціонування народного господарства та формування активної життєдіяльності населення. Ключовою ланкою, здатною об'єднати та забезпечити прийнятний рівень суспільних та виробничих відносин, є ринок транспортних послуг. Транспортними послугами є сукупність послуг, пов'язаних з фізичним переміщенням у просторі пасажирів, багажу та вантажів [1].

Ефективність транспортних послуг полягає у отриманні якісного перевезення, а саме: вчасного, комфортного, безпечного переміщення з місця відправлення у місце призначення з мінімальними витратами.

Формування саме транспортних пасажирських послуг має особливе значення, порівняно з іншими транспортними послугами, оскільки полягає у трудовому (до місць праці та навчання), культурному (екскурсійні, туристичні перевезення) та побутовому (перевезення до торговельних точок, на відпочинок, за особистими потребами) переміщенні населення. Це, в свою чергу, має позитивний економічний ефект за рахунок:

забезпечення мобільності населення у переміщенні між місцями відправлення і призначення, що має важливість для повсякденного життя, соціальної взаємодії та розвитку людей;

забезпечення економічного зростання, оскільки пасажирські перевезення забезпечують доступ населення до своїх робочих місць, місць навчання, розвитку та отримання різноманітних послуг. Таким чином транспортні пасажирські послуги та відповідна інфраструктура забезпечує життєздатність та стимулює розвиток бізнесу та торгівлі;

забезпечення соціальної інтеграції населення у суспільне життя міста та регіону окремо та країни в цілому різних соціальних верств населення;

забезпечення покращення якості життя населення за рахунок можливості швидкого та зручного доступу до потрібних місць, наприклад, до місць роботи та навчання (підвищення інтелектуального рівня та фінансових можливостей), парків, театрів, туристичних об'єктів (підвищення культурного рівня) тощо.

Також варто зазначити, що функціонування транспортних пасажирських послуг здатне певною мірою покращити екологічний стан навколишнього середовища, оскільки масове використання пасажирського транспорту (особливо громадського) скорочують кількість застосування особистого транспорту.

Отже, чітка та визначена взаємодія у галузі транспортних пасажирських послуг забезпечується формуванням відповідного ринку. Ринок транспортних пасажирських послуг являє собою динамічне середовище, здатне швидко реагувати на запити споживачів у задоволенні зростаючих потреб у ефективних перевезеннях. Мороз О.В. та Корнієвська Т.М. визначають, що відмінною особливістю ринку транспортних пасажирських послуг від вантажних є те, що це споживчий ринок [2]. Тому головне місце тут посідає саме споживач, тобто пасажир, і задоволення його потреб. Ю.С. Бараш та Т.Ю. Чаркіна визначають ринок транспортних пасажирських послуг як умовне місце купівлі-продажу послуги на перевезення пасажирів, які відбуваються на теренах України та закордоном в умовах інтенсивної конкуренції з дотриманням етичних й правових норм і правил [3].

На формування ринку транспортних пасажирських послуг впливають наступні чинники:

демографічна та соціальна ситуація в регіоні та країні: кількість населення, у тому числі працюючого, трудова та культурна міграція населення між регіонами, воєнний стан в країні значною мірою впливає на попит транспортних послуг;

економічні умови: платоспроможність населення та інвестиційні можливості транспортних підприємств визначаються із загального економічного забезпечення країни;

інноваційні технології: їх застосування дозволяє покращити якість послуг, знизити витрати та, зрештою, покращити ефективність транспорту;

політичні та суспільні фактори: на розвиток ринку транспортних пасажирських послуг впливають політична стабільність країни, законодавче забезпечення та державна підтримка галузі.

В умовах невизначеності та нестійкості оточуючого бізнес-середовища ринок транспортних пасажирських послуг потребує чіткого та злагодженого логістичного забезпечення процесів, що полягає в координації управлінських функцій ринку, які виражаються у плануванні, організації, мотивації та контролі логістичних процесів. Таким чином системний підхід до управління логістичними процесами ринку транспортних логістичних послуг передбачає взаємодію у формуванні та забезпеченні суб'єктно-об'єктного взаємозв'язку даного процесу (Рис.1).

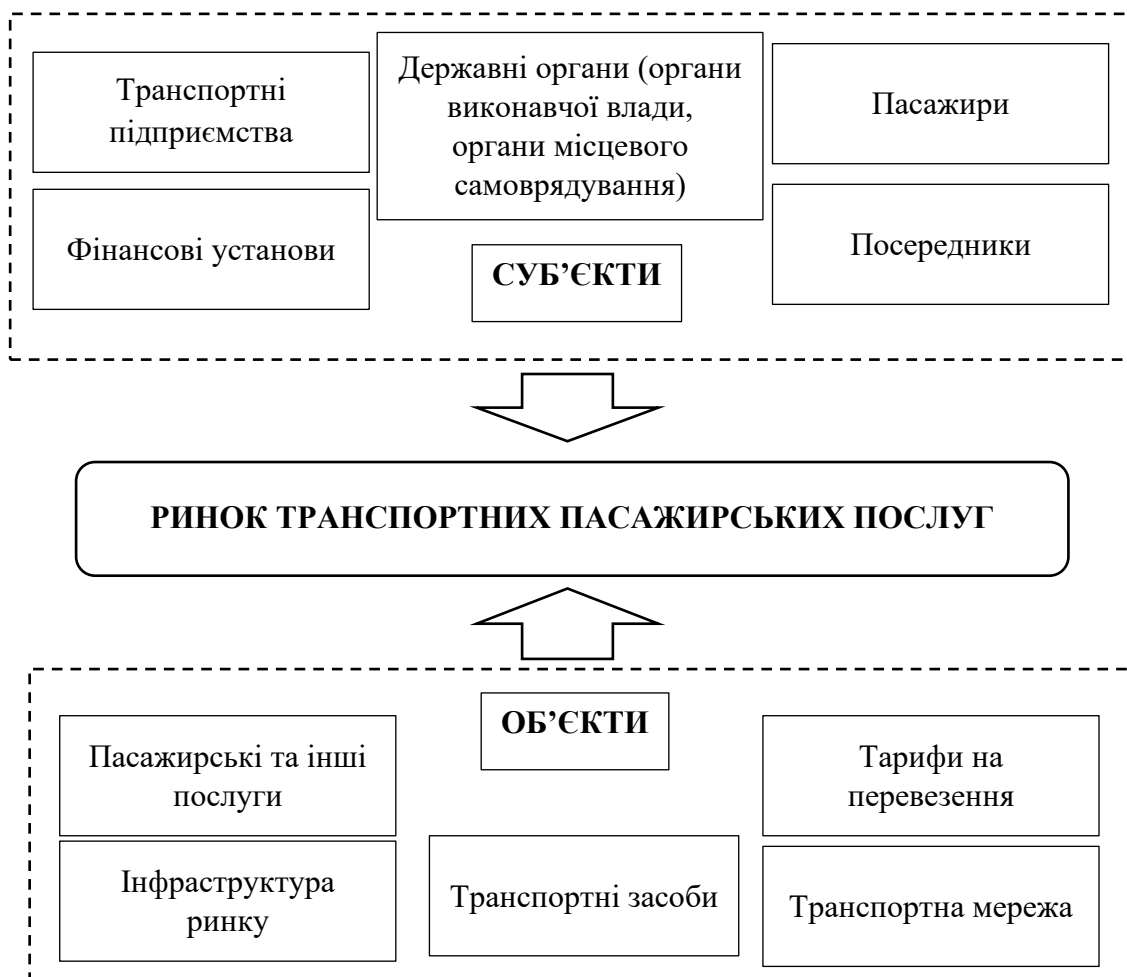


Рис. 1. Суб'єкти та об'єкти ринку транспортних пасажирських послуг

Отже, суб'єктами логістичного забезпечення ринку транспортних пасажирських послуг виступають фізичні та юридичні особи, їх підрозділи, державні та владні органи, посередники (наприклад, туристичні компанії), які здійснюють пасажирські перевезення або ж впливають на їх виконання, впровадження та розвиток.

Діяльність суб'єктів логістичного забезпечення ринку транспортних пасажирських послуг направлена та цілком залежить від відповідних процесів, ресурсів та результатів діяльності, що виступають об'єктами ринку транспортних пасажирських послуг. До об'єктів логістичного забезпечення ринку транспортних пасажирських послуг включають:

транспортні послуги (пов'язані з безпосереднім переміщенням людей), а також допоміжні пасажирські послуги (організація комфорту в поїздах, забезпечення інтернетом тощо);

інфраструктурні об'єкти ринку: пасажирські станції та вокзали, зупиночні пункти, дороги, що забезпечують функціонування транспортної системи;

транспортні засоби різних видів транспорту, призначені для перевезення пасажирів;

тарифи та ціни на перевезення, що включають вартість транспортування, сервісні надбавки, пільгові знижки, а також сервіс онлайн-купівлі квитків;

пасажирська мережа, яка сформована сукупністю шляхів сполучення різних видів транспорту, а також маршрутизація, яка полягає у визначенні оптимального маршруту руху при пасажирських перевезеннях як окремих видів транспорту, так і їх взаємодії.

Таким чином функціонування ринку транспортних пасажирських послуг неможливий без взаємодії та координації суб'єктів та об'єктів відповідних логістичних процесів. Найбільш чітко це виражено у формуванні конкурентного середовища, адже здорова конкуренція між транспортними підприємствами, незважаючи на форму власності, дозволяє підвищити якість наданих послуг, оптимізувати та удосконалити логістичні процеси та покращити рівень забезпеченості транспортними пасажирськими послугами.

Отже, суб'єктно-об'єктна взаємодія логістичного забезпечення ринку транспортних пасажирських послуг значною мірою виражається у формуванні балансу попиту та пропозицій на послуги з перевезення, тобто обсяг і частоту перевезень та їх якість, що зрештою забезпечить найбільш повне та ефективне функціонування даного ринку та оптимальне задоволення потреб населення у перевезеннях.

Список використаних джерел

1. Зоріна, О. І. Маркетинг транспортних послуг: навч. посіб. / О. І. Зоріна, В. А. Волохов, І. В. Волохова та ін.; за ред. О. І. Зоріної. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 305 с.
2. Мороз, О. В. Особливості маркетингу пасажирських перевезень / О. В. Мороз, Т. М. Корнієвська // Приазовський економічний вісник. – 2018. – № 5(10) . – с. 250-253.
3. Бараш, Ю. С. Аналіз ринку пасажирських залізничних перевезень в умовах реформування галузі / Ю. С. Бараш, Т. Ю. Чаркіна // Вагонний парк. – 2017. – №3-4(120-121). – С. 35 – 38.

5. ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТІВ

УДК 531.8

Баранов О. О., д.т.н., професор
O.Baranov@khai.edu
Баранова Є. О., бакалавр

ПРЯМА ЗАДАЧА КІНЕМАТИКИ ДЛЯ РОБОТА МОДЕЛІ ANNIN ROBOTICS AR3

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

На сьогоднішній час робот-маніпулятор моделі AR3 від компанії Annin Robotics широко застосовується, перш за все, у навчальному процесі у різних освітніх закладах по всьому світі. Крім того, до сфер його застосування відносяться контроль якості технологічних операцій і певні операції на виробництві. Основними перевагами робота є відносна дешевизна, яка поєднується з розвиненою механічною системою, що включає в себе сукупність шести мехатронних виробів – крокових двигунів, подекуди – із вбудованими редукторами (для навантажених для кінематичних пар). Annin Robotics AR3 – це шести-осьовий робот (робот-маніпулятор), що працює з навантаженням до 1 кг на дистанції до 600 мм. Точність позиціонування Annin Robotics AR3 становить 0,2 мм, а маса робота приблизно дорівнює 10 кг.

Для прогнозування положення виконавчого органу робота-маніпулятора (захоплювача, зварювальної головки, краскопульта тощо) необхідно розраховувати залежності орієнтації і координат цього органу у базовій системі координат, відносно якої ведеться відлік при змінненні узагальнених координат, які, у свою чергу, залежать від положення виконавчих приводів (валів електричних двигунів, штоків пневмо- та гідро-циліндрів тощо) у певний момент часу.

Пряма задача кінематики маніпуляторів формулюється так: задана кінематична схема маніпулятора і в певний момент часу відомі значення узагальнених координат, що визначають положення всіх ланок маніпулятора одна відносно одної. Потрібно визначити положення і орієнтацію останньої ланки маніпулятора (захоплювача) у системі відліку, яка пов'язана з нерухомим стояком. Геометричні розміри ланок вважаються заданими. Для розв'язання прямої задачі кінематики робота-маніпулятора моделі AR3 був застосований метод Денавіта-Хартенберга. На рис 1. показана кінематична схема робота-маніпулятора моделі AR3, що застосовується для розв'язання прямої задачі кінематики, із нанесеними згідно методу спеціальними системами координат.

Відповідно до методу Денавіта-Хартенберга, були отримані розширені матриці переходу для кожної з шести кінематичних пар. При цьому кожному з чотирьох елементарних рухів відповідає одна з матриць переходу (*B*-матриць): або матриця обертання, або матриця зсуву. Результуюча матриця переходу, що зв'язує системи $i - 1$ та i , є добутком цих матриць:

$$A_i = B_{\text{вп}}(\vec{k}, \theta_i) B_{\text{сд}}(\vec{k}, s_i) B_{\text{сд}}(\vec{l}, \alpha_i) B_{\text{вп}}(\vec{l}, \alpha_i). \quad (2.1)$$

Оскільки робота-маніпулятора моделі AR3 характеризується шістьма ступенями свободи ($n = 6$), в результаті розрахунку обчислені елементи матриці T_6 , які описують перехід від системи координат, пов'язаної із захоплювальним пристроєм, до базової системи координат:

$$T_6 = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

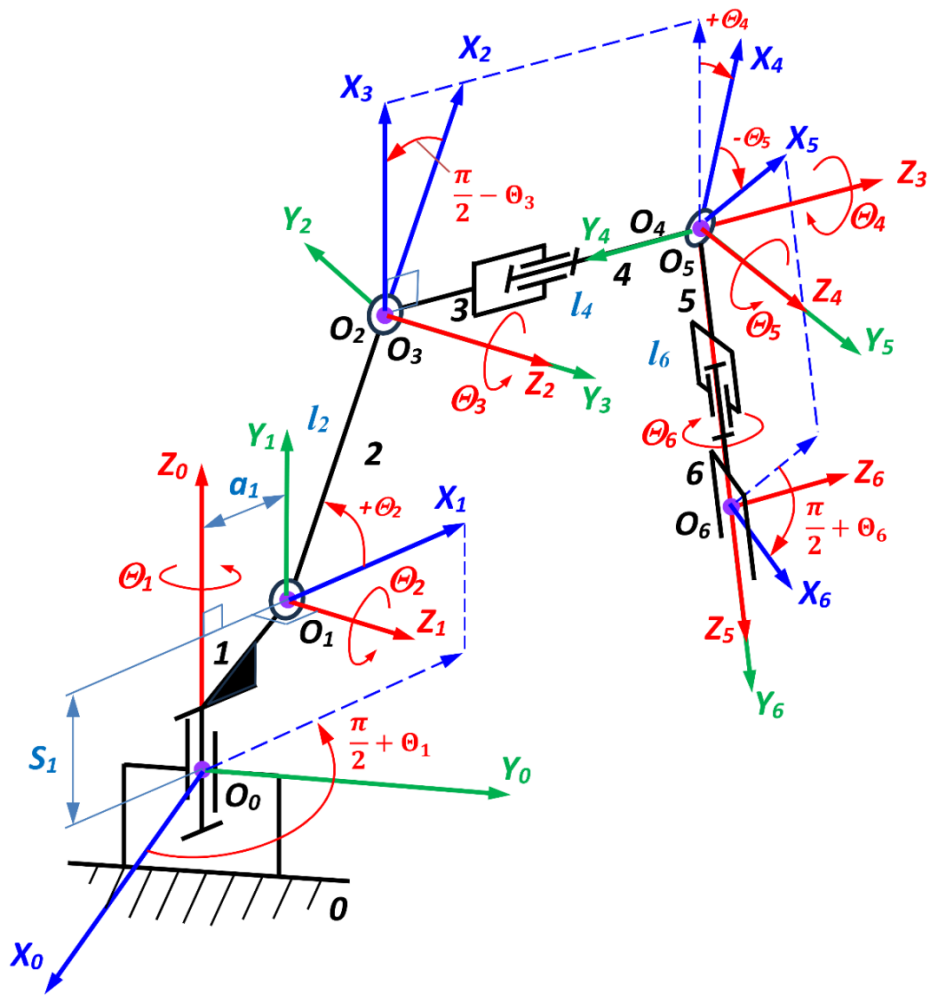


Рис. 1. Кінематична схема робота-маніпулятора моделі AR3, що застосовується для розв'язання прямої задачі кінематики

Як відомо, стовпці матриці T_n мають геометричне тлумачення. Перші три елементи першого, другого і третього стовпців є напрямними косинусами відповідно осей x_n, y_n, z_n у системі 0, а три елементи четвертого стовпця – це координати x_c, y_c, z_c центру захоплювача в тій же системі:

$$T_n = \begin{bmatrix} \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{l}_0}) & \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{l}_0}) & \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{l}_0}) & x_c \\ \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{j}_0}) & \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{j}_0}) & \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{j}_0}) & y_c \\ \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{k}_0}) & \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{k}_0}) & \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{k}_0}) & z_c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Отже, отримана матриця T_6 визначає напрямні косинуси:

$$t_{11} = \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{l}_0}) = \cos\theta_1 [\cos\theta_4 \cos\theta_6 + \sin\theta_4 \cos\theta_5 \sin\theta_6] - \sin\theta_1 \sin(\theta_2 - \theta_3) \times \\ \times [\sin\theta_4 \cos\theta_6 + \cos\theta_4 \cos\theta_5 \sin\theta_6] + \sin\theta_1 \cos(\theta_2 - \theta_3) \sin\theta_5 \sin\theta_6; \quad (3)$$

$$t_{21} = \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{j}_0}) = \sin\theta_1 [\cos\theta_4 \cos\theta_6 - \sin\theta_4 \cos\theta_5 \sin\theta_6] + \\ + \cos\theta_1 \sin(\theta_2 - \theta_3) [\sin\theta_4 \cos\theta_6 + \cos\theta_4 \cos\theta_5 \sin\theta_6] - \\ - \cos\theta_1 \cos(\theta_2 - \theta_3) \sin\theta_5 \sin\theta_6; \quad (4)$$

$$t_{31} = \cos(\widehat{\vec{l}_n, \vec{k}_0}) = \\ = -\cos(\theta_2 - \theta_3)[\sin\theta_4\cos\theta_6 + \cos\theta_4\cos\theta_5\sin\theta_6] - \sin(\theta_2 - \theta_3)\sin\theta_5\sin\theta_6; \quad (5)$$

$$t_{12} = \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{l}_0}) = -\sin\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_5 - \cos\theta_1\sin\theta_4\sin\theta_5 - \\ - \sin\theta_1\sin(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_4\sin\theta_5; \quad (6)$$

$$t_{22} = \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{j}_0}) = \cos\theta_1\sin(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_4\sin\theta_5 + \\ + \cos\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_5 - \sin\theta_1\sin\theta_4\sin\theta_5; \quad (7)$$

$$t_{23} = \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{k}_0}) = \sin(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_5 - \cos(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_4\sin\theta_5; \quad (8)$$

$$t_{13} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{l}_0}) = \cos\theta_1[\cos\theta_4\sin\theta_6 + \sin\theta_4\cos\theta_5\cos\theta_6] - \\ - \sin\theta_1\sin(\theta_2 - \theta_3)[\sin\theta_4\sin\theta_6 - \cos\theta_4\cos\theta_5\sin\theta_6] - \\ - \sin\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3)\sin\theta_5\cos\theta_6; \quad (9)$$

$$t_{23} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{j}_0}) = \sin\theta_1[\cos\theta_4\sin\theta_6 + \sin\theta_4\cos\theta_5\cos\theta_6] + \\ + \cos\theta_1\sin(\theta_2 - \theta_3)[\sin\theta_4\sin\theta_6 - \cos\theta_4\cos\theta_5\cos\theta_6] + \\ + \cos\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3)\sin\theta_5\cos\theta_6; \quad (10)$$

$$t_{33} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{k}_0}) = \sin(\theta_2 - \theta_3)\sin\theta_5\cos\theta_6 - \\ - \cos(\theta_2 - \theta_3)[\sin\theta_4\sin\theta_6 - \cos\theta_4\cos\theta_5\cos\theta_6]; \quad (11)$$

а також координати центра захоплювального пристрою:

$$t_{14} = x_c = -\sin\theta_1(a_1 + l_2\cos\theta_2) - (l_4 + l_6\cos\theta_5)\sin\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3) - \\ - l_6\sin\theta_5[\cos\theta_1\sin\theta_4 + \sin\theta_1\sin(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_4]; \quad (12)$$

$$t_{24} = y_c = \cos\theta_1(a_1 + l_2\cos\theta_2) + (l_4 + l_6\cos\theta_5)\cos\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3) - \\ - l_6\sin\theta_5[\sin\theta_1\sin\theta_4 - \cos\theta_1\sin(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_4]; \quad (13)$$

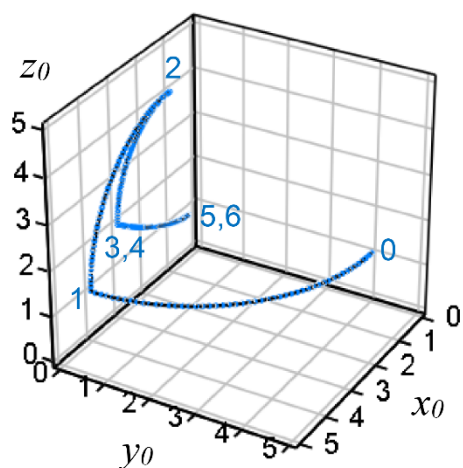
$$t_{34} = z_c = S_1 + l_2\sin\theta_2 + (l_4 + l_6\cos\theta_5)\sin(\theta_2 - \theta_3) - \\ - l_6\cos(\theta_2 - \theta_3)\cos\theta_4\sin\theta_5; \quad (14)$$

Формули (3)–(14) були використані для тестування положення маніпулятора, що має таку ж кінематичну схему, що і робот-маніпулятор моделі AR3, але з наступними параметрами довжин ланок:

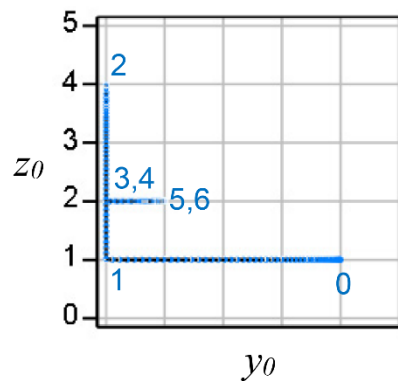
$$s_1 = a_1 = l_2 = l_4 = l_6 = 1, \quad (15)$$

а часова послідовність кутів повороту $\theta_1 - \theta_6$ задана з початкового положення 0, як послідовність поворотів θ_1 (0 с ... 1 с \rightarrow 0° ... 90°) – позиція 1; θ_2 (1 с ... 2 с \rightarrow 0° ... 90°) – позиція 2; θ_3 (2 с ... 3 с \rightarrow 0° ... 90°) – позиція 3; θ_4 (3 с ... 4 с \rightarrow 0° ... 90°) – позиція 4; θ_5 (4 с ... 5 с \rightarrow 0° ... 90°) – позиція 5; θ_6 (5 с ... 6 с \rightarrow 0° ... 90°) – позиція 6.

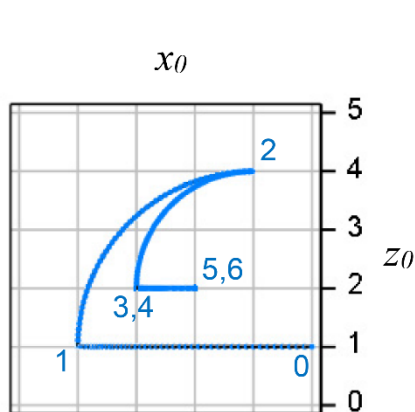
У якості опорних точок обрані положення захоплювача маніпулятора, які відповідають позиціям 0–6. Результати розрахунку координат центра захоплювача (x_c, y_c, z_c) у базовій системі координат (x_0, y_0, z_0) для послідовності положень 0–6 наведені на рисунку 2.



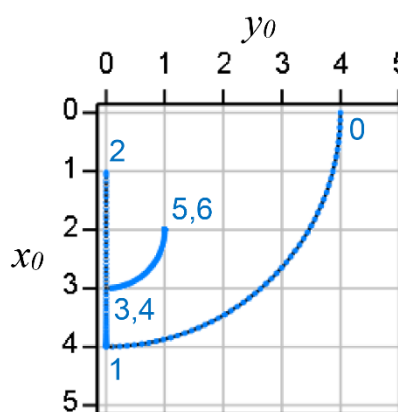
а 1



б



в



г

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \boxed{0} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{4} \\ 0 & 0 & 1 & \boxed{1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \boxed{4} \\ -1 & 0 & 0 & \boxed{0} \\ 0 & 0 & 1 & \boxed{1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & \boxed{1} \\ -1 & 0 & 0 & \boxed{0} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{4} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \boxed{3} \\ -1 & 0 & 0 & \boxed{0} \\ 0 & 0 & 1 & \boxed{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \\
 \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \boxed{3} \\ 0 & 0 & -1 & \boxed{0} \\ -1 & 0 & 0 & \boxed{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & \boxed{2} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{1} \\ -1 & 0 & 0 & \boxed{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & \boxed{2} \\ 0 & 1 & 0 & \boxed{1} \\ 0 & 0 & -1 & \boxed{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

д

Рис. 2. Результати розрахунку координат центра захоплювача (x_c, y_c, z_c) у базовій системі координат (x_0, y_0, z_0) для послідовності положень 0–6: а – аксонометрична проекція; б – проекція на площину $y_0 - z_0$; в – проекція на площину $x_0 - z_0$; г – проекція на площину $x_0 - y_0$; д – послідовність змінення елементів матриці переходу T_6 під час руху між положеннями 0–6

РОБОТ-ПАВУК ПІДВИЩЕНОЇ БЕЗВІДМОВНОСТІ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Постановка проблеми в загальному вигляді. Актуальною задачею є проектування недорогих і надійних мобільних роботів. Мобільні роботи реалізуються на основі різних платформ, але крокуюча платформа володіє чи не найкращою гнучкістю і прохідністю [1]. Такий робот може не тільки ходити по складній поверхні, але й стрибати, захоплювати предмети та робити інші дії, які неможливі для інших платформ. Проте класичні крокуючі роботи володіють складною конструкцією і обмеженою надійністю.

Аналіз досліджень та публікацій. Традиційні шестиногі роботи, відомі як «hexapods», оснащені шістьма ногами і можуть переміщатися лише ходьбою. Кожна нога має три сервоприводи: один для обертання навколо вертикальної осі і два для обертання ланок навколо двох горизонтальних осей. Для узгодженого руху ланок використовується спеціальний алгоритм, що забезпечує високу прохідність робота, хоча його швидкість не може конкурувати з колісними роботами [2, 3]. Додаткові сервоприводи збільшують вагу та вартість робота. Роботи-павуки із шістьма ногами є стійкими на нерівній поверхні, маневреними, прохідними та часто володіють додатковими можливостями. Розроблений у Карнегі-Меллон робот RiSE [4] має бокову симетрію і призначений для переміщення по вертикальних поверхнях. Розроблений у JPL радіально-симетричний гексапод ATHLETE [5] (All-Terrain Hex-Legged Extra-Terrestrial Explorer) є всюдиходом і може використовуватись навіть для дослідження інших планет. Комбіновані мобільні платформи [2, 3] можуть поєднувати переваги різних платформ. В праці [2] запропонована конструкція гексаподу з квазіколесами та системою резервного забезпечення надійності. Було об'єднано переваги колеса, ноги та маніпулятора в єдиній конструкції, яка також включає систему резервного забезпечення надійності з п'ятикратним резервуванням та можливістю спільної роботи основних та резервних елементів. В проекті [3] розробники зменшили кількість сервоприводів але розширили функціональні можливості робота шляхом додання коліс.

Виділення невирішених частин загальної проблеми та формування цілей дослідження. Основною проблемою гексаподів є невисока надійність, що пов'язано зі збільшеною кількістю двигунів та деталей приводів, а також складними умовами роботи приводів, які включають високі статичні та ударні навантаження. Додатковою проблемою є те, що більшість недорогих сервоприводів, що використовуються в конструкціях, володіють низькою надійністю. Роботи-гексаподи, які працюють віддалено, у першу чергу планетоходи, повинні мати засоби забезпечення і багатократного резервування надійності. Чимало випадків повних відмов планетоходів [6-8] пов'язані з відсутністю або недостатньою кількістю таких засобів. Як правило, відмовлені деталі може замінити тільки людина, яка присутня біля робота. Проте існує можливість розробити конструкцію з автономною заміною відмовлених деталей. В конструкції потрібно передбачити не тільки засоби заміни вузлів на нові, але й додаткові засоби, які дозволятимуть функціонувати роботу до ремонту навіть з кількома відмовленими сервоприводами.

Метою роботи є створення і аналіз особливостей реалізації недорогого шестиногого робота-гексапода з механізмами резервування надійності приводів та можливістю автономної заміни відмовлених вузлів. Робот повинен бути призначений для роботи в важкодоступних місцях і повинен містити шість робочих органів, які підтримують автономну «гарячу» заміну без участі людини. Повинна бути також можливість замість робочого органу використовувати додаткові інструменти для виконання роботом певних спеціальних завдань (наприклад захват предметів, буріння, взяття проб ґрунту тощо).

Результати досліджень. Концепція описаної далі конструкції робота запропонована авторами. Конструкцію і параметричну модель робота розроблено у SOLIDWORKS 2020 (рис. 1) автором (Михайло Голіней) під час виконання дипломної роботи [9].

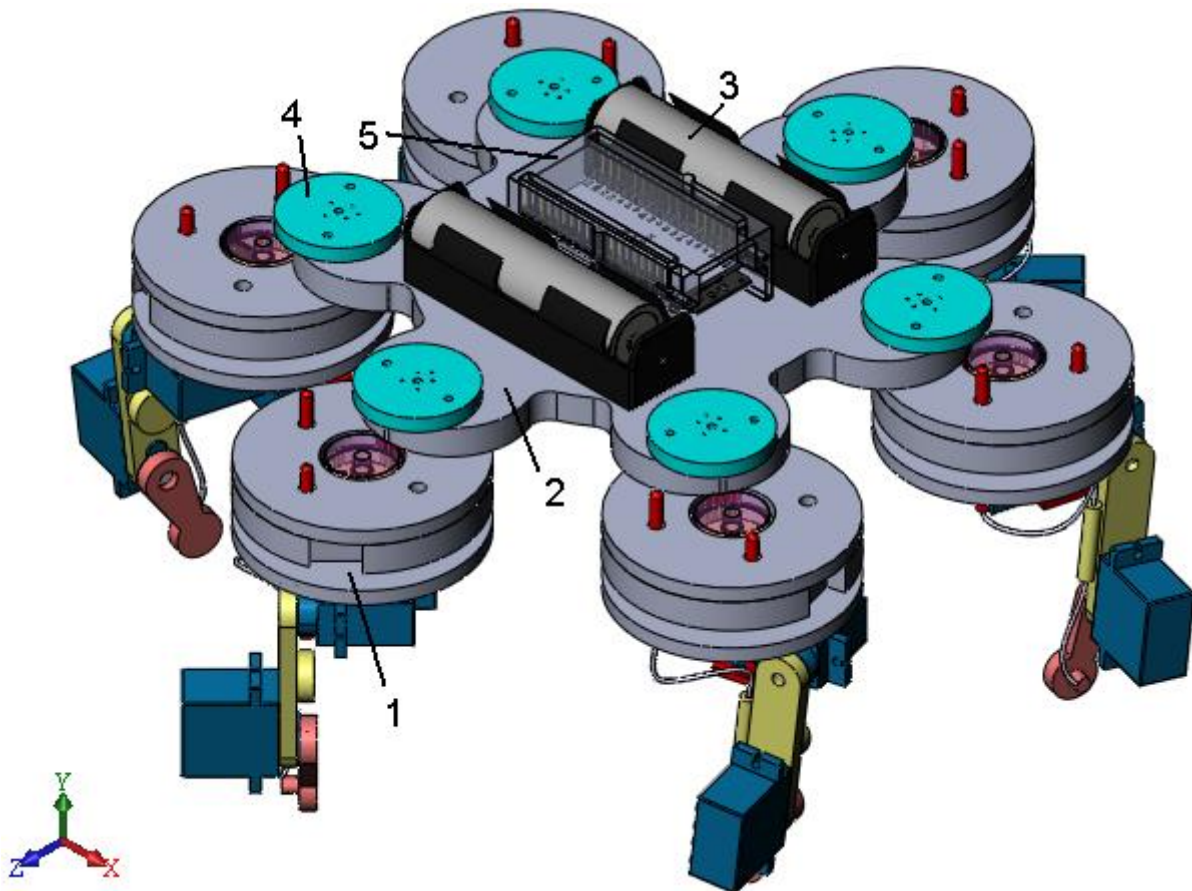


Рис. 1. Тривимірний модель робота-павука

1 - робочий орган у зборі (6 шт.); 2 - плита основи (акрил); 3 - акумулятор 18650 з тримачем (2 шт.) [10]; 4 - роз'єм з магнітом (6 шт.); 5 – мікроконтролер esp32 [11]

Кожний робочий орган (рис. 2) має три недорогі сервоприводи sg90. Перший з них забезпечує обертання робочого органу навколо вертикальної осі та передачу руху на храпові механізми. Інші два сервоприводи обертають ланки ніг навколо горизонтальних осей для можливості ходьби. Основним призначенням цих сервоприводів є пересування робота.

Робот має можливість «гарячої» (без вимкнення живлення) та автономної (без безпосередньої участі людини) заміни робочих органів. Для цього резервні робочі органи та додаткові інструменти повинні бути розташовані на спеціальній стаціонарній базі та можуть бути обладнані мітками для полегшення їхньої ідентифікації роботом. Робот пересувається до цієї бази, за допомогою храпового механізму (10, 11) і першого (вертикального) сервоприводу відгвинчує гвинт роз'єму (14) і відділяє неробочий орган. Після цього він пересувається до нового робочого органу на базі, під'єднується до роз'єму за допомогою магніту і загвинчує гвинт роз'єму (14). Для полегшення такої операції робот може бути обладнаний сенсорами. Наявність магніту зверху контактної роз'єму дозволяє забезпечити під'єднання п'яти електричних контактів: земля, живлення сервоприводів (5 В) і три контакти для цифрового керування сервоприводами. Як тільки контакт відбувся, починає працювати вертикальний сервопривід, який обертає вертикальну вісь з двома храповиками (10) і секторним евольвентним колесом (8). Цей сервопривід sg90 повинен мати можливість обертатись на 360°. Сервопривід повертає храповик (10) на заданий кут, після чого здійснює періодичне обертання храповика вперед (+10°) і назад (-10°), тобто обертається в заданому інтервалі кутів (див. циклограму на рис. 3). Таким чином храпове колесо обертає гайку (12),

яка загвинчує гвинт (14) в роз'єм. В результаті робочий орган буде надійно закріплений і робот може працювати далі. Якщо потрібно відгвинтити гвинт (14), то храповик (10) обертає інше парне храпове колесо (11) завдяки тому, що він може обертатись в іншому інтервалі кутів (див. циклограму на рис. 3). Робочі інтервали кутів храповиків (10) і секторного колеса (8) не перетинаються. Роз'єм має спеціальну форму, яка забезпечує під'єднання контактів завжди правильно і виключає помилку. Для ідентифікації розташування роз'єму може використовуватись магніт і геркон або датчик ефекту Холла.

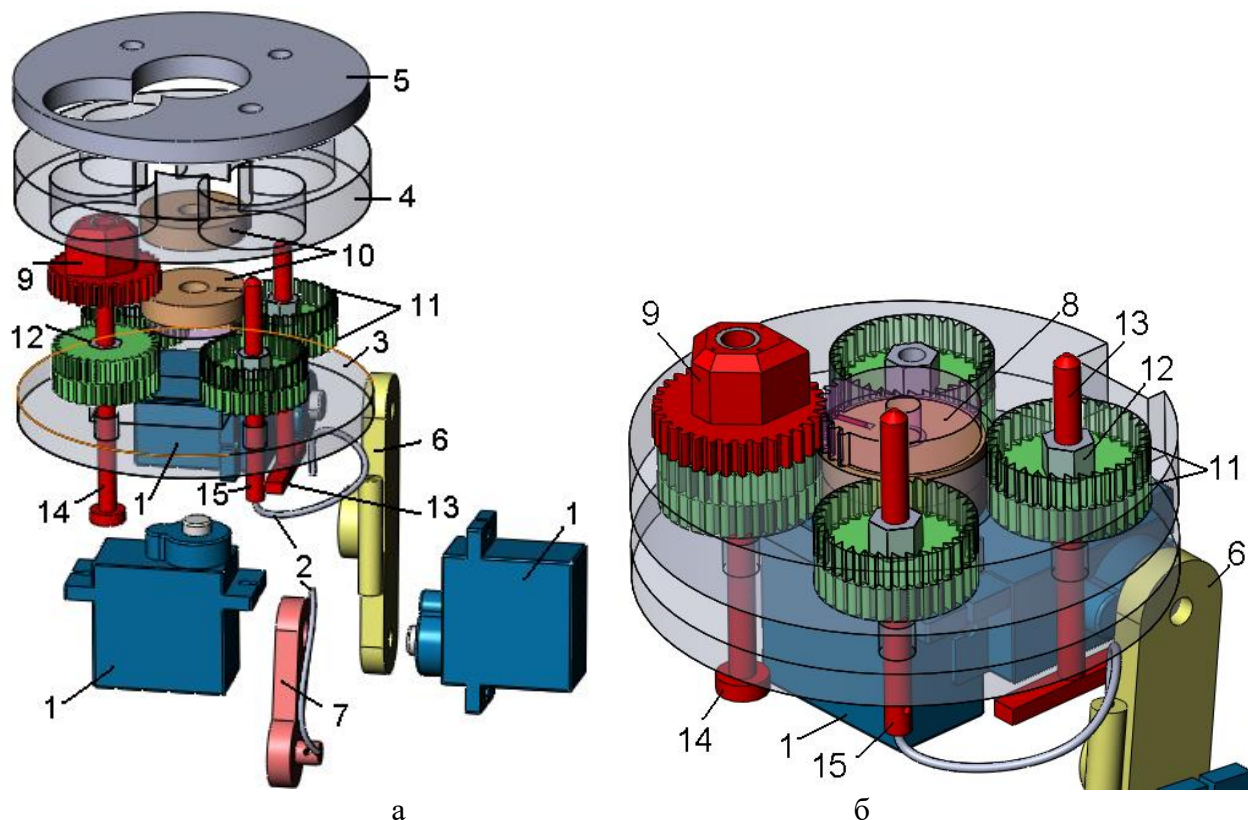


Рис. 2. Робочий орган в розібраному (а) та зібраному (б) виглядах

1 - сервопривід sg90 (3 шт.) [12]; 2 - боуден-трос; 3 - плита нижня; 4 - плита середня; 5 - плита верхня; 6 - ланка верхня; 7 - ланка нижня; 8 - секторне колесо; 9 - колесо-штекер (нейлон); 10 – храповик (2 шт); 11 - храпове колесо (8 шт.); 12 – гайка (4 шт.); 13 - гвинт-кулачок; 14 - гвинт штекера; 15 - гвинт боуден-тросу

На рисунку 3 показана циклограма роботи храповиків та секторного колеса. Видно, що в межах кутів від 31° до 51° працює храпова передача 1R, робочим рухом якої є обертанням праворуч, а холостим – обертання ліворуч. Такий рух забезпечує обертання храпових коліс 11 з гайкою (12) в одну сторону. Це призводить до руху гвинта в одну сторону. Рух в протилежну сторону забезпечується спареною з 1R храповою передачею 1L, яка працює в іншому інтервалі кутів.

Храпові механізми дозволяють також забезпечити резервування надійності другої та третьої (горизонтальних) осей у випадку, якщо другий і третій сервопривід (1) виходять з ладу. Наприклад, якщо другий сервопривід виходить з ладу, то храповий механізм переміщує гвинт з Т-подібним кулачком (13), який штовхає ногу робота (6). Для забезпечення переміщення ноги в протилежному напрямку використовується пружина (на рисунку 2 не показана). Якщо відмовляє третій сервопривід, то храповий механізм переміщує гвинт (15), який передає рух на нижню ланку (7) ноги за допомогою боуден-тросу (2). Також, для забезпечення руху в протилежному напрямку, використовується пружина (на рисунку 2 не показана). Проблемою може бути подолання сумарного опору пружини і неробочого сервоприводу. Тому бажано,

щоб неробочі горизонтальні сервоприводи володіли меншим опором крутному моменту. Таким чином, навіть якщо ці сервоприводи відмовляють, то робот має можливість продовжити рух то бази з резервними робочими органами, де він зможе виконати заміну. Очевидно, що вертикальний сервопривід повинен володіти вищою надійністю. Наприклад його шестерні можуть бути металевими, а не пластиковими. В описаній конструкції його відмова не дозволить використовувати механізм резервування надійності та «гарячої» автономної заміни. Проте конструкція робота і його параметрична модель мають потенціал для розвитку. Для прикладу, у випадку відмови вертикального сервоприводу, рух на його вісь можна буде передати за допомогою вертикальних сервоприводів сусідніх робочих органів. Для цього вони повинні повернутись навколо вертикальної осі на відповідний кут, і забезпечити контакт додаткової своєї шестерні з додатковим колесом на відмовленому робочому органі. Або можна забезпечити передачу руху з сусідніх робочих органів іншим чином, наприклад, як це реалізовано в [2].

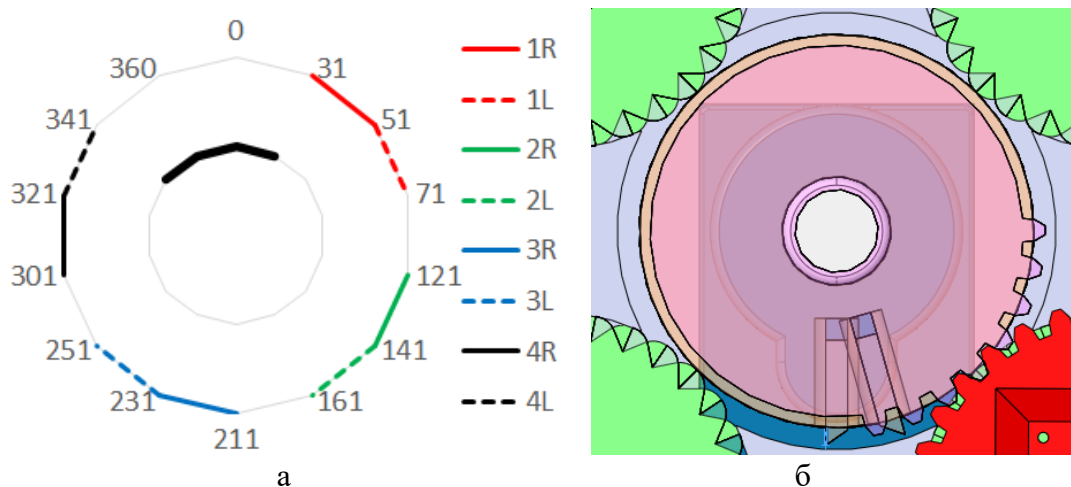


Рис. 3. Циклограма роботи першого сервопривода для восьми храпових коліс (тонкі та штрихові лінії) та секторного колеса (жирна лінія) (а) та візуалізація положення 0° (б)

Всього в робочому органі є чотири пари храпових коліс (11). Перша використовується для загвинчування-розгвинчування роз'єму (9), друга - для переміщення Т-подібного кулачка (13) і верхньої ланки ноги (6), третій - для переміщення нижньої ланки ноги (7) за допомогою боуден-тросу (2). Четверта пара не використовується, але до неї можна приєднати додатковий механізм. Наприклад такий механізм може допомогти перевернути робота в нормальне положення, якщо він перекинеться. Четверту пару можна також використати для передачі руху на сусідні робочі органи, у разі їхньої відмови.

Висновки та рекомендації. Перевагою розробленої конструкції є її технологічність, так як більшість деталей можуть бути виготовлені шляхом різання акрилового листа лазером на верстаті з числовим програмним керуванням. Загальна вартість робота не є високою через використання недорогих сервоприводів sg90 (близько 1 \$), деталей, які вирізаються з акрилового листа, а також недорогого мікроконтролера esp32 (близько 4 \$), який має вбудовані засоби радіозв'язку (Wi-Fi та Bluetooth), високий потенціал для автономної роботи та зручно програмується в середовищі MicroPython. Базові програми для ручного керування розроблено в [9].

У першу чергу робот призначений для автономної роботи у віддалених місцях, де не може перебувати людина. Це можуть бути небезпечні зони з високою забрудненістю або радіоактивністю, або інші планети. Також робот може бути використаний для розмінування місцевості або в інших оборонних цілях. У найпростішому для програмування випадку робот може керуватись шляхом віддаленого керування людиною-оператором. Для цього база повинна мати більш потужний радіопередавач, так як вбудований Wi-Fi модуль або Bluetooth не можуть забезпечити відстань передачі більше ста метрів. Робот зв'язується з базою через

Wi-Fi або Bluetooth, а база передає радіосигнал людині-оператору за допомогою більш потужного радіопередавача.

Набір змінних спеціалізованих робочих органів дозволяє значно розширити функціональність робота. Одним з таких органів може бути адаптер, що жорстко з'єднує два роботи. Такі адаптери дозволяють об'єднувати два і більше роботів в єдину систему для досягнення ефекту синергії та виконання особливо складних задач.

На основі цієї моделі планується виробництво прототипу робота в Центрі інноваційного розвитку ІФНТУНГ із матеріалів, які були придбані за фінансової підтримки студентських проектів ТзОВ «ЛЕОНІ Ваерінг Системс УА ГмбХ».

Список використаних джерел

1. Boston Dynamics. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Boston_Dynamics (accessed 10.06.24)
2. Kopei, V. B. Mobile robot with quasi-wheels and a mechanism for reserving reliability / V. B. Kopei, I. V. Proniuk // Conference Proceedings of XII International Scientific and Technical Conference «Advanced technologies in mechanical engineering», February 5-9, 2024, Ivano-Frankivsk – Yaremche. – Ivano-Frankivsk : IFNTUOG, 2024. – P. 24-25.
3. Пронюк І. В., Копей В. Б. Робот «павук» з розширеною функціональністю / І. В. Пронюк, В. Б. Копей // Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-технічної конференції "Прогресивні технології у машинобудуванні АТМЕ-2024", 5-9 лютого 2024 р. Івано-Франківськ-Яремче, 2024, Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2024. С. 128-129.
4. Haynes C., Skaff S., Al Rizzi, Saranli U., Tappeiner H. RiSE Robot. URL: <http://www.msl.ri.cmu.edu/projects/rise/> (accessed 10.06.24).
5. The ATHLETE Rover. URL: <https://web.archive.org/web/20060929014741/http://www-robotics.jpl.nasa.gov/systems/system.cfm?System=11> (accessed 10.06.24).
6. Wiens, R. Inside the Story of Robotic Space Exploration, from Genesis to the Mars Rover Curiosity / R. Wiens, Red Rover. – Basic Books, 2013. – 256 p.
7. Baker, D. The Geek's Guide To Space. Inside the Mars Rover / D. Baker. – Rosen Publishing, 2018. – 200 p.
8. Sinclair, S. L. Object Lessons. Space Rover / S. L. Sinclair. – Bloomsbury Academic, 2024. – 176 p.
9. Голіней М.М. Робот-павук підвищеної безвідмовності. Бакалаврська робота за спец. 131- Прикладна механіка. Захищена 20.06.2024, Івано-Франківськ, 2024. 47 с.
10. Jacob Garcia-Pavy. One-cell Battery Box Battery Holder. URL: <https://grabcad.com/library/one-cell-battery-box-battery-holder-1> (accessed 10.06.24)
11. Yasir Mahmood. ESP32-WROVER-DEVKIT-NODEMCU-V1.3 CASE. URL: <https://grabcad.com/library/esp32-wrover-devkit-nodemcu-v1-3-case-1> (accessed 10.06.24).
12. Danska. Small Blue Micro Servo. URL: <https://grabcad.com/library/small-blue-micro-servo-1> (accessed 10.06.24).

МОДЕЛЮВАННЯ УСТАЛЕНИХ І ПЕРЕХІДНИХ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВІБРАЦІЙНИХ МОНТАЖНИХ ПРИСТРОЯХ ДЛЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБОТІВ

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

²Національний 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 розглянутих пристроях, синтезу їхніх параметрів за власними формами коливань присвячені статті [3, 4].

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 компоунування аналогічних механізмів.

Мета та постановка задачі. Метою роботи є побудова комплексної математичної моделі динамічних процесів у вібраційному монтажному пристрої для складального робота, яка дозволяє дослідити процес пуску механізму, усталенні режими, просторові рухи будь-яких точок деталі, що монтується. Вибір раціональної моделі регульованого пуску електродвигуна з дебалансом, який надає просторові коливання грейферу і деталі. Проведення розрахункових досліджень динамічних процесів при пуску механізму і на усталених режимах при монтажі деталі. Дослідження просторових рухів характерних точок деталі, що монтується.

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.

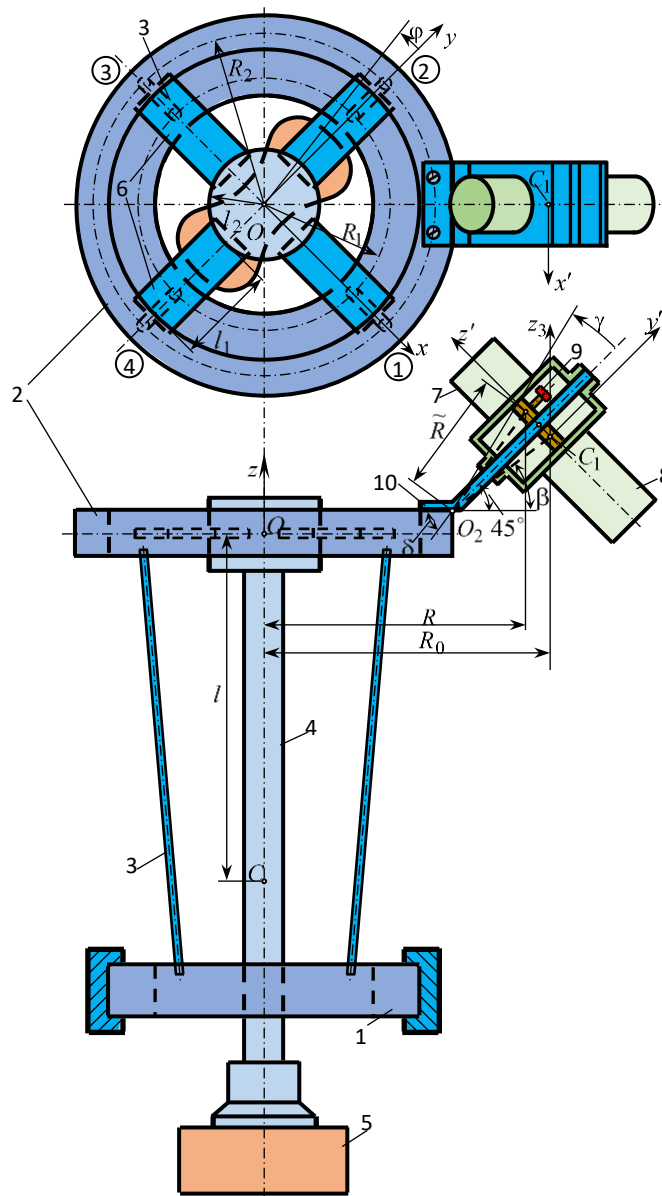


Рис. 1. Схема вібраційного монтажного механізму

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: $x, y, \varphi, \vartheta_{x_1}, \vartheta_{y_1}, z_1, \gamma$.

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 виявилось можливим представити у вигляді

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}\mathbf{q} = \mathbf{P}, \quad (1)$$

де $\mathbf{q} = [x, y, \varphi, \vartheta_{x_1}, \vartheta_{y_1}, z_1, \gamma]^T$ – вектор узагальнених координат (т – знак транспонування); \mathbf{M} – матриця інерції; $\mathbf{B} = \text{diag}\{\beta_x, \beta_y, \beta_\varphi, \beta_{\vartheta_{x_1}}, \beta_{\vartheta_{y_1}}, \beta_{z_1}, \beta_\gamma\}$ – діагональна матриця демпфування; $\beta_x, \beta_y, \beta_\varphi, \beta_{\vartheta_{x_1}}, \beta_{\vartheta_{y_1}}, \beta_{z_1}, \beta_\gamma$ – еквівалентні коефіцієнти в'язкого опору, що відповідають узагальненим швидкостям $\dot{x}, \dot{y}, \dot{\varphi}, \dot{\vartheta}_{x_1}, \dot{\vartheta}_{y_1}, \dot{z}_1, \dot{\gamma}$; $\mathbf{C} = \text{diag}\{4c, 4c, 4cR_2^2, \tilde{c}, \tilde{c}, 4c_1, c_2\}$ – 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;

$$\mathbf{P} = \left[\frac{F\sqrt{3}}{2} \sin(\omega t + \psi), -\frac{F\sqrt{3}}{2} \sin(\omega t - \psi), -FR \sin \omega t, 0, 0, 0, -F \cos \omega t \tilde{R} \sin(\delta - 45^\circ) \right]^T$$
 – 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:

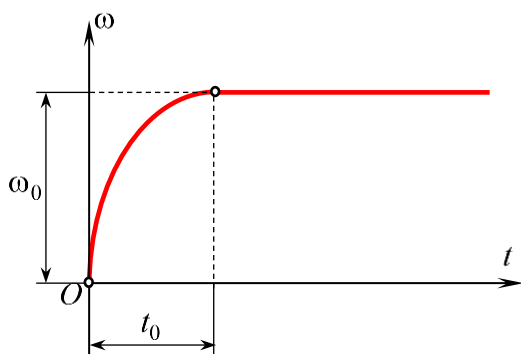
$$\begin{aligned} m_{1,1} &= m_1 + m_2 + m_3, & m_{1,3} &= m_{3,1} = -m_{2,3} = -m_{3,2} = -m_3 R_0 \cos 45^\circ, & m_{1,5} &= m_{5,1} = -m_2 l, \\ m_{1,7} &= m_{7,1} = m_{2,7} = m_{7,2} = -m_3 R^* \sin \beta \cos 45^\circ, & m_{2,2} &= m_1 + m_2 + m_3, & m_{2,4} &= m_{4,2} = m_2 l, \\ m_{3,3} &= J_{z_1} + J_\zeta + J_{z_3} + m_3 R_0^2, & m_{4,4} &= J_\xi + m_2 l^2, & m_{5,5} &= J_\eta + m_2 l^2, & m_{6,6} &= m_2, & m_{7,7} &= m_3 R^{*2} + J_{x'} \end{aligned}$$

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' і C_1z_3 . Інші позначення дано на рис. 1.

Розрахункові дослідження усталених та перехідних динамічних процесів. Побудована повна модель (1) надає можливість аналізувати динамічні процеси як при пуску механізму, так і на усталених режимах, вивчати геометрію рухів ланок пристрою та деталей, які монтуються, що разом із запропонованим у роботах [3, 4] алгоритмом синтезу параметрів пристрою за власними формами коливань розширює можливості раціонального вибору параметрів.

Залежність кутової швидкості ротора електродвигуна від часу при включенні пристрою має вигляд, наведений на графіці рис. 2. Для інтервалу часу $0 \leq t \leq t_0$ взято

квадратичний закон зміни кутової швидкості, що добре погоджується з даними експериментів. Залежність кута повороту ротора електродвигуна від часу виявляється при цьому наступною:



$$\psi = \begin{cases} -\frac{\omega_0(t-t_0)^3}{3t_0^2} + \omega_0 t - \frac{\omega_0 t_0}{3}, & t \leq t_0; \\ \frac{2}{3}\omega_0 t_0 + \omega_0(t-t_0), & t > t_0, \end{cases}$$

де ω_0 – кутова швидкість режиму (керований параметр); t_0 – час встановлення.

Рис. 2. Закон зміни кутовий швидкості електродвигуна під час пуску

Характер зміни узагальнених координат x , y , φ , ϑ_{x1} при пуску пристрою ілюструють рис. 3-6.

Розрахунки проведені при $t_0 = 2\text{с}$, $\omega_0 = 152,05\text{ рад/с}$ ($n_0 = 1452\text{ об/хв}$). У цьому випадку реалізуються резонансні коливання поблизу 5-ої власної частоти механізму ($\nu_5 = 24,2\text{ Гц}$) [3, 4], коли значно змінюються координати ϑ_{x1} , ϑ_{y1} і досить суттєві зміни координат x , y , φ . Такий режим сприяє швидкому поєднанню деталей, що підтверджується досвідченим шляхом.

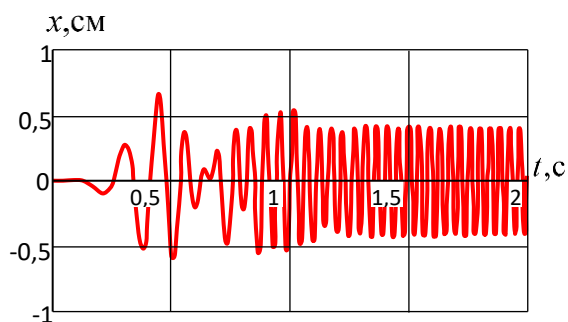


Рис. 3. Закон зміни координати x

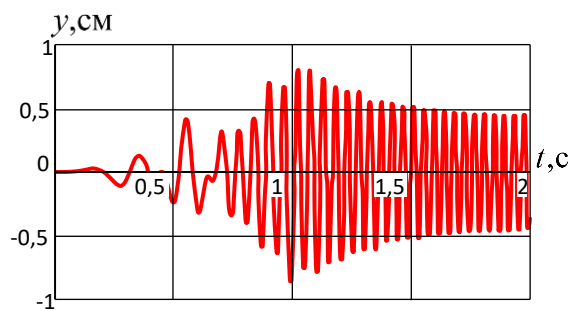


Рис. 4. Закон зміни координати y

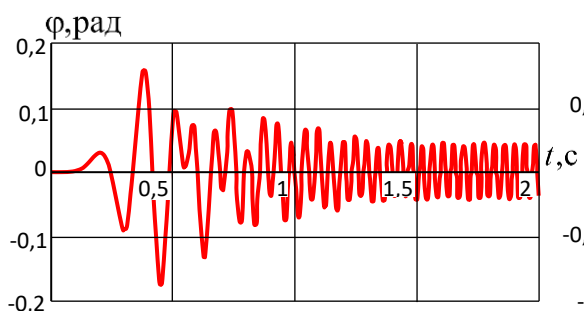


Рис. 5. Закон зміни кута повороту φ

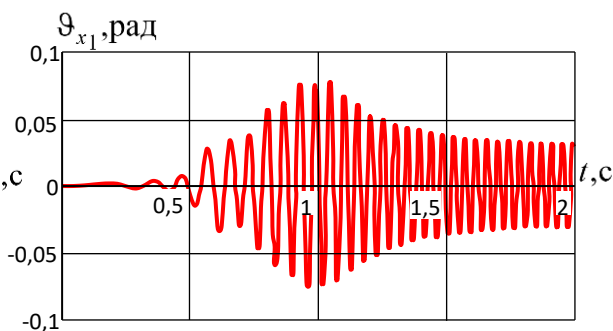


Рис. 6. Закон зміни кута повороту ϑ_{x1}

Просторові рухи деяких характерних точок основи деталі (рис. 7; координати дані в міліметрах), що монтується, показані на рис. 8-10.

Висновки. 1. Побудована комплексна математична модель динамічних процесів у вібраційному монтажному пристрої для складального робота, що дозволяє досліджувати процес пуску механізму, усталені режими, просторові рухи будь-яких точок деталі, що монтується. 2. Запропоновано раціональну модель регульованого пуску електродвигуна з

дебалансом, що надає просторові коливання грейферу та деталі. 3. Наведено результати розрахункових досліджень динамічних процесів при пуску механізму і на усталених режимах при монтажі деталі. 4. Досліджено просторові рухи характерних точок деталі, що монтується. 5. Результати досліджень перспективні при створенні та вдосконаленні аналогічних конструкцій.

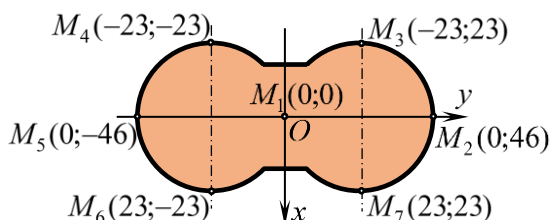


Рис. 7. Розташування характерних точок основи деталі, що монтується

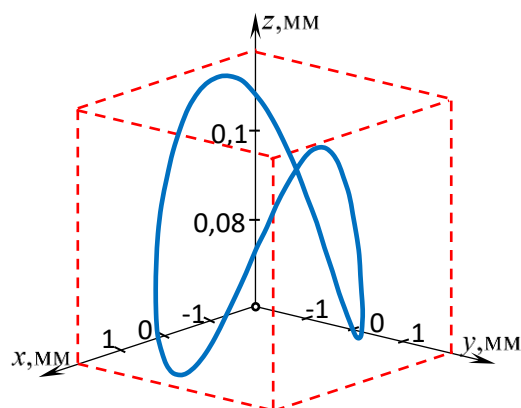


Рис. 8. Траєкторія руху точки M_1

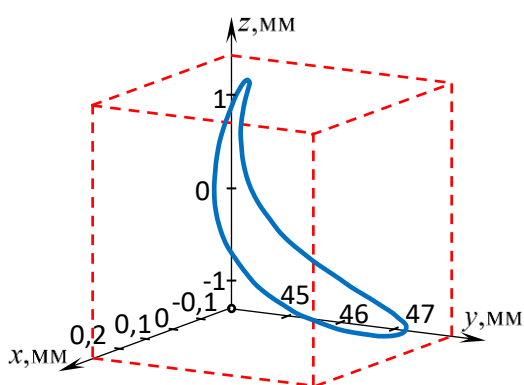


Рис. 9. Траєкторія руху точки M_2

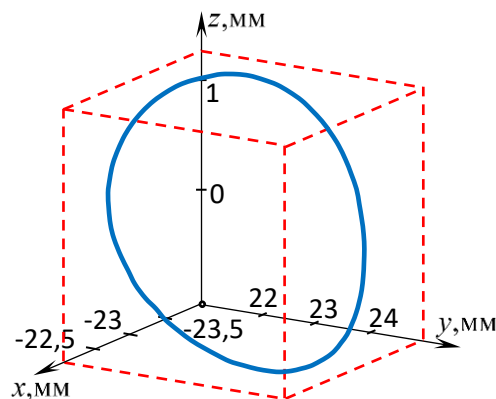


Рис. 10. Траєкторія руху точки M_3

Список використаних джерел

1. Shatokhin, V. M. Dynamical processes simulation of vibrational mounting devices and synthesis of their parameters / V. M. Shatokhin , V. N. Sobol , W. Wójcik , A. Mussabekova, D. Baitussupov // *Przegląd Elektrotechniczny*.– Vol 2019.– No 4.– P. 86-92.
2. Vartanov, M. V. Mathematical model of robotic assembly by means of adaptation and low-frequency vibration / M. V. Vartanov, L. V. Wojkova, I. N. Zinina // *Assembly Automation*.– 2017.– 37.– P. 130-134.
3. Шатохин, В. М. Моделирование динамических процессов у вибрационных монтажных устройствах для складальных роботов / В. М. Шатохин // *Вібрації в техніці та технологіях*. – 2010.– 3 (59).– С. 143-153.
4. Шатохін, В. М. Синтез параметрів вібраційних монтажних пристроїв для складальних роботів за власними формами коливань / В.М. Шатохін, В. М. Соболев // *Матеріали тридцять третьої міжнародної конференції «Нові технології в машинобудуванні»*. – Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2023.– С. 106-110.
https://library.khai.edu/library/fulltexts/doc/Novi_Tekhnologii_2023.pdf

6. ТЕХНОЛОГІЯ АГРЕГАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.452.33.037.01

Піжанкова Н. В., ст. викладач
n.pizhankova@khai.edu
Селезень О. Г., студент
selezen.oleh@gmail.com

ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТИ ОХОЛОДЖУЮЧОГО ПОВІТРЯ У СУЧАСНИХ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ГТД

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

Ефективність робочого циклу газотурбінного двигуна залежить від величин степені підвищення тиску у компресорі, температура газів на вході до турбіни та газодинамічної досконалості його вузлів.

Можливість зростання температури газів перед турбіною, характерне для сучасних ГТД, забезпечується застосуванням нових жаростійких матеріалів і більш сучасних систем охолодження.

Якість охолодження проточної частини та лопаток турбіни, що визначається коефіцієнтом ефективності охолодження, який залежить від способу охолодження, що використовується, матеріалів та витрати охолоджувального повітря. Для охолодження турбіни повітря відбирається з проточної частини компресора, що призводить до зниження його ККД, яке визначається місцем відбору, а саме за яким ступенем, та витратою відібраного повітря. Підвід повітря у газодинамічний тракт турбіни після проходження через канали системи охолодження корпусу, лопаток та дисків впливає на ККД турбіни, призводить до його зниження.

Зниження ККД компресора та турбіни, у свою чергу, призводить до погіршення ефективності роботи ГТД в цілому, що обмежує параметри літального апарату, для якого даний двигун призначений, або іншого агрегату, що працює сумісно з цим двигуном. Тому, витрата повітря, що використовується для охолодження турбіни, повинна бути ретельно визначена та лімітована.

Для дослідження параметрів двигуна в процесі проектування може бути використана його математична модель. Зрозуміло, що для розв'язання такої задачі застосування моделей 0-го та 1-го рівня (у відповідності до наявної класифікації [1,2] не може дати необхідних результатів. Тільки моделі 2-го рівня, що основані на повінцевому описі турбомашин, можуть дозволити адекватно оцінити вплив витрати повітря, що відбирається з проточної частини проміжного ступеня компресора, параметри повітря, яке направлено на охолодження, відповідно, ККД компресора, аналогічно повінцева модель турбіни у системі ГТД дозволяє оцінити вплив витрат повітря, що надходить у потік газу з системи охолодження, його температури та витрати на ККД турбіни, а також визначити критичні режими обтікання окремих вінців, поява яких визначає особливості обтікання турбіни в цілому.

Математичні моделі ГТД знаходяться в постійному розвитку.

В Національному аерокосмічному університеті «ХАІ» протягом багатьох років проводиться розробка математичних моделей газотурбінних двигунів.

Окрім моделей 0-го рівня, які використовуються в навчальному процесі, в «ХАІ» розроблена модель ГТД, заснована на повінцевому описі компресора [3], яка використовує одновимірний підхід до аналізу течії. Ця модель дозволяє урахувати вплив відбору повітря з проміжного ступеня проточної частини, визначити параметри повітря, яке надходить до

системи охолодження, інтегральні параметри компресора та двигуна в цілому на заданому режимі. Модель надає можливість оптимізувати програму регулювання кутів установки поворотних направляючих апаратів компресора в системі ГТД. Використання двомірного підходу до моделювання компресора дозволяє підвищити точність та інформативність моделі двигуна [4]. Можливості такої моделі використовувались при аналізі впливу абразивного зносу лопаток на роботу ГТД [5].

Наступним кроком у розвитку математичних моделей ГТД стало використання повінцевих методів моделювання багатоступеневих компресора та турбіни. [6,7].

Розрахунок параметрів потоку у турбіні у зазначеній вище моделі виконується повінцево у одномірній постановці, спираючись на геометричні параметри проточної частини та лопаткових вінців на середньому радіусі.

Турбіна в системі ГТД працює у достатньо широкому діапазоні режимів, що повинно відповідним чином бути відображено у її моделі. Тому вимоги до розрахункового повінцевого аналізу течії у турбіні достатньо жорсткі.

Велике навантаження сучасних турбін призводить до появи режимів запирання лопаткових вінців у найбільш вузьких перерізах та реалізації при подальшому розширенні збільшення швидкості течії за рахунок обтікання косою зрізу решіток. Запирання одного з лопаткових вінців призводить до зміни течії у інших лопаткових вінцях і турбіні в цілому. Очевидно, що це впливає на особливості роботи турбіни у системі ГТД. Ці ефекти повинні бути враховані при побудові методу розрахунку.

Наявність охолодження ряду лопаткових вінців турбіни за допомогою ряду факторів впливає на величину втрат енергії і, відповідно, ККД. Окрім того, повітря, яке підводиться з системи охолодження у міжлопатковий канал, може впливати на виникнення критичного режиму течії у ньому та зміну характеристики лопаткового вінця або ступеня та режим роботи турбіни в цілому.

Для цього повинно бути визначено місце підводу повітря в міжлопатковому каналі: до горловини, після горловини або у вісьовий зазор між вінцями. Очевидно, що характеристика лопаткового вінця буде залежною від витрат охолоджуючого повітря та його температури.

Також мають бути враховані втрати робочого тіла..

Можливість розрахунку ступенів з радіальним зазором та бандажованими поверхнями лопаток.

Урахування змін термодинамічних параметрів робочого тіла у результаті змішення охолоджуючого повітря та продуктів згоряння (у різних перерізах до горловини міжлопаткового каналу або після неї).

Величина втрат енергії при розрахунку параметрів потоку визначається за допомогою опублікованих напівемпіричних залежностей, які дозволяють урахувати втрати на тертя, кромочні втрати, величину кута натікання потоку, числа Маха та числа Рейнольдса.

Усі ці вимоги були враховані при будівництві математичної моделі турбіни у системі ГТД. На рис. 1 наведено результати розрахунку впливу відбору повітря на характеристику компресора.

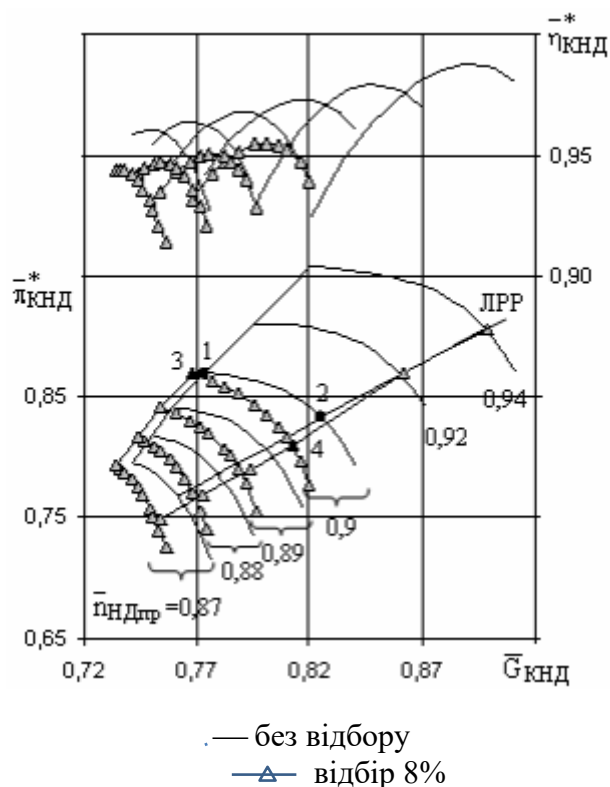


Рис. 1. Результати розрахунку впливу відбору повітря на характеристику компресора

На рис 2 показано, як витрата повітря, що надходить у лопатковий канал з системи охолодження, впливає на залежність відносної втрати робочого тіла у горловині соплового апарату (СА) від зниження тиску у ступені. Збільшення відносної витрати охолоджуючого повітря до горловини при незмінному значенні його температури призводить до підвищення швидкості течії у критичному перерізі та зменшенню пропускної здатності лопаткового вінця. Це впливає на характеристику всієї турбіни і відповідно, двигуна в цілому.

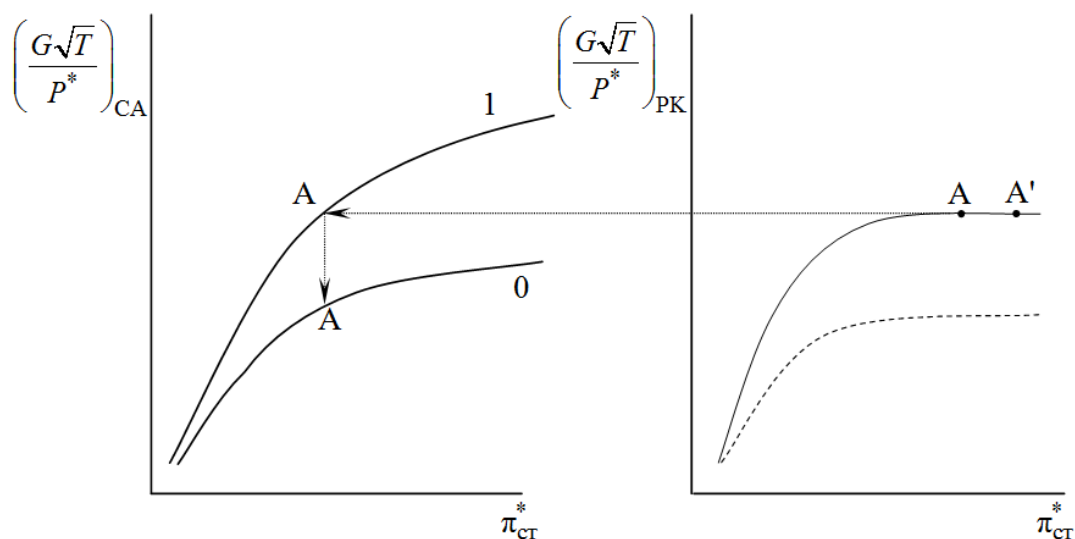


Рис. 2. Залежність відносної втрати робочого тіла у горловині соплового апарату від зниження тиску у ступені

Таким чином, реалізація урахування впливу відбору повітря з проміжних ступенів компресора на параметри компресора та охолодження багатоступеневої турбіни у моделі газотурбінного двигуна можуть дозволити провести аналіз та оптимізацію витрат відбираємого повітря у системі проєктованого ГТД, підвищити його інтегральні параметри.

Список використаних джерел

1. Дружинін, Л. Н. Математичне моделювання ГТД на сучасних ЕВМ при дослідженні параметрів та характеристик авіаційних двигунів / Л. Н. Дружинін // Труды ЦИАМ. – М. : ЦИАМ, 1979. – Вип. 832. – 45 с.
2. Тунаков, А. П. Методи оптимізації при доводці та проектуванні газотурбінних при доводці та проектуванні газотурбінних двигунів / А. П. Тунаков. – М. : Машинобудування, 1979. – 186 с.
3. Бойко, Л. Г. Математична модель газотурбінного двигуна з повінцевим описом багатоступеневого вісьового компресора та її практичне використання./ Л. Г. Бойко., О. Л. Карпенко// Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2008. – №6(53) . – с.71-77.
4. Boyko, L. Devising a method for calculating the turboshaft gas turbine engine performance involving a blade-by-blade description of the multi-stage compressor in a two-dimensional setting / L. Boyko, V. Datsenko, A. Dyomin, N. Pizhankova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – 4 (8 (112)) . – 59–66.
doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238538>
5. Datsenko, V. Determining the influence of compressor flow path abrasive wear on the gas turbine engine characteristics / Datsenko V. Boyko L. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2(1 (122)) . – 12–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275546>
6. Бойко, Л. Г. Метод розрахунку термогазодинамічних параметрів турбовального ГТД на основі повінцевого опису лопаткових машин. Частина 1. Основні рівняння / Л. Г. Бойко, О. В. Кіслов, Н. В. Піжанкова // Авіаційно-космічна техніка та технологія. – 2018. – №1 (145) . – С.48-58
7. Бойко, Л. Г. Метод розрахунку термогазодинамічних параметрів турбовального ГТД на основі повінцевого опису лопаткових машин. Частина 2. Основні рівняння / Л. Г. Бойко, О. С. Дьомін, Н. В. Піжанкова // Авіаційно-космічна техніка та технологія. – 2019. – №1 (153) . – С. 18-28

Корчагін І. Д., аспірант
illia.korchahin@mit.khpi.edu.ua
Котляр О. В., к.т.н., доцент
oleksii.kotliar@khpi.edu.ua
Старченко М. С., студент

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФРЕЗЕРНО-ЦЕНТРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

У зв'язку зі зростанням потреб споживачів у продукції з точністю до кількох мікронів, виникає необхідність відповідного обладнання, яке б забезпечувало високу якість та точність обробки деталей. Але для того щоб отримати якісну та високоточну деталь дуже важливо для цього мати якісний, надійний та точний верстат.

Фрезерно-центрувальний верстат є одним з таких пристроїв, який використовується для попередньої обробки заготовок з високою точністю та повторюваністю операцій.

Метою роботи стала розробка та аналіз фрезерно-центрувального верстата, який би відповідав вимогам якості та продуктивності обробки деталей з ЧПК. Для досягнення поставленої мети були сформовані наступні задачі: проаналізувати конструкцію та компоненти верстата, розрахувати елементи та їх міцність, перевірити затискне пристосування, провести дослідження верстата з ЧПК та розрахувати його техніко-економічні показники.

Комп'ютерні експерименти проводились методом скінчених елементів в середовищі комп'ютерного модулювання, аналізу та діагностики Ansys.

За результатами аналізу великої кількості факторів, таких як: тип оброблюваного матеріалу, розміри деталей, оброблювальні операції, потужність верстату, наявність додаткових пристроїв тощо було запропоновано раціональну компоновку фрезерно-центрувального верстата з ЧПК для оброблення деталей типу тіл обертання.

Для виконання оптимізації конструкції складальних модулів верстата вирішувалась задача їх статичного імітаційного моделювання (рис.1).

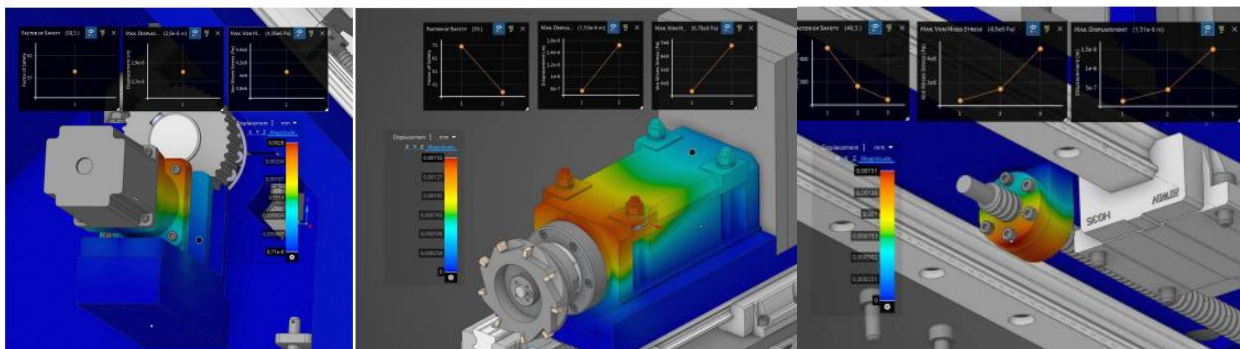


Рис. 1. Станичне імітаційне моделювання складових модулів конструкції фрезерно-центрувального верстата

За результатами імітаційного моделювання зроблено висновок щодо міцності усіх вузлів та створення рекомендацій щодо конструкційної та економічної оптимізації верстатних модулів.

Наступним етапом дослідження стане аналіз розробленого верстата в цілому та його модулів окремо на технологічну жорсткість та температурні напруження, що в подальшому дозволить оцінити технологічні можливості спроектованого верстата. Заплановані дослідження дозволять виявити вплив пружних деформацій окремих елементів та загальної компоновки спроектованого верстата на його точність обробки та функціональні можливості.

ВИБІР КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІШЕННЯ ХВОСТОВОЇ БАЛКИ ЛЕГКОГО БАГАТОЦІЛЬОВОГО ВЕРТОЛЬОТА

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

В контексті проектування та виробництва сучасні вертольоти являють собою складну технічну систему з великою кількістю елементів та внутрішніх зав'язків які потребують інноваційних рішень для забезпечення високої міцності, легкості та довговічності конструкцій. У сучасних умовах, коли вимоги до авіаційної техніки постійно зростають, забезпечення високої надійності, безпеки та ефективності експлуатації вертольотів стає пріоритетним завданням. Основними проблемами при проектуванні та виробництві вертольотів є зменшення ваги конструкції, підвищення міцності та жорсткості компонентів, забезпечення високих аеродинамічних характеристик та збільшення ресурсу роботи. Одним із ключових завдань проектування вертольота є визначення найвигіднішого поєднання його основних параметрів, що забезпечують виконання заданих у технічному завданні вимог, значну частину яких складають умови експлуатації і льотно-технічні характеристики майбутньої машини. Сучасні тенденції в авіаційному матеріалознавстві та інженерних технологіях надають можливості для використання нових, легких та високоміцних матеріалів, що дозволяють зменшити масу вертольота, підвищити його вантажопідйомність та покращити експлуатаційні характеристики.

Одним із ключових елементів конструкції вертольота є хвостова балка (ХБ) яка забезпечує його стабільність і керованість. Хвостова балка вертольота класичної одновинтової схеми є критично важливим агрегатом, для якого потрібно забезпечити достатню міцність і жорсткість при будь-яких умовах експлуатації, оскільки вихід з ладу даного агрегату здатний призвести до руйнування всього вертольота. Метою роботи є вибір оптимального конструктивно-технологічного рішення (КТР) ХБ легкого вертольота.

Хвостові балки вертольотів виконують за балочною, ферменою або змішаною схемами. Балкові каркасні конструкції ХБ поділяються на декілька типів: лонжеронні, моноблочні (монококові) та напівмонококові [1]. У лонжеронних конструкціях згинальний момент сприймається повздовжними силовими елементами –лонжеронами, а обшивка сприймає крутильний (обертаючий) момент на місцеві навантаження. В той же час у монококовій схемі згинальний як и крутильний моменти сприймаються жорсткою обшивкою, яка може бути підкріплена стрингерами або складатися із трьохслойних панелей зі стільниковим заповнювачем. Конструктивне виконання багашарових панелей дуже різноманітне і визначається матеріалами зовнішнього та внутрішнього шарів, видом наповнювача, методом з'єднання зовнішніх шарів із наповнювачем.

Зростаюче використання конструкцій з тонкою обшивкою та стільниковим заповнювачем як силових елементів фюзеляжів вертольотів майже всіх транспортних категорій зумовлено високою питомою міцністю та стійкістю до вібраційних навантажень. Тому на сучасних вертольотах транспортної категорії найбільш широко застосовуються монококові (багатошарові) або напівмонококові (підкріплені, металеві) схеми з алюмінієвих сплавів типу Д16А-Т та АК-6.

Сучасні тенденції розвитку вертольотів передбачають використання композитних матеріалів, що дозволяє значно знизити вагу конструкцій, підвищити їх міцність та довговічність. Вуглепластики забезпечують високу питому міцність і жорсткість, що значно

перевищує відповідні характеристики традиційних металевих матеріалів. Це робить композитні матеріали все більш популярними в вертольотобудуванні.

Одними із більш перспективних конструктивно-технологічних схем ХБ з використанням композитних матеріалів для легкого вертольота є ізогридні (сітчаста) та фермена конструкції.

Сітчасті конструкції, або ізогридні конструкції, складаються з повторюваних шарів систем спіральних і поздовжніх стрічок з однонаправлених ниток скріплених полімерним зв'язуючим які перехрещуються. Ці стрічки утворюють спіральні та поздовжні ребра, що забезпечує високу міцність та жорсткість конструкції. Сітчасті конструкції з композитних матеріалів мають високий рівень масової та економічної ефективності, успішно застосовуючись в аерокосмічній техніці. Вони забезпечують надійність, оскільки порушення обшивки не пошкоджує основні конструкційні елементи, такі як ребра в той же час, локальні пошкодження ребер не знижують несучу здатність конструкції в цілому до критичного рівня, що підвищує ресурс конструкції.

Як відомо, сучасні волокнисті композити мають виключно високу питому (по відношенню до щільності) міцність і жорсткість, що значно перевершує відповідні характеристики традиційних металевих конструкційних матеріалів. Однак ці характеристики реалізуються лише в одному напрямку – вздовж армуючих волокон. Такий спрямований характер властивостей композитів повністю відповідає структурі сітчастої конструкції, основними несучими елементами якої є ребра, армовані в поздовжньому напрямку. Ребра сітчастої конструкції утворюються методом намотування, при якому волокна, покриті полімерним сполучним, подаються на оправку, що обертається, і укладаються в канавки на її поверхні.

Метод автоматичного безперервного намотування є найбільш ефективним способом виготовлення композитних конструкцій та дозволяє отримувати інтегральні композитні конструкції порівняно низької вартості. Така сітчаста конструкція є інтегральною: з'єднання ребер між собою, а також з іншими елементами конструкції реалізується в процесі полімеризації сполучного композитного матеріалу і не вимагає додаткових елементів.

В одержуваних конструкціях, наприклад, для високомодульних вуглепластиків, модуль пружності ребер становить 185 ГПа, що практично відповідає модулю сталі при щільності, в 5,2 рази меншою [2]. Обшивка в таких конструкціях використовується тільки для сприйняття аеродинамічних навантажень і може бути виготовлена намотуванням або викладкою.

Реалізація ізогридної (сітчастої) концепції є перспективним напрямом розвитку конструктивно-технологічних процесів в авіаційній техніці, проте через відносну новизну проблема проектування сітчастих оболонок з композиційних матеріалів недостатньо вивчена.

Ферменні конструкції складаються з набору стрингерів та шпангоутів, що утворюють каркас, покритий обшивкою. Такі схеми широко використовуються на легких вертольотах добре працюючи на згинання та на розтягування. Вирізи у обшивках таких хвостових балок не вимагають значних посилень. Незважаючи на всі переваги, має ряд недоліків, серед них: труднощі установки трансмісії, труднощі відбудови від резонансів конструкції, низька живучість і порівняно велика маса при тих же показниках міцності та жорсткості. Порівняно велика маса пояснюється установкою профільюючих шпангоутів, стрингерів та металевої обшивки, необхідних для отримання хороших аеродинамічних показників фюзеляжу. Але більшість цих недоліків вирішується за допомогою використання композитних полімерних матеріалів для виготовлення елементів ферменої конструкції.

Фермові конструкції (ферми) з композиційних матеріалів використовуються досить широко в ракетно-космічній техніці для з'єднань частин збірних конструкцій, стержневих панелей сонячних батарей і тп. Композитні ферми знайшли досить широке застосування в сучасних конструкціях різного призначення і це обумовлено, перш за все, значним зниженням маси в порівнянні з традиційними металевими аналогами при збереженні несучої здатності.

Це стосується як «земних» галузей промисловості, наприклад, будівництво, так і для різного застосування в аерокосмічній області

Хвостова балка ферменого типу виготовлена з використанням композиційних матеріалів буде мати більшу питому міцність завдяки не тільки використанню більш легких матеріалів але і через більший ступінь інтегрованості такої конструкції (зниженню кількості додаткових з'єднуючих деталей та вузлів). Однак, ці конструкції мають певні недоліки: складність виготовлення та високу вартість виробництва. Також можливі локальні дефекти в композитних матеріалах, що можуть впливати на загальну міцність конструкції.

У висновках варто зазначити що була запропонована конструктивно-технологічна схема хвостової балки легкого багатоцільового вертольота з композитних матеріалів демонструє значні переваги у ваговій віддачі та надійності. Використання сітчастих та фермених конструкцій з композитних матеріалів дозволяє знизити вагу конструкції та підвищити її міцність, що є критичним для ефективної експлуатації вертольотів. Рекомендується подальше дослідження та впровадження цієї схеми у виробництво для забезпечення ефективної експлуатації багатоцільових вертольотів.

Список використаних джерел

1. Гребеніков, О. Г. Аналіз конструктивно-технологічних особливостей хвостових балок вертольотів транспортної категорії / О. Г. Гребеніков, М. М. Орловський, В. М. Костанд. // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – 2023. – №99. – С. 4-21.

Науковий керівник д-р.т.н., проф. Малков Ігор Владиславович

7. ПРОЦЕСИ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ

UDC538

Sunhurov M. S., PhD
sungurovm@kipt.kharkov.ua
Sukhareva T. V., Head of Lab., Dr.
Phys. - Math. Sciences
t.sukhareva.2003@gmail.com
Shahov Yu. N., Lead engineer
shahov56@i.ua

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NONMAGNETIC TiN/Ni-9.5 AT.% W COMPOSITE SUBSTRATES FOR COATED SUPERCONDUCTORS

National Science Center Kharkiv Institute of Physics and Technology

This article marks a significant stage in a comprehensive effort to address the contemporary scientific challenge of fabricating paramagnetic flexible substrate tapes with cubic texture for second-generation high-temperature superconductors. The study reveals the phenomenon of correlated texture enhancement in both components of the bilayer system TiN/Ni-9.5 at.% W, demonstrating that interfacial stress at the coating-substrate interface significantly influences the texture formation process. Additionally, a conceptual framework has been developed for creating textured composite substrates using nickel-tungsten paramagnetic alloys with FCC crystal structure. This framework involves controlling the composition and mutual orientation of both components in the bilayer system TiN/Ni-W.

To improve the performance of energy devices like power lines and rotary electric machines, it is important to reduce energy losses during the flow of electric current. This can be done using YBCO-coated conductors that work at a temperature of 77 K [1]. One of the main challenges in the field of high-temperature superconductors for high-current applications is finding the best design. A long ribbon substrate, on which the superconductor film will be deposited, must have the desired texture, be non-magnetic at low temperatures, and have high mechanical properties [2,3]. So far, it has been difficult to find a substrate material that meets all these conditions.

This research focuses on two-layer systems TiN/Ni-W. Nickel and tungsten powders with a purity of 99.99% were used to make Ni-W alloys. The Ni-W alloys with different compositions were made by sintering in a high vacuum ($p \sim 10^{-3} - 10^{-4}$ Pa) at around 1250 °C for 4 hours. The ingots for rolling were 1.5×10×40 mm. Table 1 shows the results of the certification of FCC (space group $Fm\bar{3}m$) Ni-W alloys [4], which are important for this work. To make a thin Ni-W tape, the process involves cold rolling and final high-temperature annealing in a reducing medium (Ar + 4% H₂) at 1000 °C for 1 hour. Titanium nitride coatings on the surface of Ni-W tapes were applied using the vacuum-arc method [5]. To reduce the unwanted droplet phase, the TiN coating was applied to the shaded side of the Ni-W substrate (outside the direct line of sight of the plasma source cathode) at a working gas pressure above 1 Pa.

Table 1

Some properties of various compositions

W content, at. %	Lattice parameter, Å	Density, g/cm ³	Grain size, µm	Hardness, kg/mm ²	Resistivity at T = 273 K, µΩ·cm
0	3.524	8.757	115	100	7.817
2.5	3.531	8.802	80	134.3	18.237
5	3.543	9.521	71	171.9	35.154
7.5	3.548	9.573	50	193	34.421
9.5	3.561	9.766	33	194.4	64.464

This paper focuses on the experimental results regarding texture formation processes in the bilayer system TiN/Ni-9.5 at.% W: a) the evolution of diffraction spectra, particularly the growth of the (h 0 0) diffraction lines in the Ni-9.5 at.% W substrate under TiN coating, which exhibits a complex nature; b) the variation in the crystal lattice parameter of the paramagnetic Ni-9.5 at.% W substrate in relation to the thickness of the TiN layer; c) the correlated texture enhancement observed in both components of the two-layer system TiN/Ni-9.5 at.% W.

Figure 1 (curve a) shows the dependence of the intensity of (2 0 0)NiW diffraction lines on the coating thickness for the two-layer system TiN/Ni-9.5 at.% W. The curve consists of two branches. In the range of $0 \leq h\text{TiN} \leq 1 \mu\text{m}$, an increase in the intensity of the (h 0 0)NiW diffraction line with increasing coating thickness is observed. It is notable that the lattice parameter of the substrate Ni-9.5 at.% W significantly increases (Figure 1, curve b) near the transition point from the ascending to the descending branch at $h\text{TiN} = 1 \mu\text{m}$. In the section $h\text{TiN} > 1 \mu\text{m}$, the intensity of diffraction decreases with increasing coating thickness, in accordance with the Beer-Lambert law.

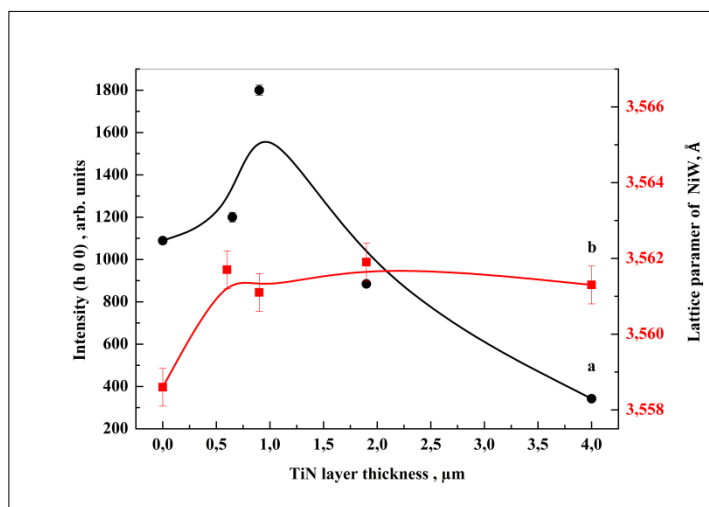


Fig. 1. Intensity of the diffraction line (h 0 0) (a) and the lattice parameter (b) of the NiW tape on the thickness of the TiN in TiN/Ni-9.5 at.% W system

The changes in the crystal lattice parameter in Ni-9.5 at.% W under the TiN coating might show changes in macroscopic stresses in the substrate tape. It is suggested that stress redistribution in the two-layer system TiN/Ni-9.5 at.% W causes rotation of Ni-W crystallites, reinforcing cube orientations, especially in the Ni-9.5 at.% W substrate.

The data in Figure 2 also indicate the formation of cubic texture in the Ni-W substrate and TiN coating layer. The diffraction pattern in the TiN subsystem, obtained in the transverse direction (TD) when the sample surface is oriented perpendicular to the rolling direction, contains peaks exclusively from the (2 0 0) and (4 0 0) planes.

Besides improved magnetic behavior and texture, the Ni-9.5 at.% W substrate tape has another advantage. The higher tungsten concentration in the alloy increases strength, especially at high temperatures. This is due to tungsten, a refractory metal and alloying element for high-temperature materials. This strength improvement is important for processing during buffer and YBCO deposition, typically done via a reel-to-reel method at high temperatures.

Based on the study of mechanical, electrophysical, and thermal properties, the optimal composition of the paramagnetic alloy, specifically Ni-9.5 at.% W, and the conditions for its deformation and heat treatment have been optimized. A strategy for controlling the architecture of the two-layer system TiN/Ni-9.5 at.% W, required for the formation of cube texture in both components, was developed based on changes in nitrogen pressure during titanium evaporation, deposition time, and coating geometry [6].

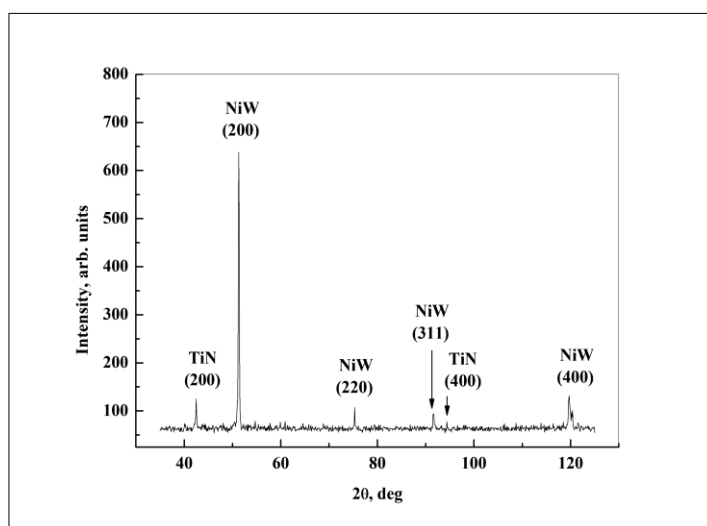


Fig. 2. θ - 2θ x-ray scan (Cu $K\alpha$ -radiation) of the TiN/Ni- 9.5 at.% W bilayer system. Transverse direction. Coating layer thickness $h_{\text{TiN}} = 1 \mu\text{m}$.

List of references

1. Goyal et. al. Epitaxial superconductors on rolling-assisted biaxially-textured substrates (RABiTS): A route towards high critical current density wire / Goyal et. al. // *Applied Superconductivity*. – vol. 4. – 1996. – pp. 403-427. doi: [https://doi.org/10.1016/S0964-1807\(97\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0964-1807(97)00029-X)
2. Ijaduola, A. O. Magnetism and ferromagnetic loss in Ni–W textured substrates for coated conductors / A. O. Ijaduola, J. R. Thompson, A. Goyal, C. L. H. Thieme, K. Marken // *Physica C: Superconductivity*. – vol. 403. – 2004. – no. 3. – pp. 163-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physc.2003.12.003>.
3. Eickemeyer, J. Textured Ni–9.0 at.% W substrate tapes for YBCO-coated conductors / J. Eickemeyer, R. Hühne, A. Güth, C. Rodig, U. Gaitzsch, J. Freudenberger, L. Schultz and B. Holzapfel // *Superconductor Science and Technology*. – vol. 23. – no. 085012. – 2010. doi: <https://doi.org/10.1088/0953-2048/23/8/085012>.
4. Derevyanko, V. V. Effect of the Composition and the Crystal Structure on the Electrophysical Properties of the $\text{Ni}_{1-x}\text{W}_x$ System at Low Temperatures / V. V. Derevyanko, M. S. Sungurov, T. V. Suchreva, V. A. Finkel, Yu.N. Shakhov // *Phys. Solid State*. – vol. 60. – 2018. – pp. 1930-1934. doi: <https://doi.org/10.1134/S1063783418100062>
5. Axenov, I. Plasma flux motion in a toroidal plasma guide / I. Axenov, V. G. Padalka, A. N. Belokhvostikov, N. S. Repalov and V. M. Khoroshikh // *Plasma Phys. and Control Fusion*. – vol. 28. – 1986. – pp. 761-770. doi: <https://dx.doi.org/10.1088/0741-3335/28/5/002>
6. Sungurov, M. S. Texturing in a Ni–W/TiN Thin-Film System / M. S. Sungurov, V. A. Finkel // *Tech. Phys.* . – vol. 63. – 2018. – pp. 1182-1188. doi: <https://doi.org/10.1134/S1063784218080200>

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОСТРУКТУРНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ВИСОКОМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ І ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

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

На основі аналізу особливостей сучасного дрібносерійного й одиничного виробництва, характерного для авіабудування, де широко використовується високоавтоматизоване технологічне обладнання, у тому числі верстати з ЧПК, було встановлено, що однією з проблем є необхідність забезпечення стабільності технологічних процесів оброблення різанням шляхом підвищення надійності й ресурсу різального інструменту. Як об'єкт дослідження було вибрано метод отримання плівкових структур нанорозмірного масштабу на робочих поверхнях змінних твердосплавних пластин, що комплектують збірний різальний інструмент.

Аналіз наявних методів синтезу наноструктурних покриттів дав змогу віддати перевагу PVD-методам порівняно з методами CVD, реалізація яких пов'язана з високими температурами і можливістю зниження міцності базового інструментального матеріалу. Предметом цього дослідження став метод КІБ + ІПП, який належить до PVD-методів, у яких використовують вакуумно-дугове випаровування, оскільки є найбільш універсальним і дає змогу отримати більш широкий спектр наноструктурних покриттів, що містять карбід, нітриди, боріди та інші хімічні сполуки перехідних металів і їх композицій.

Докладний аналіз особливостей методу КІБ + ІПП виявив доцільність його модернізації завдяки застосуванню спеціальних пристроїв, які шляхом подачі імпульсного потенціалу зміщення забезпечують отримання високоякісних наноструктурних покриттів, що дають змогу істотно підвищити ресурс інструменту і якість виготовлених деталей. На основі аналізу сучасного стану питання, визначено область раціонального застосування наноструктурних покриттів, проаналізовано більшість наявних методів їх отримання.

Порівняльний аналіз фізичних і технологічних особливостей найбільш поширених методів дав змогу оцінити переваги й недоліки кожного з них та обґрунтувати вибір базового методу осадження наноструктурних покриттів. Найбільшу перспективність має метод конденсації речовини, де із плазмової фази в умовах іонного бомбардування в поєднанні з імпульсною подачею потенціалу зміщення на підкладку з пластинами можна отримати наноструктурне покриття необхідного складу із заданими властивостями. Аналіз методів прогнозування зумовив доцільність проведення теоретичних досліджень для будівництва моделі, що дає змогу здійснювати прогнозування характеристик, отриманих відповідно до вибраного методу.

Розглянуто загальне рівняння, що описує функцію розподілу острівців нової фази за розмірами. Приділено увагу аналізу швидкості збільшення лінійного розміру острівця і швидкості змінення кількості острівців одного лінійного розміру через зіткнення. Ураховано комплекс фізичних явищ, що відображають основні особливості конденсації. Проведені ресурсні випробування пластин з наноструктурними покриттями, отриманими за розробленою технологією, підтвердили аналогічний характер розвитку зношення для пластин з різними покриттями, проте виявили істотні відмінності в моментах початку прискореного зношення. Ця умова дала змогу визначити шляхи збільшення періоду стійкості пластин з дотриманням комплексу вимог, що ставляться до якісного оброблення.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ КЕРАМІЧНИХ ВТУЛОК ДЛЯ ІОНО-ПЛАЗМОВИХ ДВИГУНІВ ХОЛЛІВСЬКОГО ТИПУ З НІКЕЛЬ-МОЛІБДЕНОВИМ ПОКРИТТЯМ

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

Керамічні втулки для іоно-плазмових двигунів Холлівського типу потребують спеціальної обробки для досягнення необхідних параметрів поверхні та забезпечення довговічності та ефективності роботи двигуна. Одним із ключових аспектів є нанесення нікель-молібденового покриття, яке складається з шару нікелю товщиною 8-10 мікрон та шару молібдену товщиною близько 20 мікрон.

Основні етапи технологічного процесу:

1. Підготовка керамічної втулки:

- попереднє очищення поверхні для видалення забруднень та забезпечення адгезії покриття;
- виконання механічної обробки для досягнення необхідної форми та точності розмірів.

2. Нанесення нікель-молібденового покриття:

- використання іонно-плазмових методів для рівномірного нанесення покриття на всю поверхню втулки.
- контроль товщини покриття для забезпечення відповідності заданим параметрам (8-10 мікрон нікелю та 20 мікрон молібдену).

2. Фінальна обробка:

- виконання кінцевого фрезерування та полірування для досягнення гладкої поверхні без дефектів;
- контроль якості поверхні та товщини покриття з використанням відповідних методів вимірювання.

Переваги запропонованої технології:

1. Покращена адгезія: Використання іонно-плазмових методів забезпечує високу адгезію нікель-молібденового покриття до керамічної основи;
2. Висока точність: Завдяки ретельному контролю товщини покриття та використанню сучасних методів обробки, досягається висока точність геометричних параметрів втулок;
3. Зменшення дефектів: Плавне нанесення покриття та його рівномірний розподіл по поверхні зменшує кількість дефектів, що підвищує надійність і довговічність роботи втулок у складі іоно-плазмових двигунів.

Перспективи дослідження. Подальші дослідження спрямовані на оптимізацію параметрів процесу нанесення покриття та експериментальну перевірку отриманих результатів у реальних умовах експлуатації. Зокрема, планується аналіз впливу різних технологічних параметрів на якість покриття та вивчення можливостей подальшого вдосконалення процесу обробки керамічних втулок.



Рис. 1. Втулка керамічна з нікель-молібденовим покриттям



Рис. 2. Установа для нанесення покриття нікель-молібден

Науковий керівник к.т.н., доцент Бреус Андрій Олександрович

^{1,2}Добротворський С. С., д.т.н., професор
sergiy.dobrotvorskyu@khpі.edu.ua

¹Басова Є. В., к.т.н., доцент
Yevheniia.Basova@khpі.edu.ua

^{2,3}Міколай Кошчінський, PhD
mikolaj.koscinski@up.poznan.pl

ЗАБЕСПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗМОЧУВАННЯ ПОВЕРХНІ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ ЗА РАХУНОК FS-ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ГРАФЕНУ ПРИ ЛАЗЕРНІЙ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ АГРЕГАТИВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

²Познанський університет природничих наук, Польща

³Університет імені Адама Міцкевича, Польща

Інтенсифікація технологічних процесів і поліпшення технікотехнологічних характеристик функціональних поверхонь є пріоритетними завданнями сучасного машинобудування. Використання фемтосекундного лазерного структурування поверхні нержавіючої сталі є перспективним методом модифікації поверхні з метою надання їй інноваційних властивостей. У дослідженні розглянуто питання, пов'язані з формуванням модифікованих поверхонь з високим ступенем гідрофобності та гідрофільності.

Відзначено, що поверхня нержавіючих сталей відразу ж після лазерного опромінення має гідрофільні властивості, які з плином часу набувають гідрофобних властивостей, тобто ступінь нестабільний у часі. Таким чином, окреслена проблема стабілізації ступеня гідрофобності та ступеня гідрофільності поверхні нержавіючої сталі в залежності від запланованого застосування виробів. Підкреслено, що серед числа перспективних підходів із вирішення цієї проблеми існує стратегія, що заснована на застосуванні методів фемтосекундного лазерного випромінювання з метою структурування поверхні на мікро- і нанорівнях. Така стратегія є перспективною для забезпечення дотримання принципів сучасного виробництва *Leangreen*, оскільки зазвичай не вимагає використання хімічних розчинів або токсичних речовин, що знижує негативний вплив на навколишнє середовище. Представлено аналіз механізмів стабілізації гідрофобності модифікованої поверхні. Серед перспективних та потенційно цікавих методів, з точки зору забезпечення стійкості змочування поверхні, було виділено метод фемтосекундної імплементації графену. Виконані експериментальні дослідження фемтосекундної імплементації графену при модифікації нержавіючої сталі AISI 321 з метою проведення оцінки ступеню впливу оксиду графена на стабілізацію змочувальних властивостей поверхні сталі AISI 321 після її fs-імплантації. Модифікацію поверхні зразків, оброблених випромінюванням fs-лазера в присутності оксиду графена та за його відсутності, аналізували методом Раманівської спектроскопії. В дослідженні проаналізовано зв'язок між кутом змочування краплі води та шорсткістю мікроструктурованої поверхні. Дослідження змочуваності поверхонь, структурованих випромінюванням fs-лазера, показало, що її можна регулювати шорсткістю і хімічним складом оброблюваної поверхні. Нами було проведено порівняльні дослідження змочуваності поверхні наноструктурованої сталі з використанням графена і без його використання. Це дозволило обґрунтувати роль оксиду графену в стабілізації змочувальних властивостей сталі AISI 321. Практична цінність дослідження полягає у вивченні процесу формування стабільних гідрофобних і гідрофільних властивостей поверхні нержавіючої сталі, обробленої методом fs-структурування шляхом імплементації оксиду графена лазерним випромінюванням.

Дослідження розроблено в межах НДР «Формування і трансформація періодичних нановуглецевмісних структур на поверхні металів короткоімпульсними лазерними, мікрохвильовими і плазмовими методами» (ДР №0124U000481), що виконується на замовлення МОН України.

^{1,2}Добротворський С. С., д.т.н., професор
sergiy.dobrotvorskyu@khpі.edu.ua

¹Басова Є. В., к.т.н., доцент
Yevheniia.Basova@khpі.edu.ua

³Павел Завадски, PhD
pawel.zawadzki@put.poznan.pl

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ТА ТВЕРДОСТІ ТИТАНОВМІСНОЇ СТАЛІ AISI321 СТРУКТУРОВАНОЇ НАНОСЕКУНДНИМ ЛАЗЕРНИМ ОПРОМІНЕННЯМ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

²Познанський університет природничих наук, Польща

³Познанська політехніка, Польща

Наразі нано- і мікроструктурування поверхонь здійснюється за допомогою нано-, піко- і фемтосекундних лазерів з метою застосування отриманих результатів у різних галузях промисловості. Це мотивовано двома основними факторами: по-перше, такий лазерний вплив дає змогу модифікувати поверхні до стану, що неможливо домогтися іншими методами механічної обробки; по-друге, на теперішній час спостерігається новий виток спіралі у діалектичному розвитку технологічного обладнання – інтенсивна розробка і виробництво нових класів лазерів, таких як волоконні та діодні лазери, що легко інтегруються в наявне обладнання і не мають серйозних проблем з доставкою лазерного випромінювання до точки обробки (контакту лазерного променя із поверхнею оброблюваного об'єкту). При використанні короткоімпульсного лазерного випромінювання основною проблемою є висока чутливість одержуваних результатів до параметрів лазерного імпульсу та обраної стратегії оброблення. Це означає, що ефективність модифікації поверхні, зокрема отримання параметрів шорсткості та твердості, може істотно змінюватися залежно від того, які параметри лазерного імпульсу було обрано і яку траєкторію лазерного сканування було застосовано у конкретному випадку. Створювані модифіковані поверхні можуть мати як випадкову, так і періодичну структуру поверхні і, як наслідок, наявність випадкової та періодичної шорсткості.

В роботі проведені дослідження параметрів шорсткості та твердості аустенітної сталі AISI321, що утворилася внаслідок наносекундного лазерного опромінення поверхні зразка матеріалу за різними технологічними параметрами та стратегіями сканування. Особливість та інтерес до обраної марки сталі полягає у наявності титану у хімічному складі матеріалу, що істотно підвищує корозійну стійкість та інші характеристики виробів з такої сталі.

Встановлено, що за малої інтенсивності лазерного випромінювання на поверхні формується шорсткість з імовірнісним (випадковим) розподілом амплітуд і форм створюваних структур. Однак зазначено, що у міру збільшення інтенсивності лазерного випромінювання починалася інтенсивніша перебудова поверхні та утворення періодичних структур, які можна охарактеризувати як квазівипадкові, а з подальшим збільшенням сили лазерного променя отримали квазіперіодичний і періодичний профіль. Було відзначено, що лазерне випромінювання дає змогу змінювати ступінь зсуву форми шорсткості і ексцесу обробленої поверхні. Зазначено, що анізотропія шорсткості поверхні вздовж ліній сканування лазерного променя може бути використана при розгляді питань трибології. Зроблено висновок, що наносекундне лазерне випромінювання є унікальним технологічним інструментом, що дає змогу створювати на поверхні як випадкові, так і періодичні структури. Однак висока чутливість методу вимагає особливої уваги дослідників до створення структур

Дослідження розроблено в межах НДР «Формування і трансформація періодичних нановуглецевомісних структур на поверхні металів короткоімпульсними лазерними, мікрохвильовими і плазмовими методами» (ДР №0124U000481), що виконується на замовлення МОН України.

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕРМООБРОБКИ РОЗМІРОСТАБІЛЬНИХ
ВУГЛЕПЛАСТИКОВИХ ТРУБЧАТИХ ЕЛЕМЕНТІВ**Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) армовані вуглецевими волокнами, відомі як вуглепластики, широко застосовуються в різних галузях сучасної техніки, у тому числі в конструкціях космічних та перспективних літальних апаратів. Зокрема, високомодульні вуглепластики поряд з унікальними характеристиками міцності і малою щільністю, мають високий опір втоми, меншу чутливість до концентрацій напружень, низьку швидкість поширення тріщин, що забезпечує підвищену довговічність конструкцій з цих матеріалів.

Як правило, матрицею для армованих вуглепластиків є термореактивні зв'язуючі на епоксидній основі. Ці зв'язуючі мають низьку хімічну усадку і гарантують отримання полімерних композитів з найбільш високими пружно-міцнісними властивостями, що дозволяє з вуглепластиків на їх основі виготовляти розміростабільні елементи. Тому в космічних апаратах із високомодульних вуглепластиків виготовляють трубчасті елементи (ТЕ) за технологією намотування.

Технологія намотування полягає в отриманні циліндричних виробів способом намотування ниток, волокон, стрічок, джгутів або інших рулонних матеріалів на формують циліндричну оправку з подальшою термообробкою в автоклаві або термокамері. Намотування виконують як «сухим» методом рулонним препрегом, так і «мокрим» методом, при якому намотувальний наповнювач безпосередньо перед укладанням на оправку просочують зв'язуючим.

У технології намотування істотно на одержувані фізико-механічні характеристики армованих пластиків надає технологічна схема (ТС) термообробки ТЕ, тобто. послідовність таких технологічних операцій як обтискання, витримка повітря, полімеризація, їх тривалість, черговість і поєднання. Найбільше значення в ТС термообробки має процес полімеризації або затвердіння. В результаті затвердіння фізико-механічні характеристики армованих пластиків змінюються у широких межах, що може призводити до нестабільності властивостей матеріалу у виробі. Крім того, в процесі затвердіння композитних виробів на основі термореактивних зв'язуючих, як правило, протікає екзотермічна реакція. При використанні неоптимального температурно-часового режиму затвердіння це викликає суттєвий перегрів внутрішніх шарів матеріалу, деструкцію зв'язуючого, накопичення внутрішніх напружень, що викликають зниження характеристик міцності матеріалу, короблення та зміну геометричних розмірів. Усунути зазначені недоліки і тим самим підвищити якісні показники та фізико-механічні характеристики виробів із ПКМ можна шляхом завдання оптимального температурно-часового режиму затвердіння у поєднанні з іншими технологічними прийомами. Особливо це завдання актуальне при виготовленні довгомірних трубчастих елементів.

Тому метою роботи є дослідження впливу режимів термообробки на геометричні характеристики та розміростабільність вуглепластикових довгомірних трубчастих елементів фермових конструкцій космічних апаратів.

Визначення режиму термообробки трубчастих елементів. Визначення технологічного режиму термообробки ТЕ із полімерних композитів є складним та відповідальним завданням. Воно пов'язане із суттєвими труднощами, викликаними відсутністю теорії, що описує процес термообробки, включаючи затвердіння композиту. До недавнього часу воно здійснювалося методом проб і помилок на основі виконання великої кількості тривалих експериментів або методами термічного аналізу, що включають

диференціальну скануючу калориметрію (ДСК), термомеханічний аналіз (ТМА), динамічний механічний аналіз (ДМА) і т.д.

Сучасні методи проектування оптимальних режимів термообробки та, зокрема, процесу затвердіння ПКМ базуються на використанні математичних моделей. Вони полягають у постановці та чисельному вирішенні екстремальної задачі мінімізації деякого критерію оптимальності, що забезпечує створення якісного готового виробу за мінімальний час з мінімальними залишковими напруженнями. За допомогою цих методів можна визначити режими затвердіння виробів з полімерних композитів будь-яких геометричних форм і розмірів, включаючи трубчасті довгомірні елементи фермових конструкцій.

Тому в цьому дослідженні визначення режиму термообробки ТЕ проводили у два етапи, спочатку методами математичного моделювання та оптимізації, а потім емпіричним перебором різних технологічних схем. На першому етапі проводили дослідження властивостей матеріалу, які є параметрами математичної моделі, та розраховували оптимальні режими затвердіння. На другому етапі, розраховані оптимальні режими затвердіння доповнювали різними технологічними прийомами, які неможливо математично змодельовати і проводили дослідження впливу отриманого комбінованого режиму термообробки на геометричні характеристики та розміростабільність. вуглепластикових ТЕ.

Основні завдання, які необхідно вирішити при розрахунку оптимального режиму затвердіння трубчастих елементів з ПКМ, що гарантують високу якість та низьку собівартість виробів, є наступні:

- знизити температурно-конверсійні неоднорідності матеріалу ТЕ;
- повністю затвердіти зв'язуюче в готовому трубчастому елементі;
- знизити тривалість режиму термообробки та енерговитрати;
- ущільнити композит до заданих розмірів та геометрії ТЕ.

Особливістю процесу намотування ТЕ є висока пористість виробів, що одержуються за цією технологією, викликана захопленням повітря намотувальним матеріалом у процесі намотування. Для зменшення пористості намотаного виробу намотування армуючого наповнювача здійснюють під певним зусиллям. В результаті силового намотування кожен виток, що намотується з натягом, створює певний «контактний» тиск на нижчележачі шари неотвердженого ПКМ. При цьому відбуваються міжшарова фільтрація зв'язуючого до зовнішніх шарів та переміщення у зворотному напрямку армуючого наповнювача. Це, в основному, відбувається на етапі намотування та видалення легких речовин при нагріванні та розм'якшенні зв'язуючого, витримці та обтисненні. На етапі гарячого затвердіння в автоклаві перерозподіл зв'язуючого всередині ТЕ практично не відбувається, і тому немає необхідності враховувати в математичній моделі масоперенесення та локальну зміну коефіцієнта наповнення композиту.

Математична модель процесу термообробки та затвердіння ТЕ в термокамері, при нагріванні потоком повітря, що гріє, являє собою систему диференціальних рівнянь:

- теплопровідності

$$C_i \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q_{ni} \frac{\partial \beta_i}{\partial \tau}, \quad (1)$$

$$T \equiv T(r, \tau), \quad 0 \leq R_{i-1} < r < R_i, \quad 0 < \tau \leq \tau_k, \quad i = 1, 2,$$

$$C_1 \equiv C_1(T), \quad \lambda_1 \equiv \lambda_1(T), \quad Q_{n1} = 0,$$

$$C_2 \equiv C_2(T, \beta), \quad \lambda_2 \equiv \lambda_2(T, \beta), \quad Q_{n2} \neq 0,$$

$$T(r, 0) \equiv f(r), \quad 0 \leq R_0 \leq r \leq R_2, \quad (2)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = \alpha [T_B(\tau) - T(R_0, \tau)], \quad 0 < \tau \leq \tau_k, \quad (3)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_2} = \alpha [T_B(\tau) - T(R_2, \tau)], \quad 0 < \tau \leq \tau_k, \quad (4)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_i-0} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_i+0}, \quad 0 < \tau \leq \tau_k, \quad i = 1, 2, \quad (5)$$

$$T(r, \tau) \Big|_{r=R_i-0} = T(r, \tau) \Big|_{r=R_i+0}, \quad 0 < \tau \leq \tau_k, \quad i = 1, 2, \quad (6)$$

- кінетики затвердіння

$$\frac{\partial \beta}{\partial \tau} = \begin{cases} \varphi(\beta) \exp\left[-\frac{E(\beta)}{R \cdot T}\right], & \beta < 1 \\ 0, & \beta = 1 \end{cases}, \quad (7)$$

$$\beta \equiv \beta(r, \tau), \quad 0 \leq R_1 < r < R_2, \quad 0 < \tau \leq \tau_k,$$

$$\beta(r, 0) = \beta_0(r), \quad 0 \leq R_1 < r < R_2, \quad (8)$$

$$h = R_2 - R_1. \quad (9)$$

де C – об'ємна теплоємність, Дж/(м³·К); E – енергія активації затвердіння, Дж/моль; f – початковий розподіл температури, К; h – товщина стінки ТЕ, м; Q_n – повний тепловий ефект, Дж/м³; i – номер шару; R – універсальна постійна газова; R_i, r – еквівалентний радіус, м; T – температура, К; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); β – ступінь затвердіння; φ – кінетична функція, 1/с; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); τ – час, с; шари: 1 – формуюча оправка, 2 – ТЕ з ПКМ.

При термообробці в автоклаві ТЕ, що затверджується (шар 2) із зовнішнього боку нагрівається потоком повітря, що обігрівается, при температурі $T_B(\tau)$. Тепло до внутрішньої поверхні ТЕ підводиться через формуювальну оправку (шар 1) потоком повітря, що обігрівается. У результаті на зовнішній поверхні ТЕ і внутрішній поверхні оправки має місце вимушений конвективний теплообмін за законом Ньютона, тобто здійснюється гранична умова третього роду. Температура повітря, що гріє $U(\tau) = T_B(\tau)$ є керуючим впливом, за допомогою якого матеріал ТЕ, що затверджується, піддається температурному навантаженню за певним строго заданим режимом.

Запропонована математична модель, доповнена конкретними характеристиками композиту, була використана для розрахунку режиму затвердіння ТЕ.

Необхідні для вирішення рівнянь математичної моделі характеристики композиту визначаються з дослідів з використанням спеціальних методів та установок, що відтворюють умови, близькі до технологічного процесу намотування. Було розроблено низку методів, алгоритмів та інформаційно-вимірювальну систему (ІВС) дослідження процесу затвердіння полімерних композитів. ІВС дозволяє досліджувати в процесі затвердіння наступні характеристики ПКМ: теплофізичні характеристики (об'ємну теплоємність $C(T, \beta)$ та теплопровідність $\lambda(T, \beta)$ залежно від температури T та ступеня затвердіння (β), потужність тепловиділень $W(\tau)$, повний тепловий ефект затвердіння Q_n , кінетичні характеристики (енергію активації процесу затвердіння $E(\beta)$, кінетичну функцію $\varphi(\beta)$, що включає швидкість і порядок хімічної реакції). Інші параметри матеріалу та виробу, такі як товщина одного шару зв'язуючого, щільність, маса, кількість шарів вуглецевого волокна у виробі задаються з проектною документації або визначаються за стандартними методиками. Досліджені за допомогою ІВС характеристики ПКМ є інформаційною основою для комп'ютерного моделювання різних ситуацій у процесі затвердіння та розрахунку оптимальних режимів затвердіння вуглепластикових ТЕ.

Математична постановка задачі оптимізації процесу затвердіння ТЕ полягає в пошуку температурно-часового режиму повітря, що гріє $U(\tau) = T_B(\tau)$, що є керуючим впливом, який

доставляє мінімум деякому критерію оптимальності $I_{\tau_k} = \min_{U(\tau; \tau_k)} \int_0^{\tau_k} d\tau$ і забезпечує створення

якісного готового виробу з мінімальною тривалістю процесу τ_k при виконанні зв'язків в вигляді математичної моделі (1)-(9), що відповідає розглянутій технології намотування та термообробки, а також обмеженням у вигляді нерівностей, що накладаються на процес з урахуванням допустимих обладнанням температурно-часових режимів.

Шуканий ступінчастий температурно-часовий режим перебуває у вигляді

$$U_j(\tau) = \begin{cases} \tilde{T}_{j-1} + \tilde{K}_j \tau, & \tau_{j-1} < \tau < \tau_{n_j} \\ \tilde{T}_j, & \tau_{n_j} \leq \tau \leq \tau_j \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, k_{\text{ст}},$$

де \tilde{K}_j – швидкість нагрівання поверхні ТЕ, К/с; $k_{\text{ст}}$ – кількість шаблів нагріву; \tilde{T}_j – температура ізотермічної витримки на j -го ступеня нагріву, К.

Численні значення обмежень, що виражають зв'язок з механічними характеристиками композиту, визначені експериментально.

Для дослідженого типу вуглепластику на основі епоксидного зв'язуючого ЕДТ-10, армованого вуглецевим джгутом УКН-5000 було виконано чисельний розрахунок температурно-конверсійних полів при затвердінні та розрахунок оптимальних режимів затвердіння ТЕ з урахуванням різних технологічних схем. В результаті отримали можливість, використовуючи розраховані оптимальні режими, досліджувати різні технологічні схеми виготовлення ТЕ.

Висновки:

1. Проведено аналіз сучасного стану створення розміростабільних трубчастих елементів і технологічних проблем, що виникають при їх виробництві.
2. Показано, що поряд з емпіричними методами дослідження впливу різних технологічних схем на розміростабільність трубчастих елементів корисним є використовувати для термообробки оптимальний температурно-часовий режим та на його основі вибрати оптимальну технологічну схему.
3. Запропоновано математичну модель процесу термообробки трубчастих елементів методом намотування, показано шляхи оптимізації режиму затвердіння вуглепластикових ТЕ.
4. Виконано чисельний розрахунок температурно-конверсійних полів при затвердінні та розрахунок оптимальних режимів затвердіння трубчастих елементів з урахуванням різних технологічних схем.

Pylypenko M. M., Dr. Sc.
 pylypenko1957@gmail.com
Stadnik Yu. S., junior researcher
 stadnikus@kipt.kharkov.ua

NANOSTRUCTURED ZIRCONIUM MATERIALS

National Science Center “Kharkiv Institute of Physics and Technology”

Nanomaterials and nanotechnology research in the 21 st century promises breakthroughs in areas such as materials, nanoelectronics, energy, medicine, biotechnoly, information technology and security [1]. Materials' properties can be modified at the nanoscale to providedesired attributes. Enhancing mechanical, thermal, and electrical properties are the goalsof nanocomposites, which incorporate nanoparticles into bulk materials. They have uses in consumer goods, construction, automobile, aerospace, and the automotive industry.

The use of the latest engineered nanomaterials in nuclear energy systems has opened doors for improving the performance and safety of nuclear power. Nuclear nanotechnology deals with the use of engineered nanomaterials for future nuclear energy applications.

In medicine, the use of nanometric or nanostructured materials has resulted in nanomedicine, which benefits from the unique properties of these materials to improve the diagnosis and treatment of diseases [2].

The aim of the work is to obtain a nanostructured zirconium alloy and study the properties of this material.

The initial material for nanostructured zirconium materials obtained was zirconium and Zr1%Nb alloy ingots [3]. The chemical composition of the alloy ingots is presented in Table 1. Ingots were checked for internal defects by ultrasonic method using a UD-270 device with a set of emitters, which allows detecting defects as small as 100 μm .

Table 1

The content of impurities in zirconium ingots, wt.%

Element	N	C	O	Fe	Si	Ni	Ti
wt. %	0.006	0.016	0.14	0.03	0.01	0.01	0.001
Element	Al	Ca	Cr	Mn	Hf	Nb	Zr
wt. %	0.003	0.03	0.001	0.0005	0.024	1.0	98.7

For production of a fine dispersion structure of zirconium alloys hot forging of ingots to wrought barstock was used. Ingots for forging were heated in a furnace to a temperature of 850 °C and then forged using a pneumatic air forging hammer MA4136. After machining the wrought barstocks, subsequent deformation was carried out on a rolling mill in shaped rolls at room temperature. The maximum percentage of deformation did not exceed 45%. After rolling zirconium or zirconium alloy was then subjected to an abrasive surface preparation process by centerless grinding machine. The abrasive surface preparation process was used to induce an altered surface roughness (R_a). The appropriate altered surface roughness is induced by altering the pre-existing surface roughness to an altered surface roughness of such a magnitude as alloy, each having a fined microstructure and an appropriately altered surface roughness, is subjected to an oxidation process. After such processing, bars with diameters of 16-30 mm and a lengths of 300-500 mm were obtained.

The structure and microhardness of the samples were studied in the longitudinal and transverse sections of the resulting bars. The microstructure of the samples was studied by the standard metallographic method on an MMP-4 optical microscope. The microhardness (H_{μ}) measurements were made using a PMT-3 device; the load used was 0.1 kg. The Brinell hardness (HB) measurements were made using a TSh-2 device; the load used was 100 kg. Studies of the mechanical properties of zirconium rods were carried out on the installation Instron-5581 at a temperature of 20 °C.

The surface structure of the obtained coating and their elemental composition were investigated by the autoemission scanning electron microscope JSM-7001F with energy dispersive microanalysis system INCA Energy 350.

The microstructure was analyzed at each processing steps. The microstructure of the studied alloys after hot forge and rolling are given in Fig. 1, *a* and *b*. The structure obtained during the forge process is heterogeneous (see Fig. 1, *a*). The structure of zirconium alloy after rolling is homogeneous fine (see Fig. 1, *b*) and an acceptable degree of fine microstructure for formation of a tightly adhered, diffusion-bonded coating of uniformly thick zirconium oxide on its surface. Microstructural analysis showed that as a result of the application of free forge at high temperature and hot rolling, bars of zirconium alloys were obtained in a finely dispersed (nanostructured) state.

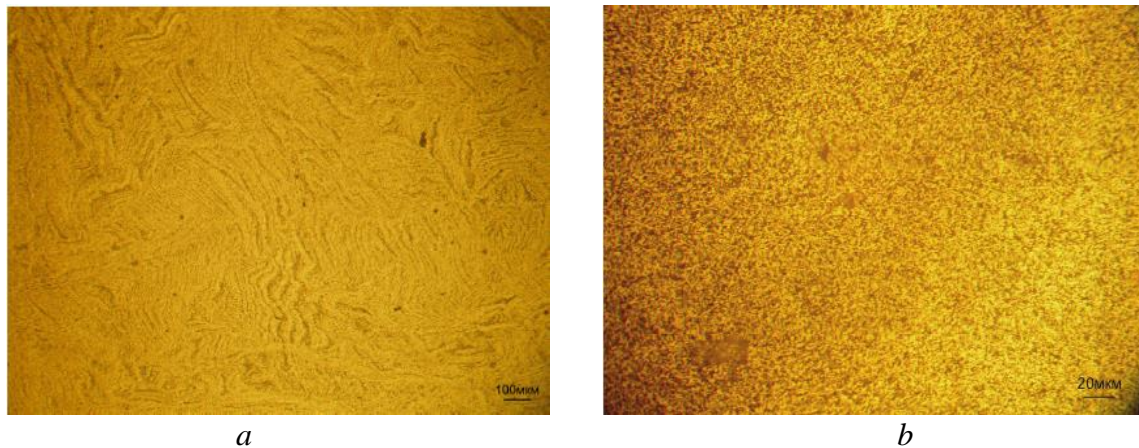


Fig. 1. The microstructure of the Zr1%Nb alloy after hot forge (*a*) and rolling (*b*) in transverse section of the resulting bars

The tested values of microhardness and Brinell hardness of the zirconium alloy after various processing are tabulated in Table 2 [4]. Comparing the values of hardness of the obtained bars is observed increasing the values of hardness for alloys after hot forge and rolling.

Recrystallization annealing of the obtained zirconium bars was carried out to relieve internal stresses arised during machining. Recrystallization annealing was carried out without structural change, while the values of microhardness and hardness decreased as shown in Table 2.

Table 2

Comparison of results of measurement the values of hardness

Hardness	Values of hardness of Zr1%Nb		
	Hot forging	Hot forging and rolling	Annealing
H _μ , MPa	2100	2360	2210
HB, MPa	2500	2770	2090

The mechanical properties of the resulting zirconium rods, as well as for comparison, data for titanium alloys, are given in Table 3.

Table 3

The mechanical properties of the resulting Zr1%Nb rods. In the last columns the data for the titanium alloys is given for comparison

Property	Zr1%Nb		BT-1-0*	BT-6**
	After deformation	After annealing		
Ultimate tensile strength, MPa	910-920	630-670	355-540	860
Yield strength, MPa	630-420	340-390	—	780

* – GOST 26492-85; ** – ISO 5832-3

A comparative analysis of these data shows that according to the indicated parameters, the zirconium alloy meets the requirements of the ISO 5832 standard (Implants for surgery – Metallic materials) and has higher physical and mechanical properties than some titanium alloys.

The obtained results indicate that the use of a zirconium alloy with special mechanical and thermal treatment, in comparison with traditional titanium alloys, makes it possible to obtain structural elements with a predominantly higher level of mechanical properties responsible for the operational durability of the products [3, 4].

Thus, the peculiarities of production nanostructured alloy Zr1%Nb using methods of hot forging and rolling were investigated. Basic properties of this material were studied. The resulting nanostructured zirconium alloy can be used for the fabrication of implants in bone surgery and dentistry, as well as for the manufacturing of surgical instruments. In addition, such material has a finely dispersed microstructure with strong intercrystalline bonds which will improve the conditions of their mechanical processing and increase strength and can be successfully used in other fields of science and technology.

List of references

1. Prakash Sharma, V. Advance Applications of Nanomaterials: A Review / V. Prakash Sharma, U. Sharma, M. Chattopadhyay, V. N. Shukla // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – 5(2). – P.6376–6380. <https://doi:10.1016/j.matpr.2017.12.248>
2. Luk'yanchenko, V. V. Metals in implantology / Luk'yanchenko V. V., Malyasova M. G. // *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*. – 2010. – № 3. – P. 130-132.
3. Лук'янченко В. В., Пилипенко М. М. Спосіб виготовлення імплантатів із сплавів цирконію // Патент на корисну модель № 105181. Номер заявки u201507984. Дата подання 11.08.2015. Публікація 10.03.2016, Бюл.№5.
4. Pylypenko, M. M. Zirconium materials for medical applications / M. M. Pylypenko, A. O. Drobyshevska, R. V. Azhazha, I. G. Tantsyura, V. M. Pelykh // *Problems of Atomic Science and Technology*. – 2024. – №1. – P. 59-63. <https://doi.org/10.46813/2024-149-059>

ОТРИМАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СКЛАДНОГО КАТОДНОГО ВУЗЛА ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ПЛАЗМИ

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

Вимоги підвищення працездатності деталей машин та обробного інструменту у різних галузях промисловості висувають особливі умови до формування їх поверхневих шарів. Останнім часом при створенні покриттів з підвищеними функціональними характеристиками все частіше застосовують багатокомпонентні покриття. Для цього використовують композиційні катоди (системи Co-Cr-Fe-Ni-Mn [1], Zr-Ti-Na-Hf-V-Nb [2] та ін.). Кількість видів багатокомпонентних покриттів, в тому числі багат шарових, градієнтних, наноструктурних, доступних на інструментальному ринку, наразі нараховується більше сотні [3, 4].

В роботі наведено конструкцію і описано принцип дії розробленого імпульсного вакуумно-дугового джерела плазми (рис. 1) зі складовим катодним вузлом (рис. 2) для отримання багатокомпонентних покриттів.

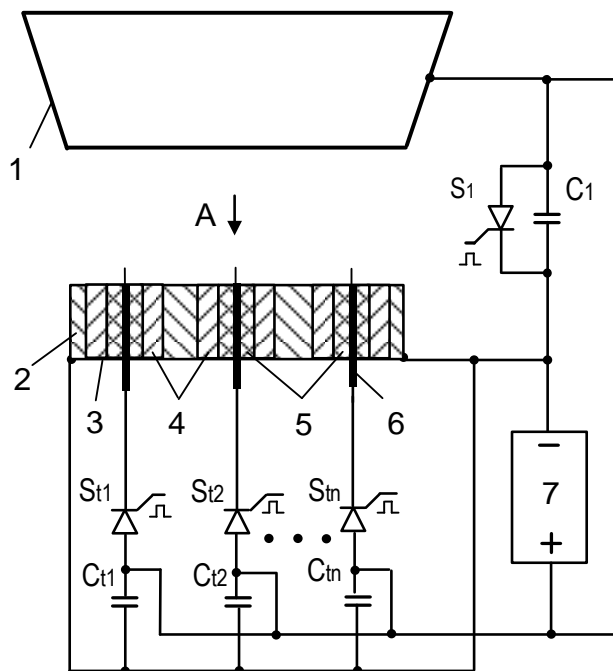


Рис. 1. Імпульсне вакуумно-дугове джерело плазми зі складовим катодним вузлом:
 1 – анод; 2 – основа катодного вузла; 3 – торець складного катоду, що охолоджується; 4 – циліндричні вставки у з металів, що входять до складу покриття;
 5 – ізолятор; 6 – підпалюючий електрод; 7 – джерело живлення

При розробці імпульсного вакуумно-дугового джерела плазми зі складовим катодом було здійснено наступне:

1. Забезпечено ефективне охолодження складового катодного вузла за рахунок виконання основи катоду з металу з високою теплопровідністю. Додатково ефективному

охолодженню вставок сприяє їх рівномірне розташування (на одній і тій же відстані одна від одної) по концентричних колах відносно осі основи. Такий режим охолодження вставок при роботі катодного вузла створює їх низку температуру, близьку до температури охолоджувальної рідини, що, відповідно, приводить до зменшення кількості крапель у плазмовому потоці джерела плазми, тобто отримання покриттів високої якості.

2. Ресурс системи ініціювання вакуумної дуги на складовому катодному вузлі джерела плазми збільшено у N разів, де N – кількість застосованих вузлів підпалювання, що в стільки ж разів підвищує надійність джерела плазми з запропонованим катодним вузлом. Більш того, таке технічне рішення дозволяє джерелу плазми працювати в імпульсному режимі з тривалістю імпульсів у мікросекундному діапазоні. Це, в свою чергу, забезпечує зменшення, порівняно зі стаціонарною дугою, кількості макрокрапель у плазмовому потоці, який потрапляє на підкладку і формуванню якісних покриттів.

3. Розроблено методику визначення тривалості імпульсів дуги на втулках з різних металів [5], коли катодна пляма дуги існує тільки на робочому торці втулки (ця умова забезпечує відсутність несанкціонованого потрапляння матеріалів складового катода до покриття).

4. Показано взаємозв'язок між вмістом матеріалу вставок у покритті і їх фізико-технічними характеристиками та параметрами вакуумно-дугових імпульсних розрядів, які виникають на робочій поверхні втулок.

Запропонований складовий катодний вузол (рис. 2) має основу, виконану з металу, що має високу теплопровідність, у вигляді циліндра з торцями, один з яких охолоджується (3). В основі катода виконані наскрізні отвори, які розташовані рівномірно по концентричних колах відносно осі основи 8 і 9 і в які вмонтовані циліндричні вставки з металів, що входять до складу покриття. Вставки мають форму втулок і довжину, однакову з товщиною основи та вакуумно щільно вмонтовані у основу. Всередину кожної втулки щільно вмонтовано ізолятор з підпалюючим електродом. У випадку, коли матеріал основи входить до складу покриття, замість, як мінімум одного отвору для втулки, у циліндричній основі виконано отвори, в якій вакуумно щільно вмонтовано ізолятори з підпалюючим електродом.

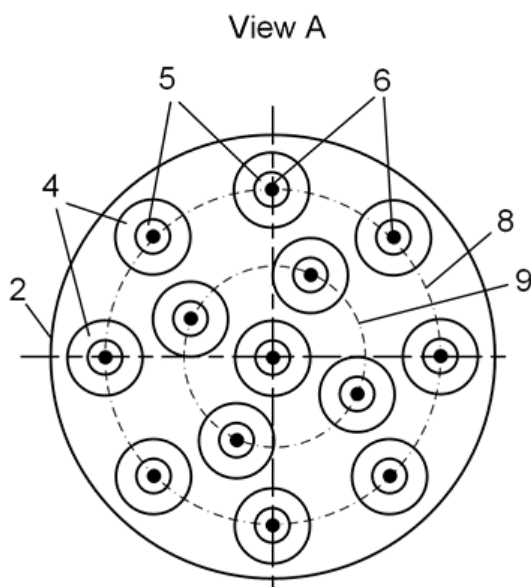


Рис. 2. Складовий катодний вузол імпульсного джерела плазми:
8,9 – концентричні кола, по яким рівномірно розміщені вставки;
інші позиції як на рис. 1

Для випробувань було виготовлено складовий катод згідно рис. 2, якій містив 13 вставок: вісім з титану, розміщених по концентричному відносно осі основи колу 8;

чотири з цирконію, розміщених по концентричному відносно осі основи колу 9 і одна з молібдену, яка була розміщена у центрі основи. Для забезпечення герметичності між робочим торцем і торцем, що охолоджується, складового катодного вузла він виготовлявся в такий спосіб. Спочатку на металеві втулки 4, ізолятори 5 (трубки з кераміки 22ХС) і підпалюючи електроди 6 наносили у зоні їх поєднання шар сполучного матеріалу, в якості якого використовували силікат натрію ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Після витримки цих елементів при кімнатній температурі протягом години, їх поєднували і в такому зібраному вигляді поміщали в муфельну піч шахтного типу, в якій поступово підвищували температуру до 1200 °С. Після витримки при цій температурі протягом 30 хв. і наступного остигання, вузли з елементів 4, 5, 6. були готовими. На наступному етапі виготовлені вузли запресовували в отвори основи катоду 2 по посадці з натягом, яка забезпечує герметичність. На цьому процес виготовлення складового катодного вузла завершувався.

Після встановлення виготовленого складового катодного вузла у вакуумно-дугове джерело плазми його (джерело) встановлювали на вакуумну камеру установки «Булат-6», в якій були розміщені чотири зразки і на які здійснювалось осадження покриттів. Вакуумну камеру відкачували до робочого тиску ($2 \cdot 10^{-3}$ Па) і подавали напругу на анод 1 і складовий катод 2 джерела плазми від формуючої лінії (на рис. 1 умовно позначено C_1), яка заряджалась від джерела живлення 7. Після цього здійснювали осадження покриття на зразки, збуджуючі пускові імпульсні розряди по робочій поверхні ізоляторів 5 послідовним вмиканням комутуючих елементів $S_{t1} \dots S_{tn}$. В нашому випадку застосовувався алгоритм послідовного збудження вакуумно-дугового розряду на вставках з плазмоутворюючих матеріалів. Слід відмітити, що зміною алгоритму збудження вакуумної дуги на вставках складового катоду з різних металів можливо в широкому діапазоні змінювати склад отриманих покриттів. Наведений на рис. 1 комутуючий елемент S_t забезпечував необхідну тривалість імпульсів для кожної групи вставок з одного металу,

Практичні випробування розробленого джерела плазми у режим нанесення покриттів: амплітудне значення струму дуги – 450 А, тривалість імпульсів дуги на титані та цирконію – 50 мкс, на молібдені – 45 мкс, на алюмінії – 330 мкс, частота проходження імпульсів – 25...500 Гц, час нанесення покриттів 30 хв. показали, що отриманні багатокомпонентні покриття мають товщину близько 4 мкм і вміст компонент у складі покриттів, який вивчався за допомогою електронного мікроскопа РЕМ-106 із системою енергодисперсного мікроанализу, пропорційний сумарній тривалості знаходження імпульсного вакуумно-дугового розряду на них.

Список використаних джерел

1. Stepanov, N. D. Effect of carbon content and annealing on structure and hardness of the CoCrFeNiMn-based high entropy alloys / N. D. Stepanov, N. Yurchenko, M. Tikhonovsky, G. Salishchev // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2016. – Vol. 687. – P. 59–71.
2. Соболев, О. В. Вплив тиску робочої атмосфери на формування вакуумно-дугових покриттів ZrN та (Zr-Ti-Na-Hf-V-Nb)N / О. В. Соболев, А. О. Андреев, І. В. Сердюк, та ін. // *Вісн. Націон. Техн. ун-ту «ХП»*, серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». – 2014. – № 60. – С. 9-14.
3. Cselle, T. Dedication – Integration – Offenheit / T. Cselle // *Werkzeug Technik*. – 2011. – № 118. – P. 2–7.
4. Каталог фірми PLATIT // PLATIT AG, 2012. – 108 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ІМПУЛЬСІВ ДУГИ НА ЕЛЕМЕНТАХ З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ СКЛАДОВОГО КАТОДА ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ПЛАЗМИ

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

Для отримання якісних багатоелементних покриттів необхідно, по-перше, створювати багатоелементну плазму, що можна зробити використанням складових катодів з елементів (зазвичай, вони виконані у вигляді втулок з різних металів), які входять до складу покриття [1], по-друге, застосовувати імпульсний режим роботи вакуумно-дугових джерел плазми, в якому кількість крапель матеріалу катода у плазмі, що генерується, у порівнянні зі стаціонарним режимом, набагато менше [2].

Збудження імпульсної вакуумної дуги за допомогою ізолятора з підпалюючим електродом на робочому торці втулки складового катода приводить до випаровування металу, з якого зроблена втулка, і потраплянню його до покриття. Досягти умов, коли катодна пляма дуги існує тільки на робочому торці втулки (ця умова забезпечує відсутність несанкціонованого потрапляння матеріалів складового катода до покриття), можливо виключно в імпульсному режимі горіння вакуумної дуги при тривалості імпульсів не більш часу, потрібного для проходження катодної плями проміжку від місця її виникнення (межа на робочій поверхні втулки між її внутрішньою поверхнею і ізолятором) до межі між її зовнішньої поверхнею і поверхнею основи. Оскільки величина такого проміжку мала (декілька міліметрів), а швидкість руху катодної плями може досягати декілька десятків метрів у секунду [3], то тривалість імпульсів вакуумної дуги не може перевершувати декілька десятків мікросекунд. Треба враховувати також те, що швидкість руху катодної плями залежить від фізико-технічних характеристик матеріалу, на якому вона існує і величини магнітного поля, яке зазвичай присутнє у джерелах плазми для фокусування плазмового потоку на тримач підкладки, а також ряду інших обставин. Тому тривалість дугового розряду на вставках з різних металів для виконання умови її існування тільки на робочій поверхні втулок буде різною.

Для визначення тривалості імпульсів дуги, коли катодна пляма існує тільки на робочій поверхні втулки, для різних матеріалів втулок було виконано серію таких експериментів. Виготовлялись катоди, у яких в основу були вмонтовані втулки (всього 13 втулок) тільки з одного із матеріалів – титану, цирконію або молібдену. Основа являла собою циліндр з алюмінію діаметром 60 мм і товщиною 10 мм. Після установки такого катода в імпульсне джерело плазми і розміщенні зразка на тримачі підкладки, він починав працювати 15 хвилин в режимі збудження імпульсної дуги тільки на одній вставці при тривалості імпульсів дуги 30 мкс, коли гарантовано катодна пляма дуги існувала тільки на робочій поверхні вставки. Далі, за допомогою системи енергодисперсного мікроаналізу електронного мікроскопа РЕМ-106 досліджувався склад покриття на отриманому зразку. Коли в покритті був відсутній алюміній, процес повторювали – в вакуумну камеру загрузався інший зразок, і нанесення покриття здійснювалось при роботі катодного вузла на наступній вставці при збільшуваній на 5 мкс тривалості імпульсного дугового розряду. Тривалість імпульсів вакуумної дуги регулювалася комутуючим елементом (тиристором), якій з'єднував анод і катод джерела плазми. Спрацьовування такого тиристора приводило до припинення дугового розряду.

Так відбувалося до моменту, поки в покритті на зразку не з'являвся алюміній. Після цього визначали максимальну тривалість імпульсів дуги на даному матеріалі вставці, коли катодна пляма імпульсної дуги існує тільки на робочій поверхні вставки, як останню

тривалість імпульсів, при якій в покритті на зразках був відсутній алюміній. Виконані дослідження показали, що матеріал основи не з'являється у покритті зразків при максимальній тривалості імпульсів дуги: на втулках з титану і цирконію – 50 мкс; на втулках з молібдену – 45 мкс.

У випадку, коли до складу покриття входив матеріал основи (алюміній), використовувалась конструкція катодного вузла, в якій замість втулок встановлювались тільки ізолятори з підпалюючим електродом. У цьому разі, оскільки швидкість руху катодної плями на алюмінії на порядок менше ніж на титані, цирконії і молібдені [3], то тривалість імпульсів дуги на алюмінії треба значно збільшувати. Це пов'язано з тим, що при великій різниці у швидкості руху катодної плями на матеріалах при однакової тривалості імпульсів вакуумної дуги буде спостерігатися суттєва різниця у розмірах зон вироблення (випаровування) на вставках з цих металів. Так, при однакової тривалості імпульсів вакуумної дуги у 50 мкс ширина зони вироблення на вставці з титану буде становити близько 2,5 мм, а на вставці з алюмінію ширина цієї зони не буде перевищувати 0,15 мм. Така мала зона вироблення на вставці з алюмінію буде призводити до швидкого її вироблення і занурення катодної плями вглиб вставки. Це, у свою чергу, буде призводити до зниження надійності збудження вакуумної дуги на ней і пропускам імпульсів дуги на вставці. Такий процес є небажаним, оскільки неконтрольовано буде зменшувати вміст алюмінію у покритті.

Для запобігання цьому явищу треба збільшувати зону вироблення на матеріалі з низькою швидкістю пересування катодної плями. (у цьому випадку – на алюмінії). Це можна зробити, збільшуючи тривалість імпульсів вакуумної дуги на такому матеріалі. Так, при збільшенні тривалості імпульсів дуги на вставці з алюмінію до 665 мкс, отримуємо зону вироблення на ней близьку до 2 мм, що вже є прийнятним.

Імпульсний режим роботи джерела плазми при визначених тривалостях дуги забезпечує вироблення тільки матеріалів вставок при мінімальній кількості краплин, які потрапляють у покриття. Більш того, при виробленні вставок стінки, які утворюються, перешкоджають потраплянню крапель у генерований плазмовий потік [1], що покращує якість покриттів.

Таким чином, виконані експериментальні дослідження визначили тривалості імпульсів вакуумної дуги на вставках з різних матеріалів, коли здійснюється вироблення тільки матеріалу цих вставок, що дозволяє отримувати багатокомпонентні покриття заданого складу при високій їх якості.

Список використаних джерел

1. Андреев, А. О. Технологія машинобудування. Основи отримання вакуумно-дугових покриттів : підруч. / А. О. Андреев, В. М. Павленко, Ю. О. Сисоев. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 288 с.

МЕТОДИ НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ ТА ЇХ КОМБІНУВАННЯ

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

Нанесення покриття – це складний процес котрий поєднує в собі багато напрямків: матеріалознавство, фізика, хімія. Існують різні методи нанесення покриттів пов'язані з термічним нагрівом та розпиленням. Хімічні та хімічно-термічні методи пов'язані з використанням агресивного середовища та високої температури. Серед фізичних методів, можна виділити: на основі випаровування матеріалу та на основі розпилення матеріалів.

Широко застосовується тліючий [1] та дуговий розряд за рахунок характерних властивостей, таких як висока адгезія, збереження хімічного складу вихідного матеріалу, однорідність кристалічної структури. Тліючий розряд формується за високих тисків газів в реакторі ($10^2 \dots 10^1$ Па), що погіршує адгезію покриття та впливає на хімічний склад. Для зменшення тиску та, відповідно збільшення швидкості нанесення покриття, використовується метод магнетронного розпилення. За рахунок магнітних полів відбувається ефективно транспортування розпиленого матеріалу та зменшення тиску в реакторі. Недоліком магнетронного розпилення є необхідність охолодження підкладки. Впровадження імпульсної подачі живлення на підкладки або електроди формує короточасні високопотужні розряди, котрі зменшують її температуру. Комбінування методів для поліпшення характеристик, таких як густина покриття, шорсткість, зносостійкість, термічна стійкість, ковзання та адгезія розширює можливості індивідуальних методів. При гібридних методах нанесення покриття [2] відкривається можливість для формування наноструктурованого покриття з покращенням між фазовою адгезією та зміною структури покриття. Наступна схема подає структуру методів фізичного осадження з парової фази на основі випаровування та розпилення матеріалу з урахуванням переваг та недоліків цих методів (рис.1).

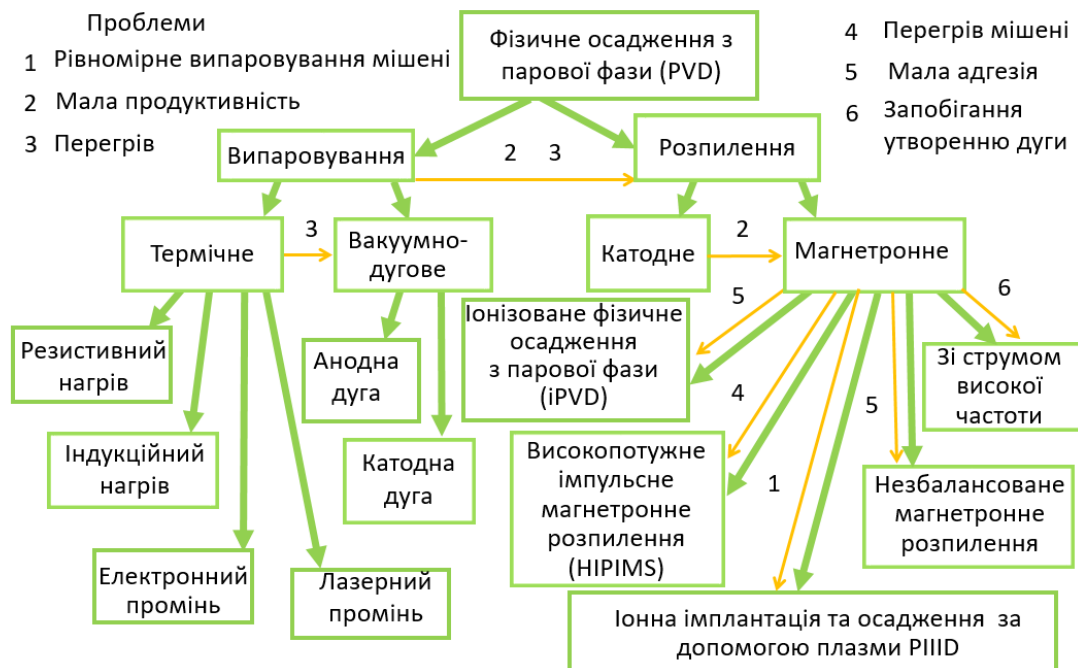


Рис. 1. Схема розподілу методу фізичного осадження з парової фази

Присутні два методи фізичного осадження з парової фази – випаровування та розпилення. Розпилення показує кращу продуктивність та запобігає перегріву. При розпиленні

потрібно покращувати адгезію матеріалу, запобігати утворенню дуги, та не перегрівати мішень і рівномірно її випрацьовувати. Рухатись в цьому напрямку дають можливість окремі методи які вирішують одну з проблем. При комбінуванні декількох методів потрібно прагнути до формування кращих параметрів процесу осадження матеріалу та покращення характеристики покриття.

Список використаних джерел

1. Simeni, M. S. Townsend to glow discharge transition for a nanosecond pulse plasma in helium: space charge formation and resulting electric field dynamics / Marien Simeni Simeni, Yashuang Zheng, Edward V Barnat, Peter J Bruggeman // Plasma source science and technology. – 2021. – 30. – 055004. – 12 pp. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6595/abf320>
2. Vetter, J. Characterization of advanced coating architectures deposited by an arc-HiPIMS hybrid process /J. Vetter, K. Kubota, M. Isaka, J. Mueller, T. Krienke, H. Rudigier // Surface & Coatings Technology. – 2018. – DOI:10.1016/j.surfcoat.2018.05.075

Широкий Ю. В., к.т.н, професор
i.shyrokyi@khai.edu
Торосян-Жидєєва Г. Д., аспірант
goarita88@gmail.com
Торосян О. В., ст. викладач
o.tarasyan@khai.edu

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ В ЗОНІ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА СТАЛІ З РІНИМ ВМІСТОМ ВУГЛЕЦЮ

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

Для високовуглецевих сталей У8 і У12 при дії теплового потоку $3 \cdot 10^{10}$ Вт/м² і $2,5 \cdot 10^{10}$ Вт/м² максимальні температури перевищують також 1500 К і наближаються до 2000 К, але час дії таких температур не перевищує $2 \cdot 10^{-7}$ с. Для таких матеріалів при інших режимах до часу дії 10^{-6} с температурний режим сприяє утворенню наноструктур, та й швидкість наростання температур перевищує 107 К/с. Це підтверджує, що і для таких матеріалів висока ймовірність утворення наноструктур [1].

Оцінити розмір зони утворення наноструктури можна за радіусом зони утворення наноструктур. Для цього побудована просторово-часова картина розподілу температур по радіусу та в часі для сталі 40Х при дії теплового потоку з щільністю $3 \cdot 10^{10}$ Вт/м² при радіусі плями 0,1 мм.

Видно, що за радіусом температура знижується в порівнянні з максимальною на 200...250 К, що свідчить про незначний вплив зони, де температура перевищує допустиму (1500 К), на характер зростання зерна, який буде незначним. Все це ще раз підтверджує можливість отримання наноструктур у шарі глибиною порядку мікрометрів і радіусом більше 0,1 мм.

Для вибору технологічних параметрів лазерного випромінювання при отриманні наноструктур на основі проведених розрахунків температур і швидкостей їх наростання були побудовані залежності критичних щільностей теплових потоків $q_{кр\ max}$ і $q_{кр\ min}$ від часу їх дії, при яких утворюються наноструктури на сталі 40Х (рис. 1).

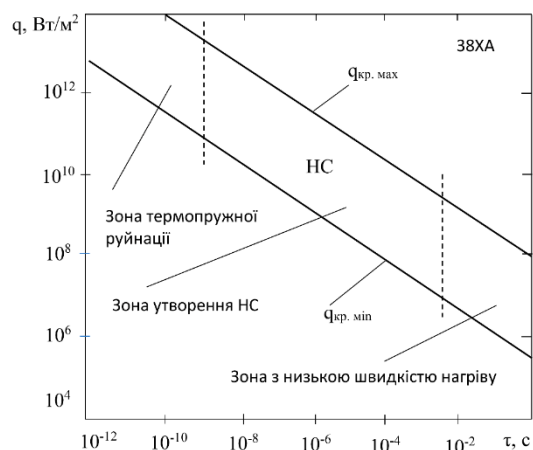


Рис. 1. Залежність критичних значень щільностей теплових потоків, що забезпечують отримання наноструктур від часу їх дії

Видно, що зона технологічних параметрів, що забезпечує отримання наноструктур, обмежена прямими $q_{кр\ max}$, $q_{кр\ min}$, зоною, де недостатня швидкість росту температури і

зоною, де висока ймовірність термопружного руйнування [2,3]. Показано можливість вибору технологічних параметрів лазерного випромінювання, щільності теплового потоку та часу його дії, що забезпечують одержання наноструктур у поверхневому шарі.

Список використаних джерел

1. Baranov, O. Current Distribution on the Substrate in a Vacuum Arc Deposition Setup. / O. Baranov, M. Romanov, // Plasma Processes and Polymers. – 2008. – № 5. – P. 256.
2. Bazaka, K. On the growth and electrical characterization of CuO nanowires by thermal oxidation / K. Bazaka, O. Baranov, U. Cvelbar, B. Podgornik, Y. Wang, S.Huang, L. Xu, J. W. M. Lim, I. Levchenko, S. Xu // Nanoscale. – 2018. – № 10. – P. 17494–1751.
3. Shyrokyj, Y. V. Simulation of an arc discharge on copper cathode for the generation of nanostructures / Y. V. Shyrokyi, G. I. Kostyuk // Open Information and Computer Integrated Technologies, – № 91. – 2021. – С. 62–76.

Shirokii Iu., associate professor
i.shyrokyi@khai.edu
Torosian O., senior lecturer
o.tarasyan@khai.edu
Zhydieiev P., postgraduate
p.r.zhydieiev@khai.edu

STUDY OF OPTIMAL LASER PARAMETERS FOR OBTAINING NANOSTRUCTURES IN THE SURFACE LAYERS OF CARBON STEEL

National Aerospace University named after M. Ye. Zhukovskiy
«Kharkiv Aviation Institute»

For the general verification of the model, the temperature fields in the zone of action of laser radiation on steel 20 (Fig. 1. a) and steel 50 (Fig. 1. b) were determined, and both the heating and cooling processes were considered. Calculations were performed for heat flow densities and time of its action, which are close to those required for obtaining nanostructures (500...2000 K), and at a rate of temperature increase exceeding 107 K/s. Yes, in fig. 1 shows the dependences of the maximum temperature in the spot $r = 0,1$ mm under the action of heat flows with peak densities $q_{1max} = 10^{10}$ W/m², $q_{2max} = 2 \cdot 10^{10}$ W/m² and $q_{3max} = 3 \cdot 10^{10}$ W/m² with an action time of 10^{-7} with steel 20 (Fig. 1, a) and steel 50 (Fig. 1, b).

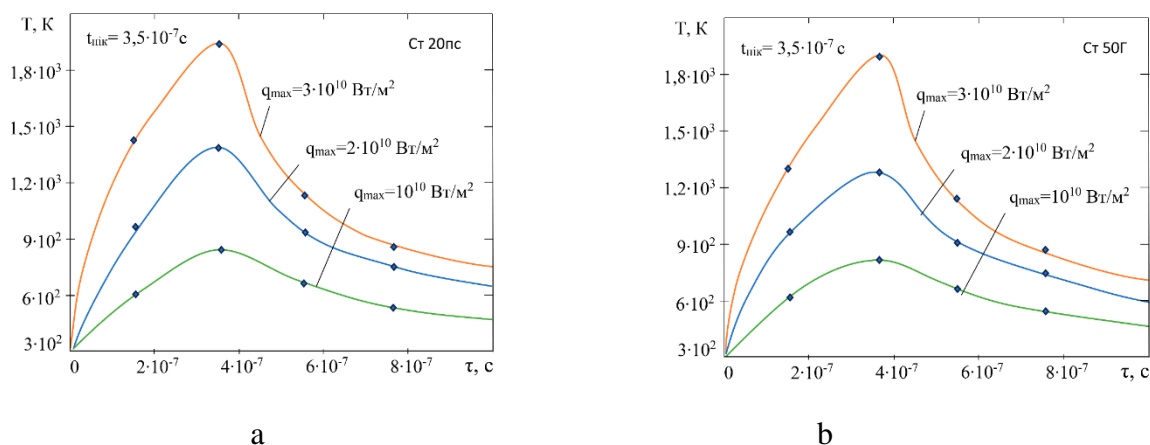


Fig. 1. Temperature distribution at a depth of 1 μ m during the action of laser radiation on steel 20 – a and steel 50 – b. The peak density of the heat flux acting at the initial moment of time is $3,5 \cdot 10^{-7}$ s

Also, in order to determine the optimal technological parameters of laser radiation when obtaining nanostructures, based on the calculations of temperatures and their growth rates, the dependences of the critical heat flow densities $q_{kp\ max}$ and $q_{kp\ min}$ on the time of their action, during which nanostructures are formed on 40X steel, were constructed.

The zone of technological parameters that ensures the production of nanostructures is limited by the lines $q_{kp\ max}$, $q_{kp\ min}$, the zone where the rate of temperature growth is insufficient and the zone where the probability of thermoelastic destruction is high. The paper shows the range of choice of which technological parameters of laser radiation, i.e. heat flux density and its action time, which ensure the production of nanostructures in the surface layer.

МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУР ПРИ ІОННО-ПЛАЗМОВІЙ ОБРОБЦІ

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

У сучасному виробництві нанотехнології використовуються дуже широко, як захисні покриття для трибів та розподільних валів або як каталізатори хімічних реакцій. Також вони застосовуються у електроніці та мікроелектроніці, як покриття для екранування електромагнітних хвиль або як автоемісійні джерела електронів у вакуумній електроніці, а також у сенсорних, електронних, оптоелектронних нанопристроях.

Отримати наноструктуровані матеріали можна різноманітними біосинтетичними, електрохімічними, плазмовими та іншими методами. Особливо цікаві вакуумно-дугові методи, які можуть використовуватися для отримання тонких поверхневих або багатопшарових наноструктур.

Основні теоретичні дослідження для отримання наноструктур у конструкційних матеріалах з використанням іонно-плазмових технологій базуються на використанні теплопровідності, термоджоржності та загальних характеристик матеріалу. Але ці методи не враховують особливості електронної теплопровідності та теплопровідності решітки матеріалу (фонон-фононної теплопровідності), тобто можуть некоректно враховувати залежності коефіцієнта лінійного розширення, модуля пружності теплоємності та інших фізико-механічних характеристик матеріалу від характеру теплового та механічного впливу на нього.

В цьому дослідженні проведено удосконалення попередньо розробленої моделі теплопровідності й термоджоржності з урахуванням всіх можливих зовнішніх та внутрішніх теплових впливів з використанням квантово-механічного підходу до опису будови матеріалу. Це дозволило точніше визначити технологічні параметри потоків іонів для отримання наноструктур у оброблюваному матеріалі.

За вдосконаленою моделлю з використанням теплофізичних, механічних і квантово-механічних характеристик при обробці міді іонами кисню розраховано технологічні параметри, необхідні для появи наноструктур певного обсягу як за об'ємом, так і за глибиною їх утворення. Отримані результати порівняні з відомими експериментальними та довідковими даними. Зроблено висновки, що при розрахунках параметрів наноструктур для технологій з енергіями іонів (100 – 500 eV) потрібно користуватися раніше запропонованою моделлю [1] з загальними теплофізичними та механічними характеристиками. При енергіях іонів у діапазоні $10^3 - 2 \cdot 10^3$ eV при користуванні тією ж моделлю необхідно враховувати квантово-механічні впливи, а при енергіях вище 10^4 eV потрібно проводити розрахунки за двома варіантами і після порівняння використовувати варіант, найближчий до експериментальних результатів. Вдосконалену модель можна використовувати для корегування технологічних параметрів іонно-плазмової обробки з метою отримання наноструктур в захисних та зміцнюючих покриттях.

Список використаних джерел

1. Kostyuk, G. Prospects for producing nanostructures in the volume of parts under the action of plasma flows / G. Kostyuk, O. Melkozirova, E. Kostyuk, Iur. Shirokiy // Rizannya and tools in technological systems.– KhrTU «KhrTU» .– 2020.– 92.– pp. 107–121.

8. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

УДК 32. 973.26-18.2

Лоскутов І. Р., студент

i.r.loskutov@student.khai.edu

Белявський О. В., старший викладач

o.bieliavskyi@khai.edu

БАГАТОКАНАЛЬНА, БАГАТОВІДЛКОВА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА

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

Багатоканальні інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) широко застосовуються у експериментально-наукових а також у виробничих дослідженнях параметрів технологічних процесів. Контроль параметрів – найважливіша частина технологічного процесу, яка у механічному виробництві сягає 15% робочого часу циклу виготовлення, а у електроніці- ще більше. Автоматизовані вимірювальні системи зазвичай використовують там, де є потреба швидкого вимірювання великої кількості параметрів, наприклад поля розподілу температур в камері згоряння АД, або механічних навантажень на силові елементи крила транспортного літака при змінній динаміці польоту, т. і.

Метою роботи є побудова універсальної структурно- інформаційної моделі ІВС, яка надавала б можливість подальшої структурної та алгоритмічної оптимізації у відповідності до завдання проекту. Актуальність задачі визначається повсякденним зростанням ролі контрольних заходів та методів їх здійснення у будь-якій сфері народного господарства.

Особливості моделювання ІВС детально розглянуті, наприклад, в [1], де навіть запропонована вхідна мова позначення структурно-алгоритмічних рішень вимірювальних систем.

Структурна схема узагальненої ІВС пожежної безпеки, що створена в межах курсового проектування, наведена на рис.1, де А- чутливі вимірювальні елементи (сенсори); В - компаратори; С - елементи пам'яті стану об'єкта; D - елементи відліку параметру (лічильники).

Система дозволяє сканувати датчики пожежної безпеки, що розташовані у декількох технологічних приміщеннях (на моделі розглянуто три), кожен з яких налаштований на певну температуру спрацьовування. Лічильник номера об'єкта змодельований на тригерах (5, 6) та дешифраторах (7...10), що синхронізуються тактовими імпульсами генератора (4). Дешифратори (7, 8, 9) під'єднані до входів дозволу опитування об'єктів (14), які здійснюють дозвіл проходження сигналу стану об'єкта спільною шиною (на моделі не показана) та запам'ятовуються у тригерах стану об'єктів (16). Вихід елемента 10 здійснює скид пам'яті стану об'єктів та збільшення опитуваної температури на одиницю молодшого розряду у діапазоні вимірювань.

Зміна температури зовнішнього середовища змодельована блоком (12 – Ramp). Тривожний рівень температури заданий блоком (11 – Const), а схема порівняння блоком (13 – Relation operator). Для виведення інформації про пожежний стан об'єкту опитування проводиться декілька циклів поряд (у моделі - 8), після чого отримані дані інтегруються (17 – Transfer function), завдяки чому відбувається остаточне формування сигналу тривоги (18 - Relay) – тригер Шміта. З виходу тригера Шміта сигнал надається до елемента (20 – and2), який дозволяє проходження імпульсів генератора (19) до лічильника температури (22 –Counter). Елемент 21 здійснює скид лічильника перед початком його роботи. Схеми всіх каналів мають ідентичну структуру. Після спрацьовування компаратора тривоги лічення припиняється, а сигнали, які відображають стан об'єктів, пройшовши через елемент мультиплексії (23) та

каналом зв'язку з отримувачем даних (на моделі відсутній) відображаються на моніторі системи пожежної безпеки (24).

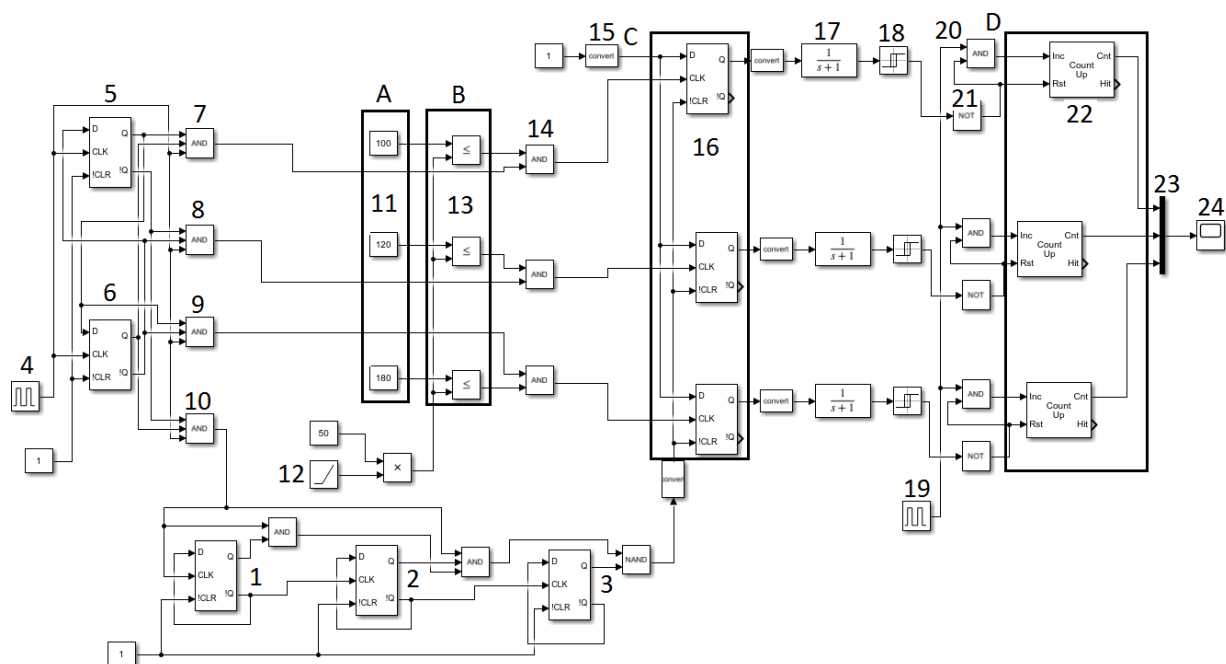


Рис. 1. Структурна модель багатоканальної багатовідлікової інформаційно-виміральної системи (САПР MATLAB)

Таким чином в роботі проведений аналіз існуючих типів ІВС та алгоритмічних основ їх функціонування. Розроблена структурна модель багатоканальної багатовідлікової системи вимірювання температури об'єкта засобами САПР MATLAB, яка дозволяє відстежити всі особливості інформаційних перетворень в складній ІВС.

Список використаних джерел

1. Поліщук, Є. С. Вимірювальні перетворювачі (сенсори) : навч. посіб. / Є. С. Поліщук, В. М. Ванько. – Львів: Львівська політехніка, 2015. – 584 с.

Федорович О. Є., д.т.н., професор
oe.fedorovich@gmail.com

Єременко Н. В., к.т.н., доцент
kafius@ukr.net

Коновалова О. В., ст. викладач
o.konovalova@khai.edu

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ЩОДО УТИЛІЗАЦІЇ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБІВ

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

Старіння високотехнологічних виробів (авіаційна техніка, військова техніка та зброя, тощо) призводить до неможливості та небезпечності її використання у подальшому. Виникають проблеми, які пов'язані з утилізацією високотехнологічних виробів в умовах ризиків впливу на навколишнє середовище. Тому, актуальна тема запропонованої доповіді, в якій представлені результати дослідження можливих стратегій утилізації високотехнологічних виробів, які мають складну компонентну структуру та створені із різних матеріалів. Метою дослідження є створення комплексу моделей та прикладної інформаційної технології для планування проектів щодо утилізації високотехнологічних виробів. Аналізуються можливі стратегії утилізації: повторне використання окремих компонент виробу, ремонт та модернізація застарілих компонент, формування вторинної сировини, знищення застарілих компонент, тощо. Для повторного використання компонент розроблена оптимізаційна модель для мінімізації витрат (W) в умовах обмежених можливостей. В якості обмеження використовується час виконання проекту щодо утилізації (T). Модернізовані компоненти використовуються, у подальшому, для існуючих систем, які експлуатуються. Стратегія формування вторинних матеріалів потребує спеціального багатовартісного технологічного обладнання та створення підприємств із перероблення матеріалів. Це різко підвищує вартість (W) та час проекту (T). Створена оптимізаційна модель для мінімізації витрат. Стратегія знищення компонент системи вимагає виконувати екологічні вимоги та стандарти. Тому, в якості основного показника, якій необхідно мінімізувати, використовується ризик (R) забруднення довкілля, а в якості обмежень використовуються витрати (W) та строки проекту (T). Створена інтерактивна імітаційна модель для дослідження послідовності логістичних дій при плануванні проектів утилізації складної високотехнологічної техніки.

Наукова новизна дослідження пов'язана зі створенням комплексу моделей для планування проектів щодо утилізації високотехнологічних виробів з використанням можливих стратегій утилізації та урахуванням можливого впливу на навколишнє середовище.

Використанні математичні методи та моделі: системний аналіз, оптимізація за допомогою цілочисельного (булевого) програмування, метод використання якісних оцінок експертів, імітаційне та агентне моделювання.

Список використаних джерел

1. Fedorovich, O. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise / O. Fedorovich, O. Uruskiy, Yu. Pronchakov, M. Lukhanin // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2021. – № 1. – С. 150-157. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.1.13>.

Федорович О. Є., д.т.н., професор

oe.fedorovich@gmail.com

Слізєва А. В., к.т.н., доцент

alina.yelizeva@gmail.com

Малєєв Л. В., аспірант

kafius@ukr.net

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЄЮ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

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

Воєнний стан країни погіршив умови існування високотехнологічних підприємств. Погіршення стану підприємства пов'язане з двома основними факторами: старіння (фізичне та моральне), вплив військових загроз. Це призвело до необхідності реструктуризації підприємства, формування нових напрямків діяльності, пов'язаних з військовим станом (випуск військової техніки замість цивільних виробів). Тому, актуальна тема запропонованої доповіді, в якій представлені результати дослідження логістичних дій щодо реструктуризації високотехнологічних виробництв. Метою дослідження є створення комплексу моделей та прикладної інформаційної технології для планування проектів щодо реструктуризації високотехнологічних виробництв в умовах воєнного стану країни. Аналізуються можливі стратегії реструктуризації в умовах військових загроз: реструктуризація складу та структури системи; диверсифікація виробництва; релокація підприємства на нове місце розташування, тощо. Особливу увагу приділено умовам, в яких проводиться реструктуризація (воєнний стан), що впливає на ресурси, час та ризики проекту реструктуризації. Створена оптимізаційна модель для оцінки та вибору раціонального варіанту реструктуризації в умовах обмежених можливостей. Тому, в якості основного показника реструктуризації, було обрано мінімізацію витрат (W). При оптимізації враховуються час, якій запланований на виконання проекту реструктуризації (T), та ризики проекту (R), які пов'язані з загрозами військового характеру. Створена послідовність логістичних дій для проведення реструктуризації у вигляді послідовності етапів проекту. Моделюються можливі структури управління підприємством, розташування виробництва в різних місцях, що пов'язано з військовими загрозами та умовами енергопостачання. Аналізуються нові шляхи постачання комплектуючих для роботи підприємства в нових умовах. Створена оптимізаційна модель для вибору маршрутів постачання в умовах різноманітного транспортного середовища та перевалок з однієї транспортної мережі на іншу. Створена агентна модель (платформа Any Logic) для моделювання послідовності логістичних дій щодо реструктуризації високотехнологічного виробництва.

Наукова новизна дослідження пов'язана зі створенням оригінальних моделей для аналізу логістичних дій щодо реструктуризації високотехнологічного виробництва.

Запропонований підхід дозволяє планувати проектні дії та проводити вибір раціональної стратегії реструктуризації підприємства в умовах воєнного стану країни.

Список використаних джерел

1. Fedorovych, O. Моделювання релокації високотехнологічних підприємств для випуску інноваційних виробів / O. Fedorovych, O. Prokhorov, Yu. Pronchakov, A. Popov, M. Momot // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2023, № 2. – С. 180-192. <https://doi.org/10.32620/reks.2023.2>

9. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОНОМІКИ ПІДПРИЄМСТВА

УДК 004.272.34

Федорович О. Є., д.т.н., професор
oe.fedorovich@gmail.com

Попов А. В., к.т.н., доцент
arp_juki@ukr.net

Пісклова Т. С., м.н.с.
kafius@ukr.net

МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАПОБІГАННЯ СТАРІННЯ ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ

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

Багатоваротістні складні техногенні системи створювались на довгий термін існування в умовах прогнозу поведінки навколишнього середовища та політико-економічного стану минулих років. Але, мінливість політико-економічного середовища та різкі зміни глобального клімату призвели до погіршення умов експлуатації таких систем та прискоренню їх деградації, що впливає на скорочення терміну їх існування. Тому, актуальна тема доповіді, в якій представлені результати дослідження стратегій управління старінням складних техногенних систем. Метою дослідження є створення комплексу моделей та інформаційної технології для планування проектів щодо запобігання старіння техногенних систем. Представлені можливі стратегії управління старінням, які пов'язані з продовженням терміну існування техногенної системи з урахуванням значення показників: вартість (W), продовження терміну експлуатації (T), ризику проекту (R). Аналізуються та формуються суттєві фактори, які впливають на стан старіння (зовнішні, внутрішні) та деградацію окремих компонент системи. Запропоновано метод виявлення найбільш застарілих компонент техногенної системи заснований на якісних оцінках експертів. За допомогою лінгвістичних змінних, створюється оптимізаційна модель для мінімізації витрат, які пов'язані з превентивними діями та заходами, спрямованими на продовження терміну експлуатації складної системи. Велику увагу приділено критичним техногенним системам, для яких старіння суттєво впливає на навколишнє середовище та людей. Створена оптимізаційна модель мінімізації ризиків впливу критичних техногенних систем на довкілля (атомні електростанції, небезпечне виробництво, система енергопостачання, інфраструктура великих міст, тощо). Аналізується послідовність дій щодо управління старінням техногенних систем у вигляді логістичного ланцюга: аналіз стану системи – оцінка факторів впливу на старіння – виявлення застарілих компонент системи – формування стратегії управління старінням – проведення превентивних дій та заходів до продовження терміну експлуатації техногенної системи. Запропонований підхід дозволяти планувати проекти, які спрямовані на управління старінням техногенних систем.

Наукова новизна дослідження пов'язана з розробкою оригінальних моделей для створення прикладної інформаційної технології управління старінням техногенних систем.

Список використаних джерел

1. Fedorovich, O. Method and information technology to research the component architecture of products to justify investments of high-tech enterprise / O. Fedorovich, O. Uruskiy, Yu. Pronchakov, M. Lukhanin // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2021. – № 1. – С. 150-157. <https://doi.org/10.32620/reks.2021.1.13>.

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
ТРИДЦЯТЬ ЧЕТВЕРТОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ»**

4 – 7 ВЕРЕСЕНЯ 2024

Відповідальний за випуск канд.техн.наук. Руденко Н. В.

Підписано до друку 01.10.2024
Формат 60x84^{1/16}. Папір офс. Офс. друк
Ум. друк. арк. 8,6. Обл. вид. арк. 9,63. Наклад 40 пр.
Замовлення 200701. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001