

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО**  
**«ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»**  
**АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ФЕД»**  
**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО ЗАВОД ІМ. В.О.МАЛИШЕВА**  
**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО**  
**"ХАРКІВСЬКЕ АГРЕГАТНЕ КОНСТРУКТОРСЬКЕ БЮРО"**

**МАТЕРІАЛИ**  
**ТРИДЦЯТЬ ДРУГОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**“НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ”**

**ХАРКІВ, УКРАЇНА**  
**ВЕРЕСЕНЬ 3 – 6 2022**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**2022**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО**  
**«ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»**  
**АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ФЕД»**  
**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО ЗАВОД ІМ. В.О.МАЛИШЕВА**  
**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО**  
**"ХАРКІВСЬКЕ АГРЕГАТНЕ КОНСТРУКТОРСЬКЕ БЮРО"**

**МАТЕРІАЛИ**  
**ТРИДЦЯТЬ ДРУГОЇ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**“НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ”**

**ХАРКІВ, УКРАЇНА**  
**ВЕРЕСЕНЬ 3 – 6 2022**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**2022**

УДК 621.002:620.3:004.9(063)

N52

N52 Матеріали тридцять другої міжнародної конференції «Нові технології в машинобудуванні. – Харків : ТОВ «Планета-Прінт», 2022. – 138 с.

ISBN 978-617-7897-97-1

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

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

### ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

**Голова:** Нечипорук М.В. – д.т.н., професор, ректор ХАІ.

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

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

**Члени комітету:**

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

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

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

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

Миттерау В. – доктор, професор (Австрія).

Андерс А. – доктор, професор (США).

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

Кёниг Д. – доктор, професор (Німеччина).

Хуа Линь – доктор, професор (Китай)

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

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

УДК 621.002:620.3:004.9(063)

© Національний аерокосмічний  
університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2022  
© ФОП Черняк Л.О.

ISBN 978-617-7897-97-1

## ЗМІСТ

<b>1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....</b>	<b>7</b>
Гереш Т.В. СИНТЕЗ ПЛАНЕТАРНИХ МЕХАНІЗМІВ АА ТА ІІ ЗІ ЗВ'ЯЗАНИМИ ТА НЕЗВ'ЯЗАНИМИ КОЛЕСАМИ З УРАХУВАННЯМ КУТІВ ЗАЧЕПЛЕННЯ .....	7
Данилов В.М. ОПТИМІЗАЦІЯ ЗУБЧАСТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	13
Кузнецова А.В., Гнитько О.М. МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ІЗ ДВООПУКЛО-ВВИГНУТИМИ ЗУБЦЯМИ .....	17
Назін В.І. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОСТАТИЧНИХ ПІДШИПНИКІВ СЕГМЕНТНОГО ТИПУ .....	18
Соболь В.М. ПОВЗУЧИСТЬ ТА ПОШКОДЖУВАНІСТЬ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА БАЗІ ЗМІЩАНОГО ВАРІАЦІЙНОГО ФУНКЦІОНАЛА .....	20
Меньшиков В.О., Кладова О.Ю. МЕХАНІКА МІЖФАЗНОЇ ТРІЩИНИ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ХВИЛЕЮ ЗСУВУ .....	23
Світличний С.П. РОЗРОБКА ЧИСЛЕННОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗІТКНЕННЯ ПТАХУ З ЛОПАТКОЮ ДВИГУНА .....	29
<sup>1</sup> Шатохін В.М., <sup>1</sup> Гранько Б.Ф., <sup>2</sup> Соболь В.М. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДУ ТУРБОНАДДУВА ДИЗЕЛІВ ТИПУ 6ТД ПО ДИНАМІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ .....	34
Шехов О.В. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАМКНУТОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНІЗМУ, УТВОРЕНОГО ДВОМА ПРОСТИМИ ПЛАНЕТАРНИМИ МЕХАНІЗМАМИ ТИПУ АІ .....	39
Щербаківа Ю.А. ДВОМІРНА МОДЕЛЬ ПРУЖНОГО СТАНУ НАПІВНЕСКІНЧЕНОГО КЛЕЕВОГО З'ЄДНАННЯ .....	45
<b>2. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ Й ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АГРЕГАТІВ ТА РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ .....</b>	<b>46</b>
Гнитько О.М., Кузнецова А.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДДІЛЕННЯ І НАГРОМАДЖЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ЗАКРИТИХ ПРОФІЛЬНИХ ПАЗІВ .....	46
Бойко Л.Г., Даценко В.А. МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛОПАТОЧНИХ ВІНЦІВ ЗНОШЕНОГО КОМПРЕСОРА.....	47
Доценко В.М., Ковеза Ю.В., Усик В.В. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ ТУРБОМАШИН НА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ РІДИНАХ .....	51
Нарижний О.Г. АНАЛІЗ ДВОВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВІЛЬНОЇ РОЗДАЧИ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЗОГОТІВКИ ЕЛЕКТРИЧНИМ ВИБУХОМ В РІДИНІ.....	53
Онисько О.Р., Лукань Т.В., Пітулей Л.Д. БАЗОВІ ЗАСАДИ ФОРМОУТВОРЕННЯ НАРІЗЕВИХ ПОВЕРХОНЬ.....	56

Бойко Л.Г., Даценко В.А., Піжанкова Н.В. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОКОНАПІРНИХ КОМПРЕСОРІВ МАЛОРОЗМІРНИХ ГТД З УРАХУВАННЯМ ВІДБОРУ ПОВІТРЯ.....	59
Пірогов Д.О., Цибуленко В.О. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛЕВИХ ЗАГОТОВОК, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	60
Сніцар С.М. ВИЗНАЧЕННЯ ЕМПІРИЧНИМ МЕТОДОМ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ХОНІНГУВАННІ ОТВОРІВ .....	63
Стрельчук Р.М. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РІЗАННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ШЛІФУВАННІ ЗІ ЗМІННОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ .....	65
Повгородній В.О. УРАХУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ У КОСМІЧНИХ КОНСТРУКЦІЯХ.....	67
Фесенко К. В. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТРИВИМІРНОГО ПОТОКУ .....	69
<b>3. ПРОЦЕСИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЇ .....</b>	<b>71</b>
Golovan K. V. KNOWLEDGE-ORIENTED APPROACH TO THE AUTOMATION OF THE MAIN PIPELINE COMPLEX.....	71
Губка О. С., Губка С.О. ВИКОРИСТАННЯ ДОДАТКУ ALLPAIRS У ТЕСТУВАННІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	73
Казельська Ю.О., Руденко Н.В. ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОГОТИПУ НА ВЕРСТАТІ З ЧПУ В СЕРЕДОВИЩІ AUTODESK .....	74
Лещенко О. Б., Анікін А. М. ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ INTERSYSTEMS IRIS ДЛЯ ПОБУДОВИ ВЕБ-ДОДАТКА ПРОВЕДЕННЯ ІВЕНТ ПОСЛУГ .....	78
Лобанова Т.Я., Белявський О.В. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЦИКЛОВИМ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ НА БАЗІ ПРОМИСЛОВОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРУ .....	79
Момот М. О., Махно А. В. РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТУРИСТИЧНИМ АГЕНТСТВОМ .....	82
Попов А.В., Іванов В. М. РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ГОТЕЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ.....	83
Попов А.В., Понуровський Р.В. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АРТ-КАФЕ.....	84
Попов А. В., Ярошевська Д. А. РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ СПОРТИВНИХ ЗМАГАНЬ З БОЙОВОГО ДВОБОРСТВА.....	85
Рубанік Т. М., Яшина О. С. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНСПЕКТУВАННЯ ЛЕКЦІЙ.....	86
Федорович О. Є., Замірець Я. О. МЕТОД ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОМПОНЕНТНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АСТРОВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	87
Яшина О. С., Шафігулліна М. В. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕГРАМ-БОТУ З НАДАННЯ ГУМАНІТАРНОЇ ДОПОМОГИ .....	88

<b>4. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВИРОБНИЦТВІ</b>	<b>89</b>
Аврашова А.І., Харченко М.В. ЛОГІСТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗАПАСАМИ .....	89
Дяченко А.Р., Харченко М.В. ЛОГІСТИЧНА ПІДТРИМКА ДІЯЛЬНОСТІ СКЛАДУ .....	92
Панченко А.С., Харченко М.В. ОПТИМІЗАЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВАРОПОСТАЧАННЯ РОЗДРІБНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	95
Міщенко В.В., Харченко М.В. ЛОГІСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДУВАННЯ .....	98
Пуховський Є.С., Фролов В.К. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ .....	102
Сягло В.І., Харченко М.В. ЛОГІСТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИМ ПОСТАЧАННЯМ.....	105
Федорович О.Є., Лещенко Ю. О., Поліщук Є. В., Пісклова Т. С. МОДЕЛЮВАННЯ ЗБИТКІВ, ЯКІ ВИНИКАТЬ В ЛОГІСТИЦІ ПОСТАЧАННЯ ВНАСЛІДОК ЗАПІЗНЕНЬ В ДОСТАВЦІ ВАНТАЖІВ .....	107
Федорович О. Є., Прончаков Ю. Л. МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ ЕВАКУАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ У ВОЄННИЙ ЧАС .....	108
<b>5. ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТІВ.....</b>	<b>109</b>
Постельник Т.О., Плужник А. С. РОЗРОБКА ШИРОКОДІАПАЗОННОГО ЗАХОПЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ ДЕТАЛЯМИ ТИПА КОРПУС.....	109
<b>6. ТЕХНОЛОГІЯ АГРЕГАТОБУДУВАННЯ .....</b>	<b>110</b>
Московська Н.М. ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИКОРИСТАННЯ ПОРШНЕВИХ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИСТРОЇВ .....	110
Белявський О. В., Косенко О. В. СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯВИЩА ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ.....	112
<b>7. ПРОЦЕСИ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ.....</b>	<b>115</b>
Баранов О.О., Бреус А.О., Сердюк О.Л. ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ВАКУУМНО-ДУГОВИХ ДВИГУНІВ.....	115
Мигловець І.М., Широкий Ю.В. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЕЛЕКТРОДАХ ПРИ ГЕНЕРАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОСТРУКТУР У ВАКУУМНІЙ ДУЗІ.....	118
Панченко Ю.С. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ НІТРИДНИХ, КАРБІДНИХ, БОРИДНИХ І ОКСИДНИХ НАНОПОКРИТТІВ НА ТВЕРДОМУ СПЛАВІ Т23А.....	119
Сисоєв Ю. О., Торосян О. В. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДЖЕРЕЛАХ ПЛАЗМИ.....	121

<sup>1</sup> Сніцар Г.В., <sup>2</sup> Сніцар С.М. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ КАРБІДНИХ НАНОПОКРИТТІВ НА $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$ .....	124
<sup>1</sup> Широкий Ю.В., <sup>2</sup> Костик К.О. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУР У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК8 .....	129
Yurii Shyrokyi, Gohar Torosyan, Olena Torosyan. THE EFFICIENCY OF USING GRAPHITE ELECTRODES NECESSARY FOR THE FORMATION OF NANOSTRUCTURES IN A PLASMA ENVIRONMENT .....	130
Yurii Shyrokyi, Olena Torosyan, Pavlo Zhidiev. CREATION OF A MODEL OF EROSION PROCESSES IN ELECTRODE SPOTS DURING VACUUM DISCHARGE .....	131
<b>8. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ.....</b>	<b>132</b>
Благініна В.С., Степаненко Д.Р. ОРГАНІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ВАНТАЖІВ НА СКЛАДІ.....	132
Степаненко Д. Р., Халіменко Д.Є. ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИЙОМУ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ВІДПУСКУ АПТЕЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА СКЛАДІ.....	133
<b>9. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОНОМІКИ ПІДПРИЄМСТВА .....</b>	<b>134</b>
Харченко М.В. ЛОГІСТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ ПІДПРИЄМСТВА .....	134
Рибка К. О., Сломчинський О. В., Коновалова О. В. МОДЕЛЮВАННЯ АКТУАЛЬНИХ КОМПЕТЕТНОСТЕЙ СПЕЦІАЛІСТІВ, ЯКІ НЕОБХІДНІ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ КРАЇНИ.....	137

# 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.865.6

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

## СИНТЕЗ ПЛАНЕТАРНИХ МЕХАНІЗМІВ АА ТА ІІ ЗІ ЗВ'ЯЗАНИМИ ТА НЕЗВ'ЯЗАНИМИ КОЛЕСАМИ З УРАХУВАННЯМ КУТІВ ЗАЧЕПЛЕННЯ

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

**Постановка проблеми.** Планетарні механізми широко використовуються при конструюванні багатьох механічних систем. При цьому слід звернути увагу на можливі передавальні відношення, які можуть бути реалізовані при застосуванні обраної схеми планетарного механізму. Широкий діапазон передавального відношення надає більше можливостей з точки зору використання планетарного механізму у складі механічної системи. Тому важливо мати оцінку можливих передавальних відношень для кожної з схем планетарного механізму, що надасть змогу на етапі проектування оцінити можливість використання обраної схеми механізму.

Задача синтезу планетарних механізмів з наперед заданими числом сателітів, передавальним відношенням має рішення. Для багатьох схем планетарних механізмів отримана область існування та генеральні рівняння для визначення числа зубців коліс механізму. Основні результати роботи над проблемою синтезу планетарних механізмів наведені у монографії проф. Ткаченко В.А. [1]. Але генеральні рівняння та область існування механізмів отримані для нульових коліс, що не завжди буде практичним, так як при виготовленні коліс не має сенсу обмежуватись тільки нульовими парами коліс. Також важливо при виконанні синтезу механізму врахувати параметри, які залежать від коефіцієнтів зміщення при нарізанні зубчастих коліс [2, 3].

Проблема знаходження області існування вибору параметрів синтезу планетарних механізмів до кінця не вивчена. У тезах розглянута можливість значного розширення передавального відношення для схем АА, ІІ та наведена область існування планетарних механізмів для схем  $\overline{AA}$ ,  $\overline{II}$ .

**Основна частина.** Як показано в [2, 3], можливість визначення числа зубців для планетарних механізмів АА, ІІ,  $\overline{AA}$  і  $\overline{II}$  з врахуванням різних кутів зачеплення для першої та другої ступені є. Однак, виконати синтез за допомогою отриманих генеральних рівнянь [3] для цих схем можливо тільки при обранні передавального відношення і відповідних значень параметрів  $x\lambda$  і  $t$ . Зв'язок цих параметрів з передавальним відношенням наведено на рис. 1-4. Границі передавального відношення можна отримати, використовуючи рівняння наведені у [3].

З області існування планетарного механізму АА (рис. 1) видно, що вибір не рівних кутів зачеплення для першої та другої ступені для одного й того параметру  $x\lambda$ , дає можливість виконати синтез планетарного механізму з більшими значеннями передавальних відношень. Для планетарного механізму ІІ (рис. 3) значення передавального відношення також суттєво збільшуються. При цьому слід звернути увагу на те, що для ізоліній за кількістю сателітів спостерігається те саме.



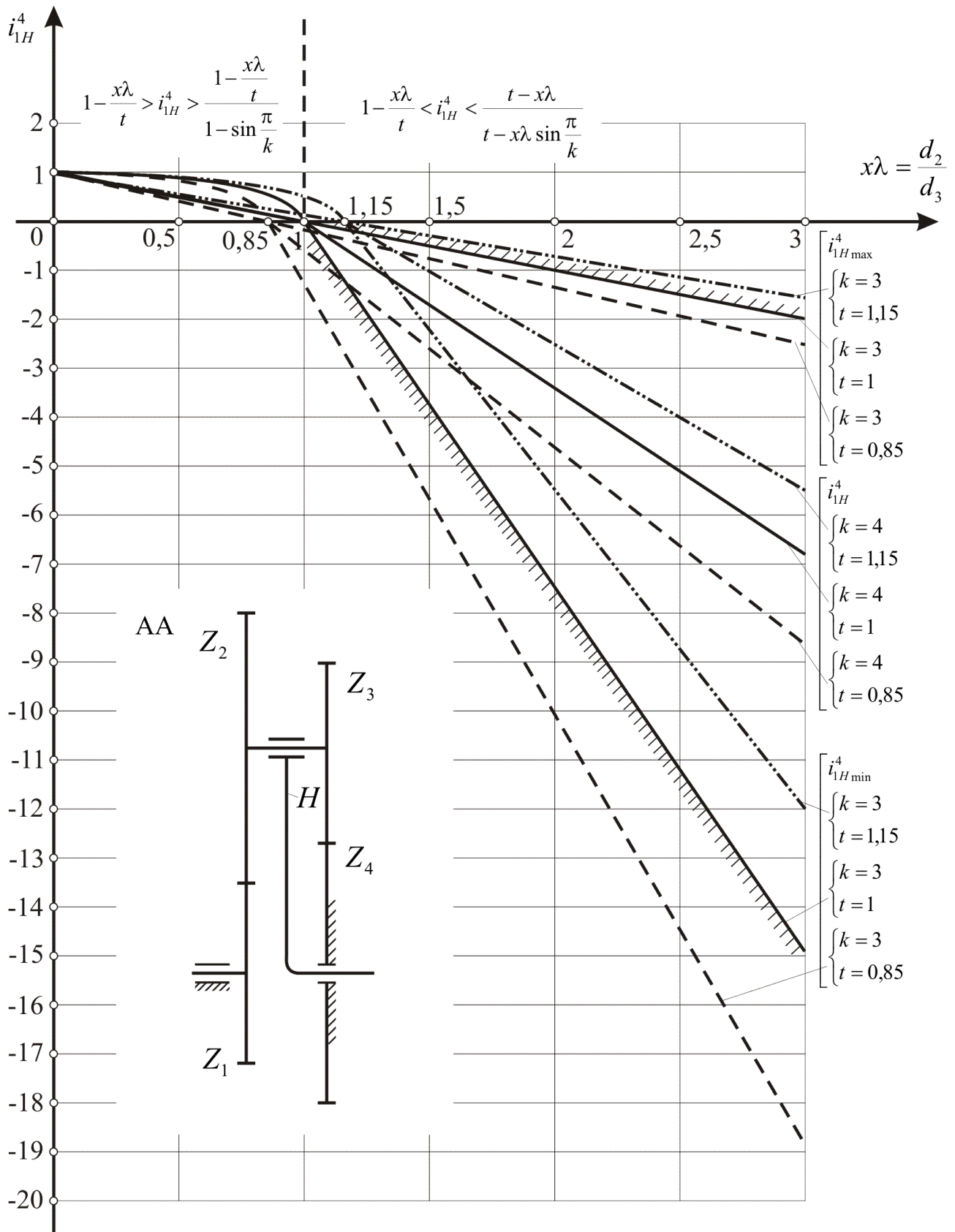


Рисунок 1 – Область існування планетарного механізму AA

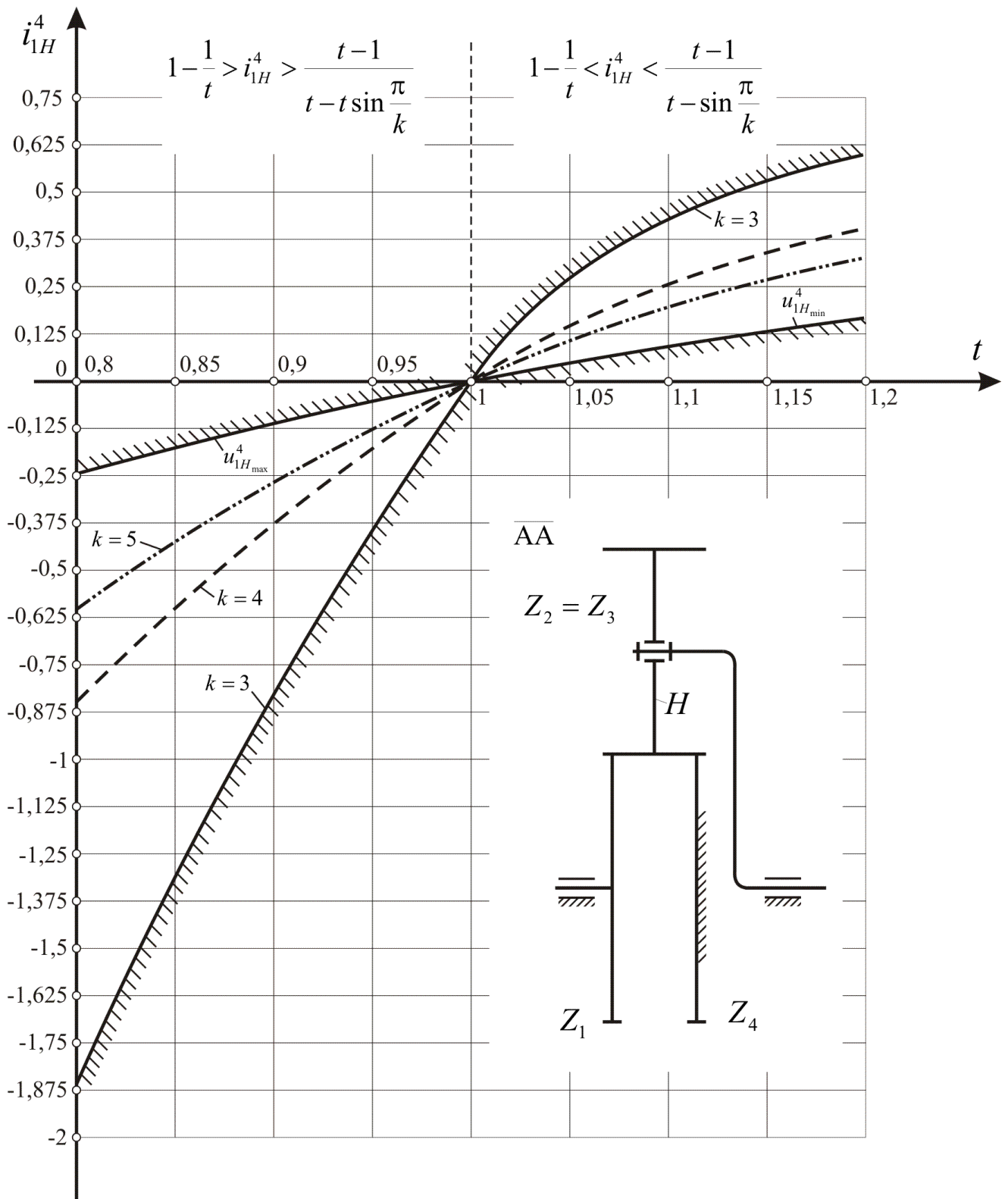


Рисунок 2 – Область існування планетарного механізму  $\overline{AA}$

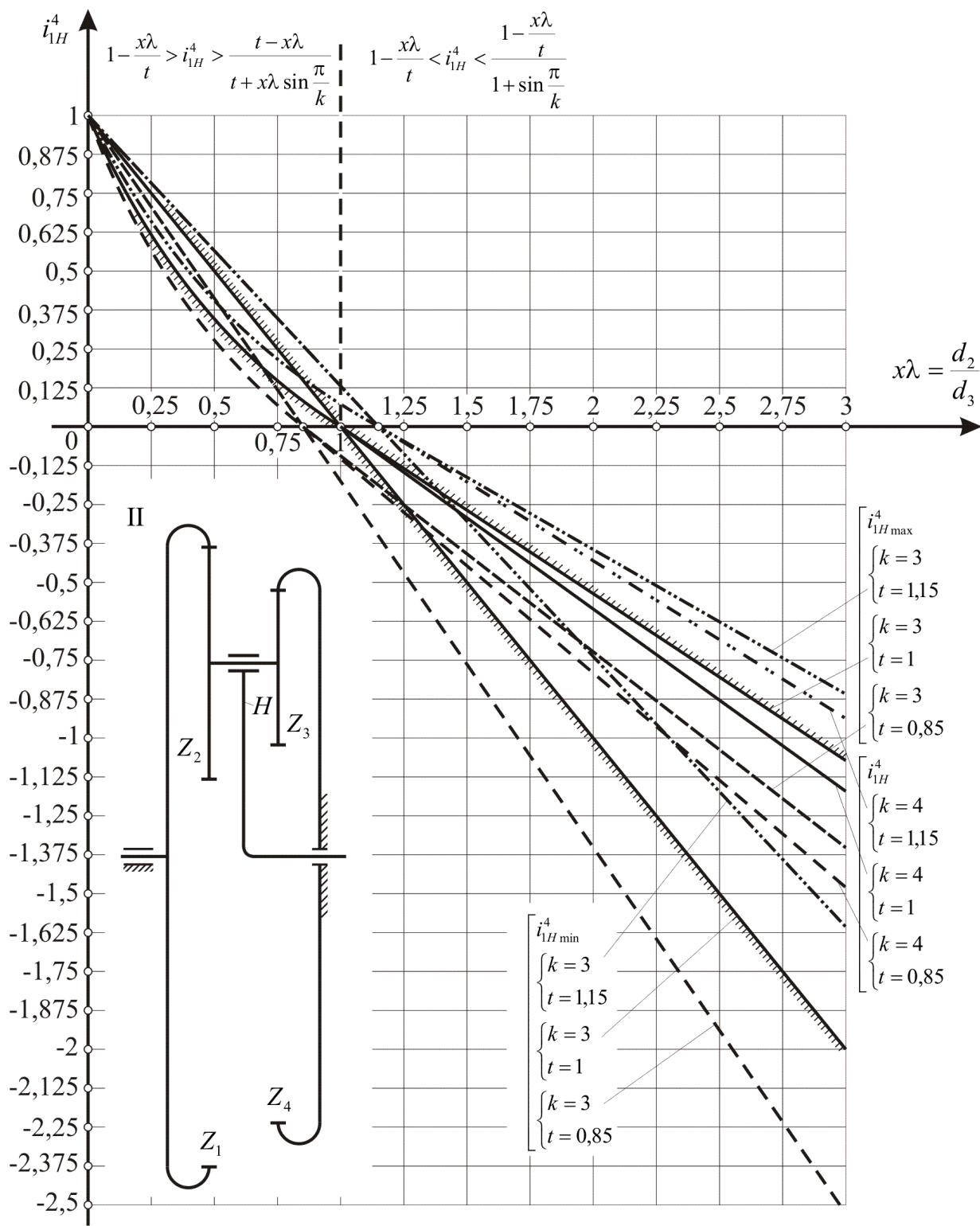


Рисунок 3 – Область існування планетарного механізму II

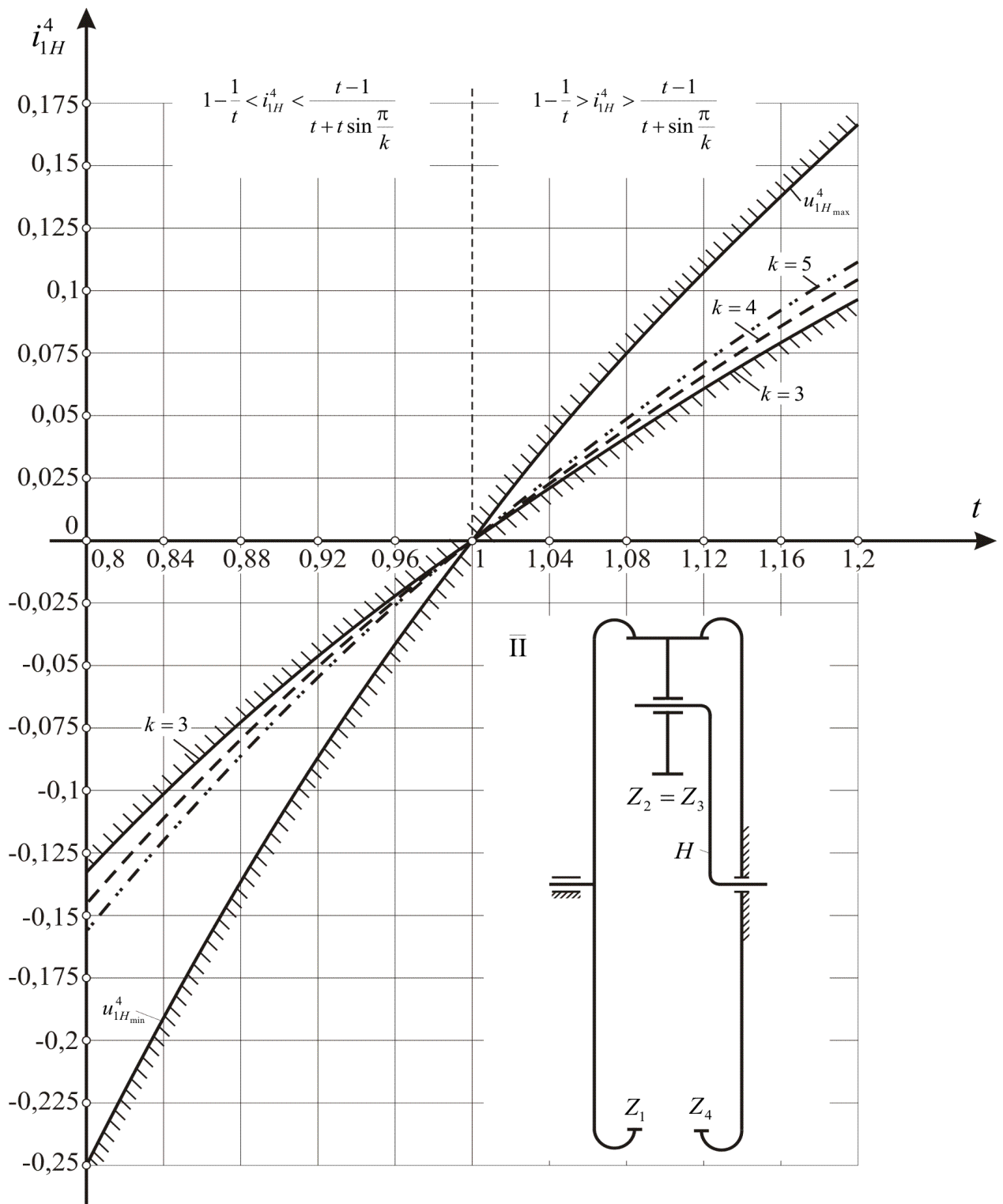


Рисунок 4 – Область існування планетарного механізму  $\bar{\Pi}$

**Загальні висновки.** Для механізмів  $\bar{AA}$  і  $\bar{\Pi}$  використання області існування (рис. 2, 4), надає змогу визначити границі передавального відношення, яке можна реалізувати для наведених схем.

Порівняльний аналіз можливих передавальних відношень для схем  $AA$  і  $\Pi$  при  $x\lambda = 2$ , наведено у таблиці:

Таблиця – Границі передавального відношення планетарних механізмів АА і ІІ при  $x\lambda = 2$  для заданої кількості сателітів

Схема механізму	Число сателітів	$t = 1$	$0,8 \leq t \leq 1,2$
АА	$k = 3$	$-1 \geq i_{1H}^4 \geq -7,46$	$-0,66 \geq i_{1H}^4 \geq -11,19$
	$k = 4$	$-1 \geq i_{1H}^4 \geq -3,14$	$-0,66 \geq i_{1H}^4 \geq -5,12$
	$k = 5$	$-1 \geq i_{1H}^4 \geq -2,42$	$-0,66 \geq i_{1H}^4 \geq -3,63$
	$k = 6$	$-1 \geq i_{1H}^4 \geq -2$	$-0,66 \geq i_{1H}^4 \geq -3$
ІІ	$k = 3$	$-0,536 \geq i_{1H}^4 \geq -1$	$-0,35 \geq i_{1H}^4 \geq -1,5$
	$k = 4$	$-0,586 \geq i_{1H}^4 \geq -1$	$-0,39 \geq i_{1H}^4 \geq -1,5$
	$k = 5$	$-0,63 \geq i_{1H}^4 \geq -1$	$-0,42 \geq i_{1H}^4 \geq -1,5$
	$k = 6$	$-0,66 \geq i_{1H}^4 \geq -1$	$-0,44 \geq i_{1H}^4 \geq -1,5$

Як видно з таблиці, границі передавального відношення для схем АА і ІІ, можна розширити практично у два рази в порівнянні з отриманими в [1], якщо використовувати генеральні рівняння і підхід описаний в [3].

### Список використаних джерел

1. *Ткаченко В.А.* Планетарные механизмы (оптимальное проектирование). – Харьков: Издательский центр ХАИ. – 2003. – 446 с.
2. *Кавецкий С.Н., Гереш Т.В.* Зависимость углов зацепления зубчатых пар планетарных механизмов со связанными и несвязанными колесами. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: Машиностроение и САПР. – № 2. – 2008. – С.115-120.
3. *Кавецкий С.Н., Гереш Т.В.* Синтез планетарных механизмов АА и ІІ со связанными и не связанными колесами с учетом углов зацепления. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: Машиностроение и САПР. – № 9. – 2008. – С.98-103.

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЗУБЧАСТОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

Зубчасті зачеплення є одними з найпоширеніших видів передавальних механізмів у сучасному машинобудуванні. Це обумовлено, по-перше, їх високим коефіцієнтом корисної дії, по-друге, надійністю і роботи, по-третє, можливістю створення різноманітних схем різного призначення.

Серед усіх зубчастих механізмів за кількістю виготовлених є безумовно такі, у складі яких є евольвентні зубчасті колеса, теорія створення яких була написана в ХІХ столітті. Як відомо вони утворюються завдяки нарізанню по дузі кола специфічних кривих – евольвент. Математичні рівняння для розрахунку більшості геометричних та інших параметрів зубців коліс мають у своєму складі тригонометричні залежності [1,2,3], що робить їх процес рішення у зворотному напрямку досить складним. Тому навіть на теперішній час дуже часто використовують у машинобудуванні так звані нульові колеса, тобто без коефіцієнтів зміщення. Але, як відомо, навіть незначне зміщення рейки при нарізанні евольвентних зубчастих коліс може суттєво, навіть у кілька разів, поліпшити якісні показники зачеплення пари коліс. Крім того, при оптимізації за певними параметрами, необхідно порівнювати різні результати розрахунку при різних заданих початкових параметрах, що потребує перерахунків і, як слідство, певного часу. Раніше оптимізація робилась за допомогою системи блокуючих контурів, яка зараз вже застаріла.

Саме тому для розрахунку і аналізу евольвентного зубчастого зачеплення було написано комп'ютерну програму Evolv – свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 106198 від 13.07.21 р. Ця програма дозволяє за досить короткий час проводити розрахунки геометрії та якісних показників простого евольвентного циліндричного зачеплення, що оминає описані раніше незручності. При написанні цього програмного забезпечення була використана мова програмування Delphi, що робить програму Evolv автономною у середовищі Windows і не вимагає будь яких навичок для її встановлення і роботи з нею для розрахунків зачеплення.

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

Програма дозволяє вводити будь які параметри інструментальної рейки, кількість зубців коліс, модуль зачеплення і коефіцієнти зміщення, як для зовнішнього, так і для внутрішнього зачеплення. При цьому на екрані відображаються радіуси коліс, кут зачеплення і міжосьова відстань. При цьому на вибір можна переглянути коефіцієнт питомого тиску, коефіцієнти питомого ковзання або зону зачеплення (коефіцієнт торцевого перекриття). Оскільки оптимізація зубчастого зачеплення відбувається у порівнянні з деяким відомим або раніше знайденим результатом, то програма дозволяє одночасно зберігати на екрані до трьох будь яких результатів.

У першому прикладі зроблено розрахунок для зовнішнього зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 37$  і  $z_2 = 143$ , модулем  $m = 5,5$  мм (рис. 1). Показано три варіанти рішення для коефіцієнта питомого тиску для різних коефіцієнтів зміщення: 1)  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 0$ ; 2)  $x_1 = 0,3$ ;  $x_2 = 0,4$ ; 3)  $x_1 = 0,75$ ;  $x_2 = -0,25$ . При рішенні були задані параметри стандартної інструментальної рейки.

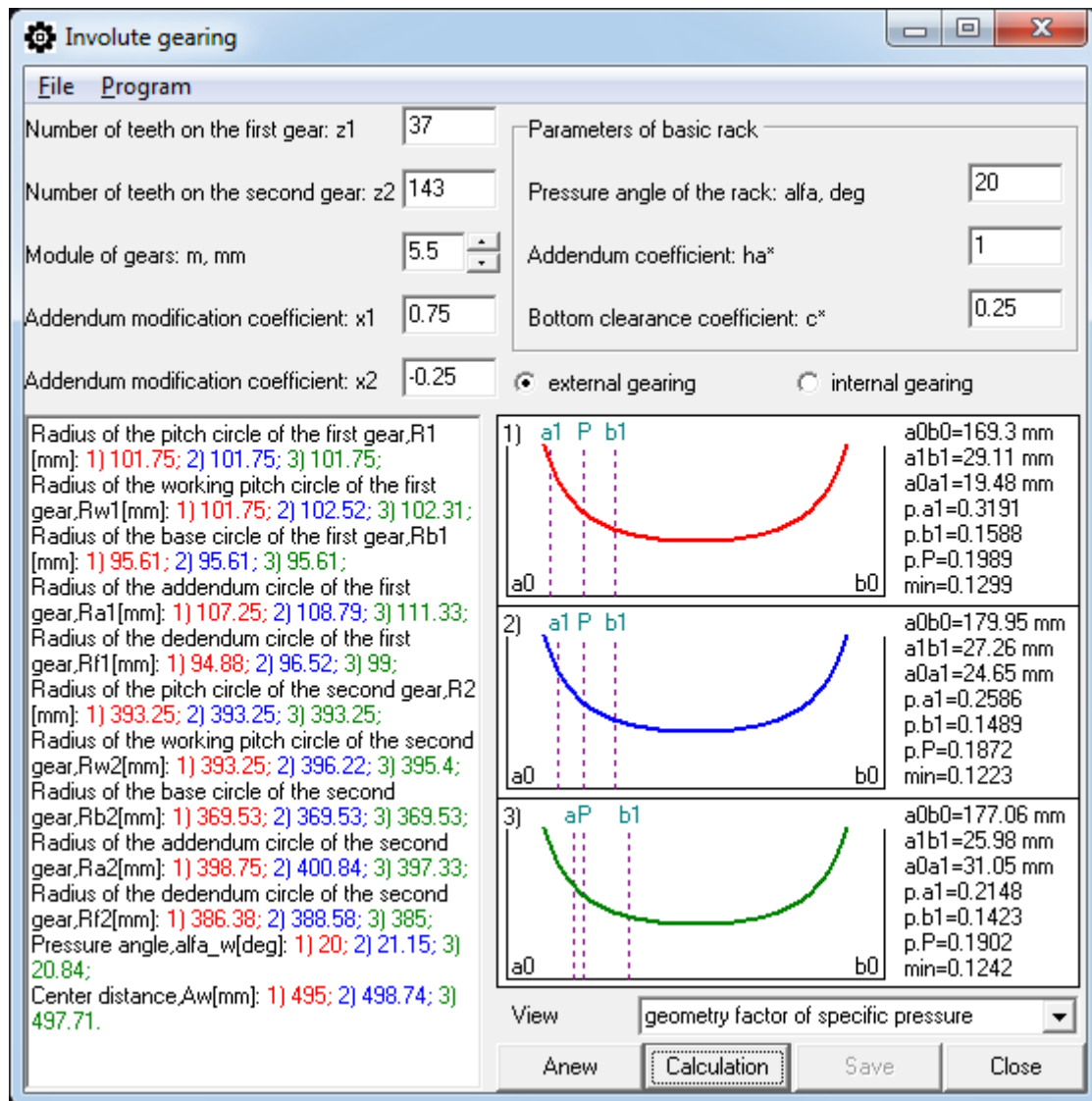


Рисунок 1 – Питомий тиск для зовнішнього зачеплення

Як видно, при змінненні коефіцієнтів зміщення, змінюють своє положення точки  $a_1$  і  $b_1$ , що відповідають активній зоні зачеплення зубців зубчастих коліс. Це дозволяє відслідковувати зміну коефіцієнту питомого тиску в цих точках (меню праворуч від графіків) і оптимізувати зубчасте зачеплення. Так максимум коефіцієнту питомого тиску спочатку дорівнює 0,3191, потім 0,2586 і в кінці 0,2148, тобто зменшується в 1,49 разів.

У другому прикладі зроблено розрахунок коефіцієнтів питомого ковзання для різних пар зубчастих коліс, які можуть утворювати кратний зубчастий механізм, планетарний або диференційний механізм схеми АІ:

1) зовнішнє зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 20$  і  $z_2 = 40$ , модуль  $m = 3,0$  мм; коефіцієнти зміщення  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 0$ ;

2) внутрішнє зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 100$  і  $z_2 = 40$ , модуль  $m = 3,0$  мм; коефіцієнти зміщення  $x_1 = 0$ ;  $x_2 = 0$ ;

3) зовнішнє зачеплення з числами зубців коліс  $z_1 = 20$  і  $z_2 = 40$ , модуль  $m = 3,0$  мм; коефіцієнти зміщення  $x_1 = 0,25$ ;  $x_2 = -0,25$  (однакові з протилежним знаком, щоб не було зміни міжосьової відстані).

При рішенні були задані параметри стандартної інструментальної рейки (рис. 2).

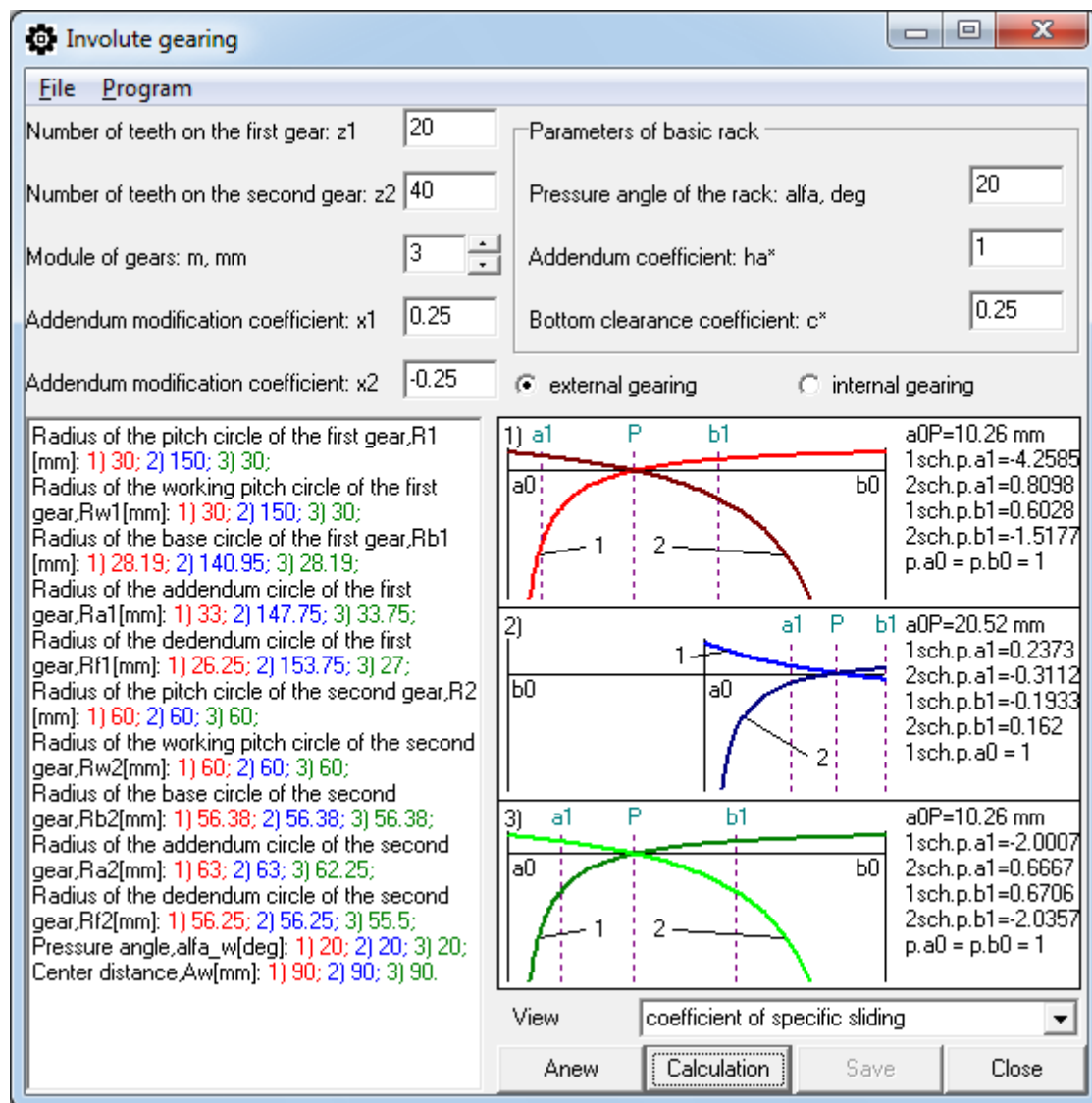


Рисунок 2 – Питоме ковзання для зовнішнього і внутрішнього зачеплення

Як видно, для першого варіанту зовнішнього зачеплення максимум коефіцієнту питомого ковзання дорівнює за модулем 4,2585. У той самий час для внутрішнього зачеплення максимум ковзання дорівнює за модулем 0,3112. Тобто зовнішнє зачеплення у 13,68 разів більш схильне до зношування ніж внутрішнє, яке може бути у складі того ж самого механізму. Після введення відповідних коефіцієнтів зміщення для зовнішнього зачеплення питомий тиск приймає майже однакові значення на краях активної зони в точках  $a_1$  і  $b_1$ , а саме 2,0357 за максимумом. Таким чином коефіцієнт питомого ковзання зменшено у 2,09 разів.

Для цього самого рішення можна переглянути зону активної ділянки лінії зачеплення коліс (рис. 3). При цьому наочно видно коли в контакті одна, а коли дві пари зубців. Також програма Evolv розраховує коефіцієнт торцевого перекриття ( $\epsilon_\alpha$ ), крок зубців ( $p_b$ ) і розмір ділянки зачеплення ( $a_1b_1$ ).

Таким чином при розробці даного програмного забезпечення були вирішені наступні практичні задачі:

- 1) розрахунок геометричних параметрів зубчастого зачеплення;
- 2) можливість змінювати параметри інструментальної рейки в процесі розрахунку;
- 3) можливість зміни коефіцієнтів зміщення і одночасний перегляд до трьох варіантів рішення;



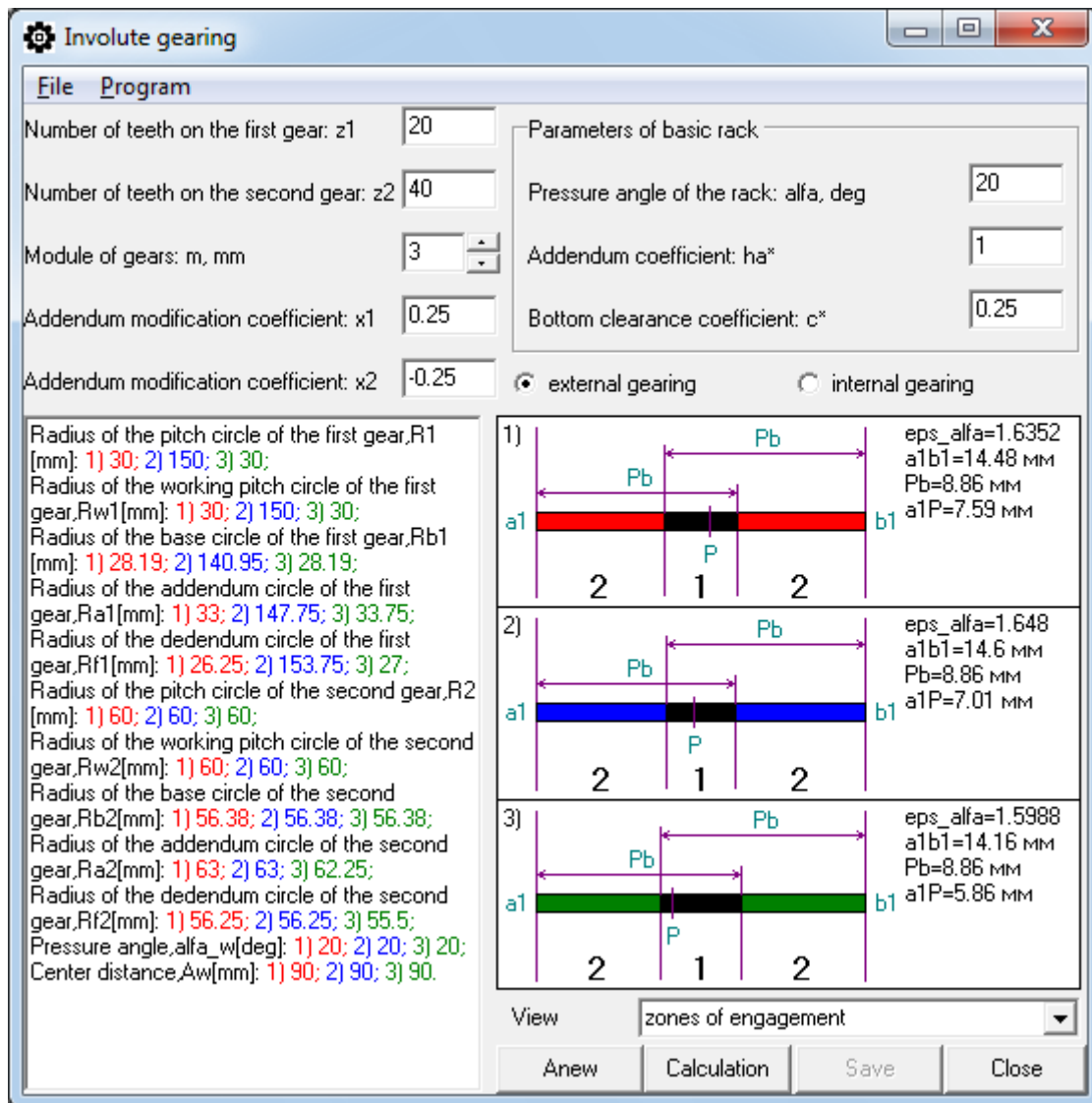


Рисунок 3 – Зона зачеплення

- 4) аналіз рішення основних якісних показників зубчастого зачеплення (коефіцієнт питомого тиску, коефіцієнти питомого ковзання, коефіцієнт торцевого перекриття);
- 5) можливість розрахунку і аналізу для зовнішнього і внутрішнього зачеплення коліс;
- 6) можливість підбирати коефіцієнти зміщення для планетарних і диференціальних зубчастих механізмів;
- 7) рішення оберненої задачі відбувається нескладно завдяки майже миттєвій швидкості розрахунку програми Evolv;
- 8) оптимізація можлива без системи блокуючих контурів.

### Список використаних джерел

1. Шебанов, І. Г. Кінематичний синтез та аналіз авіаційних механізмів з використанням ПЕОМ: навч. посіб. / І. Г. Шебанов. – Харків: ХАІ, 2000. – 44 с.
2. Алферов, В. В. Визначення геометричних параметрів та якісних показників зміщеного евольвентного зачеплення: навч. посіб./В. В. Алферов. – Харків: ХАІ, 1999. – 37 с.
3. Усік, В. В. Курс теорії механізмів і машин: навч. посіб. / В. В. Усік, В. О. Меньшиков. – Харків: ХАІ, 2019. – 320 с.

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ ІЗ ДВООПУКЛО-ВВІГНУТИМИ ЗУБЦЯМИ

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

Методика прогнозування довговічності конічних передач із двоопукло-ввігнутими зубцями (ДОВ-зубцями) складається із наступних блоків.

Блок введення вихідних даних. У якості вихідних даних для реалізації зазначеної методики ухвалюються наступні параметри:

- геометричні параметри зубчастого зачеплення;
- технологічний параметр поверхні зубців;
- фізико-механічні параметри матеріалу зубців;
- параметр мастильного матеріалу;
- силові та кінематичні параметри зачеплення.

У якості параметрів, що впливають на вибір оптимальних характеристик передачі прийняті коефіцієнти зсуву вихідного контуру  $x_1$ ,  $x_2$  для шестірні і колеса;  $m_{nm}$  - нормальний модуль у середньому перетині зуба;  $z_{ш}$ ,  $z_k$  - кількість зубів, відповідно шестірні і колеса.

Блок підготовки вихідних даних перетворює вихідні дані у формат, відповідний до вхідних параметрів усіх інших блоків.

У блоці моделі зачеплення зубців виконується математичний опис профілю бічних поверхонь ДОВ-зубців шестірні і колеса, формується матриця координат точок профілю бічної поверхні зубців шестірні і колеса, виконується побудова апроксимуючої кривої робочої поверхні зубців. Визначається положення контактної точки в нерухливій і рухливих (пов'язаних з віссю симетрії зубця) системах координат, миттєве передаточне число, швидкості переміщення контактної точки по профілях зубців, а також швидкість ковзання, нормальна сила і контактні напруги з урахуванням фактичної кривизни профілів, згінної і контактної піддатливості зубців і розподілу навантаження між парами зубців.

Блок зношування зубця в контактній точці визначає значення зношування контактуючих поверхонь із обліком максимально можливого числа факторів. Проводиться розподіл зношування між зубцями шестірні і колеса.

Далі виконується порівняння отриманих значень зношування в контактних точках профілю і критичного значення зношування, яке ухвалюється рівним 80% товщини цементацийного шару зубців шестірні й колеса. У випадку меншого значення зношування в контактних точках профілю в порівнянні зі значенням критичного зношування виконується коректування і синтез (створення) нового профілю методом кускової апроксимації.

Блок синтезу зношеного профілю по величині зношування в окремих точках профілю формує новий профіль, згладжуючи профільні криві тільки в зонах зношування і зберігаючи в зонах відсутності контакту колишні координати не порушеної зношуванням частини профілю.

Далі повторно (у циклі) використовуються блок моделі зачеплення зубців і блок зношування зубців.

Якщо зношування зубців, після  $n$ -го циклу, стає більшим, або рівним значенню критичного зношування, то зубці коліс вважаються зношеними і робота програми припиняється.

Блок розрахунків довговічності переводить умовні цикли зношування в довговічність передачі.

**ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ  
ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОСТАТИЧНИХ  
ПІДШИПНИКІВ СЕГМЕНТНОГО ТИПУ**Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

Одним з основних завдань сучасного машинобудування є створення роторних машин з високою частотою обертання і малими габаритами, маючими досить великий ресурс. Якщо раніше ротора оберталося, як правило, з частотою менше першої критичної швидкості, то в сучасних машинах застосовуються все частіше закритичні ротори, що обертаються з частотами більше першої (іноді другої) критичної швидкості. Обмеження на збільшення частоти обертання ротора накладаються, перш за все, з боку динаміки системи ротор-підшипник. Як правило, ротор і підшипники визначають ресурс всієї машини. У зв'язку з цим вивчення динаміки системи ротор-підшипник відноситься до одного з найважливіших завдань машинобудування.

В даний час одним з напрямків розвитку газотурбінних двигунів літаків цивільної авіації є збільшення ступені двоконтурності. Це дає істотне підвищення економічності двигуна. Для подальшого підвищення ступеня двоконтурності (понад 9) в двигуни необхідно встановити понижуючий редуктор, на підшипники зубчастих коліс внутрішнього зачеплення діють дуже великі навантаження порядку 100000- 200000 Н при частоті обертання близько 10000 об/хв. При таких великих навантаженнях і високій частоті обертання підшипники кочення не можуть забезпечити необхідний призначений ресурс, який становить понад 10000 годин. Альтернативою підшипникам кочення для підвісу зубчастих коліс редуктора є підшипники ковзання рідинного тертя. Ці підшипники здатні витримувати великі навантаження і мають при високій частоті обертання дуже великий ресурс.

Необхідність демпфування коливань зовнішніх навантажень сприяє більш широкому використанню в якості опор роторів швидкохідних машин підшипників ковзання рідинного тертя, що мають велику демпфуючу здатність в порівнянні з підшипниками кочення. В роботі [1] наводиться обґрунтування необхідності застосування підшипників ковзання рідинного тертя в редукторах авіаційних двигунів і приклади їх застосування. У класифікації підшипників ковзання рідинного тертя важливе місце займають гідростатодинамічні підшипники, які в своїй роботі використовують як гідростатичні, так і гідродинамічні ефекти. Для цих підшипників не потрібна додаткова система мастила з іншим робочим тілом, так як вони можуть працювати на робочому тілі машини. Мала в'язкість робочих тіл і порівняно високі швидкості ковзання створюють умови, при яких існує велика ймовірність появи турбулентної течії робочої рідини.

Наведені нові умови роботи опор роторів вимагають створення нових вібростійких конструкцій підшипників ковзання і необхідність їх динамічної оцінки.

В існуючих конструкціях енергоустановок використовують різні типи підшипників ковзання. Відома велика кількість типів розточки вкладишів [2]. Найбільш часто застосовують найпростіше циліндричне розточення. Однак круглоциліндричний підшипник має малу область стійкості і порівняно невисоку вантажопідйомність. Широко поширений в турбобудуванні двох центровий підшипник. Демпфуюча здатність двох центрового підшипника більше, ніж циліндричного, внаслідок того, що в останньому працюють дві половинки підшипника, кожна з них має клиновий простір

Дуже надійним типом підшипника, що протидіє виникненню коливань масляного шару, є підшипник з самовстановлювальними сегментами. Правильно спроектований і виготовлений підшипник з самовстановлювальними сегментами, на відміну від традиційних циліндричних конструкцій підшипників, дозволяє розширити область стійкого руху ротора. Крім того, вони здатні компенсувати перекося валопроводу.

На статичні і динамічні характеристики гідростатичних підшипників сегментного типу впливає багато факторів. Основними статичними характеристиками гідростатичних підшипників є вантажопідйомність, витрата робочої рідини і втрата потужності на тертя та прокачування. Для визначення динамічних характеристик гідростатичного підшипника потрібно мати траєкторії руху ротора, на основі яких будують амплитудно-частотні характеристики.

Траєкторія руху ротора також залежить від багатьох факторів, одним з яких є закон зміни гідродинамічних сил, отриманих на основі функції розподілу тиску у шарі мастила.

Розглянемо вплив деяких конструктивних і експлуатаційних параметрів сегментного гідростатичного підшипника на його характеристики. Вплив форми камер на характеристики гідростатичних підшипників в даний час досліджено тільки експериментально. В даній роботі виконано теоретичне дослідження впливу форми камер на характеристики гідростатичного підшипника сегментного типу. Розглядалися підшипники з двома формами камер прямокутні і круглі. Результати розрахунків показали, що вантажопідйомність гідростатичного підшипника сегментного типу з круглою формою камер вище приблизно в 1,66 рази, у порівнянні з прямокутною формою камер. Зі збільшенням зазору перевага підшипника з круглою формою камер стає ще більш відчутною.

На статичні і динамічні характеристики підшипника сегментного типу може вплинути тип робочої рідини. Розрахунки основних характеристик сегментного гідростатичного підшипника проводились для випадків його роботи на воді і на нітрині.

За результатами порівняння отриманих розрахунком основних характеристик сегментного гідростатичного підшипника, працюючого на воді і нітрині, можна зробити деякі висновки:

1. Вантажопідйомність сегментного гідростатичного підшипника, який працює на воді, при усіх розглянутих тисках робочої рідини і відносних ексцентриситетах вище вантажопідйомності сегментного гідростатичного підшипника, який працює на нітрині.

2. Для забезпечення однієї і тієї ж вантажопідйомності сегментного гідростатичного підшипника витрати робочої рідини води будуть менше, ніж нітрині приблизно в 1,3 рази.

3. Втрати потужності на тертя сегментного гідростатичного підшипника, який працює на воді, вище на 20 % у порівнянні з підшипником, який працює на нітрині.

Слід зазначити, що на малих ексцентриситетах вантажопідйомність сегментного гідростатичного підшипника менш чутлива до зміщення точки опори сегментів і суттєво залежить від нього на великих ексцентриситетах. Аналіз результатів розрахунків витрати робочої рідини і втрат потужності на тертя в залежності від зміщення точки опори сегментів показує незначний вплив зміщення точки опори сегментів на ці характеристики.

При виборі параметрів гідравличного тракту сегментного підшипника важливим фактором, що впливає на його працездатність, є правильний вибір діаметра жиклера. Результати розрахунків показали, що для усіх значень ексцентриситетів були отримані оптимальні значення діаметрів жиклерів по вантажопідйомності. Причому зі збільшенням ексцентриситету оптимум зміщувався в бік менших значень діаметрів жиклерів.

Компенсаційні параметри входу та виходу у підшипнику взаємопов'язані, тому кожному значенню зазору в підшипнику відповідає оптимальне значення діаметра жиклера.

Аналіз впливу конструктивних і експлуатаційних параметрів сегментного гідростатичного підшипника на його характеристики допоможе при проектуванні таких типів підшипників.

## **Список використаних джерел**

1. Равикович Ю.А., Ермилов Ю.И., Холобуев А.П. [и др.]. Экспериментальное исследование работы подшипников скольжения с жидкостной смазкой в нештатных режимах // Тр. МАИ. 2011. Вып. № 46. с. 1-10.

2. Brzeski I., Kazimierski Z. High Stiffness bearings // Trans. ASME. Journal Lubricat. Technob. 1979. V. 101. №4. P. 520- 525.

## ПОВЗУЧИСТЬ ТА ПОШКОДЖУВАНІСТЬ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА БАЗІ ЗМІШАНОГО ВАРІАЦІЙНОГО ФУНКЦІОНАЛА

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

**Вступ.** Проблеми оцінювання довготривалої міцності сучасної машинобудівної техніки займають важливе місце при проектуванні, створенні, доведенні й експлуатації машин, приладів і апаратури. Експлуатаційні умови для багатьох машинобудівних конструкцій характеризуються високими рівнями температур і навантажень. В цих умовах внаслідок таких явищ як повзучість та пошкоджувальність проявляються обмеження властивостей міцності й довговічності конструктивних елементів машин. Тому у розрахунках на міцність сучасної високотемпературної техніки особливе місце займають розрахунки на повзучість і довготривалу міцність.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Більшість з існуючих публікацій вітчизняних й закордонних авторів присвячено дослідженню нелінійних процесів повзучості розв'язку на базі чисельного методу скінчених елементів [1, 2]. Практично відсутні розробки на базі чисельно-аналітичних методів. В цих роботах, на підставі ретельного аналізу вітчизняної та зарубіжної літератури за темою роботи, сформульовано наукове завдання зі створення розрахункового методу оцінювання довготривалої міцності конструктивних елементів машин, які експлуатуються при високій температурі й повзучості, на базі змішаного варіаційного принципу й чисельно-аналітичного методу, що засновано на сполученні чисельного методу продовження рішення за часом й аналітичного рішення варіаційної рівності для змішаного функціоналу на кроці часу варіаційно-структурним методом теорії R-функцій.

**Постановка задачі й метод розв'язання.** Розглянемо повзучість й пошкоджувальність просторових тіл, закріплених на частині поверхні -  $S_u$  і навантажених об'ємними та на частині поверхні -  $S_p$  поверхневими силами.

Варіаційний функціонал, який задано на незалежних функціях напружень та переміщень, відноситься до змішаних функціоналів, причому для вихідного стану при нульових деформаціях повзучості цей функціонал точно відповідає відомому у теорії пружності функціоналу Рейснера й запишеться в наступному вигляді

$$R_{u\sigma} = \int_V \left[ \frac{1}{2} \sigma_{ij} (u_{i,j} + u_{j,i}) - \frac{1}{2} a_{ijkl}^{-1} \sigma_{ij} \sigma_{kl} - u_i f_i \right] dV - \int_{S_p} u_i p_i ds - \int_{S_u} \sigma_{ij} n_j (u_i - u_i^*) dS - \int_V \sigma_{ij} c_{ij} dV. \quad (1)$$

У разі коли тензор  $C_{ij}$  є відомим ( $\delta C_{ij} = 0$ ) перша варіація змішаного функціоналу (1) набуває вигляду

$$\delta R_{u\sigma} = \int_V \left[ \left( \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) - a_{ijkl}^{-1} \sigma_{kl} - c_{ij} \right) \delta \sigma_{ij} - (\sigma_{ij,j} + f_i) \delta u_i \right] dV - \int_{S_p} (\sigma_{ij} n_j + p_i) \delta u_i dS - \int_{S_u} \delta \sigma_{ij} n_j (u_i - u_i^*) dS. \quad (2)$$

З умови стаціонарності функціонала (2) отримуємо рівняння Ейлера – Остроградського.

Повна система рівнянь початково-крайової задачі повзучості тіл щодо невідомих компонентів тензорів напружень, деформацій і переміщень представлена у вигляді:

$$\begin{aligned}\sigma_{ij,j} + \rho f_i = 0, \quad \varepsilon_{ij} = 1/2(u_{j,i} + u_{i,j}), \quad \varepsilon_{ij} = d_{ijkl}\sigma_{kl} + c_{ij}, \quad x_i \in V \\ \sigma_{ij}n_j = p_i - x_i \in S_p, \quad u_i - u_i^* = 0 - x_i \in S_u.\end{aligned}\quad (3)$$

Система рівнянь (3) доповнюється рівняннями стану повзучості. Для ізотропного при повзучості матеріалу мезо-пошкодження адекватно описуються кінетичним рівнянням для параметру пошкоджуваності, що входить у рівняння стану повзучості [1-3]:

$$\dot{C}_{ij} = \frac{3}{2} \cdot \frac{B\sigma_i^{n-1}}{(1-\omega^r)^m} S_{ij}, \quad \dot{\omega} = \frac{D\langle\sigma_e\rangle^k}{(1-\omega^r)^l}, \quad \omega(0) = 0, \quad \omega(t_*) = \omega_*, \quad (4)$$

$$\langle\sigma_e\rangle = \begin{cases} \alpha\sigma_l + (1-\alpha)\cdot\sigma_i, & \sigma_e > 0 \\ 0, & \sigma_e \leq 0 \end{cases}, \quad (5)$$

де  $\sigma_l$  - максимальне головне напруження,  $\sigma_i$  - інтенсивність напружень,  $B, D, n, m, k, l, r, \alpha$  - матеріальні константи, що визначаються за даними базових експериментів.

В роботі запропоновано чисельно-аналітичний метод розв'язування початково-крайових задач повзучості, що засновано на сполученні методу продовження рішення за часом та рішенням варіаційної рівності (2) на кроці часу. Для визначення деформацій повзучості та пошкоджуваності на кроці часу застосоване чисельне інтегрування рівнянь (4) методом Рунге-Кутта-Мерсона з автоматизованим вибором кроку у часі, а для пошуку стаціонарних точок змішаного функціоналу (2) - варіаційно-структурний метод теорії R-функцій [3].

Далі в роботі основні співвідношення (1, 2) конкретизовано у циліндричних координатах. Для такого випадку змішаний варіаційний функціонал у циліндричній системі координат для ізотропних осиметрично навантажених тіл обертання в умовах повзучості запишеться у вигляді:

$$\begin{aligned}R_{u\sigma} = \iint_{\Omega} \left\{ \sigma_{rr} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \sigma_{\theta\theta} \frac{u_r}{r} + \sigma_{zz} \frac{\partial u_z}{\partial z} + \sigma_{rz} \left( \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) - \frac{1}{2E} \sigma_{rr}^2 - \right. \\ \left. - \frac{1}{2E} \sigma_{\theta\theta}^2 - \frac{1}{2E} \sigma_{zz}^2 - \frac{1}{G} \sigma_{rz}^2 + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{zz} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} \sigma_{zz} - f_r u_r - f_z u_z - \right. \\ \left. - C_{rr} \sigma_{rr} - C_{\theta\theta} \sigma_{\theta\theta} - C_{zz} \sigma_{zz} - 2C_{rz} \sigma_{rz} \right\} d\Omega - \iint_{S_p} t_i u_i dS - \iint_{S_u} n_i \sigma_{ij} (u_i - u_i^*) dS.\end{aligned}\quad (6)$$

Умова стаціонарності цього змішаного варіаційного функціоналу запишеться так:

$$\begin{aligned}\iint_{\Omega} \left\{ \delta\sigma_{rr} \left( \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{1}{E} \sigma_{rr} + \frac{\nu}{E} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{zz} - C_{rr} \right) + \right. \\ \left. + \delta\sigma_{zz} \left( \frac{\partial u_z}{\partial z} - \frac{1}{E} \sigma_{zz} + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} + \frac{\nu}{E} \sigma_{\theta\theta} - C_{zz} \right) + \delta\sigma_{rz} \left( \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} - \frac{1}{G} \sigma_{rz} - 2C_{rz} \right) - \right. \\ \left. + \delta\sigma_{\theta\theta} \left( \frac{u_r}{r} - \frac{1}{E} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} + \frac{\nu}{E} \sigma_{zz} - C_{\theta\theta} \right) + \right. \\ \left. - \delta u_r \left( \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} - \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + f_r \right) - \delta u_z \left( \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rz}}{r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + f_z \right) \right\} d\Omega = 0.\end{aligned}\quad (7)$$

де  $\Omega$  - двовимірна область, обмежена поздовжнім перетином тіла;

$E, \nu, G$  - модуль пружності, коефіцієнт Пуассона і модуль зсуву;

$C_{rr}, C_{\theta\theta}, C_{zz}, C_{rz}$  - компоненти тензора деформацій повзучості.

**Числові результати.** У різних областях машинобудування широко використовуються оберткові диски і ротори, які моделюються товстостінними циліндрами. Для підвищення високих параметрів роботи турбомашин необхідні розрахунки на довговічність таких елементів, на підставі яких забезпечується необхідний термін їхньої служби.

У якості приклада розглядається повзучість та пошкоджуваність товстостінного

циліндра з вільними краями, що знаходиться під дією внутрішнього розподіленого по довжині тиску  $p_1^0 = 25$  МПа. Матеріал циліндра дюралюмінієвий сплав Д16АТ. Фізико-механічні сталі даного матеріалу в рівняннях стану (3) за температури  $T=300^\circ$  С, прийняті рівними:  $E = 65$  ГПа,  $B = 0.34 \cdot 10^{-7}$  МПа<sup>-n</sup>/год,  $D = 1.9 \cdot 10^{-7}$  МПа<sup>-m</sup>/год,  $n = m = k = l = 2.93$ ,  $r = 1$ ,  $\nu = 0.3$ ,  $\alpha = 0$ . Геометричні параметри, що використовувались в розрахунках циліндра, мають наступні значення:  $R_1 = 0.1$  м,  $R_2 = 0.5$  м – внутрішній та зовнішній радіуси відповідно,  $2h = 0.6$  м - довжина циліндра.

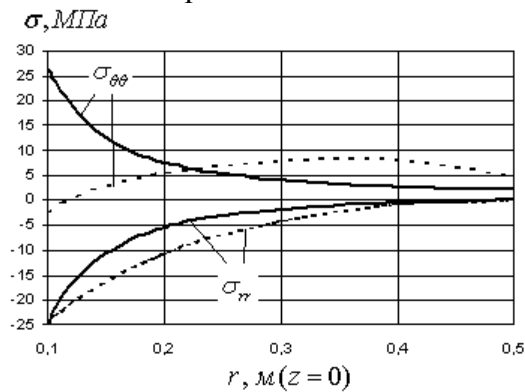


Рисунок 1 – Розподіл радіальних та окружних напружень

На рис. 1 наведено розподіл радіальних і окружних напружень у центральному перерізі циліндра в початковий момент часу  $t_0 = 0$  год (суцільна крива) і перед руйнуванням  $t_* = 109$  год (штрихова крива). Слід зазначити значний перерозподіл окружних напружень на внутрішній і зовнішній поверхні.

**Висновки.** Запропоновано чисельно-аналітичний метод та програмне забезпечення для оцінювання довготривалої міцності на етапі проектування елементів машинобудівних конструкцій, які містять покрокове інтегрування рівнянь стану повзучості та пошкоджуваності у часі з розв’язанням на кожному кроці варіаційної рівності для змішаного варіаційного функціоналу відносно параметрів напружено-деформованого стану. Для задачі повзучості циліндра з вільними краями, навантаженого внутрішнім тиском, проведено чисельні дослідження збіжності рішень при варіюванні кількістю утримуваних компонентів структур і числом точок дискретизації області циліндра. За результатами проведених розрахунків можна зробити висновок про істотний вплив повзучості на перерозподіл напружень циліндра.

### Список використаних джерел

1. Naumenko K. On the use of the first order shear deformation models of beams, plates and shells in creep lifetime estimations. Tech. Mech., 20, (2000), 215-226.
2. Altenbach H., Morachkovsky O., Naumenko K., Sychov A. Geometrically nonlinear bending of thin - walled shells and plates under creep - damage conditions. Arch. Appl. Mech., 67, (1997), p. 339 - 352.
3. Савін О.Б. Змішаний варіаційний функціонал в задачах повзучості та пошкоджуваності стержнів при згині / О.Б. Савін, В.М. Соболев // Опір матеріалів і теорія споруд: Науково-технічний збірник. – Вип. 100. – К.: КНУБА, 2018. – С. 115 – 123.

## МЕХАНІКА МІЖФАЗНОЇ ТРІЩИНИ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ХВИЛЕЮ ЗСУВУ

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

**Вступ.** Подані в даній доповіді матеріали можуть бути актуальними при розрахунках щодо визначення напружено-деформованого стану та тріщиностійкості композитних матеріалів та деталей з покриттями.

Задачі про тріщину на межі розділу пружних середовищ без урахування контакту берегів при статичному навантаженні зсувом неодноразово розглядалися в наукових роботах, наприклад, в [1].

Вирішенню задач для тіл з міжматеріальними тріщинами при динамічному навантаженні без урахування контакту берегів присвячено робота [2], де отримано граничні інтегральні рівняння і виконано тестові розрахунки.

В [3] вперше представлено підхід до вирішення задачі механіки тріщин з урахуванням контакту берегів при динамічних навантаженнях.

Подані в цій роботі матеріали рішення нелінійної задачі для міжматеріальної тріщини ґрунтуються на розробленій в [2] методиці рішення лінійних задач для міжфазних тріщин і ідеї дослідження нелінійних задач механіки тріщин [3]. Автори провели чисельні дослідження, присвячені виявленню особливостей зсувів берегів міжматеріальної тріщини і прилеглої до неї інтерфейсної поверхні, розрахункам величин зон контакту берегів і виникаючих контактних сил.

**Формулювання задачі.** У двовимірному просторі розглянемо  $R^2 = \{\bar{x} : x_3 = 0\}$  плоску деформацію двох лінійно-пружних напівплощин  $x_2 \geq 0, x_2 \leq 0$  з різними механічними характеристиками (параметрами Ламе  $\lambda, \mu$  і щільностями  $\rho$ ), які жорстко зчеплені між собою вздовж лінії  $x_2 = 0$  всюди, за винятком проміжку  $-1 < x_1 < 1$ , який представляє собою міжматеріальну тріщину. Береги тріщини ( ) попередньо не навантажені. Перпендикулярно лінії зчеплення матеріалів (уздовж осі  $x_2$ ) поширюється гармонічна хвиля зсуву з циклічною частотою  $\omega = 2\pi/T$ , де  $T$  – період коливань. Під дією динамічного навантаження протилежні берега тріщини деформуються, що призводить до їх розкриття і налягання з виникненням зон контакту та сил контактної взаємодії.

Напружено-деформований стан кожної з півплощини описується рівняннями лінійної динамічної теорії пружності в переміщеннях [3]

$$\begin{aligned} (\lambda^{(m)} + \mu^{(m)}) \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{u}^{(m)}(\mathbf{x}, t) + \mu^{(m)} \Delta \mathbf{u}^{(m)}(\mathbf{x}, t) = \\ = \rho^{(m)} \partial_t^2 \mathbf{u}^{(m)}(\mathbf{x}, t), \quad \mathbf{x} \in \Omega^{(m)}, \quad t \in [0, \infty), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\mathbf{u}^{(m)}(\mathbf{x}, t)$  – вектор переміщень,

$m = 1, 2$ ;

$\Delta$  – оператор Лапласа; з наступними граничними умовами:

– на лінії зчеплення матеріалів (ділянки  $-\infty < x_1 \leq -1$  і  $1 \leq x_1 < \infty$ ) виконуються умови повного механічного контакту, які полягають у безперервності переміщень і напружень;



– на берегах тріщини ( ) зусилля являє собою суперпозицію сил від падаючої хвилі і виникаючих контактних сил на заздалегідь невідомих ділянках налягання берегів.

Такі задачі відносять до нелінійних, незважаючи на лінійні рівняння (1) і вирішуються із залученням додаткових умов [3], що виключають взаємне проникнення берегів і існування розтягувальних зусиль у зонах контакту.

З метою зниження розмірності задачі перейдемо від задачі в двовимірній області до еквівалентної задачі на межах цієї області, використовуючи співвідношення Сомільяни і граничних рівностей для переміщень і зусиль [2], що впливають з них. В отриманих таким чином граничних інтегральних рівняннях представимо компоненти векторів сил і переміщень рядами Фур'є [3].

У випадку гармонічного навантаження, що розглядається, граничні інтегральні рівняння для коефіцієнтів Фур'є мають вигляд:

$$-\int_{\Gamma^{(1)cr}} \tilde{p}_i^{k,(1)}(\mathbf{y})U_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} = -\frac{1}{2}u_i^{k,(1)}(\mathbf{x}) - \int_{\Gamma^{(1)cr}} u_i^{k,(1)}(\mathbf{y})W_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} + \int_{\Gamma^*} u_i^{k,*}(\mathbf{y})W_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} - \int_{\Gamma^*} p_i^{k,*}(\mathbf{y})U_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y}, \quad \mathbf{x} \in \Gamma^{(1)cr}, \quad (2)$$

$$-\int_{\Gamma^{(2)cr}} \tilde{p}_i^{k,(2)}(\mathbf{y})U_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} = -\frac{1}{2}u_i^{k,(2)}(\mathbf{x}) - \int_{\Gamma^{(2)cr}} u_i^{k,(2)}(\mathbf{y})W_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} - \int_{\Gamma^*} u_i^{k,*}(\mathbf{y})W_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} + \int_{\Gamma^*} p_i^{k,*}(\mathbf{y})U_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y}, \quad \mathbf{x} \in \Gamma^{(2)cr}, \quad (3)$$

$$-\int_{\Gamma^{(1)cr}} \tilde{p}_i^{k,(1)}(\mathbf{y})U_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} = -\frac{1}{2}u_i^{k,*}(\mathbf{x}) - \int_{\Gamma^{(1)cr}} u_i^{k,(1)}(\mathbf{y})W_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} + \int_{\Gamma^*} u_i^{k,*}(\mathbf{y})W_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} - \int_{\Gamma^*} p_i^{k,*}(\mathbf{y})U_{ij}^{(1)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y}, \quad \mathbf{x} \in \Gamma^*, \quad (4)$$

$$-\int_{\Gamma^{(2)cr}} \tilde{p}_i^{k,(2)}(\mathbf{y})U_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} = -\frac{1}{2}u_i^{k,*}(\mathbf{x}) - \int_{\Gamma^{(2)cr}} u_i^{k,(2)}(\mathbf{y})W_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} - \int_{\Gamma^*} u_i^{k,*}(\mathbf{y})W_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y} + \int_{\Gamma^*} p_i^{k,*}(\mathbf{y})U_{ij}^{(2)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k) d\mathbf{y}, \quad \mathbf{x} \in \Gamma^*, \quad (5)$$

де:  $\tilde{p}_i^{k,(m)}(\mathbf{x})$ ,  $p_i^{k,*}(\mathbf{x})$ ,  $u_i^{k,*}(\mathbf{x})$  і  $u_i^{k,(m)}(\mathbf{x})$  – коефіцієнти Фур'є зусиль і переміщень на берегах тріщини і поверхні зчеплення;

$U_{ij}^{(m)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k)$  і  $W_{ij}^{(m)}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \omega_k)$  – фундаментальні рішення динамічної теорії пружності.

Для приведення компонент векторів контактних сил і переміщень берегів тріщини у відповідність з контактними обмеженнями використовувався ітераційний алгоритм динамічної теорії пружності.

Для чисельного рішення граничних інтегральних рівнянь задачі (2–5) був використаний прямий метод граничних елементів з постійною апроксимацією параметрів задачі на кожному елементі. Верхній і нижній береги тріщини і лінія зчеплення матеріалів були апроксимовані одновимірними граничними елементами.

**Розрахункові дослідження.** Розрахунки виконано для тріщини-відрідка довжини  $2L=2$  уздовж лінії з'єднання матеріалів сталь-алюміній. Матеріали характеризуються такими параметрами:

для сталі – модуль пружності  $E = 207$  ГПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,288$  і щільність  $\rho = 7860$  кг/м<sup>3</sup>;

для алюмінію – модуль пружності  $E = 70$  ГПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,347$  і щільність  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>.

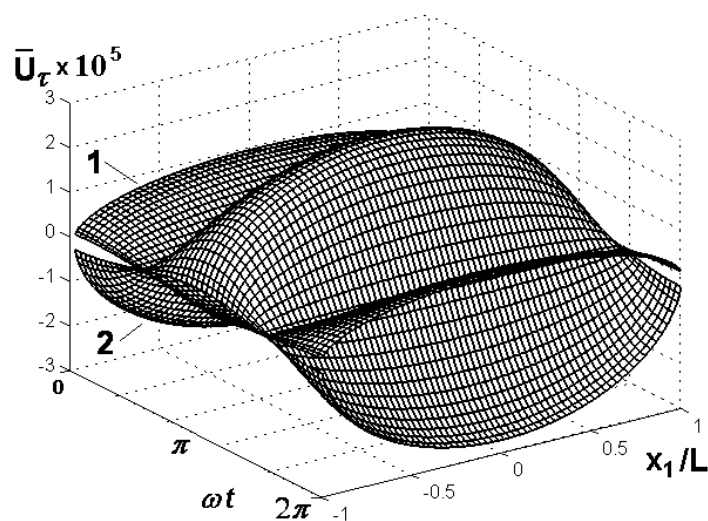
Навантаження на берегах тріщини було задано за законом плоскої гармонічної хвилі зсуву, спрямованої по нормалі до лінії зчеплення матеріалів. Частота гармонічного навантаження характеризувалася зведеним хвильовим числом  $k_2L = \omega L/c_2$ , де  $c_2$  – швидкість поперечних хвиль в алюмінії. Зведене хвильове число в розрахунках становило  $k_2L = 1,0$ . Вважалося, що контакт протилежних берегів тріщини здійснюється з тертям, при цьому коефіцієнт тертя задавався рівним  $k_\tau = 0,5$ .

Досліджувалися напрямки і величини зсувів берегів міжматеріальної тріщини, протяжність зони контакту берегів і контактні сили, що виникають на берегах тріщини.

На рис. 1, 2 представлено результати розрахункових досліджень дотичних компонент переміщень ( $\bar{U}_\tau = U_\tau/L$ ) берегів міжматеріальної тріщини і ділянок лінії зчеплення біматеріалу.

Рис. 1 ілюструє розподіл дотичних компонент переміщень протилежних берегів уздовж довжини тріщини протягом періоду навантаження при параметрі (1 – сталь, 2 – алюміній).

На рис. 2 представлено розподіл максимальних дотичних компонент переміщень ділянок лінії зчеплення біматеріалу в порівнянні з переміщеннями протилежних берегів уздовж довжини тріщини. Тут 1 і 2 – переміщення берегів тріщини, 3 – переміщення ділянок лінії зчеплення сталі та алюмінію.



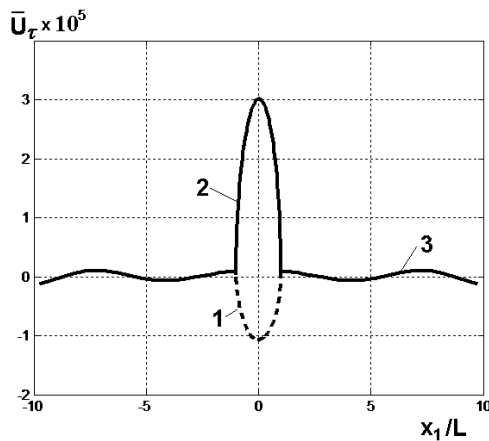
1 – сталь, 2 – алюміній

Рисунок 1 – Розподіл дотичних компонент переміщень протилежних берегів уздовж довжини тріщини протягом періоду навантаження при параметрі

Аналіз параметрів свідчить що максимальні дотичні компоненти переміщення лінії зчеплення матеріалів і берегів тріщини відрізняються на порядок.

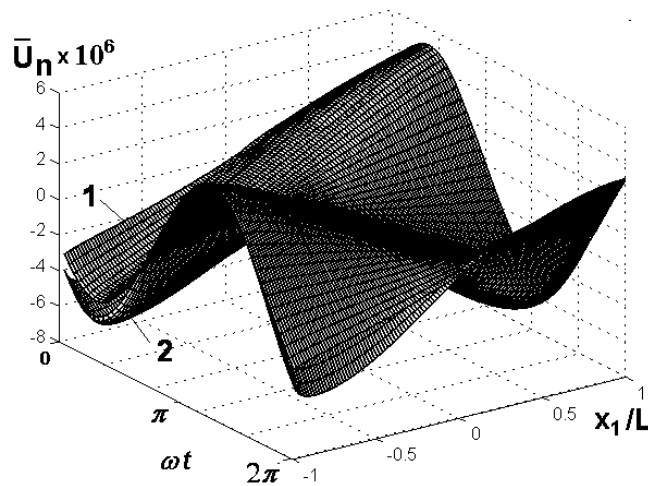
На рис. 3, 4 представлено результати розрахункових досліджень нормальних компонент переміщень ( $\bar{U}_n = U_n/L$ ) берегів міжфазної тріщини і ділянок лінії зчеплення біматеріалу.

Рис. 3 ілюструє розподіл нормальних компонент переміщень протилежних берегів уздовж довжини тріщини протягом періоду навантаження (1 – сталь, 2 – алюміній).



1 і 2 – переміщення берегів тріщини, 3 – переміщення ділянок лінії зчеплення сталі та алюмінію.

Рисунок 2 – розподіл максимальних дотичних компонент переміщень ділянок лінії зчеплення біматеріалу в порівнянні з переміщеннями протилежних берегів уздовж довжини тріщини



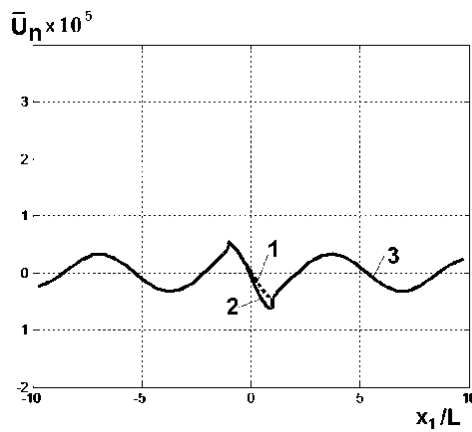
1 – сталь, 2 – алюміній

Рисунок 3 – Розподіл нормальних компонент переміщень протилежних берегів уздовж довжини тріщини протягом періоду навантаження

Встановлено, що протягом періоду навантаження змінюється положення на тріщині зони контакту і зони розкриття протилежних берегів. Рис. 3 наочно відображає цей факт:

- на початку і в кінці періоду навантаження ( $\omega t = 0, \omega t = 2\pi$ ) зона розкриття знаходиться на лівій половині тріщини, а зона контакту – на правій;
- в середині періоду навантаження ( $\omega t = \pi$ ) на лівій половині тріщини знаходиться зона контакту, а на правій знаходиться зона розкриття.

На рис. 4 представлено розподіл максимальних нормальних компонент переміщень ділянок лінії зчеплення біматеріалу у порівнянні з переміщеннями протилежних берегів уздовж довжини тріщини. Тут 1 і 2 – переміщення берегів тріщини, 3 - переміщення ділянок лінії зчеплення сталі та алюмінію.



1 і 2 – переміщення берегів тріщини, 3 - переміщення ділянок лінії зчеплення сталі та алюмінію

Рисунок 4 – Розподіл максимальних нормальних компонент переміщень ділянок лінії зчеплення біматеріалу у порівнянні з переміщеннями протилежних берегів уздовж довжини тріщини

Аналіз розподілів показує, що максимальні нормальні компоненти зміщення берегів тріщини і лінії зчеплення матеріалів мають близькі значення (на відміну від дотичних компонент на рис. 2).

Результати досліджень величини зони контакту і контактних сил на берегах міжматеріальної тріщини представлено на рис. 5, 6.

Рис. 5 ілюструє положення і протяжності зон контакту берегів і розподілу нормальних компонент контактних сил ( $\bar{q}_n = q_n/\sigma_0$ ,  $\sigma_0$  – амплітуда напруги хвилі зсуву) уздовж довжини тріщини протягом періоду навантаження.

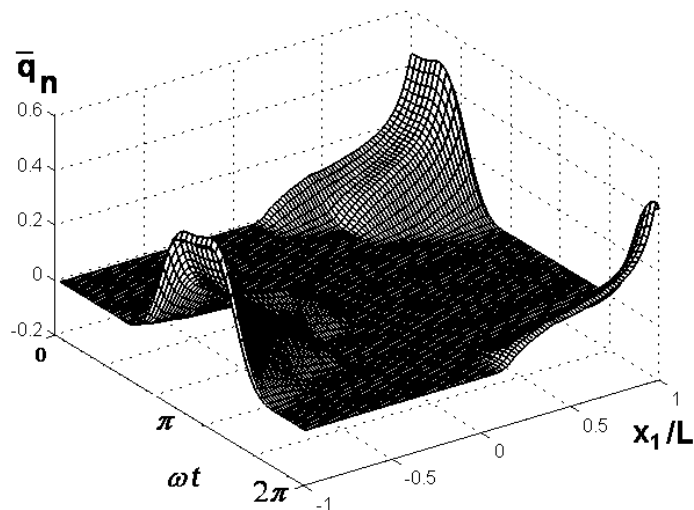


Рисунок 5 – Положення і протяжності зон контакту берегів і розподілу нормальних компонент контактних сил

Рис. 6 ілюструють положення і протяжності зон контакту берегів і розподілу дотичних компонент контактних сил ( $\bar{q}_\tau = q_\tau/\sigma_0$ ,  $\sigma_0$  – амплітуда напруги хвилі зсуву) уздовж довжини тріщини протягом періоду навантаження.

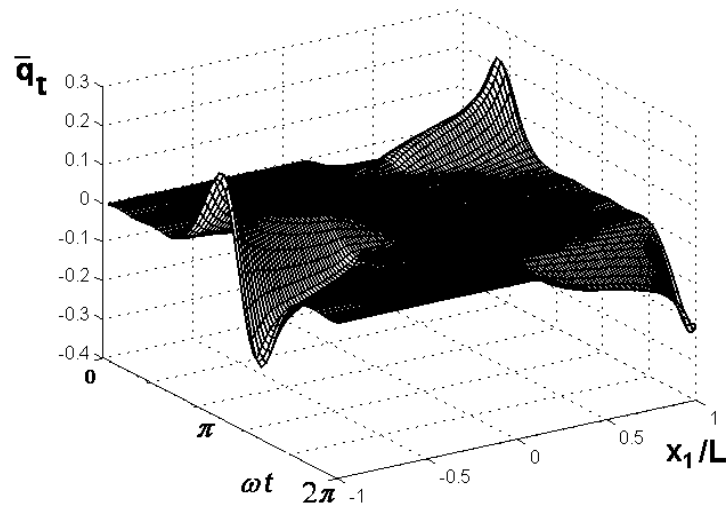


Рисунок 6 – положення і протяжності зон контакту берегів і розподілу дотичних компонент контактних сил

Аналіз представлених параметрів демонструє, що:

- довжина ділянки контакту берегів уздовж тріщини не є постійною величиною (як у статичному випадку), а змінюється протягом періоду навантаження;
- максимальне значення довжини ділянки контакту становить 44–45% довжини тріщини;
- максимальне значення нормальних і дотичних компонент контактних сил досягаються у вершинах тріщини та змінюють своє положення протягом періоду навантаження.

**Висновок.** Проведено розрахункові дослідження впливу гармонічного навантаження хвилею зсуву біматеріалу з міжматеріальною тріщиною на дотичні і нормальні компоненти зсувів берегів тріщини і лінії зчеплення матеріалів, на довжину ділянки контакту берегів, на величини нормальних і дотичних компонент контактних сил.

Для дотичних і нормальних компонент зсувів берегів тріщини показано, що максимальні дотичні компоненти переміщення лінії зчеплення матеріалів і берегів тріщини відрізняються на порядок, в той час як максимальні нормальні компоненти зміщення берегів тріщини і лінії зчеплення матеріалів мають близькі значення.

Для ділянки контакту протилежних берегів показано, що довжина ділянки контакту не є постійною величиною, а змінюється протягом періоду навантаження.

Для контактних сил на берегах тріщини показано, що максимальне значення нормальних і дотичних компонент контактних сил досягаються у вершинах тріщини та змінюють своє положення протягом періоду навантаження.

### Список використаних джерел

1. Chai, H., Bao, Y. and Zhang, Z. Numerical solutions of hypersingular integral equations for interface circular crack under axisymmetric loadings. // Eng. Anal. Bound. Elem. – 2021. – **122**. – P. 35–42.

2. Menshykov O.V., Guz I.A., Menshykov V.A. Boundary integral equations in elastodynamics of interface cracks // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2008. – V. 366. – 1871. – P. 1835–1839.

3. Гузь А.Н., Зозуля В.В. Неклассические проблемы механики разрушения: в 4-х томах. Кн.2. Хрупкое разрушение материалов при динамических нагрузках. – К.: Наук. думка, 1993. – 236 с.

## РОЗРОБКА ЧИСЛЕННОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗІТКНЕННЯ ПТАХУ З ЛОПАТКОЮ ДВИГУНА

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

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 [1-7]. 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 птахи; 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).

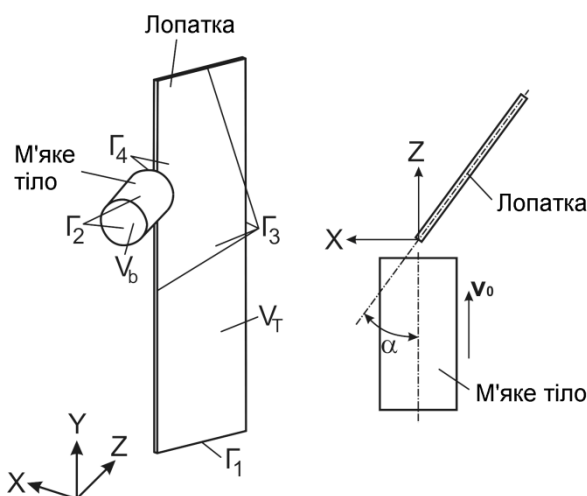


Рис. 1. Розрахункова схема завдання про зіткнення птаха з лопаткою двигуна

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;  $\rho_0 = -0.0631\lg(m) + 1,148$  – щільність середовища, що моделює м'яке тіло, г/см<sup>3</sup>.

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.

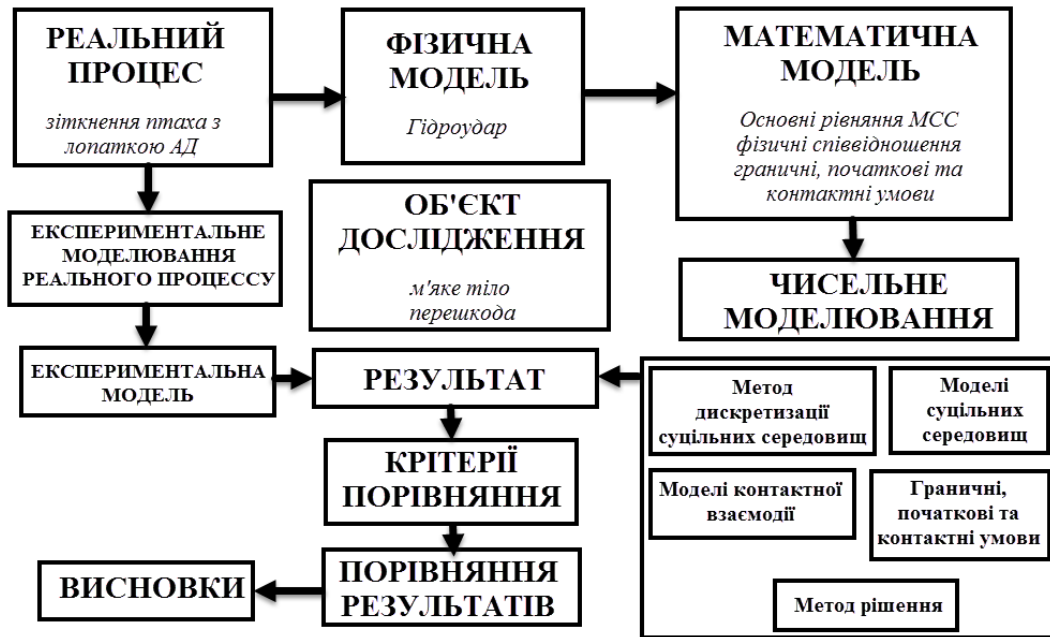


Рис. 2. Расчетно-экспериментальный метод исследования соударения птицы с лопаткой двигателя

Основні рівняння математичної моделі, що описують рух і термомеханічний стан деформівних суцільних середовищ, записано в актуальній конфігурації і наведено в роботі [8]. 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  $\delta$  – символ Кронекера,  $\rho$  – 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,  $\sigma_{ij}$  – напруження Коші,  $\Omega$  – 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 [9].

Для опису руху та деформування птаха застосовано безсітковий метод згладжених частинок [10], 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 [11]. Для забезпечення стійкості явної різницевої схеми зі змінним кроком за часом повинна виконуватися умова Куранта-Фрідрікса-Леві:

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

де  $\omega_{max}$  – 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 [12]; для м'якого тіла – гідродинамічна модель суцільного середовища з рівнянням стану поліноміального типу [13, 14].

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.

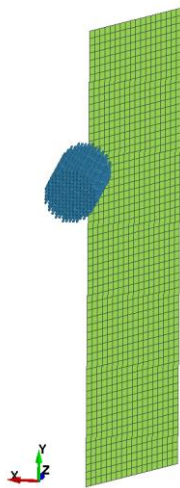


Рис. 3. Чисельна модель для моделювання зіткнення птаха з лопаткою двигуна (випадок косого удару  $\alpha=36,4^\circ$ )

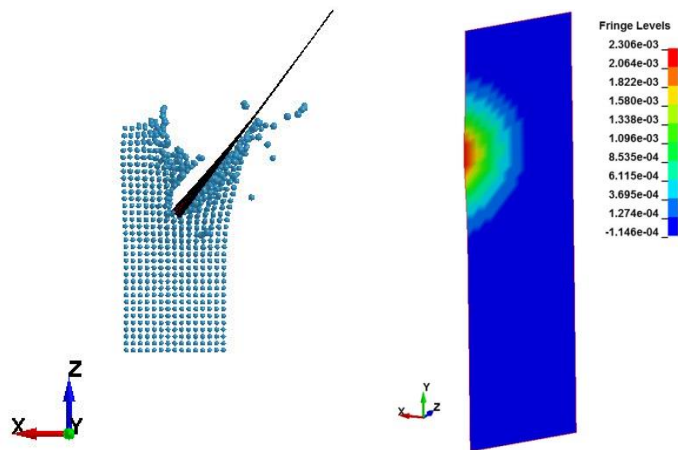


Рис. 4. Результат чисельного моделювання зіткнення птахи з лопаткою двигуна при косому ударі  $\alpha=36,4^\circ$ :  
 а. характер деформування м'якого тіла та лопатки в момент часу  $T=107,9$  мкс  
 б. прогин лопатки у напрямку Z в момент часу  $T=107,9$  мкс

У процесі розробки моделі виконано верифікацію шляхом порівняння результатів чисельного моделювання з результатами натурних експериментів [15, 16], а також розрахунковими даними інших авторів [17].

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 птиці масою  $m=1,0$  кг зі швидкістю  $V_{im} = 100$  м/с.

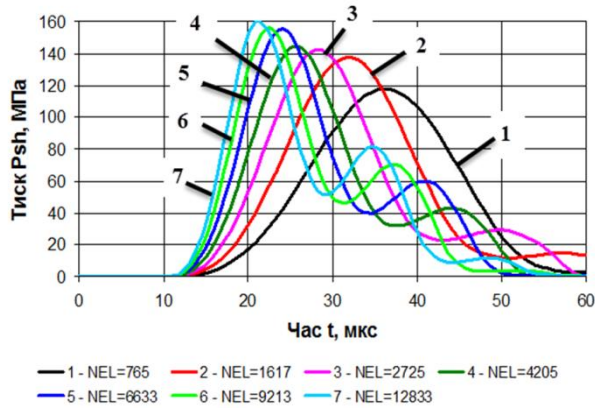


Рис. 5. Вплив кількості частинок на розподіл тиску при ударі м'якого тіла по жорсткій перешкоді

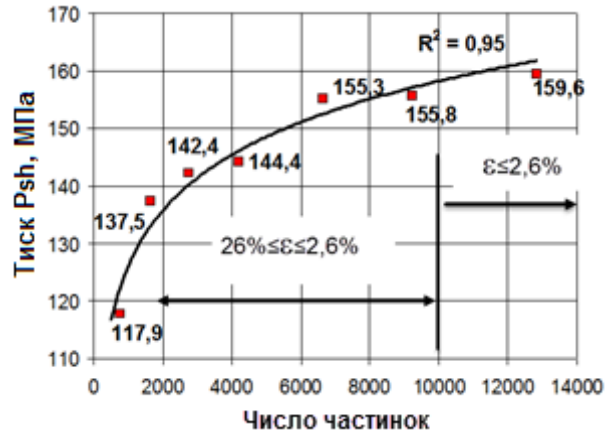
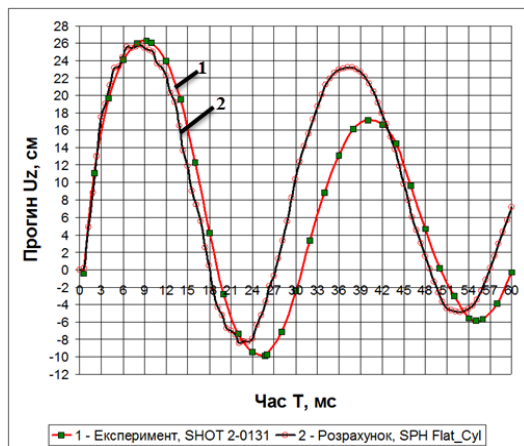


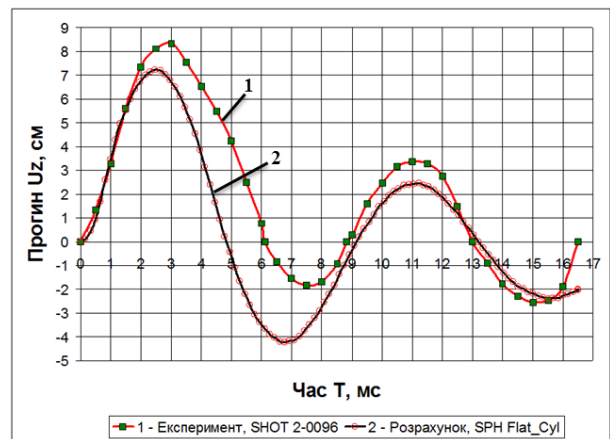
Рис. 6. Вплив кількості частинок на зміну тиску Гюгонію при ударі м'якого тіла по жорсткій перешкоді

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.

## Список використаних джерел

1. Ивченко, Д. В. Разработка модели птицы-ударника для математического моделирования процессов повреждения деталей турбореактивного двухконтурного двигателя / Д. В. Ивченко, В.М. Меркулов, Н.В. Сметанкина. // *Авиационно-космическая техника и технология*. 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), січень-березень 2019 р. – С. 48–62.
3. Кирсанов, А.Р. Прогнозирование последствий попадания птицы на вход в ГТД с использованием численного моделирования / А.Р. Кирсанов, М.В. Кузьмин // *Международный научно-технический форум, посвященный 100-летию ОАО “Кузнецов” и 70-летию СГАУ: Сборник трудов в 3-х томах*. – Самара, 2012. – том 1. – С. 279-280.
4. 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 and J. Bayandor // *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4 - 7 January 2011, Orlando, Florida*.
5. Нихамкин, М.Ш. Моделирование повреждения посторонними предметами полых лопаток вентилятора ГТД / М.Ш. Нихамкин, И.В. Семенова, О.Л. Любчик, И.Л. Гладкий // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, т. 13, №1(2), 2011. с. 326–329.
6. 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*.
7. 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.
8. 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.
9. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 7. Belytschko-Lin-Tsay Shell – Livermore: LSTC, 2006. – p. 111–116.
10. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 38. SPH – Livermore: LSTC, 2006. – p. 637–642.
11. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 24. Time Integration – Livermore: LSTC, 2006. – p. 501.
12. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 19. Material Models. Material Model 3: Elastic Plastic with Kinematic Hardening – Livermore: LSTC, 2006. – p. 273–276.
13. J.O. Hallquist. LS-DYNA Theory Manual. 19. Material Models. Material Model 9: Null Material – Livermore: LSTC, 2006. – p. 283.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Онгирский, Г. Г. Экспериментальное исследование птицестойкости элементов конструкции самолета / Г. Г. Онгирский, А. Н. Шупиков, С. В. Угримов и др. // *Сб. научн. Тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»*. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – 2011. – Вып. 2. – С. 49–59.

<sup>1</sup>Шатохін В.М., д.т.н., професор  
shatokhinvlm@gmail.com

<sup>1</sup>Гранько Б.Ф., доцент  
granko.boris@kstuca.kharkov.ua

<sup>2</sup>Соболь В.М., к.т.н., доцент  
sobol\_vn@ukr.net

## ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРИВОДУ ТУРБОНАДДУВА ДИЗЕЛІВ ТИПУ 6ТД ПО ДИНАМІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

<sup>1</sup>Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

**Вступ.** Характерною особливістю турбопоршневих двигунів типу 6ТД є наявність суттєво нелінійного приводу до турбіни і компресора. Нелінійності породжуються установкою пружної муфти з попереднім натягом, ступінчастої ресори, а також наявністю зазорів, неминучих в шліцевих і зубчастих з'єднаннях. Зазначені вузли разом з фрикційними муфтами призначені для зниження імпульсних інерційних навантажень при зміні зовнішнього навантаження, різкому натисканні на педаль газу на холостому ході, перемиканні передач, гальмуванні. Крім того, параметри муфти та ресор підбираються таким чином, щоб частоти збурюючих моментів двигуна перевищували частоти власних коливань приводу. У процесі доведення дизелів у приводах, однак, були виявлені інтенсивні субгармонічні коливання, несподівані для конструкторів.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Особлива небезпека субгармонічних коливань полягає в тому, що їхня поява, як правило, є несподіваною для конструкторів. Відомі підходи відносно аналізу динамічних навантажень у силових передачах машин з ДВЗ [1, 2] не дозволяють пояснити природу зазначених коливань і тим більше не містять апарату для їх дослідження. У роботі [3] закони зміни кутів закручування нелінійних ланок і кутів повороту мас у крутильній системі наближено представлені в бігармонічній формі, а для складання вирішальних рівнянь застосовується метод Галеркіна. Для багатьох авторів, наприклад в [4, 5], вихідною посилкою при вивченні субгармонічних коливань є припущення про те, що ці коливання можна розглядати як вільні коливання консервативної нелінійної динамічної моделі, що підтримуються кратними за частотою гармоніками збурюючого впливу. Це дає можливість для грубої оцінки їх рівня та діапазонів появи.

**Мета та постановка задачі.** Метою досліджень є знаходження механізму виникнення небезпечних субгармонічних коливань, порівняльна оцінка різних варіантів приводу до агрегатів турбонаддува з точки зору рівня основних та субгармонічних коливань і відповідних максимальних пружних моментів; обґрунтування застосування в приводах дизелів податливої ресори зі спеціально обробленої сталі з установкою і без установки пружної муфти.

**Модель приводу для дослідження субгармонічних коливань.** На рис. 1 представлена кінематична схема дизелів типу 6ТД зі споживачами: 1 – впускний колінчастий вал; 2 – пружна муфта на впускному валу; 3 ÷ 7 – шестірні головної передачі; 8 – випускний вал; 9 – ресора приводу компресора; 10 – пружна муфта в приводі компресора; 11 – фрикційні муфти; 12 – ротор компресора; 13 – ресора приводу турбіни; 14 – ротор турбіни; 15 – гумопальцеві муфти; 16 – споживачі (гідрогаляма).

Для механічної моделі приводу досліджувалися три види з'єднань з компресором: пружна муфта (рис. 2), ступінчаста ресора (рис. 3), гладка ресора. Відповідні нелінійні пружні характеристики з урахуванням технологічних зазорів показані на рис. 4. Параметри нелінійних характеристик через їх суттєвий вплив на характер сталих коливань перевірялися експериментально. При цьому одночасно оцінювалися демпфіруючі властивості з'єднань.

Параметри нелінійних характеристик, які приведені до випускного валу:

1 –  $c'_{17} = 3,7 \cdot 10^4$  Нм;  $c''_{17} = 1 \cdot 10^4$  Нм;  $d'_{17} = 0,0029$  рад;  $d''_{17} = 0,0353$  рад;

2 –  $c'_{17} = 3,7 \cdot 10^4$  Нм; 3 –  $c'_{17} = 2,08 \cdot 10^4$  Нм;  $c''_{17} = 1,16 \cdot 10^5$  Нм;  $d'_{17} = 0,03$  рад.

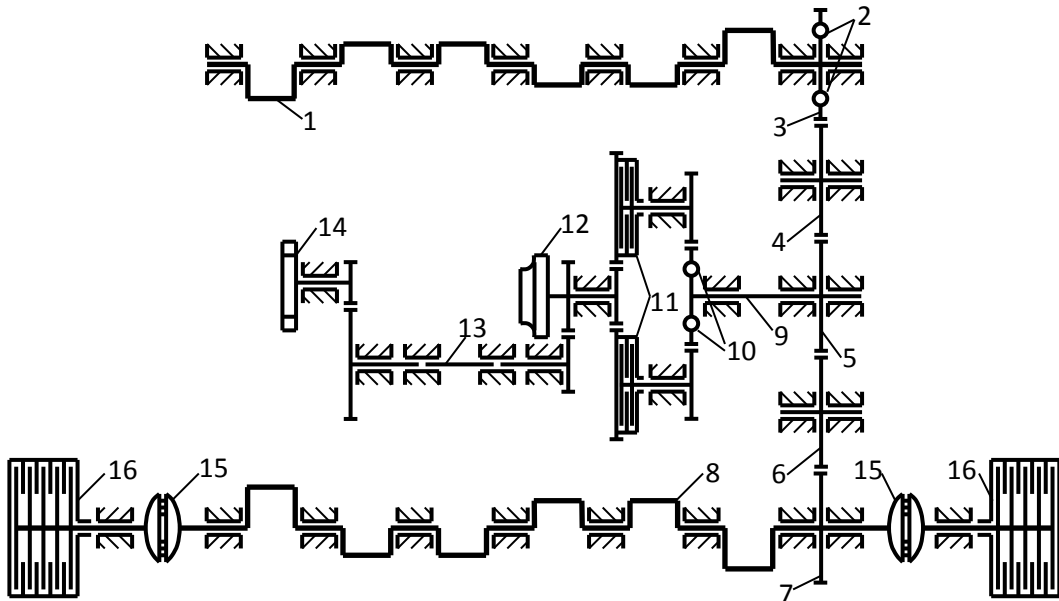


Рис. 1. Кінематична схема двигунів типу БТД зі споживачами

Зазор у з'єднаннях оцінювався експериментально, його значення для різних агрегатів лежать у досить широких межах. Щоб відобразити це, дослідження здійснювалися для наступних значень  $d_{17}$ : 0,004 рад; 0,008 рад; 0,02 рад. На різних режимах середній момент  $M_{cp}$ , що передається нелінійним з'єднанням, також змінювався в широкому діапазоні; розрахунки проводилися для кількох значень: 100 Нм; 200 Нм; 300 Нм; 400 Нм.

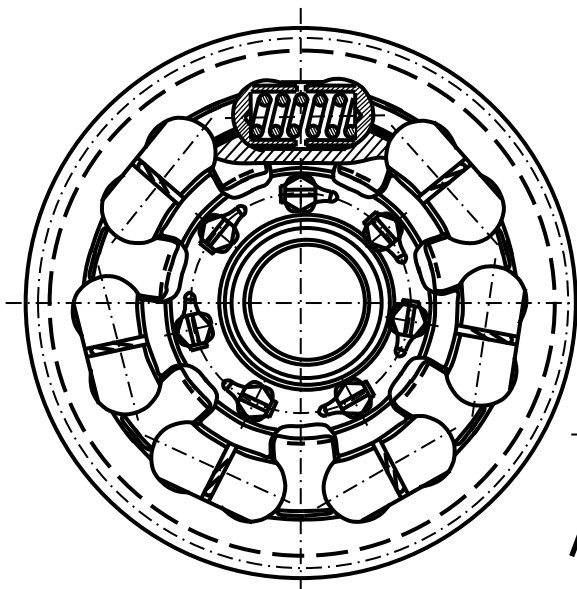


Рис. 2. Пружна муфта приводу компресора та турбіни

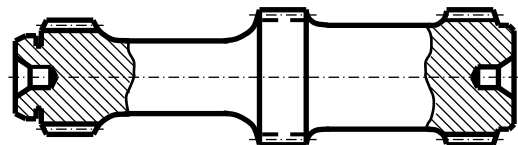


Рис. 3. Ступінчаста ресора

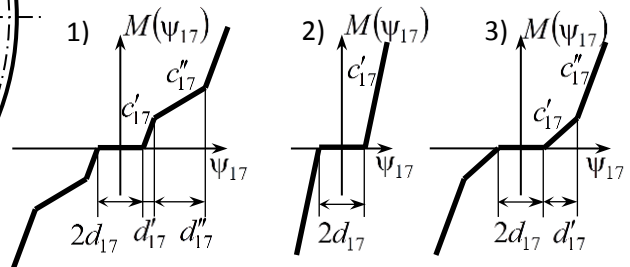


Рис. 4. Нелінійні характеристики:

1) – пружної муфти; 2) – гладкої ресори;  
3) – ступінчастої ресори

Механічна система валопроводу розглянутого двигуна, яка включає основні силиві передачі і приводи до допоміжних механізмів, має велику кількість степенів вільності. Розрахунки лінеаризованої моделі показали, що дві власні частоти визначаються пружно-інерційними властивостями приводу турбонадува. Відношення частот обертання

компресора і турбіни до частоти обертання колінчастого валу для двигуна 6ТД-2 мають такі значення:  $n_k/n_{к.в.} = 12,459$ ;  $n_t/n_{к.в.} = 9,099$ , а їх приведені моменти інерції –  $I_{18} = 1,801 \text{ кгм}^2$ ,  $I_{19} = 2,078 \text{ кгм}^2$ ; приведена жорсткість ділянки між зазначеними масами –  $c_{18} = 1,999 \cdot 10^4 \text{ Нм}$ .

Виникнення субгармонічних коливань неможливо пояснити наявністю гармоніки шостого (головної) і кратних їй порядків в збурюючому моменті двигуна з номінальним регулюванням. Їх причиною можуть бути збурювання лише значно нижчої частоти. Це потребувало проведення спеціальних експериментальних досліджень. Аналіз отриманих в ході експериментів законів руху перерізів валів, показав, що при нерівномірній роботі циліндрів у їх розкладанні в ряд Фур'є можуть бути всі гармоніки, починаючи з першої, яка в робочому діапазоні частоти обертання валів для приводу до компресора і турбіни може бути резонуючою. Ця обставина і покладено в основу проведених досліджень. У розрахунках приймалося, що коливання збуджуються першою гармонікою, а її амплітуда для перерізу валопроводу в місці установки ресори компресора бралася з експерименту (кінематичне збудження). Більшість розрахунків проводили з амплітудою 0,01 рад. Величина її може досягати і більших значень при зростанні розрегулювань циліндрів.

**Математичний апарат дослідження сталих динамічних процесів в нелінійних силових передачах.** Особливістю більшості моделей машинних агрегатів з ДВЗ є те, що кількість нелінійних елементів технологічного і конструктивного характеру у яких значно менше числа степенів вільності. Відомо, що в таких випадках при дослідженні сталих динамічних процесів рівняння руху доцільно записувати в інтегральній формі з використанням імпульсно-частотних характеристик (ІЧХ) лінеаризованих моделей [6, 7]. Число рівнянь виявляється рівним числу нелінійностей, а трудомісткість розв'язання задачі, практично не залежить від числа степенів вільності системи, що істотно при розв'язанні задач синтезу та оптимізації.

У матричній формі нелінійні інтегральні рівняння періодичних коливань записуються у вигляді [6, 7]

$$\mathbf{y}(t) = \int_0^T \Phi(t - \tau) \mathbf{f}(\mathbf{y}) d\tau + \mathbf{g}(t), \quad (1)$$

де  $\mathbf{y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_s(t)]^T$  – вектор кутів закручування нелінійних з'єднань ( $t$  – знак транспонування);  $s$  – число нелінійностей;  $\Phi(t - \tau) = [\varphi_{i,j}(t - \tau)]$  ( $i, j = \overline{1, s}$ ) – матриця ІЧХ;  $\mathbf{f}(\mathbf{y}) = [f_1(y_1), f_2(y_2), \dots, f_s(y_s)]^T$  – нелінійна вектор-функція;  $\mathbf{g}(t) = [g_1(t), g_2(t), \dots, g_s(t)]^T$  – вектор-функція реакцій на зовнішнє збурення лінеаризованих нелінійних з'єднань.

**Результати розрахунково-експериментальних досліджень субгармонічних коливань.** Експериментальні дослідження були проведені з метою: оцінки рівня кінематичного збурення в приводі за різних умов експлуатації; визначення параметрів демпфування; вивчення поведінки нелінійних систем на різних режимах сталих змушених коливань (основних і субгармонічних); зіставлення з результатами розрахунків амплітуд коливань мас. У процесі досліджень на стенді з гідрогальмами реєструвалися кутові швидкості: носка колінчастого валу – шестерня 17; шестерень компресора і турбіни, відповідно 12 і 14 (рис. 1). На рис. 5 наведено характерний зразок осцилограми з субгармонічним резонансом, записаної для приводу з гладкою ресорою (нелінійність 2 на рис. 4) для частоти обертання валу двигуна  $\omega = 298 \text{ с}^{-1}$ . При цьому з метою зміни збурення проводилося розрегулювання двигуна, для чого третій циліндр від'єднувався від системи управління. Зазначений запис отримано при максимальному розрегулюванні, що відповідає положенню рейки паливного насоса цього циліндра на подачі холостого ходу і здійсненні іншими насосами максимальної подачі палива. Експерименти показали, що на найбільш ймовірних режимах роботи двигуна збуджуються стійкі субгармонічні коливання резонансного характеру, для розглянутих моделей спочатку були проведені розрахунки вільних коливань.

Гіпотеза про те, що субгармонічні коливання можна розглядати як вільні коливання консервативної нелінійної динамічної моделі, що підтримуються кратними за частотою збуджуючими гармоніками, підтверджується багатьма дослідженнями моделей розглянутого класу [7]. На рис. 6 для моделі з нелінійністю 2 побудовані залежності перших трьох гармонік вільних коливань від частоти (середній момент – 300 Нм): суцільна лінія – перша гармоніка; штрихова – друга; штрих-пунктирна – третя. Криві з номерами 1, 2, 3 отримані

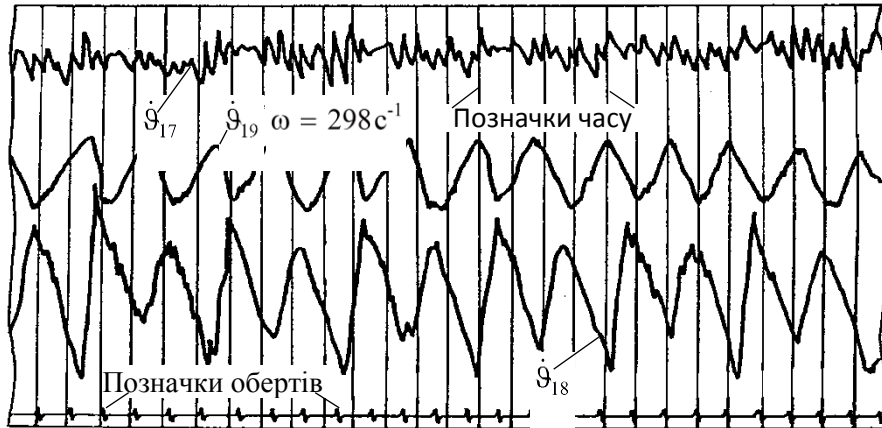


Рис. 5. Субгармонічний резонанс у системі з нелінійністю 2

при  $d_{17}$ : 0,02 рад; 0,008 рад; 0,004 рад. Досліджено вплив різних нелінійностей та деяких інших параметрів на рівень вищих гармонік вільних коливань.

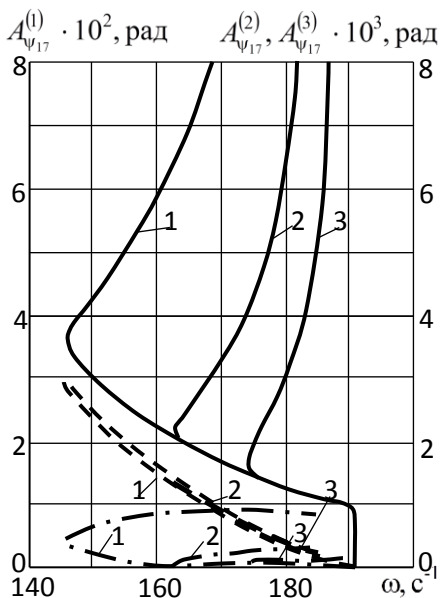


Рис. 6. Амплітуди гармонік для нелінійності 2

Хоча в розрахунках основна увага приділялася субгармонічним коливань, але враховуючи їх резонансний характер, для отримання додаткової інформації розраховувалися також і основні резонансні коливання.

Результати розрахунків основних та субгармонічних коливань у системі з нелінійною характеристикою 2 для кута закручування нелінійного з'єднання представлені на рис. 7, 8. На першому побудована залежність амплітуди першої гармоніки змусених коливань від частоти. Найбільш сильна з вищих гармонік – друга, становить менше 10% від першої. На рисунку показано також отримана вище залежність амплітуди першої гармоніки вільних коливань від частоти, яка на рис. 8, де наведені залежності субгармонічної складової та основної гармоніки субгармонічних коливань від частоти, перебудована для подвоєних значень частот. Аналогічні дослідження субгармонічних коливань проведені для моделей з нелінійностями 1 і 3.

Отримані результати підтверджують вихідну гіпотезу про близькість субгармонічних та вільних коливань. Встановлено, що при однакових зазорах найбільші коливання та максимальні пружні моменти розвиваються в системі з нелінійністю 3. Рівні максимальних основних та субгармонічних коливань для нелінійностей 1 і 2 близькі, але відповідні їм пружні моменти для нелінійності 1 менше. Зазначимо, однак, що якщо для нелінійності 2 зазначені коливання можна усунути за рахунок зменшення технологічних зазорів, то для нелінійностей 1 і 3, як показали розрахунки вільних коливань, цього може виявитися недостатньо.

Результати проведених досліджень разом з даними розрахунково-експериментальних досліджень перехідних режимів (пуски, перемикання передач, накидання та скидання навантаження і т.д.) виявилися одними з найбільш переконливих аргументів відносно відмови від використання в приводі турбонадува БТД-2 пружної муфти і переходу на

застосування податливої ресори діаметром 27 мм (замість 29 мм). Заготовки для ресори отримують із сталі 45ХН2МФА-Ш методом екструзії. Підвищення твердості ресори до HRC=51÷56 збільшує не тільки її надійність, а й надійність всього приводу. Застосування цієї ресори в приводі двигуна 6ТД-1 з пружною муфтою підвищує загальну його податливість, що призводить до зниження обертів, на яких відбуваються найбільш інтенсивні коливання. Завдяки цьому знижуються також максимальні навантаження.

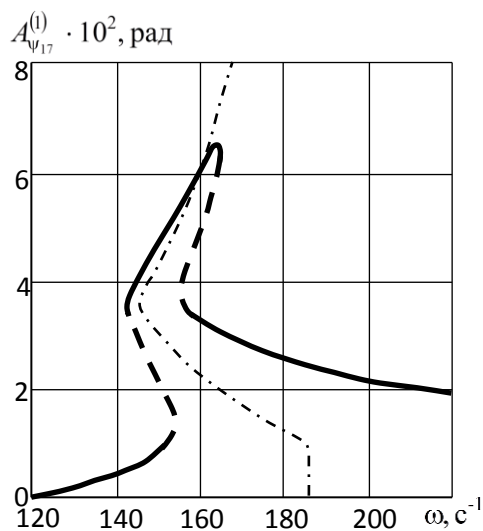


Рис. 7. Основний резонанс для нелінійності 2

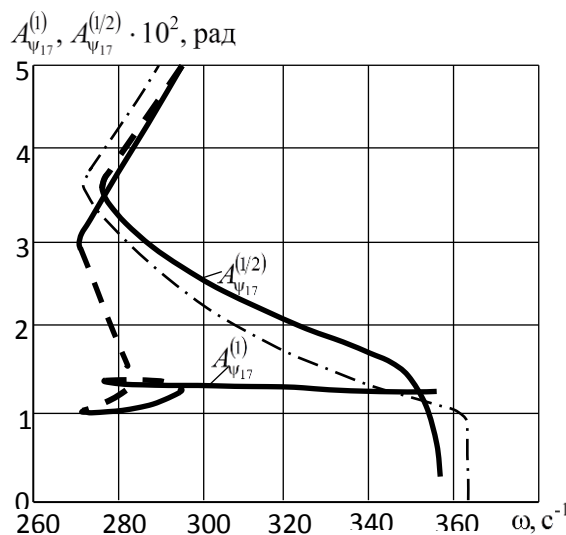


Рис. 8. Субгармонічний резонанс для нелінійності 2

**Висновки.** 1. Причиною виникнення інтенсивних субгармонічних коливань у приводі турбонаддува є розрегулювання дизеля та наявність нелінійних елементів у силовому ланцюгу. 2. Запропоновано ефективний апарат дослідження сталих динамічних процесів в нелінійних силових передачах, зокрема субгармонічних коливань. 3. Проведено порівняння трьох схем приводу (зі ступінчастою ресорою, пружною муфтою та гладкою ресорою) за динамічними навантаженнями. 4. Встановлена перевага використання приводу з гладкою ресорою; найкращі результати для дизеля 6ТД-2 дає застосування ресори діаметром 27 мм. 5. Запропонована методологія має значні перспективи для досліджень зі зниження динамічних навантажень у нелінійних моделях силових передач.

### Список використаних джерел

1. Metallidis P. Linear and nonlinear dynamics of reciprocating engines / P. Metallidis, S. Natsiavas // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2003. – № 38. – P. 723-738.
2. Вейц В.Л., Кочура А.Е. Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение, 1978. – 352 с.
3. Терских В.П. Крутильные колебания валопровода силовых установок. Исследования и методы расчета, т.3. – Л.: Судостроение, 1970. – 272 с.
4. Guzella L. Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems / L. Guzella, C.H. Onder. – Berlin: Springer-Verlag Heidelberg, 2010. – 348 p.
5. Вульфсон И.И., Коловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. – Л.: Машиностроение, 1968. – 284 с. Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем. – М.: Наука, 1966. – 317 с.
6. Шатохин В.М. Анализ и параметрический синтез нелинейных силовых передач машин: Монография / В.М. Шатохин. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. – 456 с.
7. Шатохин В.М. Об особенностях субгармонических резонансов в силовой цепи двухвального транспортного дизеля // Динамика и прочность машин. – Харьков: Вища школа. – 1990. – Вып. 52. – С. 51-56.

## АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАМКНУТОГО ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНІЗМУ, УТВОРЕНОГО ДВОМА ПРОСТИМИ ПЛАНЕТАРНИМИ МЕХАНІЗМАМИ ТИПУ $\overline{AI}$

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

У електромеханічних приводах вантажопідйомного устаткування літаків застосовують конструкції замкнутих планетарних передач [1]. Ці приводи працюють в стартстопному режимі з обмеженнями на тимчасові показники циклограм їх вантаження. Також конструкції цих приводів повинні забезпечувати необхідні показники маси і габаритів, несучої здатності і ресурсу експлуатації. При проектуванні вказаних приводів, як правило, застосовують методи багатокритеріальної оптимізації. Тому побудова математичних моделей і цільових функцій оцінки різних критеріїв проектованої конструкції приводів, зокрема їх механічних передач, є актуальним завданням.

Для дослідження несучої здатності проектованої конструкції планетарного механізму (передачі), утвореного з двох простих планетарних механізмів типу  $\overline{AI}$ , запропонована математична модель, що враховує їх структурні схеми і конструктивні обмеження, які визначаються умовами контактної та згинальної міцності зовнішніх зубчастих зачеплень сонячних коліс і сателітів. Модель є набором функцій трьох незалежних параметрів, два з яких є кінематичні параметри простих планетарних механізмів, а третій – момент на вихідному валу досліджуваного механізму. Функції формуються на основі кінематичних і силових співвідношень досліджуваного механізму.

На рис. 1, а показана кінематична схема досліджуваного замкнутого планетарного механізму.

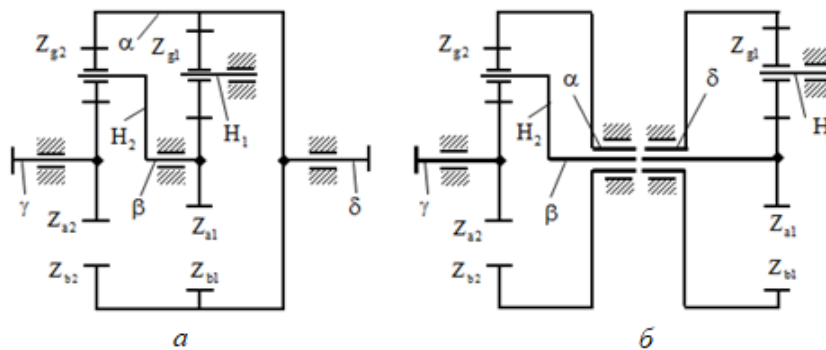


Рисунок 1 – Замкнутий планетарний механізм

Схема утворення даного замкнутого планетарного механізму, зображена на рис. 1, б. Тут потовщеними лініями показані ланки механізмів, які з'єднуються між собою.

Замкнутий планетарний механізм утворений з двох одновінцевих простих планетарних механізмів типу  $\overline{AI}$ . Перший механізм – диференціальний, другий – планетарний, в якому загальмовано водило  $H_1$ . Механізм  $Z_{a1}-Z_{g1}-Z_{b1}-H_1$  є кінематичним ланцюгом замикання (КЛЗ) диференціального механізму  $Z_{a2}-Z_{g2}-Z_{b2}-H_2$ .

Основні ланки диференціального механізму, які з'єднуються КЛЗ, позначені як  $\alpha$  і  $\beta$ .



Вхідний вал  $\gamma$  безпосередньо пов'язаний з центральним рухомим колесом диференціального механізму  $Z_{a2}$ . Вихідний вал  $\delta$  пов'язаний з центральним рухомим колесом  $Z_{b2}$  диференціального механізму і центральним рухомим колесом  $Z_{b1}$  КЛЗ.

Передаточне відношення замкнутого планетарного механізму від валу  $\gamma$  до валу  $\delta$ , показаного на рис. 1, визначається по формулі

$$U_{\gamma\delta} = 1 - (p_1 + 1)(p_2 + 1), \quad (1)$$

де  $p_1 = \frac{Z_{b1}}{Z_{a1}}$ ,  $p_2 = \frac{Z_{b2}}{Z_{a2}}$  – кінематичні параметри КЛЗ і диференціального механізму.

На рис. 3, а показаний графік функції  $U_{\gamma\delta} = U_{\gamma\delta}(p_1, p_2)$ , побудований на рівномірній дискретній сітці параметрів  $(p_{1i}, p_{2j})$ , де  $i = \overline{1, N_1}$  і  $j = \overline{1, N_2}$  ( $N_1, N_2$  – числа відліків відповідно параметра  $p_1$  і  $p_2$ ). Графік був побудований для можливих значень параметрів  $p_1$  і  $p_2$  на інтервалі чисел  $[3, 7]$ . Як видно з рис. 3, а в заданому діапазоні зміни параметрів  $p_1$  і  $p_2$  функція  $U_{\gamma\delta}(p_1, p_2)$  є гладкою безперервною поверхнею, яка не має локальних особливостей (розривів, мінімумів, максимумів).

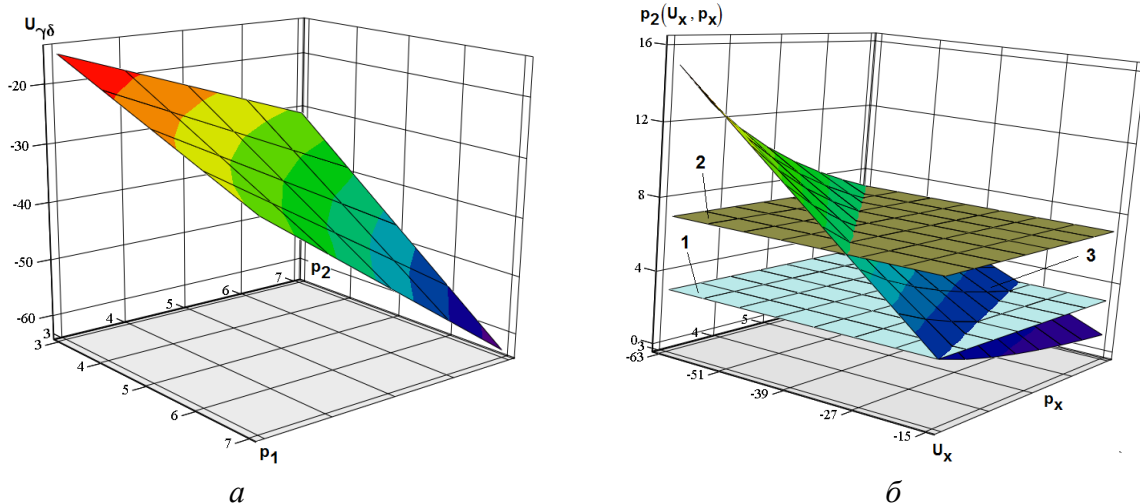


Рисунок 3 – Графіки функцій  $U_{\gamma\delta}(p_1, p_2)$  і  $p_2(U_x, p_x)$

Якщо вважати, що задані значення передаточного відношення  $U_{\gamma\delta}$  і параметра  $p_1$ , то значення параметра  $p_2$  можна знайти за допомогою наступної функції

$$p_2(U_x, p_x) = \frac{1 - U_x}{p_x + 1} - 1. \quad (2)$$

Значення передаточного відношення  $U_{\gamma\delta}$  і параметра  $p_1$ , що задаються, позначені як  $U_x$  і  $p_x$ . При цьому на параметри  $U_x$  і  $p_x$  накладені наступні обмеження:  $-63 \leq U_x \leq -15$ ;  $3 \leq p_x \leq 7$ . Проте, з урахуванням обмежень на аргументи функції  $p_2(U_x, p_x)$ , вона не є однозначною функцією. Це означає, що заданому набору значень  $(U_x, p_x)$  відповідають два значення параметра  $p_2$ , причому одно з них може не потрапляти в інтервал чисел  $[3, 7]$ . На рис. 3, б показаний графік функції  $p_2(U_x, p_x)$  з урахуванням обмежень, що накладаються на її значення. Тут площини 1 і 2, паралельні площини  $(U_x, p_x)$ , обмежують значення функції в інтервалі чисел  $[3, 7]$ . Цифрою 3 вказана те частина поверхні графіку функції, яка є допустимою.

Основні співвідношення між моментами, що діють на основні ланки замкнутого планетарного механізму приведені нижче:

$$M_\gamma = M_{a2} = \frac{M_\delta}{(p_1+1)(p_2+1)-1}, \quad M_\alpha = M_{b2} = M_\delta \frac{p_2}{(p_1+1)(p_2+1)-1}, \quad (3)$$

$$M_\beta = M_{H2} = -M_{a1} = M_\delta \frac{p_2+1}{(p_1+1)(p_2+1)-1}, \quad M_{b1} = M_\delta \frac{p_1(p_2+1)}{(p_1+1)(p_2+1)-1}, \quad (4)$$

$$M_{H1} = -M_\delta \frac{(p_1+1)(p_2+1)}{(p_1+1)(p_2+1)-1}. \quad (5)$$

Введемо наступні функції моментів (моментні функції):

$$M_{b1}(p_x, p_y, M) = M \frac{p_x(p_y+1)}{(p_x+1)(p_y+1)-1}, \quad M_{b2}(p_x, p_y, M) = M \frac{p_y}{(p_x+1)(p_y+1)-1}, \quad (6)$$

$$M_{a1}(p_x, p_y, M) = -M \frac{(p_y+1)}{(p_x+1)(p_y+1)-1}, \quad M_{a2}(p_x, p_y, M) = M \frac{1}{(p_x+1)(p_y+1)-1}. \quad (7)$$

Тут параметрами  $p_x$ ,  $p_y$  і  $M$  позначені відповідно  $p_1$ ,  $p_2$  і момент  $M_\delta$ .

Для заданих значення передаточного відношення  $U_{\gamma\delta} = U_{\gamma\delta}^*$ , інтервалу можливих значень параметра  $p_1$  і значення моменту на вихідному валу замкнутого планетарного механізму  $M_\delta = M_\delta^*$ , застосовуючи функцію  $p_2(U_x, p_x)$ , можна побудувати параметричні залежності функцій виду (6). Приклад такої побудови показаний на рис. 4, а. Тут залежності були побудовані при наступних значеннях:  $U_{\gamma\delta}^* = -26,04$ ;  $M_\delta^* = 1500$  Н·м. Лінії, позначені 1 і 2, зображують відповідно до залежності  $M_{b2}(p_x, p_y, M)$  і  $M_{b1}(p_x, p_y, M)$ , а лінія 3 - величину  $M_\delta^*$ . На рис. 4, б показані графіки функцій виду (7). На цьому ж рисунку пунктирною лінією зображена залежність відношення цих функцій  $m_{a1a2} = |M_{a1}|/M_{a2}$ .

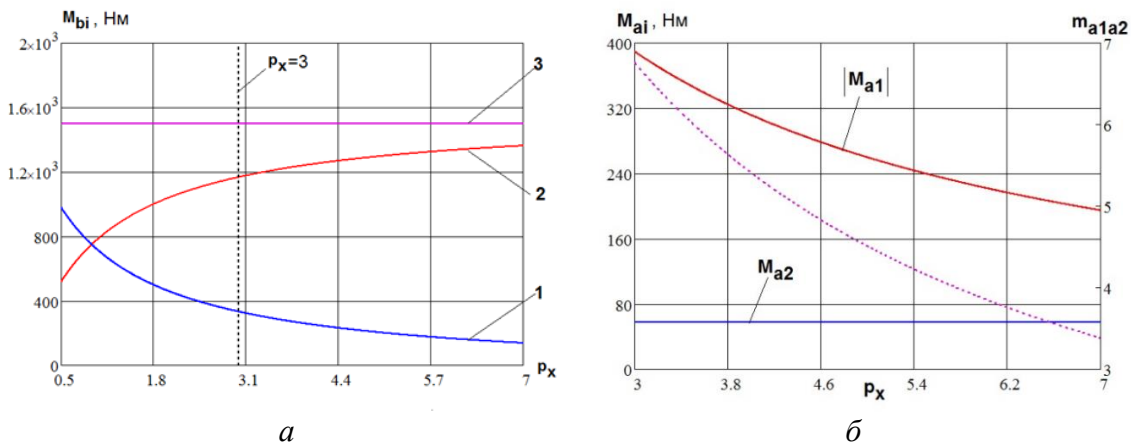


Рисунок 4 – Графіки функцій  $M_{bi}(p_x, p_y, M)$  і  $M_{ai}(p_x, p_y, M)$

Введені моментні параметричні функції дозволяють конструктору оцінити діапазон значень моментів, що діють на основні ланки замкнутого планетарного редуктора, побудованого на основі кінематичної схеми, показаної на рис. 1 [2].

Несуча здатність простого планетарного механізму типу  $\overline{AI}$  визначається несучою здатністю його зовнішнього зачеплення зубчастих коліс  $Z_{ai}-Z_{gi}$ , де  $i=\overline{1,2}$ . Момент, що допускається, для цього зачеплення рівний

$$\left[ M_{agi} \right]_{H(F)} = \frac{[M_{ai}]}{k_i} \Omega_{H(F)i}, \quad (8)$$

де  $i = \overline{1,2}$  - номер простого планетарного механізму;

$k_i$  - число сателітів і-го планетарного механізму;

$\Omega_{H(F)i}$  - коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження серед сателітів при розрахунку на контакт ( $H$ ) або згин ( $F$ ) для і-го планетарного механізму.

Відношення допустимих моментів (8) рівне

$$\frac{\left[ M_{ag1} \right]_{H(F)}}{\left[ M_{ag2} \right]_{H(F)}} = \frac{k_2 \Omega_{H(F)1} [M_{a1}]}{k_1 \Omega_{H(F)2} [M_{a2}]} = \frac{k_2 \Omega_{H(F)1}}{k_1 \Omega_{H(F)2}} (p_2 + 1). \quad (9)$$

З умови контактної міцності зовнішнього зачеплення циліндричних зубчастих коліс можна отримати наступне співвідношення для допустимого моменту  $[M_{ai}]$

$$\left[ M_{ai} \right] = \frac{b_{wi} d_i^2 k_i (p_i - 1) \sigma_{HP\max i}^2}{2(p_i + 1) \Omega_{Hi} (Z_E Z_H Z_\varepsilon)_i^2 K_{Hi}}, \quad (10)$$

де  $b_{wi}$ ,  $d_i$  - робоча ширина зубчастого вінця і дільний діаметр зубчастого колеса  $Z_{ai}$  зачеплення  $Z_{ai}$ - $Z_{gi}$ ;

$K_{Hi}$  - коефіцієнт навантаження при розрахунку на контактну міцність зачеплення;

$\sigma_{HP\max i}$  - допустимі граничні контактні напруження зубчастих коліс зачеплення  $Z_{ai}$ - $Z_{gi}$ ;

$Z_E, Z_H$ ,

$Z_\varepsilon$  - параметри такі ж, які прийняті в ГОСТ 21354-87.

Величина допустимого моменту  $[M_\delta]$ , що прикладається до вихідного валу, визначається з наступних співвідношень:

$$\left[ M_\delta \right] = [M_{a1}]((p_1 + 1)(p_2 + 1) - 1), \quad [M_\delta] = [M_{a2}] \frac{(p_1 + 1)(p_2 + 1) - 1}{p_2 + 1}. \quad (11)$$

З формул (11) отримуємо умову забезпечення максимальної несучої здатності при розрахунку на контактну міцність замкнутого планетарного механізму, кінематична схема якого показана на рис. 1,

$$\frac{k_1 \Omega_{H2} \Pi_{H1}}{k_2 \Omega_{H1} \Pi_{H2}} = \frac{(p_1 + 1)(p_2 - 1)}{(p_1 - 1)(p_2 + 1)^2}, \quad (12)$$

де  $\Pi_{Hi} = \frac{b_{wi} d_i^2 \sigma_{HP\max i}^2}{(Z_E Z_H Z_\varepsilon)_i^2 K_{Hi}}$  - коефіцієнт міцності при розрахунку на контакт зачеплення  $Z_{ai}$ - $Z_{gi}$ .

З умови згинальної міцності зовнішнього зачеплення циліндричних зубчастих коліс можна отримати наступне співвідношення для допустимого моменту  $[M_{ai}]$

$$\left[ M_{ai} \right]_F = \frac{b \sigma_{FP\max}}{Y_{FS}} \cdot \frac{k_i d_{ai}}{2 \Omega_{Fi} K_{Fi}}, \quad (13)$$

де  $\frac{b\sigma_{FP\max}}{Y_{FS}} = \min\left(\left(\frac{b\sigma_{FP\max}}{Y_{FS}}\right)_{ai}, \left(\frac{b\sigma_{FP\max}}{Y_{FS}}\right)_{gi}\right)$ ;  $d_{ai}$  – дільний діаметр сонячного колеса  $Z_{ai}$ ;

$K_{Fi}$  – коефіцієнт навантаження при розрахунку на згинальну міцність зачеплення;

$\sigma_{FP\max i}$  – допустимі граничні згинальні напруження зубчастих коліс зачеплення  $Z_{ai}$ - $Z_{gi}$ ;

$Y_{FS}$  – коефіцієнт форми зубців відповідного зубчастого колеса.

Величина допустимого моменту  $[M_{\delta}]$ , що прикладається до вихідного валу, визначається з наступних співвідношень:

$$[M_{\delta}] = [M_{a1}]_F ((p_1 + 1)(p_2 + 1) - 1), [M_{\delta}] = [M_{a2}]_F \frac{(p_1 + 1)(p_2 + 1) - 1}{p_2 + 1}. \quad (14)$$

З формул (14) отримуємо умову забезпечення максимальної несучої здатності при розрахунку на згинальну міцність замкнутого планетарного механізму, кінематична схема якого показана на рис. 1,

$$\frac{\Pi_{F1} k_1 \Omega_{F2}}{\Pi_{F2} k_2 \Omega_{F1}} = \frac{1}{p_2 + 1}, \quad (15)$$

де  $\Pi_{Fi} = \left(\frac{b\sigma_{FP\max}}{Y_{FS}}\right)_i \frac{d_{ai}}{K_{Fi}}$  – коефіцієнт міцності при розрахунку на згин зачеплення  $Z_{ai}$ - $Z_{gi}$ .

Відмінність міцності зовнішніх зачеплень  $Z_{ai}$ - $Z_{gi}$  при розрахунках на контактну і згинальну міцності характеризуються відповідно наступними коефіцієнтами:

$$\Pi_H = \Pi_{H1}/\Pi_{H2}, \quad \Pi_F = \Pi_{F1}/\Pi_{F2}. \quad (16)$$

Залежності коефіцієнтів  $\Pi_H$  і  $\Pi_F$  від параметрів  $p_1$  і  $p_2$  при заданому значенні передаточного відношення  $U_{\gamma\delta}^* = -26,04$ , а також за умов  $k_1 = k_2$  і  $\Omega_{H(F)1} = \Omega_{H(F)2}$ , показані на рис. 5.

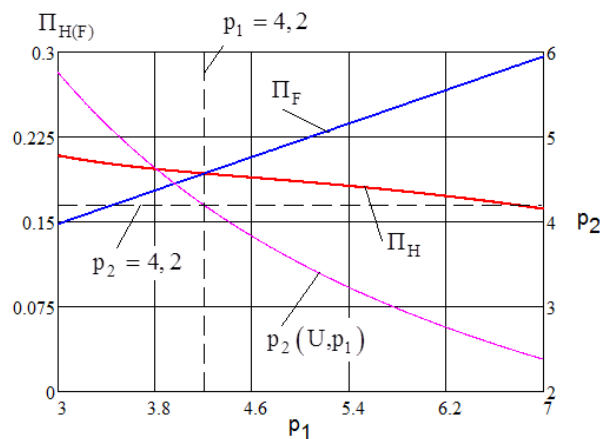


Рис. 5 – Графіки функцій  $\Pi_{H(F)} = \Pi_{H(F)}(p_1, p_2)$

Рівняння (1), (12) і (13) дозволяють знайти значення параметрів  $p_1$  і  $p_2$ , при яких реалізується необхідне значення передаточного відношення  $U_{\gamma\delta}^*$  і забезпечується максимально можлива несуча здатність замкнутого планетарного механізму при розрахунку на контактну або згинальну міцності у разі дії максимального навантаження.

Методи рішення системи рівнянь (1), (12) і (13) розглядаються в роботі [1].

Дослідження залежностей, що визначають несучу здатність замкнутого планетарного механізму, утвореного двома простими планетарними механізмами типу  $\overline{AI}$ , як функцій двох їх кінематичних параметрів, дозволило розробити методику вибору значень цих параметрів з умови забезпечення найбільшої несучої здатності замкнутого планетарного механізму при дії максимального навантаження. Реалізація цієї методики може бути застосовна як при проектуванні вищезазначеного механізму, так і при оцінці забезпечення максимальної несучої здатності вже існуючої конструкції такого механізму. Завдання такої оцінки, як правило, являється актуальній при модифікації існуючій конструкції.

Можливість реалізації окремих кроків методики як графічними, так і аналітичними методами обумовлює простоту як в плані ідейного розуміння, так і при виборі конструкторам інструментів її реалізації. Особливих утруднень не викликає реалізація відповідних кроків методики засобами математичних пакетів, зокрема, пакету Mathcad.

### Список використаних джерел

1. Матусевич В. А., Шарабан Ю. В., Шехов А. В. Параметрическая оптимизация несущей способности замкнутого планетарного механизма, образованного двумя механизмами типа  $\overline{AI}$ . Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Серія: Машинознавство та САПР. – Х.: “ХПІ”. – 2020. – №2(2020). – С. 66-77. – Бібліогр.: 14 назв.

2. Шехов А. В. Условия прочности и оценка несущей способности оптимальной по массе конструкции простого планетарного механизма типа  $\overline{AI}$  / А. В. Шехов // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – 2015. – Вип. 35. С. 145-157.

## ДВОМІРНА МОДЕЛЬ ПРУЖНОГО СТАНУ НАПІВНЕСКІНЧЕННОГО КЛЕЕВОГО З'ЄДНАННЯ

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

Побудовано двомірну модель пружного стану напівнескінченного клейового з'єднання. Було використано гіпотезу клейового з'єднання Фольккерсена (Volkersen), тобто напруження рівномірно розподілено по всій товщині шарів, клейовий шар працює лише на зсув, переміщення відбувається лише в площині з'єднання (згин відсутній). Розв'язано задачу напружено-деформівного стану пів нескінченного ( $x \geq 0, -\infty < y < \infty$ ) клейового з'єднання двох пластин постійної товщини. За для отримання аналітичного розв'язку задачу розглянуто за припущенням відсутності переміщень вздовж осі  $OY$  (рис. 1).

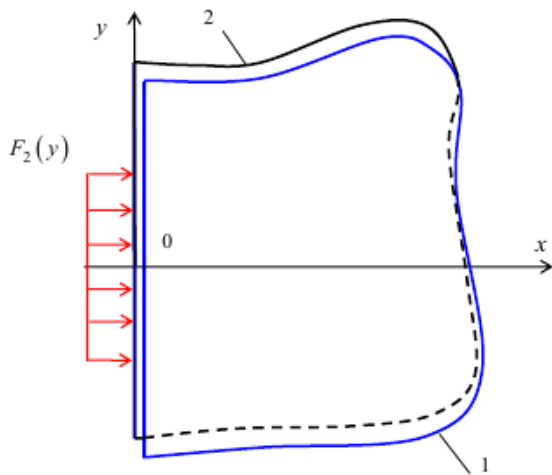


Рис. 1

Знаходимо повздовжні переміщення обох несучих шарів за умов, коли на торці з'єднання задано повздовжнє зусилля, а на нескінченному віддалені від осі симетрії (вісь  $OX$ ) та торці з'єднання (вісь  $OY$ ) переміщення дорівнюють нулю. Задачу зведено до системи диференціальних рівнянь у частинних похідних [1].

$$\begin{cases} \alpha_1 \left( \frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} + \mu_1 \frac{\partial^2 U_1}{\partial y^2} \right) - U_1 + U_2 = 0; \\ \alpha_2 \left( \frac{\partial^2 U_2}{\partial x^2} + \mu_2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial y^2} \right) + U_1 - U_2 = 0, \end{cases}$$

де  $\alpha_k = E_k \delta_k \frac{\delta_0}{G_0}$ ;  $\mu_k = \frac{G_k}{E_k}$ ;  $k = 1, 2$ .

З постановки задачі за умов реальних процесів витікає, що крайові умови і, відповідно, переміщення, мають бути парними відносно осі  $OX$ .

Крайові умови мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_1}{\partial y} \Big|_{y=0} &= \frac{\partial U_2}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0; \\ N_1 \Big|_{x=0} &= E_1 \delta_1 \frac{\partial U_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = F_1(y); \quad N_2 \Big|_{x=0} = E_2 \delta_2 \frac{\partial U_2}{\partial x} \Big|_{x=0} = F_2(y). \\ U_1 \Big|_{y=\infty} &= U_2 \Big|_{y=\infty} = U_1 \Big|_{x=\infty} = U_2 \Big|_{x=\infty} = 0; \end{aligned}$$

Задачу розв'язано методом розділення змінних. Повздовжні переміщення представлено в вигляді інтеграла Фур'є. Проведено параметричне дослідження напружень в клею та проаналізовано вплив параметрів з'єднання на напруження.

### Список використаних джерел

Куреннов С.С., Барахов К.П. Напряженное состояние двухслойной прямоугольной пластинки при сдвиге. Упрощенная двумерная модель // вестник Пермского исследовательского политехнического университета. Механика. 2019. № 3. С. 167-174.

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

УДК 621.9: 519 256

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

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

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДДІЛЕННЯ І НАГРОМАДЖЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ЗАКРИТИХ ПРОФІЛЬНИХ ПАЗІВ

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

Необхідною умовою продуктивної і якісної обробки закритих профільних пазів в автоматичному режимі є евакуація відділеної стружки із зони різання [1]. Для створення технічних рішень, що забезпечують своєчасну евакуацію в цьому випадку, необхідне дослідження процесу нагромадження і переміщення стружки безпосередньо після її відділення.

Складена розрахункова схема, що передбачає прикладення до одиничного елемента стружки діючих на нього сил з урахуванням прийнятих допущень: усі сили, що діють на елемент стружки, прикладені в центрі мас (ефектами, пов'язаними із позацентровим прикладенням сил, можна зневажити); елемент стружки є абсолютно твердим тілом (ефектами, пов'язаними з реальною піддатливістю, можна зневажити); початкова точка переміщення елемента стружки перебуває у стружковій канавці, а кінцева - у ріжучої крайки; зміною значень параметрів стану поверхневого шару на різних поверхнях елемента стружки можна зневажити. Елемент стружки розглядається як однорідне абсолютно тверде матеріальне тіло з постійними параметрами стану поверхневого шару на всіх поверхнях, розмірами якого, для розв'язку поставлених завдань, можна зневажити.

Розроблені залежності для визначення миттєвих значень обсягу і маси стружки, що перебуває в просторі між зубцями фрези при заданих конструктивних і режимних параметрах. Використовуючи ці залежності і теорему про зміну кількості руху в інтегральній формі, отримані вирази, що дозволяють виконати аналіз переміщення стружки після її відділення. Вони дозволяють безпосередньо визначити наступні параметри: можливість переміщення елемента стружки в просторі між зубцями під дією прикладених сил (уздовж передньої поверхні зубця) і напрямок цього переміщення (від центру обертання фрези назовні або зовні до її центру); час переміщення елемента стружки уздовж передньої поверхні зубця; значення кута повороту фрези, при якому елемент стружки "залишає" різальний інструмент, і сумарний вектор сил, що діють на елемент у цей момент.

Аналіз процесу обробки Т- подібних профільних пазів у заготовках зі сталі і чавуну при значеннях конструктивних параметрів фрез і режимів обробки, рекомендованих відповідними стандартами [2, 3], дозволив встановити, що у дослідженому діапазоні параметрів і режимів приблизно в 50% випадків відсутня можливість самовидалення (без додаткового примусового впливу) стружки із простору між зубцями фрези. Це визначає високу ймовірність прояву при цьому негативних наслідків - у першу чергу зниження якості і продуктивності обробки. Відповідно, для гарантованого видалення стружки із простору між зубцями фрези протягом циклу обробки необхідне здійснення додаткового примусового впливу.

#### Список використаних джерел

1. Нечепав В. Г., Гнисько А. Н. Разработка и моделирование системы удаления стружки при фрезеровании закрытых пазов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 27. - С.158 – 165.
2. ГОСТ 7063 – 72 (СТ СЭВ 115 – 79, СТ СЭВ 4632 – 84) Фрезы для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – М.: Изд. стандартов, 1985.
3. ГОСТ 10673 – 75 Фрезы с напаянными твердосплавными пластинами для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – М.: Изд. стандартов, 1985.

## МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛОПАТОЧНИХ ВІНЦІВ ЗНОШЕНОГО КОМПРЕСОРА

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

У процесі експлуатації газотурбінний двигун піддається впливу різних експлуатаційних факторів, які негативно впливають на його роботу. Одним з таких факторів є потрапляння піску та пилу в проточну частину двигуна.

Виконані роботи з дослідження ерозійного зношування ГТД умовно можна поділити на дві групи. Це, по-перше, роботи, метою яких є підвищення ресурсу елементів ГТД, що зазнавали зношування. І, по-друге, роботи, присвячені розробці методів контролю та аналізу абразивного зносу елементів проточної частини двигуна, насамперед компресора.

В теперішній час з розвитком можливостей обчислювальної техніки знаходять широке застосування методи математичного моделювання ерозійного зносу. У роботі [1] наведено методику чисельного моделювання параметрів потоку в проточній частині багатоступеневого осьового компресора з урахуванням зносу лопаток з використанням програмного модуля Ansys CFX. Вплив пилової ерозії зміну газодинамічних характеристик компресора оцінюється з урахуванням величини зносу хорди в периферійній частині лопаток і величини радіального зазору. Прийнято лінійне зменшення хорди по висоті лопатки, а також, що величини зношування на вхідній та вихідній кромках однакові. Оскільки лопатки робочих коліс зношуються інтенсивніше, то зносом направляючих апаратів у роботі нехтується.

У роботі [2], ґрунтуючись на методі розрахунку параметрів компресора на середньому радіусі, виконано оцінку впливу ерозії лопаток на сумарні характеристики компресора. Як і в роботі [1] розподіл зносу за висотою лопатки прийнято лінійним, а величина зносу вхідного та вихідного краю однаковою. Також прийняті припущення, що максимальна товщина профілю та її положення, форма середньої лінії, кут установки профілю та радіальний зазор не змінюються. Зношування моделюється зміною геометричних параметрів на тільки середньому радіусі.

Варто відзначити, що прийняті моделі зносу в цих роботах не повною мірою відображають реальну картину зносу, тому що ерозія лопаток має не лінійний за висотою характер і інтенсивність зносу на вхідних і вихідних краях різна.

Цей недолік врахований у роботі [3], де представлена оцінка впливу нелінійного за висотою ерозійного зношування робочого колеса на характеристики ступеня компресора ГТД вертольота з використанням програмного модуля Ansys CFX.

У роботі [4] для оцінки впливу зношування на параметри компресора також використовується пакет Ansys CFX. Геометричні параметри, які необхідні для отримання твердотільних моделей лопаточних вінців компресора, визначаються шляхом аналізу геометричних параметрів перерізів зношених лопаток.

У роботі [5] для оцінки зміни геометричних параметрів профілів виконувалося препарування зношених лопаток в декількох перерізах по висоті з подальшим створенням шліфів. Для прогнозування змін характеристик багатоступеневого осьового компресора в результаті ерозійного зношування використовувалася двовимірною осесиметрична математична модель.



З наведеного вище аналізу способів обліку зносу видно, що в практиці знаходять застосування як методи розрахунку параметрів компресора, засновані на одновимірному розрахунку по середньому радіусу, так і двовимірні та тривимірні методи.

Авторами для оцінки впливу зносу проточної частини компресора на параметри та характеристики турбувального ГТД розроблений метод розрахунку, що включає двовимірну повінцеву модель багаступінчастого компресора, який дозволяє врахувати зміну геометричних параметрів по висоті лопатки з можливістю моделювати знос проточної частини, а також погіршення якості поверхонь, що обтікають.

Для розрахунку характеристики компресора у двовимірній постановці необхідно задати геометричні параметри по висоті лопаткових вінців та проточної частини зношеного компресора. До таких параметрів відносяться: геометричні кути лопаток робочих коліс ( $\beta$ ) і направляючих апаратів ( $\alpha$ ), кут установки профілю  $\gamma$ , хорда профілю  $b$ , максимальна товщина профілю  $c_{max}$ , форма середньої лінії профілю, число лопаток  $Z_L$ , радіальний зазор  $\Delta r_{p,зaz}$ , шорсткість та ін. Дані параметри представлені на рис. 1.

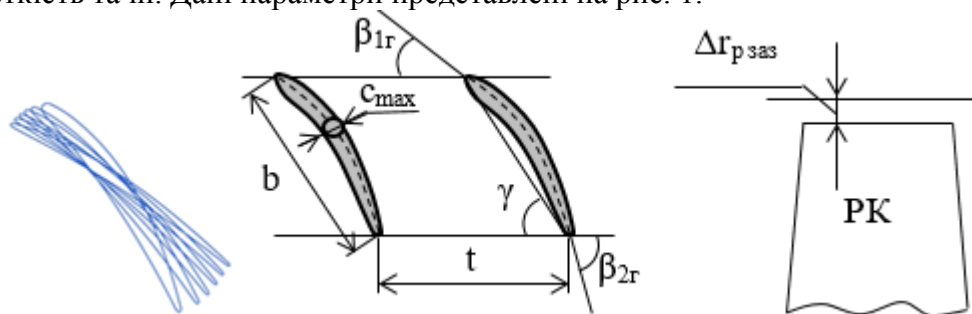


Рисунок 1 – Геометричні параметри лопаткового вінця

Зношування лопаткового вінця, в першу чергу, проявляється на вхідний і вихідний кромках. Зменшення хорди на даних ділянках ( $b_1$  і  $b_2$ ) тягне за собою збільшення геометричного кута входу ( $\beta_{1r}$ ) і зменшення геометричного кута виходу ( $\beta_{2r}$ ). Це призводить до суттєвого зменшення кута вигину профілю ( $\theta = \beta_{2r} - \beta_{1r}$ ). Якщо середня лінія профілю представлена дужкою кола, то зношування вхідний і вихідний кромки надають рівноцінний вплив на кут вигину. Тобто, при однаковій величині зносу вхідної і вихідної кромки геометричні кути входу і виходу змінюються однаково. Однак якщо середня лінія профілю описана параболою або іншою кривою, то її кривизна вздовж профілю нерівномірна, відповідно і вплив зносу на вхідну і вихідну кромки по-різному впливає на кут вигину.

При зносі лопатки, крім кута вигину профілю, істотно змінюється кут натікання на профіль  $i = \beta_{1r} - \beta_1$ , який визначає обтікання профілю. Збільшення кута натікання внаслідок зношування вхідної кромки спричиняє збільшення величини втрат  $\xi$  та зменшення діапазону беззривних режимів роботи решіток та лопаткового вінця в цілому.

Для оцінки ступеня зношування елементів проточної частини компресора в процесі експлуатації контролюється зміна радіального зазору та хорди обмеженого числа лопаткових вінців. Найчастіше це перше робоче колесо та кілька лопаткових вінців до яких є доступ через оглядові вікна. Для більш детального аналізу ерозійного зношування може виконуватися обезлопачування компресора під час капітального ремонту або препарування лопаткових вінців після зняття двигуна з експлуатації. В результаті препарування отримують координати спинки та коритця зношеного профілю в декількох перерізах по висоті лопатки.

З отриманих координат профілю можна отримати координати його середньої лінії. Знаходження координат середньої лінії здійснюється шляхом визначення положення центрів вписаних кіл. Зіставлення вихідного та зношеного профілів показано на рис. 2.

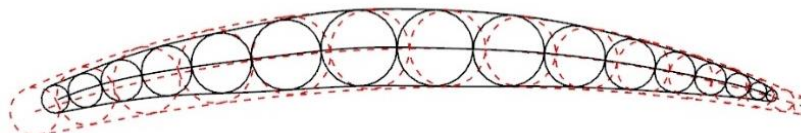


Рисунок 2 – Зіставлення вихідного та зношеного профілів

На підставі даних про знос хорди профілю, а також даних про форму середньої лінії можна визначити зміну геометричних кутів профілів лопаткових вінців.

У випадку, коли середня лінія представлена довільною формою (Рис. 3), для визначення геометричних кутів необхідно знати координати точок середньої лінії і потім апроксимувати в вигляді  $y=f(x)$ .

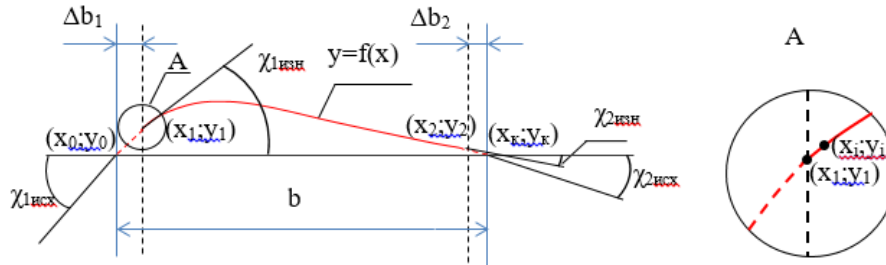


Рисунок 3 – Середня лінія профілю, представлена довільною функцією  $y=f(x)$  або набором точок

У разі коли середня лінія вихідного профілю задана координатами, за наявними значеннями зменшення хорди на вхідній ( $\Delta b_1$ ) і вихідній ( $\Delta b_2$ ) кромках визначаються величини кутів нахилу дотичної до середньої лінії профілю на вхідній ( $\chi_{1зн}$ ) і вихідній ( $\chi_{2зн}$ ) кромках:

$$\chi_{1зн} = \arctg \left( \frac{dy}{dx} \right)_i,$$

$$\chi_{2зн} = \arctg \left( \frac{dy}{dx} \right)_j,$$

де  $\left( \frac{dy}{dx} \right)_i$  – похідна функції  $y=f(x)$  в точці  $x=x_i$ ,

$\left( \frac{dy}{dx} \right)_j$  – похідна функції  $y=f(x)$  в точці  $x=x_j$ .

У разі коли середня лінія профілю задана координатами, кути нахилу середньої лінії зношеного профілю визначаються з використанням кінцево-різницевого підходу, застосовуючи односторонні різниці:

$$\chi_{1зн} = \arctg \left( \frac{y_i - y_1}{x_i - x_1} \right),$$

$$\chi_{2зн} = \arctg \left( \frac{y_j - y_2}{x_j - x_2} \right).$$

де  $(x_1; y_1)$ ,  $(x_2; y_2)$  – координати кінцевих точок середньої лінії зношеного профілю, розташованих на відстані  $\Delta b_1$ , і  $\Delta b_2$  від вхідної та вихідної кромки вихідного профілю,

$(x_i; y_i)$ ,  $(x_j; y_j)$  – координати точок найближчих до кінцевих точок зношеного профілю

Після чого визначаються геометричні кути входу та виходу зношеного профілю:

$$\beta_{1з.зн} = \gamma - \chi_{1зн},$$

$$\beta_{2з.зн} = \gamma - \chi_{2зн},$$

де  $\gamma$  – кут установки.

Так як кут  $\chi_{1зн} < \chi_{1вих}$  і кут  $\chi_{2зн} < \chi_{2вих}$ , то із збільшенням зносу профілю кут вигину профілю ( $\theta = \chi_2 - \chi_1$ ) зменшується на величину  $\Delta\theta$ :

$$\Delta\theta = \Delta\chi_1 + \Delta\chi_2,$$

де  $\Delta\chi_1 = \chi_{1\text{вих}} - \chi_{1\text{зн}}$ ,

$\Delta\chi_2 = \chi_{2\text{вих}} - \chi_{2\text{зн}}$ .

Зношування лопатки по висоті відбувається нерівномірно і має нелінійний характер. У зв'язку з цим за основу прийнято дані про знос на периферії та середній радіус відповідно до [5]. Величина зносу в проміжних перерізах визначається шляхом інтерполяції, при цьому передбачається, що втулковий переріз не зношується.

Таким чином, на підставі наявних даних про геометричні параметри лопаток та проточної частини вихідного компресора з використанням запропонованого вище підходу можуть бути визначені геометричні параметри зношених вінців та проточної частини компресора. Схематично зношений лопатковий вінець у порівнянні з вихідним представлений на рис. 4.

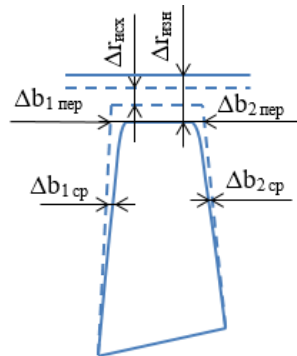


Рисунок 4 – Схематичне зображення зношеної лопатки в порівнянні з вихідною

Крім зміни представлених вище геометричних параметрів при ерозійному зносі суттєво збільшується шорсткість профілю. Шорсткість визначає якість поверхні, яка також визначає на обтікання профілю. Вона залежить від висоти виступів та їхнього розподілу по поверхні. Коли виступи нижче ламінарного підшару, поверхня вважається гідравлічно гладкою, інакше поверхня вважається шорсткою, що, в свою чергу, призводить до збільшення гідравлічних втрат. У цій роботі використовується еквівалентна шорсткість піщинок  $k_s$ . Зважаючи на відсутність даних про вимірювання даного параметра в процесі експлуатації, шорсткість зношеного профілю береться відповідно до [6].

Представлений метод моделювання геометричних параметрів дозволяє оцінити зміну хорди, геометричних кутів вхідної та вихідної кромки, максимальної товщини профілю, радіального зазору, а також шорсткості.

### Список використаних джерел

1. Двірник Я.В., Павленко Д.В. Влияние пылевой эрозии на газодинамические характеристики осевого компрессора ГТД // Вестник двигателестроения. 2017. № 1. С. 56–66.
2. Баришева Е.С., Дьомін А.Е., Зеленский Р.Л. Моделирование характеристик многоступенчатого осевого компрессора авиационного двигателя с учётом эрозийного износа лопаток // Авиационно-космическая техника и технология. 2017. № 6 (141). С. 58–64.
3. Потапов В. А., Санько А. А. Моделирование характеристик многоступенчатого осевого компрессора турбовального газотурбинного двигателя с учётом нелинейности эрозийного износа его лопаток // Научный Вестник МГТУ ГА. 2020, Том 23, № 05 С.39-53.
4. Гумеров А. В., Акмалетдинов Р. Г. Моделирование эрозийного износа лопатки компрессора // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, №3(27), 2011 С. 233 – 239.
5. Беляев Д.В., Пікула Э.Р., Тализина В.С. «Оценка деформации характеристик осевого компрессора в условиях длительной эксплуатации» / Д.В. Беляев, Э.Р. Пікула, В.С. Тализина // Изв. вуз. Авиационная техника – 1993. – №1. – С.50-54.
6. Aldi, N., Morini, M., Pinelli, M., Spina, P.R., Suman, A., Venturini, M., 2013, Performance evaluation of non-uniformly fouled axial compressor stages by means of computational fluid dynamic analyses, ASME Paper GT2013-95580, 11p.

**Доценко В.М.**, д.т.н., професор  
dovl202@ukr.net

**Ковеза Ю.В.**, к.т.н., доцент  
i.koveza@khai.edu

**Усик В.В.**, к.т.н., доцент  
v.usik@khai.edu

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ ТУРБОМАШИН НА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ РІДИНАХ

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

Питання економічності опор роторів потужних турбоагрегатів і їх пожежної безпеки завжди актуальне при проектуванні і експлуатації таких опор. Поліпшення вказаних показників можливо шляхом заміни в системах змазування нафтової олії екологічно чистими рідинами, зокрема, водою або водними розчинами [1]. Основний недолік використання води і інших малов'язких водних розчинів для підшипників ковзання полягає в недостатньому гідродинамічному ефекті при малих частотах обертання ротора під час пуску і зупинки турбіни.

Метою цього дослідження являлось експериментальне вивчення можливості заміни в системах змазування олії на екологічно чисті рідини, зокрема, воду або водні розчини. Необхідно було переконатися, що використання системи гідростатичного підйому забезпечує рідинний режим тертя в дослідженому діапазоні навантажень і швидкостей ковзання.

Експериментальні дослідження проводилися на стенді в лабораторії підшипників ВАТ «Турбоатом». На стенді випробовувався натурний радіальний підшипник з бабітовою заливкою робочої поверхні вкладиша. В процесі експерименту варіювалися і вимірювалися наступні параметри: частота обертання ротора, навантаження на підшипник, витрата мастильної рідини, температура робочої рідини перед підшипником і на виході з нього, тиск води (конденсату) в системі гідропідйому, тиск в мастильному шарі і камерах досліджуваного підшипника. Основним параметром (критерієм), по якому оцінювалася працездатність підшипника, була товщина мастильного шару робочої рідини.

Для роботи в режимі гідропідйому підшипник був допрацьований - на поверхні вкладиша виконані чотири камери прямокутної форми 50×50 мм (рис.1) під кутом 30° від вертикалі.

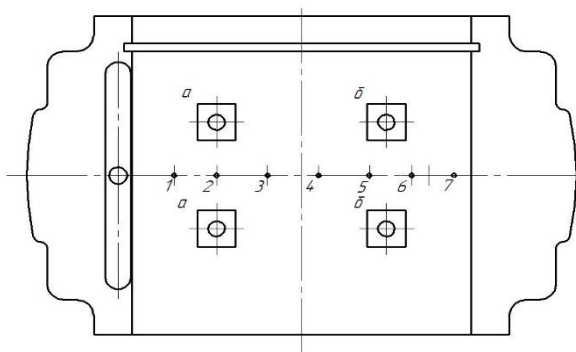


Рис.1. Схема підшипника  
а, б – камери гідропідйому,  
1-7 – точки виміру тиску

Температура бабіту несучого вкладиша контролювалася термопарами. Гідродинамічний тиск у несучому шарі контролювався зразковими манометрами. На робочій поверхні вкладиша в середньому його перерізі було розташовано 7 точок контролю.

Для вимірювання товщини мастильного шару робочої рідини використовувався вимірювальний комплекс, до складу якого входили спеціальні індуктивні датчики, підсилювач-перетворювач та прилад для реєстрації – електронний осцилограф.

На першому етапі досліджено працездатність підшипника в діапазоні частот

від  $33 \text{ c}^{-1}$  до нуля, коли необхідно забезпечити гідростатичний підйом ротора (рис. 2). При частоті обертання  $33 \text{ c}^{-1}$  в камеру гідропідйомника подавалась вода під тиском  $2,0 \text{ МПа}$ , що призвело до збільшення товщини мастильного шару у всьому вказаному діапазоні частот. Наявність гідропідйому дозволила здійснити плавну зупинку ротора установки.

На рис. 3 показані залежності товщини несучого шару  $h$  від частоти обертання  $f$  валу при роботі підшипника в гідродинамічному режимі. При зниженні частоти обертання з  $50$  до  $33 \text{ c}^{-1}$  товщина мастильного шару спочатку плавно, а потім різко зменшується з  $90$  до  $40 \text{ мкм}$  і має тенденцію до подальшого зменшення.

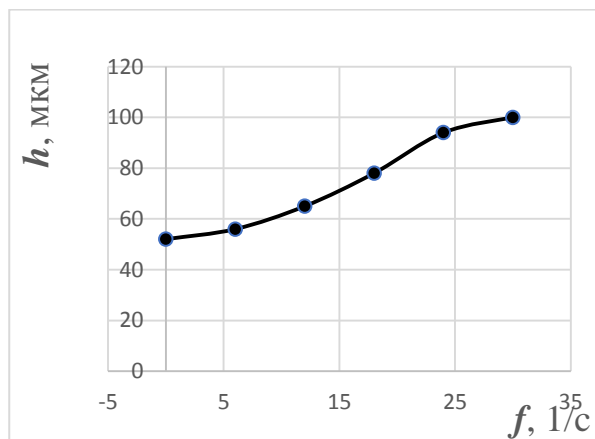


Рис. 2. Вплив частоти обертання валу на товщину мастильного шару при наявності гідропідйому

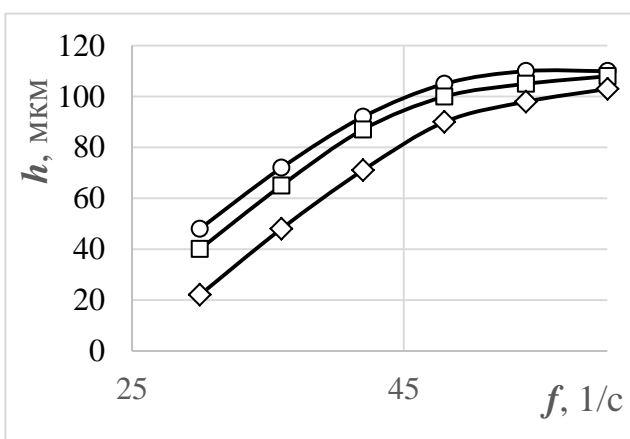


Рис. 3. Вплив частоти обертання валу на товщину мастильного шару при гідродинамічному режимі роботи ( $\circ$  –  $F = 50 \text{ кН}$ ,  $\square$  –  $F = 100 \text{ кН}$ ,  $\diamond$  –  $F = 150 \text{ кН}$ )

На другому етапі також були проведені експериментальні дослідження з визначення працездатності підшипника в гідродинамічному режимі в діапазоні частот обертання  $33 \dots 50 \text{ c}^{-1}$  і навантаженнях  $50 \dots 200 \text{ кН}$ .

В результаті виконаних досліджень отримано наступні результати.

1. Експериментально визначений тиск у середньому перерізі мастильного шару підшипника змінюється за характерним для гідродинамічних опор законом [2]. Результати дослідів свідчать про те, що у вказаному діапазоні частот обертання та навантажень підшипник працює у стійкому гідродинамічному режимі.

2. Виконані дослідження показали стійку роботу на воді натурного підшипника турбіни в гідродинамічному режимі в досліджуваному діапазоні швидкостей ковзання.

3. Використання системи гідростатичного підйому дозволило забезпечити зупинку ротора при наявності рідинного режиму тертя під навантаженням ( $200 \text{ кН}$ ) у дослідженому діапазоні швидкостей ковзання ( $0 \dots 45 \text{ м/с}$ ).

4. Температура робочої поверхні підшипника при роботі на воді у стійкому гідродинамічному режимі і при товщині несучого шару  $90 \dots 100 \text{ мкм}$  мало залежить від зовнішнього навантаження і швидкості ковзання.

### Список використаних джерел

1. Tribological characterisation of polymer composites for hydropower bearings: experimentally developed versus commercial materials [Text] / Julian Somberg, Prabakaran Saravanan, Hari Shankar Vadivel, Kim Berglund [et al.] // Tribology International. – 2021. – Vol. 162. – P. 107101. doi: 10.1016/j.triboint.2021.107101

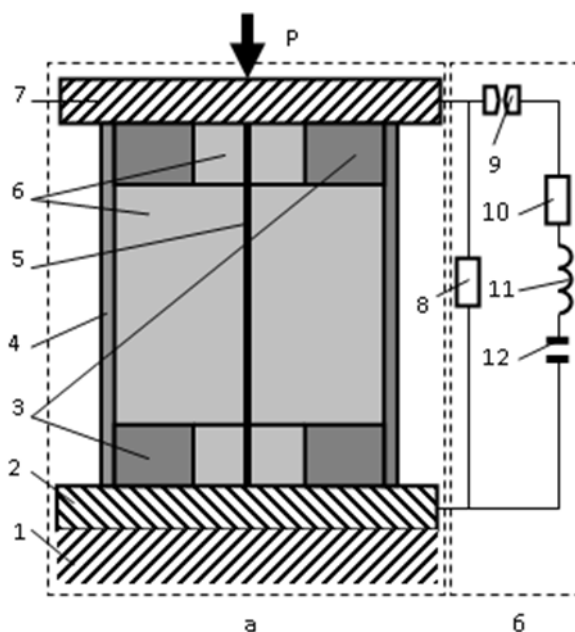
2. Гидростатические опоры роторов быстроходных машин [Текст] / Н. П. Артеменко, В. Н. Доценко, А. И. Чайка [и др.]. – Х.: Изд. «Основа» при ХГУ. – 1992. – 196 с.

**АНАЛІЗ ДВОВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВІЛЬНОЇ РОЗДАЧИ ЦИЛІНДРИЧНОЇ  
ЗОГОТІВКИ ЕЛЕКТРИЧНИМ ВИБУХОМ В РІДИНІ**Національний аерокосмічний університет ім. М.Э. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

При виготовленні виробів авіа- та автомобіле- будівництва використовується технологія імпульсного штампування, яка заснована на дії електричного вибуху в технологічній рідині. Один з трьох різновидів цієї технології використовує довгі (в сотні міліметрів довжиною) розряди, що ініціюються вибухом тонкого дротика, і застосовується для деформування довгих тонкошарових оболонок. Закономірності та особливості таких процесів вивчені частково лише за рахунок технологічних експериментів, тобто фрагментарно.

Доклад присвячений розробці та використанню методики чисельного комп'ютерного моделювання механічних процесів, що виникають в технологічній системі вільної роздачі осесиметричної заготовки при дії коаксіального електричного вибуху, в двовимірному варіанті.

На рис. 1 показано типову схему технологічної системи, яка включає механічну частину, яка підлягає аналізу, та електрофізичну частину, яка обумовлює вибух. Математична модель технологічної системи включає математичні моделі відповідно електрофізичної та механічної частин.



а – механічна частина, б – електрична частина)

Рисунок 1 – Рис.1. Схема технологічної системи

Механічна частина включає основу (1), нижню (2) та верхню (7) сталеві плити, що стискають рухомі деталі тиском  $P$ , центруючі поліетиленові кільця (3), трубку тонкошарову заготовку з алюмінієвого сплаву (4), ініціюючу електричний вибух дрітинуку (5), технологічну рідину (6). Електрофізична частина зображена у вигляді електричного контуру, що характеризується величиною електричного опору  $r$  (8), включає повітряний розрядник (9), батарею конденсаторів з внутрішнім опором  $R_0$  (10), індуктивністю  $L$  (11), ємністю  $C$  (12). Процеси в електрофізичній частині тривають дуже короткочасно і незалежно от процесів руху в механічній частині та описуються звичайним диференціальним рівнянням

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R(i,t) + R_0}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0 \quad (1)$$

з початковими умовами

$$i(0) = 0, \quad \frac{di}{dt} = -\frac{U_0}{L}, \quad (2)$$

де  $i$  – розрядний струм;

$t$  – час;

$R$  – активний опір каналу розряду;

$U_0$  – початкова напруга конденсаторної батареї.

Після підриву дротинки утворюється парогазова порожнина (ПГП), наповнена плазмою. При протіканні струму в плазмі утворюється тепло омічних втрат, що має вигляд функції часу

$$E(t) = \int_0^t (\partial R(i, \partial d) \tau. \quad (3)$$

За рахунок теплового поширення ПГП утворюється рух плазми, а через те – рух рідини та заготовки. Таким чином механічна частина є імпульсною термодинамічною машиною.

Механічна частина включає два дуже рухомих елементи, ПГП (як наслідок та розвиток початкового каналу електричного розряду) та технологічну рідину, в якості якої використовують воду. Рух цих елементів має характер високошвидкісних вихорів в замкненій коморі, що утворена жорсткими стінками технологічного устаткування та деформуємої заготовки. Механічні властивості матеріалів та контактний ударний характер взаємодії елементів технологічної системи обумовлюють дуже нелінійний характер математичної моделі процесів, яка не має аналітичних рішень.

З урахуванням властивостей руху елементів системи обраний метод скінчених елементів, причому для деформуємої заготовки в лагранжевій формі, а для парогазової порожнини та рідини - в мішаній ейлерово- лагранжевій формі ALE. Раніше опубліковані результати моделювання за тривимірною моделлю [1] дають обґрунтування для використання двовимірної моделі, що дозволяє більш раціонально використати можливості та ресурси комп'ютера, скоротити час розрахунків та отримати результати з більш високою точністю. Для комп'ютерної реалізації використаний пакет LS-DYNA [2], в останніх версіях якого з'явилася можливість розрахунків двовимірних моделей ALE.

Елементи механічної частини мають наступні властивості. Плазма ПГП має властивості ідеального газу з постійною адіабати  $\gamma=1,26$  та густиною за нормальних умов  $1,25 \text{ кг/м}^3$ . Технічна рідина має властивості води з густиною  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ , тиском кавітації  $P_c = 10^5 \text{ Па}$ , об'ємним модулем стискання  $K = 2,25 \times 10^9 \text{ Па}$ . Матеріал заготовки – пружно-пластичний алюмінієвий сплав з модулем Юнга  $1,3 \times 10^{11} \text{ Па}$ , густиною  $2700 \text{ кг/м}^3$ , початковою межею пластичності  $2,1 \cdot 10^8 \text{ Па}$ , та зміцненням за Джонсоном- Куком [1]

$$\sigma_T = (B + C \dot{\epsilon}_p^m) (1 + D \ln \dot{\epsilon}_p), \quad (4)$$

де  $B = 2,65 \times 10^8 \text{ Па}$ ,  $C = 4,26 \times 10^8 \text{ Па}$ ,  $D = 0,015$ ,  $m = 0,34$  – емпіричні коефіцієнти,

$\dot{\epsilon}_p$  – швидкість пластичної деформації.

Для визначення ударно- контактної взаємодії між ALE елементами та лагранжевими елементами технологічної системи використаний метод штрафу та ключове слово \*CONSTRAINED\_LAGRANGE\_IN\_SOLID, а між лагранжевими – \*CONTACT\_2D\_ \_AUTOMATIC\_SURFACE\_TO-SURFACE/

В доповіді в подробицях описана двовимірна модель механічних процесів в технологічній системі, наведені результати моделювання, виконаний аналіз результатів, отриманих в двовимірній постановці, а також в порівнянні з результатами технологічних експериментів та розрахунків за тривимірною моделлю процесу вільної роздачі.

### **Список використаних джерел**

1. Нарыжный А.Г. Моделирование свободной раздачи цилиндрической оболочки в условиях действия электрогидравлического эффекта. Вісник двигунобудування.-2019, №2 (49). С. 40-48.
2. LS-DYNA® keyword user's manual (LS-DYNA R11).- Livermore: LSTC, 2018. – 3186 р.
3. Johnson G.R. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures / G.R. Johnson, W.H. Cook // Proceedings of the 7th international symposium on ballistics. – 1983. – P. 541-547.



## БАЗОВІ ЗАСАДИ ФОРМОУТВОРЕННЯ НАРІЗЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Як відомо нарізеві, або інакше різьбові поверхні прийнято вважати, такими, що спроектовані на основі архімедових гвинтів. Таким чином пряма бічна ділянка профілю нарізі АВ є завжди запроектована як відрізок прямої (рис1).

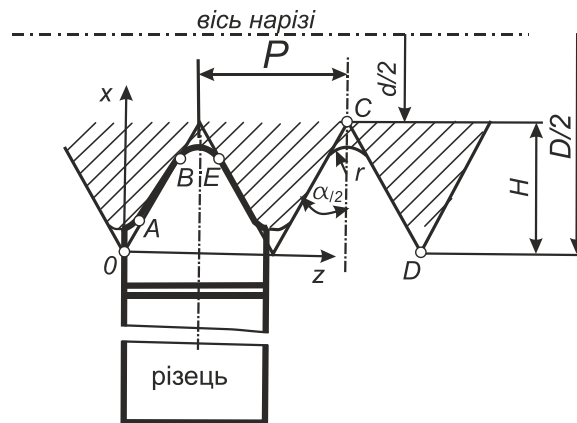


Рисунок 1 – Схема профілю трикутної нарізі

Отже, використовуючи декартові координати  $ZOX$  можна виразити прямобічну ділянку нарізі із пів-профільним кутом  $\alpha/2$  за формулою:

$$z = tg \frac{\alpha}{2} x \quad (1)$$

Проте, реально інструмент для формування нарізі часто встановлюють так, щоб він був спрямований із врахуванням її кута підйому  $\lambda$  (рис. 2). Це стосується як різальних інструментів так і інструментів для пластичної деформації (наприклад накатні ролики). У такому разі профіль отриманої нарізі у координатах  $ZOX$  описано іншим рівнянням [1]:

$$Z(x) = tg \left( \frac{\alpha}{2} \right) x \frac{\sin \tau}{\sin \eta} - \frac{P}{2\pi} \tau, \quad (2)$$

де:

$$\tau = \eta - \arcsin \left( \frac{\frac{d}{2} \sin \eta}{x} \right)$$

де:

$$\eta = \arctg \left[ \frac{P \sin \lambda}{2H} \right] \quad (3)$$

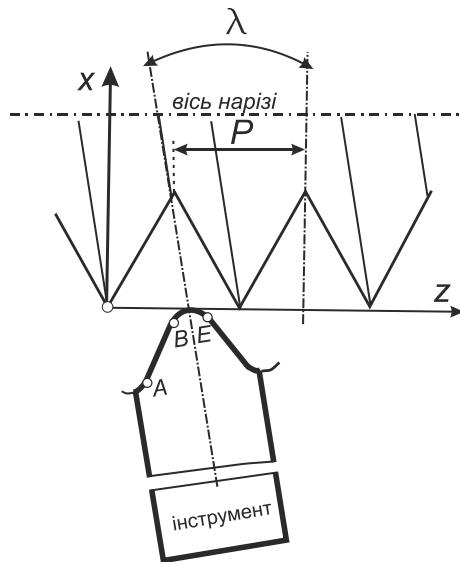


Рисунок 2 – Схема формування профілю нарізі із врахуванням її кута підйому

Подавня більшість різальних інструментів виготовляються із нульовим значенням переднього кута, оскільки такий підхід очевидно забезпечує дотримання проєктованого архімедового профілю нарізі згідно із формулою (1) (рис.3.а). Проте, ефективність роботи інструментів, наприклад токарних різців, значною мірою залежить від вибору позитивного чи негативного значення переднього кута  $\gamma$  (рис.3.б) [2].

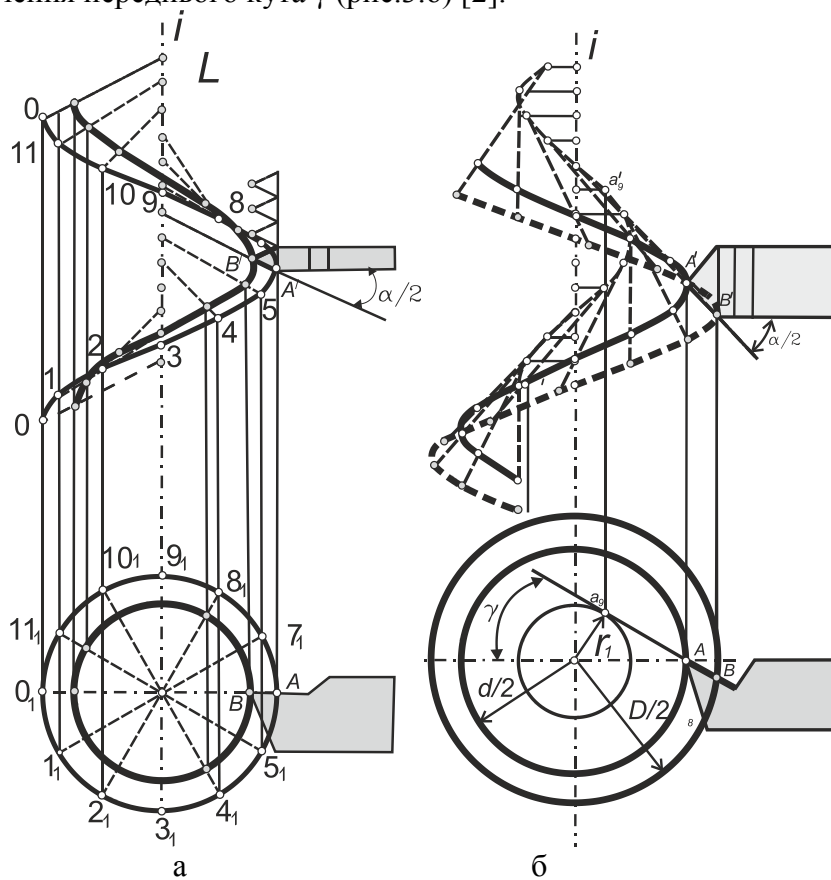


Рисунок 3 – Схема виконання різцем архімедового (а) і конволютного (б) гелікоїда

Залежність профілю отриманої нарізі виражатимемо за формулою [3]:

$$Z(x) = \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) x \frac{\sin \tau}{\sin \gamma} - \frac{P}{2\pi} \tau \quad (4)$$

де:

$$\tau = \gamma - \arcsin\left(\frac{d \sin \gamma}{x}\right);$$

$P$  – крок заданої нарізі.

Таким чином приходимо до висновку, що фактично формоутворення бічних поверхонь нарізей незалежно від виду обробки, повинно плануватися як геометрична поверхня конволютного, а не архімедового гелікоїда.

### Список використаних джерел.

1. Oleh Onysko, Vitalii Panchuk, Yaroslav Kusyi, Zenovii Odosii, Tetiana Lukan. Impact of the Tool's Flank Clearance Angle on the Pitch Diameter Accuracy of the Tool-Joint Tapered Thread. In: Vitalii Ivanov et al. (Eds). *Advances in Design, Simulation and Manufacturing: Proceedings of the 5-th International Conference on Design, Simulation and Manufacturing: The Innovations Exchange, DSME-2022.* / DSME 2022, LNME, P.312–321
2. Онисько О.Р., Лукань Т.В. Основи проектування різців для точіння конічних замкових нарізей. *Матеріали тридцять першої міжнародної наукової конференції «Нові технології у машинобудуванні»*. Залізний порт - Харків 2021, С 24-25.
3. V Panchuk V., Onysko O., Kotwica K., Barz C., Borushchak L. Prediction of the accuracy of the tapered thread profile. *JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES*. Volume 8(2) 2021. p. B1-B6.

**Бойко Л.Г.**, д.т.н., професор  
l.boyko@khai.edu  
**Даценко В.А.**, асистент  
v.datsenko@khai.edu  
**Піжанкова Н.В.**, асистент  
n.pizhankova@khai.edu

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОКОНАПРНИХ КОМПРЕСОРІВ МАЛОРОЗМІРНИХ ГТД З УРАХУВАННЯМ ВІДБОРУ ПОВІТРЯ.**

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

Відбір повітря з проточної частини компресора є невід'ємною рисою робочого процесу серед сучасних газотурбінних двигунів. Повітря, що відібрано, застосовується насамперед для охолодження лопаток та тракту турбіни, а також інших гарячих елементів двигуна.

Відбір повітря може бути реалізовано як у перерізі за компресором так і з проточної частини його проміжного ступеня.

Відбір повітря з компресору призводить до додаткових втрат, відповідно падіння ККД. Це відображується у зниженні ККД двигуна у цілому. Тому витрата повітря, що відбирається і застосовується для охолодження повинно бути суворо детерміновано за допомогою розрахунків математичної моделі двигуна.

Сучасні маловитратні газотурбінні двигуни дуже напруженими конструкціями. Не є винятком і багатоступеневий компресор. Сучасною тенденцією є збільшення сумарного ступеню підвищення тиску, що має бути реалізованою у відносно невеликій кількості ступенів (навіть існує термін “малоступінчатий компресор”).

Такі компресори мають високі осереднені значення роботи, що підводиться до повітря. При їх проектуванні виникає багато складнощів, а саме оптимізація розподілу енергетичного навантаження між ступенями, серед яких досить часто є над- та трансзвукові. Також важливим є вибір та оптимізація значень вісьових швидкостей, кутів натікання потоку на лопатки та інших параметрів.

На розрахунковому режимі роботи компресора при чітко визначеному значенні у перерізі за областю відбору відбувається зниження осьової швидкості течії та зростання кутів натікання на лопатки, які можуть перевищити критичні значення. Наслідком цього може бути зрив течії та поява нестійких режимів роботи ступеня, а можливо і компресора у цілому.

Тому для забезпечення стійкої роботи компресора потрібно змінити геометричний кут входу профілю лопатки шляхом прикриття міжлопаткового каналу. Цей захід є широко застосовуваний при проектуванні.

Його наслідком є зменшення витрати повітря через проточну частину компресору.

Особливістю високонавантажених компресорів малорозмірних ГТД є відносно невелика витрата повітря через проточну частину двигуна. Її додатково зменшення може призводити до падіння тяги або потужності залежно від типу двигуна.

Крім того, зменшення кута входу лопаток НА, що розташовані за середніми ступенями призводить до отримання необхідності забезпечити великі значення кутів повороту течії у останніх спрямляючих апаратах компресору для забезпечення осьового ходу течії у камері згоряння.

Для збереження кінематичних параметрів течії при обтіканні профілю направляючого апарату треба зменшити площу перерізу проточної частини тракту компресору у місті відбору. Це можна зробити як за рахунок и поверхонь, що обмежують компресор.

У доповіді наведено результати проектування 6 ступеневого компресора високого тиску з урахуванням відбору повітря. У порівнянні надано параметри проточної частини того ж компресору без урахування відбору повітря.

## **МЕХАНІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛЕВИХ ЗАГОТОВОК, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Національний технічний університет  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

Металевий 3D-друк або адитивне виробництво — це передовий метод виробництва, який відкриває нові можливості для проектування об'єктів з оптимізованою геометрією та мінімальною вагою з використанням значно меншої кількості матеріалів та енергії, що є важливою рушійною силою майбутньої стійкої машинобудівної бази. Впровадження адитивних технологій в сучасне виробництво дозволяють виробляти металеві вироби практично будь-якої складності і конфігурації та знайшли широке застосування в авіаційній та ракетно-космічній галузях, машинобудуванні та приладобудуванні, а також в медицині [1].

Більшість діючих технологій металевого 3D-друку не відповідають вимогам до точності виробів, так як є проблематика недостатності наукового забезпечення адитивних технологій, а також відсутність інформації про методи забезпечення точності деталей і способи їх оброблення. Відсутність закономірностей зміни технологічних параметрів процесу отримання заготовки та її подальшої обробки до необхідної точності, відсутні дані про вплив технологічних параметрів на показники якості готових виробів отриманих методом адитивних технологій. [2]

У зв'язку з цим, вивчення аспектів проблеми обробки металевих заготовок, отриманих методом адитивних технологій є актуальною науково-технологічною задачею.

Адитивне виробництво визначають як процес виготовлення виробу відповідно тривимірній моделі шляхом пошарового з'єднання матеріалу за допомогою автоматичного комп'ютерного управління (CAD/CAM). Особливе значення мають адитивне виготовлення виробів саме із металів, так як саме метали є основним промисловим матеріалом. Завдяки цьому сформувалася ціла індустрія методів адитивного виробництва, одним з яких є технологія “xBeam 3D Metal Printing” заснована спеціалістами компанії “Червона Хвиля” [3].

За допомогою даної технології заготовка формується шляхом пошарового осадження матеріалу, який подається в зону осадження та переміщується по заданій траєкторії і розплавляється за допомогою електронного променя, а потім твердіє по мірі виходу із зони нагріву, утворюючи наплавлений шар матеріалу. Джерелом нагріву є газорозрядна електронно-промінна гармата із кільцевим катодом, яка генерує електронний промінь у формі перевернутого конусу (рис. 1). [3]

Основними етапами, які лежать в основі технології “xBeam 3D Metal Printing” є:

1. Створення 3D моделі заготовки у CAD середовищі або отримання сітки від вже існуючої 3D моделі.

2. Отримання кодів за допомогою CAM середовища, які визначають параметри руху для направляючого пристрою.

Процеси, які відбуваються:

3. Створюється ванна розплаву на підкладці за допомогою електронного променя в формі перевернутого конусу, який генерується спеціальною електронно-променевою гарматою.

4. Матеріал у вигляді дроту подається через направляючий пристрій в центр ванни розплаву співвісної із конічним електронним променем.

5. Створюється розплавлений метал, який за допомогою комп'ютерного управління, рухається по заданим координатам, утворюючи необхідну заготовку.

6. Перевірка отриманої заготовки.
7. Чистова обробка отриманої заготовки за допомогою верстатів з ЧПК.

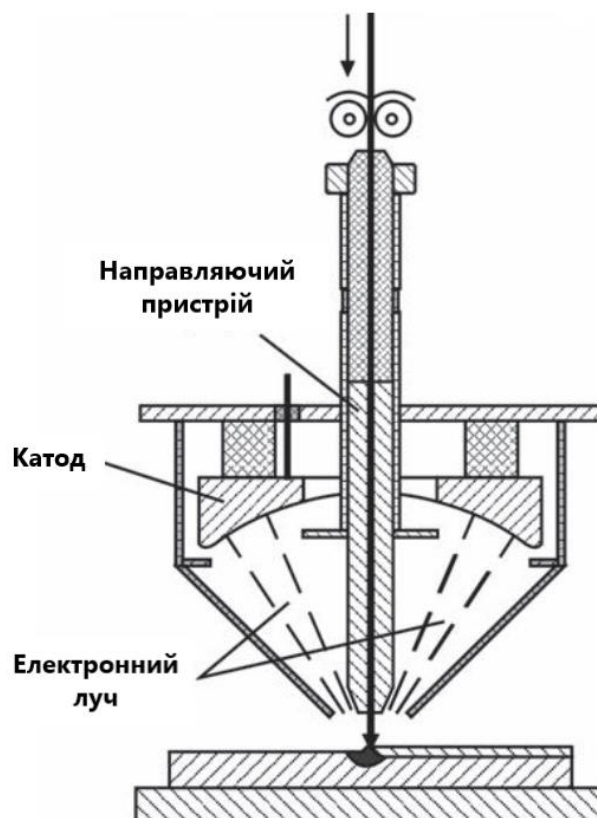


Рисунок 1 – Схема пристрою для реалізації технології xBeam 3D Metal Printing [3]

Для реалізації технології “xBeam 3D Metal Printing” спеціалістами компанії “Червона Хвиля” (<https://xbeam3d.com>) була розроблена установка xBeam-01 (рис. 2).



Рисунок 2 – Установка xBeam-01 [3]

Зазвичай заготовки, виготовлені за допомогою адитивних технологій, обробляються за допомогою систем ЧПУ, параметри вибираються консервативно на основі досвіду оператора та консультативних діапазонів параметрів обробки, рекомендованих виробниками інструменту. Механічна обробка металевих компонентів адитивного виробництва є новою проблемою через їх відхилення в механічних властивостях від кованих форм і, отже, за своєю суттю складної оброблюваності. Крім того, оскільки нові сплави розробляються для використання в процесах адитивного виробництва металів, вони, як і раніше, будуть схильні до технологічних обмежень, пов'язаних зі здатністю виробляти компоненти майже чистої форми. Таким чином, необхідно дослідити оброблюваність цих матеріалів та компонентів, виготовлених із них. З цією метою ряд авторів повідомили про свої висновки про оброблюваність матеріалів, що часто використовуються в адитивному виробництві металів [4,5]. Процес обробки дуже нестабільний і змінюється з часом. Вібrazio викликаються коливаннями сил різання, зміною умов тертя та різною жорсткістю. Будь то віброція або збуджене коливання негативно впливають на точність форми поверхні, термін служби інструменту та інтервал обслуговування станка. [6]. Коливання ніколи не можуть бути повністю виключені в системі станок-заготовка, але правильна настройка цієї системи може обмежити небажані наслідки, які можуть вплинути на якість процесу різання. Для досягнення максимальної ефективності процесу різання всі компоненти системи повинні знаходитись в межах своєї корисної продуктивності. Такий стан зазвичай не досягається на практиці і не досягається весь потенціал системи станок-заготовка. Загальний висновок полягає в тому, що відмінності в оброблюваності є звичайним явищем різних металевих процесів адитивного виробництва.

### Список використаних джерел

1. How Additive Manufacturing is Reshaping the Auto Industry [Електронний ресурс] // Industrial heating. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.industrialheating.com/articles/94218-how-additive-manufacturing-is-reshaping-the-auto-industry>
2. Additive Manufacturing (3D Printing): Past, Present and Future [Електронний ресурс] // Industrial heating. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.industrialheating.com/articles/91658-additive-manufacturing-3d-printing-past-present-and-future>.
3. Новые возможности аддитивного производства с технологией xBeam 3D Metal Printing (Обзор) / Д.В. Ковальчук, В.И. Мельник, И.В. Мельник, Б.А. Тугай // Автоматическая сварка. — 2017. — № 12 (770). — С. 26-33.
4. Surface integrity of machined additively manufactured Ti alloys [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.04.030>
5. Study on microstructure, mechanical properties and machinability of efficiently additive manufactured AISI 316L stainless steel by high-power direct laser deposition [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.09.005>
6. BÍLEK, O., PATA, V., KUBIŠOVÁ, M., ŘEZNÍČEK, M. (2018) Mathematical Methods of Surface Roughness Evaluation of Areas with a Distinctive Inclination, Published by Manufacturing Technology, ISSN 1213-2489, June 2018, Vol. 18, No.3, Pp. 363-368.

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

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕМПІРИЧНИМ МЕТОДОМ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ХОНІНГУВАННІ ОТВОРІВ

Акціонерне товариство «FED», Україна

Проводилося дослідження обробки отворів остаточного хонінгування при різних режимах для деталей з бронзи марки БрО5Ц5С5 (діаметром 15 мм, довжиною 45 мм). Призначали режими для остаточної обробки отвору, а саме швидкість та подачу. Параметри з якими ми працюємо виділено (рис.1). При обробці спостерігали за тиском та фіксували данні параметрів прямолінійності та шорсткості отворів. Емпіричним методом визначали режими при яких спостерігаємо: оптимальні показники якості обробки (геометричні та фізичні параметри), зносостійкості різального інструменту (кількість циклів роботи) та часу виконання операції.



а – один з варіантів емпіричного методу; б – остаточні режим

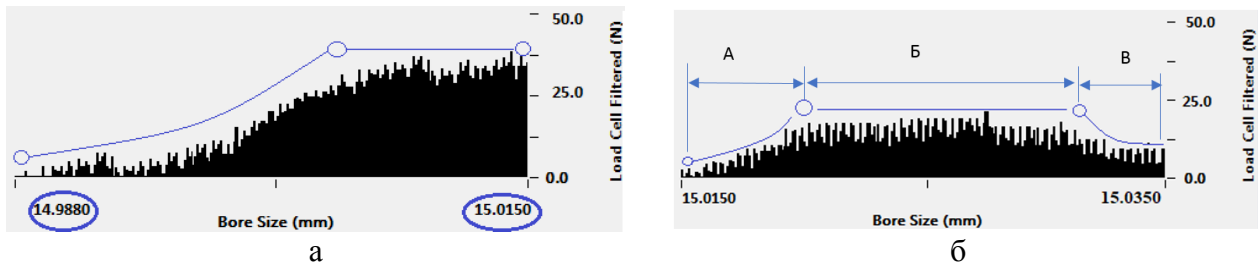
Рис. 1 – Режими для остаточної обробки отворів:

Для оптимальної продуктивності хонінгування цикл обробки повинен включати 4 етапи:

- швидке висування брусків до торкання з поверхнею отвори після введення інструменту в отвір;
- подача брусків з робочим радіальним тиском для зняття основного припуску;
- швидке подача брусків з мінімальним радіальним тиском для виходжування поверхні;
- швидке відведення брусків перед виведенням інструменту з отвору.

На рисунку 2 показано розподіл тиску ріжучих брусків інструменту на оброблювальну поверхню, при режимах зображених на рисунку 1, графік отримано за допомогою програмного забезпечення верстата SUNNEN SV2010.





а – один з варіантів емпіричного методу, б – остаточні режими  
 Рис. 2 – Графік розподілу тиску для остаточної обробки отворів циліндру

На етапі А (рис. 2, б) відбувається період торкання брусків з поверхнею отворів і вирівнювання геометрії. На наступному етапі Б (рис.2,б) відбувається зняття основного припуску з робочою подачею. На етапі обробки В (рис.2,б) - подача брусків з мінімальним радіальним тиском для виходжування поверхні.

При експериментальному дослідженні хонінгування отворів було виявлено, що найкраща геометрія і шорсткість отворів отримується при такій графічній залежності, яка зображена на рис.2, б.

*Науковий керівник д-р.техн.наук, професор Сисоєв Ю.О.*

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ РІЗАННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ШЛІФУВАННІ ЗІ ЗМІННОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ**Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

Підвищити працездатність алмазних кругів на металевих зв'язках та розширити технологічні можливості та галузі їх ефективного застосування дозволяють комбіновані методи обробки. Одним з таких способів є процес електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів в часі в зоні різання [1].

Механізм різання при електроерозійному шліфуванні твердих сплавів не вивчений. У зв'язку з цим цікавий аналіз такого показника процесу, як кількість активних ріжучих зерен в межах площі контакту алмазоносного шару з оброблюваною поверхнею матеріала. Механізм різання дозволяє оцінити якісну сторону взаємодії оброблюваного матеріалу та різальної поверхні інструменту [2]. Характер цієї взаємодії багато в чому залежить від технологічних параметрів процесу, що впливають на стан робочої поверхні круга та поверхневого шару матеріалу деталей.

Механізм різання при електроерозійному шліфуванні зручно досліджувати шляхом моделювання. Для вивчення механізму різання при плоскому шліфуванні торцем круга було вибрано геометричну модель процесу, а отримані результати уточнювалися за допомогою математичної моделі [3].

У процесі обробки інструмент зношується у двох напрямках: осьовому (паралельному до робочої поверхні) та радіальному. Осьовий знос алмазоносного шару товщиною  $S_1$  протікає по поверхні, яка формується за рахунок гвинтового руху прямолінійної утворюючої, що є миттєвою ріжучою кромкою. У даному випадку утворюють сімейство прямих, що знаходяться на обробленій поверхні деталі будуть паралельні різальній поверхні круга і перпендикулярні його осі. В результаті отримаємо, побудовану по висоті алмазоносного шару поверхню, що являє собою гвинтовий циліндроїд, який виходить рухом прямолінійної утворюючої, що ковзає по двох гвинтових лініях однакового кроку  $S$  і паралельної ріжучої поверхні інструменту, що залишається.

При електроерозійному шліфуванні в зоні різання діють електричні розряди, що виникають при пробіі міжелектродного зазору між стружкою або поверхнею металу і металевою зв'язкою круга. Тому радіальне зношування алмазоносного шару круга товщиною  $S_2$  приймається рівний величині міжелектродного зазору. Так як одночасно з осьовим зносом відбувається і радіальний, то поверхня зносу набуває криволінійної форми, створюваної рухом утворює, що ковзає по двох гвинтових лініях з кроком  $S$ .

Для визначення кількості активних зерен  $Z_a$ , що безпосередньо беруть участь у різанні, необхідно знайти просторовий (об'ємний) розподіл їх в алмазоносному шарі. З цією метою розроблено математичну модель робочої поверхні кола (рис. 1). В її основу покладено розподіл активних зерен в обсязі робочого шару з висотою, що дорівнює кроку  $S_1$ , в межах якого міститься загальна кількість алмазів  $Z_s$ , що включає активні зерна в проміжних шарах  $Z_{s1}, Z_{s2} \dots Z_s$ .

У міру зношування зерен  $Z_{s1}$  в роботу вступають вершини алмазів  $Z_{s2}$  і т. д. до місця їх закріплення у зв'язці. В результаті дії електричних розрядів зв'язка круга зношується, розкривається чергова серія активних зерен, і їх оголення в такому ж порядку повторюється вже по шарах. Якщо прийняти, що у початковий момент різання число вершин активних зерен лежить на поверхні алмазоносного шару визначається функцією  $Z_a=f(Z)$  заданої для деякого безлічі зерен, з урахуванням прийнятої моделі функція мусить бути безперервною й інших шарів робочої поверхні круга.

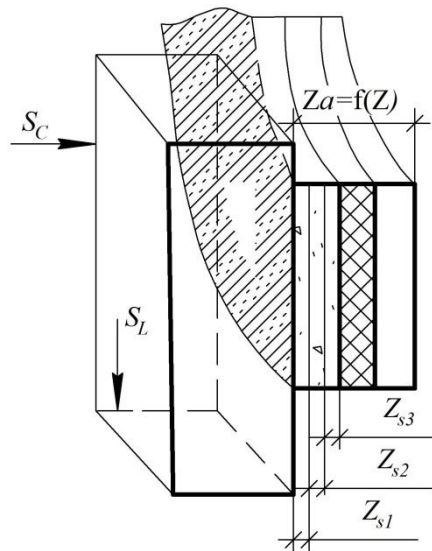


Рис. 1 Схема розподілу алмазних зерен у межах різальної поверхні круга.

Розрахувати кількість зерен, що знаходяться в межах ріжучої поверхні кругів чашкової форми розміром  $125 \times 5 \times 3$  з алмазів марок А, АСВ та АС6 на металевій зв'язці М1В (зернистість алмазів 100/80) можна за формулою:

$$Z_a = \frac{S_c S_L H (R^2 - r^2)}{f_1 F_0 60V}$$

Таким чином, отримані результати необхідно використовувати при виборі технологічних режимів шліфування твердих сплавів різних марок і характеристик алмазного інструменту. Відзначимо також, що навіть при роботі в умовах, близьких до оптимальних ( $S_c = 0.06$  мм/дв. хід,  $S_L = 2.0$  м/хв,  $V = 16$  м/с), коефіцієнт  $K_w$  становить лише 22,4 %, що свідчить про неповне використання потенційних можливостей алмазів у крузі на металевій зв'язці. Ще більшою мірою це проявляється при обробці різних матеріалів за умов некомбінованого шліфування. За даними робіт [4,5], при шліфуванні твердого сплаву ВК8 використовується близько 8%, при шліфуванні сталей близько 12%, чавуну не більше 10% потенційних ріжучих властивостей алмазних зерен.

### Список використаних джерел

1. Пат. України на корисну модель №131894, МПК (2018.01) В24В 1/00. Спосіб електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів / Стрельчук Р. М., Узунян М. Д. – № u 201806851; заявл. 18.06.2018; опубл. 11.02.2019.–Бюл. № 3.
2. R.M. Strelchuk, S.M. Trokhimchuk, Mathematical modeling of the surface roughness of the grinding wheel during straightening, *Nauk. Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* (2021) 53–59. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/053>.
3. Montes, J., Cuevas, F., Reina, F. Modelling and Simulation of the Electrical Resistance Sintering Process of Iron Powders // *Met. Mater. Int.* 26, p. 1045–1059 (2020).
4. Y. Zhang, C. Li, H. Ji, X. Yang, M. Yang, D. Jia, X. Zhang, R. Li, J. Wang, Analysis of grinding mechanics and improved predictive force model based on material-removal and plastic-stacking mechanisms, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 122 (2017) 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2017.06.002>.
5. X. Wen, J. Cheng, Experimental study of a specially designed diamond micro discontinuous grinding tool, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 102 (2019) 3341–3356. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03333-w>.

## УРАХУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ У КОСМІЧНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

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

Дуже велике значення має врахування внутрішніх навантажень. Крім зовнішніх сил, на космічні конструкції діють різноманітні внутрішні навантаження (температурні напруження, внутрішній тиск, внутрішні відцентрові сили, навантаження у зв'язку з переміщенням мас по поверхні та за обсягом конструкції тощо), які в ряді випадків є визначальними при виборі матеріалів, типу конструкції та технології складання космічних споруд.

Так, наприклад, при обертанні конструкції щодо свого центру мас у ній виникають відцентрові сили. А це саме стосується тих випадків, коли стабілізація космічного апарату може створюватися за рахунок гіроскопічного ефекту під час обертання або взагалі, коли тип конструкції визначається відцентровими силами. Механічні напруження в конструкціях, що утворюються у всіх цих випадках, не повинні перевищувати відповідну межу міцності використовуваного матеріалу.

Крім того, обертальний момент виникає у будь-яких космічних конструкціях при її орієнтації або стабілізації щодо заданого напрямку. Правда, слід зазначити, що при точній орієнтації з припустимими частотами механічних коливань обмеження, що накладається дією відцентрових сил, починає позначатися лише для великогабаритних космічних конструкцій розміром в кілька сотень кілометрів.

Вплив відцентрових сил є суттєвим і для майбутніх космічних конструкцій зі штучною силою тяжіння, створюваної на їх периферії за рахунок обертання конструкції. Причому, такі споруди повинні мати значні розміри як за своїм призначенням, так і тому, що при невеликих розмірах створення штучної сили тяжкості за рахунок обертання призводить до утворення прискорень Коріоліса, вельми болісно чутливих космонавтами. Однак, розрахунки показують, що напруження в подібних конструкціях, що виникають в результаті дії відцентрових сил, обмежують розміри цих космічних поселень в максимумі 2 км (щоправда, існують проекти споруд і більшого розміру, але в них штучна сила тяжіння створюється в центральному блоці розміром від 0,5 до 2 км).

Температурні напруження, які завжди властиві космічним конструкціям, оскільки вони, навіть не маючи власних джерел тепла, схильні до нерівномірного обігріву Сонцем. Звичайно, якби орієнтація космічних апаратів щодо Сонця не змінювалася, то температурні деформації можна було заздалегідь компенсувати конструктивними хитроцями. Але, як правило (за винятком сонячних колекторів), космічні конструкції обертаються щодо спрямування на Сонце, і в результаті утворюється хвиля температурних деформацій.

В принципі, вирівнювання температури космічної конструкції можливе шляхом прокачування теплоносія або нанесення теплоізоляції, проте для великогабаритних космічних конструкцій цей спосіб недоцільний. Щоправда, навіть ряд великогабаритних конструкцій (наприклад, відцентрові) мало схильний до впливу температурних деформацій. Справа в тому, що амплітуда хвилі температурних деформацій при швидкому обертанні незначна.

Для більшості великогабаритних конструкцій, що повільно обертаються, нерівномірний нагрівання Сонцем представляє серйозну проблему. Є кілька шляхів боротьби з цим, і найпростіший з них – зниження середньорівноважної температури космічного апарату, що можливе, наприклад, шляхом випромінювання надлишків тепла в космос. У цьому випадку відповідним підбором покриттів можна в широких межах регулювати

співвідношення між випромінювальною та поглинальною здібностями поверхні космічних апаратів. Так, наприклад, використання діелектричних покриттів (двоокису титану, окису кремнію, двоокису титанового рутила тощо) дозволить знизити середньорівноважну температуру космічних конструкцій до  $-15 - 0^{\circ}\text{C}$ .

Ще одним і навіть ефективнішим способом зниження температурних деформацій є використання матеріалів з малим коефіцієнтом лінійного розширення, про що вже говорилося раніше.

Крім температурних навантажень, Сонце серйозно впливає на космічні апарати, тому що є потужним джерелом радіації: короткохвильового випромінювання (насамперед ультрафіолетового) і корпускулярних потоків, інтенсивність яких на орбіті набагато більша, ніж у поверхні Землі. Крім того, корпускулярні потоки створюються космічними променями та радіаційними поясами Землі. Особливо сильно потоки корпускулярного випромінювання зростають під час спалахів на Сонці, які супроводжуються також різким посиленням короткохвильового електромагнітного випромінювання.

Найбільш чутливі до короткохвильового випромінювання та корпускулярних потоків радіаційні поверхні, оптичні деталі, напівпровідники та фотоелементи сонячних колекторів. Збільшується поглинальна здатність деяких покриттів, часом зростаючи у 2 – 3 рази, що призводить до серйозних порушень теплового режиму. Найбільш стійкими тут виявляються керамічні покриття. Під дією опромінення порушується прозорість скла ілюмінаторів та оптичних приладів. Однак останнє можна суттєво зменшити при додаванні до скла окису церію, а також застосовуючи кварцове скло з низьким вмістом домішок.

Корпускулярне випромінювання викликає також у матеріалах різного роду радіаційні ушкодження.

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТРИВИМІРНОГО ПОТОКУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ РОБОЧОГО КОЛЕСА КОМПРЕСОРУ ГТД**

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

Компресор є одним з найважливіших вузлів газотурбінних двигунів і енергоустановок. Для створення вискоелективних компресорів і вдосконалення вже існуючих проточних частин необхідний детальний аналіз газотермодинамічних процесів, що відбуваються в них. Підвищення газодинамічної ефективності компресора є важливим, оскільки його ККД безпосередньо впливає на паливну економічність і конкурентоспроможність двигуна в цілому.

Одним з основних методів дослідження, спрямованого на підвищення ефективності проектування та доведення об'єктів, на сьогоднішній день залишається натурний експеримент. Проте слід зазначити, що у більшості випадків повномасштабний (реальний об'єкт у натурних умовах) експеримент виявляється надмірно трудомістким та дорогим. Тому значення чисельного експерименту у процесі проектування та доведення компресорів ГТД неухильно зростає. На його окремих етапах в залежності від використаних припущень і спрощень фізичної моделі реального середовища використовуються числові моделі, що призначені для розрахунків параметрів течії та сумарних характеристик об'єкта дослідження, різної достовірності, глибини та ступеня складності.

Останнім часом у зв'язку зі значним прогресом в області обчислювальної техніки для дослідження потоків широко використовуються методи обчислювальної газової динаміки (CFD-методи). Вони засновані на чисельному рішенні системи рівнянь у формі Нав'є-Стокса, що описує тривимірну течію газу або рідини математично найбільш повно (без урахування різних фізико-хімічних перетворень) на основі фундаментальних законів зберігання, тобто з мінімальними припущеннями. Як показують численні публікації, ці рішення дають результати близькі до експериментальних. Причому терміни і вартість розрахунку незрівнянно нижче, ніж в разі проведення експерименту. Крім того, розрахунок за допомогою чисельних методів дає вичерпну інформацію про всі параметри в усіх точках області потоку, що розглядається. В результаті число експериментів, яке необхідне для проектування і доведення, значно знижується, що позитивно позначається на термінах і вартості розробки виробу.

Процес CFD-розрахунку робочого колеса компресору складається з наступних основних етапів:

- 1) постановка задачі, завдання цілей моделювання, вибір розрахункової області;
- 2) створення геометричної моделі обраної розрахункової області;
- 3) накладення на геометричну модель сітки контрольних обсягів;
- 4) завдання умов моделювання (властивостей речовини, граничних умов);
- 5) безпосередньо рішення системи рівнянь Нав'є-Стокса;
- 6) аналіз отриманих результатів.

На першому етапі відбувається загальна оцінка задачі і вибирається необхідна стратегія її вирішення. Змодельовати течію в турбомашині одночасно з урахуванням всіх особливостей важко, тому перед інженером завжди стоїть завдання врахувати в математичній моделі об'єкту всі необхідні особливості і максимально виключити з неї все зайве для прискорення отримання рішення.

Проточна частина компресору ГТД має складну просторову форму, що утрудняє як побудову геометричної моделі, так і накладення на неї сітки кінцевих елементів. Під час створення математичної моделі робочого колеса повинна зберігатися геометрична

відповідність натурному об'єкту. Розрахункова область є тривимірним регіоном, для дискретизації якого використовуються блочно-структурні неортогональні сітки. Для спрощення операцій тривимірного моделювання та накладення сітки контрольних обсягів розроблені спеціалізовані програми, які дозволяють одночасно створити і тривимірну модель, і сітку для CFD-розрахунку. При цьому в якості вихідних даних вони використовують традиційну форму подання геометрії лопаток робочих коліс: координати точок профілю, лінії меридіональних обводів, тощо. При цьому процес створення сіткової моделі значно прискорюється за рахунок автоматизації та об'єднання другого і третього етапу CFD-розрахунку.

Четвертий – шостий етапи чисельного експерименту є загальними для будь-якого CFD-розрахунку, це так звані препроцесинг, пошук рішення і постпроцесинг. Вони мають деякі особливості, що пов'язані з моделюванням течії в турбомашині. На етапі препроцесингу потрібно ввести інформацію про турбомашину (тип турбомашини, властивості потоку, граничні умови). Обробка результатів розрахунку дає можливість отримати уявлення про зміну основних параметрів потоку в міжлопатковому каналі робочого колеса компресору на різних радіусах по висоті лопатки і в меридіональному перерізі.

Розрахунки тривимірного потоку з використанням сучасного програмного комплексу дозволяють отримувати надійні якісні та кількісні дані про параметри проектного робочого колеса компресору. Їх оптимізація зводиться до вирішення задач розрахунку течії з варіацією координат профілів лопаток та проточної частини у меридіональному перерізі компресора.

### 3. ПРОЦЕСИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОБОТИЗАЦІЇ

UDC 004.896

**Golovan K. V.**, PhD, associate professor  
konstantin.golovan@sigma.software

#### **KNOWLEDGE-ORIENTED APPROACH TO THE AUTOMATION OF THE MAIN PIPELINE COMPLEX**

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Ukraine

Nowadays the automation of complex technological process control takes place in different industries. One of such industries is the gas transportation branch of Ukraine. That is also caused by the tendencies of Ukraine integration into the common European gas transportation system. The multilevel control systems are created on the basis of advanced hardware and software automation tools. Automated workstations built on the basis of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) technologies provide collection, storing, displaying and primary processing of data and also make it possible to control the complex technological objects on dispatching level of main pipeline complex (MPC) control.

One of the primary goals of MPC control is to provide the exploitation reliability and service durability of the main pipelines, that's why it is vitally important to pay attention to the process control of pipelines electrochemical protection (ECP) from corrosion [1]. However, in order to make the high-quality and well-grounded decisions on the MPC dispatching control level it is necessary to consider a lot of both external and internal factors that have explicit or implicit impact on the control object. In order to make a decision in conditions of various dynamically changing factors it is necessary to involve highly qualified specialists with great experience (domain experts). The involvement of experts is a toilful, expensive, and continuous process. Along with this, efficiency of control decisions making is one of the main requirements put upon the technological processes in gas transportation branch. In order to overcome such a problem, it is expedient to apply the approach based on the expert system technology that is able to give the information and intelligent decision support.

In connection with stated above the actual problem is the development of knowledge-oriented models [2], that can be used as a basis for expert system creation and may increase the effectiveness and quality of MPC control.

Well-known up-to-date methodologies of expert knowledge acquisition and structuring such as Task Structures, Role-Limiting Methods, Method-to-Task, KADS that are based on the use of the so-called «paradigms» of problem solutions (such as Heuristic Classification and Propose-and-Revise) and oriented on the reuse of existing task solution methods make it possible to pass from the specific knowledge engineering branch to the classic engineer problems. But the problems connected with difficulty of formal problem description, checkout of conformity between the selected problem and the method of its solution and some other problems complicate the solution of a specific problem.

On the basis of the situation stated above the functional knowledge-oriented model that is based on a set of typical intelligent elements is proposed. Typical intelligent elements are based on “knowledge source” concept of KADS-methodology [3-4] and make it possible to solve the analytical and logical tasks, as well as the tasks connected with classification, abstraction, specification, finding of regularities and others that often arise in decision making process of MPC control.

The main advantages of the developed functional knowledge-oriented model are: modularity (representation of monitoring, diagnostics and control processes of complex technological objects in a form of separate knowledge-oriented components interaction); universality of the typical functional blocks library (solution of typical tasks, arising in the process of technological object control); adaptability (easy adaptation to a specific domain); openness (gives the user a possibility to set the desired behavior); activity (interaction of typical functional blocks with each other that



makes it possible to automate the process of knowledge acquisition and processing and also interaction of functional blocks with a hybrid production-frame model using the service block inputs (frames) and mechanism of pointers (production systems) that allow to increase the effectiveness of knowledge procession during the control decision making process).

Every typical intelligent element is a functional block with a set of inputs and outputs. The behavior of such block is defined by its purpose.

The whole set of typical intelligent blocks that is used in construction of functional knowledge-oriented model according to the block purpose can be divided into five classes: blocks that return value (of attribute or variable) (they are intended to find values of object attributes on the basis of logical or analytical task solution, and also to search values of object attributes in database); blocks that return an analytical expression (they are intended to find analytical regularities between the different attributes); blocks that return generalized domain concepts (classes) (they are intended to make dynamic transformation of object structure in the process of specific problem solution); blocks that return operation results (they perform the auxiliary functions in comparison of the same-type object attributes with each other); blocks that control the model branching (they are intended to make branching in the model on the basis of domain object classification). The behavior of typical intelligent elements can be set by three different ways: static (is set in behavior editor), for example, production systems that describe the behavior of such blocks as «calculate logically» or «classify by rules»; dynamic (obtained from the output of previous block), for example, at the input of «calculate analytically» block the analytical expression found by “find regression” block can be entered; static hidden (user compiled modules), for example, user can set the desired block behavior in cases when the use of typical block is not rational or is impossible (complex search algorithms, non-linear or multiple regression etc.). In such cases the element behavior will be hidden and the element will be seen as a «black box».

Two different relations are used to connect function blocks with each other: “output-input” and “precedence”. “Output-input” relation means that the result obtained by the previous block is directly used by the next. In contrast to the “output-input” relation, the “precedence” relation shows only a logical sequence of functional block activation. In that case the connection between the functional blocks is performed by means of common database.

Thus, the functional blocks have the configurable behavior and may interact with each other during the process of finding a solution by the pre-defined set of relations. There were also developed the mechanisms of interaction between the typical functional blocks with the well-known knowledge representation formalisms such as production systems and frames. Interaction with a frame model is performed by means of service inputs of functional blocks that make possible to define the value of frame slot, reconfigure the frame structure and even the whole frame hierarchy i.e., making it “live”.

On the basis of the developed model for the functional knowledge acquiring, representing and processing the expert system for the dispatching level automated workstation of the ECP process control has been developed. Nowadays this expert system is integrated and maintained in “Ukrtransgas” that is an affiliated Company of “Ukraine Naftogaz” National Joint-stock Company as a part of automated system of electrochemical protection of main pipelines from corrosion.

## References

1. Tevyashev A.D. Tkachenko V.F., Popov A.V., Strizhak L.V. Stochastic model and method of solution of the problem of operative planning of electrochemical protection of underground pipelines system work mode // Radio electronics and informatics. – 2005. – №4. – PP. 132-139 (in Russian).
2. Chandrasekaran B., Johnson T.R, Smith J.W. Task Structure Analysis for Knowledge Modeling // Communications of the ACM, 35 (9), 1992. PP. 124-137.
3. Schreiber A.T., Wielinga B.J., Breuker J.A. KADS: A Principled Approach to Knowledge-Based System Development // Knowledge-Based Systems Book Series. London: Academic Press, 1993. – Vol. 11. – PP. 93-118.
4. Vob A., Karbach W. Implementation KADS Expertise Models with Model-K, IEEE Expert, 1993. – PP. 74-82..

## ВИКОРИСТАННЯ ДОДАТКУ ALLPAIRS У ТЕСТУВАННІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

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

Сучасні програми мають велику кількість вхідних змінних, кожна з яких може приймати досить велику кількість значень. Навіть застосовуючи методики еквівалентного роздроблення і граничного аналізу, число комбінацій вхідних параметрів (а значить і тестів, які необхідно виконати), залишається занадто великим як для ручного, так і для автоматизованого тестування. У той же час дослідження статистики помилок показали, що більшість дефектів виявляються на комбінації вже двох параметрів, і не обов'язково використовувати повний перебір.

Техніка попарного тестування скорочує кількість тестових наборів за рахунок забезпечення унікальності пар параметрів. Тобто набори будуються так, що комбінації з двох параметрів будуть унікальні в кожному рядку, інші параметри можуть повторювати свої значення або взагалі не використовувати якийсь діапазон своїх значень взагалі [1]. Є кілька різних математичних апаратів, що забезпечують таку унікальність (ортогональні масиви (orthogonal array), алгоритм allpair і ін.) [2].

Найбільш затребуваними додатками для автоматичного формування перевірок попарного тестування є:

- Allpairs – консольний додаток для Windows, Linux;
- PICT – Pairwise Independent Combinatorial Testing. Розробник Microsoft;
- Pairwise online tool – безкоштовний web-додаток. Онлайн-генератор для попарного тестування;
- VPTag – безкоштовний інструмент попарного тестування;
- ACTS – розширена комбінаторна система тестування від NIST.

Розглянемо переваги додатку Allpairs порівняно з іншими. На перший погляд цей додаток поступається конкурентам, але думка помилкова. Перевагами додатку є: безкоштовність (open source), зручність у використанні, можливість працювати з консолі усіх операційних систем та безпечність.

У доповіді розглядається приклад застосування попарного тестування для завдань формування тестових стендів у конфігураційному тестуванні програмного забезпечення з автоматичним визначенням базового тестового стенду. Формування стендів відбувається для веб-додатку з урахуванням трьох параметрів (операційна система, браузер та роздільна здатність екрану). Використання трьох параметрів обумовлено мінімальними вимогами алгоритму Allpairs.

Використання даного методу дозволяє суттєво скоротити та спростити отримання списку тестових стендів, уникаючи прямого ручного використання складних математичних алгоритмів.

### Список використаних джерел

1. Pairwise Testing Or All-Pairs Testing Tutorial With Tools And Examples [Електронний ресурс]. – Режим доступу - <https://www.softwaretestinghelp.com/what-is-pairwise-testing/>
2. Zimmerer, P. Combinatorial Testing Experiences, Tools, and Solutions Proceedings of the International Conference On Software Testing, Analysis, and Review (STAR), Anaheim, California, 2004. URL: <https://www.stickyminds.com/presentation/combinatorial-testing-experiences-tools-and-solutions>

## ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОГОТИПУ НА ВЕРСТАТІ З ЧПУ В СЕРЕДОВИЩІ AUTODESK

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

Метою даного проекту є ідентифікація кафедри прикладної механіки навчального закладу «ХАІ» за допомогою виробництва логотипа на верстаті з ЧПУ. Для організації рентабельного виробництва потрібно надійне та продуктивне обладнання, адже продукція має бути не лише привабливою зовні, а й якісно виконаною. Одним із найважливіших засобів підвищення продуктивності праці та забезпечення повторюваності випуску якісних виробів є автоматизація виробничих процесів на основі використання верстатів з ЧПУ. Головна відмінність цього обладнання в тому, що обробка виконується за розробленою програмою, що дозволяє забезпечувати гнучкість виробничого процесу і можливість використовувати програму багаторазово.

Логотип кафедри було спроектовано у середовищі SolidWorks. Проаналізувавши ескіз-завдання розкладемо логотип на збірні деталі для можливості виготовлення його на верстаті. Основними елементами майбутнього логотипу є: шестерня; захватний пристрій; накладна частина захватного пристрою; шарнір (2 од.); текст; стінка задня; допоміжна частина; підшипник. Модель шестерні (рис.1) для виготовлення логотипа було взята з бібліотеки Toolbox. Для підвищення привабливості логотипу, захоплюючий пристрій (рис. 2) було розкладено на шарніри, накладну частину та сам захватний пристрій. Це надасть можливість зробити його на майбутній вивісці більш об'ємним. Розміри було підбрано згідно масштабуванню логотипа.

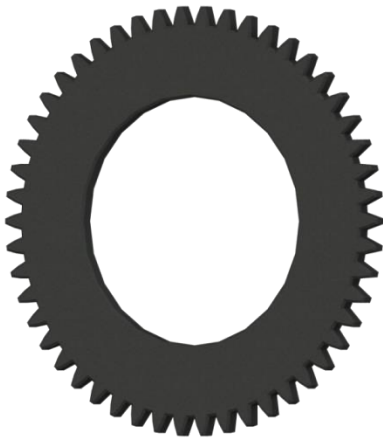


Рисунок 1 – Модель шестерні



Рисунок 2 – Захватний пристрій, накладна частина та шарніри

Задня стінка (рис. 3) розрахована для підтримки основних елементів, подальшого приєднання логотипа до кронштейну та слугує фоном зовнішнього вигляду. Розмір тексту (рис.4) обирався візуально відповідним до пропорцій логотипа, методом накладу на готову модель шестерні у загальній збірці.

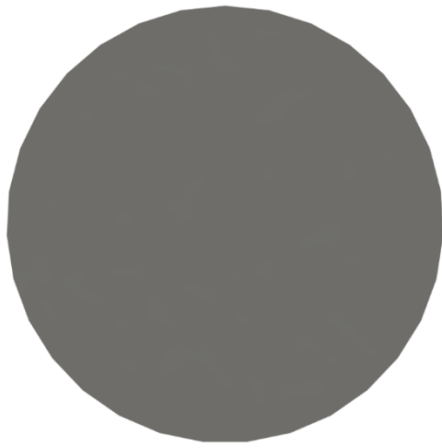


Рисунок 3 – Модель задньої стінки логотипа



Рисунок 4 – Модель тексту логотипа

Останнім етапом була створена модель підшипника (рис. 5) у центр логотипа. Завдяки операції «Круговий масив», час витрачений на проектування був мінімізований, загальний вид максимально наближений до конструкції реального підшипника. До задньої стінки логотипа було проєктовано з'єднувальну частину.

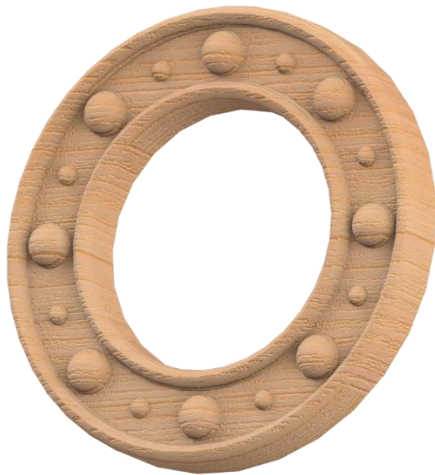


Рисунок 5 – Модель підшипника



Рисунок 6 – Світлодіодна стрічка з блоком живлення

Даний елемент кріпитиметься між задньою стінкою та шестернею. Вздовж її бічних граней буде закріплена світлодіодна стрічка, для освітлення конструкції (рис. 6). LED-стрічка – це унікальна сучасна технологія, що є, по суті звичайним освітлювальним модулем, на еластичній основі якого розміщуються світлодіоди і резистори, об'єднані струмопровідними доріжками. Стрічка підключатиметься до блоку живлення розмірами 35 x 78 x 110, мм за допомогою дроту напругою 12В. Усі проєктовані моделі у збірці зображено на рис.7



Рисунок 7 – Збірка всіх проектованих моделей

Спроектвані моделі елементів логотипу було адаптовано під середовище Autodesk шляхом збереження файлів у форматі DFX. Це надає змогу написати програму обробки деталей. На рис. 8 відкрито одразу всі моделі задля вдалого розташування елементів у збірці. Методом накладання деталей одне на одного було перевірено розміри логотипа.

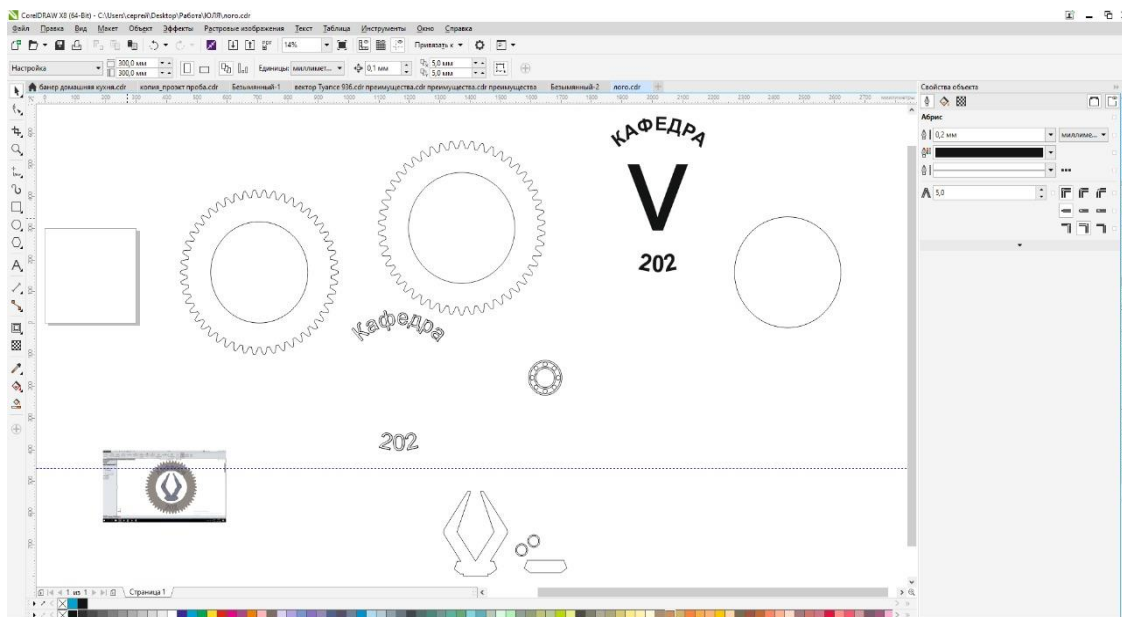


Рисунок 8 – Елементи логотипа у середовищі Autodesk

На рис. 9 зображено пробний результат збірки загального виду розмірів елементів логотипа та розташування їх відносно один до одного. Після інтеграції розміри змінювати потреби не виявлено, розташування елементів задовольняє ескізу-завдання.



Рисунок 9 – Розташування елементів у збірці

У випадку виробництва логотипу, як виду зовнішнього декоративного носія, в процесі проектування та технологічної обробки увагу приділено на вибір різального інструменту та глибину різання для візуального виділення деяких фрагментів деталей та їх взаємного розташування. Закінчений виріб логотипу кафедри представлено на рис. 10.



а)



б)

а) з увімкненою LED-стрічкою; б) без застосування LED-стрічки

Рисунок 10 – Закінчений виріб логотипу кафедри

### Список використаних джерел

1. Sun, Bo, Guangtai Qin, and Yadong Fang. "Research of standard parts library construction for SolidWorks by Visual Basic." *Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*. Vol. 5. IEEE, 2011.
2. Derakhshani, Dariush, and Randi L. Derakhshani. *Autodesk 3ds Max 2013 essentials*. John Wiley & Sons, 2012.
3. Antonov, S. Il. "Erforschung der Fähigkeiten von Informationstechnologien für die Ausbildung in Design, 3D-Modellierung und Visualisierung der Funktionsweise komplexer Mechanismen." *Mathematische Modellierung* 2.4 (2018): 156-159.

**ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ INTERSYSTEMS IRIS  
ДЛЯ ПОБУДОВИ ВЕБ-ДОДАТКА ПРОВЕДЕННЯ ІВЕНТ ПОСЛУГ**  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

Проведення будь-якого заходу ділового чи приватного формату пов'язане з величезними трудовитратами, оскільки є відповідальним завданням великої кількості співробітників і, відповідно, успіх його вирішення залежить від професіоналізму та досвіду організатора. До кожного клієнта має бути забезпечений індивідуальний підхід, з відповідною увагою до всіх деталей та дрібниць передбачуваного заходу. Оцінка ефективності заходу допомагає зрозуміти, наскільки вкладені кошти окупилися, і наскільки результати відповідають поставленим цілям.

Аналіз показав, що проведення будь-якого івенту може включати наступну послідовність робіт: розробка креативної концепції заходу (або використати аналог); підбір та бронювання майданчика для проведення заходу; запрошення гостей заходу; організаційна логістика – забезпечення транспорту, доставки всіх матеріалів та персоналу на майданчик заходу; організація харчування (замовлення кейтерингу); підбір артистів та розважальних номерів; декорування приміщень заходу; технічне забезпечення заходу – світло, звук; виробництво брендваної продукції; підбір та тренінг промо-персоналу для заходу; адміністрація 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 івенту. В зв'язку з цим виникає задача по розробці веб-додатка для організації та проведення івент послуг будь-якого ділового чи приватного заходу.

**Метою доповіді** є дослідження технологій платформи InterSystems IRIS для розробки веб-додатка для проведення івент послуг з використанням багатовимірних баз даних та сховищ інформації. В доповіді наводяться результати моделювання предметної області та аналіз особливостей використаних технологій. Розроблений веб-додаток використовує систему керування баз даних, яка заснована на багатовимірній технології, що дозволяє обслуговувати тисячі конкуруючих користувачів та оперує терабайтами даних. Високопродуктивна платформа InterSystems IRIS містить усі необхідні інструменти та можливості для швидкої розробки транзакційних, аналітичних та транзакційно-аналітичних додатків [1], які скорочують затримки під час підготовки даних для аналізу та дозволяють отримувати інформацію дійсно в оперативному режимі. Реалізація на платформі InterSystems IRIS масштабується як горизонтально, так і вертикально, що дозволяє їй 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 [Текст] / О. Б. Лещенко, Ю. О. Лещенко. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т", 2021. – 66 с.

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЦИКЛОВИМ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ НА БАЗІ ПРОМИСЛОВОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРУ

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

Метою роботи є вдосконалення алгоритмів керування розподіленим автоматичним обладнанням, зокрема у механічному виробництві.

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

Перевагами ПЛК є:

- можливість застосування у промислових умовах;
- стандартизація за інтерфейсами та методами програмування, за методами зв'язку з керуючими станціями;
- функції логічних контролерів впроваджуються програмно, що дозволяє їм постійно адаптуватися до роботи в нових умовах з мінімальними зусиллями та витратами;
- гнучкі, надійні, можна поєднувати за допомогою мережових сполучень з пристроями автоматизації з метою дистанційного керування, збору даних, налаштування для зміни своїх функцій та структури;
- програмування ПЛК за стандартом МЭК 61131-3, що передбачає можливість програмування мовами ST, FBD, LD і не потребує спеціальної фахової підготовки [1].

Орієнтування зовнішніх датчиків промислових роботів (ПР) не вичерпує інформації про якість виконання технологічного завдання, оскільки не розглядається ситуація, коли робот може дістатися потрібної координати невчасно. Для вдосконалення позиційного принципу керування пропонується додавання у контур системи керування (СК) таймера максимально допустимого часу руху. Припустимо, що ПР здійснюватиме переміщення за час не більший 5 секунд, за умов номінального навантаження та відсутності будь-яких зовнішніх перешкод. Граф роботи кінцевого автомату СК ПР наведений на рис.1. Водночас з приходом сигналів керування A0/A1 сигналом Dz вмикається таймер граничного часу. Якщо керування відбувається за штатних умов (вершини  $\gamma_1/\gamma_3$ ), то відбувається перехід до вершин  $\gamma_2/\gamma_0$  відповідно і сигнал збудження таймеру знімається ( $Dz=0$ ). У протилежному випадку сигнал таймеру  $Tz=1$  збуджує перехід автомату до  $\gamma_4$ , де формується сигнал аварії ( $AL=1$ ) та інші передбачені дії, після чого автомат повертається до початкового стану та знімає сигнал аварії. Процедура вважається невиконаною.

На графі автомата керування однією координатою циклового ПР зазначено: Z - сигнал керування приводом, AL - сигнал помилки; SQB, SQF – сигнали відповіді кінцевих сенсорів руху; RST – сигнал скидання автомата у початковий стан; A0, A1 – команди управління протифазним рухом приводу; Dz – сигнал збудження реле часу; Tz – сигнал реле часу. Формалізоване представлення автомата зведено до таблиці переходів (Табл. 1).



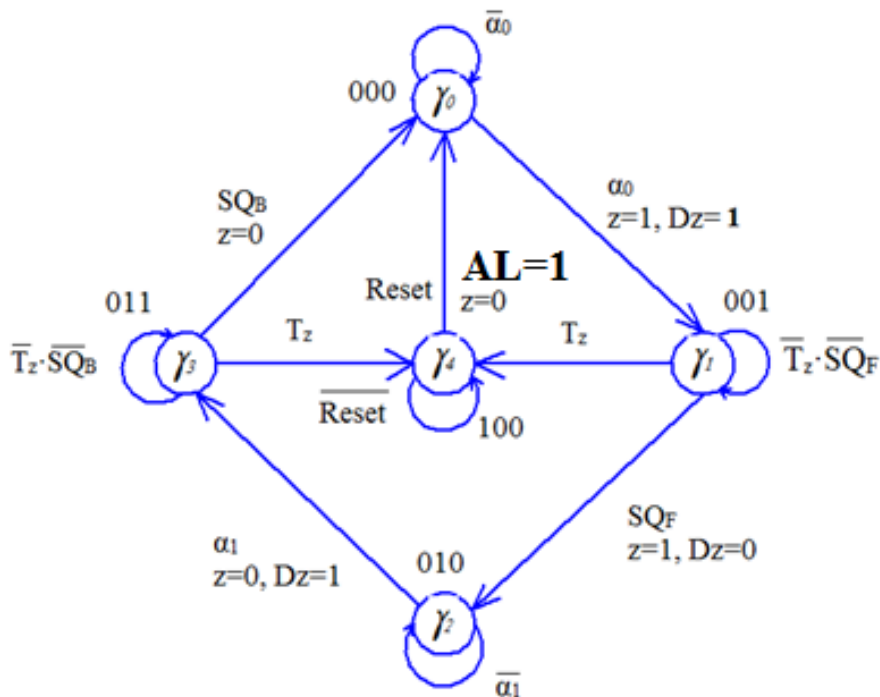


Рисунок 1 – Граф кінцевого автомата СК цикловим роботом по одній координаті

Таблиця 1 – Переходи керуючого автомата ПР циклового типу за одною координатою

RST	SQB	SQF	A0	A1	Tz	D1	D2	D3	Q1	Q2	Q3	Z	Dz	AL
x	1	0	0	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x	X	x	1	x	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
x	X	0	x	x	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
0	X	0	x	x	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
x	X	1	x	x	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
x	X	1	x	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
x	0	x	x	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0
x	0	x	x	x	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
0	0	x	x	x	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1
x	1	0	x	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	x	x	x	1	x	1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	x	x	x	x	x	1	0	0	0	0	0	0	0	0

На рисунку 2 наведено функціональну схему керуючого автомата ПР циклового типу за одною координатою, яка виконана мовою FBD у середовищі OWENLogic фірми OWEN. Автомат виконаний на основі D-тригерів (DTRIG), що своїми виходами пов'язані з логічним блоком Матриця1, який виконує функції формування сигналів збудження (Q1, Q2, Q3), що надходять до входів збудження D-тригерів. Вхід I4 пов'язаний з виходом таймеру із затримкою увімкнення (TON), на якому встановлено час затримки 5 секунд. На виході Q таймера з'являється логічний сигнал аварії (AL=1) із затримкою щодо фронту вхідного сигналу I тривалістю не меншою за тривалість TON, який вимкнеться по спаду вхідного сигналу Q5=0. Сигнал таймеру прямує до входу схеми збудження (I9) та на вихід автомату Q4. Тактову синхронізацію дії автомата виконує тактовий генератор на елементі Blink1.

До входів автомату I1, I2, I3, I4, I5 підведені сигнали зовнішнього керування протифазним рухом приводу ПР (RST, SQB, SQF, A1, A0).

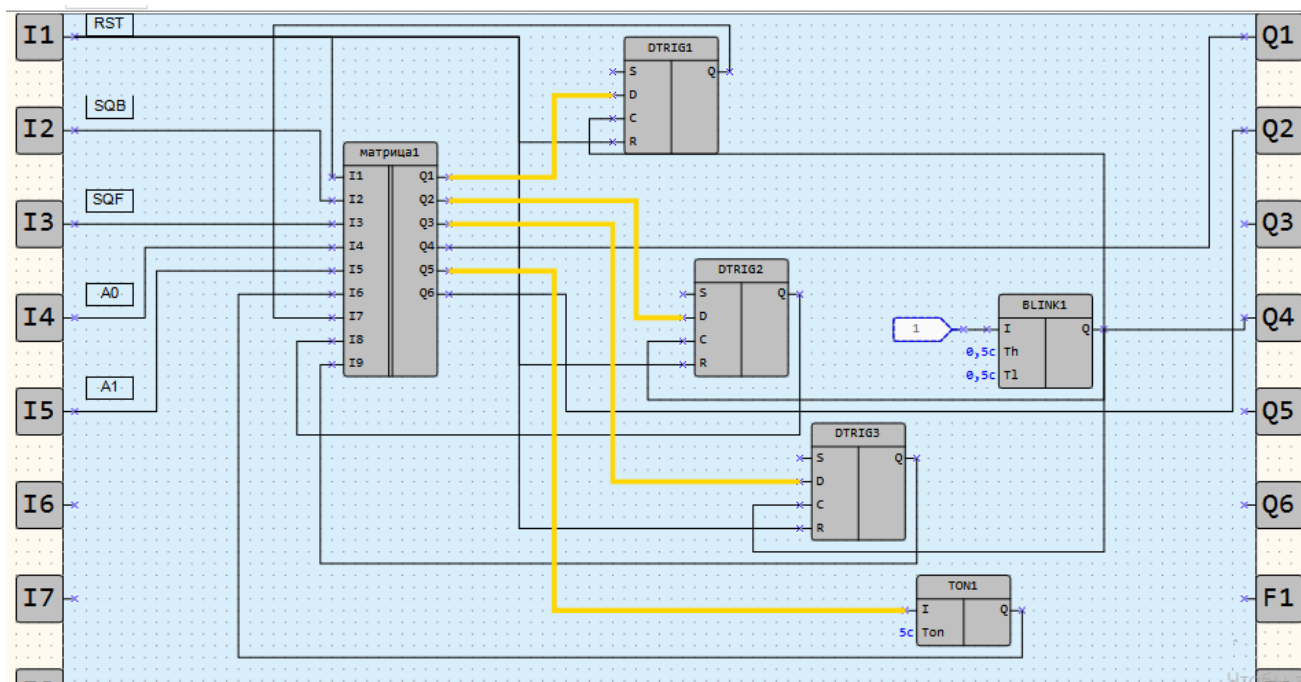


Рисунок 2 – Функціональна схема керуючого автомата циклового ПР за одну координату.

В результаті даної роботи було створено зразок промислового пристрою управління цикловим роботом-маніпулятором за одною координатою з можливістю розвитку цієї системи в рамках повномасштабної системи управління цикловим промисловим обладнанням з використанням просторово-часового принципу управління, завдяки введенню додаткових обмежень не лише за координатою, а й за часом, на основі ПЛК.

### Список використаних джерел

1. Теорія систем керування: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусев, О.В. Герасіна, В.П. Щокін; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро: НГУ, 2017. – 497 с.

**РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ  
ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТУРИСТИЧНИМ АГЕНТСТВОМ**  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

Туризм у світі розглядається як соціально-економічне явище, що надає прямий і опосередкований вплив на розвиток всієї пов'язаної з нею інфраструктури. Сучасний туризм базується на високому рівні розвитку транспорту, соціальної сфери та сфери послуг, що, зрештою, перетворює його на високоприбуткову галузь економіки. Важливою складовою для функціонування суб'єктів господарювання у туристичній галузі є її сучасне інформаційне забезпечення. Застосування сучасних інформаційних технологій в управлінській діяльності більшості туристичних підприємств сьогодні є одним із найважливіших факторів підвищення ефективності [1]. Веб-застосунок для управління туристичним агентством здатен вирішити задачі відображення інформації про актуальні тури, зворотного зв'язку для бронювання, а також аналізу даних на основі звітів. Актуальність розробки обумовлена підвищенням інтересу людей до дистанційного керування туристичним агентством за допомогою веб-застосунку. Веб-застосунок допомагає менеджерам або адміністраторам керувати турами, проводити операції з ними, керувати співпрацівниками, та слідкувати за прибутком.

Для розробки веб-застосунку було вибрано в якості середовища розробки IntelliJ idea та WebStorm, мови програмування Java, React.js та фреймворк Java – Spring. Для клієнтської частини використано REST (Representational State Transfer) підхід, оскільки він повністю покриває необхідні вимоги в системі – в проєктованій web-API не вимагається нічого більше ніж читання даних, запис деяких даних, а також використано JSON-формат для передачі повідомлень; використано інтегроване середовище розробки JetBrains WebStorm на основі платформи IntelliJ IDEA. Використано Open Server, за допомогою якого можна контролювати та змінювати дані в БД даних з адміністративної панелі, написаної на PHP та призначеної для MySQL.

Детально опрацьовано режими роботи веб-застосунку для користувачів двох типів: 1) користувач-менеджер – він може переглянути тур та забронювати його. Заброньований тур потрапляє до профілю користувача, де він може видалити обраний ним тур, або завантажити інформацію про тур; 2) адміністратор – він може скористатися більшим функціоналом, пов'язаним з обробкою інформації про тури, співпрацівників-менеджерів, а також звітами. Для турів або співпрацівників можна робити редагування, видалення або додаванням нового туру/співробітника; для звітів можна роботи формування та їх вивантаження.

Особливістю застосування розробленого веб-застосунку полягає у підвищенні ступеня автоматизації процесів контролю турів та формування звітності. На даний момент веб-застосунок можна вдосконалити в частині більшої візуалізації та зручності звітів за рахунок введення параметрів звітів, наприклад, у звіт, що формується автоматично для адміністратора, можна додати сортування прибутку та витрат щомісяця.

### **Список використаних джерел**

1. Опалько М. С., Примак Т. Ю. Автоматизація управління туристичним підприємством як засіб підвищення ефективності його діяльності // Молодий вчений. – 2016. – №5(32). – С.585-588.

## **РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ГОТЕЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ**

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

Уявити сучасний успішний готель, який працює без допомоги високотехнологічних систем управління об'єктом розміщення або, як їх ще називають, PMS, сьогодні вже неможливо. Проблеми та завдання, з якими мають справу в наш час готельєри, для вирішення вимагають інструментів, здатних забезпечувати високу якість роботи, надавати максимум можливостей, бути простими у навчанні та використанні та мати доступну вартість. Веб-додатки управління готелем, це важлива деталь в управлінні готелем, адже менеджер або адміністратор не здатний відстежити за персоналом або за клієнтами та іншими речами [1]. З погляду автоматизування готельні комплекси є складними системами, які складаються з багатьох взаємопов'язаних сервісів [2]. Основними типовими сервісами є: управління готельним фондом, адміністративні послуги, комерційні послуги, послуга харчування, інженерно-технічні послуги, доставка продуктів та господарчих товарів та додаткові послуги. У разі автоматизування готельного бізнесу стане можливим грамотніше і продуктивніше управляти всіма процесами, які є в готелі, і забезпечити зв'язок бізнес-процесів, що дозволить отримати більш структуровану інформацію для управління готельним бізнесом.

Розробка веб-додатку для управління готельним комплексом ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: мова розмітки гіпертекстових документів HTML, каскадні таблиці стилів CSS [3], браузерна мова програмування JavaScript [4], мова програмування PHP [5], веб-сервер Apache та MySQL-база даних.

Розроблений веб-додаток для управління готельним комплексом є повноцінним програмним продуктом та підтримує наступний функціонал: резервування номеру для клієнта, додавання інформації про клієнта, додавання персоналу, зміна статистики готелю, додавання скарг клієнтів, отримання інформації про номер. Під час тестування веб-додатку було виявлено, що він працює і на інших популярних браузерах Chrome, Opera, Microsoft Edge, Mozilla Firefox. Веб-додаток був перевірений на інтуїтивність та зручність інтерфейсу.

### **Список використаних джерел**

1. Веб-додаток управління готельним комплексом [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://jsolutions.ua/ua/programa-upravleniya-otelem>
2. Hotelconnect [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://www.hotelconnect.me/>
3. Основи CSS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Getting\\_started\\_with\\_the\\_web/CSS\\_basics](https://developer.mozilla.org/ru/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/CSS_basics)
4. JavaScript [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://learn.javascript.ru/>  
PhpMyAdmin [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.phpmyadmin.net/uk/latest/intro.html>

## **РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АРТ-КАФЕ**

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

Розвинене ресторанне господарство є прибутковим сектором економіки країни, який, окрім обслуговування різних контингентів споживачів та надання їм послуг у сфері харчування, вигідно позиціонує країну на міжнародному ринку. Розвинена сфера послуг, складовою якої є ресторанне господарство, є ознакою належного соціально-економічного рівня країни, прогресивної структури її господарства. У сучасних умовах ресторанний бізнес є прибутковим видом економічної діяльності, якому притаманні високі рівні ліквідності капіталу та конкретності. Окрім цього, впродовж останніх років спостерігається зростання ролі закладів ресторанного господарства у туристичному секторі економіки [1].

Арт-кафе – це тематичний заклад, а вони останнім часом стають все популярнішими з кожним днем [2]. Вони не лише об'єднують людей з однаковими інтересами, а й створюють сприятливу атмосферу для гарного вечора. До того ж відвідувачами цих кафе є люди з досить високим достатком. Створення інформаційної системи, допоможе компанії з управлінням закладом, так як це дуже сильно спрощує облік та контроль над замовленнями, заброньованими столами та персоналом.

Розроблена інформаційна система управління арт-кафе ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: Open Server, Open Server Panel [3], каскадні таблиці стилів CSS, середовище на основі Java – Spring boot, фреймворк Vue, MySQL-база даних [4].

Інформаційна система управління арт-кафе підтримує наступний функціонал: реєстрація та авторизація користувачів на віддаленому сервері, створення на сайті 2-х типів акаунтів: користувач, та адміністратор, збереження акаунтів у базі даних на сервері або пристрої користувача, редагування або видалення користувачів системи, є зручною в використанні, має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс як для користувача так і для адміністратора. Система призначена для автоматизованого менеджменту бронювань місць у закладах харчування. Кінцеві користувачі мають змогу переглядати інформацію про заклади, наявність вільних місць на певну дату та час і бронювати певний столик відповідно до розташування у кафе, ресторані, кав'ярні тощо. Менеджери та керівники можуть оновлювати інформацію про заклади та переглядати історію здійснених операцій.

### **Список використаних джерел**

1. Аветисова А. О. Ресторанні мережі: конкурентні переваги, проблеми, перспективи розвитку / А. О. Аветисова // Вісник соціально-економічних досліджень. - 2013. - № 28. - С. 117-123.
2. Middle East based Restaurant Reservations Start-up seats its 600,000th diner [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.prleap.com/pr/238212/middle-east-based-restaurant-reservations-start>.
3. OpenTable – офіційний сайт [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.opentable.com/>.
4. MySQL - офіційний ресурс [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mysql.com/>

## **РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ СПОРТИВНИХ ЗМАГАНЬ З БОЙОВОГО ДВОБОРСТВА**

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

Ефективна робота спортивної організації є актуальним питанням оперативної організації спортивних змагань. Полегшення організації спортивних заходів є надзвичайно важливою складовою будь-якої спортивної секції, проте дедалі ця задача стає більш складнішою, адже з кожним спортсменом пов'язаний надзвичайно великий обсяг даних: фізичні показники, спортивний клуб, спортивні розділи, в яких спортсмен бере участь.

Головною метою спортивних змагань є підвищення кваліфікації спортсменів, підтримка спортивних талантів та популяризація здорового способу життя. Ступінь автоматизації роботи організації суттєво впливає на його продуктивність. Використання інформаційних систем протоколювання спортивних змагань дасть змогу поліпшити ведення обліку спортсменів, зменшити кількість паперових ресурсів та помилок, виникаючих у зв'язку з людським фактором, більш раціонально використовувати наявні трудові ресурси, розподіляти робочий час організаторів змагань [1,2].

Розробка веб-застосунку для проведення спортивних змагань з бойового двоборства ґрунтується на використанні наступних інформаційних технологій: мова розмітки гіпертекстових документів HTML, каскадні таблиці стилів CSS, браузерна мова програмування JavaScript, мова програмування PHP [3], веб-сервер Apache з підтримкою PHP та MySQL-баз даних [4].

Розроблений додаток містити головне меню та перелік режимів роботи до кожної з функцій, які реалізують: створення змагання, додання спортивного клубу та його тренера, додання інформації про спортсменів, проведення жеребкування, введення результатів стрільби, розрахування загального місця, друк інформації, експорт даних в MS Excel. Вхідною інформацією є дані про учасників, такі – ПІБ (Прізвище, ім'я, по батькові) учасника, дата народження, вага, кількість повних років, рівень майстерності, бойова версія в якій бере участь учасник, клуб за який виступає, країна\область та ПІБ тренера. Вихідною інформацією є зведений протокол змагань, який відображає – версію, вік, вагу, ПІБ учасника, дату народження, країну\область, місце і бали за стрільбу та за рукопашний бій, загальний бал, загальне місце та ПІБ тренера.

### **Список використаних джерел**

1. Smoothcomp [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://smoothcomp.com/ru>
2. IMAR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://agml.imar.su/home>
3. PhpMyAdmin [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.phpmyadmin.net/uk/latest/intro.html>
4. Фізичне проектування структури бази даних: [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://rdb.dp.ua/uk/chapter\\_04](https://rdb.dp.ua/uk/chapter_04).

## **РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНСПЕКТУВАННЯ ЛЕКЦІЙ**

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

Спочатку пандемія, а потім війна значно змінили організацію навчального процесу у закладах освіти. Викладачі змушені повсякденно використовувати дистанційні технології, що відкриває широкі можливості для модернізації навчального процесу, але, разом з тим, створює певні проблеми [1]. З переходом до дистанційної форми навчання викладачі вимушені надавати студентам інформацію як у текстовому форматі, так і відео- та аудіоформатах [2]. Speech-to-text — це технологія для розпізнавання мовлення, яка дозволяє розпізнавати й перекладати розмовну мову в текст за допомогою обчислювальної лінгвістики.

Комп'ютерна програма використовує лінгвістичні алгоритми для сортування звукових сигналів від вимовлених слів і передачі цих сигналів у текст за допомогою символів Unicode. Перетворення мовлення в текст працює за допомогою складної моделі машинного навчання, яка включає кілька кроків.

Звуки мови створюють серію вібрацій. Технологія мовлення в текст працює, вловлюючи ці вібрації та перекладаючи їх на цифрову мову за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Аналогово-цифровий перетворювач приймає звуки з аудіофайлу, дуже детально вимірює хвилі та фільтрує їх, щоб розрізнити відповідні звуки. Звуки розбиваються на соті чи тисячні секунди, а потім узгоджуються з фонемами. Фонема - це звукова одиниця, яка відрізняє одне слово від іншого в будь-якій даній мові. Наприклад, в англійській мові приблизно 40 фонем. Після розбиття фонемі проходять через мережу за допомогою математичної моделі, яка порівнює їх із відомими реченнями, словами та фразами. Результат подається як текст або комп'ютерний запит на основі найбільш ймовірної версії аудіо.

Для невеликого проекту або пробного запуску є можливість використати одну з багатьох сучасних API speech-to-text, що мають безкоштовний план. Серед відомих платформ свої API надають Google, AWS, IBM, Microsoft та ін.

Таким чином, з використанням Speech-to-text спрощується та значно прискорюється переклад матеріалів лекції до електронної форми. Цей підхід також дозволяє викладачеві вносити зміни до матеріалу під час запису аудіо чи використання перекладу до тексту в режимі реального часу.

Наступним кроком є редагування отриманого тексту з додаванням графічного матеріалу, після чого лекція в електронному форматі може бути надіслана студентам.

### **Список використаних джерел**

1. Вишнівський В.В., Гніденко М.П., Гайдур Г.І., Ільїн О.О. Організація дистанційного навчання. Створення електронних навчальних курсів та електронних тестів. – Навчальний посібник. – Київ: ДУТ, 2014. – 140 с.
2. Квасник О., Землякова О., Балабай А. Особливості організації освітнього процесу в умовах карантинних обмежень у контексті досліджень якості взаємодії між його учасниками // Теорія і практика управління соціальними системами. – 2022. – №. 1. – С. 30-47. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-7782.2022.1.03>.

## **МЕТОД ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОМПОНЕНТНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АСТРОВІМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ**

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

В теперішній час існує велика різноманітність вимірювальних систем для орієнтування та навігації космічних апаратів (КА). Продовжують удосконалюватись астровимірювальні системи (АВС), перевага яких пов'язана з незалежністю проведення орієнтування КА без використання геоінформаційних систем, а з використанням зіркової орієнтації [1].

Сучасна бортова комп'ютерна система дозволяє за допомогою спеціального програмного забезпечення, з достатньою точністю, визначити центри зіркових світил в якості орієнтирів для управління та навігаційних розрахунків КА.

Велика різноманітність компонент АВС, які випускаються закордонними фірмами (Sodern, Ball Aerospace, Galileo Avionica, Jena Optronic, Terma тощо) дозволяють скомпонувати АВС з вимогами та характеристиками щодо конкретного використання КА у космічному просторі.

Тому актуальна тема доповіді, в якій запропоновано компонентний метод проектування АВС з характеристиками, які потрібні для використання КА спеціального призначення. Відокремлені компоненти, які відповідають заданим вимогам та мають позитивний досвід використання в АВС [2]. Ці компоненти вже були у минулих розробках, тому не потребують проектування а можуть бути використані як готові. Також існують компоненти, які можна адаптувати до вимог проекту. Ці компоненти вимагають модифікації і тому шляхом доробки можуть бути використані у проекті.

Інноваційні компоненти пов'язані з новими функціональними вимогами до АВС і тому повинні бути розроблені з нуля шляхом реалізації повного життєвого циклу створення та дослідної експлуатації та тестування. Інноваційні компоненти мають великий ризик та час розробки, що впливає на строк виконання робіт щодо створення АВС та суттєві витрати.

Проведено моделювання робіт зі створення АВС. Вирішена компромісна задача оптимізації строків, витрат та ризиків розробки АВС.

Створена інформаційна технологія розробки нових АВС.

Запропонований підхід доцільно використовувати на початкових етапах створення АВС з використанням як існуючих компонент, так і нових, необхідних для вирішення потрібних завдань КА

### **Список використаних джерел**

1. Designing Star Trackers to Meet Micro-Satellite Requirements [Text] / Kara Huffman et al. // SpaceOps 2006 Conference, 19 June 2006 – 23 June 2006. – Rome, Italy, 2006. DOI: 10.2514/6.2006-5654.
2. Fallon, L. Star Sensors [Text] / L. Fallon // Spacecraft Attitude Determination and Control. – 2018. – P. 184-195.



## **ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕГРАМ-БОТУ З НАДАННЯ ГУМАНІТАРНОЇ ДОПОМОГИ**

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

На сьогоднішній день через військові дії в Україні набувають актуальності чат-боти для надання гуманітарної допомоги (ГД) в зонах бойових дій, а також тимчасово окупованих територіях. Серед усіх верств суспільства виникла гостра потреба у отриманні ГД. Багато людей залишилися без роботи та місця проживання та були змушені розміститися у підвалах, бомбосховищах, метро. В таких умовах використання чат-ботів стає найзручнішим способом взаємодії населення як з органами влади, так і з благодійними організаціями [1, 2].

Дана розробка призначена для роботи благодійних фондів та волонтерів у наданні гуманітарної допомоги постраждалим від війни, внутрішньо переміщеним особам та людям із вразливих категорій.

Метою є розробка Телеграм-боту з надання гуманітарної допомоги в будь-яку точку України, де розгортаються бойові дії, та автоматизація процесів замовлення ГД. Проведено дослідження діяльності гуманітарної допомоги та спроектовано загальну структурну схему рішення, сценарій роботи, функціонал.

Для досягнення поставленої мети створено Телеграм-бот, який забезпечує збір інформації про людей, яким необхідна допомога та здійснює прийом заявок. Якщо ГД є у наявності, то замовник очікує доставку.

Було зроблено BPMN-опис бізнес-процесу в програмному засобі BizAgi process modeler. Модель дозволила виявити недоліки існуючої системи. За результатами аналізу моделі можна зробити висновок про те, що необхідно скоротити час очікування доставки. Недоліки, виявлені у моделі AS-IS (як є), виправляються шляхом створення моделі TO-BE (як буде), тобто моделей організації нових процесів. Функціональна модель TO-BE дозволяє ідентифікувати зміни на етапі проектування системи, скоротити час впровадження системи, та знизити ризики. Модель TO-BE необхідна для аналізу альтернативних способів виконання функцій та документування роботи.

Основним результатом роботи є розроблений Телеграм-бот для замовлення ГД. Бот надає можливість замовити допомогу в будь-яку точку України, в якій проходять бойові дії. С системою можуть співпрацювати будь-які волонтери.

В перспективі планується додати можливість реєстрації заявки на евакуацію з міста, реєстрації заявки на життєво важливі медикаменти, вибір мови, якою можна спілкуватися з ботом, можливість уточнення деяких аспектів запиту, погодження доставки, відстеження місцезнаходження користувача. Завдяки вищезгаданим функціям вдасться оптимізувати роботу чат-бота і зробити доставку ефективнішою, а прийом заявок – менш витратним.

### **Список використаних джерел**

1. Зачек О. І. Практика та перспективи використання чат-ботів національною поліцією України / О. І. Зачек, Т. В. Рудий // Інформаційні технології в освіті та практиці: матеріали Всеукраїнської науковопрактичної конференції (Львів, 17 грудня 2021). – 2021. – С. 29-33.

2. Шинкаренко Ю. А. Україномовні чат-боти з інтелектуальною системою керування торговим майданчиком для керівника інтернет-платформи / Ю. А. Шинкаренко // Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві (ІТОНВ2019)» ( 23-25 травня 2019 року). – Луцьк: інф.-вид. відділ Луцького НТУ, 2019. – С. 165-168.

## 4. ФУНКЦІОНАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ВИРОБНИЦТВІ

УДК 621.73.06

**Аврашова А.І.**, здобувачка вищої освіти  
avrashova.alla22@gmail.com

**Харченко М.В.**, к.е.н.  
atlanta1680@gmail.com

### ЛОГІСТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗАПАСАМИ

Кременчуцький льотний коледж

Харківського національного університету внутрішніх справ, Україна

Система управління запасами реалізує організаційну структуру і поточну політику безперервної роботи підприємства. Система управління виробничими запасами проектується з метою безперервного забезпечення виробничої діяльності підприємства усіма потрібними ресурсами, що на даний час є актуальним при веденні бізнесу.

Реалізація цієї мети досягається у вирішенні таких завдань, як:

- облік поточного рівня запасу на складах різних рівнів;
- визначення розміру замовлення;
- визначення інтервалу між замовленнями.

Запаси забезпечують географічну спеціалізацію окремих господарських одиниць.

Оскільки виробництво потребує використання енергії, сировини, робочої сили та для того щоб велика кількість підприємств мали змогу оптимізовано отримувати їх в належній кількості - доводиться розміщувати їх досить далеко від основних ринків збуту. Технологічні та інші потужності, необхідні для виробництва складських вузлів і компонентів, заради скорочення транспортних витрат зазвичай розташовують поблизу від джерел матеріальних ресурсів. Ця стратегія географічної ізоляції забезпечує економічність виробництва. Однак географічна ізоляція вимагає транспортування запасів комплектуючих до складальної лінії. Крім цього географічна ізоляція створює потребу в запасах, необхідних для виробництва продукції. Далі, вироблену в різних місцях продукцію збирають на складах для подальшого комплектування змішаних партій і відправки їх на адресу споживачів.

Консолідація ресурсів - ще одна функція запасів, яка реалізується шляхом накопичення запасів незавершеної продукції на кордоні між різними стадіями виробничого процесу і тим самим забезпечує максимальну ефективність виробництва на окремому підприємстві. У процесі розподілу завчасно накопичені складські запаси дають можливість надсилати клієнтам великі партії товарів за мінімальними тарифами. Консолідація ресурсів дає можливість продавати вироблену та накопичену продукцію в потрібному асортименті. Таким чином, ця функція запасів «страхує» ділове підприємство від невизначеності. Функції запасів зумовлюють величину інвестицій у запаси, необхідну для виконання планів підприємства. При будь-якої конкретної стратегії виробництва і розподілу обсяг запасів можна скоротити тільки до рівня, що забезпечує реалізацію чотирьох функцій запасів. Запаси понад цього мінімального рівня вважаються надмірними. [2]

Матеріально-технічне забезпечення як одна з галузей сфери товарного обігу, що виконує функції обігу засобів виробництва, виконує велику роль у підвищенні ефективності виробництва. Воно виступає в якості опосередкованого зв'язку між виробництвом та виробничим споживанням продукції виробничо-технічного призначення та його діяльність з розширенням масштабів виробництва неперервно зростає. [1]

Забезпечуючи міжгалузеві зв'язки по поставках продукції, структури матеріально-технічного забезпечення сприяють скороченню часу виробництва, підвищенню його ефективності та якості продукції за рахунок ритмічного, своєчасного забезпечення підприємств, економічними партіями різних видів сировини, матеріалів та обладнання.

Організаційна побудова, характер і методи роботи служб постачання на підприємствах відрізняються своєрідністю. На невеликих підприємствах, споживаючих малі об'єми матеріальних ресурсів в обмеженій номенклатурі, функції постачання покладаються на невеликі групи або окремих працівників господарського відділу підприємства. На більшості середніх і крупних підприємств цю функцію виконують спеціальні відділи матеріально-технічного постачання, що знаходяться у підпорядкуванні у заступника керівника підприємства по виробництву. Оскільки якість роботи відділу багато в чому визначає якість виробничого процесу, то він повинен бути укомплектований висококваліфікованими фахівцями. Крім того, багато вирішуваних відділом питань носять комплексний характер, вимагають знань в області маркетингу, логістики, техніки, технології, економіки, нормування, прогнозування, організації виробництва і міжвиробничих зв'язків.

Відділи МТЗ будуються за функціональною або матеріальною ознакою. У першому випадку кожна функція постачання (планування, заготівка, зберігання, відпустка матеріалів) виконується окремою групою працівників. При побудові постачальницьких органів за матеріальною ознакою певні групи працівників виконують всі функції постачання по конкретному виду матеріалів. Характерний тип структури служби постачання - змішаний, коли товарні відділи, групи, бюро спеціалізовані на постачанні конкретними видами сировини, матеріалів, устаткування. Проте разом з товарними, до складу відділу постачання входять функціональні підрозділи: плановий та диспетчерський.

Змішаний тип структури відділу постачання - найбільш раціональний метод будови, який сприяє підвищенню відповідальності працівників, поліпшенню МТЗ виробництва. Планове бюро (група) виконує функції по аналізу навколишнього середовища і ринковим дослідженням, визначенню потреби в матеріальних ресурсах, розробці плану забезпечення підприємства і його підрозділів матеріально-технічними ресурсами (входить до складу бізнес-плану підприємства), оптимізації ринкової поведінки за найбільш вигідним забезпеченням, формуванню нормативної бази, розробці планів постачання і аналізу їх виконання, контролю за виконанням постачальниками договірних зобов'язань. Організаційна структура відділу МТЗ представлена на рисунку 1.

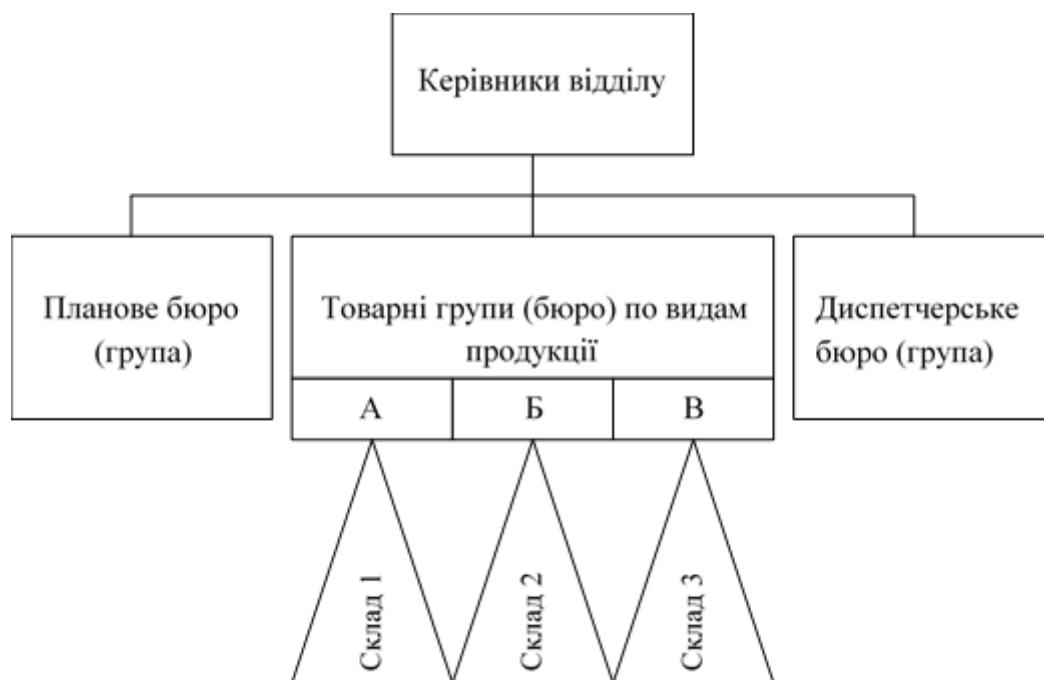


Рисунок 1 – Організаційна структура відділу МТЗ (змішаний тип)

Планування закупівлі матеріально-технічних ресурсів великою мірою зумовлює

ритмічну роботу підприємства з випуску продукції в заданій номенклатурі та асортименті.

Отже, на підприємстві потрібно розраховувати питому вагу матеріальних ресурсів згідно з укладеними договорами по прямих господарських зв'язках, а також питому вагу придбаних матеріальних ресурсів для того, щоб з'ясувати співвідношення між ними. Завдяки цьому з'ясовується економічність запропонованих заходів для підвищення оптимізаційної діяльності придбаних на використаних запасів на виробництві.

### **Список використаних джерел**

1. Марченко В.М. Логістика: Підручник/ В.М. Марченко, В.В. Шутюк. – К.: Видавничий дім «Артек», 2018. – 312 с.
2. Окландер М.А., Логістика: навч. посіб. - навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2018. – 346 с..
3. [https://pidru4niki.com/72654/logistika/shlyahi\\_optimizatsiyi\\_logistichnih\\_protsesiv\\_skladskomu\\_gospodarstvi](https://pidru4niki.com/72654/logistika/shlyahi_optimizatsiyi_logistichnih_protsesiv_skladskomu_gospodarstvi)
4. [https://pidru4niki.com/71588/logistika/pokazniki\\_otsinyuvannya\\_roboti\\_skladskogo\\_kompleksu\\_okremih\\_yogo\\_dilyanok](https://pidru4niki.com/71588/logistika/pokazniki_otsinyuvannya_roboti_skladskogo_kompleksu_okremih_yogo_dilyanok)УДК 378.1

**Дяченко А.Р.**, здобувачка освіти  
adel272002@gmail.com

**Харченко М.В.**, к.е.н.  
atlanta1680@gmail.com

## ЛОГІСТИЧНА ПІДТРИМКА ДІЯЛЬНОСТІ СКЛАДУ

Кременчуцький льотний коледж

Харківського національного університету внутрішніх справ, Україна

Одним із головних комплексів логістичних систем на виробництві є склади.

Складська діяльність - це планові і систематичні заходи підприємств щодо зберігання і сортування матеріальних запасів за умов забезпечення встановлених вимог до їх якості і кількості.

Актуальність теми визначена у необхідності розкриття сутності організації діяльності складів з точки зору форм власності.

Основні завдання складської діяльності полягають в прийманні, зберіганні матеріальних запасів, їх підготовці до виробничого споживання, відвантаженні готової продукції споживачам, дотриманні норм запасів та контролі за витраченням матеріалів.

Основним елементом складської діяльності є склад, який є інженерною спорудою стаціонарного чи мобільного характеру, що призначений для накопичування та зберігання матеріальних цінностей.

Сучасний склад промислового підприємства - це досить складна інженерна споруда, яка складається із великої кількості взаємопов'язаних елементів, має певну структуру і виконує низку функцій з перетворення матеріальних потоків, а також накопичування, переробки і розподілу вантажів між їх споживачами. При цьому можливе різноманіття параметрів, технологічних рішень, конструкцій, устаткування і характеристик різноманітної номенклатури вантажів, що переробляються на складах, робить склади складними системами.

Головними критеріями роботи складів є забезпечення належної якості обслуговування або мінімізація логістичних витрат. Такі склади часто зустрічаються в торгівлі харчовими продуктами або промисловими товарами масового користування.

Однак розміщення поблизу ринків збуту характерно для багатьох галузей. Така стратегія економічно виправдана, оскільки це найдешевший спосіб швидкого поповнення запасів.

Розташування складів поблизу виробництв полегшує нагромадження потрібного для постачання споживачів асортименту продукції. Таке розташування складів дозволяє відправляти споживачам змішані вантажі за консолідованими тарифами.

Перевага такого розміщення складів полягає в тому, що підвищений рівень сервісу поширюється на весь асортимент продукції, яка постачається. Такий виробник має можливість стати кращим за інших постачальником. За проміжного розташування складів між виробництвом і споживанням склади працюють за тією ж схемою, що і склади, розташовані поблизу виробництва: накопичують повний асортимент продукції й відправляють замовникам змішані партії товарів за пільговими тарифами.

Завдання складу полягає в забезпеченні належних умов для приймання, обробки, зберігання, та відвантаження матеріальних запасів, за умов дотримання визначених вимог до їх кількості та якості.

Система складів відіграє важливу роль у розподільчій мережі господарської діяльності підприємства, є проміжним посередницьким пунктом необхідним для накопичення та подальшої реалізації товарів.

Розподільчий центр фактично є складом накопичуваного типу, але з прискореним рухом матеріальних запасів. Він може надавати й інші послуги, що зорієнтовані на споживача: продаж, транспортування, надання матеріальних запасів в кредит. Такий склад не має надлишкових запасів і клієнти не можуть тут повторити замовлення. Після відвантаження комплектів матеріальних запасів зусилля розподільчого центру зосереджуються на виконанні наступних замовлень.

На рис.1 наведено матеріальний потік який проходить транзитом у розподільчій мережі між виробником та кінцевим споживачем.

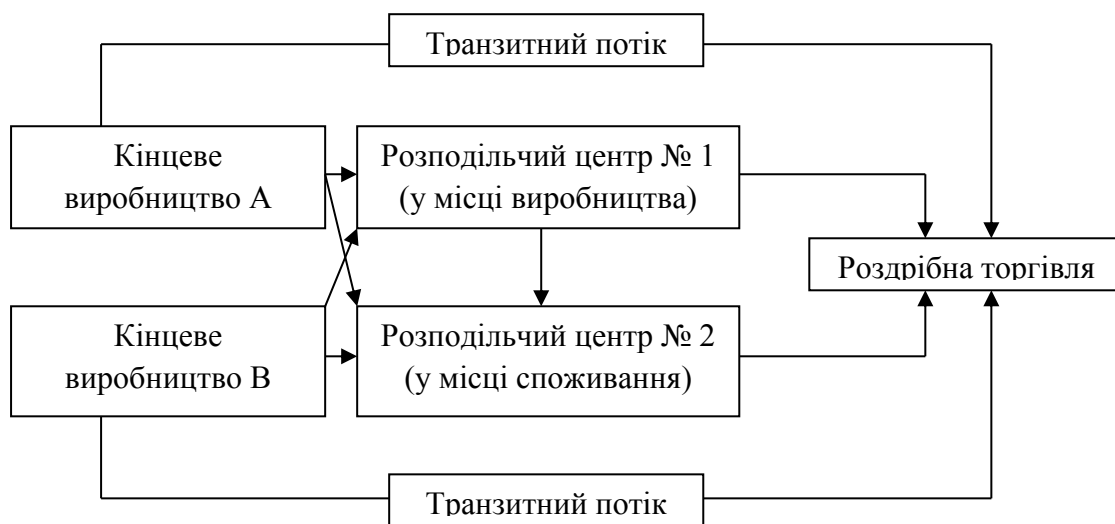


Рисунок 1 – Транзитний потік товарів

Для здійснення господарської діяльності вагому роль має значення в якій власності здійснюється утримання складів.

Власність в Україні виступає в таких формах: приватна, колективна, державна (рис.2).

Всі форми власності є рівноправними, а держава створює рівні умови для їх розвитку та захисту.

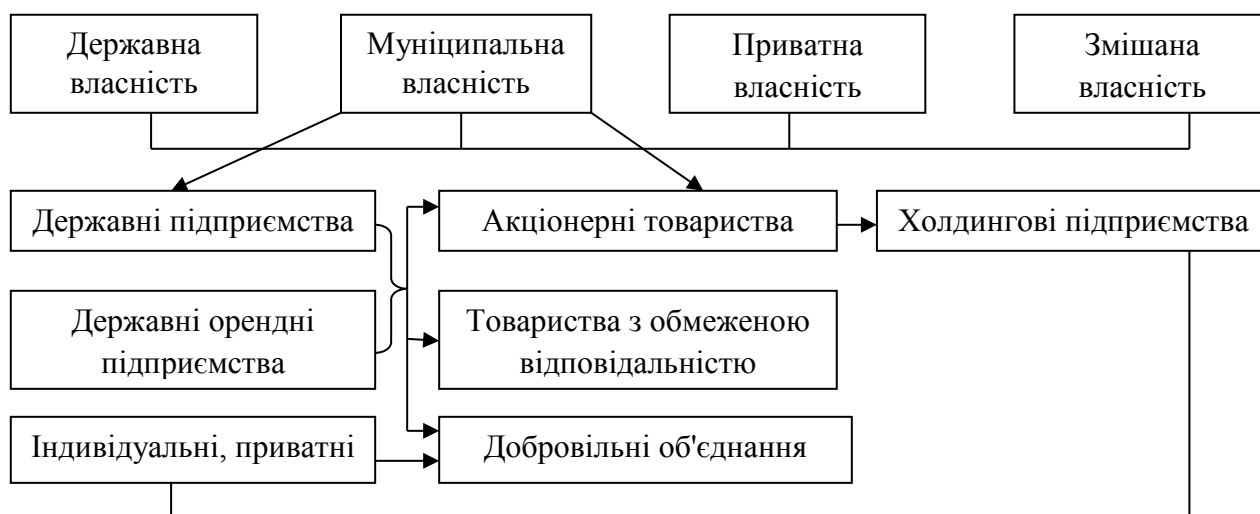


Рисунок 2 – Форми власності складу

Приватна власність – це майнові та немайнові особисті блага конкретної фізичної особи, якими вона володіє, користується та розпоряджається на свій розсуд, використовуючи їх для будь-яких цілей.

Державна власність – це майно необхідне для виконання державою своїх функцій. Державна власність є суспільною формою привласнення матеріальних благ в інтересах народу.

У колективну власність можуть бути передані землі колективних сільськогосподарських підприємств, сільськогосподарських кооперативів, сільськогосподарських акціонерних товариств, у тому числі створених на базі радгоспів та інших державних сільськогосподарських підприємств, землі садівницьких товариств – за рішенням загальних зборів цих підприємств, кооперативів, товариств [3].

Найкращою товаропровідною мережею з розподільчими центрами є та, що забезпечує найвищий рівень обслуговування споживачів за мінімальних загальних витрат. Відповідно до обраної стратегії розташування товаропровідна мережа може бути організована як централізована структура (з єдиним великим розподільчим центром) і децентралізована структура (з декількома дрібними розподільчими центрами).

Таким чином, під час визначення найбільш вигідної кількості розподільчих складських центрів виникає оптимізаційна задача: якщо збільшити кількість розподільчих складів у товаропровідній мережі, витрати на транспорт та оформлення замовлень знижуються, витрати на утримання складських запасів зростають, а загальні витрати досягають мінімуму за деякої кількості розподільчих складів. Однією з важливих і непростих задач під час проектування розподільчих систем є вибір варіанта розміщення розподільчих центрів. Задачу розміщення розподільчих центрів можна сформулювати як пошук оптимального рішення або ж як пошук суб-оптимального (близького до оптимального) рішення.

Різновид форм власності складу на підприємствах великий та власники можуть самі обирати собі форму власності придбати чи арендувати державний склад.

Мережа, через яку здійснюється розподіл матеріального потоку, є значимим елементом логістичної системи. Побудова мережі розподільчих центрів суттєво впливає на витрати, які виникають у процесі доведення товарів до споживачів, а через них і на кінцеву вартість реалізованого продукту.

### **Список використаних джерел**

1. Дудар Т. Г., Волошин Р. В. Основи логістики: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2012. 176 с.
2. Логістика та управління ланцюгами поставок: навч. посіб. / Є. Крикавський, О. Похильченко, М. Фертч; Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2017. — 801 с.
3. Логістика: підручник для ВНЗ / Л.В. Балабанова; А.М. Германчук; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського; Ін-т екон. і управління. – Львів: Магнолія 2006, 2017. – 368 с. – (Вища освіта в Україні).
4. Логістичний менеджмент: практикум / О. Є. Шандрівська, В. В. Кузяк, Н. І. Хтей; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка"; за наук. ред. Є. В. Крикавського. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 192 с.: іл. – ISBN 978-617-607-676-6.

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВАРОПОСТАЧАННЯ РОЗДРІБНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ, Україна

Організація товаропостачання торговельного підприємства пов'язана з визначенням оптимально збалансованого асортименту товарів, що користуються стійким попитом, досягненням ритмічного товарообігу і формуванням умов для забезпечення ефективних процесів роздрібною торгівлі в цілому.

Підприємства роздрібною торгівлі повинні постійно оптимізувати організацію товаропостачання, враховуючи проблему відповідності пропозиції товарів і попиту на них з боку населення. Отже, кінцевою метою роздрібних підприємств є отримання максимального поточного прибутку, максимальне надходження готівки і максимальне відшкодування витрат на закупівлю і зберігання товарів. Забезпечення оптимальної організації товаропостачання і досягнення в результаті цього зростання роздрібного товарообігу виступає найбільш сприятливою ситуацією для керівництва підприємства, так як в цьому випадку отримання економічного прибутку відбувається в умовах мінімальних збитків. Товаропостачання підприємств роздрібною торгівлі є частиною товарообігу, який являє собою комплексний процес обігу товарів, в результаті якого вони переходять від виробника до безпосереднього покупцеві.

Товаропостачання підприємств включає в себе систему комерційних і внутрішньо-технологічних операцій по доведенню товарів до підприємств роздрібною торгівлі.

При цьому пропонується розмежування за ознаками. До комерційних операцій товаропостачання згідно даного підходу відносяться закупівля і доставка товарів, а до внутрішньо-технологічних операцій - приймання, зберігання і підготовка товарів до продажу. Слід зазначити, що подібний підхід обумовлений взаємозв'язком організаційно-економічних і комерційних операцій, що здійснюються в процесі товаропостачання. Звідси випливає, що товарне постачання - це система заходів щодо доведення товарів від виробника до місць продажу чи споживання. Пропонується використовувати таке визначення: Товаропостачання - це комплекс робіт і взаємопов'язаних операцій із забезпечення безперебійної роботи підприємства шляхом підтримки необхідного рівня товарних запасів за рахунок раціонально організованих закупівель, поставок, приймання та зберігання товарів, включаючи їх подальшу підготовку до продажу.

Організація товаропостачання в роздрібних торгових підприємствах спрямована на вирішення наступних завдань [2]:

- забезпечення збалансованого руху товарів відповідно до поточного попиту;
- застосування найбільш доцільних форм закупівель і поставок товарних запасів для їх подальшого продажу кінцевим споживачам;
- підтримання безперервного товарообігу;
- раціоналізація обсягів товарних запасів;
- своєчасне виконання операцій з приймання товарів і їх підготовки до продажу.

Рішення даних завдань передбачає виконання таких вимог до організації товаропостачання:

- 1) процес товаропостачання роздрібного підприємства повинен визначатися з урахуванням асортименту товарів, що реалізуються, а також територіального розташування постачальників;



2) поставки товарів повинні бути збалансовані, а також відповідати рівню попиту і асортиментному переліку роздрібною організації;

3) кількість завезених товарів і формованих товарних запасів має відповідати характеру торговельної діяльності роздрібного підприємства, обсягами товарообігу, розмірами торгових площ і наявного в його розпорядженні торговельного обладнання;

4) кількість товарів в рамках однієї поставки має визначатися виходячи з оптимального рівня товарних запасів, обсягу реалізації і періодичності поставок.

Значення товаропостачання роздрібних торгових підприємств проявляється в тому, що його раціональна організація дозволяє підтримувати повноту і стійкість асортименту товарів, необхідний рівень товарних запасів, задовольняти попит населення і сприятиме зростанню товарообігу, підвищуючи тим самим фінансові результати економічної діяльності роздрібних підприємств.

Відповідно до цього організація товаропостачання передбачає дотримання ряду базових принципів: плановірність, ритмічність, оперативність, економічність, централізація, технологічність.

Принцип плановірності проявляється в здійсненні поставок товарів в роздрібні підприємства відповідно до планових графіків або надходять заявками відповідно до товарної спеціалізації підприємства.

З цього випливає і принцип ритмічності поставок, який передбачає, що вони повинні здійснюватися через відносно однакові проміжки часу. У сукупності принципи плановірності і ритмічності сприяють прискоренню оборотності товарних запасів і збільшення товарообігу роздрібних підприємств, створення умов для їх безперебійної роботи і виключають утворення товарних надлишків.

Принцип оперативності зводиться до того, що поставки товарів слід нарощувати або скорочувати залежно від змін попиту на дані товари, включаючи сезонні коливання.

Принцип економічності полягає в організації операцій в рамках процесу товаропостачання таким чином, щоб не допускати надмірних витрат робочого часу, матеріальних ресурсів і грошових коштів. Даний принцип передбачає ефективне використання транспортних засобів, механізацію розвантажувальних робіт, чітке документальне оформлення приймання товарів і їх подальшу підготовку до продажу.

Принцип централізації передбачає, що організація товаропостачання повинна здійснюватися без відволікання торгового персоналу роздрібного підприємства від безпосереднього обслуговування покупців.

Відповідно до принципу технологічності, товаропостачання має здійснюватися із застосуванням прогресивних технічних і технологічних рішень, засобів і можливостей для досягнення максимальної ефективності внутрішніх процесів в роздрібному торговельному підприємстві.

Раціональна організація товаропостачання сприяє ефективному функціонуванню роздрібного торгового підприємства, підвищуючи обсяги його товарообігу, а також задоволення потреб населення, надаючи їм можливість придбати цікаві для них товари. Разом з тим, організація товаропостачання роздрібних підприємств в даний час обумовлюється поруч фактором.

Безпосередньо на організацію товаропостачання роздрібних торгових підприємств впливають чотири групи чинників [1]:

1. Виробничі:

- місце розташування виробників реалізованого асортименту;
- спеціалізація роздрібного торгового підприємства на певних товарах;
- сезонний характер виробництва та інші;

2. Транспортні:

- види використовуваного транспорту для забезпечення поставок товарів;
- стан транспортних шляхів сполучення між постачальниками товарів і роздрібним підприємством;

### 3. Соціальні:

- щільність населення в місці розташування підприємства;
- рівень доходів цільової групи споживачів;

### 4. Торгові:

- розміри, товарна спеціалізація і розташування інших підприємств торгівлі;
- ступінь складності асортименту товарів і інші властивості підприємств-конкурентів.

З огляду на вплив даних факторів, роздрібні торгові підприємства повинні встановлювати довгострокові господарські зв'язки з постачальниками товарів, що становлять асортимент роздрібною організації. В рамках цього, здійснюється оформлення замовлень на нові поставки товарів у міру необхідності, так як товаропостачання має бути організовано в повній відповідності з темпами продажів товарів і рухом товарних запасів в роздрібних торгових підприємствах.

Результатом організації товаропостачання має бути дотримання запланованих обсягів товарообігу, підтримання товарообороту так, щоб на підприємстві не було надлишків товарних запасів.

При оцінці рівня організації товаропостачання роздрібною підприємства використовують наступні показники:

- 1) швидкість виконання заявки постачальником, починаючи від моменту відправки заявки до фактичного отримання товарів;
- 2) можливість екстрених поставок за спеціальними замовленнями;
- 3) можливості повернення неякісних товарів, товарів з дефектами, зіпсованих товарів і т.п., а також швидкість такого повернення;
- 4) можливість комплектування заявок різного номенклатурного і кількісного переліку;
- 5) передпродажний і післяпродажний сервіс;
- 6) рівень товарних запасів постачальника;
- 7) рівень цін.

Таким чином, можна зробити висновок, що на організацію товаропостачання роздрібною торговельною підприємства впливає ряд факторів, які торгова організація повинна враховувати при здійсненні закупівель товарів для їх подальшого продажу в роздріб. При цьому результуючими показниками, що визначають періодичність поставок і кількісно-асортиментний перелік товарів, що поставляються, виступає середньоденний обсяг реалізації і рівень необхідних запасів для підтримання безперебійної торгівлі.

Організація товаропостачання роздрібних торгових підприємств, представляючи собою взаємопов'язаний комплекс операцій по підтримці необхідного рівня товарних запасів за рахунок раціонально організованих закупівель, поставок, приймання та зберігання товарів, включаючи їх подальшу підготовку до продажу, спрямована на досягнення збалансованого руху товарів. Раціоналізація і формалізація товаропостачання здійснюється в рамках укладення договорів з постачальниками з метою підтримки довгострокових господарських зв'язків. Такі договори є підставою для формування заявок на поставку продукції, відповідно до яких здійснюються поставки товарів в роздрібною торговельне підприємства.

### Список використаних джерел

1. Кононенко, А. В. Логістика: навч. посіб. до виконання практ. робіт / А. В. Кононенко, Ю. О. Романенков, В. П. Гатило. – Харків: Нац. аерокосм. ун - т ім. М. С. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 56 с.
2. Логістика та управління ланцюгами поставок: навч. посіб. / Є. Крикавський, О. Похильченко, М. Фертч; Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2017. — 801 с.

## **ЛОГІСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СКЛАДУВАННЯ**

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ, Україна

Необхідною передумовою успішного зберігання товарів є розробка певної системи їх розміщування за сортами, розмірами, місцями укладання з урахуванням частоти потреби в них, оборотності товарних запасів, забезпечення рівномірності та потоковості їх переміщування. Чіткий порядок розміщування товарів дає можливість швидко знаходити необхідні товари при відпусканні їх оптовим покупцям або вільне місце для розміщування нової партії товарів. Він полегшує облік, сприяє впровадженню автоматизації управління складським процесом, полегшенню складської вантажопереробки.

Логістичний підхід при розробці системи розміщування товарів передбачає розрахунок необхідної площі для зберігання окремих груп товарів з урахуванням обсягів та порядку надходження товарів на склад і їх реалізації, визначення дільниць для зберігання окремих груп товарів за умови забезпечення правильного товарного сусідства і можливості постійного нагляду за їх збереженням, закріплення постійних місць зберігання (секцій, дільниць, стелажів, полиць, комірок) за товарами певних груп, підгруп і різновидів (найменувань). При цьому проводять групування товарів за асортиментною ознакою та однорідністю режимів зберігання, визначають перелік товарів, які потребують спеціальних приміщень з урахуванням специфічних властивостей товару (вологість, здатність сприймати сторонні запахи, товарне сусідство, черговість відпускання).

Першим етапом під час розробки системи розміщування товарів є групування товарів за асортиментною ознакою та однорідністю режимів зберігання. Це передбачає розподіл усієї товарної маси за фізико-хімічними та біологічними властивостями товарів, характером впливу на них навколишнього середовища, за приміщеннями різних видів (неопалюваних, утеплених, опалюваних, охолоджуваних, підвальних, спеціальних).

При розміщуванні товарів у визначеному в такий спосіб складському приміщенні необхідно дотримуватись таких вимог:

- максимально використовувати площу та місткість складу, вантажонесучу спроможність обладнання для зберігання товарів;
- найбільш раціонально розташовувати і використовувати обладнання для зберігання з метою зручності переукладання, оновлення і перевірки товарів, що зберігаються;
- використовувати малогабаритні та високопродуктивні механізми мінімальної кількості видів і типів для всього комплексу навантажувально-розвантажувальних і транспортно-складських робіт на одному складі [1].

Важливими факторами, які потрібно враховувати під час розробки системи розміщування товарів на складі, є мінімізація вантажопотоків, зокрема тонно-метражу внутрішньоскладського переміщування товарів, а також урахування термінів зберігання товарів. Це досягається завдяки більш близькому розташуванню до пунктів завантажування чи розвантажування важких і громіздких товарів, а також товарів з високою оборотністю. З цією самою метою товари з великими обсягами надходження і реалізації розташовують, як правило, поблизу виходу і зони комплектування замовлень, і, навпаки, товари, які довго зберігаються на складі чи відносно рідко надходять на склад, розташовують далі від входів та виходів.

Закріплення постійних місць зберігання за товарами окремих видів, груп, підгруп дає можливість забезпечити порядок у розташуванні товарів на складі, забезпечити взаємозв'язок між розташуванням товарів на місцях зберігання і послідовністю розташування позицій цих самих товарів у відбірних листках і рахунках-фактурах, автоматизувати складські операції.

З метою прискорення робіт з розміщування товарів при надходженні і відборі їх при комплектуванні та відпусканні місця зберігання товарів на складах кодуються (індексуються), і для більшої наочності прийняті рішення оформляються у вигляді схем розміщування товарів (на великих висотних складах — планів-карт). Схема розміщування товарів з зазначенням їх виду вивішується на складі у зоні приймання (рис. 1).

Схема розміщування товарів — це план складу, на котрому нанесені цифрові або літерно-цифрові позначення місць зберігання, відведених для кожної групи товарів. Кожному місцю зберігання присвоюється індекс або код, який означає номер стелажа чи штабеля, номер секції, номер яруса, комірки тощо. Номери стелажів, секцій, ярусів наносяться на конструкціях стелажів яскравою фарбою. Для штабелів білою фарбою, що не змивається, на підлозі складу розкреслюють сітку гнізд розмірами, як правило, 5 м x 3,5 м (що дозволяє розмістити вміст одного повного двоосного вагона при висоті укладання в штабелі 2 м.). Клітки для штабелів нумеруються, на кожен штабель виготовляється бірка (на якій надалі вказують дату надходження вантажу, масу, кількість місць, найменування товарів).

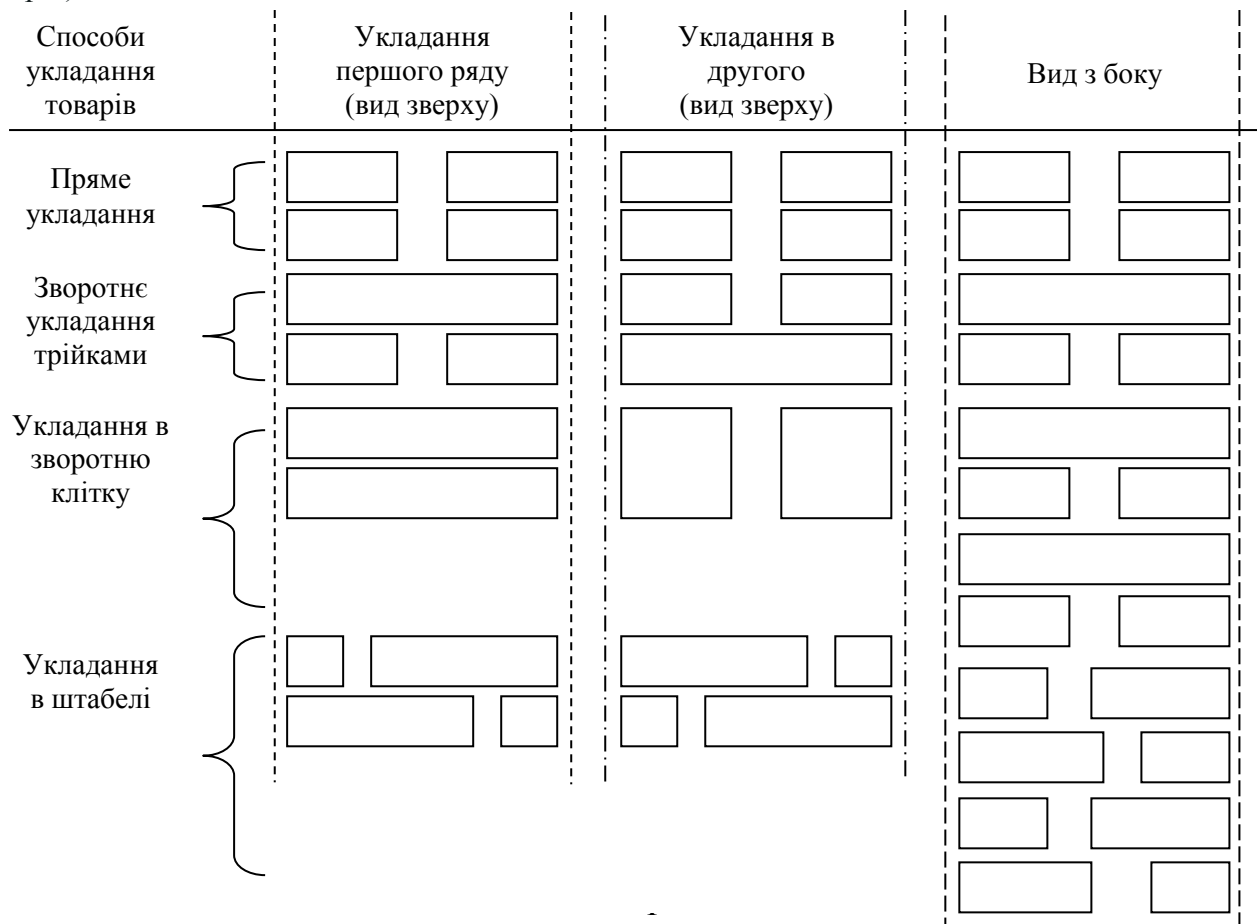


Рисунок 1 – Схема розміщення товарів на складі

Схеми розташування стелажів та штабелів з зазначенням індексів (кодів) вивішуються на складах і в залі товарних зразків. Індеси, проставлені на місцях зберігання, присвоюють розташованим на цих місцях товарам (матеріалам) і вказують у карточках кількісного складського обліку. Завдяки цьому індексація місць зберігання значно полегшує також і роботу з відбору товарів [2].

План-карти — це більш масштабні документи, які доцільно застосовувати при розміщуванні товарів у високих стелажах з великою кількістю комірок.

При виокремленні спеціалізованих дільниць зберігання товарів у разі зменшення обсягів товарних запасів по окремих товарних групах місткість складських приміщень та їх площа можуть використовуватись нераціонально. Тому рекомендується передбачати можливості вільного вибору місць зберігання товарів, що дозволяє більш ефективно маневрувати складською площею.

Товари, які надходять на склади, можуть розміщуватись у встановлених місцях для зберігання на основі застосування номенклатурного, комплектного, партійного, сортового та інших способів розміщування товарів у складських приміщеннях.

Зокрема, для забезпечення раціонального використання складської площі товари, які потребують приблизно однакового режиму зберігання, можуть розміщуватись на відносно великих масивах складської площі без надання відокремлених секцій. На це також спрямоване виділення резервних зон зберігання товарів, а також розміщування товарів на тимчасово вільних місцях зберігання (необхідною умовою для цього є використання комп'ютерів). При останньому варіанті в ЕОМ вносять інформацію про надходження товару, а комп'ютер видруковує етикетку, на якій указуються тривимірні координати вибраного місця зберігання. Після цього товар направляється на зберігання (надалі при отриманні замовлення на товар запит надсилається в ЕОМ, яка протягом кількох секунд видає інформацію з зазначенням координат місця зберігання даного товару).

Номенклатурний (або сортовий) спосіб розміщування товарів найбільш часто застосовується під час зберігання товарів зі складним асортиментом і невеликими обсягами зберігання, а також продукції виробничо-технічного призначення з великою кількістю асортиментних ознак.

Номенклатурний спосіб розміщування товарів передбачає, що кожному окремому найменуванню товару за преїскурантом (з врахуванням виду, назви, розміру, марки, сорту або номенклатурного номера матеріалу за літерним чи цифровим класифікатором матеріальних ресурсів) відводиться певне місце зберігання — стелаж, полиця, комірка, штабель тощо. При цьому найбільш ходові товари (матеріали) розміщуються ближче до експедиції з відправлення. Для кращої орієнтації в місцях зберігання товарів кожне місце зберігання забезпечується спеціальним паспортом (ярликом), в котрому вказують найменування, артикул, сорт (марку, розмір) товару і проставляють його преїскурантний (номенклатурний) номер (індекс).

Комплектний спосіб розміщування передбачає спільне зберігання різних за видами та асортиментом товарів (виробів), які становлять комплект вантажів, котрі одночасно споживаються або відпускаються в комплектному вигляді оптовим покупцем. Даний спосіб застосовується, наприклад, під час зберігання санітарно-технічних виробів на складах баз господарських та будівельних матеріалів, а також під час організації зберігання комплектів продукції виробничо-технічного призначення.

Для більшості товарів народного споживання на складах застосовується переважно партійний спосіб розміщування товарів, при якому кожна окрема партія товарів, що надійшли на склад, зберігається відокремлено, самостійними партіями і не поповнюється до кінця реалізації цих товарів. При цьому в склад однієї партії товарів можуть входити товари різних видів і найменувань. Партійно-сортний спосіб розміщування товарів передбачає відокремлене зберігання кожної окремої партії товарів, при якому в межах даної партії товари розбираються за видами та сортами і також розміщуються відокремлено між собою. При сортовому способі розміщування товарів відокремлено розташовуються товари різних сортів у межах окремого виду.

Нині на складах оптових баз під час розміщення товарів застосовують дані способи як у «чистому вигляді», так і комбінуючи їх елементи відповідно до особливостей тих чи інших груп товарів (за принципом однорідності, за розмірами і масою, за специфічністю товарів або

за рівнем небезпеки). Вибраний спосіб розміщування товарів має забезпечувати ефективне використання складських потужностей.

Для підвищення ефективності використання складських приміщень застосовують виділення на складах дільниць короткострокового зберігання товарів і дільниць тривалого зберігання товарів. При цьому на дільницях короткострокового зберігання розташовують товари з високим рівнем оборотності, а на дільницях тривалого зберігання — товари з невисоким рівнем попиту, а також страхові запаси товарів високого рівня попиту.

Показниками раціонального розміщення товарів на складах є коефіцієнти використання площі та об'єму (місткості) складу [2].

Отже, логістичний підхід має важливе значення в управлінні організацією складських процесів щодо розміщення та зберігання матеріальних ресурсів. При розміщенні матеріалів враховують їх розміри, сорти, місця зберігання, рівномірність оборотності кожного виду матеріалу, забезпечення поточного переміщення. Чіткий порядок розміщення дає можливість швидко знаходити необхідні матеріали при відпуску їх споживачам або вільне місце для розміщення знову отриманих партій. Він покращує їх облік, сприяє втіленню автоматизації управління складським процесом, спрощує складську переробку вантажів.

### **Список використаних джерел**

1. Марченко В.М. Логістика: Підручник/ В.М. Марченко, В.В. Шутюк. – К.: Видавничий дім «Артект», 2018. – 312 с.
2. Тюріна Н.М. Логістика: навчальний посібник. / Н. М.Тюріна, І. В. Гой, І. В. Бабій. - Київ: Центр учбової літератури, 2020. – 392с.
3. <http://bukvar.su/marketing/136780-Sklady-v-logistike-ponyatie-klassifikaciya-osnovnye-funkcii.html>
4. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35487/1/Musatov\\_bakalavr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35487/1/Musatov_bakalavr.pdf)

**Пуховський Є.С.**, д.т.н., професор  
puhovskije50@gmail.com  
**Фролов В.К.**, к.т.н., доцент  
v.k.frolov@gmail.com

## **ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Національний технічний університет України (КПІ) ім. Ігоря Сікорського

Створення і впровадження гнучких виробничих систем (ГВС), як принципово нових технологічних і організаційних структур, має ґрунтуватись на техніко-економічному аналізі їх застосування у порівнянні з іншими формами виробничих систем отримання таких самих кінцевих результатів [1,2,3]. Перехід до використання нової техніки і технології супроводжується помітним впливом на економічні і соціальні аспекти діяльності людини. Іноді виникнення нових технологічних і організаційно-технічних рішень полягає не тільки в корисних ефектах, але й спричиняє деякі негативні наслідки, що знижують загальну значущість нововведення. Для гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ) характерним є високий рівень початкових капітальних вкладень. Цілком ясно, що від таких капіталовкладень вимагається відповідна віддача. Високий рівень первинних капітальних затрат робить процес впровадження ГВС дуже болючим, через те що від підприємств вимагається безперервне щорічне зростання показників економічної ефективності. Основним елементом капітальних вкладень є витрати на придбання обладнання [4,5,10]. Вартість програмно-керованого обладнання засобів обчислювальної техніки і математичного забезпечення на даному етапі розвитку дуже висока, що створює додаткові труднощі в процесі впровадження ГВС. Тому аналіз економічної ефективності ГАВ є однією з центральних актуальних проблем, які вирішуються в процесі створення гнучкого виробництва [2,7,8]. Метою роботи є визначення реальних джерел підвищення ефективності впровадження новітньої технології гнучкого автоматизованого машинобудівного виробництва.

Показники економічної ефективності ГВС поділяються на три групи, що характеризують технологічність конструкції виробів, зміни виробничих умов і спеціального середовища об'єкта ГАВ. До першої групи належать коефіцієнти стандартифікації, уніфікації і конструктивної наступності; коефіцієнти складності і точності обробки; питома матеріаломісткість; рівень технологічності за трудомісткістю виготовлення; коефіцієнт застосування уніфікованих ТП та ін. У другій групі оцінюються такі показники: річні обсяги випуску деталей; коефіцієнти закріплення операцій і робочих місць; ступінь повторення виробництва деталей; тип виробництва. Третя група визначає показники соціальної ефективності і непрямі ефекти у грошовому вираженні. До них належать підвищення рівня автоматизації і механізації праці; зростання енергоозброєності праці, підвищення інтелектуального рівня праці, зміна професійного складу кадрів, зменшення плинності кадрів, зниження рівня захворюваності і травматизму робочих, підвищення комфортабельності і естетичності засобів у виробничих і побутових приміщеннях тощо. Непрямі ефекти, подані у грошовому вираженні, пов'язані з умовним вивільненням різних категорій працівників, ліквідацією втрат через плинність кадрів, скороченням доплат та інших виплат у зв'язку з покращенням умов праці робітників, зі зниженням затрат на підготовку кадрів, скороченням виплат через тимчасову непрацездатність працівників. Узагальнюючі показники регламентують трудомісткість продукції і продуктивність праці, кількість умовно вивільнених робочих, розмір капітальних вкладень, зниження матеріальних затрат, собівартість продукції, оптову ціну і розмір прибутку. Результуючі показники враховують підвищення продуктивності праці, зниження собівартості продукції, суму додаткових капітальних вкладень чи абсолютне їх зниження, приведені затрати, коефіцієнт порівняльної ефективності і термін окупності додаткових капітальних вкладень [1,5,6].

Аналіз замінюваного виробництва пов'язаний з визначенням показників собівартості продукції, ступеня використання технологічного обладнання, якості продукції, затрат ручної праці, продуктивності обладнання, рівня запасів матеріалів сировини і та ін. Аналіз показників ГВС, що впроваджується, передбачає облік декількох категорій джерел ефективності: пряма економія, що має кількісний характер; непряма економія, що поєднує кількісні і якісні оцінки; фактори економії, що мають якісний характер. Показники прямої економії пов'язані переважно з результатами автоматизації виробництва, що супроводжується заміною звичайного обладнання автоматично діючим. Джерелами ефективності при цьому є підвищення продуктивності обладнання, збільшення змінності його роботи і коефіцієнтів завантаження. Автоматично програмно-кероване обладнання дає змогу зменшити кількість обслуговуючого персоналу і здійснити перехід до безоperatorної роботи. Багатофункціональність обладнання зменшує його загальну кількість і займану площу. Основними статтями економії стануть менші витрати на пряму оплату праці; на забезпечення виробництва енергією, паливом і обслуговуванням; на рух матеріалів, сировини, обробку відходів; на амортизацію приміщень і обладнання. Впровадження принципів гнучкого виробництва призводить до зміни організаційної структури підприємства, пов'язаної з технологічною підготовкою виробництва, обробкою інформації, керуванням і обслуговуванням. Тому важливого значення набувають непрямі джерела економічної ефективності. Головні статті непрямой економії: прискорення виробничого циклу зі зменшенням міжопераційних і транспортних запізнь; зниження рівня незавершеного виробництва у зв'язку зі збільшенням продуктивності і прискоренням виробничого циклу; зниження рівня складських запасів і затрат на їх зберігання; зменшення затрат на оплату праці у сфері ремонту, обслуговування і експлуатації меншого парку верстатів; підвищення ефективності обробки інформації, проектування, планування, організаційного керування всіх видів праці; зниження затрат на реконструкцію виробництва [1,3,5,8,9].

Найбільш складно піддаються обліку та ідентифікації джерела ефективності, що мають головним чином соціальне і народногосподарське значення. Економія від цих джерел з'являється в результаті поліпшення якості продукції і підвищення її конкурентоспроможності; підвищення мобільності виробництва, що проявляється у швидкій реакції виробництва на вимоги моди, кон'юнктури і ринку; поліпшення умов праці, пов'язаної з використанням автоматизованої техніки; оздоровлення міжгалузевих відносин і зв'язків, що виражається в налагодженні дисципліни взаємних поставок сировини, матеріалів і готових виробів; зниження затрат у соціальній сфері в міру заглиблення автоматизації виробництва і зменшення чисельності робітників. В умовах інтенсифікації виробництва і переходу до впровадження ГВС значною мірою підходять затверджені методики розрахунку економічної ефективності, які необхідно постійно поновлювати, додаючи нові критерії і коригуючи їх взаємозв'язки [1,2,8]. При цьому з'являються зовсім нові оцінки ефективності, наприклад, такі, як оцінка ризику і чутливості економічних рішень. Цей показник необхідний для виявлення сильнодіючих факторів, здатних посилювати чи послаблювати очікувані ефекти від крупних капіталовкладень у виробництво. Аналіз ризику і чутливості стає необхідною ланкою у визначенні і ретельній перевірці головних факторів, які впливають на ефективність капіталовкладень у нові форми автоматизації виробництва. Зараз поступово накопичується досвід оцінки економічної ефективності від впровадження ГВС різного ієрархічного рівня [1,4,10].

Основні завдання розвитку сучасного верстатобудування передбачають заміну верстатного парку металообробних підприємств на основі впровадження окремих верстатів з ЧПК і ГВС. У разі заміни окремих верстатів з ЧПК гнучкими системами визначальним фактором економії стає зростання машинного часу обладнання. Оцінюючи економічну ефективність ГВС, слід враховувати співставлення ефективності роботи взаємопов'язаного обладнання з окремо працюючим верстатом з ЧПК. Підвищення продуктивності особливо спостерігається у процесі обробки деталей, що потребують великих затрат на переналагодження обладнання і вкладення оборотних коштів, пов'язаних із незавершеним



виробництвом. Втрати часу на переналагоджування верстата з ЧПК залежать від трудомісткості виготовлення деталі, причому якщо обробка здійснюється малими партіями, то втрати часу на переналагоджування автономних верстатів з ЧПК, що припадають на одну деталь, збільшуються, а в процесі обробки великими партіями - зменшуються. У свою чергу, збільшення партії призводить до збільшення незавершеного виробництва, зростання оборотних коштів.

Особливого значення набувають затрати часу на підготовчо-заклучні роботи; організаційне і технічне обслуговування високопродуктивного обладнання, питома вага яких уже зараз складає 8-30% штучного часу виготовлення деталі. Тому необхідною умовою ефективності використання високопродуктивного обладнання є його концентрація в автоматизовані подетально спеціалізовані ділянки з груповою організацією в них технологічних процесів і досконалою системою підготовки виробництва і обслуговування робочих місць, що дає змогу створювати поточне виробництво і спеціалізовані робочі місця так, щоб вони завжди були готові прийняти для обробки будь-які деталі даної виробничо-технологічної групи.

Застосування у складі ГВС найбільш сучасних оброблюючих центрів дає змогу у 2-3 рази підвищити продуктивність праці і в 2-5 разів - добову віддачу верстатів при обов'язковому скороченні кількості обслуговуючого персоналу. Розраховуючи економічну ефективність ГВС, необхідно використовувати існуючі методики, застосовувані в сучасних розробках ГВС. Це досягається в основному завдяки меншим затратам часу на обслуговування робочого місця, підготовчо-заклучні операції, відновлення працездатності обладнання і організацію роботи результатів автоматизації транспортно-перевантажувальних операцій, організованого зберігання і оперативного забезпечення робочих місць деталями, які необхідно обробити, інструментом, оснащенням, оптимального планування завантаження верстатів і організації виробництва за допомогою ЕОМ.

Таким чином, в роботі показані тенденції впровадження сучасних верстатних систем – ГВС, досліджені джерела підвищення ефективності роботи гнучкого виробництва, вказані прямі та похідні шляхи поліпшення ефективності виробництва, окреслені джерела ефективності, що мають соціальне та народногосподарське значення.

### **Список використаних джерел**

1. Васильев В.И. Организация, управление и экономика гибкого автоматизированного производства в машиностроении. М., Машиностроение, 1986. 312 с.
2. Гибкие производственные системы Японии. (Перевод с япон). А.Л.Семенова. Под ред. Л. Ю. Лищинского. М., Машиностроение 1987. 232 с.
3. Лищинский Л.Ю. Техничко-экономический анализ и методы выбора рациональных структур гибких производственных систем. – М., ВНИИТЭМР, 1985. – 64 с.
4. Организация, планирование и управление промышленным предприятием. Под. ред. Д.М. Крюка.- М. Экономика . 2002. 307 с.
5. Петров В.А., Масленников А.Н. Планирование гибких производственных систем.- Л., Машиностроение, 1985.- 184 с.
6. Пуховский Е.С. Технологические основы гибкого автоматизированного производства. – К., Выща школа., 1989. – 238 с.
7. Пуховський Є.С., Малафеев Ю.М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. К., НТУУ (КПІ), 2017. 286 с.
8. Matta A., Semerato Q., Design of advanced manufacturing systems. Springer, The Netherlands. 2005.
9. Rezaie K., Ostadi B., A mathematical model for optimal and phase implementation of flexible manufacturing systems./ Applied Mathematics and Computation . 2007. 184(2), pp. 729-736.
10. Shivanaud H., Bendal M., Koti V., Flexible manufacturing systems. Bangalore. New Age International Publishers. 2006.

## **ЛОГІСТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИМ ПОСТАЧАННЯМ**

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ, Україна

Підсистема постачання організує вхід матеріального потоку в логістичну систему. Логістика на цьому етапі називається закупівельною, однак у літературі часто можна зустріти й інші назви – заготівельна логістика або логістика постачання [1].

Логістика постачання - функціональна галузь логістики, що здійснює управління вхідними матеріальними потоками та пов'язаним з ними іншими логістичними потоками з метою забезпечення виробництва необхідними ресурсами.

Метою логістики постачання є адекватне і повне задоволення потреб виробництва в матеріалах з максимально можливою економічною ефективністю.

Процес управління матеріальними потоками в логістиці постачання складається з двох основних частин [1]:

- управління диспозицією матеріально-технічних ресурсів, тобто управління запасами;
- регулярний аналіз, вибір і організація постачань матеріально-технічних ресурсів на підприємство, тобто управління постачанням.

Основними критеріями розробки логістичної політики здійснення постачання і формування загальної системи постачальної логістики є:

- оптимальна періодичність (час) постачань;
- оптимальна структура матеріальних потоків;
- мінімальні сукупні логістичні витрати на постачання.

В основі визначення партії постачання в логістиці постачання використовують показник оптимального (економічного) розміру замовлення. Цей показник виражає потужність матеріального потоку, спрямованого постачальником за замовленням споживача і, який забезпечує для останнього мінімальне значення суми двох логістичних складових: транспортно-заготівельних витрат і витрат на формування та збереження запасів.

Розрахунок потреби у закупівлі здійснюється у зворотному до виробничого процесу напрямку, тобто від кінцевої продукції до вихідних-сировини, матеріалів, напівфабрикатів. Якщо на вхід виробничого процесу подаються вихідні матеріали або інші продукти, які протягом процесу переробляються і на виході перетворюються в готову продукцію, то потік інформації та потреби виступає проти потоком щодо матеріальних потоків: від збуту готової продукції до постачання матеріалів та інших придбаних товарів виробничого споживання.

Постачання здійснює прямий вплив на якість продукції, а також на формування асортименту, оскільки є безпосереднім джерелом інформації про ринок конкуруючих матеріалів і можливості постачальників.

Логістичні системи постачання добре пристосовані для задоволення частих і невеликих коливань попиту за номенклатурою, властивих ринковій економіці, тому що в них практично відсутні запаси. Необхідними умовами функціонування цих систем є зв'язок з надійними постачальниками й споживачами, суворе дотримання строків поставки.

Задача логістики полягає в комплексному управлінні наскрізним матеріальним потоком, формування логістичної системи підприємства доцільно починати зі сфери постачання, оскільки саме вона організовує вхід матеріального потоку до логістичної системи (Табл.1).

Таблиця 1 – Підсистеми організації логістичного управління на підприємстві

Види підсистем	Зміст завдань
Підсистема постачання	Спрямована на удосконалення ефективності роботи шляхом вибору компетентних постачальників, оптимізації процесу закупівлі, розробки процесу управління закупівлями, використання стандартних робочих методик, дослідження ринку закупівлі, формування стратегії та тактики закупівлі
Складська підсистема	Передбачає удосконалення процесів складування за допомогою впровадження складських технологій, підвищення якості складських послуг, їхньої стандартизації та раціонального розміщення
Транспортна підсистема	Забезпечує розробку раціональних схем поставок, маршрутизацію перевезень, оптимальне завантаження транспорту, забезпечення єдності процесу транспортування з виробничим та складським процесами, забезпечення обліку на транспорті
Виробнича підсистема	Здійснює впровадження методів управління запасами, планування виробництва, забезпечення виробництва, облік матеріального потоку, дотримання виробничого циклу, підвищення якості продукції
Збутова підсистема	Спрямована на системне дослідження ринку, підвищення швидкості оформлення та обробки замовлень, підвищення рівня логістичного сервісу, зменшення кількості рекламцій, штрафів тощо

Адміністративний апарат підприємств використовує консультативні ради для діагностування стану логістики постачання на підприємстві, проводять дослідження, розробляють пропозиції щодо вдосконалення, вивчають досвід інших фірм.

Основними завданнями логістичних консультантів з постачання є:

- визначення стратегічних аспектів логістики, потреба в яких виникає, наприклад, у разі зміни стратегії діяльності підприємства, розробки нових ринкових концепцій та методів виробництва;
- розгляд оперативних аспектів логістики (наприклад, аналіз витрат на логістику, оптимізація існуючих систем управління, стандартизація пакувань тощо);
- оперативне планування, пов'язане, наприклад, із здійсненням принципу «точно в термін», нових автоматизованих систем складування і транспортування;
- планування перевезень (наприклад, оптимізація парку транспортних засобів, методів перевезення небезпечних вантажів з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища).

Завданнями логістичного менеджменту постачання є координація й порівняння вимог фінансового, операційного та іншого видів менеджменту в розрізі загальної логістичної стратегії фірми, пов'язаної з управлінням матеріальними потоками. Оптимізаційні рішення логістичного менеджменту традиційно включають [2]:

- 1) мінімізацію загальних витрат управління закупівлями й запасами;
- 2) оптимізацію доставки товару при використанні концепції just-in-time (JIT);
- 3) зменшення логістичних ризиків (від недотримання параметрів поставок).

Отже, на даний час увага промислового менеджменту зосереджена на проблемах логістики, оскільки в його середовищі вже з'явилося розуміння неефективності концентрації зусиль на підвищенні ефективності окремих процесів постачання.

### Список використаних джерел

1. Окландер М.А., Логістика: навч. посіб. - навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2018. – 346 с.
2. Світова економіка: Підручник / А. С. Філіпенко, О. І. Рогач, О. І. Шнирков та ін. - К, 2010.УДК 004.272.34.

**Федорович О.Є.**, д-р техн. наук, проф.  
oe.fedorovich@gmail.com  
**Лещенко Ю. О.**, канд. техн. наук, доц.  
j.leshhenko@khai.edu  
**Поліщук Є. В.**, асп.  
kafius@ukr.net  
**Пісклова Т. С.**,  
kafius@ukr.net

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЗБИТКІВ, ЯКІ ВИНΙΚАТЬ В ЛОГІСТИЦІ ПОСТАЧАННЯ ВНАСЛІДОК ЗАПІЗНЕНЬ В ДОСТАВЦІ ВАНТАЖІВ**

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

Глобалізація економіки привели до необхідності постачання в довгих логістичних ланцюгах доставки вантажів. Це призводить до різкого збільшення тривалості перевезень та можливому, з-за великої кількості ризиків, запізнень. Запізнення чуттєво відображуються у виробничому циклі високотехнологічних підприємств та викликає появу збитків (останов виробничої лінії, порушення строків виконання замовлень, економічний спад тощо). Особливо це чуттєво під час воєнних дій, тому що порушення строків постачання озброєння та військової техніки може призводити до збитків у вигляді загибелі особистого складу збройних сил, руйнування оборонних споруджень, знищенню військової техніки. Тому актуальна тема пропонованого доповіді, в якому наведені результати дослідження впливу запізнень в постачанні на величину збитків, які виникають у високотехнологічному виробництві.

Метою дослідження є моделювання можливого збитку, який виникає з-за довгих логістичних ланцюгів у різномірних транспортних системах постачання.

Побудована агентна імітаційна модель для дослідження динамічних процесів постачання у довгих логістичних ланцюгах, розроблено оригінальний алгоритм пошуку раціональних маршрутів, заснований на плануванні заявок при їх русі у графі, який представляє різномірну транспортну мережу [1]. Враховуючи можливі ризики, які впливають на час транспортування вантажів, вирішена задача оптимізації часу пересування у різномірній транспортній мережі. У випадку використання декількох критеріїв для оцінки постачання (вартість перевезень, ризики, запізнення) сформульована та вирішена задача пошуку компромісних рішень з використанням цілочисельного (булевого) програмування [2]. Для розрахунку впливу збитків з-за запізнень використані експертні оцінки та лінгвістичні змінні. У випадку наявності протиріччя у експертних оцінках, компромісне рішення формується за допомогою ітераційної моделі пошуку.

Запропонований підхід дозволяє, на початковому етапі планування постачання, в довгих логістичних ланцюгах, оцінити порушення строків доставки вантажів, вплив ризиків та можливі збитки у виробництві з-за запізнень в постачанні.

### **Список використаних джерел**

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

**Федорович О. Є.**, д-р техн. наук, проф.  
oe.fedorovich@gmail.com  
**Прончаков Ю. Л.**, канд. техн. наук, доц.  
pronchakov@gmail.com

## **МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИКИ ЕВАКУАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ У ВОЄННИЙ ЧАС**

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

З-за умов воєнного часу, для ряду промислових підприємств, пов'язаних з виробництвом спеціальної техніки, проводять роботу щодо евакуації основних промислових та технологічних об'єктів з зони бойових дій у відносно безпечні райони, для відновлення виробництва актуальної продукції. При цьому виникає складна задача логістичного характеру, вирішення якої необхідно здійснити за короткий період часу та з мінімальними ризиками [1].

Тому, актуальна тема пропонованого доповіді, у якому наведені результати дослідження щодо моделювання логістики евакуації промислових підприємств.

Рішення пропонованої задачі, з оглядом на її складність, здійснюється у декілька етапів [2].

На першому етапі, за допомогою експертних оцінок, в тому числі військових фахівців, визначаються найбільш важливі промислові об'єкти та технологічні агрегати, які необхідно евакуювати у заздалегідь запропоновані райони тилу.

На другому етапі вирішується задача транспортної логістики та формуються маршрути транспортування обладнання у відносно безпечні райони для наступного відродження виробництва. Для цього, розроблено оригінальний алгоритм маршрутизації, який реалізовано у вигляді агентної імітаційної моделі, що дозволяє визначити раціональні маршрути транспортування обладнання з мінімальними часом та ризиком у різномірній транспортній мережі.

На третьому етапі здійснюється розміщення та монтаж обладнання з урахуванням робіт, які необхідно провести для підготовки території. Ця задача вирішується з використанням цілочисельного (булевого) програмування. В якості основних критеріїв використані час та витрати на розміщення. Використано математичні методи: імітаційне моделювання, цілочисельна оптимізація, експертні методи оцінювання.

Запропонований підхід доцільно використовувати у плануванні робіт, пов'язаних з евакуацією промислового підприємства у відносно безпечний район для продовження випуску актуальної продукції, яка необхідна у воєнний час.

### **Список використаних джерел**

1. Федорович, О.Є. Метод формування логістичних транспортних взаємодій для нового портфелю замовлень розподіленого віртуального виробництва / О.Є. Федорович, Ю.Л. Прончаков // Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2020, № 2. – С. 102-108.

2. Федорович О. Е. Моделі та методи забезпечення якості в життєвому циклі та логістиці високотехнологічного виробництва продукції підприємств. що розвиваються: моногр. / О. Є. Федорович, Ю. Л. Прончаков, Ю. О. Лещенко. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2017. – 255 с.

## 5. ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ РОБОТІВ

УДК 629.7.05

Постельник Т.О., асистент  
t.postelnik@khai.edu  
Плужник А. С., бакалавр

### РОЗРОБКА ШИРОКОДІАПАЗОННОГО ЗАХОПЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ ДЕТАЛЯМИ ТИПА КОРПУС

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

Особливість розробки механічного захоплювального пристрою (ЗП) для деталей типу корпус полягає у поєднанні двох протилежних чинників: з одного боку надійності утримання а з іншого обмеження зусиль утримання. Останнє необхідно, щоб не завдати шкоди тонкостінним конструкціям, якими зазвичай є корпусні деталі. І все це треба робити плоскими робочими поверхнями, які нададуть максимальну площину контакту для зручного утримання деталей. Спроектований механізм відноситься до механічних широкодіапазонних ЗП шарнірно-важільного типу, призначених для маніпулювання деталями типу корпус (Рис. 1).

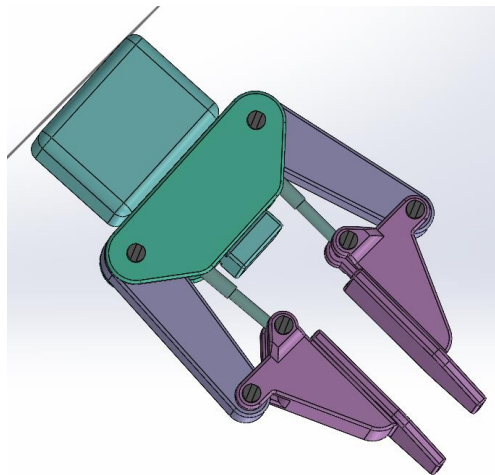


Рисунок 1 – 3D модель механічного захоплюючого пристрою для деталей типу «Корпус»

Дві пари поворотних губок закріплені на двох парах важелів, одні з яких привідні, а інші силові та направляючі. Зовнішні важелі кріпляться з одного боку до корпусу губок ЗП, а іншого – до корпусу пристрою та виконують функції основних силових елементів. Внутрішні важелі з одного боку з'єднані зі штоком пневматичного приводу, який жорстко закріплений на основі пристрою, а з іншого на пальцях ЗП. Розроблена конструкція дозволяє надійно затискати деталь завдяки силовим важелям, в той же час контролювати силу затиску за допомогою внутрішніх важелів. Самі робочі губки зроблені змінними, що значно розширює можливості використання ЗП.

#### Список використаних джерел

1. Конструювання устаткувань для автоматизованого виробництва. Захватні пристрої промислових роботів [Текст] : навч. посіб. / Ю. В. Широкий, Т. О. Постельник – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 88 с.

## 6. ТЕХНОЛОГІЯ АГРЕГАТОБУДУВАННЯ

УДК 629

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

### ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИКОРИСТАННЯ ПОРШНЕВИХ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРИБОРІВ

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

В роботі запропоновано методику визначення діапазону використання поршневих гідравлічних пристроїв при варіюванні в'язкості рідини та потрібного обсягу наповнювання робочої камери.

У основу запропонованого методу покладено використання комп'ютерного моделювання руху рідких середовищ за допомогою програмного забезпечення SolidFlow. Традиційно при аналітичних розрахунках гідравлічних конструкцій для в'язких рідин використовують рівняння Бернуллі та ті ж розрахункові складові, що й для нев'язких рідин [1]. Більшість робіт, пов'язана з моделюванням гідравлічних систем, розрахована або на значну довжину робочого об'єму [2], або на моделювання руху поршневих систем за умови забезпечення заданого руху робочих органів устаткування, що приводиться до руху за допомогою гідроциліндрів [3], [4].

За рахунок урахування витрати частини енергії рідини на подолання гідравлічних опорів (тобто тертя частинок одна об одну та об стінки) зазвичай результати розрахунку демонструють лінійне падіння напору по довжині робочої камери, що, як показали результати моделювання, не є коректним при використанні поршневих гідравлічних пристроїв у зв'язку з виявленням зони росту швидкості руху рідини у зоні її контакту з поршнем.

Дослідження проводилось шляхом моделювання руху рідин різної в'язкості у поршневому дозаторі, максимальний об'єм робочої камери якого складає три літри для перевірки можливості використання цього ж дозатора при дозуванні двох типів рідин різної в'язкості, а також об'єму продукції розміром один, два та три літри, що дозволило визначити можливий діапазон застосувань даного дозатора, тобто його універсальність.

Як показало дослідження, для нев'язких рідин (у дослідженні - динамічна в'язкість води при температурі 20 °С дорівнює  $10010 \cdot 10^{-6}$  Па·с) для одного літра конфігурація виявилася неефективною, оскільки зусилля з боку поршня виявилось недостатньо і рідина не заповнила робочий об'єм циліндра. Графіки загальної течії рідин для об'ємів два та три літри (рис. 1) продемонстрували стабільну роботу.

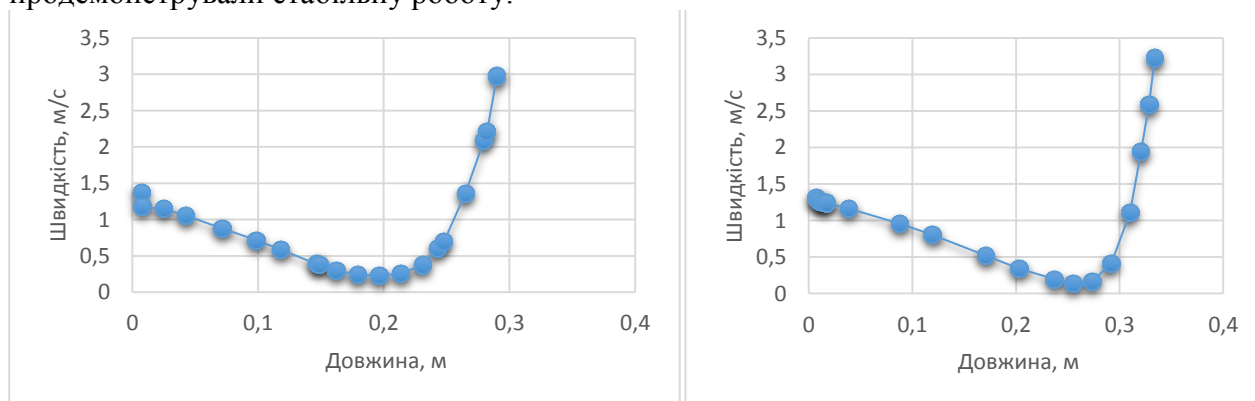


Рисунок 1 – Графік загальної течії рідини об'ємом два та три літри (1 рідина)

На всіх графіках приблизно на 2/3 довжини утворюється різке падіння швидкості. Чим довше хід поршня, тим більше падіння швидкості ми спостерігаємо. Відповідно, в разі

модифікації цього дозатора для більшого обсягу при тому ж діаметрі робочого циліндра може виникнути ситуація, коли швидкість впаде практично до нуля, тобто в цьому місці утворюється нашарування продукції, що відібується на роботі дозатора. Збільшення довжини не є рентабельним.

Для в'язкої рідини (динамічна в'язкість дорівнює  $10 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ) зменшення об'єму заповнення не викликає складнощів у роботі (рис. 2), а для об'ємів два та три літри швидкість рідини майже не змінюється по усій довжині циліндру. Стрибок швидкості відбувається близько поршня (рисунок 3)

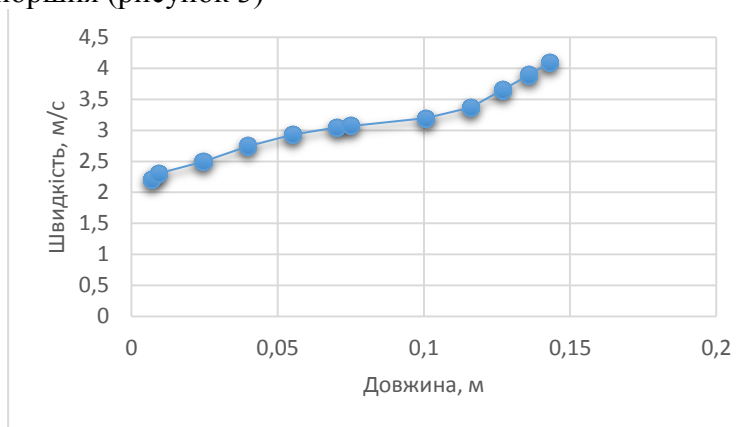


Рисунок 2 – Графік загальної течії рідини об'ємом один літр (2 рідина)

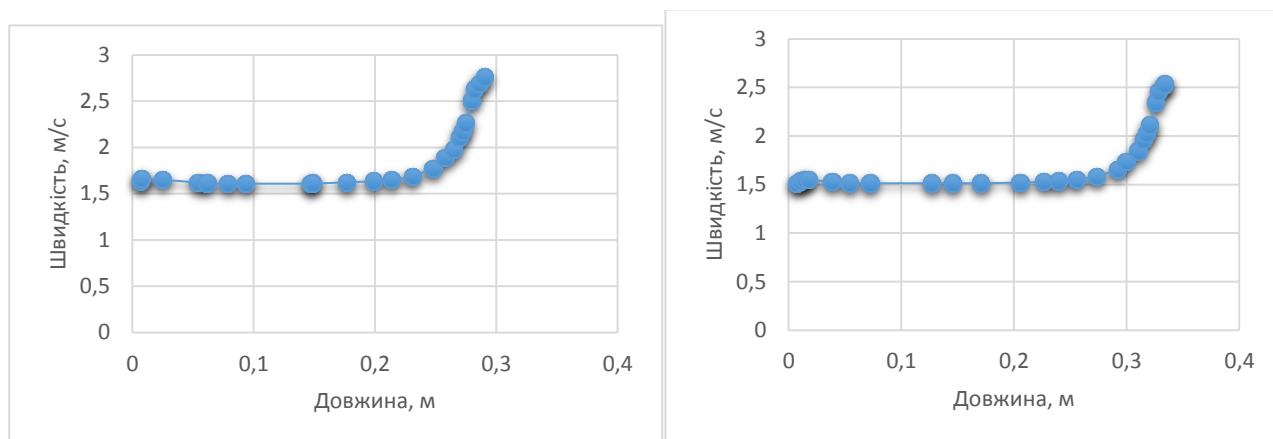


Рисунок 3 – Графік загальної течії рідини об'ємом два та три літри (2 рідина)

Таким чином при дозуванні рідин високої в'язкості пристрій демонструє стабільну роботу на усіх діапазонах, в той час як для нев'язких речовин не рекомендовано використання дозатора, обсяг камери якого перебільшує ту, що потребується.

### Список використаних джерел

1. Гідравліка: навчальний посібник / Возняк Л. В., Гімер П.Р., Мердух М.І., Паневник О.В. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 327 с.
2. Математична модель для імітаційного дослідження в середовищі matlab simulink гідравлічного приводу поступального руху з довгою напірною гідролінією / Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 3 стор 108-115.
3. Боровин Г.К., Костюк А.В. Математическое моделирование гидросистемы шагающей машины // Материалы 11-й научно-технической конф. «Экстремальная робототехника». – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – С. 96 – 106.
4. Боровин Г.К., Костюк А.В. Математическое моделирование гидравлической системы управления шагающей машины. – Теория и системы управления. – 2002. – № 4. – С. 150 – 159.3



## СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯВИЩА ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ

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

Вперше явище гідравлічного удару (далі ГУ) було досліджено та описано відомим російським вченим професором М. Є. Жуковським, який у 1898 р. розробив теорію ГУ. Ця теорія й досі є основою всіх сучасних досліджень. ГУ - це коливальний процес, що відбувається в пружній трубі з рідиною при різкій зміні швидкості току рідини або її тиску.

Явище ГУ характерне чередуванням різних перепадів тиску за малий проміжок часу. Наразі причиною ГУ виявляється закриття крана або іншого пристрою керування гідравлічним потоком. Якщо перекрити трубопровід 1 (рис. 1), яким рухається рідина, за допомогою швидкодіючого крана (клапана) 2, то в трубопроводі відбудеться раптова зупинка проточної рідини, що викличе підвищення тиску.

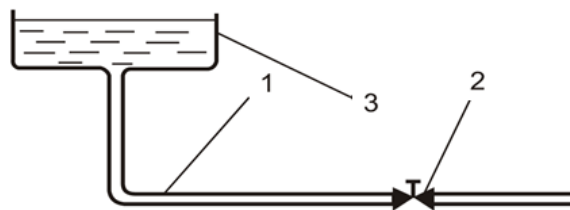


Рисунок 1 – Трубопровід

Зупинка проточної рідини та підвищення тиску поширюватиметься послідовно по всьому трубопроводу 1 у бік витратного бака 3. У той час, коли ударна хвиля досягне бака, рідина, що знаходиться в трубопроводі, зупиниться. В ній встановиться підвищений тиск на величину  $P_{уд}$ , який поширюється на всю довжину трубопроводу. Підвищення тиску викликає стиснення рідини та збільшення діаметра труби. Так як ємність бака, до якого приєднаний трубопровід, велика, то явище удару не пошириться на рідину, що знаходиться в баку. Тому стан рідини в момент досягнення ударною хвилею бака не є рівноважним. Рідина, яка знаходиться в трубопроводі в стислому стані, почне переміщуватися від крана до бака. У трубопроводі виникне спад тиску, що розповсюджується у бік крана. Зниження тиску, що передається від шару до шару рідини і поширюється у напрямку до крана, називається відбитою (зворотньою) ударною хвилею. Коли фронт зниження тиску досягне закритого крана, тиск у всьому трубопроводі стане рівним початковому.

Рідина в трубі набуває початкової швидкості, але спрямованої в протилежний бік. Рідина у трубопроводі прагне відірватися від крана у бік бака, внаслідок чого виникає негативна ударна хвиля. Вочевидь, щойно відбита від бака ударна хвиля досягне крана, виникає ситуація, що вже мала місце на початку і весь цикл гідравлічного удару повториться знову. Час пробігу прямої та відбитої ударних хвиль становить тривалість фази гідравлічного удару. Швидкість поширення фронту підвищення та зниження тиску (ударної хвилі) у циліндричній трубі з постійною товщиною стінки при однорідності рідини та матеріалу трубопроводу буде однаковою та постійною. Такий процес спостерігався б за абсолютної пружності рідини та стінок трубопроводу. Насправді ж має місце розсіювання енергії за рахунок коливального руху рідини та деформації труби, тому такий процес – загасаючий.

За теорією М. Є. Жуковського величину ударного тиску  $\Delta P_{уд}$  можна обчислити, виходячи з того, що кінетична енергія рідини переходить у роботу деформування стін труби та рідини. Кінетична енергія рідини у трубі радіусом  $R$ , довжиною  $L$  та товщиною стінки  $\delta$  дорівнює:

$$\frac{MV_0^2}{2} = \frac{1}{2}\pi R^2 l \rho V_0^2 = A_{деф.ст} + A_{деф.рід}.$$

$A_{деф.ст}$  – робота, що витрачається на деформацію стін труби,

$A_{деф.рід}$  – робота на стискання рідини, тоді

$$\frac{1}{2}\pi R^2 l \rho V_0^2 = \frac{\pi R^3 l \Delta P_{уд}^2}{\delta E_{ст}} + \frac{\pi R^2 l \Delta P_{уд}^2}{2E_{рід}};$$

де  $E_{рід}$  – об'ємний модуль пружності рідини,

$E_{ст}$  – модуль пружності матеріалу труби,

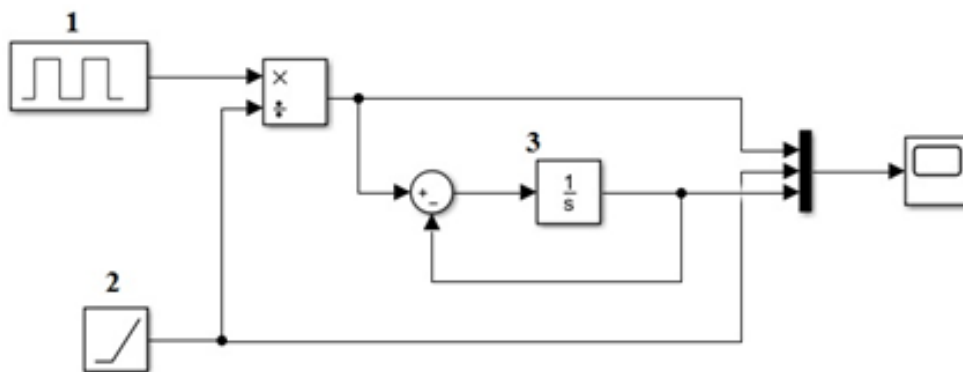
$\rho$  – питома вага рідини.

Виходячи з цього ударний тиск може бути оцінений за формулою

$$\Delta P_{уд} = \rho V_0^2 \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{E_{рід}} + \frac{2\rho R}{\delta E_{ст}}}}, \quad \text{або} \quad \Delta P_{уд} = \rho V_0 c,$$

де  $c$  – швидкість звуку у рідині з питомою вагою  $\rho$  та об'ємним модулем пружності  $E_{рід}$ .

Формула Жуковського слухна, якщо час закриття крана менший, або дорівнює часу  $t_0 = \frac{2L}{c}$ , де  $t_0$  – фаза початку ГУ;  $L$  – довжина труби. Якщо час закриття збільшується, ударний тиск пропорційно зменшується. На рисунку 2 наведена якісна структурна модель явища гідравлічного удару.



1 – ключовий елемент (кран); 2 – крива закону зростання часу гідравлічної комутації;

3 – демпфуючий пристрій

Рисунок 2 – Якісна модель явища гідравлічного удару

На рисунку 3 наведені результати симуляції роботи моделі ГУ у середовищі MATLAB SIMULINK часові діаграми якісної моделі гідравлічного удару при зміні співвідношення  $t_0$  до часу закриття крана, де на вісь абсцис – відносний час процесу комутації, вісь ординат – ударний тиск. Із зростанням часу закриття крана (комутації) ударний тиск спадає. Спад тиску відбувається також при використанні пневматичного демпфера. Така модель відображаючи якісні властивості явища, не відображає його фізичної суті, яка, виходячи з опису, полягає у наявності кола ударного збудження (рис.4), яке з одного боку містить у собі резонансні властивості рідини (питома вага, температура, модуль об'ємної пружності, маса та об'єм, опір середовища), що являє собою блок «Transfer Func 1», з іншого боку властивості

комутаційних апаратів та робочого тиску рідини («Transfer Func 2»). Така модель може бути використаною у якості основи для подальшого моделювання кількісних характеристик процесу.

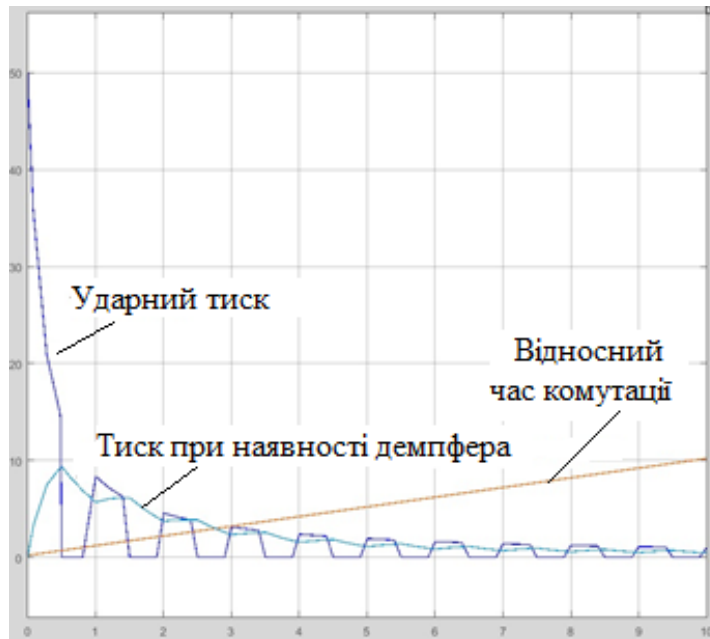


Рисунок 3 – Часова діаграма якісної моделі гідравлічного удару при зміні співвідношення  $t_0$  до часу закриття крану

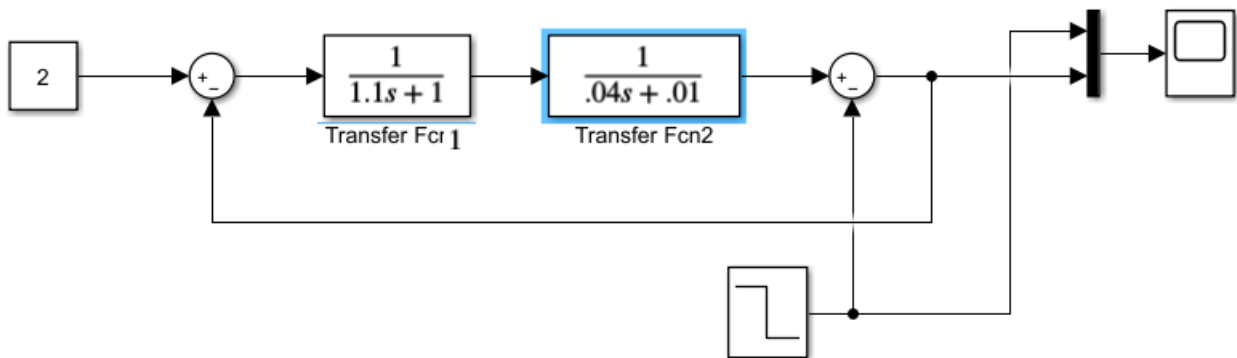


Рисунок 4 – Фізична структурна модель явища гідравлічного удару.

### Перелік використаних джерел

1. Башта, Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для ВУЗОВ / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – Москва : Машиностроение, 1982. – 423 с.
2. Дьяконов, В. П. MATLAB 6,7,8. Самоучитель / В. П. Дьяконов. – ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

## 7. ПРОЦЕСИ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 629.7

**Баранов О.О.**, д.т.н., професор

[o.baranov@khai.edu](mailto:o.baranov@khai.edu)

**Бреус А.О.**, к.т.н., доцент

[a.breus@khai.edu](mailto:a.breus@khai.edu)

**Сердюк О.Л.**, аспірант

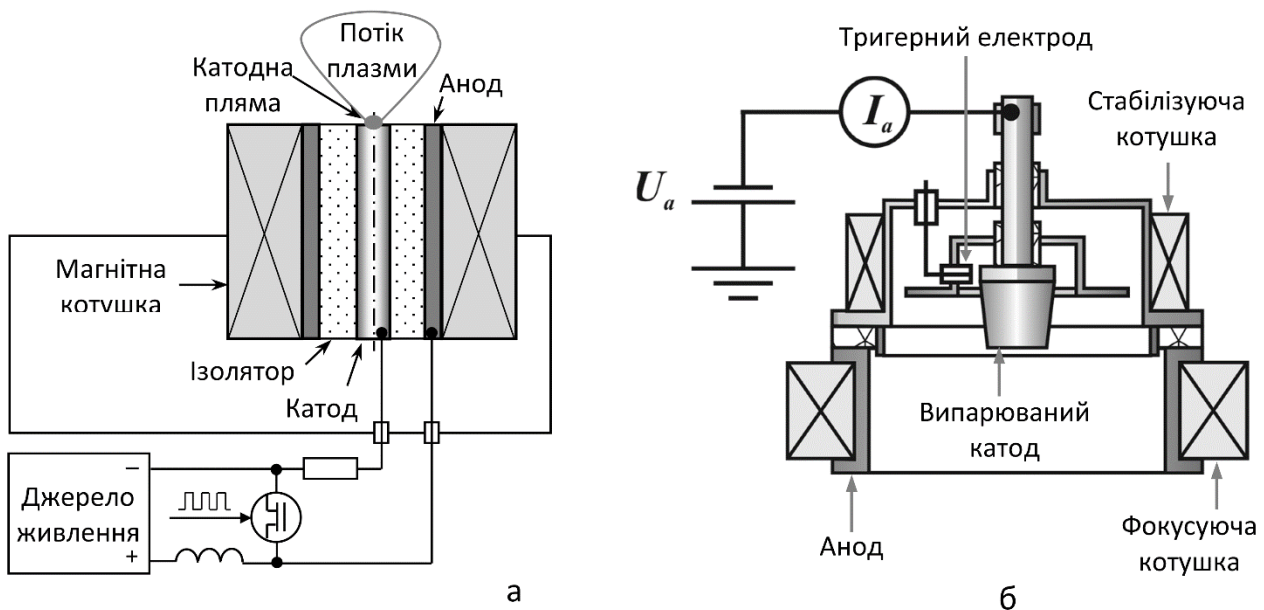
[alserdyuk@fed.com.ua](mailto:alserdyuk@fed.com.ua)

### ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ВАКУУМНО-ДУГОВИХ ДВИГУНІВ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут», Україна

Дуговий розряд активно використовується вже понад півстоліття завдяки своїм унікальним властивостям. Генерація плазми відбувається в процесі вибуху, коли протягом дуже короткого часу виникає надщільна повністю іонізована плазма ( $\sim 10^{19}-10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ), збагачена іонами, кластерами твердої фази та краплями матеріалу катода [1, 2]. На цей час запропоновано велику кількість технічних рішень для управління процесом генерації дуги, електродної ерозії, руху катодних плям, плазмового розширення, які дозволяють розробити цілий клас пристроїв, таких як сорбційні насоси, технологічні установки вакуумно-дугового осадження, а також дугові двигуни [3]. Схеми двох пристроїв, де використовується катодна пляма для генерації плазми, наведено на рисунку 1.



а – схема вакуумно-дугового двигуна з магнітним підсиленням; б – схема вакуумно-дугового джерела плазми

Рисунок 1 – Використання катодної плями для генерації плазми.

Одним з перспективних типів двигунів для виконання в системах орієнтації космічного приладу (attitude control) є вакуумно-дуговий двигун, який відноситься до плазмових двигунів надмалої тяги та може розвивати тягу близько 1 мкН та характеризується високим питомим імпульсом (1000–3000 с). Додатковою перевагою є те, що для дугових двигунів струм електронів від дуги перевищує струм іонів, таким чином космічний корабель заряджається позитивно по відношенню до локального потенціалу плазми, що дозволяє залучати

електрони з плазми, яка оточує корабель. Це усуває потребу в пристроях для нейтралізації вихлопу, на відміну від двигунів Холла, які використовують зовнішній катод для виробництва електронів, необхідних для нейтралізації іонізованого вихлопу, коли він викидається з каналу прискорення.

Багато видатних дослідників досліджували як експериментально, так і теоретично цікаві явища, пов'язані з дуговим розрядом, що є основою для подальшого розвитку техніки та технології вакуумної дуги в дослідженні космосу. Для космічного двигуна дуговий розряд дає ряд переваг, таких як можливість використання компактного твердого палива замість газових баків, високий ступінь іонізації плазми та велика різноманітність частинок плазми, що забезпечується специфічною плазмохімією. При цьому застосування ідей, розроблених для технологічної плазми, далеке від повного використання. Магнітне поле є одним із найпотужніших інструментів керування режимами роботи дугових плазмових пристроїв, однак їх застосування обмежене критичним збільшенням маси конструкції або впливом на роботу бортових приладів [4]; системи подачі матеріалу катода в зону розряду досить складні; проблеми ерозії конструкції, іскрового запалювання, а також вся проблема розробки дугового двигуна, придатного для зміни орбіти CubeSats – ось короткий перелік завдань, які необхідно вирішити для успішного впровадження дугової технології в космічні двигуни [5].

На сьогоднішній час запропоновано кілька схем дугових двигунів, але при цьому питання створення ефективного пристрою, який реалізує концепцію створення тяги шляхом випаровування матеріалу з твердої фази шляхом ініціації катодної плями, все ще далека від вирішення. На шляху постає ряд проблем, де має бути знайдені певні технічні рішення, що дозволять значно підвищити ефективність цього класу двигунів.

Першою проблемою є схема генерації катодної плями. В даний час використовуються три методи запуску дугового розряду: активація незалежним електричним джерелом, активація опором і тригерна активація. При цьому для самостійного запуску потрібен додатковий імпульсний генератор, а для резистивного запуску потрібен лише резистор, що з'єднує тригерний електрод. Але при використанні методу активації опором відносно низька напруга катод-анод призводить до значно меншого значення осьової складової електричного поля в області розширення плазми порівняно з активацією незалежного джерела, також спостерігався більш повільний перехід електронів від радіального руху до осьового. Для плазмового осадження електропровідних плівок був розроблений «безпусковий» метод ініціювання вакуумної дуги, у якому повинен існувати провідний шлях (покриття) між анодом і катодом перед запалюванням дуги, тому, коли напруга прикладається між електродами, покриття резистивно нагрівається струмом, що призводить до швидкого утворення плазми. Для ряду катодних матеріалів було виявлено, що безпусковий метод є дуже надійним, але необхідний баланс між осадженням і ерозією провідного матеріалу. Це означає, що необхідний зворотний потік матеріалу, що випаровується з катода, і цей потік може впливати на роботу електронних пристроїв супутника.

Другою проблемою є оптимізація хімічного та морфологічного складу матеріалу, що має бути випаруваний для утворення тяги. Певні дослідження показали низку закономірностей, які впливають на процес, а саме: матеріал катода з більшою когезійною енергією буде виробляти менше іонів для даного розрядного струму, і, таким чином, та сама енергія виробляє більше плазми для матеріалів з меншою когезійною енергією; зарядові стани компонента з низькою когезійною енергією покращуються порівняно з ситуацією з чистим металом, а іонні зарядові стани матеріалу з вищою когезійною енергією відносно знижені; таким чином, легування можна використовувати для контролю зарядових станів іонів певного матеріалу; імпульсні дуги мають вищі зарядові стани порівняно з дугами постійного струму; функція розподілу швидкості іонів для кожного матеріалу демонструє лише один пік і різні зарядові стани іонів матеріалу рухаються приблизно з однаковою швидкістю або кінетичною енергією – таким чином, гідродинамічне прискорення переважає над електростатичним прискоренням, що призведе до кінетичних енергій, пропорційних зарядовим станам; пікові швидкості іонів у плазмі, створеній складним катодом, однакові для

елементів і зарядових станів і не залежать від маси іонів, що можна пояснити газодинамічним механізмом прискорення іонів; відмінності у швидкості іонів між плазмою з різних складених катодів узгоджуються з правилом когезійної енергії; на осі розрядної системи домінують важкі атоми, а на краях – легкі; якщо елементи мають однакову масу, то кутові розподіли майже однакові; швидкості іонів різних матеріалів різні, причому швидкість легких іонів вище, ніж у випадку чистого катода.

Третьою проблемою є вплив місця запалювання та геометрії анода. Тут встановлені наступні залежності, які також не дозволяють поки що обрати найбільш раціональну схему: коли магнітне поле не використовується, центральний запуск дугового розряду покращує спрямованість завдяки ефективним профілям ерозії; вимірювання інтегрованого катодного струму показує, що циліндрична схема і пластинчаста схема більш ефективні у використанні матеріалу катода, ніж анод у формі дзвону; анод з найменшим тілесним кутом апертури забезпечує найбільший імпульс у перерахунку на іон; оптимальною може розглядатися циліндрична геометрія, але слід враховувати питання генерації катодної плями на боковій стороні.

Четвертою проблемою є власне теоретичний опис процесів генерації катодних плям. Найбільш розвинені моделі дозволяють дійти наступних висновків: однією з умов механізму самоузгодженого механізму катодної плями є течія невеликої плазми в прикатодній області; швидкість плазми на зовнішній межі шару Кнудсена визначає втрату маси катода; падіння потенціалу на катоді визначається роботою виходу, енергією електронів, швидкістю ерозії катода, втратою тепла на катоді та енергією, що переноситься до катода повернутими електронами; для більш тугоплавких катодних матеріалів падіння катодного потенціалу більше; рух плями зумовлений вичерпанням матеріалу під плямою; коли виступ випаровується, втрати тепла в об'ємі збільшуються і напруга досягає високих значень; коли стара пляма розпадається, на найближчому сусідньому виступі з'являється нова пляма з меншою напругою; коли струм дуги перевищує критичне значення, яке залежить від матеріалу катода, одночасно спрацьовують кілька плям; швидкість плями залежить від температури катода, морфології (плівка або об'єм) і шорсткості, а також від стану плазми або фонового газу в розрядному проміжку.

П'ятою проблемою є рух плями в магнітному полі, і взагалі, поведінка плазми у магнітних полях різної конфігурації. Два важливі явища вакуумної дуги спостерігаються, коли дуга працює в поперечному магнітному полі, а саме: групування катодної плями і ретроградний рух катодної плями, тобто рух в антиамперському напрямку.

Таким чином, незважаючи на відносну простоту існуючих конфігурацій вакуумно-дугових двигунів, концепція ефективного пристрою ще має бути розроблена.

## Список використаних джерел

1. Particle-in-cell simulation of the cathodic arc thruster [Text] / K. F. Luskow, P. R. C. Neumann, G. Bandelow, J. Duras, D. Kahnfeld, S. Kemnitz, P. Matthias, K. Matyash, and R. Schneider // *Physics of Plasmas*. – 2018. – No. 25, paper no. 013508.
2. Beilis, I. I. Physics of Cathode Phenomena in a Vacuum Arc With Respect to a Plasma Thruster Application [Text] / I. I. Beilis // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2015. – No. 43. – P. 165–172.
3. Discharge ignition in the micro-cathode arc thruster [Text] / G. Teel, A. Shashurin, X. Fang, M. Keidar // *Journal of Applied Physics*. – 2017. – No. 121, paper no. 023303.
4. The influence of anode position and structure on cusped field thruster [Text] / X. Niu, H. Liu, C. Yang, W. Jiang, D. Yu, Z. Ning // *Physics of Plasmas*. – 2018. – No. 25, paper no. 040701.
5. Plasma under control: Advanced solutions and perspectives for plasma flux management in material treatment and nanosynthesis [Text] / O. Baranov, K. Bazaka, H. Kersten, M. Keidar, U. Svelbar, S. Xu, I. Levchenko // *Applied Physics Reviews*. – 2017. – No. 4, paper no. 041302.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЕЛЕКТРОДАХ ПРИ ГЕНЕРАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОСТРУКТУР У ВАКУУМНІЙ ДУЗІ**

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

На основі проведеного теоретичного розгляду теплових потоків діючих на електроди, під час випромінювання плазми при генерації вуглецевих наноструктур, було розроблено математичну модель для опису теплових процесів діючих на електродах при плазмовому формуванні наноструктур у плазмовому середовищі. Розроблена модель враховує джерела та стоки тепла в електродних плямах, випаровування, розпилення та температурні напруження у тілі електродів.

Сумісне вирішення задач теплопровідності та термопружності дозволило отримати поля температур та напружень, а також визначити можливість зміни геометрії катоду та аноду за час виходу установки на робочий режим. Розрахунки виконувались для різної густини струму  $10^{10} \dots 10^{12}$  А/м<sup>2</sup> і для різних швидкостей переміщення плям  $1 \dots 0.5 \cdot 10^2$  м/с. Результати розрахунків температурних полів на торцевій поверхні катоду з графіту показали, що при постійному рості температури поверхні катоду характер її розподілення принципово не змінюється.

Проведене теоретичне дослідження змін геометрії графітового катоду показало незначний вплив випаровування на зміну геометрії. Визначення зміни геометрії аноду повздовж утворюючої, завдяки випаровуванню під час виходу на робочий режим, показало найбільший вплив випаровування на малій ділянці аноду найближче розташованої до катоду. Також чисельними розрахунками визначено, що при густині струму більше  $10^{10}$  А/м<sup>2</sup> збільшується імовірність появи викиду матеріалу у вигляді кластерів, що буде перешкоджати появі рівномірних наноструктур. Залежності коефіцієнта ерозії від часу життя було отримано як для стаціонарної, так і для рухомої плям. Визначено залежність суттєвого зменшення коефіцієнта ерозії при підвищенні швидкості плям

Збіг отриманих значень теоретичних та експериментальних результатів говорить про працездатність розробленої моделі

### **Список використаних джерел**

1. Моделювання дугового розряду на мідному катоді для генерації наноструктур / Ю.В. Широкий, Г. І. Костюк // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології, збірник наукових праць – Харків : Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", 2021. – Вип. 91 С.62-77.
2. On the growth and electrical characterization of CuO nanowires by thermal oxidation / K. Bazaka, O. Baranov, U. Svelbar, B. Podgornik, Y. Wang, S.Huang, L. Xu, J. W. M. Lim, I. Levchenko, S. Xu // Nanoscale. – 2018. – № 10. – P. 17494–1751.
3. Сысоев Ю. А. Проблемы ионно-плазменных технологий на основе вакуумно-дугового разряда и пути их решения / Ю. А. Сысоев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 7. – С. 38–43.
4. Костюк, Г.И. Особенности теоретического рассмотрения процессов в электродных пятнах вакуумного разряда [Текст] / Г. И. Костюк, Ю. В. Широкий, А. Н. Костюк // Открытые информационные и компьютерные технологии. – 2013. – № 60. – С 128–141.

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ НІТРИДНИХ,  
КАРБІДНИХ, БОРИДНИХ І ОКСИДНИХ НАНОПОКРИТТІВ НА ТВЕРДОМУ  
СПЛАВІ Т23А**Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

У даний час широко обговорюється питання про створення високоентропійних сплавів, які можуть знайти широке застосування в техніці за рахунок високої твердості, високої міцності за значних температур, істотно зменшеної повзучості у порівнянні з традиційними конструкційними матеріалами [1-5]. У той же час питання отримання НС як на високоентропійних сплавах так і в покриттях з цих сплавів, навіть експериментально практично не вивчено, а робіт у теоретичному плані з отримання НС за винятком наших практично немає.

Усе це говорить про те, що є істотна необхідність у розвитку робіт з одержання покриттів із нітридів, карбідів, боридів, оксидів та інших твердих сполук у разі утворення високоентропійного покриття. Вище викладене говорить про важливість та актуальність теоретичних досліджень, що проводяться у напрямку отримання високоентропійних нітридних карбідних, боридних та оксидних наноструктурних покриттів.

Було досліджено можливість створення високоентропійних покриттів із чистих металів на твердому сплаві Т23А, розглядалася можливість нанесення нітридів, карбідів, боридів та оксидів гафнію, цирконію, молібдену, вольфраму, ітрію та нікелю. Для цього на основі спільної задачі теплопровідності та термопружності визначався об'єм зерна та глибини його залягання для розглянутих елементів [1].

Для виконання умови високоентропійності визначаємо частку гафнію, що бере участь у процесі з урахуванням вимоги, щоб цирконію було не більше 30%, а потім оцінюємо скважність імпульсів напруги на випарнику з катодом СЦГ 20 і частку інших компонентів для яких необхідно мати один двокомпонентний катод, із співвідношенням компонентів 50%/50% та два випарники з однокомпонентними катодами (причому об'єднуючи у двокомпонентному катоді елементи з близькими парціальними тисками при однакових температурах) [2].

На рис. 1 для іонів гафнію ( $Hf^+$ ) представлені залежності об'єму нанокластеру, мінімальної та максимальної глибини його залягання від енергії іонів. Видно, що об'єм, відповідний наноструктурам (НС), реалізується у всьому діапазоні енергії на мінімальній глибині  $0 - 1,19 \cdot 10^{-9}$  м для енергії іонів  $E=200$  еВ,  $5,28 \cdot 10^{-10} - 5,69 \cdot 10^{-9}$  для  $E=2000$  еВ;  $4,14 \cdot 10^{-9} - 2,43 \cdot 10^{-8}$  для  $E=20$  кеВ. Діапазон максимальної глибини залягання наноструктур енергії іонів  $E=200$  еВ складає  $1,96 \cdot 10^{-9} - 4,7 \cdot 10^{-9}$  м, при  $E=2000$  еВ  $5,69 \cdot 10^{-9} - 1,30 \cdot 10^{-8}$  м, при  $E=20$  кеВ  $1,58 \cdot 10^{-8} - 3,55 \cdot 10^{-8}$  м. Видно, що з ростом маси іона об'єм НС і глибини їх залягання зменшуються. Ця тенденція простежується для всіх розглянутих іонів.

Перейшовши до залежностей для цирконію  $Zr^+$  (рис. 2) отримуємо, що для всіх досліджуваних енергій реалізуються НС. Причому при 200 еВ глибини залягання становлять: мінімальна  $0 - 1,58 \cdot 10^{-9}$  м; максимальна  $2,20 \cdot 10^{-9} - 5,03 \cdot 10^{-9}$  м. При 2000 еВ мінімальні  $8,8 \cdot 10^{-10} - 6,79 \cdot 10^{-9}$  м; максимальні  $6,11 \cdot 10^{-9} - 1,42 \cdot 10^{-8}$  м. Для 20 кеВ мінімальна глибина залягання  $5,33 \cdot 10^{-9} - 2,85 \cdot 10^{-8}$  м; для максимальної  $1,75 \cdot 10^{-8} - 4,02 \cdot 10^{-8}$  м.

Для іонів вольфраму ( $W^+$ ) представлені аналогічні графіки (рис. 3). Глибини залягання НС при енергії 200 еВ складають: мінімальна  $0 - 1,18 \cdot 10^{-9}$  м, максимальна  $1,96 \cdot 10^{-9} - 4,69 \cdot 10^{-9}$  м. При енергії 2000 еВ: мінімальна глибина  $5,21 \cdot 10^{-10} - 5,67 \cdot 10^{-9}$  м; максимальна  $5,68 \cdot 10^{-9} - 1,29 \cdot 10^{-8}$  м. При 20 кеВ: мінімальна глибина  $4,13 \cdot 10^{-9} - 2,41 \cdot 10^{-8}$  м; максимальна  $1,57 \cdot 10^{-8} - 3,54 \cdot 10^{-8}$  м.



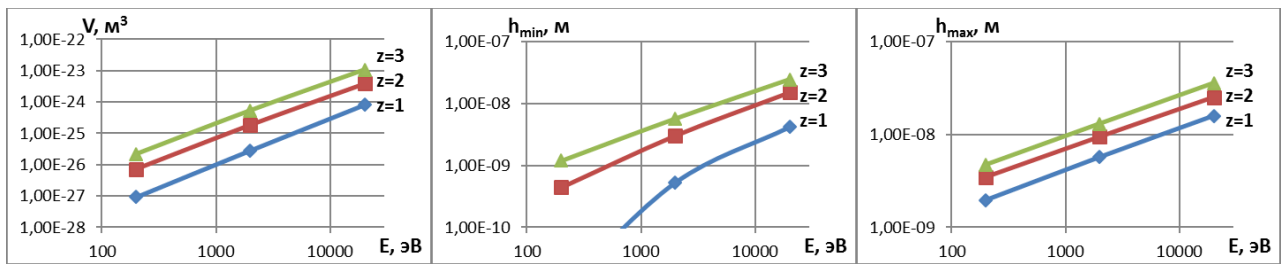


Рис. 1. Залежності об'єму нанокластера (НК) (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НК при дії іонів гафнію ( $Hf^+$ ) з різним зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для T23A

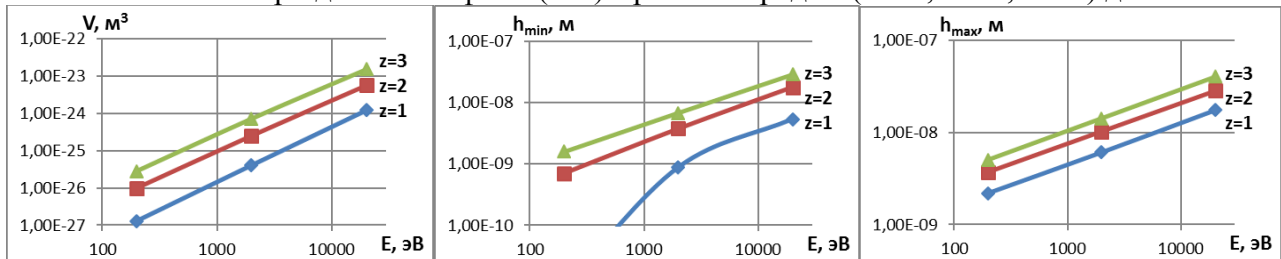


Рис. 2. Залежності об'єму нанокластера (НК) (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НК при дії іонів цирконію ( $Zr^+$ ) з різним зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для T23A

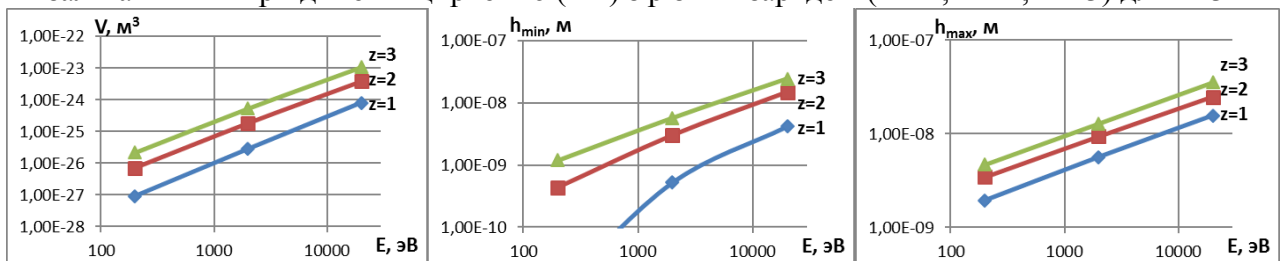


Рис. 3. Залежності об'єму нанокластера (НК) (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НК при дії іонів вольфраму ( $W^+$ ) з різним зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для T23A

Для іонів молібдену, ітрію та нікелю отримано аналогічні залежності. У результаті спільної дії всіх розглянутих сортів іонів та з урахуванням дії іонів азоту, вуглецю, бору та кисню (вибравши відповідну енергію іонів) отримуємо високоентропійне нітридне, карбідне, боридне та оксидне наноструктурне покриття. Також можна відзначити, що завдяки створенню шарів з таких покриттів і вибравши послідовність шарів (перший на поверхні з урахуванням адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом) ми можемо конструювати ефективний різальний інструмент високої працездатності.

### Список використаних джерел

1. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокрывтиями и наноструктурными модифицированными слоями: монография-справ. в 2 кн. Кн.1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии / Г.И. Костюк – Харьков: «ПланетаПринт», 2016. – 735 с.
2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур: монография / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.
3. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы: монография / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. Центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.
4. Костюк, Г. И. Наноструктуры и нанопокрывтия: перспективы и реальность: учеб. пособ. / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.
5. Костюк, Г. И. Научные основы создания современных технологий: учеб. пособ. / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.

*Науковий керівник к.т.н., доцент Широкий Ю.В.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗАПАЛЮВАННЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДЖЕРЕЛАХ ПЛАЗМИ

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

Аналіз створених на даний момент систем запалювання (СЗ) вакуумно-дугового розряду у джерелах плазми показав наступні напрями підвищення їх ефективності: розробка нових конструктивних рішень як окремих вузлів, так і всієї СЗ в цілому; використання композиційних матеріалів (КМ) для заповнення розрядних проміжків пускових пристроїв; створення нових схемотехнічних рішень джерел живлення пускових розрядів; використання нетрадиційних методів запалення вакуумно-дугового розряду – переходом тліючого розряду в дуговий (ПТД) та з використанням для запалювання дуги лазерного випромінювання (ЛВ).

Запропоновано критерії оцінки надійності та довговічності СЗ вакуумно-дугового розряду в технологічних джерелах плазми, на основі яких виконані комплексні дослідження систем збудження дуги контактного типу з іскровим поверхневим пробоем та двоступінчастих систем запуску з автономним плазмовим інжектором. На основі виконаних досліджень розроблені конструкції вакуумно-дугових джерел плазми з СЗ контактного типу, що забезпечують їх працездатність у певному діапазоні технологічних параметрів; найбільш ефективно виявилась конструкція системи СЗ, в якій запалювальний електрод і допоміжний анод виконано єдиним конструктивним елементом у формі зрізаної конусоподібної спіралі. Ці конструктивні особливості, по-перше, не перешкоджають конденсації на поверхню пускового розрядного проміжку частини металу, який випаровується катодною плямою (КП) дуги при роботі пристрою, по-друге, істотно полегшують вихід КП від місця ініціювання на робочий торець катода. При цьому магнітне поле, під дією якого відбувається переміщення КП, створюється струмом самого пускового розряду, що тече по виткам конусоподібної спіралі. Ця система запалювання не потребує окремого блока живлення і може працює в автоматичному режимі від джерела живлення дуги.

Для здійснення безконтактного методу збудження дуги за допомогою плазмового інжектора досліджені різні їх конструкції, при заповненні їх розрядного проміжку різними матеріалами; Виявлено, що ресурс пускових інжекторів при заповненні розрядного проміжку керамікою М-7 не перевищує  $10^4$  спрацьовувань, керамікою 22ХС – на рівні  $10^5$  спрацьовувань, а при застосуванні КМ перевищує  $10^6$  спрацьовувань при енергії підпалювання 5 Дж, частоті робочих імпульсів 1 Гц і тривалості дуги 2 с.

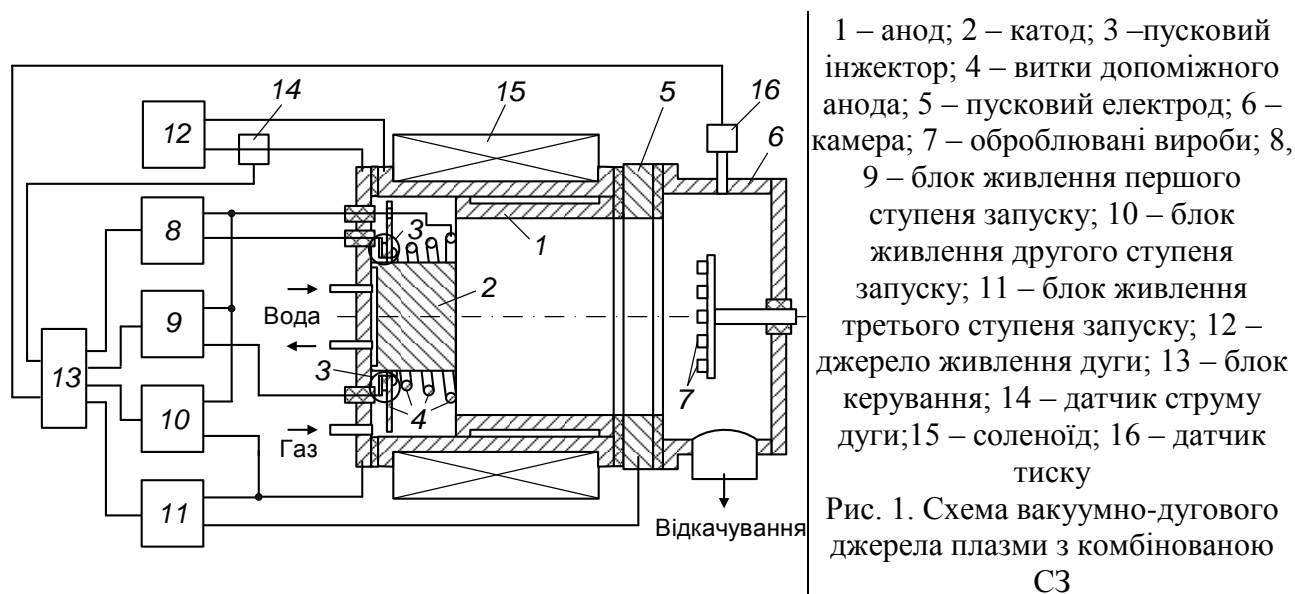
Розроблені для заповнення розрядних проміжків пускових інжекторів КМ, які відрізняються підвищеною стійкістю до дії електричних розрядів і низькою напругою поверхневого пробою (до 100...200 В/мм). Такі характеристики забезпечуються особливостями структури КМ, що являє собою діелектричну склоподібну матрицю, заповнену дрібнодисперсними струмопровідними частинками і напівпровідниковими компонентами. Виконано порівняння теоретичних та експериментальних залежностей ймовірності запалювання дуги від енергії підпалювання при роботі інжектора у режимі електричного вибуху плівки, яке показує задовільний збіг результатів.

Дослідження нетрадиційного методу збудження вакуумної дуги за допомогою ПТД здійснювали у експериментальному пристрої, у якому можливо було формувати тліючі розряди різних видів – пеннінговського типу і полокатодний. Результати цих досліджень

показали, що збудження дуги у пристрої найбільш ефективно при низьких тисках реакційних газів, які можуть створювати з'єднання з матеріалом катода на його поверхні.

Для здійснювання іншого нетрадиційного методу – збудження вакуумної дуги ЛВ, потрібно вирішити проблему запилення вікна вводу у вакуумну камеру променю лазера. Існуючі вирішення цієї проблеми полягають у мінімізації потрапляння продуктів ерозії катода на вікно введення лазерного променя, що призводить до значного ускладнення конструкції джерела плазми, тому ця проблема досі остаточно не вирішено.

Досягти максимальної надійності збудження вакуумної дуги можливо у системах збудження комбінованого типу. Розроблено конструкцію джерела плазми з комбінованою системою збудження вакуумної дуги, яку подано на рис. 1.



В конструкції джерела плазми з комбінованою СЗ застосована триступенева система збудження вакуумно-дугового розряду. Як два перших ступені в ній використовується застосовувана в штатних джерелах плазми установок «Булат» безконтактна система запуску, робота третього ступеня запуску основана на переході тліючого розряду в дуговий (ПТД).

Першою сходинкою запуску в джерелі плазми є пусковий інжектор. Оскільки цей вузол є найбільш ненадійне місце СЗ, у джерелі встановлено два перших ступені запуску (два інжектора). Розрядний проміжок інжектора може бути заповнений як керамікою, так і КМ.

При спрацьовуванні одного з інжекторів у розрядному проміжку другого ступеня запуску між першим витком допоміжного анода 4 і катодом 2 ініціюється дуговий розряд з формуванням КП на бічній поверхні катода поблизу першого витка електрода 4. Оскільки живлення на другий ступінь запуску подається через виток найбільшого діаметра, розташований поблизу робочої поверхні катода, то струмом, що проходить по витках спіралі, створюється магнітне поле, яке сприяє виведенню КП на робочу поверхню катода.

Третій ступінь запуску утворено пусковим електродом 5 і різнопотенціальними електродами 1 і 2, що складають полокатодну систему. Живлення ступенів запуску і основного вакуумно-дугового розряду здійснюється від відповідних блоків, підключених згідно зі схемою на рис. 1. Узгоджена робота блоків живлення здійснюється блоком керування 13, який виробляє сигнали вмикання-вимикання блоків живлення ступенів запуску за сигналами, що надходять від датчика струму дуги 14 і датчика тиску 16.

Робота джерела плазми розробленої конструкції має ряд особливостей. При роботі на низьких тисках (менше  $10^{-2}$  Па), наприклад при іонному очищенні, коли ефективність третього ступеня запуску низька, збудження дугового розряду здійснюється першим і другим ступенями запуску. При цьому, оскільки пристрій містить два перших ступені запуску, то

здійснюється почергове спрацьовування кожного за сигналами від блока керування. Відмова одного з них не позначиться на роботі джерела плазми, оскільки буде продовжувати роботу інший. У загальному випадку таке резервування дозволяє в  $N$  раз підвищити ресурс роботи першого ступеня, де  $N$  – кількість перших ступенів. Одночасно при цьому підвищується надійність спрацьовування перших ступенів, оскільки в  $N$  раз буде збільшуватися і час між спрацьовуваннями конкретного першого ступеня, що покращує умови щодо формування провідної плівки в її розрядному проміжку. При цьому для запобігання формуванню дуже товстої плівки в розрядному проміжку першого ступеня (плазмового інжектора), періодично через певний час здійснюється «холосте» спрацьовування одного з перших ступенів запуску.

При переході на режим нанесення покриття тиск у робочому об'ємі підвищується через напуск реакційних газів або їх сумішей. У цьому режимі при згасанні дуги блок 13 за сигналами датчика струму і датчика тиску запускає в роботу блоки живлення третього і другого ступенів запуску. Таким узгодженим режимом роботи забезпечується надійна робота джерела плазми з розробленою СЗ протягом усього циклу нанесення покриття. Його ресурс при цьому значно збільшується, оскільки при іонному очищенні працюють тільки перший і другий ступені запуску, а при нанесенні покриття тільки третій і другий ступені. Така послідовна робота ступенів як мінімум у два рази підвищує ресурс джерела плазми з комбінованою СЗ.

Особливістю запуску джерел плазми з комбінованою СЗ є те, що одночасно з третім ступенем, що працює на основі ПТД, включається і другий ступінь запуску. У цьому випадку наявність витка допоміжного електрода другого ступеня, розташованого поблизу робочої поверхні катода і який знаходиться під позитивним потенціалом щодо катода, сприяє формуванню КП вакуумно-дугового розряду. І чим далі анод джерела плазми розташований від катода, тим ця обставина відіграє важливішу роль.

Має значення і те, що після запуску джерела плазми другий ступінь запуску вимикається. Таким чином забезпечується відсутність струму в ланцюзі допоміжний електрод – катод після запуску джерела, що підвищує коефіцієнт використання матеріалу катода.

Випробування джерела плазми з комбінованою СЗ у режимі нанесення покриттів показали, що надійність запуску пристрою третім ступенем при увімкненому в цей момент другому ступені запуску обумовлена ймовірністю запалювання вакуумно-дугового розряду в діапазоні тисків  $10^{-2} \dots 5$  Па, наявністю магнітного поля величиною  $10^4 \dots 10^5$  А/м і амплітудою пускових імпульсів 1,5...2,0 кВ близькою до 100 %. При нанесенні покриттів в імпульсних режимах ерозія робочої поверхні катода рівномірна незалежно від режиму.

## Список використаних джерел

1. Аксенов, И. И. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы / И. И. Аксенов. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2005. – 212 с.
2. Андреев, А. О. Технология машиностроения. Основы получения вакуумно-дуговых покрытий : учебник / А. О. Андреев, В. М. Павленко, Ю. О. Сисоев. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 288 с.
3. Сисоев, Ю. О. Технология машиностроения. Обеспечение эффективности процессов получения вакуумно-дуговых покрытий : монография / Ю. О. Сисоев. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 320 с.
4. Сысоев, Ю. А. Иницирование вакуумно-дугового разряда в технологических источниках плазмы / Ю. А. Сысоев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2010. – Вып. 3 (63). – С. 280–295.

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ КАРБІДНИХ НАНОПОКРИТТІВ НА $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

<sup>1</sup>Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського  
 «Харківський авіаційний інститут», Україна  
<sup>2</sup>Акціонерне товариство «FED», Україна

У роботах [1-3] розглядаються можливості утворення твердих розчинів які мають високі фізико-механічні показники та значно висчу твердість. Є спроби створювати покриття з високоентропійних сплавів [4] і навіть експериментально отримувати нітриди на основі високоентропійних сплавів, але теоретичних робіт у області створення шарів з карбідних високоентропійних покриттів поки що замало, тому опираючись на теоретичні розрахунки було розглянуто питання отримання високоентропійних карбідних нанопокриттів на матеріалі  $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$ .

Була досліджена можливість створення високоентропійних карбідних покриттів на композитному матеріалі  $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$ , розглядалася можливість нанесення карбідів гафнію, цирконію, молібдену, вольфраму, ітрію та нікелю. Для цього на основі спільної задачі теплопровідності та термопружності визначався обсяг зерна та глибини його залягання для розглянутих елементів. Отримання карбідів вимагає подачі іонів вуглецю, які можна отримувати безпосередньо з вуглецевого електрода при використанні магнетрону або з газів, що містять вуглець. Для вуглецю залежності обсягу зерна (рис. 1, а), мінімальної (рис. 1, б) та максимальної (рис. 1, в) глибин залягання дозволяють отримати просторову картину утворення зерна у зоні дії іона вуглецю. Видно, що нано-зерно може бути отримано при енергіях іонів від 200 до 2000 еВ, тоді як поблизу 20 КеВ ймовірність його утворення невисока, а при зарядових числах 2 та 3 взагалі неможлива. Діапазон мінімальних глибин залягання становить величини  $2,49 \cdot 10^{-9} \dots 1,31 \cdot 10^{-7}$  м, а максимальні –  $4,51 \cdot 10^{-9} \dots 1,42 \cdot 10^{-7}$  м (рис. 1). Видно, що в цьому випадку досягається максимальна глибина зони, де утворюється зерно, збільшується практично до десятка мікрометрів, що в останньому випадку утворює субмікрозерно.

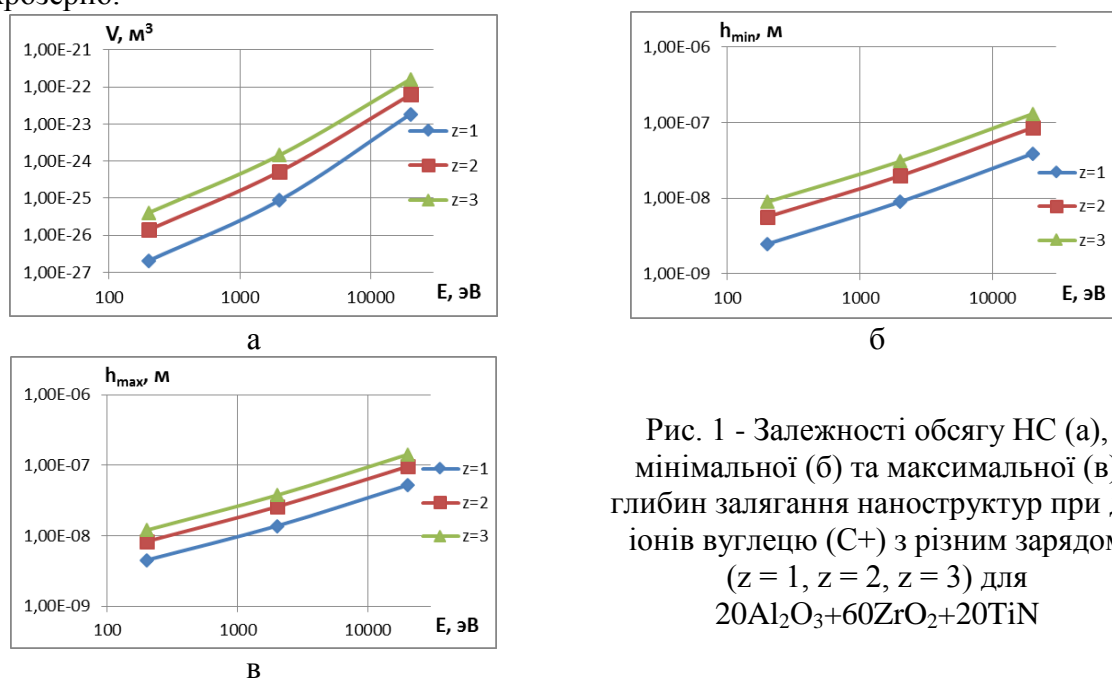


Рис. 1 - Залежності обсягу НС (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибин залягання наноструктур при дії іонів вуглецю (C<sup>+</sup>) з різним зарядом (z = 1, z = 2, z = 3) для  $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

Надалі в залежності від того, яку послідовність шарів ми хочемо отримати, виходячи з адгезійних [2] та міцнісних [3] характеристик покриття, ми вибираємо поверхневий шар покриття та їх чергування.

При проектуванні високоентропійних покриттів елементів в з'єднанні повинно бути принаймні 5 та більше і, крім того, їх атомні концентрації повинні бути від 5 до 30%. Більш висока конфігураційна ентропія досягається при наявності в складі не менше п'яти елементів оскільки збільшення кількості компонентів збільшує ентропію і найкращим чином пояснює ефект високої ентропії який є важливим фактором для проектування високоентропійних з'єднань. Для виконання умови високоентропійності визначаємо частку гафнію, бере участь у процесі з урахуванням вимоги, щоб цирконію було не більше 30%, а потім оцінюємо інтенсивність імпульсів напруги на випарники з катодом ЦГ 20 та частку інших компонентів, для яких необхідно мати один катод двокомпонентний, із співвідношенням компонентів 50%/50%, і два випарники з однокомпонентними катодами (причому об'єднуючи у двокомпонентному катоді елементи з близькими парціальними тисками при однакових температурах).

Далі розглядаємо (залежно від обраної послідовності шарів, перший шар – зовнішній, для нього вибираємо діапазон глибин: мінімальний та максимальний, а також розмір зерна. Другим по глибині буде шар зі з'єднань, елементів або інтерметалідів) в залежності від характеру роботи різального інструменту (PI): якщо PI працює з ударною навантаженням, то другий шар повинен бути з чистого металу (інтерметалідний) або з'єднання демпфує деформацію першого шару. Наступні шари можуть бути з хімічних з'єднань.

На рис. 2 для іонів гафнію представлені всі три залежності. Видно, що об'єм, відповідний НС реалізується до енергії іонів близько 700-800 еВ і глибини: для мінімальної  $9,91 \cdot 10^{-10} \dots 5,67 \cdot 10^{-8}$  м; для максимальної –  $3,17 \cdot 10^{-9} \dots 6,63 \cdot 10^{-8}$  м. Видно, що із зростанням маси іона обсяги наноструктур (НС) та глибини їх залягання суттєво зменшуються. Ця тенденція простежується практично для всіх розглянутих іонів

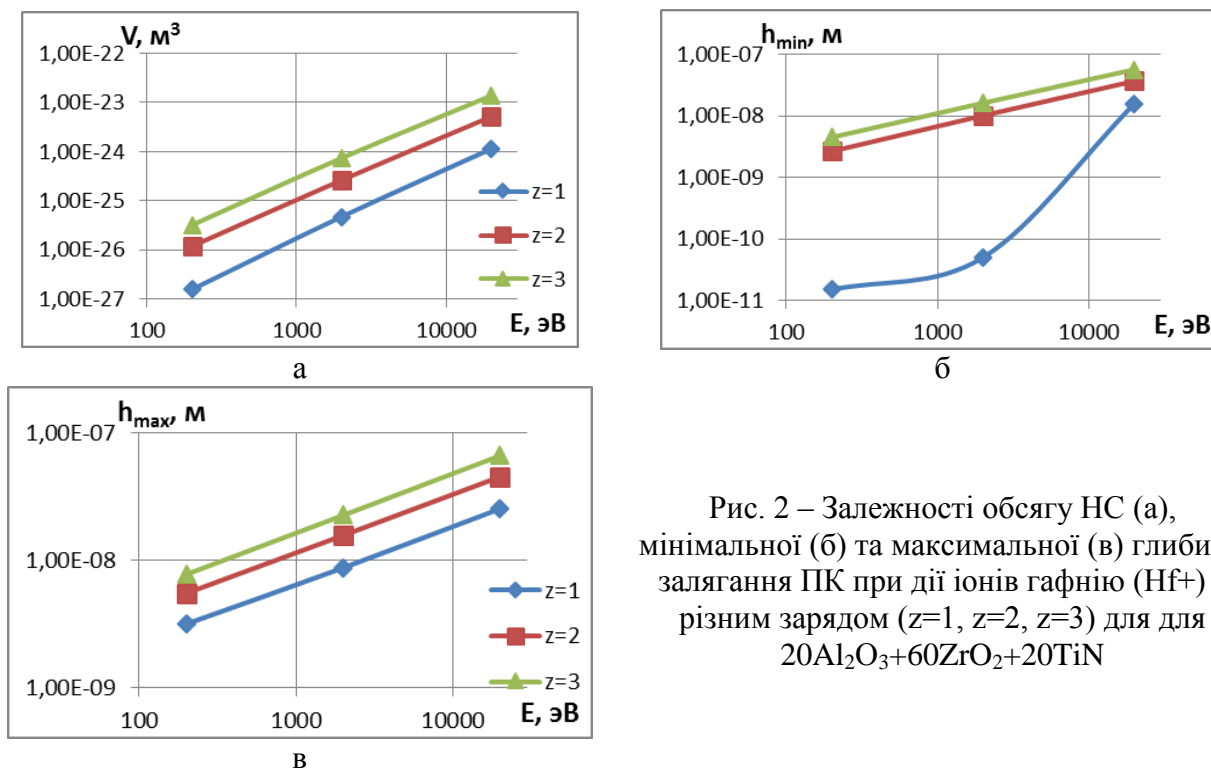


Рис. 2 – Залежності обсягу НС (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання ПК при дії іонів гафнію (Hf+) з різним зарядом (z=1, z=2, z=3) для для  $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$

Далі представлені залежності обсягу, мінімальної та максимальної глибин залягання для (Zr+) (рис. 3), (Mo+) (рис. 4), (W+) (рис. 5), (Y+) (рис. 6), (Ni+) (рис. 7) на основі яких отримаємо, що практично для всіх досліджуваних енергій реалізуються НС.

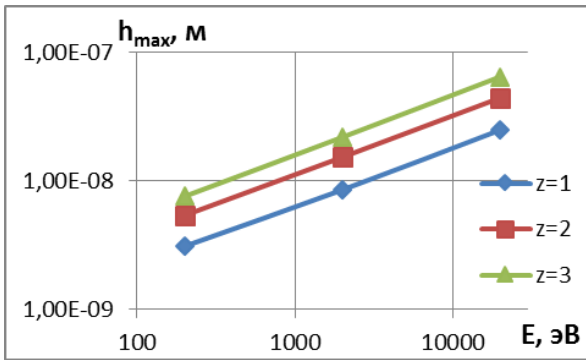
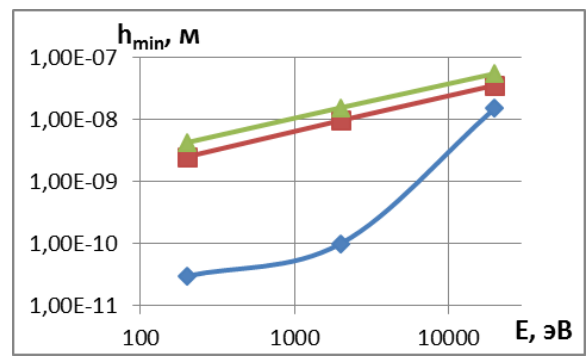
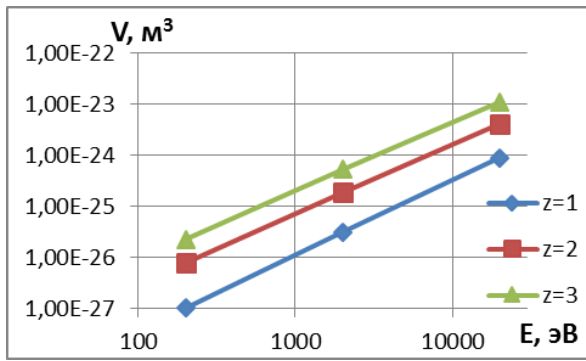


Рис. 3. - Залежності обсягу НС (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НС при дії іонів цирконію ( $Zr^{+}$ ) з різним зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для  $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$

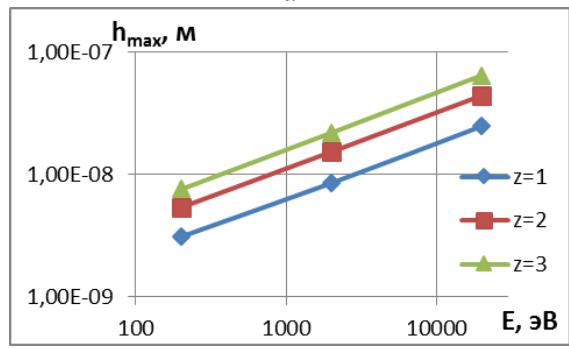
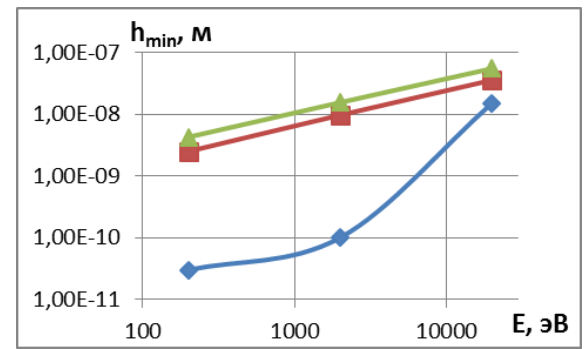
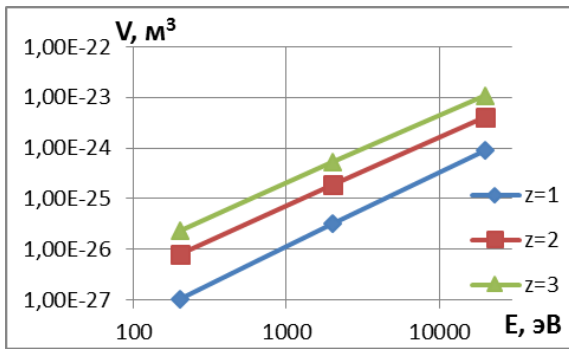


Рис. 4 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов молибдена ( $Mo^{+}$ ) с различным зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для  $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$

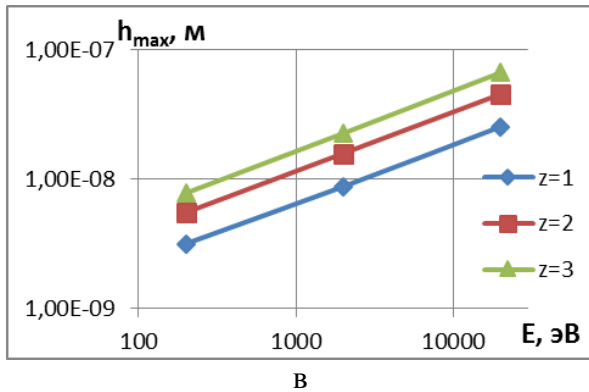
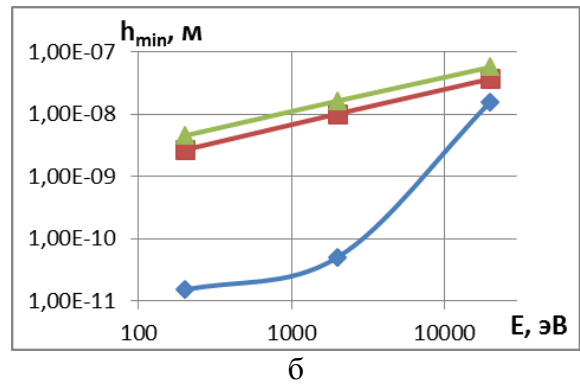
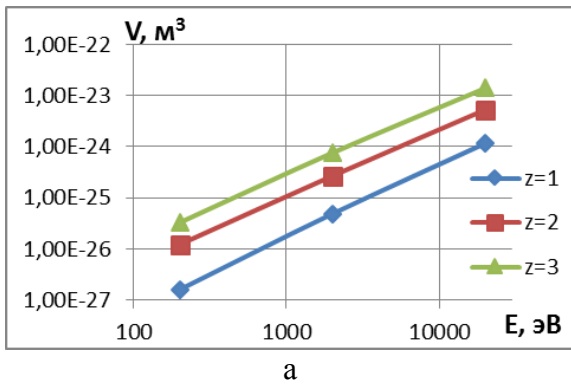


Рис. 5 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов вольфрама (W+) с различным зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для  $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$

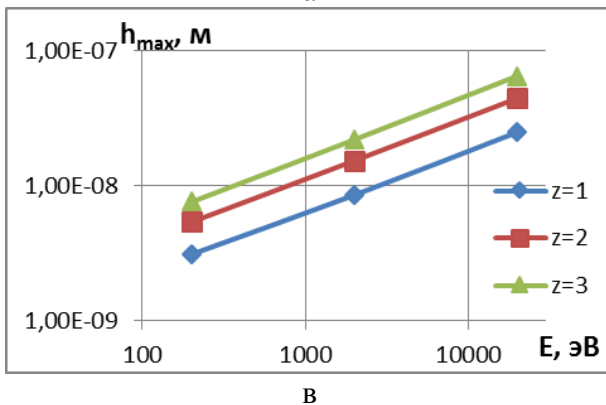
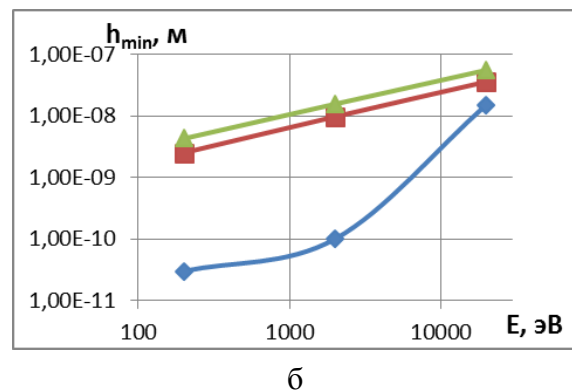
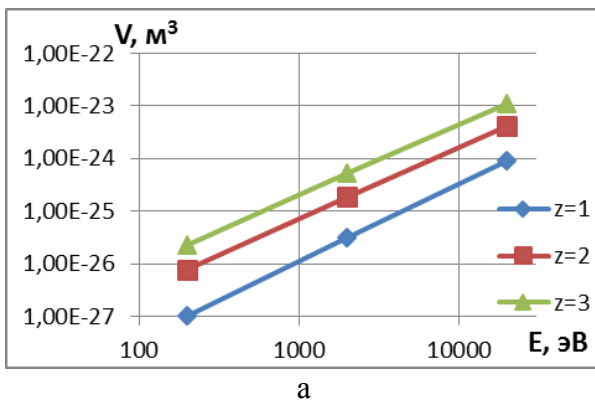


Рис. 6 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов иттрия (Y+) с различным зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для  $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$

Зі збільшенням маси іона зменшуються мінімальна та максимальна глибини залягання зерна, а також трохи зменшуються обсяги зерна. Зона енергії, де можливе отримання наноструктур, збільшується, що позитивно позначається на фізико-механічні характеристики покриття, яке при наноструктурному зерні має велику мікротвердість, межу плинності, межу міцності, підвищується також корозійна стійкість, причому збільшується здатність сприймати ударні навантаження за рахунок зниження модуля пружності. Це дозволяє



витримувати високі навантаження у зоні пружності, тобто при великих деформаціях ми маємо невисоку напругу.

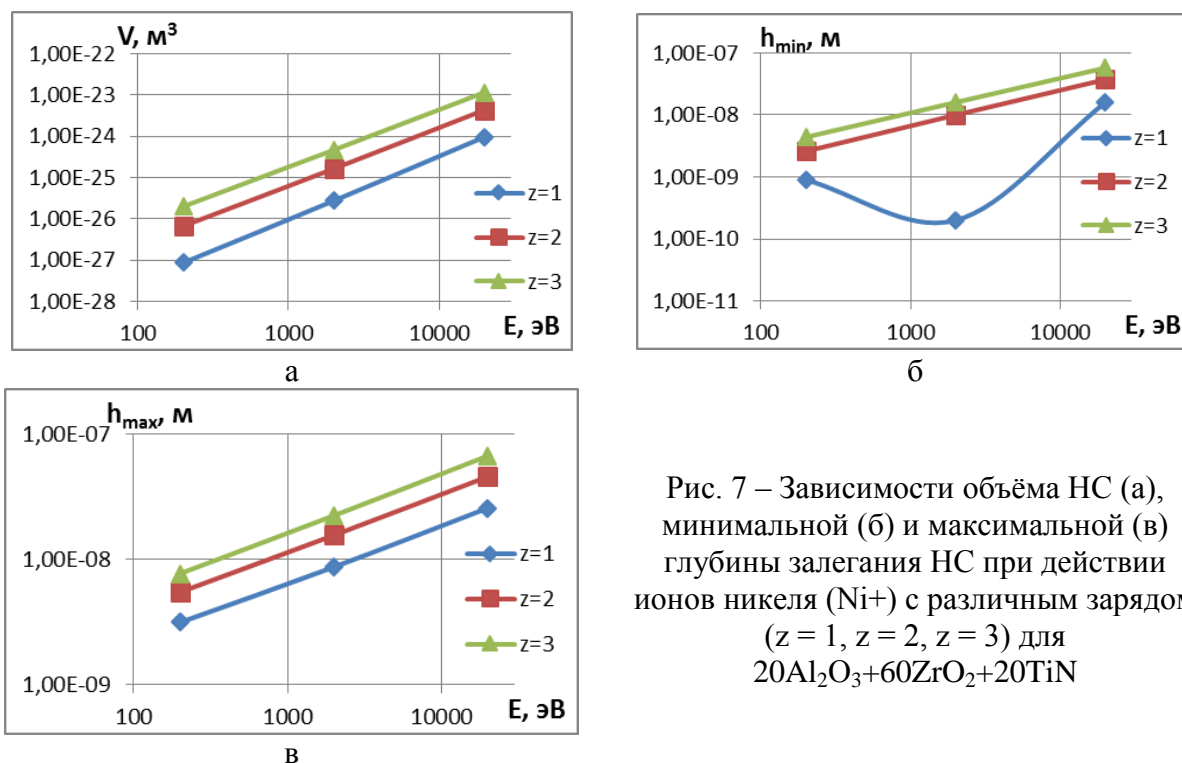


Рис. 7 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов никеля ( $\text{Ni}^+$ ) с различным зарядом ( $z = 1, z = 2, z = 3$ ) для  $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

Ми розглянули можливість отримання карбідів з урахуванням просторового характеру дії основних металів. Реалізувати високо-ентропійне покриття з 6-ма металами можна в установці Булат 6, використовуючи чотири випарники, в двох з яких будуть катоди з чистих металів, а в решті 2-х – двокомпонентні катоди. Ось так, наприклад, якщо один із катодів буде з ЦГ20 (20%Нf+80%Zr), щоб забезпечити отримання високоентропійного покриття необхідно, наприклад, щоб гафнію було 7,5%, а цирконію 30 % – максимально можлива кількість одного компонента у високоентропійному покритті. Тоді розрахунки показують, що інші елементи повинні складати 15,6225 % як у 2-х однокомпонентних катодах, так і в 2х компонентному катоді.

Розглянуто теоретичне отримання високоентропійного карбідного нанопокриття з 6-ма металами з урахуванням просторового характеру дії основних металів.

### Список використаних джерел

1. Костюк, Г. І. Ефективний різальний інструмент з нанопокриттями та наноструктурними модифікованими шарами: монографія-справ. у 2 кн. Кн.1. Плазмово-іонні та іонно-променеві технології/Г.І. Костюк – Харків: «ПланетаПринт», 2016. – 735 с.
2. Костюк, Г. І. Нанотехнології: вибір технологічних параметрів та установок, продуктивність обробки, фізико-механічні характеристики наноструктур: монографія/Г. І. Костюк. - Київ: Вид. центр Міжнар. академії наук та інновацій. технологій, 2014. - 472 с.
3. Костюк, Г. І. Нанотехнології: теорія, експеримент, техніка, перспективи: монографія/Г. І. Костюк. - Київ: Вид. центр Міжнар. академії наук та інновацій. технологій, 2012. - 648 с.
4. Костюк, Г. І. Наноструктури та нанопокриття: перспективи та реальність: навч. посіб. / Г. І. Костюк. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2009. - 406 с.

Науковий керівник д-р.техн.наук, професор Сисоєв Ю.О.

## ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУР У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК8

<sup>1</sup>Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

Використання іонізуючого випромінювання для отримання наноструктурних та субмікроструктурних шарів на алюмінієвих сплавах потребує визначення необхідних технологічних параметрів [1]. Було проведено теоретичне дослідження іонізуючого випромінювання на алюмінієвий сплав АК8 за моделлю запропонованою у [2]. При вирішенні завдання визначались не тільки теплопровідності, а й термоджоржності у зоні дії іонізуючого випромінювання. Вирішення цих двох питань дозволило сформуваи температурні поля та температурні напруження в зоні дії лазерної плями.

Завдяки температурному діапазону, отриманому за розрахованими температурними полями, було визначено глибини алюмінієвого сплаву де будуть виконуватись умови для створення наноструктур [3] можуть реалізовуватись наноструктури. А для оцінки їх можливого розміру було побудовано залежність обсягу нанокластеру від щільності теплового потоку в діапазоні від  $10^7$  до  $10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup> та часу його дії в діапазоні від  $10^{-9}$  с до  $10^{-3}$  с. Також були проведені дослідження впливу розмірів плями лазерного випромінювання на поверхні матеріалу показали на формування наноструктур які показали, що при дії плями розміром до  $10^{-3}$  м можливість реалізації наноструктур суттєво знижується, тоді як зниження розміру плями до  $10^{-4}$  м призводить до суттєвого підвищення можливості реалізації наноструктури. Було побудовано залежності максимальної температури в зоні опромінення від щільності теплового потоку і часу його дії, що дає можливість швидкої оцінки можливості отримання наноструктур.

Проведені вище теоретичні дослідження дозволяють оцінити обсяг нанокластерів, що будуть реалізовуватись при дії заданого іонізуючого випромінювання. В свою чергу за знайденими розмірами нанокластерів можна спрогнозувати фізико-механічні характеристики поверхневого шару алюмінієвого сплаву.

### Список використаних джерел

2. Kostyuk, G. I. Experimental study of the flat details temperature fields at the laser beam motion and nanostructures formation [Text] / G.I. Kostyuk, Yu. V. Shirokiy // Proceedings of XIII international conference on modern achievements of science and education September 6-13 2018. – Netanya (Israel), 2018. – P.78-80.

3. Prospects for producing nanostructures in the volume of parts under the action of plasma flows [Text] / G. Kostyuk, O. Melkozirova, E. Kostyuk, I. Shirokiy // Різання та інструменти в технологічних системах. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2020. – No. 92. – P. 107-121.

4. Kostyuk, G. Determination of Technological Parameters for Obtaining Nanostructures under Pulse Laser Radiation on Steel of Drone Engine Parts, [Text]/ G. Kostyuk, M. Nechyporuk and K. Kostyuk, // «2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies» (DESSERT). – 2019. – P. 208-212.

**Yurii Shyrokyi**, PhD, Prof  
i.shyrokyi@khai.edu  
**Gohar Torosyan**, PhD student  
goarita88@gmail.com  
**Olena Torosyan**, assistant  
o.tarasyan@khai.edu

## THE EFFICIENCY OF USING GRAPHITE ELECTRODES NECESSARY FOR THE FORMATION OF NANOSTRUCTURES IN A PLASMA ENVIRONMENT

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Ukraine

As it was shown in works [1, 2], the main erosion processes during the passage of a discharge in various environments are realized mainly in electrode spots. Therefore, we will begin the formation of the model of erosion processes on the electrodes by considering the processes in the electrode spots. We will begin the study of erosion processes during the formation of nanostructures by considering the sources and drains of heat in the electrode spots, after which we will analyze the calculation results. It is most convenient to model thermal processes using the heat balance equation.

During experimental studies of erosion of metal electrodes, emissions of liquid metal in the form of drops are observed in almost all modes of discharge with an electrode spot [3].

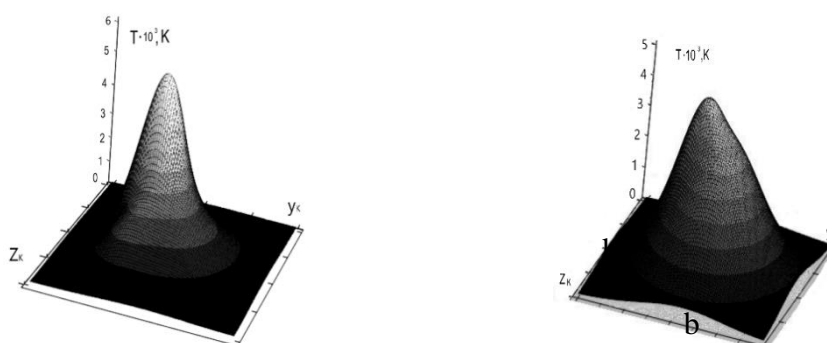


Figure 1 – Temperature fields for static a and moving b spots of the cathode

According to the above model and algorithm, calculations were made for electrodes under the technological conditions necessary for the formation of nanostructures [1, 3]. As a result of theoretical calculations, the temperature fields near the moving and stationary spots were obtained (Fig. 1, a, b).

### References

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. 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. – C. 62–76.

## CREATION OF A MODEL OF EROSION PROCESSES IN ELECTRODE SPOTS DURING VACUUM DISCHARGE

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Ukraine

In works [1, 2], calculations were performed for different current densities of  $10^{10} \dots 10^{12}$  A/m<sup>2</sup> and for different spot movement speeds of  $1 \dots 0.5 \cdot 10^2$  m/c. As can be seen from the dependences for the anode, when the density (Figs. 1, 2) is less than  $10^{10}$  A/m<sup>2</sup>, there are no breaks in the erosion coefficient, but at  $10^{11}$  A/m<sup>2</sup>, breaks of a finite value appear, which indicates the emission of material clusters.

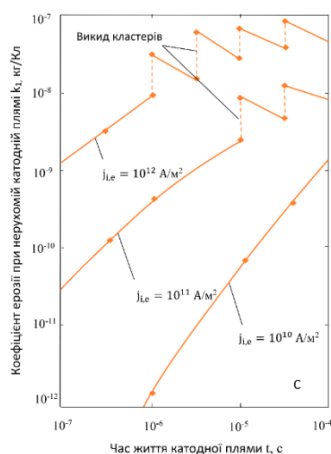


Figure 1 – Graph of the dependence of the erosion coefficient on the lifetime of a fixed spot on the cathode

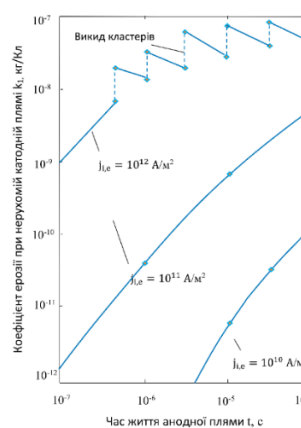


Figure 2 – Graph of the dependence of the erosion coefficient on the life time of a fixed spot on the anode

The dependence of a significant decrease in the erosion coefficient with an increase in the rate of stains was determined. The obtained theoretical values of the current density coincide in order with the known experimental values [1,2]. All this testifies to the adequacy of the model and the possibility of using it to determine the critical values of the technological parameters of other electrode materials.

### References

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. 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. – C. 62–76.
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. – C. 62–76.

## 8. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

УДК656

**Благініна В.С.**, бакалавр  
v.s.blaginina@student.khai.edu  
**Степаненко Д.Р.**, асистент  
d.stepanenko@khai.edu

### ОРГАНІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ВАНТАЖІВ НА СКЛАДІ

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

Універсальним засобом комплексної автоматизації виробничих процесів є промислові роботи. Застосування промислових роботів є найбільш ефективним в умовах частой зміни об'єкт виробництва, а також для автоматизації ручної низько кваліфікованої і монотонної праці.

Основне завдання логістики – це скорочення термінів проходження товарів по товаропровідних каналах та мінімізація витрат на всьому шляху руху товарних потоків за максимального рівня обслуговування посередників та кінцевих споживачів. Для прискорення руху та зменшення кількості помилок використовують мобільні роботи. В даній роботі пропонується розробити SMART – ROBOT, який призначений для значного підвищення ефективності виробництва та операцій логістики на складі.

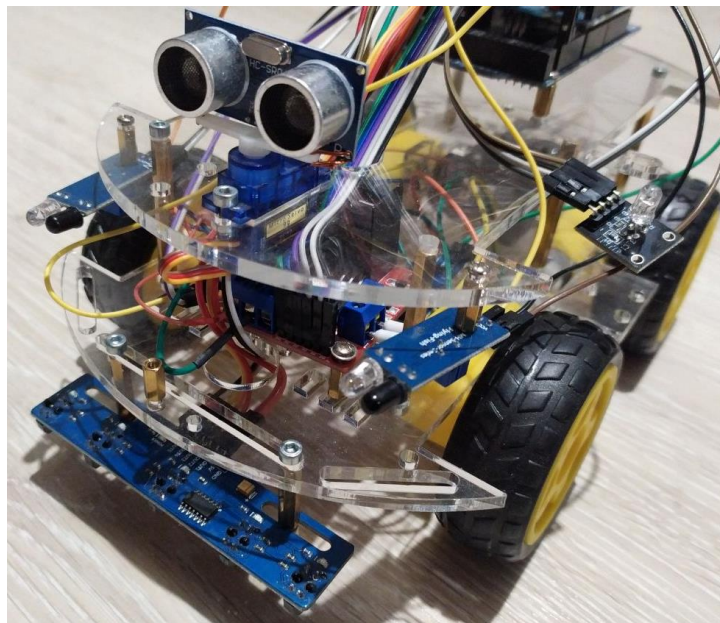


Рисунок 1 – Автоматизований керуючий Smart – Robot

Для досягнення мети розроблена конструкція Smart – Robot та підібране обладнання, яке дає можливість відстежувати маршрут по лінії та виконувати автоматичне переміщення вантажу. Для запобігання наїзду на перешкоди під час руху в конструкцію запропоновано вмонтувати дальномір для виявлення перешкод. Для Smart – Robot запропонований алгоритм автономної роботи який враховує переміщення по лінії та наявність перешкод попереду робота.

В даній роботі запропоновано автоматизований процес розподілу товару на складі SMART – ROBOT, що підвищує швидкість роботи на складі та дозволяє економити час на відправку товару. Розроблений алгоритм системи управління роботом та проведено моделювання на макеті.

## ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИЙОМУ, ЗБЕРІГАННЮ ТА ВІДПУСКУ АПТЕЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА СКЛАДІ

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

Аптечні роботи являють собою спеціальне обладнання з програмним забезпеченням, яке призначене для оптимізації зберігання, швидкого пошуку та видачі лікарських засобів споживачеві або на робоче місце фармацевтичного працівника.

Промислова робототехніка являє собою галузь сучасного виробництва, яка займається розробкою та виробництвом промислових роботів-маніпуляторів та систем, спрямованих на автоматизацію виробничих процесів та заміну ручної праці механічною. Сучасні роботи рентабельні навіть для невеликих організацій, оскільки покращують умови праці, підвищують продуктивність і якість продукції, що випускається. Витрати ними швидко окупаються.

Аптечні роботи уявляють собою спеціальне обладнання з програмним забезпеченням, призначене для оптимізації зберігання, швидкого пошуку та видачі лікарських засобів споживачеві або на робоче місце фармацевтичного працівника. В даний час роботизовані системи використовуються в аптеках, що обслуговують населення, в лікарняних аптеках, на аптечних складах.

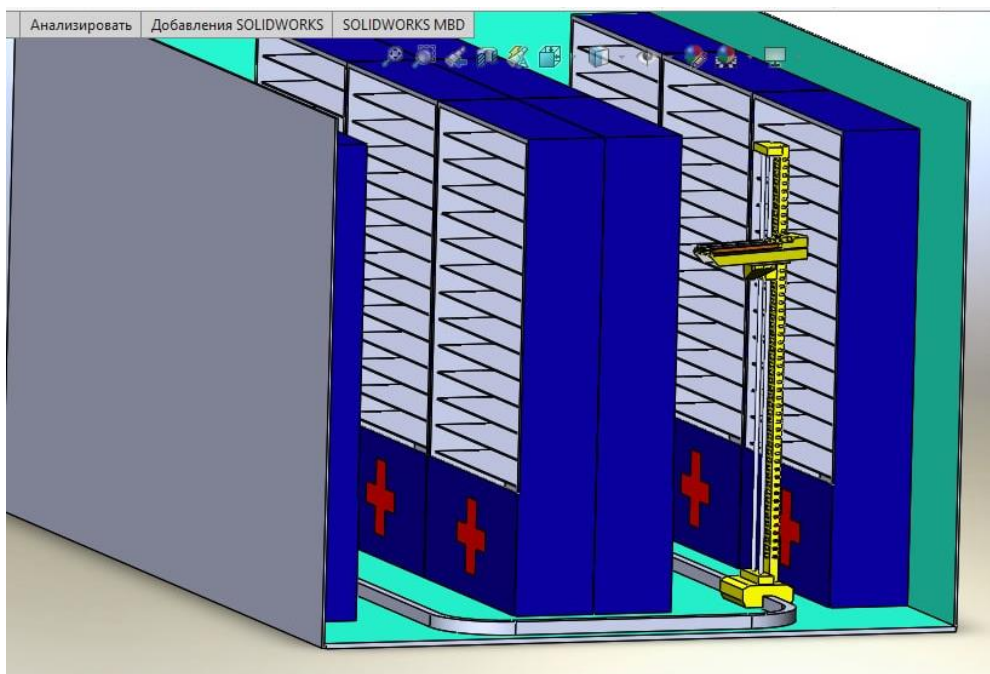


Рисунок – 3D модель аптечного роботу у середовищі SolidWorks

Для покращення роботи складу створили модель аптечного робота, який заповнює полиці на складі. Розробили систему керування та алгоритм роботи складського робота, що дає можливість прискорити процес розподілення товару для зберігання чи його видачі.

## 9. СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОНОМІКИ ПІДПРИЄМСТВА

УДК 621.73.06

Харченко М.В., к.е.н.  
atlanta1680@gmail.com

### ЛОГІСТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ ПІДПРИЄМСТВА

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ, Україна

Перспективи розвитку підприємства в умовах посилення конкуренції та зниження норми прибутку значною мірою залежать від поведінки витрат та управління ними.

Витрати – це загальноекономічна категорія, яка характеризує використання різних речовин і сил природи в процесі господарювання. Під економічними розуміють «витрати втрачених можливостей», тобто суму грошей, яку можна отримати при найбільш вигідному із усіх можливих альтернативних варіантів використання ресурсів. Таким чином, економічні витрати будь-якого ресурсу, обраного для виробництва продукції, дорівнюють його вартості за найкращого з усіх можливих варіантів використання. Поняття економічних витрат зумовлене обмеженістю ресурсів порівняно з кількістю варіантів їх використання. З бухгалтерської точки зору, витрати – це тільки конкретні витрати ресурсів [1].

Існує два основоположні підходи до визначення сутності витрат. Перший базується на розумінні господарської діяльності з позиції трудової теорії вартості, яка передбачає взаємодію у процесі виробництва трьох основних факторів (робочої сили, предметів праці та засобів праці) з відповідною інтерпретацією поняття вартості, її складових і структури. Типовим положенням витрат виробництва за даного підходу є таке: витрати – це затрати живої праці на виробництво продукції.

Другий підхід базується на ресурсному розумінні природи господарства, передбачаючи обмеженість всіх видів ресурсів і альтернативність варіантів застосування, та по-своєму визначає сутність вартості та її складових елементів.

Місце і роль витрат розглядається та розкривається в прикладному аспекті як складовий елемент ціни, що формується під дією сукупності факторів у системі функціонування ринку на основі зміни попиту та пропозиції.

Витрати підприємства є комплексним показником, в якому при плануванні повинна бути відображена велика кількість факторів, які впливають на його рівень. Всі чинники поділяються на внутрішні і зовнішні.

До основних зовнішніх факторів належать: зміна цін на матеріали, напівфабрикати, інструмент, паливо, енергію, які підприємство одержує від сторонніх організацій; зміна встановлених розмірів мінімальної заробітної плати, а також різного роду обов'язкових внесків, відрахувань і нарахувань на заробітну плату (наприклад, соціальне страхування); зміна тарифів на перевіз вантажів та інші.

Основними внутрішніми факторами є: зміна продуктивності праці; зміна трудоемності; зміна матеріалоємності продукції; ліквідація втрат від браку та інші [2].

Оцінка і контроль виробничої діяльності підприємства тісно пов'язані з аналізом витрат на виробництво продукції, робіт, послуг як загалом, так і за окремими видами. Згідно з основним положенням про склад витрат на виробництво, собівартість продукції (робіт, послуг) підприємства формується з витрат, пов'язаних з використанням у процесі виробництва природних ресурсів, сировини, матеріалів, палива, енергії, основних фондів, нематеріальних активів, трудових ресурсів, а також інших витрат на її виробництво [2].

Методологічні засади формування в бухгалтерському обліку інформації про витрати підприємства та її розкриття у фінансовій звітності вимагає Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 3 «Звіт про фінансові результати» і 16 «Витрати». Відповідно до П(С)БО під витратами розуміють зменшення економічних вигод внаслідок вибуття активів або збільшення зобов'язань, які призводять до зменшення власного капіталу (за винятком зменшення капіталу за рахунок його вилучення або розподілення власниками).

У бухгалтерському обліку витрати відображаються при дотриманні певних умов. Витрати визнаються витратами певного періоду одночасно з визнанням доходу, для отримання якого їх здійснено. Це відповідає принципам Міжнародних стандартів фінансової звітності та застосовуваному в національних стандартах принципу нарахування та відповідності доходів і витрат. Якщо витрати неможливо прямо пов'язати з доходами певного періоду, вони відображаються в складі витрат того звітного періоду, в якому їх було здійснено.

Нормами П(С)БО 16 суворо регламентуються умови визнання витрат підприємства (рис. 1).

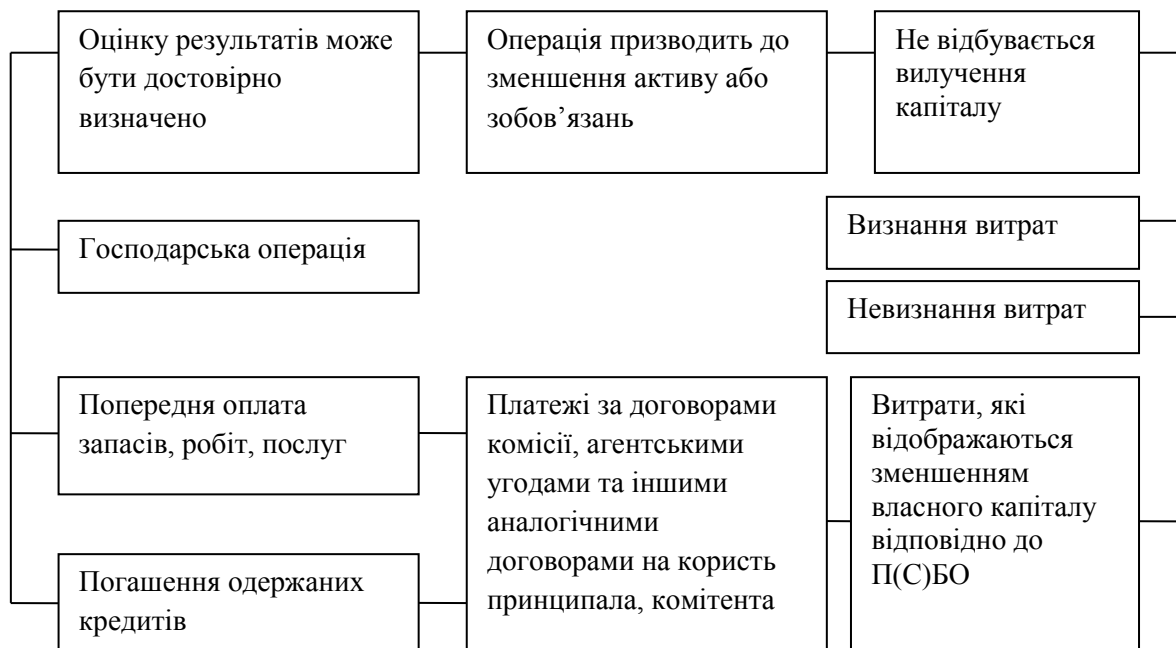


Рисунок 1 – Визнання витрат відповідно до П(С)БО 16

Отже, витрати визнаються за таких умов:

1. Зменшення активів або збільшення зобов'язань, яке призводить до зменшення власного капіталу підприємства (крім зменшення капіталу за рахунок його вилучення або розподілу власниками).

2. Визнання на підставі систематичного і раціонального розподілу економічних вигод, які забезпечує актив протягом декількох звітних періодів.

3. негайне визнання, якщо економічні вигоди не відповідають або перестають відповідати критеріям активів підприємства.

4. Можлива достовірна оцінка суми витрат. Дотримання цієї умови означає, що оцінка витрат відбувається на підставі положень національних стандартів і документально підтверджена.

Витрати підприємства відрізняються за складом, економічним призначенням, залежністю від обсягів виробництва тощо.

Класифікація витрат потрібна для визначення вартості продукції та відповідно для ціноутворення; для визначення собівартості продукції, тобто локальних витрат. Велике значення має класифікація витрат в управлінні ними і перш за все здійснення калькуляції собівартості продукції для різних потреб управління.

Облік витрат і калькуляція собівартості продукції - це одна з найважливіших функцій управління витратами, саме собівартість виробництва одиниці продукції є основою для ухвалення великої кількості управлінських рішень, таких як: випуск якої продукції продовжувати або припинити; виготовляти або купувати комплектуючі вироби; яку встановити ціну на продукцію; чи купувати нове обладнання; чи міняти технологію і організацію виробництва.

Як відомо, управління витратами покликане досягати наміченої мети через свої функції. У кожній функції є своє призначення, мета, задачі, а також методи, прийоми і



способи їх досягнення. У зв'язку з цим пропонується розширені напрями класифікації витрат, підпорядковані до можливостей кожної функції управління витратами. При цьому необхідно мати на увазі, що одна і та ж класифікаційна ознака в різних напрямках може дати різний результат, і навпаки (табл.1).

Таблиця 1 – Класифікація витрат

Ознаки класифікації	Групи
За відношенням до виробничого процесу	Основні Накладні
За відношенням до обсягів виробництва	Умовно постійні Умовно змінні
За єдністю складу	Однoeлементні Комплексні
За способом віднесення на собівартість окремих видів виробництва	Прямі Непрямі
За доцільністю	Продуктивні Непродуктивні
За календарним періодом	Поточні: циклічні і безперервні Довгострокові Одноразові
За економічними елементами	Матеріальні На оплату праці Відрахування на соціальні заходи Амортизація Інші операційні витрати
За статтями калькуляції	Підприємство самостійно обирає статті калькуляції
За видами діяльності	Звичайної діяльності (операційної, фінансової, інвестиційної) Надзвичайної діяльності
За об'єктом формування	Сукупні (загальні) На одиницю продукції
За методикою обчислення	Середні на одиницю продукції Граничні на одиницю продукції
За можливістю впливу на величину витрат	Регульовані Нерегульовані
За обґрунтуванням господарських рішень	Явні Неявні Релевантні Нерелевантні

У зв'язку з цим, можна надати висновок, що основні витрати у будь-якому виробництві складають найважливішу частину витрат. До них належать витрати, безпосередньо пов'язані з виробничим (технологічним) процесом виготовлення продукції, виконання робіт чи надання послуг.

Накладні витрати пов'язані з організацією, обслуговуванням виробництва та управлінням ним. Величина цих витрат залежить від структури управління підрозділами, цехами й підприємством.

### Список використаних джерел

1. Гюлев Н. У. Конспект лекцій з курсу «Логістичний менеджмент»; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 52 с.
2. О. Біловодська Логістика. Теорія та практика, Центр навчальної літератури, 2015. – 256 с.

**Рибка К. О.**, канд. техн. наук, доц.  
xenoidzap@gmail.com

**Сломчинський О. В.**, канд. техн. наук  
ovs1228@gmail.com

**Коновалова О. В.**, асист.  
o.konovalova@khai.edu

## **МОДЕЛЮВАННЯ АКТУАЛЬНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СПЕЦІАЛІСТІВ, ЯКІ НЕОБХІДНІ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ КРАЇНИ**

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

Для відновлення економіки країни у післявоєнний період, необхідно за короткий час, підготувати спеціалістів з потрібними актуальними компетентностями. Тривала підготовка спеціалістів не відповідає сучасним вимогам щодо швидкого відновлення високотехнологічних підприємств. У післявоєнний період для виконання наукоємних замовлень промисловості необхідно сформувавши набір знань та навичок у профілі спеціалістів, які відповідають вимогам технічного завдання в плануємому проекті щодо створення наукоємної продукції. Тому актуальна тема доповіді, в якій досліджуються компетентності для виконання нових замовлень, невідповідність яких потребним аналізується у наборі компетентностей спеціаліста, якого підготує ЗВО. Вимоги проекту можна задовольнити шляхом перепідготовки спеціалістів а також додаткової підготовки старшокурсників ЗВО (наприклад, дуальна форма освіти) [1]. Для проведення додаткової підготовки (перепідготовки) спеціалістів необхідно витратити час, фінанси підприємства та, якщо можливо, набрати додатково відсутніх спеціалістів. Рішення цієї складної та актуальної задачі прискореної підготовки (перепідготовки) спеціалістів, необхідних для відновлення економіки, пропонується провести у декілька етапів. На першому етапі визначається набір компетентностей у профілі спеціаліста, необхідних для виконання нових замовлень. Для цього використовується думка фахівців а також проводиться аналіз вимог технічних завдань у проектах зі створення нової техніки. Виявляються невідповідності компетентностей спеціалістів до вимог нового проекту. На другому етапі формується та вирішується задача мінімізації строків підготовки (перепідготовки) спеціалістів з урахуванням обмежених можливостей підприємства, а також з урахуванням можливих ризиків, які виникають при підготовці (перепідготовці) спеціалістів. При вирішенні цієї задачі мінімізуються невідповідності між компетентностями та вимогами проектів підприємства. На третьому етапі здійснюється вирішення задачі підготовки спеціалістів з урахуванням протиріччя критеріїв часу та витрат. Запропонований підхід доцільно використовувати для формування планів підготовки (перепідготовки) спеціалістів для виконання нових наукоємних замовлень підприємством в умовах відновлення економіки країни [2].

### **Список використаних джерел**

1. Dual education as a bridge between theoretical and practical knowledge [Text] / O. Fedorovych, N. Kunanets, Yu. Leshchenko, N. Veretennikova // The 1-st International Workshop IT Project Management (ITPM 2020), CEUR Workshop Proceedings, 18-20 February 2020. – Slavsko, Lviv region, Ukrain, 2020. – Vol. 2565. – P. 295-306.

2. Федорович, О. Є. Дуальна освіта як прогресивна форма якісної підготовки фахівців для інноваційного виробництва аерокосмічної техніки [Текст] / О. Є. Федорович, Ю. О. Лещенко, К. О. Западня // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2020. – № 1(161). – С. 42-49. DOI: 10.32620/akt.2020.1.07.

**Матеріали Тридцять другої всеукраїнської конференції  
«Нові технології в машинобудуванні»**

Рекомендовано до друку рішенням Науково-технічної ради Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» протокол № 04 від 20.07.2022

Відповідальний за випуск к.т.н. Руденко Н.В.

ТОВ «Планета-Прінт» 61002, м. Харків, вул. Багалія, 16  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
Серія ДК № 4568 від 17.06.2013 р.

Підписано до друку 20.07.2022  
Формат 60x84 1/16. Папір офс. Офс. друк  
Ум. друк. арк. 4. Обл.-вид. арк. 5. Наклад 50 пр.  
Обл.-вид. арк. 9. Наклад 50 пр.  
Замовлення 200701

Друк ФОП Черняк Л.О., м. Харків, вул. Багалія, 16

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
61070, м. Харків, вул. Чкалова, 17