

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Дослідження роботи дискового механізму періодичної дії
аналітичним методом»

Виконав: студент VI курсу групи Маш-61

Спеціальності 133 «Галузево
машинобудування»

(шифр і назва)

Роман ВОЙТОВИЧ
(Ім'я та прізвище)

Керівник: Сергій БАРАНОВИЧ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.
“28” лютого 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Войтовичу Роману Олеговичу

1. Тема роботи: «Дослідження роботи дискового механізму періодичної дії аналітичним методом»

Керівник роботи: Баранович Сергій Миколайович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/к-с.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 5.12.2025 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів роботи, будови і експлуатації дискових механізмів періодичної дії; матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення у виробництво.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Конструкції дискових механізмів періодичної дії та їх характеристики;
2. Основні принципи теорії проектування дискових механізмів періодичної дії;
3. Дослідження дискового механізму періодичної дії;
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;
5. Техніко-економічна оцінка результатів дослідження;
- Висновки і пропозиції;
- Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Баранович С.М. к.т.н., доцент кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Дискові механізми періодичної дії»</i>	28.02.25-28.03.25	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Теоретичні основи розрахунку дискового механізму періодичної дії»</i>	31.03.25-2.05.25	
3.	<i>Виконання розділу: «Аналітичне дослідження дискового механізму періодичної дії»</i>	5.05.25-28.06.25	
4.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	1.09.25-3.10.25	
5.	<i>Виконання розділу: «Техніко-економічна оцінка результатів дослідження»</i>	31.10.25-7.11.25	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	10.11.25-5.12.25	

Студент _____ Роман ВОЙТОВИЧ
(підпис)

Керівник роботи _____ Сергій БАРАНОВИЧ
(підпис)

УДК 621.8

Дослідження роботи дискового механізму періодичної дії аналітичним методом.

Войтович Роман Олегович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2025. 55с. текст. част., 13 рис., 3 табл., 20 джерел.

У даній кваліфікаційній роботі проаналізовано літературні джерела щодо досліджень дискового механізму періодичної дії, встановлено що значна частина робіт зосереджена на загальних питаннях кінематики механізму, тоді як структурна оптимізація його геометрії та підвищення ресурсу вузлів на основі сучасних інтегрованих САПР-середовищ висвітлена недостатньо. Тому, доцільність впровадження такого дослідження є перспективою розвитку даної спеціальності, оскільки вимоги сучасних машин, технологічних ліній та автоматів є надзвичайно високими.

Встановлено що поєднання розрахункових даних і графічного аналізу дає змогу визначити, наскільки раціональним є використання дискового механізму періодичної дії як приводу в автоматизованих виробничих системах, де важливими є компактність, циклічність руху та висока точність позиціонування.

В розділі охорони праці проаналізовано аварійні і травматичні ситуації, які можуть виникнути під час роботи використання дискових механізмів періодичної дії. Розглянуто заходи щодо захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

В економічній частині даної роботи було проведено оцінку фінансової ефективності використання дискового механізму періодичної дії в верстатах для заміни інструменту.

ЗМІСТ

	ст.
Вступ	7
РОЗДІЛ 1. ДИСКОВІ МЕХАНІЗМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ	9
1.1 Огляд конструкцій дискових механізмів періодичної дії	9
1.2 Використання дискового механізму періодичної дії в техніці та автоматизованих лініях	12
Висновки до розділу	16
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ДИСКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ	20
2.1 Геометричний розрахунок механізму	20
2.2 Кінематичні особливості дискового механізму періодичної дії	21
2.3 Сили та моменти що діють на дисковий механізм періодичної дії	23
Висновки по розділу	25
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ МЕТИ, МЕТОДІВ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ	26
3.1 Мета та методика досліджень дискового механізму періодичної дії	26
3.2 Визначення конструкційних параметрів дискового механізму періодичної дії	27
3.3 Аналітичне дослідження дискового механізму періодичної дії	30
Висновки по розділу	33
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	35
4.1 Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних	

	ситуацій	35
4.2	Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	37
4.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях	40
	Висновки до розділу	43
	РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	45
	Висновки по розділу	50
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	52
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	54

ВСТУП

Дисковий механізм періодичної дії, який також називають мальтійським механізмом, женеvським приводом або Geneva drive, належить до найбільш характерних конструкцій, що забезпечують переривчастий рух. Попри свою зовні просту будову, він відзначається високою точністю та стійкістю роботи, завдяки чому здобув популярність у різних галузях техніки ще у ХІХ столітті. Основою його функціонування є взаємодія ведучого колеса з пальцем та спеціальними прорізами на веденому колесі: коли палець входить у паз, ведене колесо здійснює короткий, але точно визначений поворот, після чого знову фіксується у стані спокою. Такий тип руху є незамінним у механізмах, де необхідна регулярна й повторювана дія із чітким дотриманням циклічності.

Протягом багатьох років дисковий механізм періодичної дії слугував невід'ємною складовою кінопроекторів, годинників та різних автоматичних пристроїв. Однак із розвитком сучасного машинобудування його значення особливо зросло в аграрній сфері. Сільськогосподарська техніка нині активно оснащується системами, що потребують високої точності дозування та чіткої циклічної роботи, тому вимоги до стабільних механізмів переривчастої подачі стають дедалі вищими. У таких умовах функціональні можливості дискового механізму періодичної дії розкриваються найефективніше.

У сільськогосподарських машинах цей тип приводу застосовують для точного та стабільного дозування насіння, добрив, кормів, а також у різноманітних системах сортування й пакування продукції. Його використання дає змогу мінімізувати перевитрати матеріалів, підвищити точність виконання технологічних операцій і загалом підняти продуктивність техніки під час польових робіт. Наприклад, у сучасних сівалках і саджалках дисковий механізм періодичної дії може слугувати приводом для вузлів висівних апаратів, гарантуючи чітке та рівномірне розміщення насіння на потрібних інтервалах. У зерноочисних та сортувальних машинах він забезпечує впорядковане подавання й відбір продукції, що сприяє підвищенню ефективності роботи та якості кінцевого результату.

Поміж практичних характеристик цей тип механізму становить цінність і з позиції інженерії: він показує, що навіть на основі доволі простих кінематичних рішень можна отримати конструкцію з високою точністю та стабільністю роботи. У міру того як точне землеробство та інтелектуальні системи в агротехніці набувають дедалі більшого поширення, значення приводів, здатних забезпечувати чітко контрольований періодичний рух, помітно зростає.

Метою дослідження є аналітичне дослідження кінематичних та динамічних характеристик дискового механізму періодичної дії, встановлення залежностей між геометричними параметрами, законами руху та передавальними властивостями механізму, а також виявити умови, що забезпечують його оптимальну й стабільну роботу.

1. РОЗДІЛ. ДИСКОВІ МЕХАНІЗМИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

1.1. Огляд конструкцій дискових механізмів періодичної дії

Дисковий механізм періодичної дії або дискового механізму періодичної дії (рис. 1.1-1.3.) – це механізм переривчастого обертального руху, який перетворює безперервне обертання ведучого колеса на кроковий рух веденої ланки.

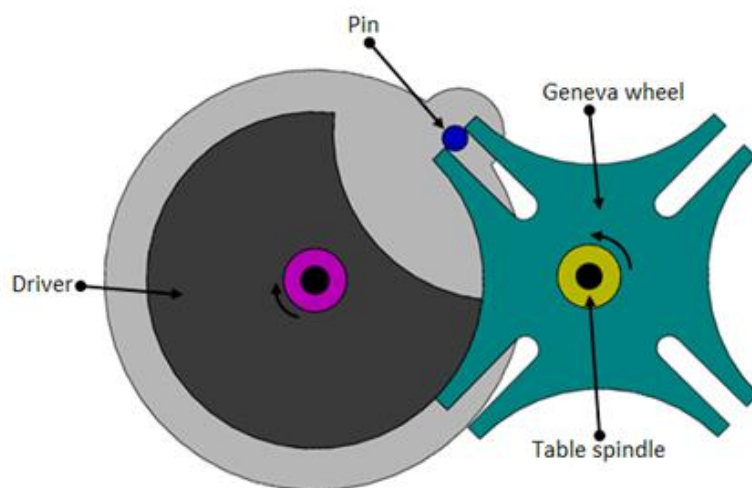


Рисунок. 1.1 Дисковий механізм періодичної дії (дискового механізму періодичної дії) з зовнішнім зачепленням.

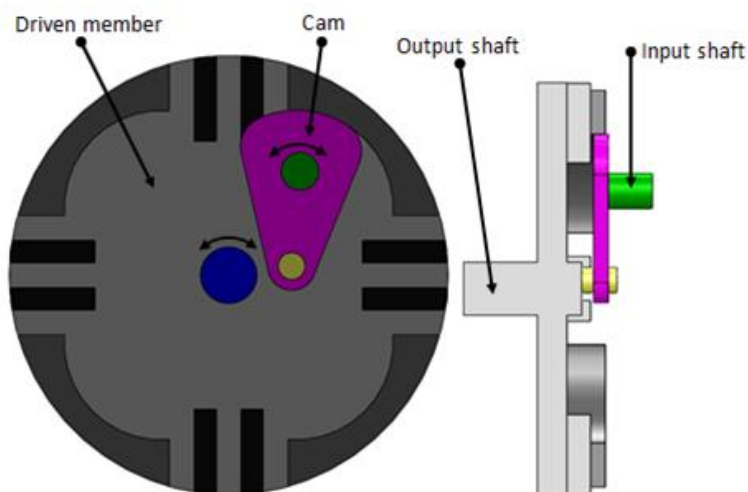


Рисунок. 1.2 Дисковий механізм періодичної дії (дискового механізму періодичної дії) з внутрішнім зачепленням.

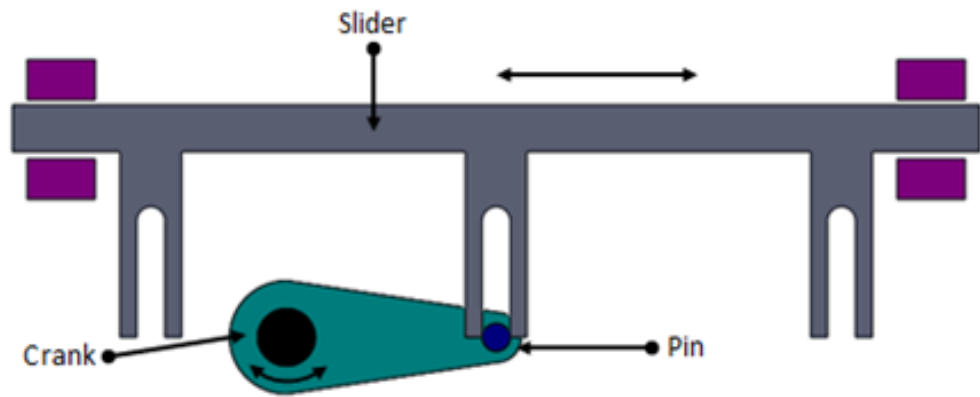


Рисунок. 1.3 Дислово-рейковий механізм періодичної дії.

Дисковий механізм періодичної дії складається з двох основних елементів: ведучого колеса з виступним пальцем і веденого колеса з пазами або прорізами. Робота механізму відбувається у кілька етапів:

1. **Контакт** – палець ведучого колеса наближається до одного з пазів веденого колеса.
2. **Перекладення** – палець входить у паз і обертає ведене колесо на заздалегідь визначений кут (крок).
3. **Фіксація** – після завершення кроку ведене колесо залишається нерухомим, поки палець ведучого колеса не наблизиться до наступного пазу.
4. **Повторення циклу** – процес повторюється з наступним пазом, забезпечуючи переривчастий, але регулярний рух веденого колеса.

Такий поетапний механізм дозволяє точно керувати положенням веденого колеса, що робить його незамінним у пристроях, де потрібна циклічність і точність рухів.

Розмір кроку веденого колеса визначається кількістю пазів на ньому: чим більше пазів, тим менший кут повороту за один цикл, і навпаки. Це дозволяє конструкторам регулювати тривалість обертання та періоди зупинки, точно налаштовуючи співвідношення між рухом і паузою.

Переваги механізму.

Точне позиціонування (індексування). Завдяки чітким крокам ведене колесо займає стабільне положення після кожного руху.

Самоблокування. У проміжках між кроками ведене колесо зазвичай фіксується, оскільки блокувальна поверхня (або форма паза) не дозволяє вільно обертатися.

Простота конструкції. Механізм не потребує складної електроніки для базового позиціонування його можна реалізувати механічним способом.

Надійність. Механічні компоненти (палець, пази) можуть витримувати навантаження, якщо правильно розраховані і змащені.

Недоліки.

При високій швидкості обертання або великих навантаженнях палець ведучого колеса, вриваючись у паз веденого, створює значні динамічні сили, що може призводити до швидшого зношування деталей і виникнення вібрацій.

Щоб зменшити тертя та подовжити ресурс механізму, його часто змащують або розташовують у масляній ванні.

Крім того, геометрія диска обмежує налаштування: якщо пазів багато – кут повороту за один цикл дуже малий; якщо мало – крок обертання великий, що може бути неприйнятним для операцій, де потрібна висока точність циклічного руху.

Застосування дискового механізму періодичної дії в промислових системах:

- у виробничих лініях: механізм використовується для точного позиціонування деталей і їх подачі на наступні етапи обробки.
- у годинникових механізмах та хронографах: забезпечує рівномірні кроки та надійну фіксацію стрілок, що є ключовим для точного вимірювання часу.
- у кінопроекційних апаратах: дозволяє переміщувати кіноплівку кадр за кадром із точною зупинкою для показу кожного кадру.
- у системах циклічного подавання матеріалів: наприклад, у сортувальних, фасувальних або пакувальних машинах, де потрібна порційна і регулярна передача продукції [5-7,].

1.2. Використання дискового механізму періодичної дії в техніці та автоматизованих лініях

Дисковий механізм періодичної дії знаходить широке застосування в автоматизованих системах промислових лініях та інше. Завдяки своїй здатності перетворювати безперервний обертальний рух на точний переривчастий. Найпопулярніші напрямки використання наступні. У сучасних потокових і гнучких автоматизованих виробничих лініях критично важливо точно позиціонувати окремі деталі перед виконанням операцій складання, зварювання, свердління чи контролю якості. Для цього застосовують механізми, які забезпечують циклічний переривчастий рух із фіксованими зупинками. Дисковий механізм періодичної дії (геневський механізм) ідеально підходить для таких завдань: його конструкція дозволяє приводному пальцю входити у пази веденого диска, переміщуючи платформу або деталь точно на певний кут, після чого відбувається фіксована пауза (dwell), під час якої робочий інструмент виконує операцію над виробом.

Завдяки такій організації руху можна забезпечити високу точність та повторюваність позиціонування, що особливо важливо у складних лініях із багатьма етапами обробки та збірки. Геневський механізм дозволяє синхронізувати роботу декількох платформ або ротаційних столів одночасно, уникаючи механічних колізій та збоїв.

Наприклад, у курсах з мехатроніки й автоматизації (NPTEL) описано використання механізму для індексування ротаційного столу на конвеєрі: кожна деталь, що подається на платформу, зупиняється точно під обробним інструментом, що дозволяє виконати свердління, монтаж або контроль якості без додаткових датчиків позиціонування. Крім того, застосування геневського диска зменшує потребу у складних електронних системах управління для базових циклічних операцій, підвищує надійність і довговічність автоматизованої лінії.

Таке рішення широко використовується не лише у виробництві дрібних деталей та електроніки, а й у харчовій промисловості, упаковочних лініях і фармацевтичному обладнанні, де критично важлива точна порційна подача, зупинка та фіксація продукту або тари перед наступним технологічним кроком.

Автоматична заміна інструментів у верстатах CNC (рис 1.4).



Рисунок. 1.4 Дисківий механізм періодичної дії (дискового механізму періодичної дії) в верстаті з ЧПК.

Одним із характерних прикладів застосування дискового механізму періодичної дії є позиціонування інструментального магазину (tool magazine) у верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). У таких системах обертовий диск, оснащений пазами, виконує послідовні кроки, забезпечуючи точне переміщення потрібного інструмента на позицію заміни. Кожен крок диска відповідає конкретній позиції інструмента, після чого відбувається пауза, що дозволяє автоматично захопити або замінити інструмент без необхідності обертати весь магазин.

Завдяки використанню дискового механізму періодичної дії реалізується висока точність і повторюваність позиціонування, що критично важливо для верстатів ЧПК, де навіть незначне відхилення інструмента може призвести до дефектів обробки. Механізм також забезпечує надійність та довговічність, оскільки рух інструментального магазину здійснюється механічно, без складних сервоприводів чи датчиків, мінімізуючи ризик збоїв під час циклічних операцій.

У навчальних матеріалах з мехатроніки та автоматизації, таких як курси NPTEL, Geneva drive наводиться як класичний приклад позиціонуального механізму, який дозволяє наочно продемонструвати, як за допомогою простого механічного принципу можна отримати точний, контрольований та циклічний рух. Цей підхід широко застосовується не лише у верстатобудуванні, а й у автоматичних лініях для сортування, фасування та пакування, де необхідне точне і повторюване позиціонування об'єктів у процесі технологічної обробки.

На автоматизованих лініях контролю якості та інспекції, де здійснюється перевірка деталей на наявність дефектів, необхідно забезпечити точну зупинку лотка або ротаційної платформи після кожного циклу подачі виробу. Використання дискового механізму періодичної дії (геневського механізму) дозволяє реалізувати цю функцію надзвичайно ефективно: платформа робить чіткий крок вперед, після чого зупиняється на заданий час для проведення інспекції чи вимірювання. Після завершення перевірки механізм індексує платформу на наступну позицію, повторюючи цикл.

Завдяки такій організації руху досягається висока точність та стабільність позиціонування, що критично для автоматичних систем контролю, де навіть незначне зміщення об'єкта може призвести до помилкових результатів. Геневський механізм забезпечує механічну надійність без необхідності складного електронного регулювання, а також дозволяє синхронізувати рух декількох лотків або столів одночасно, що підвищує продуктивність лінії. У навчальних посібниках з мехатроніки та автоматизації цей приклад наводиться як класична демонстрація застосування індексованого дискового механізму для точного циклічного переміщення об'єктів.

Хоча дискові механізми періодичної дії сьогодні найчастіше асоціюються з автоматизованими виробничими лініями, їхнє історичне застосування має велике значення для розвитку точних механічних систем. Один із найвідоміших прикладів – кінопроектори початку XX століття, де дисковий механізм періодичної дії забезпечував поетапне переміщення кіноплівки кадр за кадром (рис. 1.5).

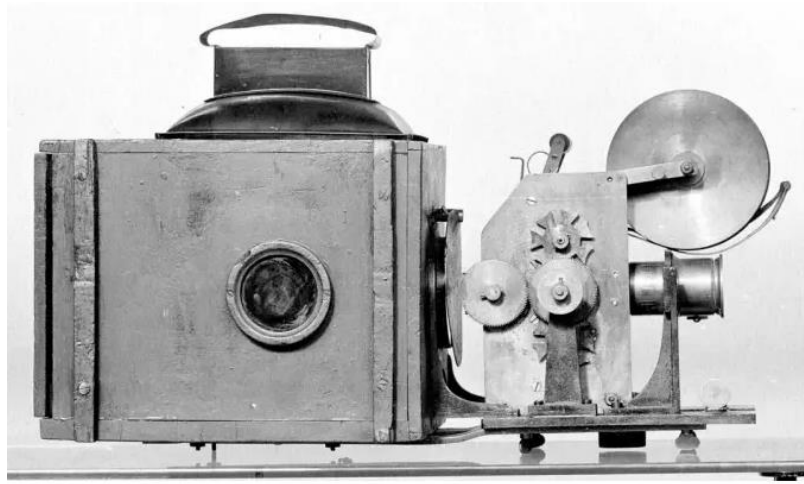


Рисунок. 1.5 Кінопроектор з дисковим механізмом періодичної дії.

Палець ведучого колеса входив у паз веденого, зсуваючи плівку точно на один кадр, після чого плівка залишалася нерухомою під час проєкції. Така організація руху дозволяла уникнути розмиття зображення та забезпечувала чітке відтворення кадрів із регулярними паузами.

Аналогічний принцип широко застосовувався в друкарських машинах та механізмах подачі аркушів паперу. Механізм дозволяв подавати аркуші з точними інтервалами зупинки, забезпечуючи синхронізацію роботи друкарської плити та фарбувального валика. Це гарантувало рівномірне друкування та уникало зміщення зображення, що було критично для якісного друку в промислових масштабах.

Для висіву насіння або добрив деякі сівалки мають механізми дозування, які можуть використовувати дискові або крокові системи для подавання порціями. Наприклад, у сільськогосподарських машинах “Corn Planter and Seeder” зустрічається дозуючий механізм типу «Geneva wheel» (жєневське колесо) саме для подавання насіння або добрив (рис. 1.6.).



Рисунок. 1.6 Сівалка “Corn Planter and Seeder” з дисковим висівним апаратом періодичної дії «Geneva wheel».

У сучасних машинах, таких як strip-till однокрокові агрегати, проектують системи автоматичного регулювання норми висіву та внесення добрив. Використання механізмів переривчастої дії або індексованих приводів є технічно обґрунтованим для досягнення точної подачі матеріалів.

Таким чином, історичне застосування Geneva drive демонструє його універсальність: навіть без електронного керування механізм забезпечував точний, повторюваний та синхронізований рух, що стало фундаментом для подальшого використання в автоматизованих лініях виробництва, системах фасування, сортування та сучасних промислових робототехнічних комплексах [5-7, 19].

Висновки до розділу

На сьогодні дискові механізми періодичної дії характеризуються широким спектром конструктивних виконань, розмірів та кінематичних параметрів, що дозволяє застосовувати їх у різноманітних технологічних процесах. Жорстких обмежень щодо основних параметрів таких механізмів не існує: вони проектуються таким чином, щоб забезпечити необхідний режим переривчастого руху, відповідати вимогам процесу та адаптуватися до умов

експлуатації. Основним стримувальним чинником при виборі конструкції залишаються економічні міркування, оскільки складні та високоточні механізми потребують значних капіталовкладень. Тому їх застосування є доцільним лише за умови, що експлуатаційні переваги – надійність, точність і довговічність – окуплять витрати протягом реального терміну служби.

Одним із провідних напрямків вдосконалення дискових механізмів періодичної дії є розширення діапазону регулювання частоти їх циклічного обертання, підвищення плавності роботи та збільшення ККД. Значна увага приділяється підвищенню точності виготовлення ведучого диска та зірочки з пазами, оскільки геометрична точність безпосередньо впливає на стабільність фіксації та мінімізацію вібрацій під час перемикання.

Для покращення технологічності виготовлення та зменшення маси розробляються модернізовані конструкції дисків – наприклад, із застосуванням полегшених профілів, ребер жорсткості або комбінованих матеріалів. Такі конструктивні підходи сприяють підвищенню довговічності механізмів та забезпечують економічну доцільність їх використання в сучасних автоматизованих системах і машинах періодичної дії.

Дискові механізми періодичної дії є одним із найпоширеніших засобів перетворення безперервного обертального руху в дискретний, що забезпечує точне позиціонування виконавчих елементів у широкому спектрі машин та автоматизованих систем. Незважаючи на тривалу історію використання, питання підвищення їх надійності, довговічності та кінематичної точності залишається актуальним. Це пов'язано передусім із тим, що робочі елементи механізму – ведучий диск зі штифтом та вихідна зірочка з пазами – працюють у складних умовах циклічного навантаження, піддаючись концентрованим напруженням і інтенсивному контактному зносу.

Аналіз літературних джерел і досліджень свідчить, що значна частина робіт зосереджена на загальних питаннях кінематики механізму, тоді як структурна оптимізація його геометрії та підвищення ресурсу вузлів на основі сучасних інтегрованих САПР-середовищ висвітлена недостатньо. Бракує

комплексного підходу, який об'єднював аналіз напружено-деформованого стану, оптимізацію форми і параметричне моделювання циклічних процесів.

Широке використання дискових механізмів періодичної дії у пакувальному обладнанні, дозаторах, верстатах, приладобудуванні та інших машинах, удосконалення їх конструкції має важливе практичне значення. Тому дослідження, спрямоване на визначення оптимальної геометрії елементів механізму з використанням сучасних САПР- і САЕ-технологій, є актуальним та обґрунтованим. Для досягнення цього ставимо такі дослідницькі завдання:

1. Виконати аналітичний огляд конструкції та принципу роботи дискового механізму періодичної дії.
2. Розробити математичну модель механізму з урахуванням геометричних параметрів зірочки та привідного диска.
3. Вивести рівняння кінематики, що описують залежність між кутами повороту ведучої ланки та зірочки, а також встановити закон руху на фазі зачеплення та фазі холостого ходу.
4. Провести динамічний аналіз, визначити моменти сил, навантаження на ланки та умови можливого ударного характеру взаємодії.
5. Встановити вплив геометричних параметрів (кількість пазів, радіуси, положення центру обертання, глибина пазів) на плавність руху та передавальне відношення.
6. Визначити критерії оптимізації роботи механізму: мінімізація вібрацій, ударів, нерівномірності руху.
7. Побудувати графіки та отримати аналітичні залежності, що підтверджують отримані теоретичні висновки.

Об'єкт дослідження – дисковий (жєневський) механізм періодичної дії, як кінематична система перетворення неперервного обертального руху у переривчастий. *Предмет дослідження* – кінематичні та динамічні закономірності роботи дискового механізму періодичної дії, його геометричні параметри та аналітичні залежності, що визначають характер руху й навантаження в ланках.

Методи дослідження:

1. Аналітичний метод: виведення рівнянь кінематики і динаміки механізму, математичне опрацювання отриманих залежностей.
2. Метод диференціального аналізу: дослідження швидкостей, прискорень, моментів сил.
3. Порівняльний метод: аналіз впливу різних геометричних параметрів (кількість пазів, радіуси, міжцентрова відстань).
4. Графоаналітичний метод: побудова графіків залежностей кутів, швидкостей, прискорень, моментів.
5. Метод технічного узагальнення: формування висновків щодо оптимальних параметрів та режимів роботи

Практичне значення роботи полягає в отриманні оптимальних кінематичних і динамічних параметрів елементів дискового механізму періодичної дії, зокрема ведучого диска зі штифтом та вихідної зірочки з пазами, що забезпечують підвищення точності позиціювання, зниження зносу та збільшення ресурсу роботи механізму. Отримані результати можуть бути використані для порівняльного аналізу різних конструктивних варіантів механізмів на етапі проектування, вибору оптимальних параметрів у машинобудівних та приладобудівних системах, а також для вирішення аналогічних задач оптимізації у конструкціях механізмів даного типу.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ДИСКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ.

2.1. Геометричний розрахунок механізму

Для розрахунку будь-якого механізму необхідні вихідні дані, які обумовлюються технічними задачами, що необхідно вирішити.

Потрібно спроектувати дисковий механізм періодичної дії з такими параметрами:

кількість пазів на веденій зірочці n ;

кут повороту вихідного диска за один імпульс $\theta = 360^\circ/n$;

діаметр колеса ведучого диска (штифт) – d_s)

відстань між центрами ведучого диска та вихідної зірочки (міжосьова відстань) – a .

Штифт (води́ло) рухається по колу і входить у пази зірочки, здійснюючи дискретний крок.

Кутові параметри:

1. Кут обертання веденого диска за один імпульс:

$$\theta = 360^\circ/n \quad (2.1)$$

2. Кут вільного ходу штифта (коли штифт не взаємодіє з пазами):

$$\beta = 360^\circ - \theta \quad (2.2)$$

3. Визначення радіусів:

Радіус кола центрів пазів на веденій зірочці:

$$R_p = \frac{L}{2 \cdot \sin(\pi / n)} \quad (2.3)$$

де L – довжина пазу (визначається з розміру штифта та допустимого зазору в пазі).

Радіус ведучого колеса (штифта):

$$R_s = \frac{d_s}{2} \quad (2.4)$$

4. Геометрія пазів. Довжина пазу:

$$L = 2 R_s + \delta \quad (2.5)$$

де δ – допустимий зазор (для компенсації неточностей виготовлення ($\delta = 0.1 \dots 0.2 R_s$)).

Кут, який займає паз на диску:

$$\chi = 2 \arcsin \frac{L}{2 \cdot R_p} \quad (2.6)$$

5. Визначення центру ведучого диска механізму

Відстань між центрами ведучого диска і веденої зірочки визначається так, щоб штифт вільно входив у паз зірочки:

$$R = R_p + R_s + \delta \quad (2.7)$$

Контактні умови роботи механізму

Умова плавного входу і виходу із пазу:

кут вхідного контакту $\approx \theta/2$

кут вихідного контакту $\approx \theta/2$

Дані умови забезпечують рівномірний рух штифта (не “заїдає”) під час руху.

2.2. Кінематичні особливості дискового механізму періодичної дії

Кінематичний розрахунок дискового механізму періодичної дії допомагає визначити переміщення, швидкості, прискорення та кути обертання ведучого й веденого дисків [5-7].

Кінематичні співвідношення в механізмі. Відношення обертів ведучого і веденого дисків під час роботи:

$$\frac{\omega_{\varphi}}{\omega_s} = \frac{\theta_{\varphi}}{\theta} \quad (2.8)$$

де ω_{φ} кутова швидкість веденої зірочки під час переміщення;

ω_s кут обертання ведучого диска під час одного кроку (приблизно дорівнює куту контакту штифта).

Поза контактом ведена зірочка не обертається ($\omega_{\varphi} = 0$).

Тривалість контакту ведучого штифта з пазом веденої зірочки визначається за формулою:

$$t_s = \frac{\theta}{\omega_s} \quad (2.9)$$

Частота кроків веденої зірочки визначається за наступною формулою:

$$f = \frac{\omega_s}{2\pi} \cdot n \quad (2.10)$$

Кутова швидкість веденої зірочки під час контакту з штифтом розглядається для наступних випадків. Для штифта, що рухається по колу і входить у паз, визначається за формулою:

$$\omega_{\varphi}(t) = \frac{\theta}{t_c} = \frac{\theta \cdot \omega_s}{\theta_{\varphi}} \quad (2.11)$$

Лінійна швидкість штифта на колі ведучого диска визначається наступною залежністю:

$$\mathcal{G}_s = r_s \cdot \omega_s \quad (2.12)$$

Дана формула визначає, з якою швидкістю штифт входить у паз веденої зірочки.

Прискорення веденої зірочки змінюється різко на початку і в кінці контакту. Його можна визначити за наступною формулою:

$$\varepsilon_z = \frac{\omega_z}{t_c} = \frac{\theta \cdot \omega_s}{\theta_{\varphi} \cdot t_c} = \frac{\theta \cdot \omega_s^2}{\theta_{\varphi}} \quad (2.13)$$

Важливо перевірити, щоб прискорення не перевищувало допустимі значення для зменшення зносу поверхонь які контактують.

2.3. Сили та моменти що діють на дисковий механізм періодичної дії

Динамічні показники дискового механізму періодичної дії, такі як кутова швидкість та кутове прискорення веденої зірочки, сили в пазу та момент на ведучому диску, відіграють ключову роль у забезпеченні його надійної та довговічної роботи. Кутова швидкість визначає швидкість обертання веденої зірочки під час контакту зі штифтом, а контроль кутового прискорення дозволяє уникнути різких ударних навантажень, що можуть призвести до передчасного зносу або поломки деталей. Високі прискорення та пікові сили впливають на знос матеріалів, тертя в пазах і навантаження на підшипники, тому їхнє правильне визначення є критично важливим для безпечної роботи механізму.

Динамічний розрахунок моменту на ведучому диску і врахування інерційних ефектів дозволяють підібрати оптимальний привод та матеріали, зменшити вібрації та забезпечити стабільну роботу механізму при високій швидкості. Аналіз сил та моментів під час контакту штифта з пазами допомагає визначити допустимі частоти обертання і геометричні параметри деталей, що забезпечує економічність конструкції та підвищує її ефективність. Таким чином, контроль динамічних показників є необхідною умовою для забезпечення безпечної, стабільної та довговічної роботи механізму [5-7].

Сили та моменти. Кутовий момент на ведучому диску визначається за формулою:

$$M_s = I_s \cdot \varepsilon_s + M_{опору} \quad (2.14)$$

де:

M_s момент інерції ведучого диска;

ε_s кутове прискорення ведучого диска;

$M_{опору}$ момент опору (тертя в підшипниках, контакт штифта з пазом та інше).

Реакція в пазі веденої зірочки визначається з виразу:

$$F_c = m_z \cdot a_c + F_{тертя} \quad (2.15)$$

де:

m_z маса веденої зірочки;

a_c лінійне прискорення штифта під час контакту з пазом;

$F_{тертя}$ сила тертя в пазі.

Момент на веденій зірочці під час контакту визначається за наступною формулою:

$$M_z = I_z \cdot \varepsilon_z \quad (2.15)$$

де ε_z кутове прискорення веденої зірочки.

Динамічні сили в контакті штифта і паза механізму. Радіальна сила в пазу веденої зірочки визначається за формулою:

$$F_r = m_s \cdot r_s \cdot \varepsilon_s \quad (2.16)$$

Тангенціальна сила (обертальний момент) визначається за наступним виразом:

$$F_t = M_z / R_p \quad (2.17)$$

де R_p радіус кола центрів пазів.

Наведені формули та залежності охоплюють ключові параметри, які визначають роботу дискового механізму періодичної дії як з кінематичної, так і з динамічної точок зору. Кінематичні співвідношення дозволяють встановити кутові переміщення, швидкості та тривалість взаємодії штифта з пазом, а динамічні - описують сили та моменти, які виникають у зоні контакту, а також інерційні ефекти, що формуються під час різкого прискорення та уповільнення веденої зірочки.

Висновки до розділу

Наведено динамічні залежності для коректного проєктування дискових механізмів періодичної дії, оскільки вони дозволяють визначити основні сили, моменти, прискорення та інерційні навантаження, що виникають під час роботи механізму. На основі цих даних можна обґрунтовано вибрати геометричні параметри деталей, матеріали, допустиму частоту обертання та характеристики приводу, забезпечивши надійну, безпечну і довговічну роботу конструкції.

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ МЕТИ, МЕТОДІВ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКОВОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

3.1. Мета та методика досліджень дискового механізму періодичної дії

Ефективність роботи механізмів періодичної дії значною мірою залежить від їх кінематичних і динамічних характеристик, а також від точності виготовлення елементів конструкції. Даний механізм належить до класу механізмів переривчастого руху, які широко застосовуються в автоматизованих системах, транспортних засобах, верстатобудуванні, пакувальному обладнанні та приладах для позиціювання. Для забезпечення стабільної роботи необхідно враховувати геометричні, кінематичні параметри взаємодії, а також динамічні навантаження, що виникають у момент контакту штифта з пазом зірочки.

Технологічні особливості виготовлення елементів дискового механізму суттєво впливають на його робочі характеристики, оскільки точність профілю пазів, жорсткість конструкції та властивості матеріалу визначають плавність ходу та допустиму швидкість обертання. Під час проектування головними кінематичними показниками є кут повороту веденої зірочки, тривалість робочого ходу та частота обертання ведучого диска. Динамічні показники сили контакту, моменти інерції та ударні навантаження визначають довговічність і надійність.

Метою проведення досліджень є перевірка достовірності теоретичних розрахунків та уточнення математичного опису взаємозв'язку між геометричними параметрами дискового механізму періодичної дії, режимами його роботи та динамічними навантаженнями, що виникають у процесі взаємодії штифта з пазом.

Програма досліджень аналітичним методом розроблена відповідно до завдань оптимізації конструкції та режимів роботи механізму. Вона включає такі основні етапи: розробка методики розрахунку геометричних, кінематичних та динамічних параметрів дискового механізму періодичної дії, що охоплює

визначення кутових швидкостей, прискорень і сил у контакті штифта з пазом; оптимізація конструктивно-технологічних параметрів механізму, яка передбачає визначення найбільш ефективних режимів навантаження і побудову залежностей між геометричними параметрами та експлуатаційними характеристиками дискового механізму періодичної дії [16].

3.2 Визначення конструкційних параметрів дискового механізму періодичної дії

На підставі аналітичних та теоретичних досліджень можна зробити висновок, що конструкційні параметри дискового механізму періодичної дії визначаються передусім кінематичними вимогами до дискретного повороту, величиною навантаження, частотою обертання ведучого диска та фізико-механічними характеристиками матеріалів, з яких виготовлені його елементи. До таких параметрів належать розміри штифта, геометрія пазів веденої зірочки, міжосьова відстань, а також допустимі кути контакту, що забезпечують плавність роботи механізму.

Основною геометричною характеристикою мальтійського механізму є радіус кола центрів пазів веденої зірочки, оскільки саме він визначає величину кроку повороту, допустимі кути входження штифта, кінематичну стабільність передачі руху та можливі швидкісні режими міжосьова відстань, яка залежить від вище названих факторів матиме вигляд:

$$M_{\phi} = f(a, n, R). \quad (3.1)$$

Аналіз роботи дискового механізму періодичної дії показав, що під час входження ролика (закріпленого на водилі) в паз зірочки виникає удар, який створює на валу миттєвий момент на початку обертального руху. Для оптимальної роботи механізму та безударного входження ролика в паз зірочки в початковий момент вісь паза має бути розміщена по дотичній до кола, описуваного центром ролика, а робоча ділянка паза куліси має починатися від точки дотику його осі з цим колом. З метою розв'язання проблеми, пов'язаної з

виникненням під час роботи значних ударних навантажень на складові дискового механізму періодичної дії, розглянемо приклад розрахунку характерних кінематичних і динамічних параметрів для механізму з зовнішнім зачепленням і шістьма пазми (рис.1, б). На його основі визначимо величини основних кінематичних і динамічних характеристик механізму.

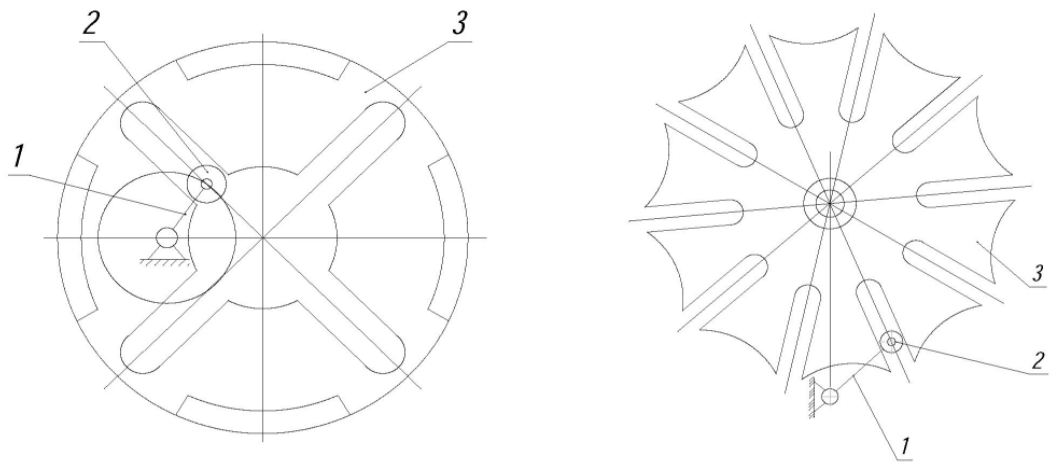


Рисунок 3.1 Дисковий механізм періодичної дії: а) з внутрішнім зачепленням; б) з зовнішнім зачепленням: 1 - ведуча ланка, 2 - ролик, 3 - ведена ланка (зірочка).

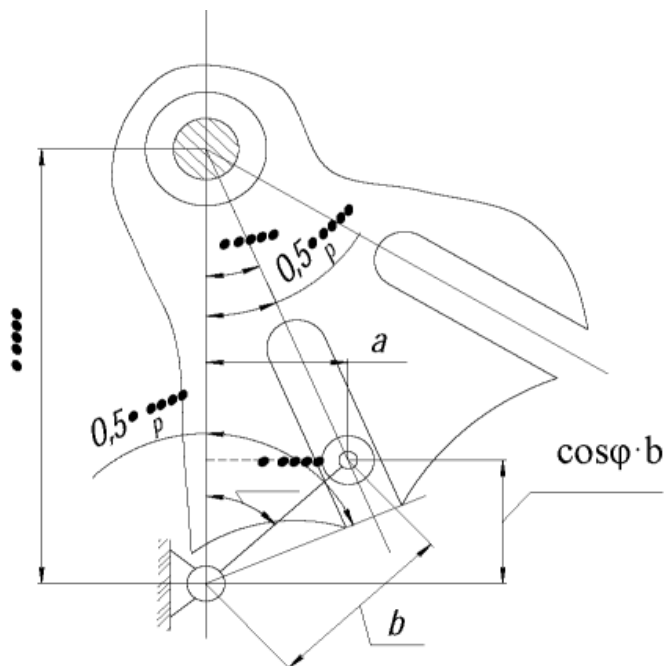


Рисунок 3.2 Схема для складання відповідних рівнянь роботи дискового механізму періодичної дії з зовнішнім зачепленням

Розрахунок дискового механізму періодичної дії найкраще виконувати за наступним алгоритмом:

1. Задаємо початкові дані розрахунку механізму:

Радіус траєкторії пальця $R=40\text{мм}$.

Міжосьова відстань $a=55\text{мм}$.

2. Записуємо кінематичний закон руху зірочки:

$$\theta(\varphi) := \text{atan}[(R \cdot \sin(\varphi)) \div (R \cdot \cos(\varphi) - a)] - 2 \cdot \pi \cdot \frac{k}{n} \quad (3.2)$$

3. Визначаємо кутову швидкість зірочки за кінематичний закон руху зірочки за формулою 3.2.

$$az(\varphi) := \left(a \cdot R \cdot \cos(\varphi) - R^2 \right) \div \left(R^2 - 2 \cdot a \cdot R \cdot \cos(\varphi) + a^2 \right) \quad (3.3)$$

$$\omega \theta(\varphi) := \omega \varphi \cdot az(\varphi) \quad (3.4)$$

4. Визначаємо кутове прискорення зірочки за кінематичний закон руху зірочки за формулою 3.2.

$$bz(\varphi) := \left[a \cdot R \cdot \sin(\varphi) \cdot \left(R^2 - a^2 \right) \right] \div \left(R^2 - 2 \cdot a \cdot R \cdot \cos(\varphi) + a^2 \right)^2 \quad (3.5)$$

$$\varepsilon \theta(\varphi) := \left(\omega \varphi^2 \right) \cdot bz(\varphi) \quad (3.6)$$

5. Визначаємо момент який виникає на веденій ланці за наступною формулою:

$$M\theta(\varphi) := M\varphi \cdot \left(R^2 - 2 \cdot a \cdot R \cdot \cos(\varphi) + a^2 \right) \div \left(a \cdot R \cdot \cos(\varphi) - R^2 \right) \quad (3.7)$$

У експериментально розробленій програмі передбачено внесення змін до кінематичних та динамічних характеристик дискового механізму періодичної дії. Це зроблено для вивчення впливу цих параметрів на загальні показники роботи механізму. Для виконання розрахунків і подальшого аналітичного опрацювання даних передбачається використання програмного середовища *Mathcad*. Це програмне забезпечення дозволяє не лише проводити точні

математичні обчислення, а й досліджувати їхній перебіг, візуалізувати отримані результати, аналізувати залежності між параметрами та перевіряти коректність обраних методів. Завдяки широкому набору вбудованих функцій Mathcad забезпечує зручність у виконанні як базових, так і складних інженерних розрахунків, що робить його ефективним інструментом для повного та детального аналізу поставленої задачі.

3.3. Аналітичне дослідження дискового механізму періодичної дії

Визначення кінематичних і динамічних характеристик роботи дискового механізму періодичної дії залежно від початкових даних.

Користуючись залежністю 3.2 отримуємо графік (рис 3.3) залежності робочого кута повороту зірочки від робочого кута повороту ведучої ланки.

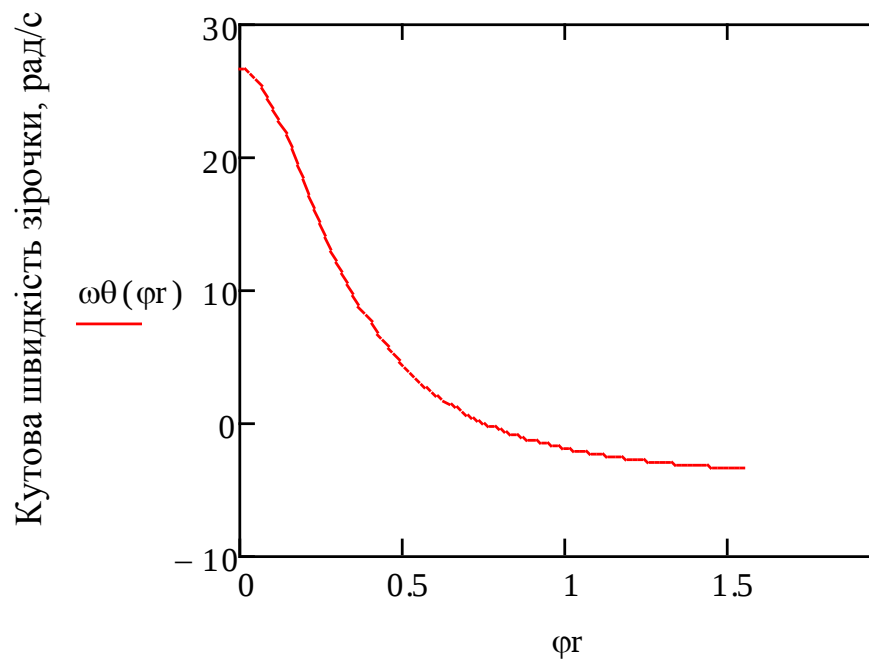


Рисунок 3.3 Графік залежності робочого кута повороту зірочки від робочого кута повороту ведучої ланки.

З графіка рис. 3.3. бачимо, що підбором необхідної величини кроку повороту, допустимі кути входження штифта, кінематичну стабільність передачі руху можна визначити геометричні параметри дискового механізму періодичної дії під час конструювання і компоновки.

За допомогою запропонованого алгоритму розрахунку можна визначити інші характеристики механізму що впливають на геометричні його розміри і можливість використання в техніці.

Оцінімо кутову швидкість веденої зірочки на рисунку 3.4. Кутова швидкість веденої ланки визначається в математичному середовищі *Mathcad* за допомогою залежностей 3.3 і 3.4:



Кут повороту ведучої ланки, рад

Рисунок 3.4 Графік залежності кутової швидкості веденої зірочки від кута повороту ведучої ланки.

З графіка рисунок 3.4. видно, що підбором початкових геометричних даних можна забезпечити необхідну кутову швидкість на веденій зірочці дискового механізму. З графіка бачимо що найбільша кутова швидкість є під час входу штифта в паз веденої зірочки. Даний закон буде зберігатися для будь-якої кількості пазів зірочки та кутової швидкості ведучої ланки.

Проаналізуємо характер зміни кутового прискорення за умови коли штифт перебуває в пазі рисунок 3.5. Характер зміни прискорення залежно від кута повороту ведучої ланки визначається в математичному середовищі *Mathcad* за залежностями 3.5 і 3.6:

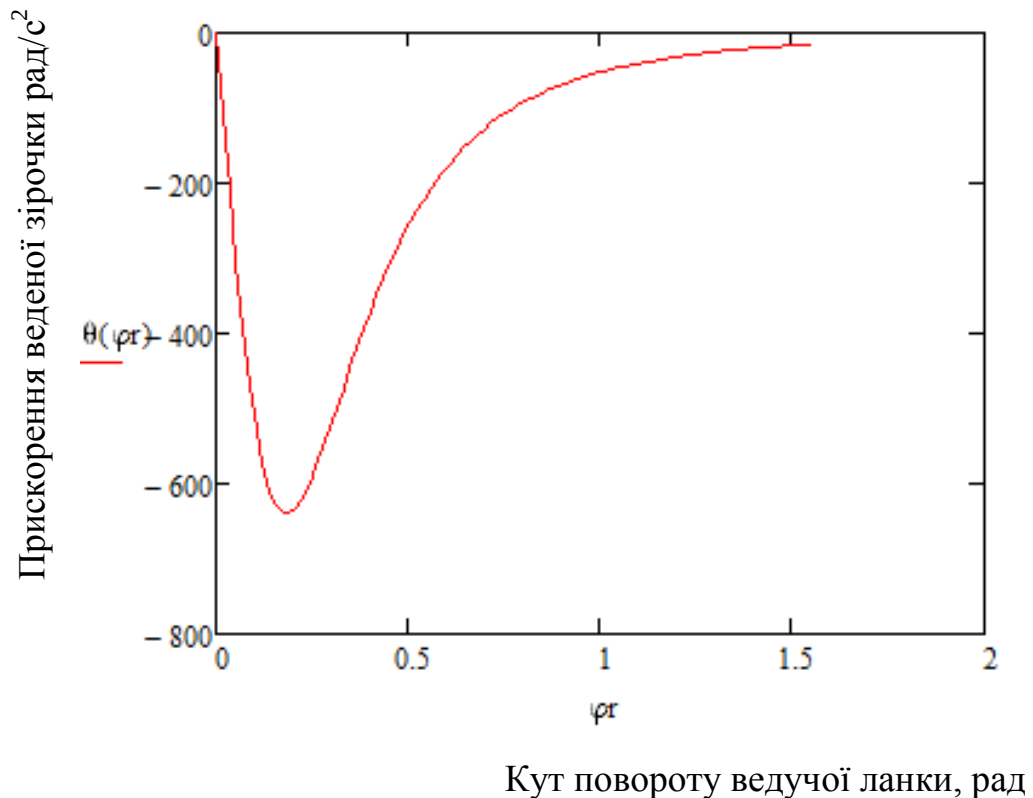


Рисунок 3.5 Графік залежності кутового прискорення веденої зірочки від кута повороту ведучої ланки.

Із графіка (рис. 3.5) можна зробити такі висновки, що найбільше прискорення виникає на початкових етапах входження штифта в паз веденої зірочки. Тому для приводу виконавчих елементів це важливо врахувати для визначення навантаження в процесі роботи.

Визначимо закон зміни моменту який виникає в веденій зірочці в момент контакту штифта з пазом рисунок 3.6. Залежність визначається в математичному середовищі *Mathcad* використовуючи залежність 3.7.

З графіка залежності (рис. 3.6) бачимо, що умовна найбільший момент виникає на геометричній середині паза веденої зірочки. З збільшенням моменту

на ведучій ланці приведе і до збільшення моменту на веденій ланці згідно з формулою 3.7 і відповідною залежністю закону кривої графік (рис. 3.6).

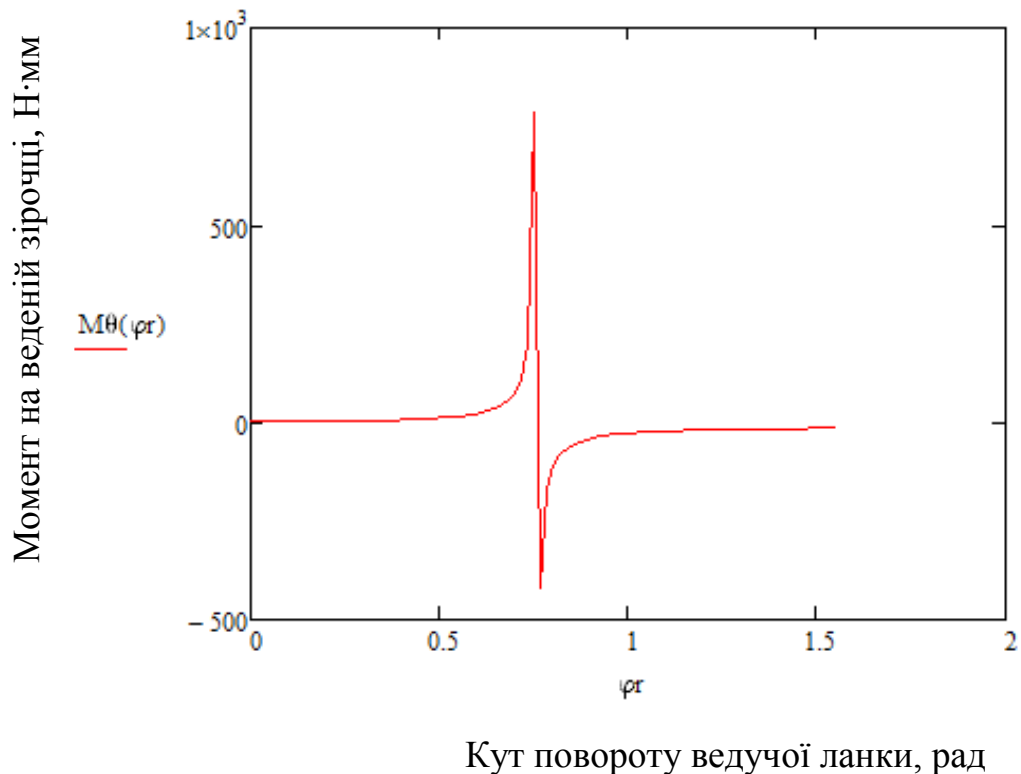


Рисунок 3.6 Графік залежності моменту веденої зірочки від кута повороту ведучої ланки.

Отримані графіки залежності кінематичних параметрів дискового механізму періодичної дії від переданого крутного моменту, частоти обертання ведучого вала, кількості пазів, дають змогу комплексно оцінити ефективність і доцільність застосування такого механізму у засобах виробництва.

Висновки до розділу

Аналіз зміни ключових параметрів зокрема геометричних параметрів і кінематичних дискового механізму періодичної дії, розмірів пальця ведучого диска, радіусів контактних поверхонь і можливих деформацій під час

навантаження дозволяє визначити оптимальні режими його роботи та допустимі межі механічних навантажень.

Таким чином, поєднання розрахункових даних і графічного аналізу дає змогу визначити, наскільки раціональним є використання дискового механізму періодичної дії як приводу в автоматизованих виробничих системах, де важливими є компактність, циклічність руху та висока точність позиціювання.

Застосування відповідної методики розрахунку і дослідження є важливим етапом у проєктуванні дискових механізмів періодичної дії для автоматизованих виробничих системах. Дисковий механізм періодичної дії є ключовим елементом приводу, який забезпечує точне позиціювання та дискретну передачу руху від ведучого вала до веденого колеса. Завдяки своїй кінематичній структурі та циклічному характеру роботи він дозволяє ефективно реалізувати контрольований періодичний рух, що є корисним у спеціалізованих системах керування та допоміжних агрегатах.

Ретельний розрахунок геометричних параметрів таких як кількість пазів мальтійського колеса, радіуси контактних поверхонь, розміри пальця приводу та профілі опорних ділянок а також аналіз навантажень, ударних взаємодій дають можливість забезпечити надійну та довговічну роботу механізму. Використання такої методики дозволяє оптимізувати конструкцію механізму, підвищити плавність його роботи, зменшити зношування та покращити загальну ефективність систем, у яких він застосовується.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Обґрунтування можливих чинників травмонебезпечних ситуацій

У процесі виробничої діяльності людина як оператор технічної системи здійснює керування машинами та механізмами, використовуючи відповідні засоби праці. У сучасному машинобудуванні та аграрному виробництві дискового механізму періодичної дії широко застосовується у складі верстатів з числовим програмним керуванням і сівалок для забезпечення дискретного, періодичного переміщення робочих органів із заданою точністю та повторюваністю. Його функціонування відбувається в умовах впливу комплексу виробничих факторів, характерних для відповідного технологічного процесу, режимів роботи та конструктивного виконання обладнання.

Фізіологічні можливості організму людини дозволяють без негативних наслідків сприймати дію виробничих факторів лише за умови, що їх інтенсивність, тривалість та характер відповідають установленим нормативним вимогам. Перевищення гранично допустимих значень або порушення регламентованих режимів роботи створює передумови для виникнення виробничих ризиків, які можуть призвести до травмування або погіршення стану здоров'я працівника [1, 2, 11].

У системі охорони праці розрізняють шкідливі та небезпечні виробничі чинники, дія яких проявляється в конкретних умовах експлуатації обладнання. При використанні мальтійського механізму у складі верстатів з ЧПК і сівалок такі чинники зумовлюються наявністю рухомих елементів машин, підвищених динамічних навантажень, шуму, вібрації, а також впливом виробничого середовища, зокрема запиленості, аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин і відпрацьованих газів у разі застосування двигунів внутрішнього згоряння.

Важливим поняттям у забезпеченні безпечних умов праці є гранично допустимий рівень виробничого чинника, який визначається як така інтенсивність і тривалість його дії, що не викликає негативних змін у стані

здоров'я працівника ані під час виконання робіт, ані в післяробочий період. Виробнича небезпека при експлуатації обладнання з мальтійським механізмом розглядається як сукупність технічних, організаційних та експлуатаційних умов, за яких зберігається ймовірність реалізації небезпечної дії на людину.

Основним завданням безпечної експлуатації обладнання, у конструкції якого використовується дискового механізму періодичної дії, є створення таких умов праці, за яких взаємодія оператора з машиною не супроводжується ризиком доступу до потенційно небезпечних зон. Це досягається шляхом раціонального конструктивного виконання вузлів, застосування захисних кожухів, блокувальних і сигнальних пристроїв, а також дотримання регламентів технічного обслуговування і налагодження.

Під час виконання технологічних операцій у верстатах з ЧПК оператор зазнає впливу виробничих факторів, пов'язаних з особливостями мікроклімату робочої зони, рівнем шуму, вібрації та освітленості. В умовах роботи сівалок додатково враховується вплив запиленості, метеорологічних факторів і тривалого перебування оператора на відкритому повітрі. Мінімізація дії зазначених факторів забезпечується застосуванням технічних засобів колективного захисту, ергономічним проектуванням робочого місця та використанням засобів індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт.

Окрему складову безпеки становить електробезпека, оскільки в більшості випадків привід обладнання з мальтійським механізмом здійснюється від електричної енергії. Заходи щодо запобігання ураженню електричним струмом поділяються на організаційні та технічні. Організаційні заходи передбачають допуск до роботи лише навченого та атестованого персоналу, проведення інструктажів з охорони праці, контроль дотримання вимог нормативної документації. Технічні заходи включають використання захисного заземлення, занулення, автоматичних пристроїв захисного вимкнення, подвійної ізоляції та систем блокування.

Недоступність струмопровідних частин електрообладнання забезпечується шляхом їх конструктивного розміщення, застосування огорожень і кожухів, а також використання сигнальних і попереджувальних засобів. Застосування комплексу взаємодоповнювальних заходів дозволяє забезпечити необхідний рівень безпеки під час експлуатації верстатів з ЧПК і сівалок, у яких дискового механізму періодичної дії є складовою частиною технологічної системи, та створити умови для стабільної й безпечної виробничої діяльності.

4.2. Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки

Розглянемо характеристику умов і обставин можливого виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації верстатів з числовим програмним керуванням і сівалок з урахуванням специфіки їх конструкції, режимів роботи та організації виробничого процесу. Аналіз проводиться з позицій імовірнісного підходу, відповідно до якого кожен виробничий чинник має просторово-часову зону прояву своєї дії.

Зона дії виробничого чинника може мати сталий або змінний характер. У разі, коли геометричні розміри та межі цієї зони є чітко визначеними і не змінюються протягом технологічного циклу, її розглядають як постійну. Якщо ж у процесі роботи відбувається зміна інтенсивності чинника, його просторового положення або режиму функціонування обладнання, зона дії набуває змінного характеру. Для верстатів з ЧПК це характерно під час зміни програм обробки, переміщення супортів і шпинделя, а для сівалок під час зміни швидкості руху агрегату, рельєфу поля або режимів висіву.

За аварійних або нестандартних режимів роботи можливе значне розширення зони дії виробничого чинника порівняно з розрахунковими значеннями. У таких випадках небезпека для оператора або обслуговуючого персоналу може виникати поза межами заздалегідь визначених зон. Це

зумовлює необхідність глибокого розуміння персоналом характеру потенційних ризиків, пов'язаних з експлуатацією конкретного обладнання, а також наслідків відхилення від установлених регламентів.

Формування небезпечної ситуації розглядається як послідовність взаємопов'язаних подій, у межах якої працівник, допускаючи небезпечну дію, опиняється в небезпечних обставинах, за яких за наявності небезпечних умов на нього може впливати виробничий фактор. Сукупність зазначених елементів утворює небезпечну ситуацію, наслідком якої можуть бути аварійні пошкодження обладнання або травмування персоналу.

Усі складові процесу формування небезпечних ситуацій небезпечні умови, небезпечні дії, небезпечні ситуації та їх можливі наслідки мають імовірнісний характер. Це означає, що реалізація аварії або травми не є неминучою, а визначається поєднанням технічних, організаційних і людських чинників у конкретний момент часу.

Аналіз травмонебезпечних і аварійних ситуацій під час експлуатації верстатів з ЧПК і сівалок доцільно виконувати з використанням систематизованих таблиць, у яких наводяться можливі небезпечні умови, дії оператора, потенційні небезпечні ситуації, ймовірні наслідки та комплекс профілактичних заходів. Такий підхід дозволяє оцінити ризики з урахуванням типу обладнання, виробничого підрозділу, робочого місця та складу машинно-технологічного агрегату.

Після аналітичного опису доцільно застосовувати графічне моделювання у вигляді блок-схем (рис. 4.1), що відображають послідовність розвитку небезпечних подій. Метою побудови таких схем є ідентифікація найбільш критичних ланок у процесі експлуатації обладнання, визначення зон підвищеного ризику та обґрунтування ефективних заходів запобігання аваріям і травматизму.

Найпоширенішими профілактичними заходами щодо запобігання формуванню небезпечних ситуацій під час роботи на верстатах з ЧПК і сівалках є попередня оцінка технічного стану обладнання, оснащення його необхідними

засобами колективного та індивідуального захисту, а також систематичне проведення навчання й інструктажів з охорони праці.

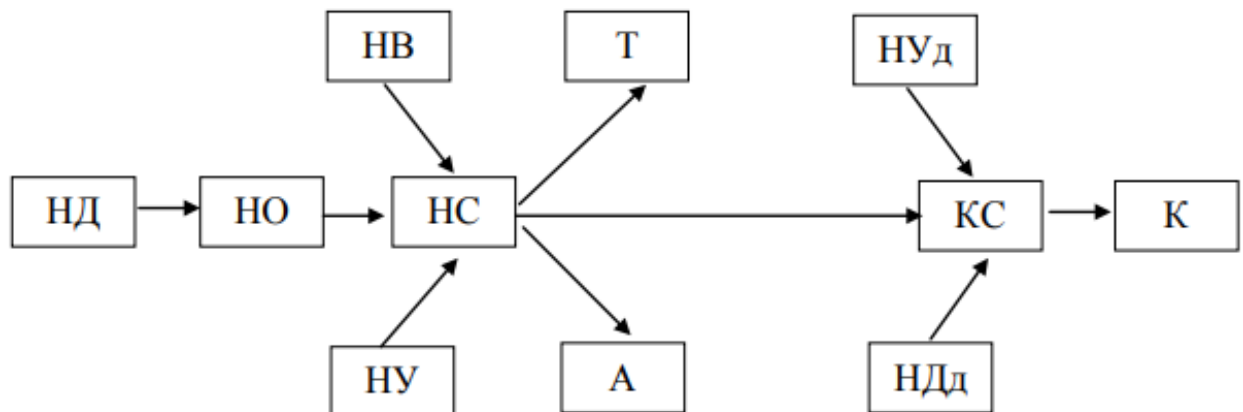


Рисунок 4.1 Блок-схема процесу формування та виникнення небезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій: НВФ небезпечний виробничий фактор; НУ небезпечні умови; НД небезпечні дії; НО небезпечні обставини; НС небезпечна ситуація; А аварія; Т травма, КС критична ситуація; НУД небезпечні умови додаткові; НДЯ небезпечні дії додаткові; К катастрофа.

Аналіз процесів виникнення небезпечних ситуацій показує, що вони можуть формуватися за різними сценаріями. Один із них пов'язаний з послідовним накопиченням небезпечних умов, коли одна несправність або відхилення спричиняє появу наступної. Наприклад, у верстаті з ЧПК порушення балансування обертових вузлів може зумовити зростання вібрацій, що призводить до прискореного зношування підшипникових опор і, зрештою, до аварійної зупинки або руйнування елементів механізму. Аналогічні ланцюги подій можливі й у сівалках у разі нерівномірного навантаження робочих органів або зносу приводних елементів.

Загальний вигляд такого процесу можна подати у вигляді послідовності:

$$НУ_1 \rightarrow НУ_2 \rightarrow НУ_3 \rightarrow \dots \rightarrow НС \rightarrow А, Т.$$

Інший сценарій формування небезпечної ситуації пов'язаний із взаємодією небезпечних умов і дій оператора. За наявності технічного або організаційного недоліку працівник може вдатися до дій, що не передбачені

регламентом експлуатації, унаслідок чого виникає небезпечна ситуація. Для верстатів з ЧПК таким прикладом може бути втручання в робочу зону без повного знеструмлення обладнання, а для сівалок — усунення засмічення робочих органів без зупинки агрегату.

Послідовність подій у цьому випадку має вигляд:

$$НУ \rightarrow НД \rightarrow НС \rightarrow А, Т.$$

Окрему групу становлять ситуації, у яких небезпечні наслідки зумовлюються серією помилкових дій оператора, що здійснюються в умовах дефіциту часу або підвищеної відповідальності. Кожна наступна помилка підвищує ймовірність переходу процесу в аварійну фазу. Наприклад, під час керування сівалкою перевищення швидкості руху може спричинити різке маневрування, що в умовах нерівного рельєфу поля призводить до втрати стійкості агрегату. У верстатах з ЧПК подібний сценарій можливий у разі некоректного коригування програми обробки під час роботи обладнання.

Узагальнено такий потік подій описується залежностями:

$$НД_1 \rightarrow НД_2 \rightarrow НС \rightarrow А, Т$$

Або

$$НД_1 \rightarrow НД_2 \rightarrow НД_3 \rightarrow НС \rightarrow А, Т.$$

Таким чином, системний аналіз умов, дій та обставин експлуатації верстатів з числовим програмним керуванням і сівалок дозволяє своєчасно виявляти потенційні джерела ризику, прогнозувати розвиток небезпечних ситуацій і розробляти обґрунтовані технічні та організаційні заходи, спрямовані на підвищення рівня безпеки виробничих процесів.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, надзвичайна ситуація визначається як обстановка на окремій території, об'єкті або водному просторі, що порушує нормальні умови життєдіяльності населення та спричинена аварією, катастрофою, небезпечним природним явищем, епідемією, епізоотією,

пожежею, застосуванням засобів ураження або іншими чинниками, які призвели чи можуть призвести до загибелі людей, шкоди їх здоров'ю, значних матеріальних втрат або негативного впливу на довкілля.

Аварія розглядається як небезпечна подія техногенного походження, що виникає внаслідок порушення нормальної роботи технічних систем і створює загрозу життю та здоров'ю людей, спричиняє пошкодження або руйнування будівель, споруд, обладнання, транспортних засобів, порушує виробничі чи логістичні процеси та завдає шкоди навколишньому природному середовищу.

Катастрофа є масштабною надзвичайною подією з тяжкими наслідками, що характеризується значними людськими втратами, руйнуванням матеріальних цінностей і суттєвими змінами умов існування природних, соціальних та економічних систем. Вона є результатом різкого переходу системи в критичний стан із виникненням вражувальних чинників. Залежно від просторового охоплення та тривалості впливу катастрофи поділяються на локальні, регіональні та глобальні, причому останні мають міждержавний або світовий характер.

Сучасна безпекова ситуація в Україні характеризується високою частотою надзвичайних ситуацій як природного, так і техногенного та воєнного характеру. Повномасштабна збройна агресія, руйнування критичної інфраструктури, підвищене навантаження на енергетичні, транспортні та комунальні системи значно ускладнили загальний стан техногенної та екологічної безпеки. Наслідки таких подій супроводжуються значними людськими жертвами, масштабними матеріальними збитками та потребують залучення значних сил і ресурсів для ліквідації.

Згідно з чинною класифікацією, за походженням надзвичайні ситуації в Україні поділяються на чотири основні класи: техногенного, природного, соціального та воєнного характеру.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру пов'язані з аваріями на промислових, транспортних, енергетичних та інженерних об'єктах, пожежами, вибухами, руйнуванням будівель і споруд, аваріями з викидом небезпечних

хімічних, радіоактивних або біологічних речовин, а також із порушенням роботи систем життєзабезпечення населення.

Надзвичайні ситуації природного характеру виникають унаслідок небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних явищ, природних пожеж, деградації ґрунтів і водних ресурсів, масових захворювань людей, тварин і рослин, а також інших процесів, що порушують екологічну рівновагу.

Надзвичайні ситуації соціального характеру пов'язані з протиправними діями, зокрема терористичними актами, диверсіями, масовими заворушеннями, захопленням або пошкодженням об'єктів критичної інфраструктури, незаконним обігом зброї та боєприпасів.

Надзвичайні ситуації воєнного характеру зумовлені застосуванням сучасних засобів ураження, бойовими діями та їх вторинними наслідками, зокрема руйнуванням промислових і енергетичних об'єктів, гідротехнічних споруд, об'єктів з небезпечними речовинами, що призводить до масштабного ураження населення та довкілля.

За масштабами поширення, обсягом збитків і кількістю постраждалих надзвичайні ситуації поділяються на державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів. Критеріями віднесення до певного рівня є територіальне охоплення, необхідність залучення ресурсів вищого рівня управління та можливість самостійної ліквідації наслідків.

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій є ключовим елементом державної політики у сфері цивільного захисту. Воно передбачає реалізацію комплексу правових, організаційних, інженерно-технічних, економічних, санітарно-гігієнічних і інформаційних заходів, спрямованих на зниження рівня ризиків, своєчасне виявлення загроз та недопущення переходу небезпечних подій у фазу надзвичайної ситуації.

Функції запобігання і реагування на надзвичайні ситуації в Україні здійснює Єдина державна система цивільного захисту, яка об'єднує органи державної влади, місцевого самоврядування, підприємства, установи та організації незалежно від форм власності. Її діяльність спрямована на захист

населення, територій і об'єктів критичної інфраструктури, а також на мінімізацію можливих втрат.

Основними завданнями системи цивільного захисту є нормативно-правове регулювання у сфері безпеки, забезпечення готовності сил і засобів до реагування, проведення моніторингу та прогнозування надзвичайних ситуацій, навчання населення діям у кризових умовах, формування резервів матеріальних і фінансових ресурсів.

Держава гарантує громадянам України право на захист життя і здоров'я у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Реалізація цього права забезпечується через планування та здійснення заходів цивільного захисту, організацію оповіщення, укриття, евакуації, медичного та соціального забезпечення постраждалих.

Організація життєзабезпечення населення в умовах надзвичайних ситуацій включає управління діями населення і персоналу підприємств, забезпечення водою, продовольством, житлом, медичною допомогою, інформаційною підтримкою, а також проведення санітарних, протиепідемічних і відновлювальних заходів.

Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій спрямована на відновлення нормального функціонування об'єктів економіки та соціальної сфери і передбачає проведення аварійно-рятувальних робіт, гасіння пожеж, відбудову інфраструктури, спеціальну обробку територій і техніки, а також комплекс заходів з екологічної реабілітації.

Висновки до розділу

У процесі експлуатації верстатів з числовим програмним керуванням і сівалок умови праці характеризуються підвищеним рівнем професійного ризику, що зумовлено складністю технологічних операцій, наявністю рухомих і електрифікованих вузлів, а також необхідністю виконання налагоджувальних і обслуговуючих робіт. У таких умовах можливе виникнення травмонебезпечних

ситуацій, пов'язаних з механічним впливом рухомих елементів, технічними несправностями обладнання, порушенням вимог охорони праці та пожежної безпеки, а також дією пожежо- і вибухонебезпечних та шкідливих хімічних чинників.

З огляду на зростання ризику надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру в Україні, особливого значення набуває забезпечення готовності персоналу до дій у кризових умовах. Це передбачає завчасне формування та підтримання матеріально-технічної бази цивільного захисту на підприємствах, оснащення їх засобами індивідуального і колективного захисту, системами оповіщення та відпрацювання алгоритмів безпечної поведінки з метою мінімізації можливих наслідків надзвичайних ситуацій і збереження життя та здоров'я працівників.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічна доцільність інноваційних технічних рішень у сучасних виробничих системах є комплексним показником, що охоплює не лише прямі фінансові результати від використання технології, але й широкий спектр факторів, що впливають на ефективність виробничого процесу, конкурентоспроможність підприємства та його здатність адаптуватися до мінливих умов ринку. У контексті верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) впровадження мальтійського механізму для автоматичної заміни інструменту виступає прикладом технічної інновації, здатної значно підвищити продуктивність обладнання та оптимізувати технологічні процеси. Економічна ефективність нового технічного рішення визначається через оцінку його внеску у загальний прибуток підприємства. Для об'єктивної оцінки використовують методику, що ґрунтується на експертній оцінці та визначенні коефіцієнтів, які характеризують досягнення технічних цілей, складність вирішеної технічної задачі та рівень новизни розробки [8].

Загальна частка прибутку від впровадження новації визначається формулою:

$$\Delta\P = \Pi \cdot K \quad (5.1)$$

де Π це загальний фінансовий результат підприємства, що формується за рахунок реалізації продукції або надання послуг, у процесі якого використовується конкретне технічне рішення. Він відображає сукупний обсяг прибутку, що генерується діяльністю підприємства до врахування впливу інноваційних змін, і слугує базовим показником для оцінки економічного ефекту від впровадження новацій.

$\Delta\P$ це частина загального прибутку, яка безпосередньо пов'язана з використанням конкретного винаходу або технічного рішення. Цей показник дозволяє виділити економічний ефект, що виникає саме завдяки інновації, та оцінити її внесок у підвищення прибутковості підприємства. Він враховує такі фактори, як підвищення продуктивності, скорочення витрат, оптимізацію

технологічних процесів і можливе збільшення обсягів виробництва завдяки впровадженню нових технічних засобів.

K – інтегральний коефіцієнт, що використовується для кількісного визначення реальної економічної цінності винаходу. Він формується шляхом множення декількох складових, які відображають різні аспекти інновації: досягнутий рівень технічних параметрів і цілей ($K1$), складність вирішеної технічної задачі ($K2$) та рівень новизни технічного рішення ($K3$). Завдяки такому підходу можна об'єктивно оцінити внесок винаходу у фінансові результати підприємства, уникаючи переоцінки ефекту лише на основі загального прибутку, і забезпечити комплексну оцінку економічної доцільності впровадження новацій.

У сукупності, ця методика дозволяє встановити частку прибутку, що припадає на інноваційне технічне рішення, та оцінити його економічну ефективність у рамках загальної діяльності підприємства, враховуючи як фінансові, так і технологічні аспекти.

$$K = K1 \cdot K2 \cdot K3 \quad (5.2)$$

$K1$ – коефіцієнт досягнутої мети;

$K2$ – коефіцієнт можливості вирішення поставленої технічної задачі;

$K3$ – коефіцієнт новизни в техніці.

Таким чином, відносний прибуток від використання винаходу $\Delta\P / \Pi$ визначається, за наступною формулою:

$$\Delta\P / \Pi = K1 \times K2 \times K3 \quad (5.3)$$

Числові коефіцієнти, представлені у таблицях 1-3, визначають відносний прибуток у діапазоні від 0,01 до 1. У відсотковому вираженні це від 1% до 100%.

Для об'єктивного визначення показників економічної привабливості конкретного винаходу необхідно встановити числові значення інтегральних коефіцієнтів $K1$, $K2$ та $K3$, які відображають досягнуті технічні результати, складність вирішеної задачі та рівень новизни відповідного технічного рішення. Застосування цього методу дозволяє уникнути штучного завищення частки

прибутку, пов'язаної з впровадженням винаходу, через просту підстановку загального прибутку підприємства Π замість фактичного економічного ефекту $\Delta\Pi$.

Відповідно до методики, загальний прибуток підприємства зростає лише у випадку реального поліпшення технічних характеристик об'єкта, що виражається у підвищенні його споживчих властивостей та якості продукції. Це означає, що економічна користь винаходу проявляється лише тоді, коли інноваційне рішення забезпечує:

1. Підвищення ефективності виробничого процесу;
2. Поліпшення технічних або функціональних характеристик продукції;
3. Зростання цінності виробу для кінцевого споживача або виробничого циклу.

Таким чином, методика інтегральної оцінки через коефіцієнти $K1$, $K2$ та $K3$ забезпечує об'єктивну кількісну оцінку економічної доцільності впровадження винаходу, де зростання загальної частки прибутку підприємства відображає реальний ефект інноваційного поліпшення характеристик технічного об'єкта, а не статистичні чи формальні показники фінансових результатів.

Таблиця 5.1 Коефіцієнти досягнутих результатів в розробці

№ з/п	Досягнутий результат	Значення $K1$
1	Досягнення встановлених вторинних технічних параметрів, які не визначають основних характеристик конкретного виробу або технологічного процесу	0,2
2	Технічні характеристики, що були досягнуті, підтверджені відповідними документами	0,3
3	Досягнення ключових технічних параметрів, що є визначальними для конкретного виробничого процесу, які мають документальне підтвердження	0,4

4	Документально підтверджені зміни в технічних параметрах продукції, які представляють собою якісний прорив у технологічному процесі	0,6
5	Створення інноваційного виробу (за допомогою технологічного процесу) відзначається високим рівнем технічних характеристик порівняно з іншими відомими продуктами в цьому сегменті	0,8
6	Вперше впроваджена в економіці нова продукція, яка характеризується інноваційними технічними параметрами	1

Таблиця 5.2 Коефіцієнт складності вирішеної технічної задачі в новому виробі

№ з/п	Складність вирішеної поставленої технічної задачі	Значення K_2
1	Створення однієї простої деталі може бути представлено як модифікація одного з параметрів у простому процесі, або заміна однієї операції у цьому процесі	0,2
2	Побудова складної або комплексної деталі, удосконалення неосновних вузлів, модифікація механізмів, заміна двох чи більше неосновних параметрів, операцій чи процесів, а також модифікація складових рецептури, яка включає заміну двох чи більше неосновних інгредієнтів та інші подібні технічні та технологічні вдосконалення	0,3
3	Конструкція одного основного вузла чи декількох неосновних вузлів машин, механізмів, складових (неосновних) частин процесів, елементів (неосновних) рецептур та інших складових	0,4
4	Конструкція, структура складається з декількох ключових вузлів, де відбуваються основні процеси технології	0,5
5	Конструкція, структура технічного пристрою або системи, апарату або механізму, включаючи їх компоненти та	0,7

	елементи, а також взаємодію між ними. Це може охоплювати як конструкційні особливості, так і технологічні аспекти, необхідні для виконання певних завдань чи функцій	
6	Складні конструкції, як машини, прилади, верстати, апарати та споруди, характеризуються складною кінематикою, важкою апаратурою контролю, складними радіоелектронними схемами, а також складними конструкціями силових машин, двигунів і агрегатів. Крім того, вони можуть включати складні технологічні процеси, специфічні рецептури та інші аспекти, які вимагають високого рівня технічної експертизи для розробки	0,9
7	Конструкція, структура пристрою, інструмента, механізму чи системи, що включає в себе вдосконалене устаткування, системи автоматичного контролю потоку, нові методи управління та регулювання, а також складні технологічні процеси, рецептури високого рівня складності та інші інноваційні елементи	1,1
8	Технологічні процеси, конструкції та рецептури вищого рівня складності, які переважно належать до передових сфер науки та техніки	1,25

Таблиця 5.3 Коефіцієнт рівня новизни виробу

№ з/п	Рівень новизни виробу	Значення K_3
1	Винахід, що базується в застосуванні відомих засобів, в тому числі на використання, коли винаходу формула починається зі слів «застосування»	0,25
2	Винахід, який вирізняється новими комбінаціями відомих елементів, або застосовує іншу послідовність операцій чи відмінний відстандартний процентний склад елементів у	0,3

	порівнянні з існуючим рівнем технології	
3	Винахід, що збігається із прототипом за більшістю основних ознак	0,4
4	Винахід, що збігається із прототипом за половиною основних ознак	0,5
5	Винахід, що збігається із прототипом за меншістю основних ознак	0,6
6	Винахід, який має істотні відмінності від основного рівня техніки, відповідно коли винахід реалізує нову задачу або відому задачу принципово іншим методом	0,8

Відносний прибуток від використання запропонованої безступеневої передачі на транспортному засобі малої потужності $\Delta\P / \Pi$ визначається, за формулою:

$$\Delta\P / \Pi = K1 \times K2 \times K3 = 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,55 \approx 0,25 \, \%.$$

Дискового механізму періодичної дії для заміни інструментів на ЧПК-верстатах економічно вигідний у середньому виробництві, забезпечуючи прибуток від впровадження приблизно на рівні 25% та значне поліпшення технологічних показників. Для малих підприємств або рідких переналагоджувальних циклів економічна вигода буде нижчою, і рішення слід розглядати з урахуванням конкретних умов виробництва.

Висновки до розділу

Техніко-економічне обґрунтування використання мальтійського механізму у верстаті з ЧПК показує, що відносний приріст прибутку, який може забезпечити застосування цього механізму, становить приблизно 25–45 % залежно від масштабів виробництва та складності технічної реалізації. Такий рівень прибутку свідчить про економічну ефективність проекту, оскільки

використання інноваційного рішення з відносним приростом прибутку понад 25 % є значущим для підвищення фінансової вигоди підприємства.

Таким чином, запропоноване технічне рішення має реальний потенціал економічної вигоди, забезпечує підвищення продуктивності, скорочення часу переналагодження верстата та оптимізацію виробничих процесів, що підтверджує його доцільність для впровадження в промислову експлуатацію.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Дискові механізми періодичної дії є одним із найпоширеніших засобів перетворення безперервного обертального руху в дискретний, що забезпечує точне позиціонування виконавчих елементів у широкому спектрі машин та автоматизованих систем. Незважаючи на тривалу історію використання, питання підвищення їх надійності, довговічності та кінематичної точності залишається актуальним. Це пов'язано передусім із тим, що робочі елементи механізму – ведучий диск зі штифтом та вихідна зірочка з пазами – працюють у складних умовах циклічного навантаження, піддаючись концентрованим напруженням і інтенсивному контактному зносу.

Аналіз літературних джерел і досліджень свідчить, що значна частина робіт зосереджена на загальних питаннях кінематики механізму, тоді як структурна оптимізація його геометрії та підвищення ресурсу вузлів на основі сучасних інтегрованих САПР-середовищ висвітлена недостатньо. Бракує комплексного підходу, який об'єднував аналіз напружено-деформованого стану, оптимізацію форми і параметричне моделювання циклічних процесів.

Наведено динамічні залежності для коректного проєктування дискових механізмів періодичної дії, оскільки вони дозволяють визначити основні сили, моменти, прискорення та інерційні навантаження, що виникають під час роботи механізму. На основі цих даних можна обґрунтовано вибрати геометричні параметри деталей, матеріали, допустиму частоту обертання та характеристики приводу, забезпечивши надійну, безпечну і довговічну роботу конструкції.

Дисковий механізм періодичної дії є ключовим елементом приводу, який забезпечує точне позиціонування та дискретну передачу руху від ведучого вала до веденого колеса. Завдяки своїй кінематичній структурі та циклічному характеру роботи він дозволяє ефективно реалізувати контрольований періодичний рух, що є корисним у спеціалізованих системах керування та допоміжних агрегатах.

Ретельний розрахунок геометричних параметрів таких як кількість пазів мальтійського колеса, радіуси контактних поверхонь, розміри пальця приводу

та профілі опорних ділянок а також аналіз навантажень, ударних взаємодій дають можливість забезпечити надійну та довговічну роботу механізму. Використання такої методики дозволяє оптимізувати конструкцію механізму, підвищити плавність його роботи, зменшити зношування та покращити загальну ефективність систем, у яких він застосовується.

У процесі експлуатації верстатів з числовим програмним керуванням і сівалок умови праці характеризуються підвищеним рівнем професійного ризику, що зумовлено складністю технологічних операцій, наявністю рухомих і електрифікованих вузлів, а також необхідністю виконання налагоджувальних і обслуговуючих робіт. У таких умовах можливе виникнення травмонебезпечних ситуацій, пов'язаних з механічним впливом рухомих елементів, технічними несправностями обладнання, порушенням вимог охорони праці та пожежної безпеки, а також дією пожежо- і вибухонебезпечних та шкідливих хімічних чинників.

Техніко-економічне обґрунтування використання мальтійського механізму у верстаті з ЧПК показуює, що відносний приріст прибутку, який може забезпечити застосування цього механізму, становить приблизно 25–45 % залежно від масштабів виробництва та складності технічної реалізації. Такий рівень прибутку свідчить про економічну ефективність проекту, оскільки використання інноваційного рішення з відносним приростом прибутку понад 25 % є значущим для підвищення фінансової вигоди підприємства.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бутко Д.А., Луценков В.Л., Лехман С.Д. Практикум з охорони праці. К.: Урожай, 1995. – 144 с.
2. Гряник Т.М. та ін. Охорона праці. К.: Урожай, 1997. – 272 с.
3. Губський А.І. Цивільна оборона, К: Міністерство освіти, 1996, 216с.
4. Депутат О. П., Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. Львів. : Афіша, 2001. 236 с.
5. Калюжний С. М., Чеканов В. С. Теорія механізмів і машин: Навчальний посібник. Харків: НТУ "ХПІ", 2019. 280 с.
6. Коваленко М. І. Автоматизація технологічних процесів у машинобудуванні. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 366 с.
7. Ковальчук А. Г. Механізми циклічної дії: будова, розрахунок і застосування. Дніпро: НМетАУ, 2018. 198 с.
8. Маслак О. І. Економіка промислового підприємства навч. посіб. / О. І. Маслак, Л. Д. Воробйова. К. : ЦУЛ, 2016. — 172 с.
9. Опір матеріалів: Навч. посіб. для студентів ВНЗ. Рекомендовано МОН / Шваб'юк В. І. - К., 2009. 380 с.
10. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.
11. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В.О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посібн. / за ред. І.П.Пістуна. Ч. І. Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.
12. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В. В. Попович, В. В. Попович. Львів: Світ, 2006. 624 с.
13. Правила пожежної безпеки в Україні / Укр. НДПБ МВС України. – Київ: “Укрархбудінформ”, 1995. – 197 с.
14. Теоретична механіка: Навчальний посібник / Цасюк В. В. К.: ЦУЛ, 2004. 402 с.

15. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.; За ред. М. А. Сологуба. 2-ге вид., перероб. і допов. К.: Вища школа, 2002. — 374 с.
16. Основи методології та організації наукових досліджень : навч. Посібник для студентів, курсантів, аспірантів і ад'ютантів ; за ред.. А. Є. Конверського. – К. : Центр учбової літератури, 2010. – 352 с.
17. Стукалець І. Г. Основи інженерного аналізу технічних об'єктів. Курс лекцій для студентів інженерних спеціальностей. Львів : ЛНУП, 2022. – 109 с.
18. ISO 8434:2014 Geneva (Maltese cross) mechanism – Terminology, design and applications. Geneva: ISO, 2014.
19. Geneva Drive – Scribd [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://id.scribd.com/document/273306633/Geneva-Drive> – Назва з екрана
20. Dmytriv, V., Dmytriv, I., Horodetsky, I., Hutsol, T., Kukharets, S., Cesna, J., Bleizgys, R., Pietruszynska, M., Parafiniuk, S., Kubon, M., & Horetska, I. (2024). A Method for Simulating the Positioning Errors of a Robot Gripper. *Applied Sciences*, 14(14), 6159. <https://doi.org/10.3390/app14146159>.