

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Дослідження динаміки процесу зміни захватів місцями
двозахватних пристроїв промислових роботів з
розробкою технології обробки храповика**

**Research into the dynamics of the process of changing grips
in place of double-grip devices of industrial robots with the
development of ratchet processing technology**

Виконала здобувачка вищої освіти
2 курсу магістратури групи ПМ-24Мз-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Маргарита ШЕВЕЛА

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Віталій МАЖАРА

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Руслан ОСІН

Завідувач кафедри ММР
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет

Центр заочної та дистанційної освіти

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

машинобудування,

мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

Завдання на кваліфікаційну роботу за другим (магістерським) рівнем вищої освіти Шевелі Маргариті Володимирівні

Тема роботи:

Дослідження динаміки процесу зміни захватів місцями двозахватних пристроїв промислових роботів з розробкою технології обробки храповика

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Віталій МАЖАРА

Затверджено наказом ЦНТУ від 22 серпня 2025 року № 49-13.

Строк подання роботи до захисту:

20 грудня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: провести теоретичні дослідження динамічної якості двозахватного пристрою, зокрема динаміки процесу зміни захватів місцями; розробити експериментальну установку для дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв; провести експериментальні дослідження.

Завдання: розробити технологічний процес виготовлення храповика; вивести рівняння, які будуть описувати процес зупинки захватів у момент позиціонування; експериментальним шляхом отримати математичні моделі та побудувати поверхні відгуку залежності амплітуди власних коливань та швидкості обертання пристроїв від маси деталей, вильоту руки промислового робота і тиску в системі.

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	канд. екон. наук, доцент Ірина ЖУРИЛО		

Календарний план

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання літератури по тематиці роботи	20.09.2025 р.	
2	Виконання технологічної частини	04.10.2025 р.	
3	Виконання конструкторської частини	17.10.2025 р.	
3	Виконання дослідної частини	22.11.2025 р.	
4	Виконання економічної частини	04.12.2025 р.	
5	Виконання графічної частини роботи	09.12.2025 р.	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	11.12.2025 р.	
7	Рецензування роботи	14.12.2025 р.	

Дата видачі завдання
01 вересня 2025 р.

Здобувачка вищої освіти

Маргарита ШЕВЕЛА

Керівник роботи

Віталій МАЖАРА

АНОТАЦІЯ

Шевела М. В. Дослідження динаміки процесу зміни захватів місцями двозахватних пристроїв промислових роботів з розробкою технології обробки храповика : кваліфікаційна магістерська робота : спец. 131 «Прикладна механіка» ОПП «Прикладна механіка» / наук. кер. В. А. Мажара. Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. - 71 с.

Графічна частина – 9 аркушів формату А1.

Мета роботи. Провести теоретичні дослідження динамічної якості двозахватного пристрою, зокрема динаміки процесу зміни захватів місцями. Розробити експериментальну установку для дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв. Провести ряд експериментальних досліджень та вивести залежності амплітуди власних коливань та швидкості обертання пристроїв від маси деталей, вильоту руки ПР і тиску в системі.

Актуальність роботи. Сучасний етап розвитку промисловості характеризується широким застосуванням роботизованих систем, які забезпечують високу продуктивність, точність і стабільність технологічних процесів. У більшості виробничих операцій важливу роль відіграють захватні пристрої, від конструкції та принципів їх роботи безпосередньо залежить ефективність функціонування промислового робота.

Наукова новизна. Виконано теоретичні дослідження динамічної якості двозахватного пристрою, зокрема динаміки процесу зміни захватів місцями, визначено власні частоти. Отримано рівняння, які описують процес зупинки захватів у момент позиціонування. На базі промислового робота “Бриг–10” розроблено експериментальну установку для дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв. Експериментальним шляхом отримано математичні моделі та побудовано поверхні відгуку залежності амплітуди власних коливань та швидкості обертання пристроїв від маси деталей, вильоту руки промислового робота і тиску в системі.

промисловий робот, технологічний процес, експеримент, зміна захватів місцями

ANNOTATION

Shevela M. V. Research into the dynamics of the process of changing grips in place of double-grip devices of industrial robots with the development of ratchet processing technology : qualification work for the educational level "Master's" : specialty 131 "Applied Mechanics" EPP "Applied Mechanics" / scientific director V. A. Mazhara. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi: TsNTU, 2025. - 71 p.

Graphic part - 9 sheets of A1 format.

Purpose of the work. To conduct theoretical research on the dynamic quality of a two-grip device, in particular, the dynamics of the process of changing grips. To develop an experimental setup for studying the dynamic quality of two-grip devices. To conduct a series of experimental studies and derive the dependencies of the amplitude of natural vibrations and the rotation speed of devices on the mass of parts, the reach of the PR arm, and the pressure in the system.

Relevance of the work. The current stage of industrial development is characterised by the widespread use of robotic systems that ensure high productivity, accuracy and stability of technological processes. Gripping devices play an important role in most production operations, and the efficiency of industrial robots directly depends on their design and operating principles.

Scientific novelty. Theoretical studies of the dynamic quality of a two-gripper device, in particular the dynamics of the process of changing grippers, have been carried out, and natural frequencies have been determined. Equations describing the process of stopping grippers at the moment of positioning have been obtained. Based on the Brig-10 industrial robot, an experimental setup was developed to study the dynamic quality of two-gripper devices. Mathematical models were obtained experimentally and response surfaces were constructed for the dependence of the amplitude of natural vibrations and the rotation speed of devices on the mass of parts, the reach of the industrial robot's arm, and the pressure in the system.

industrial robot, technological process, experiment, changing grippers

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз точності та технологічності деталі	8
1.2 Вибір заготовки та методу її отримання	9
1.3 Розробка маршруту виготовлення деталі	10
1.4 Розробка структури та змісту технологічних операцій	12
1.5 Вибір технологічного оснащення, ріжучого та контрольного інструменту	15
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	19
2.1 Розрахунок шліцьової протяжки	19
3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	28
3.1. Вступ	28
3.2 Теоретичні дослідження динаміки процесу зміни захватів місцями	30
3.3 Експериментальні дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв	32
3.3.1 Опис засобів вимірювання	32
3.3.2 Опис експериментальної установки	34
3.3.3 Тарування датчиків та побудова графіків переводу	37
3.4 Результати дослідження оцінки динамічної якості конструкцій двозахватних промислових роботів	42
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	57
4.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	57
4.2 Розрахунок календарно-планових нормативів	59
4.3 Розрахунок планової цехової собівартості	63
ВИСНОВКИ	66
ЛІТЕРАТУРА	67

ВСТУП

Машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, яка визначає рівень економічного розвитку будь-якої країни. Воно виступає базою для створення сучасних засобів виробництва, транспорту, енергетичного обладнання та технологічних комплексів. Від рівня розвитку машинобудівного сектору залежить можливість ефективної модернізації інших сфер економіки, зокрема металургії, хімічної промисловості, будівництва та сільського господарства. Саме тому інвестиції у цю галузь мають стратегічне значення для підвищення конкурентоспроможності держави на світовому ринку.

Одним із головних чинників успішного функціонування машинобудування є застосування сучасного обладнання. Використання новітніх верстатів із числовим програмним керуванням, систем автоматизації та комп'ютерних технологій дозволяє значно зменшити час виготовлення продукції, підвищити її точність та надійність. Сучасні виробничі комплекси забезпечують гнучкість технологічних процесів, що є важливою умовою для швидкої адаптації підприємств до змін попиту та вимог ринку. Впровадження інновацій у виробничий процес сприяє також зниженню собівартості продукції та підвищенню її конкурентоспроможності.

Особливу роль у розвитку машинобудування відіграє широке використання промислових роботів. Автоматизовані маніпулятори й роботизовані комплекси здатні виконувати операції з високою точністю та повторюваністю, що практично неможливо забезпечити виключно ручною працею. Роботи застосовуються для зварювання, механічної обробки, складання, транспортування та контролю якості виробів. Це не лише збільшує продуктивність праці, а й створює умови для підвищення культури виробництва, зниження травматизму та покращення умов праці персоналу.

Кваліфікаційну роботу виконуємо у відповідності до рекомендацій [5].

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз точності та технологічності деталі

Деталь храповик ПП0316М виготовляється з сталі 40Х, яка добре оброблюється та має високі механічні властивості.

Дана деталь, що є тілом обертання, та має такі поверхні: основними базуючими поверхнями, що визначають положення деталі в вузлі, є внутрішня шліцьова поверхня 6x21x25H7x5D9 (4) (рис. 1.1) та чотири зубці храповика (5). Допоміжними базовими поверхнями, які визначають положення деталей, що приєднуються, є зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 34h14_{(-0,62)}$ (3), та торці (1 і 2).

Основними технологічними задачами обробки крестовини є отримання зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання а також зубців храповика з потрібною точністю та шорсткістю. Діаметральні розміри шийок зменшуються к кінців. Деталь не має великих буртів та фланців. Зубці храповика розміщені зручно для обробки. Тож храповик має достатню жорсткість для ведення високоточної обробки (співвідношення довжини до діаметру < 10).

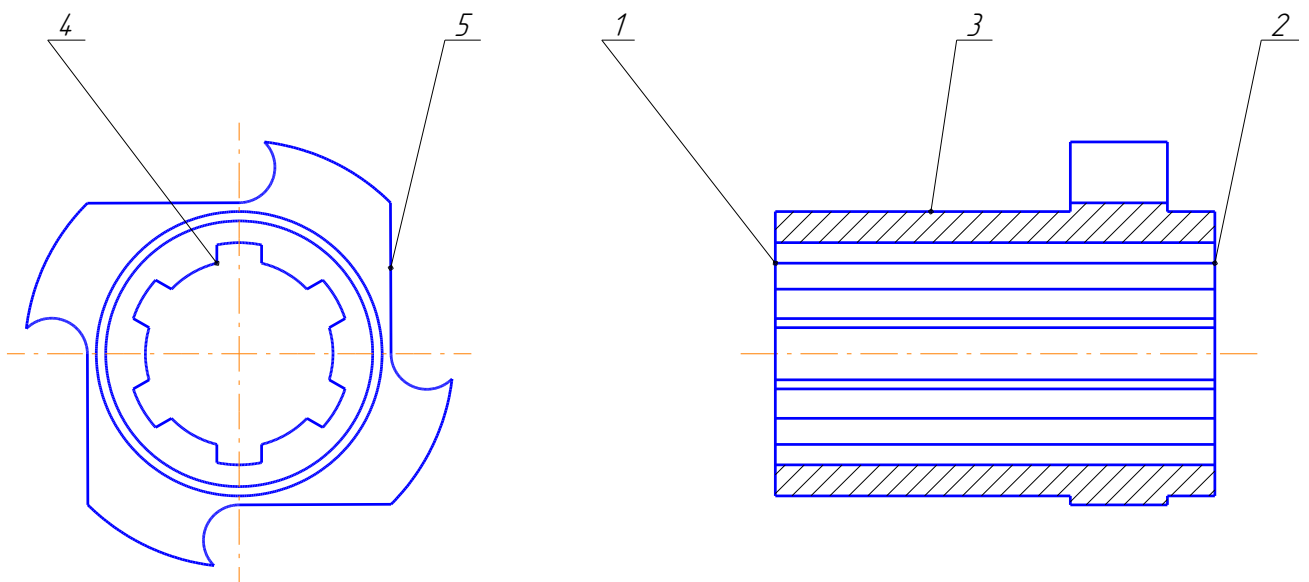


Рисунок 1.1 – Поверхні, що оброблюються в деталі храповик ПП0316М

З точки зору механічної обробки не технологічними є чотири зубці храповика (5), але використання при їх обробці фрези відповідного діаметру знімає усі проблеми. Тож в цілому деталь є технологічною.

З метою систематизації параметрів точності оброблюваних поверхонь деталі храповик, зводимо їх до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри точності храповика

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Точність відносних поворотів	Точність форми	R _a
1, 2	Торці	33 _{-0,62}	h14	-	-	6,3
3	Зовнішня циліндрична	32 _{-0,62}	h14	-	-	6,3
4	Внутрішня шліцьова	25 ^{+0.021} 5 ^{+0.06} _{+0.03} 21 ^{+0,33}	H7 D9 H14	-	-	3,2
5	Зубці храповика	Ø48 _{-0,39} 17±0,2	h13 js14	-	-	6.3

1.2 Вибір заготовок та методів їх отримання

Виходячи із службового призначення та конфігурації деталі храповик для його виготовлення пропонується використовувати – сталь 40Х за ГОСТ 4543-71. Хімічний склад та механічні властивості матеріалу храповика ПП0316М наведені в таблиці 1.2.

При виборі способу отримання заготовки враховується конструкція деталі, матеріал, а також тип виробництва. Враховуючи всі ці умови для отримання заготовки деталі храповик пропонується прокат. Цей спосіб отримання заготовок є

найбільш дешевим, а зважаючи на незначну програму випуску, та відсутність значних перепадів діаметральних розмірів найбільш підходить для даної деталі.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу храповика

Марка матеріалу	Хімічний склад, %					Механічні властивості		
	C	Cr	Mn	Si	P	σ_B , МПа	σ_T , МПа	HB
Сталь 40Х	0,38-	0,95-	0,61-	0,17-	до	500	215	123-
	0,45	1,3	0,91	0,36	0,025			167

1.3 Розробка маршруту виготовлення деталі

Вирішення питань розробки технологічного процесу потребує виконання ряду обґрунтовувань. Одним з найважливіших питань, є вибір методів обробки окремих поверхонь деталі. Такий пошук виконується з урахуванням необхідних точностних характеристик оброблювальних деталей, вибраного методу отримання заготовки, та використання рекомендованих маршрутів обробки типових деталей та їх поверхонь.

Таблиця 1.3 – Таблиця маршрутів обробки поверхонь деталі храповик

№ пов	Допуск на поверхню δ_d , мм	Допуск на заготовку δ_z , мм	Загальне уточнення, E_z	Шорсткість поверхні, мкм	Можливі варіанти маршрутів обробки		Допуск на методи обробки	Уточнення по кожному переходу
					№	Зміст маршруту		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1, 2	0,62	1,0	1,61	6,3	1	Точіння одноразове	0,62	1,61

Продовження таблиці 1.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0,62	1,0	1,61	6,3	1	Точіння одноразове	0,62	1,61
4	0,33	-	-	3,2	1	Свердління	0,52	-
						Розточування	0,33	1,58
						Протягування	0,13	2,54
5	0,39	1,0	2,56	6,3	1	Точіння одноразове	0,39	2,56

При розробці першої операції вибираємо таку схему базування, яка б забезпечила знімання рівномірного припуску з поверхонь деталі. Від підготовки на першій операції технологічної бази плануємо обробку інших поверхонь. В останню чергу повинні оброблятися найбільш точні поверхні та ті, що легко псуються. Технічний контроль в технологічному процесі передбачається в кінці технологічного процесу. На операціях технічний контроль здійснюється робітниками-верстатниками вибірково.

Маршрут обробки храповика ПП0316М:

005 Токарна з ЧПК

Верстат – токарний з ЧПК SL-20 HAAS

1. Встановити деталь;
2. Підрізати торець;
3. Точити шийку $\varnothing 32$ мм;
4. Точити шийку $\varnothing 48$ мм;
5. Свердлити отвір $\varnothing 19,5$ мм;
6. Відрізати деталь.

010 Токарна з ЧПК

Верстат – токарний з ЧПК SL-20 HAAS

1. Встановити деталь;
2. Точити шийку $\varnothing 32$ мм;
3. Розточити отвір $\varnothing 20,65$ мм;

4. Зняти деталь.

015 Горизонтально протяжна

Верстат – горизонтально протяжний 7Б56

1. Встановити деталь;

2. Протягнути шліцьовий отвір;

3. Зняти деталь.

020 Вертикально фрезерна

Верстат – шпоночнофрезерний 692А

1. Встановити деталь;

2. Фрезерувати чотири зубці храповика;

3. Зняти деталь.

025 Слюсарна

Верстак слюсарний

1. Спилати завусенці.

030 Контрольна

1. Контролювати розміри.

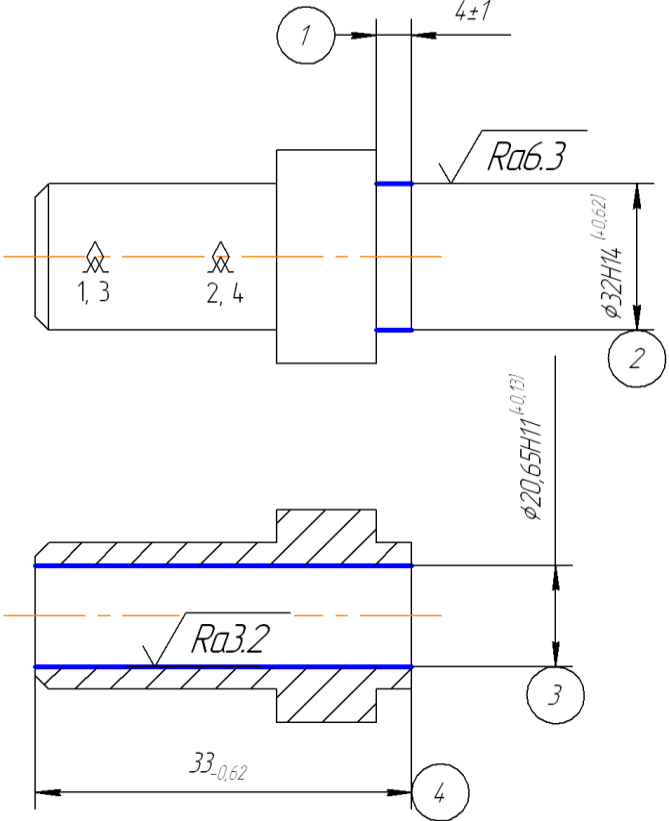
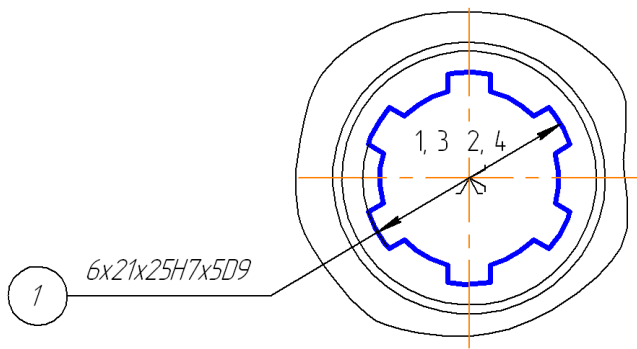
1.4 Розробка структури та змісту технологічних операцій

На підставі технологічного маршруту обробки храповика, маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням технічних вимог до окремих поверхонь, розробляється структура та зміст кожної операції [6].

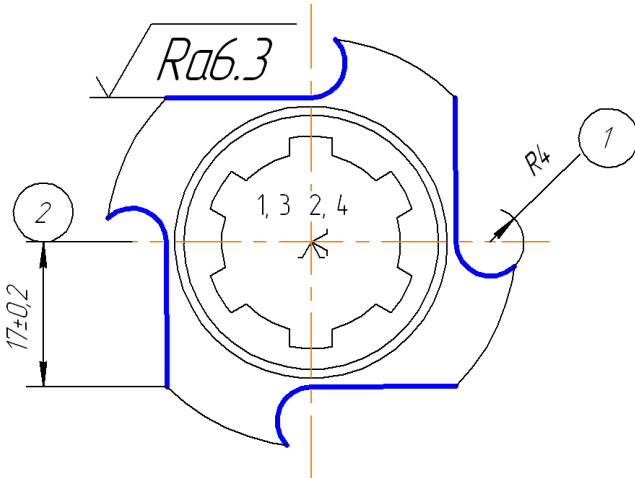
Таблиця 1.4 – Маршрут обробки храповика

№ опер	Обладнання	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК SL-20 фірми HAAS		1. Встановити деталь. 2. Підрізати торець. 3. Точити шийку, витримавши розміри 1, 2, 3. 4. Точити шийку, витримавши розміри 4, 5. 5. Свердлити отвір, витримавши розміри 6, 7. 6. Відрізати деталь, витримавши розмір 8. 7. Покласти деталь в тару.

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК SL-20 фірми HAAS		1. Встановити деталь. 2. Точити шийку, витримавши розміри 1, 2. 3. Розточити отвір, витримавши розміри 3, 4. 4. Зняти деталь.
015 Горизонтально протяжна	Горизонтально протяжний 7Б56		1. Встановити деталь. 2. Протягнути шліцьовий отвір, витримавши розмір 1. 3. Зняти деталь

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
020 Вертикально фрезерна	Шпоночно фрезерний 692A		1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати чотири храповика послідовно, витримавши розміри 1, 2. 3. Зняти деталь

1.5 Вибір технологічного оснащення, ріжучого та контрольного інструменту

Обираємо, які затискні пристрої необхідні для реалізації операцій, згідно прийнятого технологічного процесу обробки храповика ПП0316М [10, 26, 27].

Стисла технічна характеристика вибраних затискних пристроїв приведена в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Пристрої для обробки деталі

№ операції	Найменування затискного пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
Храповик ПП0316М			
005	Патрон трикулачковий	2675-80	Пневматичний
010	Патрон трикулачковий	2675-80	Пневматичний
015	Пристрій протяжний	7299-4256	Механічний
020	Пристрій фрезерний	7299-0052	Механічний

Ріжучий інструмент на операціях обираємо з урахуванням обраного верстату, поверхні яка обробляється, стадії обробки, типу виробництва, ріжучих властивостей та стійкості інструменту [8]. На операціях, де обробка ведеться на оброблюючих центрах використовуємо ріжучий інструмент фірми Iscar.

Інформацію про обраний інструмент заносимо до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі

№ опер	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт (код)	Ріжуча частина	
				Матеріал	ГОСТ
1	2	3	4	5	6
Храповик ПП0316М					
005	2, 3,	Збірний прохідний	26595-87	T5K10	3882-74
	4	різець з механічним кріпленням пластин			
	5	Свердло Ø19,5	10902-77	P6M5	19265-73
010	6	Різець відрізний	2424-74	T5K10	3882-74
	2	Збірний прохідний різець з механічним кріпленням пластин	26595-87	T5K10	3882-74
	3	Різець розточний	18880-73	T5K10	3882-74

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6
015	2	Протяжка шліцева 6x21x25H7x5D9	24818-83	P6M5	19265-73
020	2	Фреза концева Ø7,8	17025-71	P6M5	19265-73

Засоби технічного контролю вибираємо з урахуванням точності вимірювання, розміру, якості поверхні та типу виробництва. Відомості про контрольні інструменти неведемо в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Інструмент для контролю деталі

№ опер	№ пер.	Параметр деталі, що контролюється	Найменування інструменту	Стандарт (код)
1	2	3	4	5
Храповик ПП0316М				
005	3	Діаметральний розмір Ø32 _{-0,62}	Скоба Ø32 _{-0,62}	8551-75
	4	Діаметральний розмір Ø48 _{-0,39}	Скоба Ø48 _{-0,39}	8551-75
	5	Діаметральний розмір Ø19,5 ^{+0,36}	Пробка Ø19,5 ^{+0,36}	8572-75
010	6	Лінійний розмір 33 _{-0,62}	Штангенциркуль	166-80
	2	Діаметральний розмір Ø32 _{-0,62}	Скоба Ø32 _{-0,62}	8551-75
	3	Діаметр. розмір Ø20,65 ^{+0,13}	Пробка Ø20,65 ^{+0,13}	8572-75
015	2	Отвір Ø21 ^{+0,33}	Калібр-пробка	8133-0935
		Ширина шліців 5D9	Спецвимірювач	8154-4002
		Внутрішня циліндрична Ø25 ^{+0,021}	Спецвимірювач	8315-4000
020	2	Комплексна перевірка 6x21x25H7x5D9	Спецвимірювач	8133-4032
		Лінійний розмір Ø34 _{-0,62}	Спецвимірювач	8364-4006

1.6 Розрахунок режимів різання та технічне нормування

Режими різання визначаємо за нормативними даними. Визначені елементи режимів різання заносимо до таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Зведена таблиця режимів різання на операції механічної обробки

Номер		t, мм	i	S _o , мм/об; мм/хв	V, м/хв	n, об/хв	L _{рх} , мм	t _o , хв
Опера ції	Перехо ду							
005	2	2,2	1	0,3	81,6	500	30	0,2
	3	2,5	4	0,3	81,6	500	22	0,587
	4	2,0	1	0,3	81,6	500	12	0,08
	5	9,75	1	0,15	19,3	315	40	0,847
	6	4,0	1	0,2	81,6	500	30	0,3
010	2	2,5	4	0,3	81,6	500	6	0,16
	3	0,575	1	0,2	32,42	500	38	0,38
015	2	-	1	-	6	-	-	0,23
020	2	7	4	320	17	700	20	0,25

Результати розрахунку норм часу заносимо до таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Результати технічного нормування

№ опер	t _o (хв.)	t _д (хв.)	t _{тех} (хв.)	t _{орг.} (хв.)	t _{відп} (хв.)	t _{шт} (хв.)	t _{п-з} (хв.)	t _{шт.к} (хв.)
005	2,014	1,26	0,065	0,049	0,147	3,535	20	3,702
010	0,54	0,82	0,027	0,02	0,061	1,468	20	1,635
015	0,23	0,48	0,014	0,011	0,032	0,767	14	0,884
020	0,25	0,74	0,02	0,015	0,045	1,07	18	1,22

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок шліцьової протяжки

Розрахунок комбінованої шліцьової протяжки для обробки деталі храповик із сталі 40Х, НВ 190. Розміри отвору до протягування $d_0 = 20.65^{+0.13}$, внутрішній діаметр шліцьового отвору $d = 21^{+0.33}$ мм; зовнішній діаметр шліцьового отвору $D = 25^{+0.021}$ мм; кількість шліців $Z = 6$; ширина шліців $b = 5^{+0.06}_{+0.03}$; довжина оброблюваного отвору $L = 33$ мм.

1. Група оброблюємості – II;
2. Група якості – II;
3. Матеріал різальної частини протяжки – сталь Р6М5.
4. З'єднання різальної частини з хвостовиком – зварювання, матеріал хвостовика – сталь 40Х. Конструкція хвостовика автоматичного патрона. Розмір визначаємо за табличними даними $d_{хв} = 18^{-0.075}_{-0.115}$;

5. Геометрія різальної частини:

- переднього кута: $\gamma_{чор} = 15^\circ$; $\gamma_{чис} = 18^\circ$;
- задній кут: $\alpha_{чор} = 3^\circ$; $\alpha_{чис} = 2^\circ$; $\alpha_k = 1^\circ$;

6. Швидкість різання: $V = 4\text{м/хв}$; $= 0,07\text{м/с}$;

7. Відстань до першого зуба: $L_1 = 280 + L = 280 + 33 = 313\text{мм}$

Приймаємо $L_1 = 320$ мм.

8. Площина хвостовики, що визначає його міцність $F_x = 132.7\text{ мм}^2$

9. Крок ріжучих зубців:

$$t_p = m \cdot \sqrt{L} = (1.25 \dots 1.5) \sqrt{33} = 8\text{мм} \quad (2.1)$$

10. Глибина стружкової канавки.

$$h_k = 3\text{ мм};$$

11. Число одночасно працюючих зубів:

$$Z_{\max} = \frac{L}{t_p} + 1 = \frac{33}{8} + 1 = 5.12 \quad (2.2)$$

приймаємо $Z_{\max} = 5$;

12. Максимально допустима сила протягування: $P_{\text{ст.}} = 0,9 \cdot 10 = 9 \text{ т}$;

Сила допустима міцності хвостовика – 19 т; Приймаємо $P_{\max} = P_{\text{ст}} = 9 \text{ т}$.

13. Визначаємо підйоми зубців:

Для чорнових зубців $S_1 = 0.08 \text{ мм}$;

Для переходних зубців $S_2 = 0.04 \text{ мм}$;

Для чистових зубців $S_3 = 0.02 \text{ мм}$;

14. Число зубів в секції на чорновій частині.

Ширина зрізу:

$$B_{\Phi} = b + 2c + (d - d_0) = 5 + 2 \cdot 0,2 + (21 - 20,65) = 5,9 \text{ мм}; \quad (2.3)$$

$$B_{\text{кр}} = \frac{\pi \cdot d}{Z} - (b + 2 \cdot c) = \frac{3.14 \cdot 21}{6} - (5 + 2 \cdot 0.2) = 5.59 \text{ мм}; \quad (2.4)$$

$$B_{\text{ш}} = b \cdot 1 \cdot S = 5 \cdot 33 \cdot 0,02 = 3,3 \text{ мм}; \quad (2.5)$$

При $S_0 = 0,08$, $\gamma = 18^\circ$ знаходимо $q_0 = 31,85 \text{ кг/мм}$. В якості МОР приймаємо сульфифрезол. Поправочні коефіцієнти на осьову силу різання: $K_{\text{р.м}} = 1,2$; $K_{\text{р.о}} = 1$;

Периметр зрізу:

$$P_{\Phi} = B_{\Phi} \cdot Z = 5,9 \cdot 6 = 35,4 \text{ мм}; \quad (2.6)$$

$$P_{\text{кр}} = B_{\text{кр}} \cdot Z = 5,59 \cdot 6 = 33,54 \text{ мм}; \quad (2.7)$$

$$P_{\phi} = B_{ш} \cdot Z = 3,3 \cdot 6 = 19,8 \text{ мм}; \quad (2.8)$$

Число зубів у секції:

$$Z_{\phi} = \frac{P_{\phi} \cdot Z_P \cdot q_0 \cdot K_{PM} \cdot K_{PP} \cdot K_{PK}}{D_{\max}} = \frac{35,4 \cdot 6 \cdot 31,85 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1}{9000} = 1,85 \quad (2.9)$$

$$Z_{KP} = \frac{33,54 \cdot 6 \cdot 31,85 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1}{9000} = 1,8 \quad (2.10)$$

$$Z_{ш} = \frac{19,8 \cdot 6 \cdot 31,85 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1}{9000} = 1,5 \quad (2.11)$$

Приймаємо $Z_{\phi} = Z_{кр} = 2$; Для шліцевих зубів $Z_{ш} = 2$;

15. Розподіл припуску.

а) на фасочній частині. Діаметр останнього фасочного зуба:

$$D_{\phi.\max} = d + 0,4 = 21 + 0,4 = 21,4; \quad (2.12)$$

$$A_{\phi} = D_{\phi.\max} - D_o = 21,4 - 20,65 = 0,75 \text{ мм}; \quad (2.13)$$

б) на круглій частині:

$$D_{кр.\max} = d_{\max} = 21,33 \text{ мм}; \quad (2.14)$$

$$A_{к} = d_{\max} - d_o = 21,33 - 20,65 = 0,68 \text{ мм}; \quad (2.15)$$

в) на шліцевій частині. Діаметр першого шліцевого зуба:

$$D_{ш.1} = D_{\phi.\max} - 0,1 = 21,4 - 0,1 = 21,3 \text{ мм}; \quad (2.16)$$

$$A_{ш} = D_{\max} - D_{ш.1} = 25,021 - 21,3 = 3,721 \text{ мм}; \quad (2.17)$$

16. Число чорнових секцій (зубів) і розподілення залишкового припуску.

Фасочна частина.

Розрахункове число секцій фасочних зубів:

$$i_{\phi.P.} = \frac{A_{\phi}}{2 \cdot S_o} = \frac{0.75}{2 \cdot 0,08} = 4.7; \quad (2.18)$$

Приймаємо $i_{\phi} = 5$;

Додаємо до фасочної частини ще одну секцію зубів:

Тоді: $i_{\phi} = 5 + 1 = 6$.

Кругла частина:

Розрахункове число чорнових зубів:

$$i_{K.P.} = \frac{A_{OK}}{2S_o} = \frac{0.68}{2 \cdot 0,08} = 5.3; \quad (2.19)$$

Приймаємо: $i_K = 6$.

Залишковий припуск:

$$A_{K.ост.} = A_{OK} - 2S_o \cdot i_K = 0,68 - 2 \cdot 0,08 \cdot 6 = 0,02\text{мм}. \quad (2.20)$$

Приймаємо чорнових секцій круглих зубів $i_K = 6$; а залишковий припуск переносимо на чистову частину, додавши до неї одну секцію. Цю секцію розташовуємо спочатку чистової частини.

Шліцьова частина:

Розрахункове число секцій чорнових зубів:

$$i_{ш.P.} = \frac{A_{ош}}{2S_o} = \frac{3.721}{2 \cdot 0,08} = 43.25; \quad (2.21)$$

Приймаємо: $i_{ш} = 43$;

$$A_{ш.ост.} = A_{ош} - 2S_O \cdot i_k = 3,721 - 2 \cdot 0,08 \cdot 43 = 0,201 \text{ мм.} \quad (2.22)$$

Приймаємо чорнових секцій круглих зубів $i_{ш} = 43$; а залишковий припуск переносимо на чистову частину, додавши до неї одну секцію.

17. Число зубців протяжки

На фасочній частині $Z_{\Phi} = i_{\Phi} \cdot Z_{сф} = 6 \cdot 1,85 = 11$;

На круглій частині $Z_{кр} = Z_{кр.0} + Z_{кр.п} + Z_{кр.ч} + Z_{кр.к} = 6 + 5 + 4 + 3 = 18$;

На шліцьовій частині $Z_{ш} = Z_{ш.0} + Z_{ш.п} + Z_{ш.ч} + Z_{ш.к} = 43 + 6 + 6 + 6 = 61$;

Число зубців протяжки $Z = Z_{\Phi} + Z_{кр} + Z_{ш} = 11 + 18 + 36 = 90$ шт.

18. Діаметри зубців:

Фасочна частина:

$$d_{\Phi 1} = D_{\Phi. \max} - A_{\Phi} = 21,4 - 0,75 = 20,65 \text{ мм;} \quad (2.23)$$

$$d_{\Phi 2} = 20,65 + 0,08 = 20,73 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 3} = 20,73 + 0,08 = 20,81 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 4} = 20,81 + 0,08 = 20,89 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 5} = 20,89 + 0,08 = 20,97 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 6} = 20,97 + 0,08 = 21,05 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 7} = 21,05 + 0,08 = 21,13 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 8} = 21,13 + 0,08 = 21,21 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 9} = 21,21 + 0,08 = 21,29 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 10} = 21,29 + 0,08 = 21,37 \text{ мм;}$$

$$d_{\Phi 11} = 21,37 + 0,03 = 21,4 \text{ мм;}$$

Усі зубці чорнові.

Кругла частина:

$$d_{кр1} = D_{кр.max} - A_{кр} = 21,33 - 0,68 = 20,65 \text{ мм}; \quad (2.24)$$

$$d_{кр2} = 20,65 + 0,08 = 20,73 \text{ мм};$$

$$d_{кр3} = 20,73 + 0,08 = 20,81 \text{ мм};$$

$$d_{кр4} = 20,81 + 0,08 = 20,89 \text{ мм};$$

$$d_{кр5} = 20,89 + 0,08 = 20,97 \text{ мм};$$

$$d_{кр6} = 20,97 + 0,08 = 21,05 \text{ мм};$$

$$d_{кр7} = 21,05 + 0,04 = 21,09 \text{ мм};$$

$$d_{кр8} = 21,09 + 0,04 = 21,13 \text{ мм};$$

$$d_{кр9} = 21,13 + 0,04 = 21,17 \text{ мм};$$

$$d_{кр10} = 21,17 + 0,04 = 21,21 \text{ мм};$$

$$d_{кр11} = 21,21 + 0,04 = 21,25 \text{ мм};$$

$$d_{кр12} = 21,25 + 0,02 = 21,27 \text{ мм};$$

$$d_{кр13} = 21,27 + 0,02 = 21,29 \text{ мм};$$

$$d_{кр14} = 21,29 + 0,02 = 21,31 \text{ мм};$$

$$d_{кр15} = 21,31 + 0,02 = 21,33 \text{ мм};$$

Три калібруючих зубці $d_{кр.к} = 21,33 \text{ мм};$

Шліцьова частина:

$$d_{ш.1} = D_{ф.max} - 0,1 = 21,4 - 0,1 = 21,3 \text{ мм}; \quad (2.25)$$

$$d_{ш2} = 21,3 + 0,08 = 21,38 \text{ мм};$$

$$d_{ш3} = 21,38 + 0,08 = 21,46 \text{ мм};$$

$$d_{ш4} = 21,46 + 0,08 = 21,54 \text{ мм};$$

$$d_{ш5} = 21,54 + 0,08 = 21,62 \text{ мм};$$

$$d_{ш6} = 21,62 + 0,08 = 21,7 \text{ мм};$$

$$\begin{aligned}
d_{\text{ш}7} &= 21,7 + 0,08 = 21,78 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}8} &= 21,78 + 0,08 = 21,86 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}9} &= 21,86 + 0,08 = 21,94 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}10} &= 21,94 + 0,08 = 22,02 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}11} &= 22,02 + 0,08 = 22,1 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}12} &= 22,1 + 0,08 = 22,18 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}13} &= 22,18 + 0,08 = 22,26 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}14} &= 22,26 + 0,08 = 22,34 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}15} &= 22,34 + 0,08 = 22,42 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}16} &= 22,42 + 0,08 = 22,5 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}17} &= 22,5 + 0,08 = 22,58 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}18} &= 22,58 + 0,08 = 22,66 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}19} &= 22,66 + 0,08 = 22,74 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}20} &= 22,74 + 0,08 = 22,82 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}21} &= 22,82 + 0,08 = 22,9 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}22} &= 22,9 + 0,08 = 22,98 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}23} &= 22,98 + 0,08 = 23,06 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}24} &= 23,06 + 0,08 = 23,14 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}25} &= 23,14 + 0,08 = 23,22 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}26} &= 23,22 + 0,08 = 23,3 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}27} &= 23,3 + 0,08 = 23,38 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}28} &= 23,38 + 0,08 = 23,46 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}29} &= 23,46 + 0,08 = 23,54 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}30} &= 23,54 + 0,08 = 23,62 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}31} &= 23,62 + 0,08 = 23,7 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}32} &= 23,7 + 0,08 = 23,78 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}33} &= 23,78 + 0,08 = 23,86 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}34} &= 23,86 + 0,08 = 23,94 \text{ мм}; \\
d_{\text{ш}35} &= 23,94 + 0,08 = 24,02 \text{ мм};
\end{aligned}$$

$$d_{ш36} = 24,02 + 0,08 = 24,1 \text{ мм};$$

$$d_{ш37} = 24,1 + 0,08 = 24,18 \text{ мм};$$

$$d_{ш38} = 24,18 + 0,08 = 24,26 \text{ мм};$$

$$d_{ш39} = 24,26 + 0,08 = 24,34 \text{ мм};$$

$$d_{ш40} = 24,34 + 0,08 = 24,42 \text{ мм};$$

$$d_{ш41} = 24,42 + 0,08 = 24,5 \text{ мм};$$

$$d_{ш42} = 24,5 + 0,08 = 24,58 \text{ мм};$$

$$d_{ш43} = 24,58 + 0,08 = 24,66 \text{ мм};$$

$$d_{ш44} = 24,66 + 0,04 = 24,7 \text{ мм};$$

$$d_{ш45} = 24,7 + 0,04 = 24,74 \text{ мм};$$

$$d_{ш46} = 24,74 + 0,04 = 24,78 \text{ мм};$$

$$d_{ш47} = 24,78 + 0,04 = 24,82 \text{ мм};$$

$$d_{ш48} = 24,82 + 0,04 = 24,86 \text{ мм};$$

$$d_{ш49} = 24,86 + 0,04 = 24,9 \text{ мм};$$

$$d_{ш50} = 24,9 + 0,02 = 24,92 \text{ мм};$$

$$d_{ш51} = 24,92 + 0,02 = 24,94 \text{ мм};$$

$$d_{ш52} = 24,94 + 0,02 = 24,96 \text{ мм};$$

$$d_{ш53} = 24,96 + 0,02 = 24,98 \text{ мм};$$

$$d_{ш54} = 24,98 + 0,02 = 25,00 \text{ мм};$$

$$d_{ш55} = 25 + 0,021 = 25,021 \text{ мм};$$

Шість калібруючих зубці $d_{ш.к} = 25,021 \text{ мм};$

19. Довжина ріжучої частини протяжки:

$$l_{\phi} = t_o \cdot Z_{\phi} = 11 \cdot 11 = 121 \text{ мм}; \quad (2.26)$$

$$l_{кр} = t_o (Z_{кр.0} + Z_{кр.п}) + t_{ч} (Z_{кр.ч} + Z_{кр.к}) = 11(6+5) + 7(4+3) = 170 \text{ мм}; \quad (2.27)$$

$$l_{ш} = t_o (Z_{ш.0} + Z_{ш.п}) + t_{ч} (Z_{ш.ч} + Z_{ш.к}) = 11(43+6) + 7(6+6) = 623 \text{ мм}; \quad (2.28)$$

$$L = l_{\phi} + l_{кр} + l_{ш} = 121 + 171 + 623 = 915 \text{ мм.} \quad (2.29)$$

Передня направляюча $l_{пн} = 50 \text{ мм}$;

Довжина переднього хвостовика $l_{пх} = 150 \text{ мм}$;

Довжина задньої направляючої $l_{зн} = 80 \text{ мм}$;

20. Загальна довжина протяжки:

$$L_{пр} = 150 + 50 + 915 + 80 = 1195 \text{ мм;} \quad (2.30)$$

Приймаємо $L_{пр} = 1200 \text{ мм}$.

Технічні вимоги на виготовлення протяжки по ГОСТ 7943-83.

Робоче креслення протяжки винесено в графічну частину кваліфікаційної роботи.

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Вступ

Актуальність теми.

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується широким застосуванням роботизованих систем, які забезпечують високу продуктивність, точність і стабільність технологічних процесів. У більшості виробничих операцій важливу роль відіграють захватні пристрої, від конструкції та принципів їх роботи безпосередньо залежить ефективність функціонування промислового робота. Зокрема, актуальним є використання двозахватних систем, що дозволяють виконувати операції з мінімальними втратами часу на переналагодження та забезпечують безперервність процесу маніпулювання.

Одним із ключових завдань для таких систем є організація швидкої та надійної зміни захватів місцями. Від динамічних характеристик цього процесу залежить не лише продуктивність, а й точність позиціонування, стабільність роботи, зниження енергетичних витрат і навантажень на вузли маніпулятора. Дослідження динаміки зміни захватів дозволяє виявити фактори, що обмежують швидкодію пристрою, оптимізувати конструктивні параметри та алгоритми управління, а також мінімізувати негативні явища, пов'язані з вібраціями та інерційними навантаженнями.

Зростаюча потреба у гнучких виробничих системах, де роботи виконують багатомноменклатурні завдання, обумовлює необхідність скорочення часу допоміжних операцій. Саме процес зміни захватів є типовим прикладом допоміжної операції, яка часто займає значну частку циклу. Тому оптимізація цього процесу безпосередньо впливає на економічну ефективність виробництва.

Актуальність теми також визначається тим, що двозахватні пристрої все частіше застосовуються у високотехнологічних галузях, таких як машинобудування, електроніка, логістика, харчова та фармацевтична

промисловість. У цих сферах пред'являються підвищені вимоги до надійності, точності й швидкодії робототехнічних комплексів. Дослідження динаміки процесу зміни захватів місцями сприяє створенню нових конструкцій із покращеними характеристиками та формуванню теоретичної бази для розробки енергоощадних і високопродуктивних маніпуляторів.

Таким чином, дослідження зазначеного процесу є важливим як з наукової точки зору, так і для практичного впровадження в умовах сучасного виробництва, що забезпечує високу актуальність обраної теми дослідження.

Мета і завдання дослідження.

1. Провести теоретичні дослідження динамічної якості двозахватного пристрою, зокрема динаміки процесу зміни захватів місцями.
2. Розробити експериментальну установку для дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв.
3. Провести ряд експериментальних досліджень та вивести залежності амплітуди власних коливань та швидкості обертання пристроїв від маси деталей, вильоту руки ПР і тиску в системі.

Наукова новизна.

Виконано теоретичні дослідження динамічної якості двозахватного пристрою, зокрема динаміки процесу зміни захватів місцями, визначено власні частоти. Отримано рівняння, які описують процес зупинки захватів у момент позиціонування. На базі промислового робота “Бриг–10” розроблено експериментальну установку для дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв. Експериментальним шляхом отримано математичні моделі та побудовано поверхні відгуку залежності амплітуди власних коливань та швидкості обертання пристроїв від маси деталей, вильоту руки промислового робота і тиску в системі. Виконані експериментальні дослідження підтвердили правильність теоретичних розрахунків.

3.2 Теоретичні дослідження динаміки процесу зміни захватів місцями

Зворотньо – обертовий характер зміни захватів місцями супроводжується значними динамічними навантаженнями які впливають на швидкість та точність рухів, надійність та довговічність роботи конструкції і ін. Все це суттєво підсилюється тим, що ці пристрої розміщені на кінцевій просторово – незамкненій частині руки робота [6, 7]. Таким чином, дослідження цих процесів є актуальним питанням, як для розробки рекомендацій по проектуванню конструкцій, так і визначення умов їх ефективної експлуатації.

Подальші дослідження виконані на прикладі двозахватного пристрою зі структурою [15, 16]:

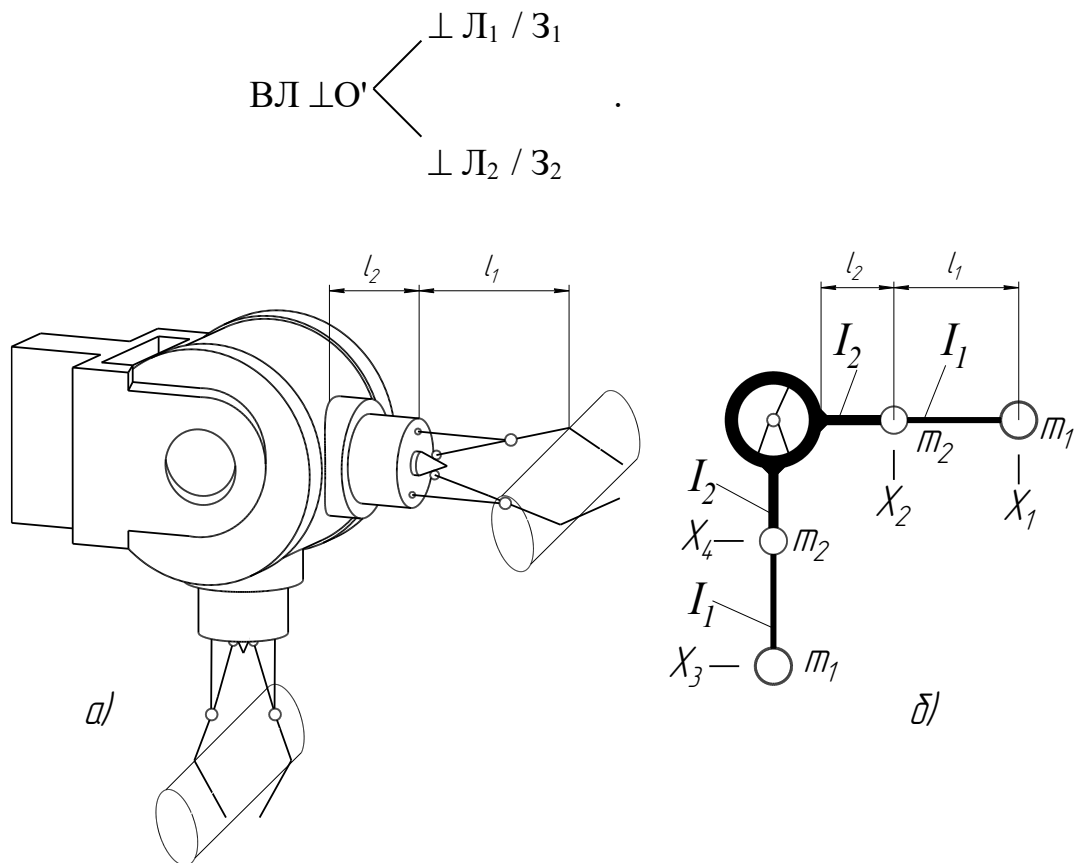


Рисунок 3.1 – Схеми досліджуваного захватного пристрою:

а) конструктивна схема; б) розрахункова схема.

Згідно конструктивного виконання пристрою (рис. 3.1, а), складаємо розрахункову динамічну схему (рис. 3.1, б).

В наведеній динамічній схемі прийняті наступні позначення: m_1 – маса деталі, що утримується захватом; m_2 – маса захвату, включаючи циліндр приводу та затискні важелі; l_1 – довжина затискних важелів; l_2 – довжина циліндру захвату; I_1 , I_2 – відповідно, моменти інерції затискних важелів та циліндру приводу.

Так як ланки приводу виконані у вигляді пластин, циліндрів, балок і т.п., то достатньо обґрунтованим є представлення пристрою у вигляді стержньової системи навантаженої відповідними масами. Головним навантаженням системи є маси деталей які представлені у вигляді зосередженого навантаження (m_1). Захвати, що утримують деталі представлені масою m_2 і розміщені в кінці циліндрів приводів (пнеumo чи гідроциліндрів). Тому маса m_2 враховує половину маси вказаних циліндрів та масу проміжних передач і затискних важелів.

Теоретичним дослідженням динаміки процесу зміни захватів місцями приділялася увага різними вченими України. Зокрема цьому процесу присвячені роботи [17-23]. З наведених у цих роботах дослідженнях слідує, що значні коливання має маса m_1 , якій відповідає маса утримуваної деталі. Коливання кінця циліндру приводу практично не суттєві. На коливання маси m_1 основний вплив має перша частота (гармоніка), так як коливання по другій частоті в декілька десятків менша. Максимальна амплітуда коливання складає 1.19 мм, що при встановленні деталі в патрон токарного верстату може бути допустимою величиною. Це свідчить про достатню жорсткість досліджуваної конструкції захватів і не велику швидкість ($\omega=60^\circ/\text{с}$) зміни захватів місцями. Для підвищення продуктивності зміни захватів необхідно підвищувати динамічну якість конструкції, як за рахунок зменшення її інертності (див. патент № 15774) [25], так і підвищення жорсткості системи затискних важелів, при умові що жорсткість приводу (циліндру) захватів досить висока. Другою складовою підвищення продуктивності є збільшення швидкості обертання захватів, що можливо при використанні безударних законів руху та включення в конструкцію гальмівних систем (див. патент № 18720) [24].

3.3 Експериментальні дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв

3.3.1. Опис засобів вимірювання.

При проведенні експерименту було використано промисловий робот “Бриг – 10”, модернізований двозахватними пристроями.

В дослідженнях контролювалися параметри:

- швидкість процесу зміни захватів місцями (V);
- час процесу зміни захватів місцями (t);
- максимальна амплітуда коливальних процесів в системі, після зупинки (A);
- перепад тиску під час протікання процесу зміни захватів місцями (ΔP).



а)



б)



в)

Рисунок 3.2 – Засоби вимірювання:

а - вимірювальний комплекс мод. ТЭ – 30; б - тензометричні датчики на пластині з пружинної сталі; в - датчик тиску мод. П-15Б.

Зазначені параметри вимірювалися за допомогою атестованих засобів вимірювання: вимірювальний комплекс мод. ТЭ – 30, в склад якого входить тахометр та мілівольтметр (рис. 3.2, а); тензометричні датчики (пластини) R200.8 мОм, що були наклеєні на металеву пластину яка виготовлена з пружинної сталі 65Г (рис. 3.2, б); датчик тиску мод. П-15Б (рис. 3.2, в).

При проведенні експериментів використовувалися двозахватні пристрої, які мають кут повороту при зміні захватів місцями 180° та 90° , а тахометр, що входить до складу вимірювального комплексу ТЭ – 30, працює при мінімальному куті повороту 360° . Тому було виготовлено підвищуючий зубчатий редуктор (рис. 3.3), який встановлювався між досліджуваним пристроєм та віссю обертання тахометра.



Рисунок 3.3 – Тахометр з підвищуючим редуктором:

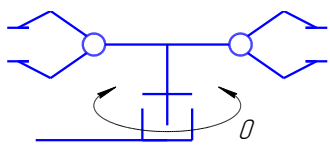
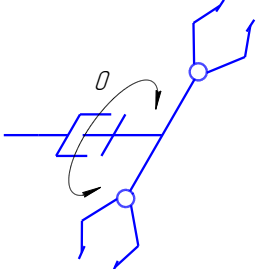
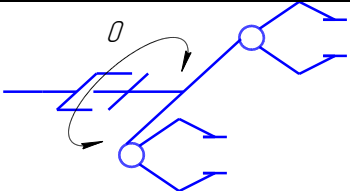
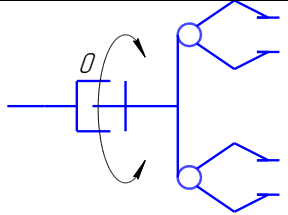
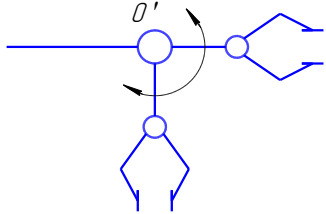
1 – тахометр; 2 – колесо відоме; 3 – колесо ведуче.

Характеристики редуктора: модуль зачеплення $m = 0,3$ мм; кількість зубців ведучого колеса $Z_1 = 165$; кількість зубців ведомого колеса $Z_2 = 15$; передавальне відношення $i = Z_1/Z_2 = 165/15 = 11$.

3.3.2 Опис експериментальної установки

Всі експерименти було розбито на 6 серій (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Серії дослідів

Номер серії дослідів	Назва серії дослідів	Кінематична схема двозахватного пристрою, що досліджується
1	Дослідження динамічної якості двозахватного пристрою з захватами, що розміщені паралельно до руки.	
2	Дослідження динамічної якості двозахватного пристрою з співвісно розміщеними захватами.	
3	Дослідження динамічної якості двозахватного пристрою з паралельно розміщеними захватами.	
4	Дослідження динамічної якості двозахватного пристрою з захватами, в якому затиск відбувається пружинами.	
5 6	Дослідження динамічної якості двозахватного пристрою з перпендикулярно розміщеними захватами.	

До кожної серії дослідів було розроблено схему вимірювання (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Схеми вимірювання по кожній серії дослідів

Номер серії дослідів	Схема вимірювання	Умовні позначення на схемах
1		1 – рука робота; 2 – модуль зміни захватів місцями; 3 – переходна планка; 4 – захват; 5 – деталь; 6 – боек; 7 – датчик тиску; 8 – тахометр; 9 – тензодатчик; 10 – циліндр розтиску деталі.
2		
3		
4		
5		
6		

Експериментальна установка складалася з промислового робота “Бриг – 10”, двозахватних пристроїв та датчиків (п. 3.3.1) які отримували живлення постійним струмом від блока живлення “АГАТ”. Данні з датчиків надходили на тензостанцію “ТОПАЗ”, яку було з’єднано з платою L264. Зазначену плату було влаштовано в “материнську плату” персонального комп’ютера АВМ266. Данні з датчиків підсилені тензостанцією генерувалися платою L264 в файли формату “*.dat” та виводилися на моніторі комп’ютера у вигляді графіків.



Рисунок 3.4 – Експериментальна установка для дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв промислових роботів:

1 – промисловий робот “Бриг – 10”; 2 – досліджуєий двозахватний пристрій; 3 – тахометр; 4 – пластина з тензодатчиками; 5 – датчик тиску; 6 – тензостанція “ТОПАЗ”; 7 – блок живлення “АГАТ”; 8 – комп’ютер АВМ266; 9 – монітор.

3.3.3 Тарування датчиків, та побудова графіків переводу від кодованих до реальних значень

При дослідженнях було використано тензометричні датчики (пластини) R200.8 Ом, що були наклеєні на металеву пластину. Зазначені датчики застосовувалися при визначенні коливальних процесів, що відбуваються в конструкціях досліджуваних пристроїв, після зміни захватів місцями. Для тарировки було розроблено комплекс, який представлений на рис. 3.5.

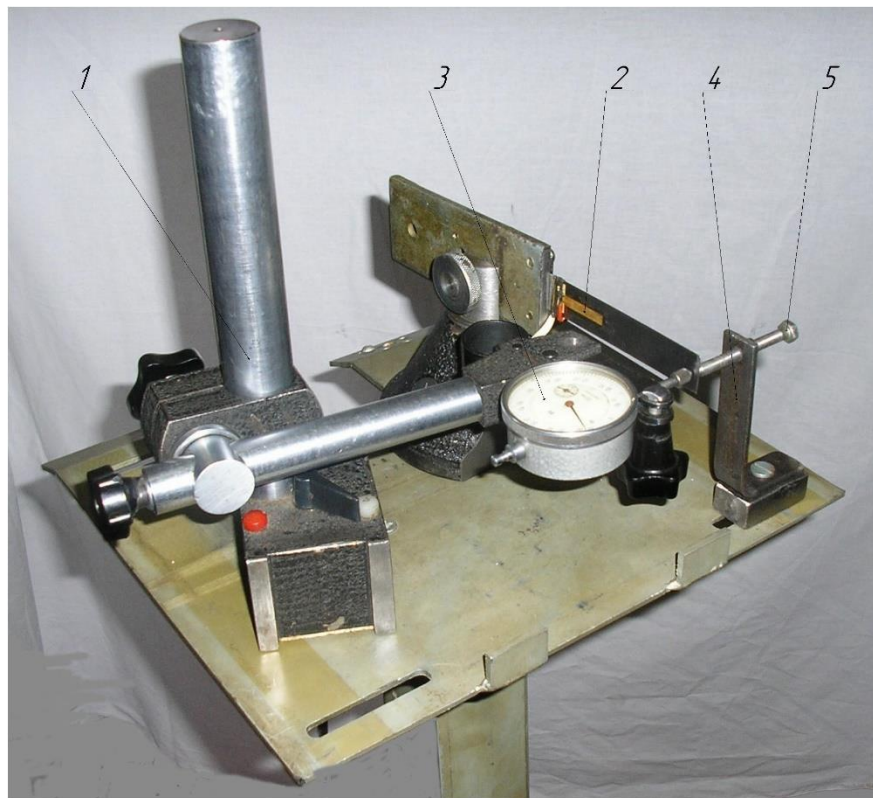


Рисунок 3.5 – Установка для тарування тензодатчиків

Зазначений комплекс складається з магнітної стойки поз. 1, ГОСТ 10197-70, пластини з тензодатчиками поз. 2, індикатору типу ИЧ поз. 3, з ціною поділки 0,01 мм ГОСТ 577-68, кронштейну поз. 4 та гвинта поз. 5.

Пластина з тензодатчиками встановлюється нерухомо. З одного кінця до неї підводиться ніжка індикатору, і його показання виставляються на нуль. З другої

сторони пластина підтискалася гвинтом, що вкручений в кронштейн. Індикатором фіксується переміщення пластини, а дані з тензопластин передаються на плату L264 і фіксуються. По отриманим даним побудовано графік переходу від кодованих значень ПК до реальних переміщень конструкції під час коливальних процесів. Данні тарировки представлені в таблиці 3.3, та на графіку (рис. 3.6).

Таблиця 3.3 – Данні тарування тензодатчиків

Переміщення пластини, мм	Данні плати
0	3,9
1	4,05
2	4,2
3	4,35
4	4,52
5	4,7
6	4,85
7	5

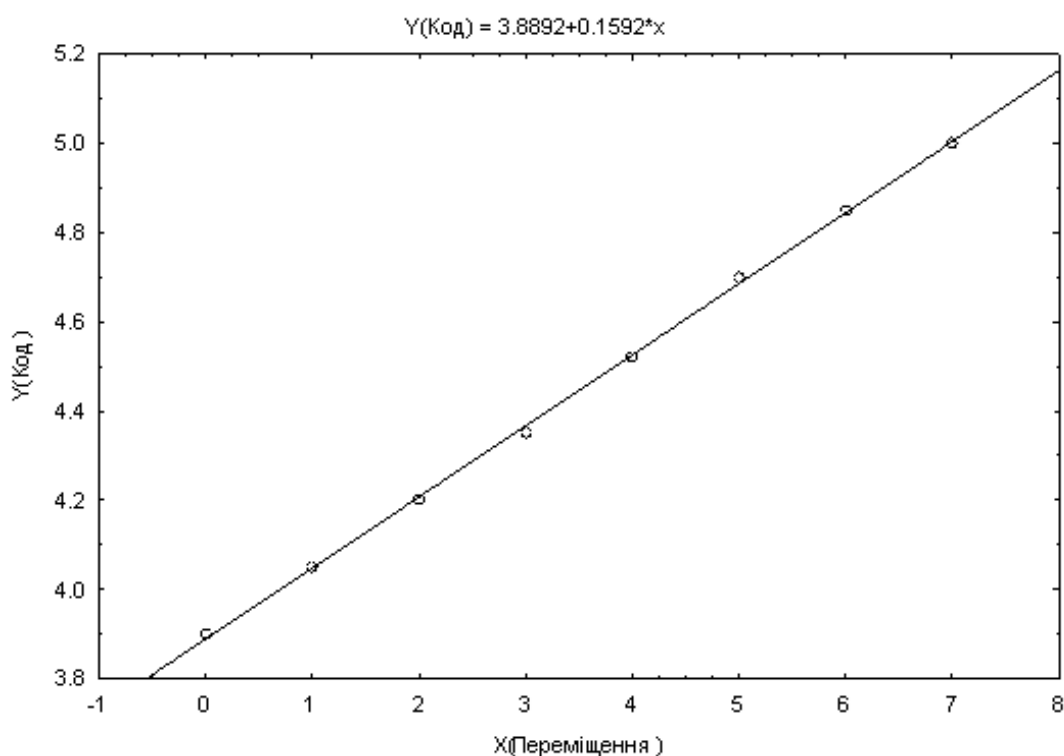


Рисунок 3.6 – Тарувальний графік тензодатчиків

Графік будувався за допомогою програмного пакету Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США), зокрема модуля “Графіки розсіювання”. Після побудови графіку виявилася лінійна залежність, яка описується поліномом:

$$Y = 3.8892 + 0.1592 \cdot X; \quad (3.1)$$

де X – переміщення пластини, мм;

Y – кодоване значення, що видається платою L264.

При дослідженнях середньої швидкості обертання захватів, було використано вимірювальний комплекс мод. ТЭ – 30. Для тарировки застосовувалося джерело постійного струму, в якості якого було використано випрямляч В-24, з діапазоном регулювання напруги 0 – 24 В. Та двигун постійного струму мод. ДПТ-24.



Рисунок 3.7 – Тарировка вимірювального комплексу ТЭ – 30:

1 – випрямляч В – 24; 2 – двигун постійного струму мод. ДПТ-24;
3 – тахометр; 4 – мілівольтметр.

Тахометр поз. 3 було з'єднано з двигуном постійного струму поз. 2, частота обертання якого змінювалася за допомогою випрямляча поз. 1, а швидкість обертання контролювалася мілівольтметром поз. 4, шкала якого одтарована в об/хв. Данні через плату L264 записувалися на ПК. Результати тарировки представлені в таблиці 3.4, та на графіку (рис. 3.8).

Таблиця 3.4 – Данні тарування тахометру

$V_{т, об/хв.}^*$ швидкість обертання тахометра	$V_{дв, об/хв.}$ швидкість обертання двигуна	Кодоване значення
750	68,2	4
1000	90,9	6
1250	113,6	8
1500	136,4	10
1750	159,1	12
2000	181,8	14
2250	204,5	16
2500	227,3	18
2750	250	20
3000	272,7	22

* швидкість обертання тахометра відрізняється від швидкості обертання двигуна на величину передаточного відношення редуктора (див. п. 3.3.1).

Графік побудовано за допомогою модуля “Графіки розсіювання” програмного пакету Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США) [11]. Лінійна залежність описується поліномом:

$$Y = -2.0008 + 0.088 \cdot X; \quad (3.2)$$

де X – швидкість обертання двигуна, ($V_{дв}$) об/хв.; Y – кодоване значення, що генерувалося платою L – 264.

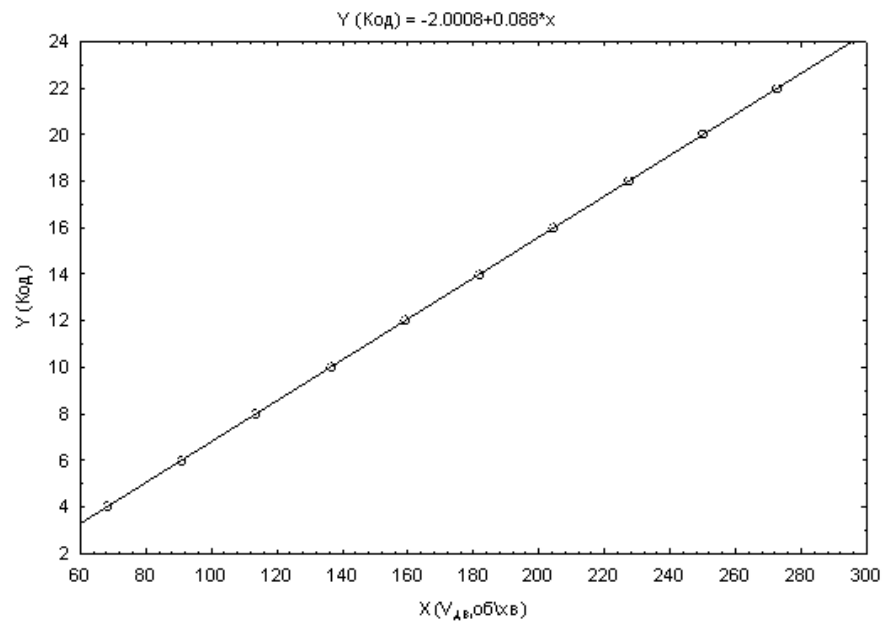


Рисунок 3.8 – Тарувальний графік тахометра в комплексі ТЭ – 30

3.4 Результати дослідження оцінки динамічної якості конструкцій двозахватних промислових роботів

На рис. 3.9 показано експериментальні установки по шести серіям дослідів (табл. 3.5).

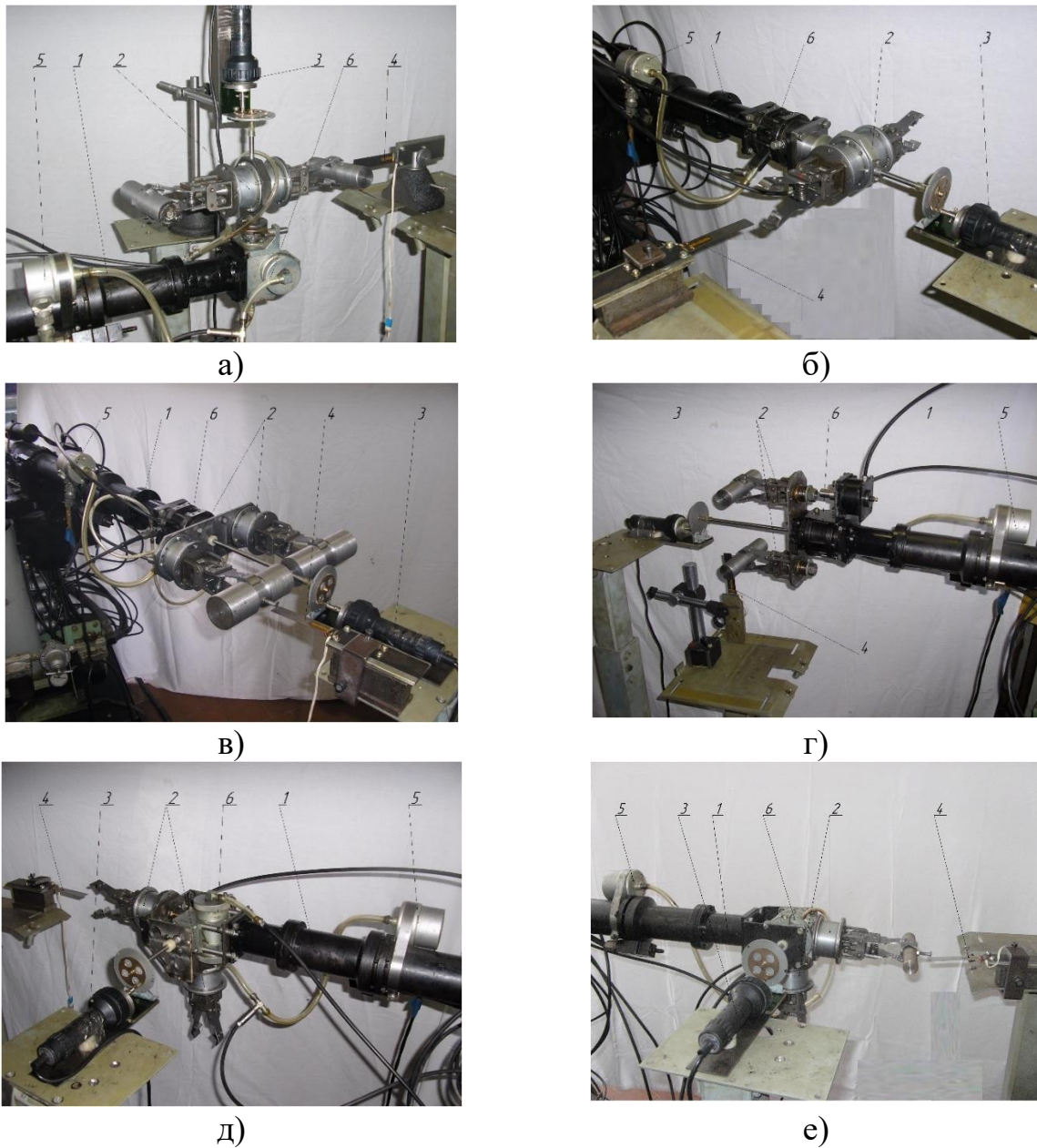


Рисунок 3.9 – Установки для проведення експериментальних досліджень:

1 – промисловий робот “Бриг – 10”; 2 – захвати; 3 – тахометр;
4 – тензодатчик; 5 – датчик тиску; 6 – механізм зміни захватів місцями.

В таблиці 3.5 представлено матрицю плану експерименту з результатами, по першій серії дослідів.

Таблиця 3.5 – Матриця плану 3^{3-1} з результатами експериментів

№ з/п	Replicat	X1 (L)	X2 (P)	X3 (G)	V _{сеп}	A
1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,1	2,5	2,1	37.853	1.36
2	1	0,1	3,0	1,1	39.412	1.24
3	1	0,1	3,5	0,1	44.178	0.99
4	1	0,6	2,5	0,1	38.902	1.41
5	1	0,6	3,0	1,1	43.611	1.12
6	1	0,6	3,5	2,1	38.895	1.53
7	1	1,1	2,5	0,1	42.975	1.12
8	1	1,1	3,0	2,1	38.381	1.61
9	1	1,1	3,5	1,1	39.926	1.53
10	2	0,1	2,5	2,1	37.872	1.31
11	2	0,1	3,0	1,1	39.442	1.27
12	2	0,1	3,5	0,1	44.134	1.01
13	2	0,6	2,5	0,1	38.734	1.35
14	2	0,6	3,0	1,1	43.562	1.18
15	2	0,6	3,5	2,1	39.062	1.59
16	2	1,1	2,5	0,1	42.94	1.17
17	2	1,1	3,0	2,1	38.376	1.64
18	2	1,1	3,5	1,1	40.001	1.57
19	3	0,1	2,5	2,1	37.834	1.28
20	3	0,1	3,0	1,1	39.421	1.31
21	3	0,1	3,5	0,1	44.144	1.00
22	3	0,6	2,5	0,1	38.912	1.36

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7
23	3	0,6	3,0	1,1	43.609	1.09
24	3	0,6	3,5	2,1	38.877	1.55
25	3	1,1	2,5	0,1	42.938	1.08
26	3	1,1	3,0	2,1	38.321	1.55
27	3	1,1	3,5	1,1	39.875	1.49
28	4	0,1	2,5	2,1	37.864	1.35
29	4	0,1	3,0	1,1	39.388	1.33
30	4	0,1	3,5	0,1	44.194	1.07
31	4	0,6	2,5	0,1	38.853	1.4
32	4	0,6	3,0	1,1	43.652	1.04
33	4	0,6	3,5	2,1	38.568	1.61
34	4	1,1	2,5	0,1	42.92	1.1
35	4	1,1	3,0	2,1	38.388	1.58
36	4	1,1	3,5	1,1	39.958	1.48
37	5	0,1	2,5	2,1	37.848	1.3
38	5	0,1	3,0	1,1	39.431	1.25
39	5	0,1	3,5	0,1	44.222	1.03
40	5	0,6	2,5	0,1	39.001	1.33
41	5	0,6	3,0	1,1	43.607	1.08
42	5	0,6	3,5	2,1	38.969	1.57
43	5	1,1	2,5	0,1	42.896	1.08
44	5	1,1	3,0	2,1	38.412	1.53
45	5	1,1	3,5	1,1	39.984	1.54

Для перевірки відсутності похибки в проведених експериментах при постановці послідовних дослідів використаємо критерій Стюдента і вимогу:

$$\frac{y_i - \bar{y}}{s} \leq t; \quad (3.3)$$

де t - критерій Стюдента (вибираємо з таблиці t – розподілення Стюдента $t = 2.776$);

y_i - результат окремого дослідів;

$\bar{y}$ - середнє арифметичне значення паралельно проведених дослідів.

Наявність відхилення значень по t – критерію свідчить про наявність змінчивості повторних дослідів.

Розрахунок похибок паралельних дослідів, дисперсії та квадратичної похибки при обробці даних середньої швидкості обертання захватів виконано у відповідності до відомих методик [9].

Перевірку однорідності дисперсій проводимо по методиці [9] за критерієм Кохрена (G – критерієм). З цим критерієм пов'язані числа степенів вільності $f_1 = 4$ і $f_2 = 5$. По зазначених даним табличне значення критерію Кохрена $G^T = 0,5441$. Розрахункове значення $G_v^p = 0,5439$; $G_a^p = 0,2329$. Гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується, оскільки розрахункове значення критерію Кохрена не перевищує табличного.

Для перевірки адекватності моделей використаємо критерій Фішера (F – критерій). Визначимо табличне значення F – критерію при 5% рівні значимості $F^T = 6,3$ [14]. Розрахункове значення визначаємо, за допомогою програмного продукту MathCAD 2000 Professional. За допомогою даного програмного продукту визначаємо і коефіцієнти значимості ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$).

$$\beta_0 = 36,275; \beta_1 = -0,001; \beta_2 = 0,08; \beta_3 = -0,042.$$

Для побудови математичних моделей та поверхонь відгуку використовуємо програмний продукт Statistica 6.0 [11].

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, об'єктів:

$$V_{сер} = 36.275 \cdot L^{-0.001} \cdot P^{0.08} \cdot G^{-0.042}; \quad (3.4)$$

Згідно перевірки за t – критерієм, значущими факторами є тиск в системі (P) та вага деталі (G).

Згідно аналізу за критерієм Фішера (F – критерій) модель адекватна, оскільки $F^p = 2,564$.

На рис. 3.10 зображено поверхню відгуку впливу тиску (P) та ваги деталі (G) на середню швидкість обертання конструкції захватів при зміні захватів місцями.

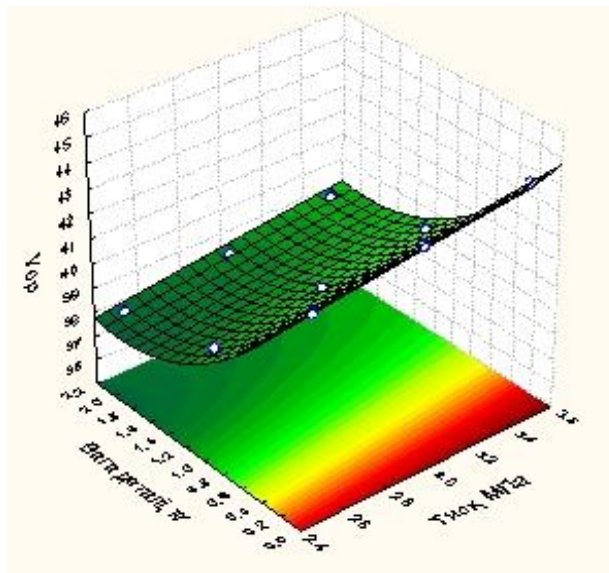


Рисунок 3.10 – Поверхня відгуку впливу тиску (P) та ваги деталі (G), на середню швидкість обертання двозахватного пристрою при зміні захватів місцями

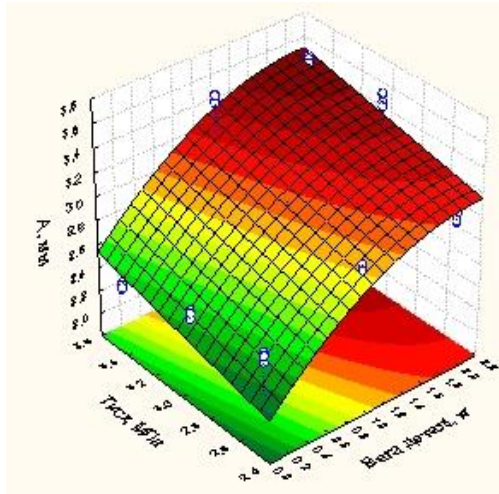
При дослідженні максимальної амплітуди коливання системи коефіцієнти значимості: $\beta_0 = 1,137$; $\beta_1 = 0,056$; $\beta_2 = 0,216$; $\beta_3 = 0,109$.

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, мм.:

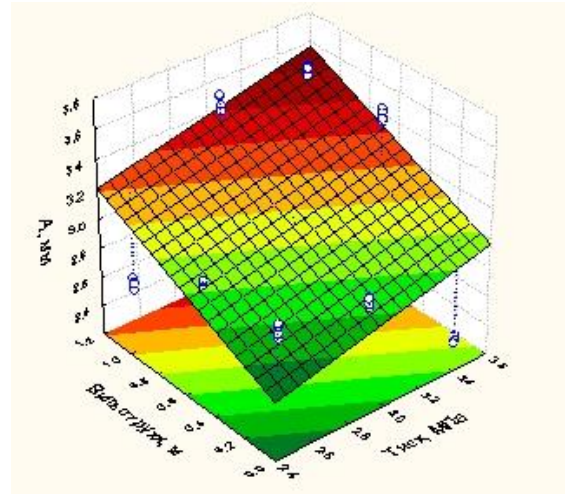
$$A = 1.137 \cdot L^{0.056} \cdot P^{0.216} \cdot G^{0.109}; \quad (3.3)$$

Згідно аналізу за критерієм Фішера (F – критерій) модель адекватна, оскільки $F^p = 0,076$.

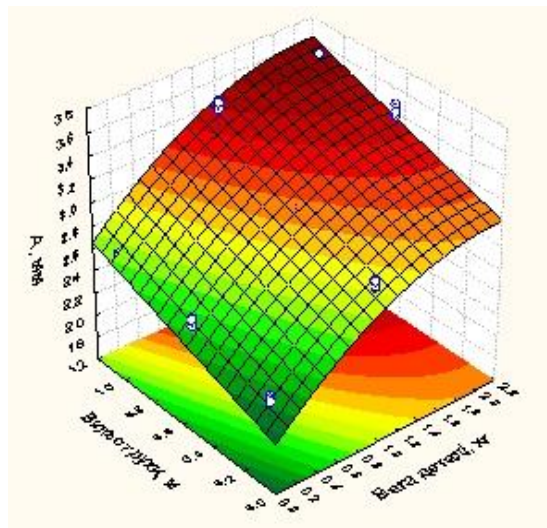
Поверхні відгуку впливу вильоту руки (L), тиску (P) та ваги деталі (G) на максимальну амплітуду коливання конструкції представлені на рис. 3.11.



а)



б)



в)

Рисунок 3.11 – Поверхні відгуку по першій серії дослідів:

а - вплив тиску та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання; б - вплив вильоту руки та тиску на максимальну амплітуду коливання; в - вплив вильоту руки та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання.

Проведемо аналогічні розрахунки по дослідом другої серії.

При перевірці однорідності дисперсій за критерієм Кохрена (G – критерієм), табличне значення $G^T = 0,5441$. Розрахункові значення $G_v^P = 0,2861$; $G_a^P = 0,2329$, гіпотеза про однорідність дисперсії підтверджується.

Перевіримо адекватність моделей по критерію Фішера. Табличне значення $F^T = 6,3$ [14]. Розрахункове значення та коефіцієнти значимості ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$) визначаємо, за допомогою програмного продукту MathCAD 2000 Professional.

$$\beta_0 = 42.613; \beta_1 = -0,002; \beta_2 = 0,092; \beta_3 = -0,051.$$

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, об'єктів:

$$V_{сер} = 42.613 \cdot L^{-0.002} \cdot P^{0.092} \cdot G^{-0.051}; \quad (3.6)$$

Згідно перевірки за t – критерієм, значущими факторами є тиск в системі (P) та вага деталі (G).

Згідно аналізу за критерієм Фішера (F – критерій) модель адекватна, оскільки $F^P = 0,082$.

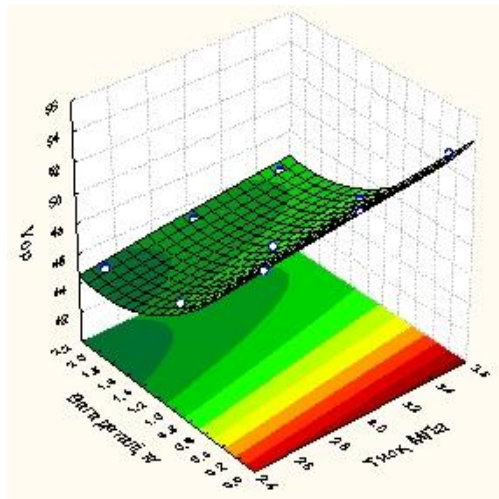
При дослідженні максимальної амплітуди коливання системи коефіцієнти значимості: $\beta_0 = 2,665$; $\beta_1 = 0,061$; $\beta_2 = 0,181$; $\beta_3 = 0,104$.

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, мм.:

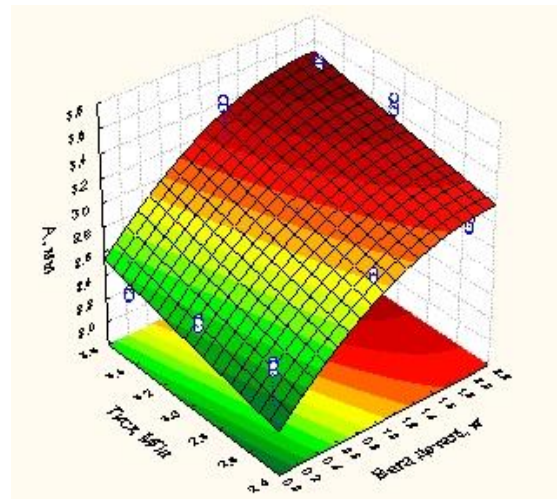
$$A = 2.665 \cdot L^{0.061} \cdot P^{0.181} \cdot G^{0.104}; \quad (3.5)$$

Згідно аналізу за критерієм Фішера (F – критерій) модель адекватна, оскільки $F^P = 4,501$.

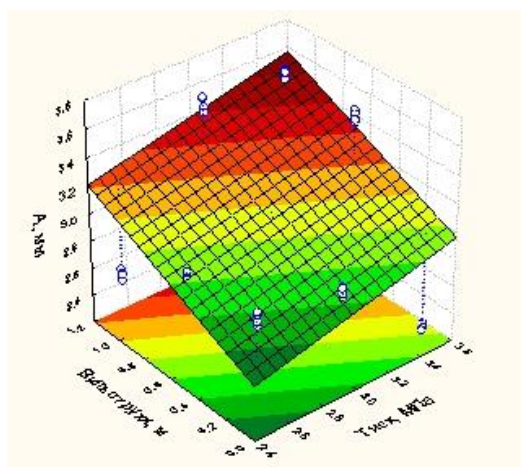
На рис. 3.12, а, представлені поверхню відгуку впливу тиску (P) та ваги деталі (G) на середню швидкість обертання конструкції. Поверхні відгуку впливу вильоту руки (L), тиску (P) та ваги деталі (G) на максимальну амплітуду коливання конструкції представлені на рис. 3.12 (б – г).



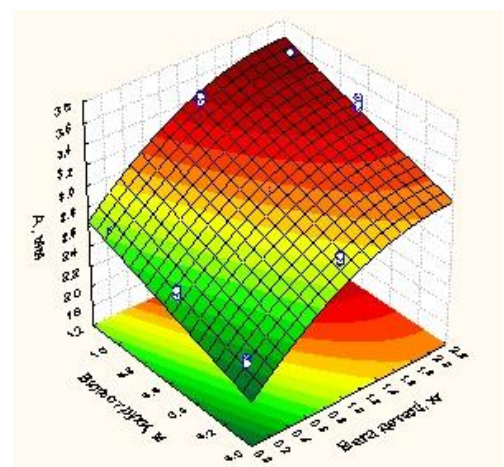
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.12 – Поверхні відгуку по другій серії дослідів:

а – вплив тиску та ваги деталі, на середню швидкість обертання двозахватного пристрою при зміні захватів місцями; б – вплив тиску та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання; в – вплив вильоту руки та тиску на максимальну амплітуду коливання; г – вплив вильоту руки та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання.

Перевірку однорідності дисперсій проведемо критерієм Кохрена. Розрахункові значення $G_v^p = 0,5214$; $G_a^p = 0,3398$ не перевищують табличного $G^T = 0,5441$, тож однорідність дисперсії підтверджується.

Моделі по критерію Фішера адекватні $F^p = 0,182$. Коефіцієнти значимості: $\beta_0 = 42,627$; $\beta_1 = -0,0021$; $\beta_2 = 0,092$; $\beta_3 = -0,051$.

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, об'єктів:

$$V_{\text{сеп}} = 42.627 \cdot L^{-0.0021} \cdot P^{0.092} \cdot G^{-0.051}; \quad (3.8)$$

На рисунку 3.13, а, зображено поверхні відгуку впливу тиску (P) та ваги деталі (G) на середню швидкість обертання конструкції захватів при зміні захватів місцями.

При дослідженні максимальної амплітуди коливання системи коефіцієнти значимості: $\beta_0 = 2,63$; $\beta_1 = 0,059$; $\beta_2 = 0,188$; $\beta_3 = 0,104$.

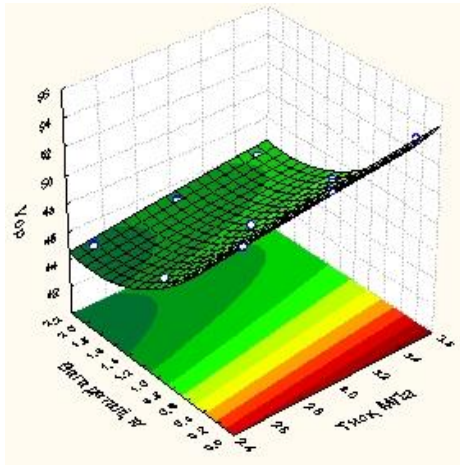
Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, мм.:

$$A = 2.63 \cdot L^{0.059} \cdot P^{0.188} \cdot G^{0.104}; \quad (3.9)$$

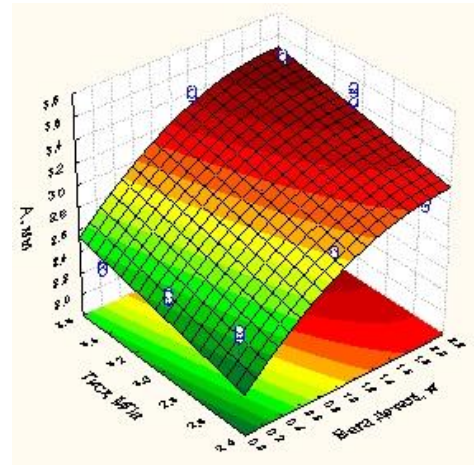
Згідно аналізу за критерієм Фішера (F – критерій) модель адекватна, оскільки $F^p = 4,368$.

Поверхні відгуку впливу вильоту руки (L), тиску (P) та ваги деталі (G) на амплітуду коливання конструкції представлені на рис. 3.13, (б – г).

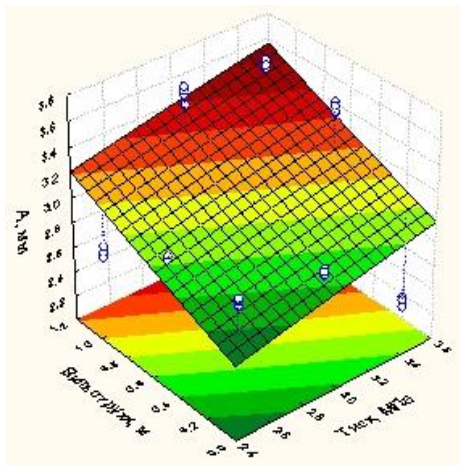
Перевірку однорідності дисперсій перевіримо за G – критерієм. Розрахункові значення $G_v^p = 0,1706$; $G_a^p = 0,2196$. Розрахункові значення критерію Кохрена не перевищує табличного, тож гіпотеза про однорідність дисперсії підтверджується.



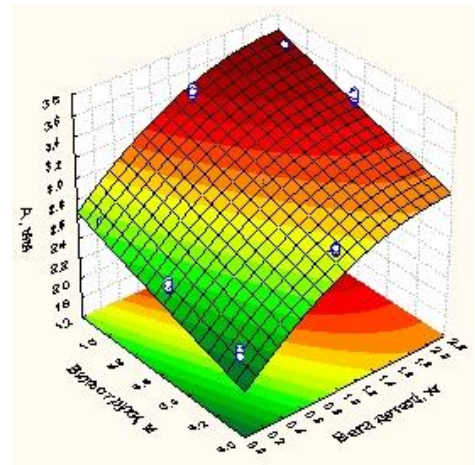
а)



б)



в)

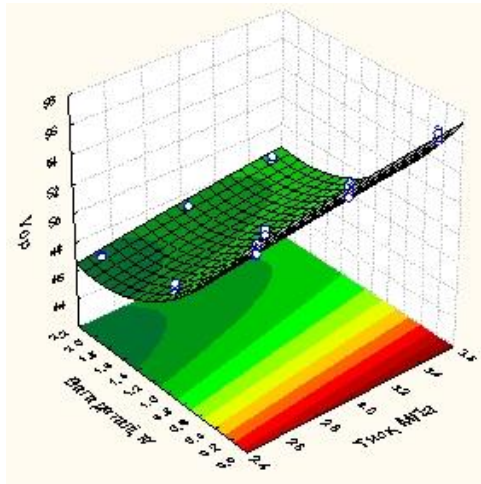


г)

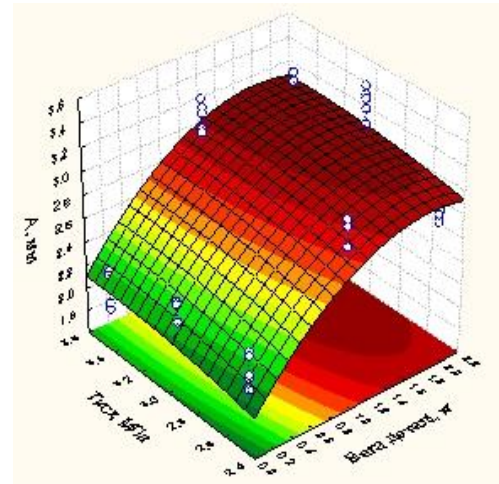
Рисунок 3.13 – Поверхні відгуку по третій серії дослідів:

а – вплив тиску та ваги деталі, на середню швидкість обертання двозахватного пристрою при зміні захватів місцями; б – вплив тиску та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання; в – вплив вільоту руки та тиску на максимальну амплітуду коливання; г – вплив вільоту руки та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання;

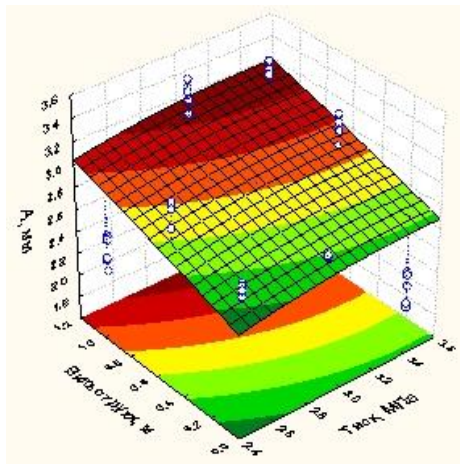
Перевіримо адекватність моделей по F – критерію. Розрахункове значення визначаємо, за допомогою програмного продукту MathCAD 2000 Professional. За допомогою даного програмного продукту визначаємо і коефіцієнти значимості ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$). $\beta_0 = 44,506$; $\beta_1 = -0,0022$; $\beta_2 = 0,093$; $\beta_3 = -0,051$.



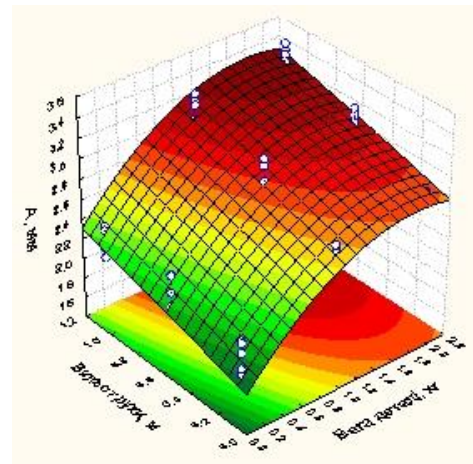
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.14 – Поверхні відгуку по четвертій серії дослідів:

а – вплив тиску та ваги деталі, на середню швидкість обертання двозахватного пристрою при зміні захватів місцями; б – вплив тиску та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання; в – вплив вильоту руки та тиску на максимальну амплітуду коливання; г – вплив вильоту руки та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, об'єкту:

$$V_{\text{ср}} = 44.506 \cdot L^{-0.0022} \cdot P^{0.093} \cdot G^{-0.051}; \quad (3.10)$$

Згідно аналізу за F – критерієм модель адекватна, оскільки $F^p = 1,384$.

При дослідженні максимальної амплітуди коливання системи коефіцієнти значимості: $\beta_0 = 2,389$; $\beta_1 = 0,063$; $\beta_2 = 0,21$; $\beta_3 = 0,125$.

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, мм.:

$$A = 2.389 \cdot L^{0.063} \cdot P^{0.21} \cdot G^{0.125}; \quad (3.11)$$

За критерієм Фішера модель адекватна, оскільки $F^p = 4,513$.

Поверхні відгуку представлені на рисунку 3.14.

Перевірку однорідності дисперсій виконаємо за критерієм Кохрена. Табличне значення критерію Кохрена $G^T = 0,5441$, а розрахункові - $G_v^p = 0,2751$; $G_a^p = 0,5081$, дисперсія однорідна.

Для перевірки адекватності моделей використаємо критерій Фішера. Табличне значення F – критерію при 5% рівні значимості вибираємо $F^T = 6,3$. Розрахункове значення F – критерію та коефіцієнти значимості ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$) визначаємо за допомогою програмного продукту MathCAD 2000 Professional.

$$\beta_0 = 30,442; \beta_1 = -0,001; \beta_2 = 0,099; \beta_3 = 0,06.$$

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, об\хв.:

$$V_{cep} = 30.442 \cdot L^{-0.001} \cdot P^{0.099} \cdot G^{0.06}; \quad (3.12)$$

Згідно аналізу за критерієм Фішера модель адекватна, оскільки $F^p = 0,146$.

При дослідженні амплітуди коливання системи коефіцієнти значимості:

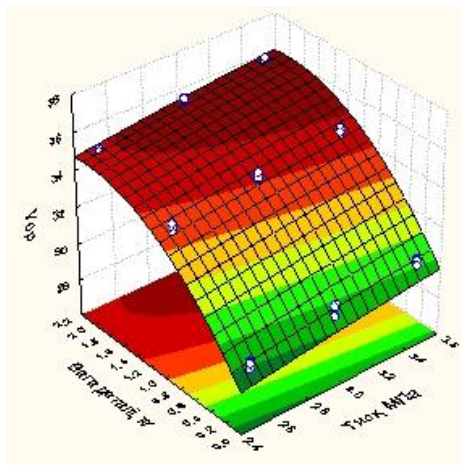
$$\beta_0 = 2,948; \beta_1 = 0,06; \beta_2 = 0,2; \beta_3 = 0,11.$$

Відповідно, математична модель в функції трьох факторів, мм.:

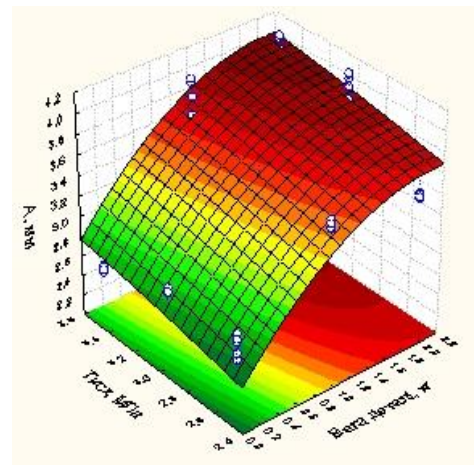
$$A = 2.948 \cdot L^{0.06} \cdot P^{0.2} \cdot G^{0.11}; \quad (3.13)$$

За критерієм Фішера ($F^p = 0,286$) модель адекватна.

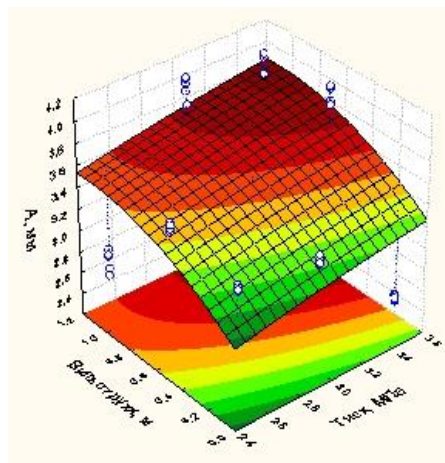
На рисунку 3.15 наведені поверхні відгуку, побудовані по результатам експериментальних досліджень.



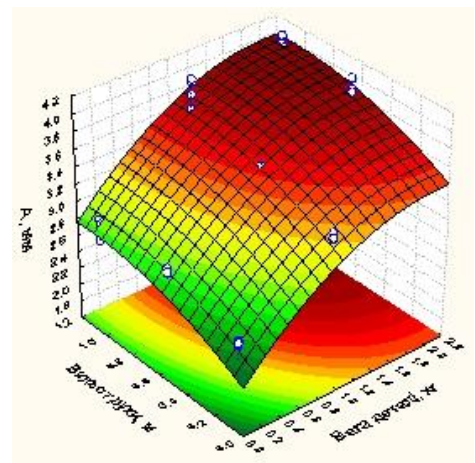
а)



б)



в)

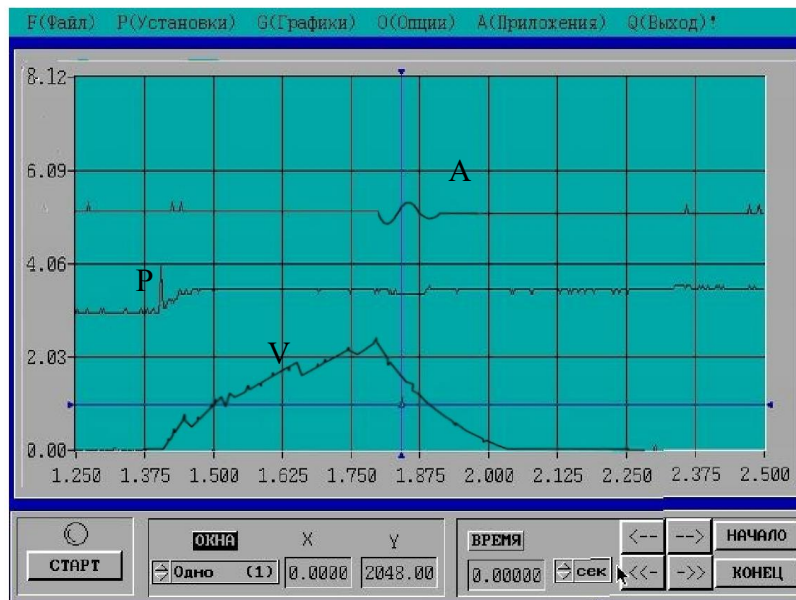


г)

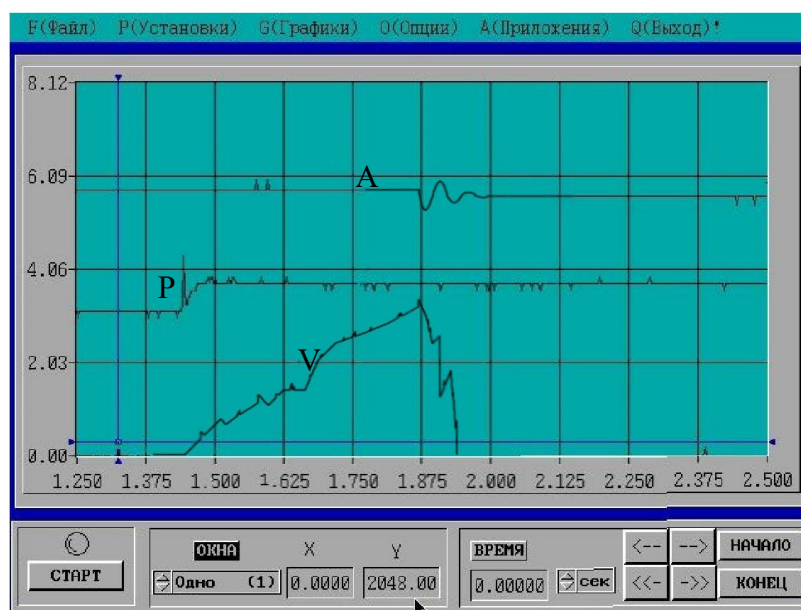
Рисунок 3.15 – Поверхні відгуку по п'ятій серії дослідів:

а – вплив тиску та ваги деталі, на середню швидкість обертання двозахватного пристрою при зміні захватів місцями; б – вплив тиску та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання; в – вплив вильоту руки та тиску на максимальну амплітуду коливання; г – вплив вильоту руки та ваги деталі на максимальну амплітуду коливання

На монітор комп'ютера данні виводилися у вигляді графіків. На рисунку 3.16, а, представлені графіки досліджень швидкості, тиску та коливання для захвату по першій серії дослідів, на рисунку 3.16, б, для захвату по другій серії.



а)



б)

Рисунок 3.16 – Експериментальні дослідження швидкості, тиску та коливальних процесів

Зазначені двозахватні пристрої різняться наявністю гальмівного механізму в першому варіанті, і його відсутністю в другому. Графіки побудовані при однакових умовах роботи зазначених пристроїв: висота руки – 0,1 м; тиск в системі – 2,5 Атм; вага деталей – 2.0 кг.

З графіків видно, що в першому випадку процес зміни захватів місцями протікає трохи довше, за рахунок наявності етапу гальмування. Але в другому випадку, наявність “удару” знижує довговічність конструкції, що і підтверджують графіки коливальних процесів системи. При наявності гальмівного механізму амплітуда коливань менша, і затухають вони швидше.

Тож, теоретично виведені залежності та графіки підтвердилися при проведенні експерименту, що засвідчує вірність допущень і розрахунків.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Вихідні данні до розрахунків.

Деталь:	храповик ПП0316М
Маса виробу:	0,146 кг
Маса заготовки	0,32 кг
Річна програма випуску:	500 шт. /рік
Кількість деталей у вузлі:	1 шт.
Матеріал:	сталь 40Х

4.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць, зайнятих у виготовленні даної деталі, розраховують у такій послідовності [13, 29].

Визначається потрібна кількість робочих місць на всіх операціях технологічного процесу за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{\partial pm} \cdot 60 \cdot k_v}, \quad (4.1)$$

де $t_{um(i)}$ - штучний час i -ої операції, хв.;

$F_{\partial pm}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин;

$$F_{\partial pm} = F_n S (1 - 0,01 f), \quad (4.2)$$

де $F_{\partial pm}$ - номінальний (режимний) фонд часу роботи обладнання в одну зміну, годин (визначається щорічно за календарем);

S - режим (кількість змін) роботи цеху;

f - регламентований процент втрат робочого часу, пов'язаний з плановими простоюваннями обладнання під час планових ремонтів та міжремонтного обслуговування. Для механообробного обладнання величина f може складати 8-10% ; k_s - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1).

$$q_p = \frac{1000 \cdot 1,707}{3890 \cdot 60 \cdot 1} = 0,007 . \quad (4.3)$$

Далі визначається коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} . \quad (4.4)$$

та середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі:

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} . \quad (4.5)$$

де $q_{np(i)}$ - прийнята (ціла) кількість робочих місць;

m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 4.1 – Розрахунок завантаження обладнання

№ опер	Найменування операції	Т _{шт}	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
005	Токарна з ЧПК	3,535	0,008	1	0,008	0,004
010	Токарна з ЧПК	1,468	0,003	1	0,003	
015	Горизонтально- протяжна	0,767	0,002	1	0,002	
020	Вертикально- фрезерна	1,07	0,002	1	0,002	

4.2 Розрахунок календарно-планових нормативів

Розрахунок партії деталей:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot F_{зм}}{t_{um}^{\min}}, \quad (4.6)$$

$F_{зм}$ – дійсний фонд часу зміни (440 хв.)

$t_{um}^{\min}$ – штучний час найбільш продуктивної операції.

$$n_p^x = \frac{0,5 \cdot 440}{0,767} \approx 286 \text{ шт.}$$

Кількість запуску деталей протягом року:

$$A = \frac{N_3}{N_p}, \quad (4.7)$$

$$A^x = \frac{500}{286} = 2.$$

Приймаємо A з стандартного ряду:

$$A_{np}^x = 2.$$

Перераховуємо партію:

$$n = \frac{N_3}{A_{np}}, \quad (4.8)$$

$$n_{np}^x = \frac{500}{2} = 250$$

Тривалість операційного циклу:

$$T_o = \frac{n \cdot t_{\kappa\partial}}{S \cdot F_{зм\partial}}, \quad (4.9)$$

$t_{\kappa\partial}$ - калькуляційно-дійсний час.

$$t_{\kappa\partial} = \frac{t_{um}}{q \cdot p \cdot k_{\epsilon}} + \frac{t_{n3}}{n}, \quad (4.10)$$

$$t_{\kappa-\partial 005}^{\kappa} = \frac{1,107}{1 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{22}{167} = 1,24 \text{ хв.}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок тривалості операційного циклу

№ оп.	хراповик	
	$t_{ко}$, хв.	T_o , дн.
005	3,615	1,03
010	1,548	0,44
015	0,823	0,23
020	1,142	0,32
Σ		2,02

Приймаємо для храповика послідовний рух партії деталей.

$$T_n = \sum_1^m T_o + m \cdot t_{mo}, \quad (4.11)$$

t_{mo} - межопераційний час.

Приймаємо $t_{mo} = 0,1$ дн.

$$T_n^x = 2,02 + 4 \cdot 0,1 = 2,42 \text{ дн.}$$

Розрахунок чисельності виробничих робітників:

$$R^{sup} = \frac{T_p}{F_{op} \cdot k_m}, \quad (4.12)$$

$$T_p = \frac{N_z \cdot \sum_1^m t_{um} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha)}{60}, \quad (4.13)$$

T_p - трудомісткість річної програми випуску деталей;

k_m - коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування;

F_{op} - фонд часу річний одного робітника;

α - процент додаткових робіт.

Коефіцієнт довантаження:

$$K_{\text{дов}} = \frac{\eta_{\text{норм}}}{\bar{\eta}}, \quad (4.14)$$

η - нормативний коефіцієнт навантаження обладнання в часі.

$$K_{\text{дов}}^x = \frac{0,95}{0,004} = 237,5.$$

$$T_p^x = \frac{500 \cdot 6,84 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20)}{60} = 68,4 \text{ год.}$$

Чисельність робітників:

$$R_{\text{вир}}^x = \frac{68,4 \cdot 237,5}{1840 \cdot 1,1} \approx 8 \text{ чол.}$$

Розрахунок заробітної плати.

Приймаємо відрядно-преміальну систему оплати праці.

Розцінка на деталь:

$$P_{\kappa} = 1,1 \sum_1^m P_i, \quad (4.15)$$

P_i - розцінка на i -й операції

$$P_i = l_{\text{год},i} \cdot t_{\text{ум},i}, \quad (4.16)$$

$l_{\text{год},i}$ - годинна тарифна ставка відповідного розряду.

$$P_{\kappa}^x = 1,1 \cdot \left[\frac{36,6}{60} \cdot (3,535 + 1,468 + 0,767 + 1,07) \right] = 4,59 \text{ грн.}$$

Відрядна заробітна плата за рік:

$$З_{відр} = N_z \cdot P_k, \quad (4.17)$$

$$З_{відр}^x = 500 \cdot 4,59 = 2295 \text{ грн.}$$

З урахуванням додаткової заробітної плати (10 %) та коефіцієнту довантаження середньомісячна заробітна плата на ділянці складає:

$$З_{срм}^{вир} = \frac{(7,25 \cdot 1000 \cdot 79,17 + 14,64 \cdot 2000 \cdot 25,68 + 4,59 \cdot 500 \cdot 237,5) \cdot (1 + 0,1)}{26 \cdot 12} = 5997 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок планової цехової собівартості

$$C_{цех} = M_o + З_{op} + B_{соц} + З_{зо} + P_o + P_{цех}, \quad (4.18)$$

M_o – витрати на основні матеріали.

$$M_o = a_{\partial} \cdot Ц_m \cdot K_{тр} - a_{\epsilon} \cdot Ц_{\epsilon}, \quad (4.19)$$

$a_{\partial}, a_{\epsilon}$ – відповідно маса деталі, відходів;

$Ц_m, Ц_{\epsilon}$ – відповідно ціна матеріалу, відходів;

$K_{тр}$ – коефіцієнт, враховуючий транспортні витрати.

$$M_o^x = 0,147 \cdot 19,06 \cdot 1,05 - 0,174 \cdot 1,7 = 2,65 \text{ грн.}$$

$З_{од}$ – заробітна плата основна та додаткова

$$З_{од} = \sum_1^m l_{zod} \cdot t_{ум} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right), \quad (4.20)$$

α - процент додаткової заробітної плати (10%)

$$Z_{od}^x = 4,17 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 4,59 \text{ грн.}$$

$B_{соц}$ – відрахування на соціальне страхування

$$B_{соц}^x = 4,59 \cdot 0,22 = 1,01 \text{ грн.}$$

Z_{co} – витрати на спецоснащення;

$$Z_{co}^x = \frac{1,0}{60} \cdot (3,535 + 1,468 + 0,767 + 1,07) = 0,114 \text{ грн.}$$

P_o – витрати на утримання і експлуатацію обладнання

$$P_o = \frac{Z_o \cdot \alpha_o}{100}, \quad (4.21)$$

α_o – процент витрат на утримання і експлуатацію обладнання (200 %)

$$P_o^x = \frac{4,17 \cdot 200}{100} = 8,34 \text{ грн.}$$

$P_{цех}$ – цехові витрати

$$P_{цех} = \frac{Z_o \cdot \alpha_{цех}}{100}, \quad (4.22)$$

$\alpha_{цех}$ – цехові витрати (120 %)

$$P_{цех}^x = \frac{4,17 \cdot 120}{100} = 5,0 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.3 – Калькуляція собівартості виробів і собівартості річного випуску

Стаття витрат	храповик	
	на одиницю грн.	на річий випуск грн.
1. Основні матеріали	2,65	1325
2. Основна зарплата	4,17	2085
3. Додаткова зарплата	0,42	210
4. Відрахування до соціальних фондів	1,01	505
5. Витрати на спец. оснащення	0,114	57
6. Витрати на утримання та експлуатацію оснащення	8,34	4170
7. Цехові витрати	5,0	2500
Всього	21,70	10850

ВИСНОВКИ

1. Дослідження інерційності двозахватних пристроїв показали, що основне інерційне навантаження створюють затиснуті захватом деталі. Їх момент інерції відносно моменту, що створюється захватами та з'єднувальними ланками у 2 – 3 рази більший.

2. Проведений аналіз інерційних характеристик з “короткими” та “довгими” деталями підтвердив припущення доцільності використання різних пристроїв для різних деталей та умов роботи.

3. Виконано теоретичні дослідження динамічної якості двозахватного пристрою, зокрема динаміки процесу ЗЗМ, визначено власні частоти. Отримано рівняння, які описують процес зупинки захватів у момент позиціонування.

4. На базі ПР “Бриг–10” розроблено експериментальну установку для дослідження динамічної якості двозахватних пристроїв.

5. Експериментальним шляхом отримано математичні моделі та побудовано поверхні відгуку залежності амплітуди власних коливань та швидкості обертання пристроїв від маси деталей, вильоту руки ПР і тиску в системі. Виконані експериментальні дослідження підтвердили правильність теоретичних розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Павленко І.І. Промислові роботи та РТК. Монографія – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф. 2016. – 492 с.
2. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
3. Павленко І. І. Структура промислових робіт //Кіровоград: КІСМ. – 1998.
4. Павленко І.І. Захватні пристрої роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Захватні пристрої роботів: монографія. – Кропивницький: «КОД», 2020. – 386 с.
5. Павленко, І. І., Мажара, В. А., & Скібінський, О. І. (2021). Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т., каф. машинобуд., мехатроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. - 42 с.
6. Мажара, В. А., & Годунко, М. О. (2018). Основи гнучкого автоматизованого виробництва. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентами спеціальності “Прикладна механіка”. Кропивницький. ЦНТУ. 2018. – 32 с.
7. ГОДУНКО, М., ВІТАЛІЙ, М., КИСЛУН, О., ЩЕРБИНА, В., & ПИСАНКА, С. (2024). ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАХВАТНОГО ПРИСТРОЮ РОБОТА ЗА РАХУНОК КОМПЕНСУЮЧОЇ ЛАНКИ ЗАТИСКНОГО ВАЖЕЛЯ. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 337(3 (2)), 52-56.
8. Mazhara, V., Shcherbyna, K., Maniakin, S., & Filonenko, V. (2023). Efficiency of using turning machining centers. Global science: prospects and innovations : proceedings of IV international scientific and practical conference, Liverpool, 1-3 December, 2023. – Liverpool, United Kingdom : Cognum Publishing House, 2023.

– Р. 216-221.

9. Теорія планування експериментів: Виконання розрахунково-графічної роботи [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / С.М. Лапач ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,31 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 86 с.
10. Валявський, І. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навч. посіб. / І. А. Валявський, О. В. Лисенко, І. А. Лисенко ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.
11. Мажара, В. А. (2017). Комп'ютерна статистика в технології машинобудування. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 52 с.
12. Skibinskyi, O. I. A Novel Design of Cutting Tool for Efficient Finishing of G-Rotors / O. I. Skibinskyi, A. O. Hnatiuk // Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design / [editors : S. P. Radzevich, M. Storchak]. – Cham, Switzerland: Springer, 2022. – P. 181-203.
13. Журило І.В., Семикіна М.В. Дипломне проектування з економіки підприємства: особливості, методика та основні етапи: навчально-методичний посібник. 3-тє вид., переробл. і доповн. Кропивницький: ЦНТУ, 2016. 80 с.
14. В. Нечаєв, Т. Берідзе, В. Кононенко. Теорія планування експерименту. Навчальний посібник. – Київ: Кондор, 2005. – 235 с.
15. Павленко І. І., Мажара В. А. Кінематична структура двозахватних промислових роботів. – 2006. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград : КНТУ, 2006. - Вип. 17. - С. 278-282.
16. Павленко І. І., Мажара В. А. Конструктивно–кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів. – 2006. Надійність

- інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. – Краматорськ; Київ, 2006. – Вип. 19. – С. 104–109.
17. Мажара В. А., Корнєв М. С., Іваненко Р. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОЗАХВАТНИХ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ //Перспективні напрямки інформаційних і комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: Матеріали всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції.- Кропивницький: ЦНТУ, 2019.–162 с. – 2019. – С. 58.
18. Мажара, В. А., & Павленко, І. І. (2008). Дослідження умов зміни захватів місцями в робочій зоні верстату. // Збірник наукових праць КНТУ / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 21 – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 150 – 154.
19. Павленко, І. І., & Мажара, В. А. (2006). Дослідження впливу використання двозахватних пристроїв на продуктивність роботи РТК. Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе. В 5-ти томах. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. Т.5 – С. 282 – 287.
20. Павленко І. І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування //Кіровоград: КНТУ. – 2007.
21. Павленко, І. І., & Мажара, В. А. (2019). Роботизовані технологічні комплекси. Монографія - Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2019.
22. Годунко, М. О., Кислун, О. А., Мажара, В. А., Щербина, В. К., Кравченко, Р. А., & Ключкін, В. В. (2023). Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою. Центральнотураїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7(38). - Ч. 2. - С. 27-33.
23. Mazhara, V., Artiukhov, A., Moskalenko, V., & Tenenyka, S. (2023). The research of conditions of changing grips positions in the working area of the machine tool. // Topical aspects of modern scientific research : proceedings of II international

- scientific and practical conference, Tokyo, 26-28 October, 2023. – Tokyo, Japan : CPN Publishing Group, 2023. – P. 222-228.
24. Павленко, І. І., Мажара, В. А., Годунко, М. О., & Павленко, І. І. (2006). Двозахватний пристрій промислового робота. Патент України № 18720.
25. Павленко, І. І., Мажара, В. А., & Павленко, І. І. (2006). Двозахоплювальний пристрій промислового робота. Патент України № 15774.
26. Мажара, В. А., Артюхов, А. М., & Тененика, С. А. (2024). Проектування затискних пристроїв та оснащення. Самостійна робота. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 44 с.
27. Мажара, В. А., Щербина, К. К., Артюхов, А. М., Тененика, С. А., & Шестаков, І. С. (2024). Система автоматизованого проєктування технологічного оснащення. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
28. Основи охорони праці: Підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Козьяков, Л. О. Митюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.: Основа, 2003 – 472 с.: іл.
29. Sybirtsev, V., Mazhara, V., & Moskalenko, V. (2020). Analysis of discriminant models in forecasting bankruptcy of enterprises. Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences, (2).
30. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
31. Кириченко А.М. Українська мова як мова науки (у контексті концептуальної картини світу) / А.М. Кириченко, З.В.. Стежко // Наука та наукознавство. – Київ, 2024. – Вип. 4 (126). – С. 40-50.

32. MAZHARA V., MOSKALENKO V. Principal component analysis in the forecasting bankruptcy of enterprises //Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences. – 2019. – №. 3.
33. Павленко, І. І. Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів / І. І. Павленко, В. А. Мажара // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – Вип. 17. – С. 131–137.
34. Павленко, І. І., & Мажара, В. А. (2005). Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів.
35. Павленко, І. І., Мажара, В. А., & Короп, В. П. (2010). Особливості структури роботизованих технологічних комплексів. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ, 2010. - Вип. 40, ч. 2. - С. 221-226.
36. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х частинах. Під заг. ред. Ю.М. Кузнєцова. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003. – 507 с.
37. Shcherbyna K. Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks / K. Shcherbyna, A. Hrechka, V. Mazhara, T. Diachenko//Конструювання, виробництво та експлуатація 37 8 сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2020. – Вип.50. – С.159-164.
38. Мажара, В. А., Годунко, М. О., Кислун, О. А., & Ковальчук, Є. В. (2014). Визначення кутів повороту ведучих ланок адаптивного захватного пристрою // Збірник наукових праць КНТУ / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 27 – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 28 – 33.