

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
для освітнього ступеня «МАГІСТР»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
на тему:

**Дослідження сил затиску в вертикально розміщеному
захватному пристрої робота**

**Investigation of clamping forces in a vertically positioned
robot gripper**

Виконавець: здобувач гр. ГМ(МВ)-21М1,9

_____ Владислав КЛЮШКІН

Керівник: к.т.н., доцент

_____ Максим ГОДУНКО

Рецензент: к.т.н., доцент

_____ Дмитро БОГАТИРЬОВ

Завідувач кафедри ММР

_____ Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

(шифр і назва)

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії _____

“ _____ ” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ

Клюшкіну Владиславу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження сил затиску в вертикально розміщеному захватному пристрої робота

керівник роботи Годунко Максим Олегович, доц., канд. техн наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ _____ ” _____ 2023 року № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1. Поставлена наукова задача керівником

3.2. Вимоги до результатів досліджень

3.3. Порівняльні характеристики базових конструкцій

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Загальна частина

4.2 Дослідна частина

4.3 Економічна частина

4.4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

5.1 Постановка задачі - 1А4; 5.2 Конструкції та будова - 1А4; 5.3 Особливості затиску - 1А4; 5.4 Розрахунок сил - 1А4; 5.5 Розрахунок сил - 1А4; 5.6 Розрахунок сумарних сил - 1А4; 5.7 Дослідження впливу - 1А4; 5.8 Дослідження впливу - 1А4; 5.9 Дослідження впливу - 1А4; 5.10 Дослідження впливу - 1А4. Всього: 10 аркушів А4

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	к.е.н., доц. Журило І.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина	04.03.2023	
2	Дослідна частина	01.04.2023	
3	Економічна частина	15.05.2023	

Здобувач _____ Клюшкін В.В. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Годунко М.О. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ	5
1. Загальна частина	
1.1. Постановка задачі та методи її вирішення.....	6
1.2. Огляд існуючих конструкцій захватних пристроїв та їх конструктивних особливостей.....	8
1.3. Класифікація захватних пристроїв.....	14
1.4. Будова та основні елементи пристрою, який обрано для досліджень.....	19
2. Дослідна частина	
2.1. Особливості затиску деталей типу тіло обертання захватним пристроєм.....	21
2.2. Розробка методики силового розрахунку горизонтально орієнтованого захватного пристрою.....	22
2.3. Дослідження впливу конструктивних характеристик пристроїв на сили затиску.....	41
2.4. Теоретичне визначення сил затиску при зміщенні вершини призми захватного пристрою до захвату.....	53
2.5. Виведення рівняння для розрахунку сумарної сили затиску кута направлення сумарної сили затиску для першого, другого, третього та четвертого квадрантів.....	69
2.6. Дослідження впливу конструктивних характеристик пристроїв на сили затиску.....	72
2.7. Висновки.....	84
3. Економічна частина.....	86
Література.....	95

ВСТУП

При затиску деталі захватом робота на неї діють певні сили, такі як сила тяжіння, сила інерції, що виникає при переміщенні захвата, сили затиску, які саме і утримують деталь, сили тертя, що виникають в точках контакту деталі і призм захвата при руху робота. Велике значення має вага деталі, що переміщується роботом, адже вона визначає сили затиску, які її утримують. В свою чергу, сили затиску створюються в наслідок роботи привода захвата. Тому можна сказати, що між вагою деталі, яку переміщує робот і діаметром циліндра захвата існує залежність.

Для встановлення даної залежності необхідно розглянути зміну сил, що діють на деталь при переміщенні захвата із деталлю в різних напрямках і при різному розташуванні самого захвата. В даній кваліфікаційній роботі пропонується розрахувати сили затиску вертикально орієнтованого захватного пристрою, від яких безпосередньо перейдемо до визначення діаметра циліндра захвата.

Важливо також встановити залежність розмірів захвату від зміни вантажності робота та обґрунтувати градації захватних пристроїв робота при модульному їх виконанні.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Постановка задачі та методи її вирішення

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження силових характеристик захватного пристрою промислового робота, виведення формул для визначення мінімально необхідних сил затиску деталі та побудова залежностей розрахованих сил від конструктивних характеристик захвату.

Актуальність теми

Виходячи із основного цільового призначення промислових роботів, їх захватні пристрої повинні забезпечувати надійний затиск утримуваних ними деталей при різних напрямках і режимах їх руху та виконанні необхідних операцій (встановлення, з'єднання, запресовування деталей та ін.). Сам процес транспортування та позиціонування повинен здійснюватись з дотриманням слідуючих вимог:

- максимально- доцільною швидкістю або прискоренням;
- необхідною точністю;
- мінімальними силовими навантаженнями на захват та конструкцію робота;
- необхідною якістю виконання операції;
- мінімальними енергетичними потребами;
- дотриманням необхідних вимог по безпеці виконання операцій та ін.

Окрім цього захватні пристрої роботів повинні бути достатньо універсальними, щоб мати можливість працювати з різними деталями за формою і розмірами, а також виконувати обслуговування різного обладнання, працюючи з різними пристроями і ін. Тому функціональні дослідження захватних пристроїв є достатньо важливими. Одним із напрямків таких досліджень є створення методики силових розрахунків з урахуванням вище розглянутих умов, тому поставлена задача є актуальною на сьогоднішній день.

Об'єкт дослідження

Найбільш розповсюджена кінематико-конструктивна схема захватного пристрою та рівняння для визначення мінімально необхідних сил затиску деталі.

Предмет дослідження

Силові характеристики захватних пристроїв, які дають можливість утримувати деталі типу тіл обертання з достатньо високою точністю та мінімальними масо-габаритними параметрами.

Мета роботи

Визначення теоретично необхідних сил затиску деталі за конструктивними параметрами захватних пристроїв роботів та умов їх функціонування. А також побудова залежностей сил затиску від конструктивних особливостей захватного пристрою та надання відповідних рекомендацій.

Завдання

1. Розробити математичні передумови для визначення сил затиску захватного пристрою.
2. Вивести рівняння для визначення мінімально необхідних сил затиску та утримування деталі при вертикальному розташуванні пристрою.
3. Побудувати залежності сил затиску від конструктивних особливостей захватного пристрою.
4. Надати відповідні висновки та рекомендації.

Методи дослідження

Поставлені завдання вирішуються із застосуванням методів теоретичної і прикладної механіки, теорії робототехнічних систем, обчислювальної математики і систем управління.

Наукова новизна

У процесі проведення теоретичних досліджень в роботі отримані наступні нові наукові результати: обґрунтовано підходи для визначення сил затиску з врахуванням максимальної кількості умов виконання затиску деталі роботом; виведено рівняння для визначення мінімально-необхідних сил затиску деталі та побудовано відповідні залежності.

Достовірність результатів

Основні наукові результати кваліфікаційної роботи отримані на основі фундаментальних положень і методів теоретичної механіки, динаміки машин, експериментальних методів дослідження.

Практична цінність

У роботі запропоновано методику силового розрахунку затиску деталей, що утримуються захватним пристроєм робота з визначеними характеристиками, побудовано залежності сил затиску деталі від конструктивних параметрів захвату та надано відповідні рекомендації для конструювання та використання даного типу модулів роботів.

Апробація кваліфікаційної роботи

Основні положення роботи докладалися на: студентсько-викладацькій науковій конференції ЦНТУ.

1.2. Огляд існуючих конструкцій та їх конструктивних особливостей

Ринкові умови сучасного машинобудування вимагають активного впровадження гнучких автоматизованих систем. Важливою складовою частиною їх є **промислові роботи (ПР)**, які вважаються найбільш перспективними засобами автоматизації виробничих процесів (див. рис.1.1). Головна відмінна особливість роботів полягає у їх здатності імітувати рухові можливості рук людини при виконанні різних операцій, що забезпечується великим ступенем рухомості та необхідною кількістю рук чи захватів. Ефективність використання роботів у виробництві значною мірою залежить від досконалості їх конструкцій. Важливим елементом конструкції ПР є їх **захватні пристрої (ЗП)** – *робочі органи промислового робота для затиску та утримування предмету виробництва або технологічної оснастки* [ГОСТ 26063-84]. ЗП розміщуються в кінці високорухомої просторово не замкненої руки, яка виконує різнонаправлені швидкі рухи. Здійснення постійно змінних зворотньо -поступальних та зворотньо-обертальних рухів супроводжується значними прискореннями, а, відповідно, значними силами інерції, що суттєво збільшує динамічні навантаження як на конструкцію ЗП, так і на робота в цілому, ускладнюючи забезпечення необхідної точності рухів і часу на їх виконання.



Рис.1.1. Основні складові ПР,
де: 1 – промисловий робот; 2 – ЗП робота; 3 – блок керування; 4 –
пульт керування.

Дані фактори значно впливають на сили затиску деталі захватом, тому потрібно дуже точно їх розраховувати. Отже, **номінальна сила затиску** – це сила, з якою контактуючі з предметом виробництва або інструментом частини ЗП діють нормально до поверхні, що затискується [ГОСТ 26063-84]. Окрім цього, ЗП як складові універсальних засобів автоматизації повинні здійснювати захоплення деталей значного діапазону розмірів, надійно їх утримувати при просторовому транспортуванні з мінімальними розмірами ЗП, що є важливою вимогою до їх конструкцій. Важливою характеристикою ЗП є **час затиску** (розтиску) деталі, - час від моменту подачі сигналу пристроєм керування на затиск (розтиск) до моменту закінчення процесу затиску (розтиску) [ГОСТ 26063-84].

Із найбільш типових механічних конструкцій захватних пристроїв можна виділити такі:

1. Захвати з пружно-силовим затиском деталей за рахунок деформації пружних ланок, тобто без індивідуального приводу, або з приводом тільки на розтискання деталі.

2. Захвати з важільно-шарнірними механізмами (рис.1.2, а), де поступальний рух тяги (штоку приводу 1) передається в обертовий рух затискних важелів 3.

3. Захвати із зубчато-рейковою передачею (рис.1.2,б). Поступальний рух шток-рейки 6 приводу 1, через зубчасті колеса, перетворюється на обертовий рух затискних важелів 3.

4. Захвати з клиновою передачею (рис.1.2,в). Привод 1 переміщує клин 7, який взаємодіє з роликами 6 затискних важелів 3. Розтиск деталі забезпечується пружиною 5.

5. Захвати з плоско-паралельним рухом затискних губок для утримання плоских деталей (рис.1.2, г). Затиск деталі відбувається за допомогою клина 7 та плоско-паралельного механізму.

6. Захвати зі змінними затискними елементами (губками) (рис.1.2, д). Змінні губки 1 кріпляться до затискних важелів 2. Наявність швидкозмінних затискних елементів дозволяє зменшити час, потрібний для переходу роботизованого комплексу на випуск іншої номенклатури виробів та відповідно, підвищити гнучкість системи в цілому.

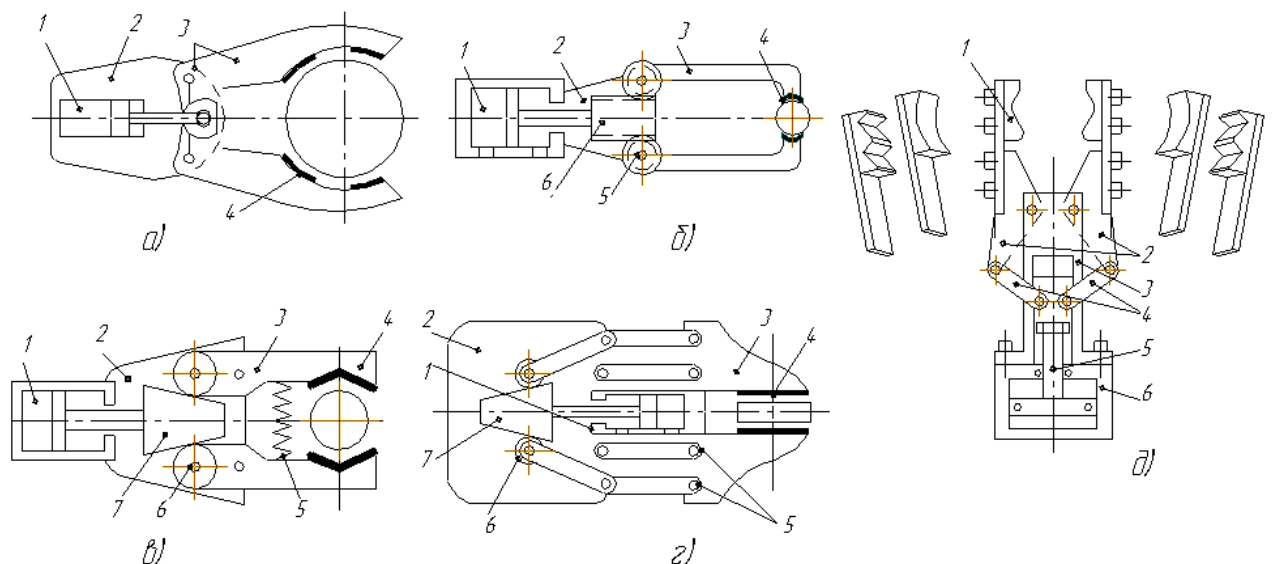


Рис.1.2. Механічні захватні пристрої

При проектуванні захватних пристроїв необхідно враховувати, що робот встановлює деталь на верстат однієї форми і розмірів, а після обробки забирає деталь іншої форми і розмірів. Прилаштованість захватного пристрою до такої зміни деталі значно покращує умови роботи промислового робота.

Одним з прикладів такої прилаштованості, є розробка фірми Robotiq, а саме двопальцевий ЗП з підвищеною гнучкістю. Даний ЗП дає можливість затискати та утримувати деталі різних розмірів та форми (рис.1.3).

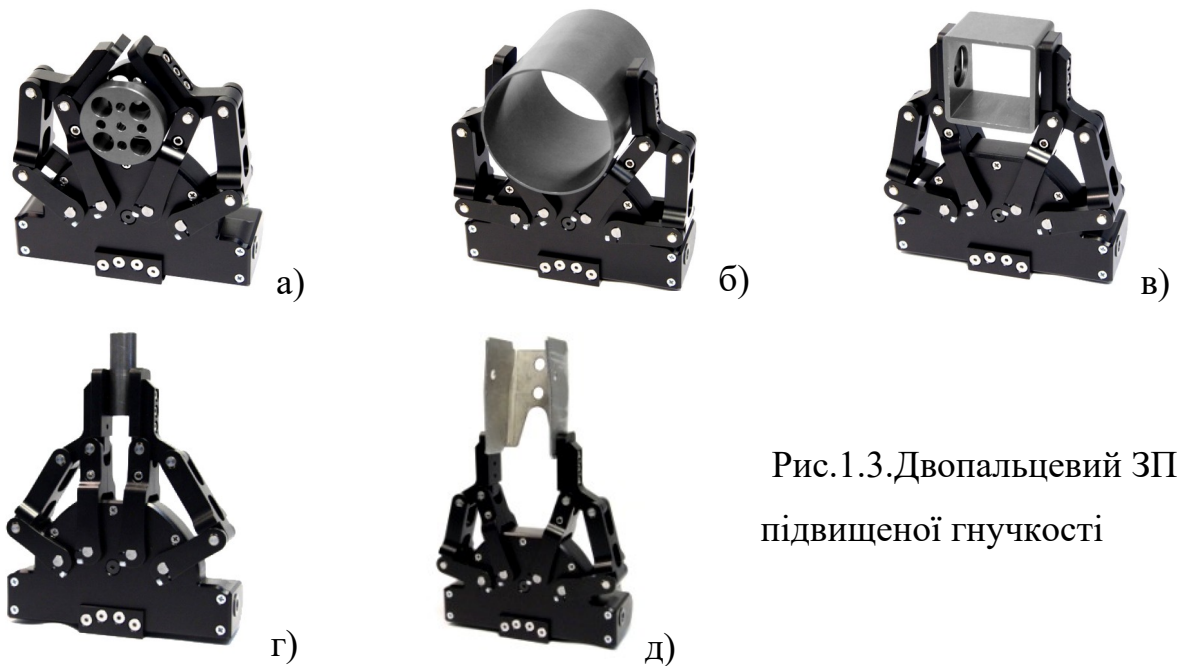


Рис.1.3.Двопальцевий ЗП підвищеної гнучкості

Також, для деталей обертання використовують захватні пристрої (рис.1.4, а), які дозволяють центровано утримувати деталі різних діаметрів з незмінним положенням вісі деталі. Це досягається за рахунок використання затискних важелів із спеціальним профілем затискних губок.

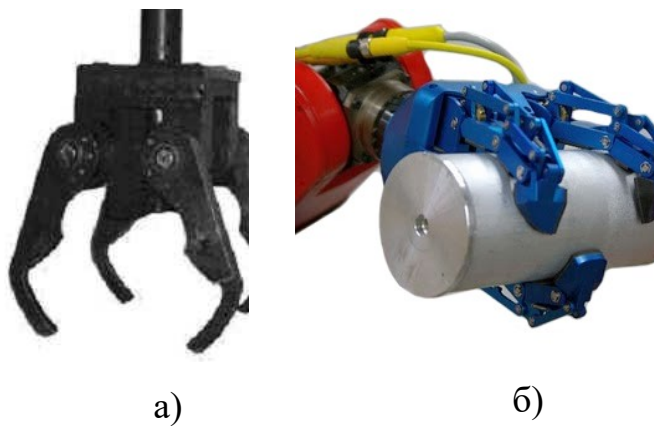


Рис.1.4. Центруючий (а) та пальцевий (б) захватні пристрої

Одними з найбільш універсальних механічних захватних пристроїв є трипальцеві захвати (рис.1.4, б), які дозволяють не тільки утримувати деталі різної форми і розмірів, але й виконувати різні операційні рухи.

Якщо деталь має значну довжину, то доцільно використовувати захвати з двома парами затискних важелів. Для довгих деталей також використовують варіант виконання ЗП зі спеціальними затискними елементами з подовженою базою, як це показано на рис.1.5.

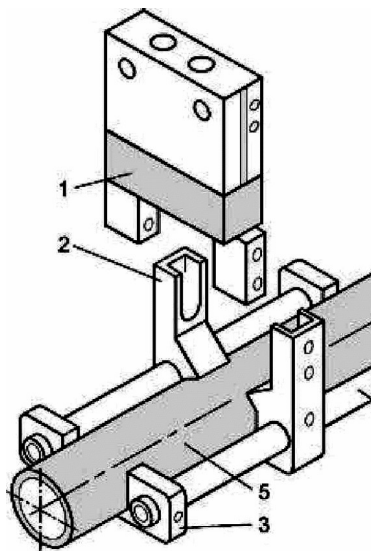
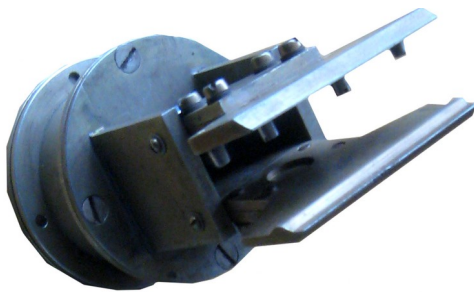


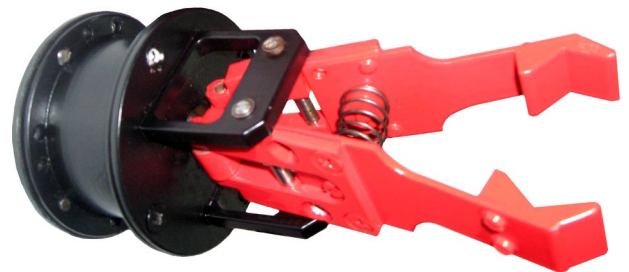
Рис.1.5. Конструкція ЗП для затиску довгих деталей:

1 – ЗП з паралельно рухомими губками; 2 – затискні важелі; 3 – додаткові затискні елементи; 4 – штанга; 5 - деталь

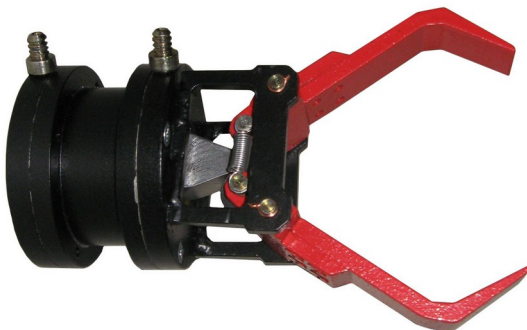
Приклади деяких типових захватних пристроїв промислових роботів наведено на рис.1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10.



а)



б)

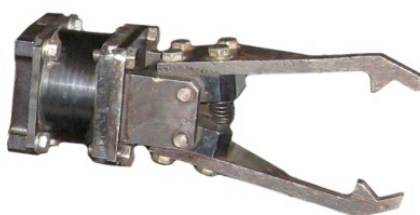


в)



г)

Рис. 1.6. Конструкції захватних пристроїв, що розроблені кафедрою технології машинобудування КНТУ



а)



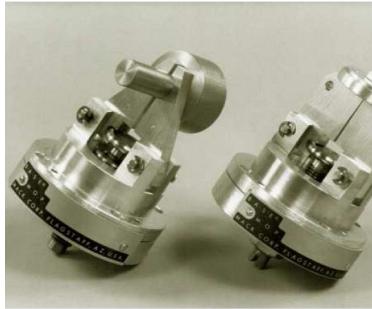
б)



в)

Рис. 1.7. Типові конструкції механічних захватних пристроїв:

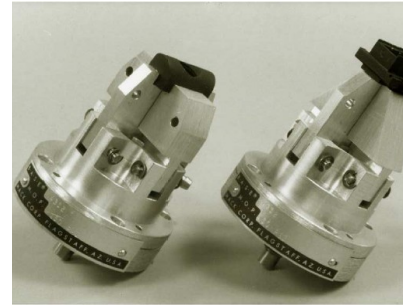
а – промислового робота “Бриг-10”; б – промислового робота “Ритм-05”; в – промислового робота “РФ-202М”



а)



б)



в)



г)

Рис.1.8. Захвати фірми MACK Corporation (США):

а – двопальцевий захват; б, г – трипальцеві захвати; в – чотирипальцевий захват



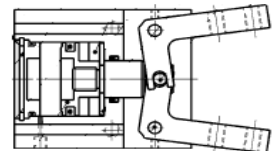
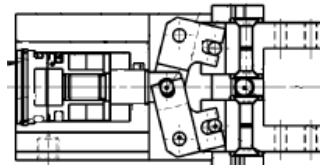
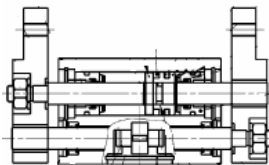
а)



б)



в)



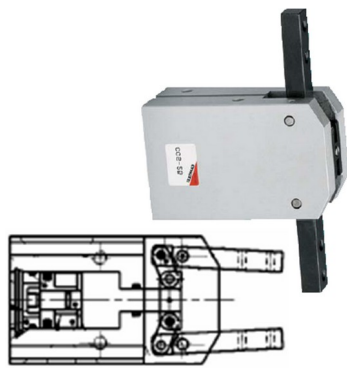


Рис. 1.9. Захвати фірми Camozzi (Італія):

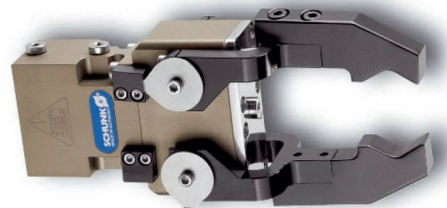
а, б – з паралельно-рухомими губками;

в, г – з обертово-рухомими губками

г)



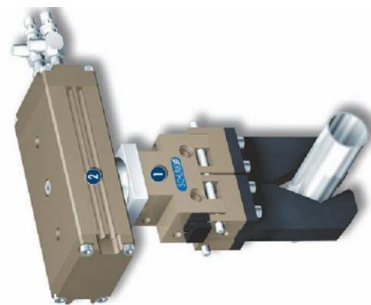
а)



б)



в)



г)

Рис.1.10. Захвати фірми SCHUNK (Німеччина)

1.3. Класифікація захватних пристроїв

Широка номенклатура захватних пристроїв різних конструкцій приведена в роботах [1, 12]. Відомі захватні пристрої різноманітні і можуть бути класифіковані за різними ознаками. Їх можна розрізняти за особливостями будови та принципом дії, типом привода, послідовності їх роботи, по виду управління, по методу кріплення на руці робота, по характеру базування і за способом утримання ПВ (предмет виробництва), за фізичним принципом створення сил взаємодії предмету з затискними елементами ЗП, по рівню і способам адаптації і так далі.

Враховуючи велику кількість різних конструкцій захватних пристроїв, їх можна **класифікувати** за такими ознаками:

1. За рівнем спеціалізації:

- спеціальні, які мають можливість працювати з конкретною деталлю (одного типу або типорозміру);
- спеціалізовані (цільові), які мають можливість працювати з деталями відповідної форми та встановленого діапазону розмірів;
- багатоцільові, які здатні маніпулювати деталями, що відрізняються за формою та геометричними розмірами в певних (заданих конструктором) межах;
- універсальні, які мають можливість працювати з деталями довільної форми і розмірів та іншими об'єктами.

2. За особливостями утримування деталей:

- підтримуючі, які утримують предмет за умови врівноваженості сили тяжіння деталі силою, що діє зі сторони ЗП у вертикальному напрямку (в даних ЗП для утримання деталі використовують нижню поверхню, виступаючі частини деталі або отвори);
- затискні (захоплюючі), які утримують деталь завдяки кінематичному впливу затискних елементів (губок, пальців і т.п.);
- притягальні (утримуючі), які забезпечують притягування та утримання деталі за рахунок дії сил притягання до елементів ЗП, які виникають завдяки використанню різноманітних фізичних ефектів.

3. За принципом дії та конструктивним виконанням:

- механічні;
- вакуумні;
- магнітні;
- з еластичними камерами;
- пальцеві;
- адгезійні;
- електростатичні.

4. За особливостями керування роботою захватного пристрою:

- не керовані, тобто усі не приводні ЗП (пасивні механічні ЗП з пружними або підпружиненими затискними елементами, ЗП з постійними магнітами або з вакуумними присосками без примусового розрідження);

-командні, які керуються тільки командами на захоплювання або розтиск деталі. До цієї групи відносять ЗП з пружинним приводом, оснащені стопорними пристроями та ті, що спрацьовують через такт. Розтискуються і затискуються губки пружинних ЗП завдяки взаємодії їх з об'єктом маніпулювання або елементами зовнішнього обладнання;

-циклові, які можуть виконувати визначену послідовність команд;

-числові (програмуємі), які управляються системою управління ПР.

Величина переміщення затискних елементів, взаємне розташування затискних елементів, сили затиску у таких ЗП можуть змінюватися в залежності від заданої програми;

-адаптивні, які є також програмуємими ЗП, але додатково оснащені різноманітними датчиками зовнішньої інформації (для визначення форми поверхні та маси деталі, сил затиску, наявності проковзування деталі відносно затискних елементів ЗП та ін.). Такі ЗП можуть бути оснащені індивідуальною системою управління від мікроЕОМ, що зв'язана з центральною системою управління роботом.

5. За можливістю регулювання сили затиску:

-нерегульовані;

-регульовані при налагодженні;

-регульовані у процесі роботи.

6. За базуванням деталей у захватному пристрої:

-не забезпечуючі фіксацію чи базування деталі (наприклад, спеціальні крюки), такі ЗП майже не використовують для ПР;

-здатні до перебазування деталі, які змінюють положення деталі, що утримується завдяки управляємим діям затискних елементів. Ці властивості мають антропоморфні ЗП з управляємими шарнірними пальцями;

-центруючі, які визначають положення вісі або площини симетрії захоплюємого об'єкту;

-базуючі, які визначають положення базової поверхні (або поверхонь).

Такий принцип базування мають переважно підтримуючі ЗП, але він використовується і в захоплюючих ЗП;

- фіксуючі, які зберігають положення деталі, яке вона мала у момент захоплювання;

- антропоморфні, які здатні до фіксації деталі, базування та центрування.

7. За типом приводу захватного пристрою:

- пневматичні;

- гідравлічні;

- електричні та ін.

8. За характером кріплення захвату до руки (кисті) робота:

- постійне (незмінні ЗП), використовується коли ЗП є невідомою частиною конструкції ПР, заміна якої не передбачається;

- змінне, коли ЗП є самостійними модулями з базовими поверхнями для кріплення до робота (наприклад, закріплення на фланці за допомогою декількох гвинтів);

- автоматично змінне, використовується коли конструкція базових поверхонь ЗП забезпечує можливість їх автоматичного кріплення на руці ПР.

9. За типом захоплюваних поверхонь деталей:

- циліндричні (зовнішні, внутрішні);

- плоскі;

- призматичні (коробчаті);

- сферичні;

- різної форми (ті що повністю або частково повторюють форму деталі та ін.).

10. За властивостями захоплюваних поверхонь деталей:

- гладкі;

- з насічками, наносяться на поверхні затискних елементів ЗП для збільшення сил тертя в точках або зонах контакту;

- з накладками, використовуються для зменшення зносу поверхонь затискних елементів, покращання умов контакту з деталлю, забезпечення збереження форми та якості поверхні деталі;

- з роликами.

11. За конструктивними особливостями захоплюваних об'єктів:

- із здвоєними затискними елементами;

- із видовженими затискними елементами;
- із рознесеними затискними елементами.

12. За кількістю захватів у захватному пристрої:

- однозахватні;
- двозахватні;
- багатозахватні.

13. По кількості робочих позицій:

- однопозиційні, що здатні маніпулювати одним об'єктом виробництва;
- багатопозиційні, маніпулюють двома і більше об'єктами. Даного типу

ЗП розподіляють на такі підгрупи: послідовної, паралельної та комбінованої дії. До ЗП послідовної дії відносять двопозиційні пристрої, що мають завантажувальну та розвантажувальну позиції. Затисні елементи на кожній позиції діють незалежно. Багатопозиційні ЗП паралельної дії мають ряд позицій для одночасного захоплення або розтиску групи деталей. ЗП комбінованої дії забезпечують групами паралельно працюючих позицій, де ці групи приводяться в дію незалежно одна від одної.

Найбільш поширеними є **механічні захватні пристрої**, які також мають дуже багато різних варіантів їх виконання. Основні їх різновиди представлені у класифікації на рис.1.11.

Питання класифікації ЗП промислових роботів розглянуті також в роботах Ю.Г. Козирєва [7], В.І. Костюка та ін. [4], Г.А. Спину [19], І.Б. Челпанова [14] та ін. Із механічних ЗП найбільше розповсюдження набули ЗП з обертовими затискними важелями та призматичними затискними елементами. Вони відрізняються простотою конструкції, невисокою вартістю та надійним затиском утримуваних деталей.



Рис.1.11. Класифікація механічних ЗП

1.4. Будова та основні елементи пристрою, який обрано для досліджень

За відносно короткий час існування робототехніки створено дуже велику кількість різних виконань механічних захватних пристроїв, що обумовлено значним різновидом роботизованих операцій та деталей, з якими працюють роботи в різних умовах.

Загальну будову типових механічних захватних пристроїв показано на рис.1.12.

Пневмопривід Корпус Затискні важелі

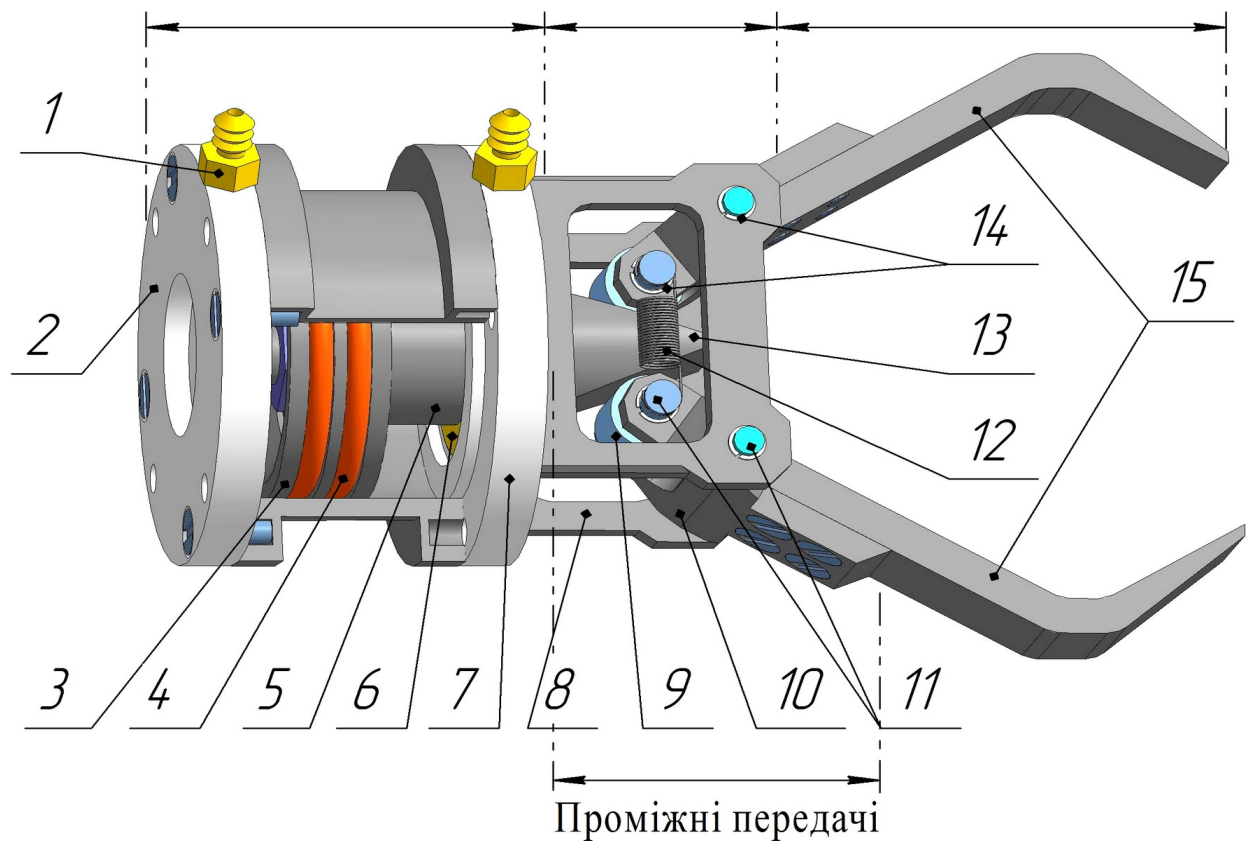


Рис.1.12. Будова типових механічних ЗП:

1- штуцер; 2 – кришка нижня; 3 – поршень; 4 – ущільнююче кільце; 5 – шток; 6 – втулка з ущільненням; 7 – кришка верхня; 8 – пластина; 9 – ролик; 10 – вилка; 11 – вісь; 12 – пружина розтиску; 13 – клин; 14 – стопорні кільця; 15 – затискні елементи

2. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Особливості затиску деталей типу тіло обертання захватним пристроєм

Актуальність даного питання на сьогоднішній день зросла в багато разів. Це пов'язано з використанням робототехніки не тільки на виробництві, а й у військових цілях. У машинобудівному виробництві використовуються промислові роботи (маніпулятори), які обслуговують основне технологічне обладнання [1, с.58], а у військовій справі - мобільні роботи із вбудованими маніпуляторами для взяття небезпечних предметів.

При проектуванні особливу увагу приділяють захватним пристроям роботів, так як вони безпосередньо приймають участь у виконанні заданих операцій. Також вони являють собою кінцеву ланку кінематичного ланцюга робота. До захватних пристроїв ставляться високі вимоги щодо точності, силових та функціональних характеристик. Також потрібно приводити параметри конструкції до мінімальних масо-габаритних характеристик, так як це впливає на продуктивність, якість та ефективність виконання операцій. Особливої уваги потребують силові характеристики захватних пристроїв. Досить часто до них ставлять специфічні вимоги, як не пошкодження утримуваних деталей (небезпечних об'єктів) чи їх поверхонь. А це все залежить від точності силових розрахунків захватних пристроїв, які передбачають їх переміщення в різних напрямках у просторі з різними режимами руху, різними умовами утримування деталей, особливостями їх позиціонування та ін.

Запропонована нами методика силового розрахунку [2, с.88] полягає у визначенні мінімально необхідних сил затиску. Нижче приведено приклад розрахункової схеми (рис.2.1) та отриманих рівнянь для визначення мінімально необхідних сил затиску. Отримані залежності можливо використовувати як на етапі проектування пристроїв, так і у якості корегуючих підпрограм системи управління роботом.

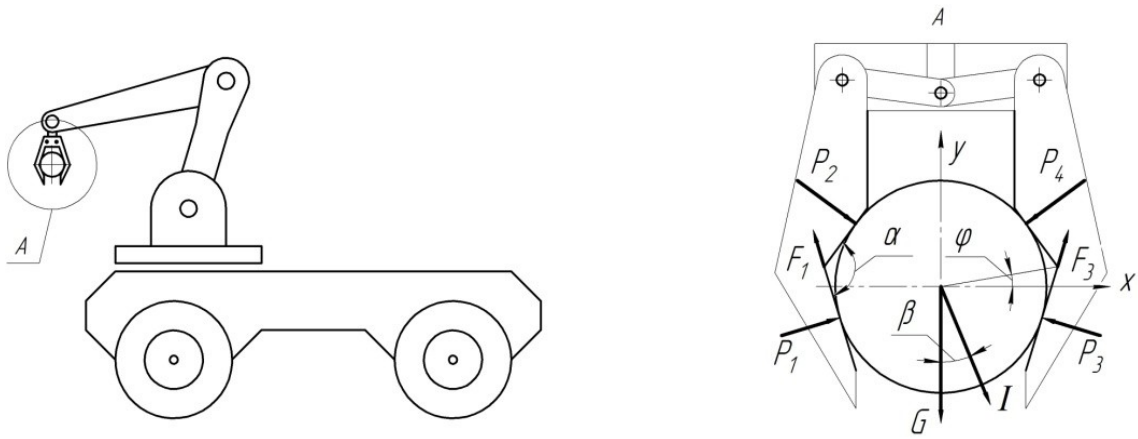


Рис.2.1 – Розрахункова схема

Розрахункова схема складається з урахуванням особливостей затиску захватом деталі, де вказуємо такі позначення: G – сила ваги деталі; I – сила інерції; γ – кут призми; β – кут напрямку сили інерції; φ – кут розміщення вершини призми; P_1, P_2, P_3, P_4 – мінімально необхідні сили затиску деталі.

2.2. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою

2.2.1. Сили затиску для першого квадранту

Для проведення розрахунку складемо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рис. 2.2). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Рис.2.2. Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "X".

$$\sum X = 0;$$

$$P1x \cos(90-\gamma/2-\varphi) + P2x \cos(90-\gamma/2+\varphi) - P3x \cos(90-\gamma/2-\varphi) - P4x \cos(90-\gamma/2+\varphi) + \\ + Pi \sin\beta = 0; \quad (1)$$

Так як $P1x$ та $P2x$ дорівнюють 0, отримаємо :

$$- P3x \cos(90-\gamma/2-\varphi) - P4x \cos(90-\gamma/2+\varphi) = - Pi \sin \beta \\ P3x \cos(90-\gamma/2-\varphi) + P4x \cos(90-\gamma/2+\varphi) = Pi \sin \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_3}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = \frac{P_4}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = \frac{R2}{\sin(180-\gamma)} \quad (3)$$

де $R2$ – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4\cos(180-\gamma)} \quad (4)$$

де γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P3x = \frac{P4 \sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P4x \sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} + P4y \cos(90-\gamma/2+\varphi) = Pi \sin \beta \\ \frac{P4x [\sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi) \sin(90-\gamma/2-\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = Pi \sin \beta$$

$$\frac{P4x \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = Pi \sin \beta$$

$$P4x = (Pi \sin \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Так як $P4 = P4x + P4y$ то отримаємо :

$$P4 = (Pi \sin \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{Pi \cos \beta + G}{2[(\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P3x = \frac{P4x \sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P3x \sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} + P3x \cos(90-\gamma/2-\varphi) = Pi \sin \beta \\ \frac{P3x [\sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2-\varphi) \sin(90-\gamma/2+\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = Pi \sin \beta$$

$$\frac{P3x \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = Pi \sin \beta$$

$$P_{3x} = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\Sigma Y = 0;$$

$$- P_{1y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_{3y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + F_2 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_i \cos \beta - G = 0; (7) \text{ де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{1y} та P_{3y} дорівнюють 0, та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_i \cos \beta - G = 0;$$

Так як $P_{2y} = P_{4y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)] = P_i \cos \beta + G$$

$$P_y [2 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + 2f \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)] = P_i \cos \beta + G$$

$$P_y = \frac{P_i \cos \beta + G}{2 [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)]} \text{ отримаємо:}$$

$$P_{2y} = P_{4y} = \frac{P_i \cos \beta + G}{2 [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску:

$$P_1 = 0.$$

$$P_2 = \frac{P_i \cos \beta + G}{2 [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}$$

$$P_3 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

$$P_4 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2 [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}$$

2.2.2. Сили затиску для другого квадранту.

Для проведення розрахунку складаємо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рис 2.3). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Рис. 2.3 Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\sum X = 0;$$

$$P_{1x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) + P_{2x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) - P_{3x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) - P_{4x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) + P_i \cos \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_{1x} та P_{2x} дорівнюють 0 , отримаємо :

$$- P_{3x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) - P_{4x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) = - P_i \cos \beta$$

$$P_{3x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) + P_{4x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) = P_i \cos \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо:

$$\frac{P_3}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = \frac{P_4}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = \frac{R_2}{\sin(180-\gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_2 – сумарна сила затиску, яка дорівнює:

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4\cos(180-\gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми глибок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{3x} = \frac{P_4 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{4x} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} + P_{4y} \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{4x} [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{4x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_{4x} = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_4 = P_{4x} + P_{4y}$ то отримаємо :

$$P_4 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{3x} = \frac{P_{4x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{3x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} + P_{3y} \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{3x} [\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{3x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_{3x} = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\Sigma Y = 0;$$

$$-P_{1y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_{3y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)$$

$$+ F_2 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_i \sin \beta - G = 0; \quad (7) \text{ де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{1y} та P_{3y} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{2y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{4y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{2y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{4y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_i \sin\beta - G = 0;$$

Так як $P_{1y} = P_{3y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = G - P_i \sin\beta$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2+\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = G - P_i \sin\beta$$

$$P_y = \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_{2y} = P_{4y} = \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = 0.$$

$$P_2 = \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

$$P_3 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_4 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

2.2.3. Сили затиску для першого та другого квадранту коли $P_i \geq G$

Коли $P_i \geq G$ то для першого квадранта розрахунок ведемо по формулам як і для варіанту коли $P_i \leq G$.

$$P_1 = 0.$$

$$P_2 = \frac{P_i \cos\beta + G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

$$P_3 = (P_i \sin\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_4 = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}$$

Для другого квадранта складаємо схему для розрахунку сил затиску заготовки рисунок 2.3.

Рис. 2.3. Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\sum Y = 0;$$

$$P_1 y \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_2 y \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_3 y \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P_4 y \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_i \cos \beta = 0; \quad (1)$$

Так як $P_1 y$ та $P_2 y$ дорівнюють 0, отримаємо :

$$- P_3 y \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P_4 y \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) = - P_i \cos \beta$$

$$P_3 y \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_4 y \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) = P_i \cos \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_3}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = \frac{P_4}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = \frac{R_2}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_2 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2 P_3 P_4 \cos(180 - \gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_3 y = \frac{P_4 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_4 y \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} + P_4 y \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_4 y [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_4 y \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_4 y = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_3 y = \frac{P_4 x \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_3 y \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} + P_3 y \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_3 y [\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_3 y \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_3 y = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_3 = P_3 x + P_3 y$ то отримаємо :

$$P_3 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y = 0;$$

$$- P_1 x \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_2 x \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_3 x \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_4 x \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) +$$

$$- F_1 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) - F_3 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_i \sin \beta - G = 0; \quad (7) \quad \text{де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; \quad (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{2x} та P_{4x} дорівнюють 0, та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{1x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + P_{3x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f P_{1x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f P_{3x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) - P_i \sin\beta + G = 0;$$

Так як $P_{1y} = P_{3y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2-\varphi) + \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2-\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_{1y} = P_{3y} = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

$$P_2 = 0.$$

$$P_3 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{P_i \sin\beta - G}{2[(\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi))]}$$

$$P_{4y} = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

2.2.4. Сили затиску для третього квадранту.

Для проведення розрахунку складемо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рис 2.4). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Рис 2.4. Схема для розрахунку сил затиску заготовки .

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\sum X = 0;$$

$$P_{1x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_{2x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_{3x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_{4x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_i \sin \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_{3x} та P_{4x} дорівнюють 0 , отримаємо :

$$P_{1x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_{2x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P_i \sin \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_1}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = \frac{P_2}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = \frac{R_1}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_1 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180 - \gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{1x} = \frac{P_2 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{2x} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} + P_{2y} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{2x} [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{2x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$P_{2x} = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_2 = P_{2x} + P_{2y}$ то отримаємо:

$$P_2 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma/2 + \varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{2x} = \frac{P_{1x} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{1x} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} + P_{1x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{1x}[\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)\cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P \sin \beta$$

$$\frac{P_{1x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P \sin \beta$$

$$P_{1x} = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\Sigma Y = 0;$$

$$- P_{1y} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_{2y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_{3y} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) +$$

$$- F_2 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_i \cos \beta - G = 0; \quad (7) \text{ де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F \text{ тертя} = f P_i ; \quad (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{1y} та P_{3y} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{2y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f P_{2y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f P_{4y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) -$$

$$- P_i \cos \beta - G = 0;$$

Так як $P_{1y} = P_{3y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)] = P_i \cos \beta + G$$

$$P_y [2\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + 2f \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)] = P_i \cos \beta + G$$

$$P_y = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)]} \text{ отримаємо:}$$

$$P_{2y} = P_{4y} = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

$$P_2 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi))]}$$

$$P_3 = 0.$$

$$P_4 = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi))]}$$

2.2.5. Сили затиску для четвертого квадранту.

Для проведення розрахунку складемо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рис 2.5). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Рис. 2.5. Схема для розрахунку сил затиску заготовки .

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\sum X = 0;$$

$$P_1 \times \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_2 \times \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_3 \times \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P_4 \times \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_i \cos \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_3 та P_4 дорівнюють 0 , отримаємо :

$$P_1 \times \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_2 \times \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) = P_i \cos \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_1}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = \frac{P_2}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = \frac{R1}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R1 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180 - \gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми глибок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{1x} = \frac{P_2 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{2x} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} + P_{2y} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{2x} [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{2x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P \cos \beta$$

$$P_{2x} = (P \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_2 = P_{2x} + P_{2y}$ то отримаємо:

$$P_2 = (P \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma/2 + \varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{2x} = \frac{P_{1x} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{1x} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} + P_{1x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{1x} [\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{1x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P \cos \beta$$

$$P_{1x} = (P \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y = 0;$$

$$\begin{aligned} & - P_{1y} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_{2y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_{3y} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_{4y} \\ & \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) - \\ & + F_2 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_i \sin \beta - G = 0; \quad (7) \text{ де:} \end{aligned}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{1y} та P_{3y} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{2y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{4y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{2y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{4y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_i \sin\beta - G = 0;$$

Так як $P_{2y} = P_{4y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2+\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_{2y} = P_{4y} = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_2 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

$$P_3 = 0.$$

$$P_4 = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

2.2.6. Сили затиску для третього та четвертого квадранту коли $P_i \geq G$

Коли $P_i \geq G$ то для III - квадранта розрахунок ведемо по формулам як і для варіанту коли $P_i \leq G$.

$$P_1 = (P_i \sin\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_2 = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)]}$$

$$P_3 = 0.$$

$$P_4 = \frac{P \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)]}$$

Для четвертого квадранта розрахунки сил затиску проводимо відповідно до схеми показаної на рисунку 2.6.

Рис. 2.6. Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\sum Y = 0;$$

$$P_1 \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_2 \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_3 \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_4 \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P \cos \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_3 та P_4 дорівнюють 0, отримаємо :

$$P_1 \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_2 \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P \cos \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_1}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = \frac{P_2}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = \frac{R_1}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_1 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180 - \gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{1y} = \frac{P_2 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_2 y \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} + P_2 y \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_2 y [\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_2 y \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_2 y = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_2 y = \frac{P_{1x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{1y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} + P_{1y} \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{1y} [\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{1y} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_{1y} = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_1 = P_{1y} + P_{1x}$ то отримаємо :

$$P_1 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \sin \beta - G}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\Sigma Y = 0;$$

$$\begin{aligned} & - P_{1x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_{2x} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_{3x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) - \\ & + P_{4x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + F_1 \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + F_3 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \\ & + P_i \sin \beta - G = 0; \quad (7) \quad \text{де:} \end{aligned}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя

яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{2x} та P_{4x} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8

в формулу 7 отримаємо :

$$P_{1x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + P_{3x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f P_{1x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + \\ + f P_{3x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) - P_i \sin\beta + G = 0;$$

Так як $P_{1y} = P_{3y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2-\varphi) + \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2-\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_{1y} = P_{3y} = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

$$P_2 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_{3y} = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

$$P_4 = 0.$$

2.2.7. Виведення рівняння для розрахунку сумарної сили затиску та кута направлення сумарної сили затиску для першого, другого, третього та четвертого квадрантів

Для проведення розрахунку складаємо схему для розрахунку кута направлення сумарної сили затиску (рис. 2.7). Для випадків коли $P_i \leq G$.

Рис.2. 7. Схема для розрахунку кута направлення сумарної затиску заготовки.

Для першого важеля:

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо:

$$\frac{P_1}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = \frac{P_2}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = \frac{R_1}{\sin(180 - \gamma)} \quad (9) \text{ де}$$

R_1 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180 - \gamma)} \quad (10) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Ψ - кут направлення сумарної сили затиску;

З рівняння (9) знайдемо що :

$$\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi + \Psi) = \frac{P_1 \sin(180 - \gamma)}{R_1}$$

$$\Psi = \arcsin\left(\frac{P_1 \sin(180 - \gamma)}{R_1}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} - \varphi \quad (11) \text{ – формула для знаходження}$$

кута направлення сумарної сили затиску через силу P_1 .

Також можна знайти кута направлення сумарної сили затиску через силу P_2 :

$$\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi + \Psi) = \frac{P_2 \sin(180 - \gamma)}{R_1}$$

$$\Psi = \arcsin\left(\frac{P_2 \sin(180 - \gamma)}{R_1}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} + \varphi \quad (12) \text{ – формула для знаходження}$$

кута направлення сумарної сили затиску через силу P2.

Проектуючи сумарну силу затиску R1 на вісь Y отримаємо що:

$$R_{y1} = R_1 \cos \psi \quad (13).$$

Для другого важеля:

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_3}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi + \delta)} = \frac{P_4}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi + \delta)} = \frac{R_2}{\sin(180 - \gamma)} \quad (14) \text{ де}$$

R2 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4 \cos(180 - \gamma)} \quad (15) \quad \text{де}$$

γ – кут призми глибок захвата;

δ - кут направлення сумарної сили затиску;

З рівняння (14) знайдемо що :

$$\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi + \delta) = \frac{P_3 \sin(180 - \gamma)}{R_2}$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{P_3 \sin(180 - \gamma)}{R_2}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} - \varphi \quad (16) \text{ – формула для знаходження}$$

кута направлення сумарної сили затиску через силу P3.

Також можна знайти кута направлення сумарної сили затиску через силу P4:

$$\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi + \delta) = \frac{P_4 \sin(180 - \gamma)}{R_2}$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{P_4 \sin(180 - \gamma)}{R_2}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} + \varphi \quad (17) \text{ – формула для}$$

знаходження кута направлення сумарної сили затиску через силу P4.

Проектуючи сумарну силу затиску R2 на вісь Y отримаємо що:

$$R_{y2} = R_2 \cos \delta \quad (18).$$

Знаходимо сумарну силу затиску за формулою (19) :

$$R = |R_{1y}| + |R_{2y}| \quad \text{або} \quad R = |R_1 \cos \psi| + |R_2 \cos \delta|$$

2.3. Дослідження впливу конструктивних характеристик пристроїв на сили затиску

На величину сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 будуть впливати сила тяжіння G , варіанти направлення сили інерції P_i та конструктивні параметри захвату. Якщо деталь умовно поділити на 4 квадранта то отримаємо 4 варіанта розрахунку сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 .

Розглянемо на прикладі вплив сили інерції та конструктивних параметрів на сили затиску P_1, P_2, P_3, P_4 коли сила інерції у I квадранті (див.2.1.1).

Досліджуючи вплив конструктивних параметрів бачимо, що на сили затиску мають вплив такі кути:

- кут призми γ ;
- кут напрямку сили інерції β ;
- кут розміщення вершинки призми ϕ .

Приймаємо такі значення цих кутів:

- кут призми γ ($60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$);
- кут напрямку сили інерції β ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$);
- кут розміщення вершинки призми ϕ ($0^\circ, 5^\circ, 15^\circ$);

Для полегшення розрахунків приймаємо, що $P_i = 1$ та сила ваги також дорівнює $G = 1$, а коефіцієнт тертя $f = 0,12$.

Розглянемо окремо вплив цих кутів на сили затиску захватного пристрою та будуємо графіки залежності сил затиску від кута призми γ , кута напрямку сили

інерції β , кута розміщення вершинки призми ϕ .

Розглянемо вплив кута призми γ на сили затиску.

Для цього розраховуємо сили затиску при таких значеннях кутів:

- кут призми γ ($60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$);
- кут напрямку сили інерції β ($0^\circ, 90^\circ$);
- кут розміщення вершинки призми ϕ ($0^\circ, 5^\circ$);

Результати розрахунку сил затиску приводимо в таблиці 1.

Таблиця 1.

Значення кутів	Значення сил затиску
----------------	----------------------

φ	β	γ	P2	P3	P4
0°	0°	60°	1,1	0	1,1
		90°	1,25	0	1,25
		120°	1,7	0	1,7
		150°	2,7	0	2,7
5°	0°	60°	1,04	0	1,04
		90°	1,2	0	1,2
		120°	1,5	0	1,5
		150°	2,2	0	2,2
0°	90°	60°	0,	1	1,53
		90°	53	0,71	1,34
		120°	0,63	0,58	1,41
		150°	0,83	0,52	1,85
5°	90°	60°	1,33		
		90°	0,52	1,04	1,5
		90°	0,59	0,77	1,23
		120°	0,77	0,66	1,26
		150°	1,1	0,68	1,45

Будуємо графіки залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута призми γ (Рис 2.8 а, 2.8 б, 2.8 в, 2.8 г).

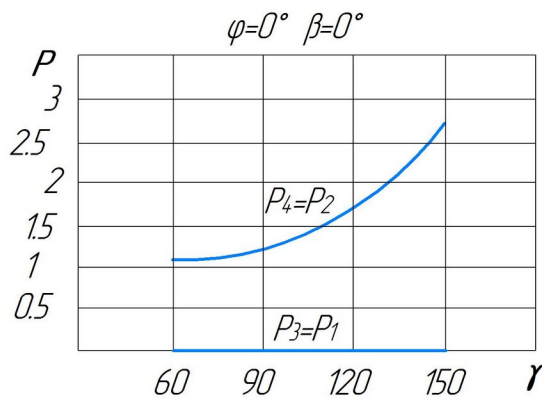


Рисунок 2.8а

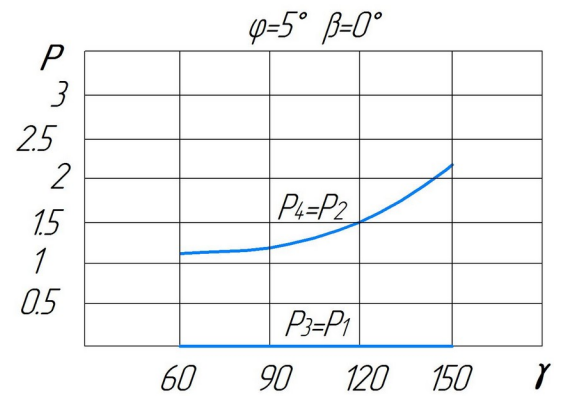


Рисунок 2.8б

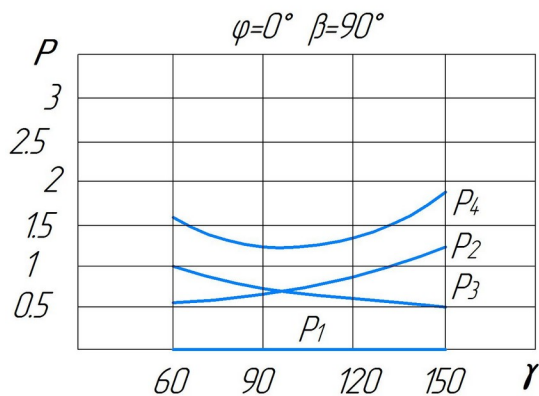


Рисунок 2.8.в

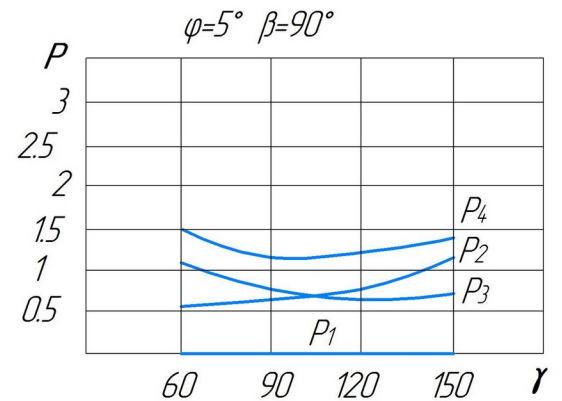


Рисунок 2.8.г

Висновки: Коли кут розміщення вершини призми буде дорівнювати $\varphi=0$, а кут

$\beta=0$ то сили затиску зі збільшенням кута призми γ від 60° до 150° $P_4=P_2$ будуть збільшуватися, $P_1=P_3=0$ (рисунку 2.8,а), а тому кут призми необхідно вибрати в межах від 60° - 90° , збільшуючи кут напрямку сили інерції від 0 до 90° , сила P_2 буде збільшуватись, P_3 - зменшуватися сила P_4 - буде збільшуватися, тому кут призми рекомендується вибрати від 90° - 120° (рисунок 2.8,в).

Змінюючи кут розміщення вершинки призми, наприклад $\varphi=5^\circ$, бачимо, що зі збільшенням кута призми γ від 60° до 150° при $\beta=0$ сили $P_4=P_2$ будуть збільшуватися, $P_1=P_3=0$ (рисунку 2.8, а), а тому кут призми γ необхідно вибрати

в межах від 60° - 90° (рисунок 2.8, б).

Збільшуючи кут інерції β від 0 до 90° , сила P_2 буде збільшуватись, P_3 – буде зменшуватися сила P_4 - буде збільшуватися, тому кут призми рекомендується вибрати від 90° - 120° (рисунок 2.8, г).

Розглянемо вплив кута розміщення вершинки призми φ на сили затиску.

Для цього розраховуємо сили затиску при таких значеннях кутів:

- кут призми γ (120°);
- кут напрямку сили інерції β (0° , 45° , 90°);
- кут розміщення вершинки призми φ (0° , 5° , 15°);

Результати розрахунку сил затиску приводимо в таблиці 2.

Таблиця 2.

Значення кутів			Значення сил затиску		
γ	β	φ	P2	P3	P4
120°	0°	0°	1,7	0	1,7
		5°	1,5	0	1,5
		15°	1,25	0	1,25
120°	45°	0°	1,43	0,41	1,84
		5°	1,32	0,47	1,66
		15°	1,1	0,58	1,31
120°	90°	0°	0,83	0,58	1,41
		5°	0,77	0,66	1,26
		15°	0,63	0,81	0,93

Будуємо графіки залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута розміщення вершинки призми (Рис 2.9 а, 2.9 б, 2.9 в).

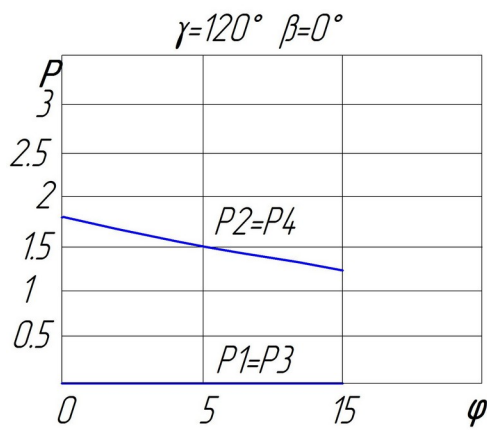


Рисунок 2.9, а

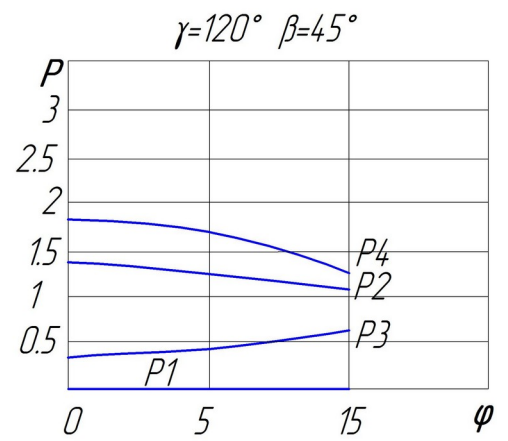


Рисунок 2.9, б

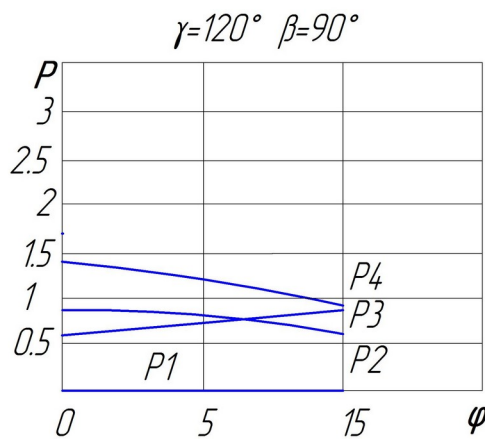


Рисунок 2.9, в

Рисунок 2.9 - Залежності сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 від кута розміщення вершинки призми

Висновки: Зі збільшенням кута розміщення вершинки призми коли кут напрямку сили інерції $\beta = 0^\circ$ сила $P_2 = P_4$ – буде зменшується, а сили $P_3 = P_1 = 0$, тому кут напрямку вершинки призми вибираємо в межах від 5° до 15° (рисунок 2а). Збільшуючи кут напрямку сили інерції від $0^\circ - 90^\circ$, P_3 – збільшується P_2 - зменшується, P_4 - зменшується, тому кут розміщення вершинки призми вибираємо більшими, тобто від 10° до 15° (рисунок 2б, 2в).

Розраховуємо сумарну силу затиску для сил P_1 та P_2 за формулою 10 (див 2.1.8.) та результати розрахунків зводимо до Таблиці 3.

Таблиця 3.

φ°	β°	γ°	P3	P4	R2	δ°	$R2\cos\delta^\circ$
0	0	60	0	1,1	1,1	0	1,1
		90	0	1,25	1,25	0	1,25
		120	0	1,7	1,7	0	1,7
		150	0	2,7	2,7	0	2,7
0	45	60	0,71	1,64	1,4	34	1,2
		90	0,5	1,6	1,68	28	1,5
		120	0,41	1,84	2,1	20	2
		150	0,37	2,67	3	12	2,9
0	90	60	1	1,53	1,35	20	1,27
		90	0,71	1,34	1,52	17	1,45
		120	0,58	1,41	1,77	13	1,72
		150	0,52	1,85	2,3	9	2,27
5	0	60	0	1,04	1,04	0	1,04
		90	0	1,2	1,2	0	1,2
		120	0	1,5	1,5	0	1,5
		150	0	2,2	2,2	0	2,2
5	45	60	0,74	1,56	1,35	37	1,1
		90	0,54	1,46	1,56	30	1,35
		120	0,47	1,66	1,94	23	1,8
		150	0,49	2,1	2,5	14	2,4
5	90	60	1,04	1,5	1,33	22	1,23
		90	0,77	1,23	1,45	18	1,4
		120	0,66	1,26	1,69	15	1,6
		150	0,68	1,45	2,1	10	2,07

Будуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута γ рисунок 2.10а, 2.10б, 2.10в, 2.10г.

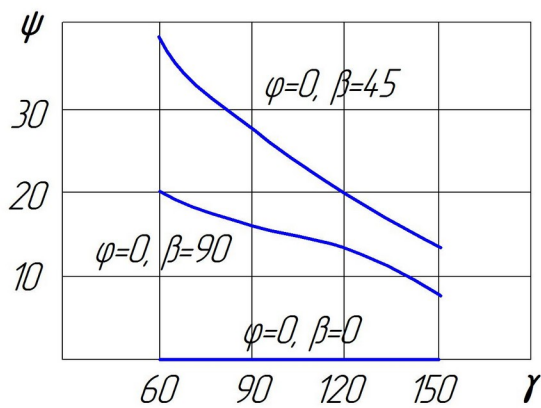


Рисунок 2.10 а

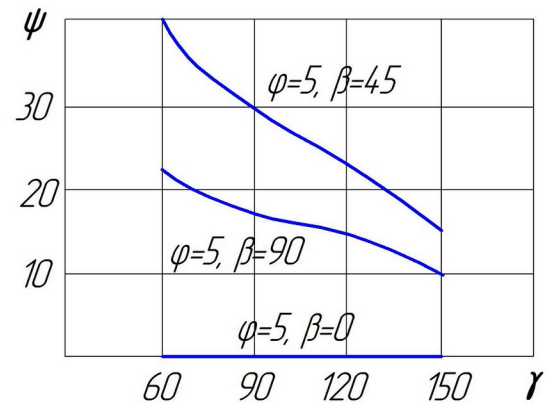


Рисунок 2.10 δ

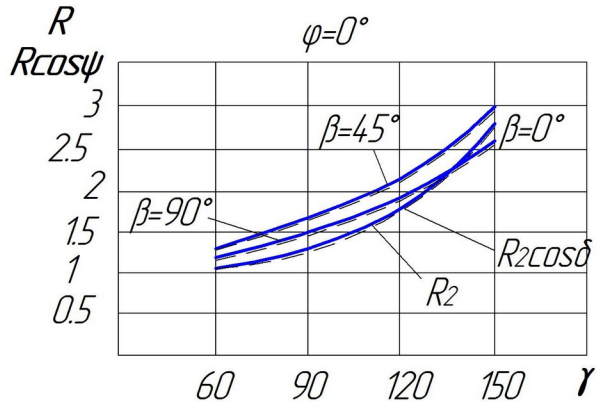


Рисунок 2.10 б

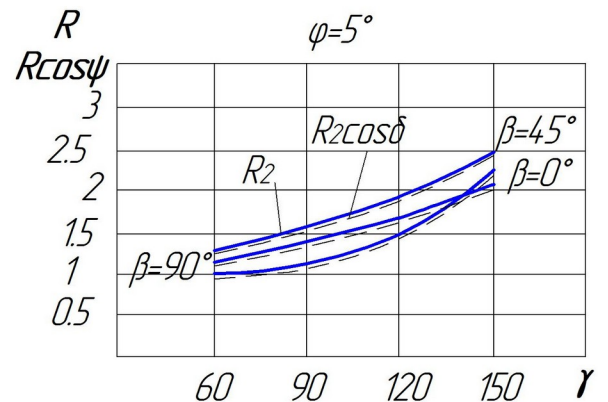


Рисунок 2.10 з

Рисунок 2.10 - Залежності сумарних сил затиску від кута γ

Висновки: Розглянемо вплив кута направлення сумарних сил затиску.

- Вплив кута призми. При збільшенні кута призми кут направлення сумарної сили затиску Ψ зменшується.
- Вплив кута напрямку сили інерції. При збільшенні кута напрямку сили інерції β від 0 до 45° кут направлення сумарної сили затиску збільшується, а потім зменшується.
- Вплив кута вершинки призми φ . При збільшенні кута вершинки призми від 0 до 15° кут направлення сумарної сили затиску збільшується.

Розглянемо вплив сумарних сил затиску.

- Вплив кута призми. При збільшенні кута призми від 0° до 150° сумарна сила затиску збільшується, тому кут призми вибираємо від 60° - 120°.

Квадрант III.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P1	P2	P4	R1	ψ	$R1\cos\psi$	R2	δ	$R2\cos\delta$	R
0°	0°	120°	0	1,7	1,7	1,7	0	1,7	1,7	30	1,5	3,2
	45°		0,41	1,84	1,43	2,1	20	2,1	1,43	30	1,24	3,34
	90°		0,58	1,41	0,83	1,8	14	1,75	0,83	30	0,72	2,47

Квадрант IV.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P1	P2	P4	R1	ψ	$R1\cos\psi$	R2	δ	$R2\cos\delta$	R
0°	0°	120°	1,41	0,58	0,83	1,8	14	1,75	0,83	30	0,72	2,47
	45°		0,65	0,41	0,24	0,93	7	0,92	0,24	30	0,21	1,13
	90°		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Будуємо графік залежності сил затиску від кута напрямку сили інерції (рисунок 2.11).

Рисунок 2.11 - Вплив кута направлення сили інерції - β .

Зі збільшенням кута β від 0° – 180° коли сила інерції знаходиться у I – II квадрантах при збільшенні кута вершинки призми ϕ від 0° до 15° сили P_2 зменшується, P_4 – збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, P_3 – збільшується до $\beta = 90^\circ$, а потім зменшується, $P_1 = 0$, тому кут призми вибираємо від 45° – 135° . Якщо сила інерції знаходиться у III – IV квадрантах зі зміною кута β від 0 – 180° сили P_4 - зменшується, P_2 – збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, P_1 – збільшується до $\beta = 90^\circ$,

а потім зменшується, $P_3 = 0$, , тому кут призми вибираємо від 45° – 135° (рис 2.11.).

Будуємо графіки залежності кута направлення сумарної сили затиску від кута направлення сили інерції (рис 2.12, 2.13)

Рисунок 2.12 - Залежності кута направлення сумарної сили затиску від кута направлення сили інерції

Висновки: При умові коли $P_i \leq G$ то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута β від 0 – 180° збільшується $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується.

При умові коли $P_i = G$ то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута β від 0 – 180° збільшується $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується. При умові коли $P_i \geq G$ то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута β від 0 – 180° збільшується β від 45° , а потім зменшується.

Рисунок 2.13 - Залежності кута направлення сумарної сили затиску від кута направлення сили інерції

Висновки: При умові коли $P_i \leq G$ сумарна сили затиску при збільшенні кута β від $0^\circ - 180^\circ$ збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, тому кут напрямку сили інерції вибираємо від $90^\circ - 180^\circ$. При умові коли $P_i = G$ сумарна сили затиску при збільшенні кута β від $0^\circ - 180^\circ$ збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, тому кут напрямку сили інерції вибираємо від $90^\circ - 180^\circ$. При умові коли $P_i \geq G$ сумарна сили затиску при збільшенні кута β від $0^\circ - 180^\circ$ збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується до $\beta = 90^\circ$, потім знову збільшується до $\beta = 135^\circ$ і зменшується до $\beta = 180^\circ$ тому кут напрямку сили інерції вибираємо від $90^\circ - 180^\circ$. Будуємо графік залежності сумарних сил затиску від куту напрямку сили інерції β (рисунок 2.14) дивитись таблицю 4.

Рисунок 2.14 - залежності сумарних сил затиску від куту напрямку сили інерції β

Висновки: Зі збільшенням кута β від 0° - 180° сумарна сила затиску R_1 на першому важелі – зменшується, сумарна сила затиску R_2 на другому важелі – збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, загальна сумарна сила затиску R збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується тому кут напрямку сили інерції приймаємо в межах від 45° - 180° .

Будуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми γ , для побудови графіків складаємо таблицю 5.

Таблиця 5

φ°	β°	γ°	P3	P4	R2	δ	$R2\cos\delta$	R1	ψ	$R1\cos\psi$	R
0	0	60	0	1,1	1,1	0	1,1	1,1	0	1,1	2,2
		90	0	1,25	1,25	45	0,9	1,25	45	0,9	1,8
		120	0	1,7	1,7	30	1,5	1,7	30	1,5	3
		150	0	2,7	2,7	15	2,61	2,7	15	2,61	5,22
0	45	60	0,71	1,64	1,4	34	1,2	0,93	0	0,93	2,13
		90	0,5	1,6	1,68	28	1,5	1,1	45	0,78	2,28
		120	0,41	1,84	2,1	20	2	1,43	30	1,24	3,24
		150	0,37	2,67	3	12	2,9	2,3	15	2,2	5,1

Будуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми γ (рисунок 2.15, 2.16).

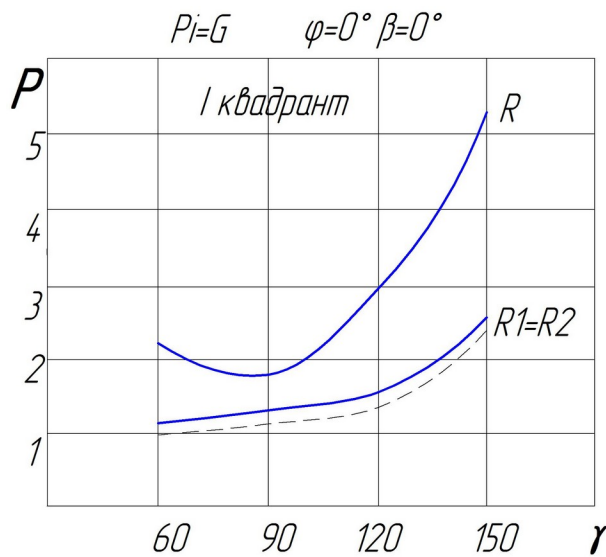


Рисунок 2.15

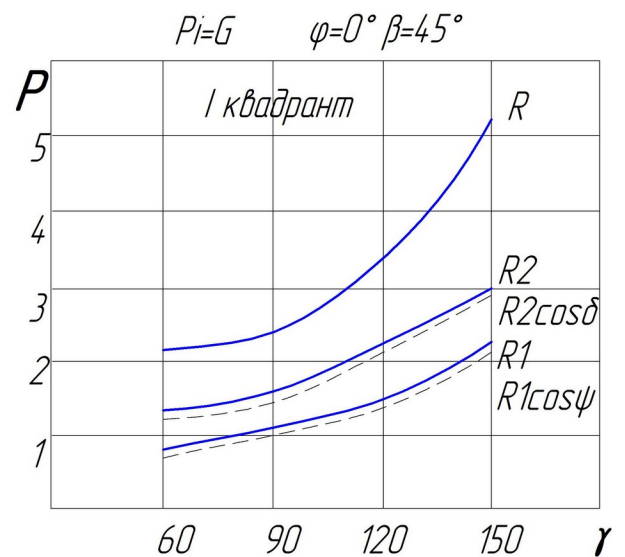


Рисунок 2.16

Висновки: При збільшенні кута призми γ від 60° - 150° коли кут розміщення вершинки призми $\varphi = 0^\circ$ та кут направлення сили інерції $\beta = 0^\circ$ сумарна сила затиску збільшується тоді кут призми вибираємо в межах від 60° - 120° , коли кут направлення сили інерції $\beta = 45^\circ$ сили затиску $R1$ та $R2$ – збільшуються, а тому сумарна сила затиску R також збільшується тому кут призми вибираємо в межах від 60° - 120° .

2.4. Теоретичне визначення сил затиску при зміщенні вершини призми захватного пристрою до захвату

Для проведення розрахунку складаємо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рисунок 2.16). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "X".

$$\sum X = 0;$$

$$P1x \cos(90-\gamma/2+\varphi) + P2x \cos(90-\gamma/2-\varphi) - P3x \cos(90-\gamma/2+\varphi) - P4x \cos(90-\gamma/2-\varphi) + P_i \sin \beta = 0; \quad (1)$$

Так як $P1x$ та $P2x$ дорівнюють 0 , отримаємо :

$$- P3x \cos(90-\gamma/2+\varphi) - P4x \cos(90-\gamma/2-\varphi) = - P_i \sin \beta$$

$$P3x \cos(90-\gamma/2+\varphi) + P4x \cos(90-\gamma/2-\varphi) = P_i \sin \beta \quad (2);$$

Рисунок 2.16. Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_3}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = \frac{P_4}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = \frac{R_2}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_2 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4\cos(180 - \gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми глибок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{3x} = \frac{P_4 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{4x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} + P_{4y} \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{4x} [\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{4x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P_i \sin \beta$$

$$P_{4x} = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_4 = P_{4x} + P_{4y}$ то отримаємо :

$$P_4 = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{4x} = \frac{P_{3x} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{3x} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} + P_{3x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P \sin \beta$$

$$\frac{P_{3x} [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P \sin \beta$$

$$\frac{P_{3x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P \sin \beta$$

$$P_{3x} = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y = 0;$$

$$- P_1 y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_2 y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_3 y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_4 y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) +$$

$$+ F_2 \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) - P \cos \beta - G = 0; \quad (7) \quad \text{де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F \text{ тертя} = f P_i ; \quad (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як $P_1 y$ та $P_3 y$ дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_2 y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_4 y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + f P_2 y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) +$$

$$+ f P_4 y \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) - P \cos \beta - G = 0;$$

Так як $P_2 y = P_4 y = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + f \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + f \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)] = P \cos \beta + G$$

$$P_y [2 \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + 2 f \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)] = P \cos \beta + G$$

$$P_y = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_{2y} = P_{4y} = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = 0.$$

$$P_2 = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)]}$$

$$P_3 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

$$P_4 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)]}$$

Сили затиску для другого квадранту.

Для проведення розрахунку складаємо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рисунок 2.17). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Рисунок 2.17. Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "X".

$$\sum X = 0;$$

$$P_{1x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_{2x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_{3x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_{4x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_i \cos \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_{1x} та P_{2x} дорівнюють 0, отримаємо :

$$- P_{3x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) - P_{4x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) = - P \cos \beta \quad P_{3x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) + P_{4x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) = P \cos \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_3}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = \frac{P_4}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = \frac{R_2}{\sin(180-\gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_2 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4\cos(180-\gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{3x} = \frac{P_4 \sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{4x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} + P_{4y} \cos(90-\gamma/2-\varphi) = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{4x} [\sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2-\varphi) \sin(90-\gamma/2+\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{4x} \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = P \cos \beta$$

$$P_{4x} = (P \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Так як $P_4 = P_{4x} + P_{4y}$ то отримаємо :

$$P_4 = (P \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{G - P \sin \beta}{2[(\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{4x} = \frac{P_{3x} \sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{3x} \sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} + P_{3x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{3x} [\sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi) \sin(90-\gamma/2-\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = P \cos \beta$$

$$\frac{P_{3x} \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = P \cos \beta$$

$$P_{3x} = (P \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y=0;$$

$$- P_{1y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{2y} \sin(90-\gamma/2-\varphi) - P_{3y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{4y} \sin(90-\gamma/2-$$

$\varphi) +$

$$+ F_2 \sin(90-\gamma/2-\varphi) + F_4 \sin(90-\gamma/2-\varphi) + P_i \sin\beta - G = 0; (7) \text{ де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{1y} та P_{3y} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{2y} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + P_{4y} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f P_{2y} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f P_{4y} \sin(90-\gamma/2-\varphi) + P_i \sin\beta - G = 0;$$

Так як $P_{2y} = P_{4y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2-\varphi) + \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = G - P_i \sin\beta$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2-\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = G - P_i \sin\beta$$

$$P_y = \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]} \text{ отримаємо:}$$

$$P_{2y} = P_{4y} = \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = 0.$$

$$P_2 = \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

$$P_3 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_4 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

Сили затиску для першого та другого квадранту коли $P_i \geq G$.

Коли $P_i \geq G$ то для першого квадранта розрахунок ведемо по формулам як і для варіанту коли $P_i \leq G$.

$$P_1 = 0.$$

$$P_2 = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi))]}$$

$$P_3 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

$$P_4 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma/2 - \varphi))]}$$

Для другого квадранта складаємо схему для розрахунку сил затиску заготовки рисунок 2.18.

Рисунок 2.18. Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\sum X = 0;$$

$$P_1 \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_2 \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_3 \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_4 \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + P_i \cos \beta = 0; (1)$$

Так як P_1 та P_2 дорівнюють 0, отримаємо :

$$- P_3 \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_4 \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) = - P_i \cos \beta$$

$$P_3 \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_4 \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) = P_i \cos \beta (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_3}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = \frac{P_4}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = \frac{R_2}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_2 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4\cos(180 - \gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{4x} = \frac{P_3 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{3x} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} + P_{3x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{3x} [\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{3x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_{3x} = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_3 = P_{3x} + P_{3y}$ то отримаємо :

$$P_3 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \sin \beta - G}{2[(\sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + f \cos(90 - \gamma/2 + \varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{4x} = \frac{P_{3x} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{4x} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) \cos(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} + P_{4x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{4x} [\sin(90 - \gamma/2 - \varphi) \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{4x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_{4x} = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y = 0;$$

$$\begin{aligned} & - P_{1y} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_{2y} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_y \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma/2 - \varphi) + \\ & + F_1 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + F_3 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_i \sin \beta - G = 0; \quad (7) \text{ де:} \end{aligned}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{2y} та P_{4y} дорівнюють 0, та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{1y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{3y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{1y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{3y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) - P_i \sin\beta + G = 0;$$

Так як $P_{1y} = P_{3y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2+\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = P_i \sin\beta - G$$

$$P_y = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_{1y} = P_{3y} = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = \frac{P_i \sin\beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

$$P_2 = 0.$$

$$P_3 = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{G - P_i \sin\beta}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

$$P_{4y} = (P_i \cos\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Сили затиску для третього квадранту.

Для проведення розрахунку складемо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рисунок 2.18). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Рисунок 2.18. Схема для розрахунку сил затиску заготовки .

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\sum X = 0;$$

$$P_{1x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_{2x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_{3x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) - P_{4x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) - P_i \sin \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_{3x} та P_{4x} дорівнюють 0 , отримаємо :

$$P_{1x} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) + P_{2x} \cos(90 - \gamma/2 - \varphi) = P_i \sin \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_1}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} = \frac{P_2}{\sin(90 - \gamma/2 + \varphi)} = \frac{R_1}{\sin(180 - \gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_1 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180 - \gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{2x} = \frac{P_1 \sin(90 - \gamma/2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{1x} \sin(90 - \gamma/2 + \varphi) \cos(90 - \gamma/2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma/2 - \varphi)} + P_{1y} \cos(90 - \gamma/2 + \varphi) = P_i \sin \beta$$

$$\frac{P_{1x}[\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P \sin \beta$$

$$\frac{P_{1x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)} = P \sin \beta$$

$$P_{1x} = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{1x} = \frac{P_{2x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{2x} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} + P_{2x} \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) = P \sin \beta$$

$$\frac{P_{2x}[\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)]}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P \sin \beta$$

$$\frac{P_{2x} \sin(180 - \gamma)}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)} = P \sin \beta$$

$$P_{2x} = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

Так як $P_2 = P_{2x} + P_{2y}$ то отримаємо:

$$P_2 = (P \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y = 0;$$

$$- P_{1y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P_{3y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + F_2 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P \cos \beta - G = 0; \quad (7) \text{ де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F \text{ тертя} = f P_i ; \quad (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{1y} та P_{3y} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f P_{1y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) +$$

$$+f P_4 y \sin(90-\gamma/2-\varphi) - P_i \cos\beta - G = 0;$$

Так як $P_1 y = P_3 y = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2-\varphi) + \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = P_i \cos\beta + G$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2-\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2-\varphi)] = P_i \cos\beta + G$$

$$P_y = \frac{P_i \cos\beta + G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]} \quad \text{отримаємо:}$$

$$P_2 y = P_4 y = \frac{P_i \cos\beta + G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = (P_i \sin\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_2 = (P_i \sin\beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{P_i \cos\beta + G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

$$P_3 = 0.$$

$$P_4 = \frac{P_i \cos\beta + G}{2[\sin(90-\gamma/2-\varphi) + f \cos(90-\gamma/2-\varphi)]}$$

Сили затиску для четвертого квадранту.

Для проведення розрахунку складемо схему для розрахунку сил затиску заготовки (рисунок 2.19). Розглянемо випадок коли $P_i \leq G$.

Рисунок 2.19. Схема для розрахунку сил затиску заготовки .

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Х".

$$\Sigma X = 0;$$

$$P_1x \cos(90-\gamma/2+\varphi) + P_2x \cos(90-\gamma/2-\varphi) - P_3x \cos(90-\gamma/2+\varphi) - P_4x \cos(90-\gamma/2-\varphi) + P_i \cos \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_3x та P_4x дорівнюють 0, отримаємо :

$$P_1x \cos(90-\gamma/2+\varphi) + P_2x \cos(90-\gamma/2-\varphi) = P_i \cos \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_1}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = \frac{P_2}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = \frac{R_1}{\sin(180-\gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R_1 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180-\gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_2x = \frac{P_1 \sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_1x \sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} + P_1y \cos(90-\gamma/2+\varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_1x [\sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi) \sin(90-\gamma/2-\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_1x \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_1x = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_1x = \frac{P_2x \sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_2x \sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} + P_2x \cos(90-\gamma/2-\varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_2x [\sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2-\varphi) \sin(90-\gamma/2+\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_2x \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_2x = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Так як $P_2 = P_{2x} + P_{2y}$ то отримаємо:

$$P_2 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y = 0;$$

$$- P_{1y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P_{3y} \sin(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + F_2 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + F_4 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_i \sin \beta - G = 0; (7) \text{ де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F_{\text{тертя}} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{1y} та P_{3y} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{2y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f P_{1y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f P_{4y} \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + P_i \sin \beta - G = 0;$$

Так як $P_{1y} = P_{3y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)] = G - P_i \sin \beta$$

$$P_y [2 \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + 2 f \sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)] = G - P_i \sin \beta$$

$$P_y = \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]} \text{ отримаємо:}$$

$$P_{2y} = P_{4y} = \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

$$P_2 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

$$P_3 = 0.$$

$$P_4 = \frac{G - P_i \sin \beta}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

Сили затиску для третього та четвертого квадранту коли $P_i \geq G$.

Коли $P_i \geq G$ то для III - квадранта розрахунок ведемо по формулам як і для варіанту коли $P_i \leq G$.

$$P_1 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi)}{\sin(180 - \gamma)}$$

$$P_2 = (P_i \sin \beta) \frac{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi)}{\sin(180 - \gamma)} + \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + f \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

$$P_3 = 0.$$

$$P_4 = \frac{P_i \cos \beta + G}{2[(\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi) + \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi))]}$$

Для четвертого квадранта розрахунки сил затиску проводимо відповідно досхеми показаної на рисунку 2.20. Розглянемо випадок коли $P_i \geq G$.

Рисунок 2.20. Схема для розрахунку сил затиску заготовки.

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "X".

$$\sum X = 0;$$

$$P_1 \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) + P_2 \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P_3 \cos(90 - \gamma / 2 + \varphi) - P_4 \cos(90 - \gamma / 2 - \varphi) - P_i \cos \beta = 0; \quad (1)$$

Так як P_3 та P_4 дорівнюють 0, отримаємо :

$$P_{1x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) + P_{2x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) = P_i \cos \beta \quad (2);$$

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_1}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = \frac{P_2}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = \frac{R_1}{\sin(180-\gamma)} \quad (3) \text{ де}$$

R₁ – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180-\gamma)} \quad (4) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{2x} = \frac{P_1 \sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} \quad (5)$$

Підставимо формулу (5) в формулу (2) отримаємо

$$\frac{P_{1x} \sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} + P_{1x} \cos(90-\gamma/2+\varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{1x} [\sin(90-\gamma/2+\varphi) \cos(90-\gamma/2-\varphi) + \cos(90-\gamma/2+\varphi) \sin(90-\gamma/2-\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{1x} \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2-\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_{1x} = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Так як **P₁ = P_{1x} + P_{1y}** то отримаємо :

$$P_1 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{P_i \sin \beta - G}{2[(\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi))]}$$

Вирішуючи рівняння (3) ми знаходимо що:

$$P_{1x} = \frac{P_{2x} \sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} \quad (6)$$

Підставимо формулу (6) в формулу (2) отримаємо:

$$\frac{P_{2x} \sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} + P_{2x} \cos(90-\gamma/2-\varphi) = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{2x} [\sin(90-\gamma/2-\varphi) \cos(90-\gamma/2+\varphi) + \cos(90-\gamma/2-\varphi) \sin(90-\gamma/2+\varphi)]}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$\frac{P_{2x} \sin(180-\gamma)}{\sin(90-\gamma/2+\varphi)} = P_i \cos \beta$$

$$P_{2x} = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

Складаємо рівняння рівноваги на вісь "Y".

$$\sum Y=0;$$

$$-P_{1y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{2y} \sin(90-\gamma/2-\varphi) - P_{3y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{4y} \sin(90-\gamma/2-\varphi) +$$

$$+ F1 \sin(90-\gamma/2+\varphi) + F3 \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_i \sin \beta - G = 0; (7) \text{ де:}$$

γ – кут призми ;

β – кут напрямку сили інерції ;

φ – кут розміщення вершини призми ;

В точках контакту заготовки з губками захвата діє сила тертя F тертя яка дорівнює :

$$F \text{ тертя} = f P_i ; (8)$$

де f – сила тертя губки захвата о деталь ;

P_i – нормальна сила для i – ї точки контакту.

Так як P_{2y} та P_{4y} дорівнюють 0 , та підставивши формулу 8 в формулу 7 отримаємо :

$$P_{1y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + P_{3y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{1y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f P_{3y} \sin(90-\gamma/2+\varphi) -$$

$$- P_i \sin \beta + G = 0;$$

Так як $P_{1y} = P_{3y} = P_y$ то отримаємо:

$$P_y [\sin(90-\gamma/2+\varphi) + \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = P_i \sin \beta - G$$

$$P_y [2\sin(90-\gamma/2+\varphi) + 2f \sin(90-\gamma/2+\varphi)] = P_i \sin \beta - G$$

$$P_y = \frac{P_i \sin \beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]} \text{ отримаємо:}$$

$$P_{1y} = P_{3y} = \frac{P_i \sin \beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

Отримаємо такі рівняння для розрахунку сил затиску :

$$P_1 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2-\varphi)}{\sin(180-\gamma)} + \frac{P_i \sin \beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

$$P_2 = (P_i \cos \beta) \frac{\sin(90-\gamma/2+\varphi)}{\sin(180-\gamma)}$$

$$P_3 = \frac{P_i \sin \beta - G}{2[\sin(90-\gamma/2+\varphi) + f \cos(90-\gamma/2+\varphi)]}$$

$$P_4 = 0.$$

2.5. Виведення рівняння для розрахунку сумарної сили затиску та кута направлення сумарної сили затиску для першого, другого, третього та четвертого квадрантів.

Для проведення розрахунку складаємо схему для розрахунку кута направлення сумарної сили затиску рисунок 2.21.

Рисунок 2.21. Схема для розрахунку кута направлення сумарної затиску заготовки.

Для першого важеля:

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо:

$$\frac{P_1}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi + \psi)} = \frac{P_2}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi + \psi)} = \frac{R_1}{\sin(180 - \gamma)} \quad (9) \text{ де}$$

R1 – сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(180 - \gamma)} \quad (10) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

Ψ - кут направлення сумарної сили затиску;

З рівняння (9) знайдемо що :

$$\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi + \Psi) = \frac{P_1 \sin(180 - \gamma)}{R_1}$$

$$\Psi = \arcsin\left(\frac{P_1 \sin(180 - \gamma)}{R_1}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} + \varphi \quad (11) \text{ – формула для знаходження}$$

кута направлення сумарної сили затиску через силу P1.

Також можна знайти кута направлення сумарної сили затиску через силу P2:

$$\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi + \Psi) = \frac{P_2 \sin(180 - \gamma)}{R_n}$$

$$\Psi = \arcsin\left(\frac{P_2 \sin(180 - \gamma)}{R_n}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} - \varphi \quad (12) - \text{формула для знаходження}$$

кута направлення сумарної сили затиску через силу P2.

Проектуючи сумарну силу затиску R1 на вісь Y отримаємо що:

$$R_{y1} = R_1 \cos \psi \quad (13).$$

Для другого важеля:

За аксіомою паралелограма сил по теоремі синусів маємо :

$$\frac{P_3}{\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi + \delta)} = \frac{P_4}{\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi + \delta)} = \frac{R_2}{\sin(180 - \gamma)} \quad (14) \text{ де}$$

R2– сумарна сила затиску, яка дорівнює :

$$R_2 = \sqrt{P_3^2 + P_4^2 + 2P_3P_4 \cos(180 - \gamma)} \quad (15) \quad \text{де}$$

γ – кут призми губок захвата;

δ - кут направлення сумарної сили затиску;

З рівняння (14) знайдемо що :

$$\sin(90 - \gamma / 2 - \varphi + \delta) = \frac{P_3 \sin(180 - \gamma)}{R_2}$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{P_3 \sin(180 - \gamma)}{R_2}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} + \varphi \quad (16) - \text{формула для знаходження}$$

кута направлення сумарної сили затиску через силу P3.

Також можна знайти кута направлення сумарної сили затиску через силу P4:

$$\sin(90 - \gamma / 2 + \varphi + \delta) = \frac{P_4 \sin(180 - \gamma)}{R_2}$$

$$\delta = \arcsin\left(\frac{P_4 \sin(180 - \gamma)}{R_2}\right) - 90 + \frac{\gamma}{2} - \varphi \quad (17) - \text{формула для знаходження}$$

кута направлення сумарної сили затиску через силу P4.

Проектуючи сумарну силу затиску R2 на вісь Y отримаємо що:

$$R_{y2} = R_2 \cos \delta \quad (18).$$

Знаходимо сумарну силу затиску за формулою (19) :

$$R = |R_{1,y}| + |R_{2,y}| \quad \text{або} \quad R = |R_1 \cos \psi| + |R_2 \cos \delta|$$

2.6. Дослідження впливу конструктивних характеристик пристроїв на сили затиску

На величину сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 будуть впливати сила тяжіння G , варіанти направлення сили інерції P_i та конструктивні параметри захвату. Якщо деталь умовно поділити на 4 квадранта то отримаємо 4 варіанта розрахунку сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 .

Розглянемо на прикладі вплив сили інерції та конструктивних параметрів на сили затиску P_1, P_2, P_3, P_4 коли сила інерції у I квадранті (див.2.2).

Досліджуючи вплив конструктивних параметрів бачимо, що на сили затиску мають вплив такі кути:

- кут призми γ ;
- кут напрямку сили інерції β ;
- кут розміщення вершинки призми ϕ .

Приймаємо такі значення цих кутів:

- кут призми γ ($60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$);
- кут напрямку сили інерції β ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$);
- кут розміщення вершинки призми ϕ ($0^\circ, 5^\circ, 15^\circ$);

Для полегшення розрахунків приймаємо, що $P_i = 1$ та сила ваги також дорівнює $G = 1$, а коефіцієнт тертя $f = 0,12$.

Розглянемо окремо вплив цих кутів на сили затиску захватного пристрою та будуємо графіки залежності сил затиску від кута призми γ , кута напрямку сили

інерції β , кута розміщення вершинки призми ϕ .

Розглянемо вплив кута призми γ на сили затиску.

Для цього розраховуємо сили затиску при таких значеннях кутів:

- кут призми γ ($60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$);
- кут напрямку сили інерції β ($0^\circ, 90^\circ$);
- кут розміщення вершинки призми ϕ ($0^\circ, 5^\circ$);

Результати розрахунку сил затиску приводимо в таблиці 6.

Таблиця 6.

Значення кутів			Значення сил затиску		
φ	β	γ	P2	P3	P4
0°	0°	60°	1,1	0	1,1
		90°	1,25	0	1,25
		120°	1,7	0	1,7
		150°	2,7	0	2,7
5°	0°	60°	1,12	0	1,12
		90°	1,36	0	1,36
		120°	1,8	0	1,8
		150°	3,5	0	3,5
0°	90°	60°	0,53	1	1,53
		90°	0,63	0,71	1,34
		120°	0,83	0,58	1,41
		150°	1,33	0,52	1,85
5°	90°	60°	0,56	0,94	1,6
		90°	0,67	0,64	1,45
		120°	0,91	0,49	1,57
		150°	1,7	0,35	2,4

Будуємо графіки залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута призми γ (Рис 2.21а, 2.21б, 2.21в, 2.21г).

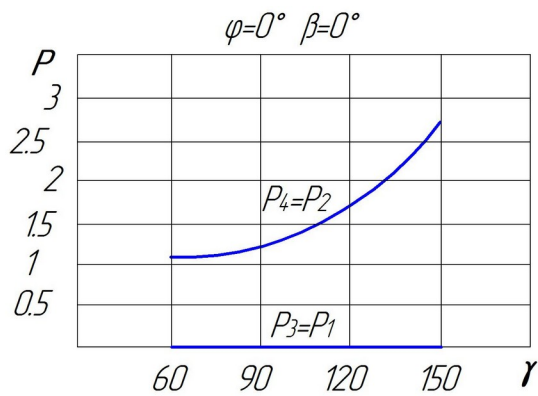


Рисунок 2.21а

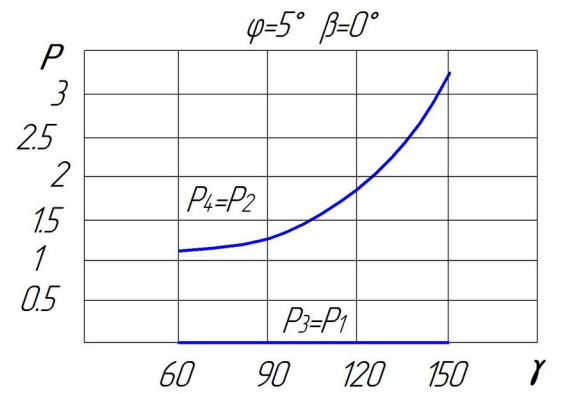


Рисунок 2.21б

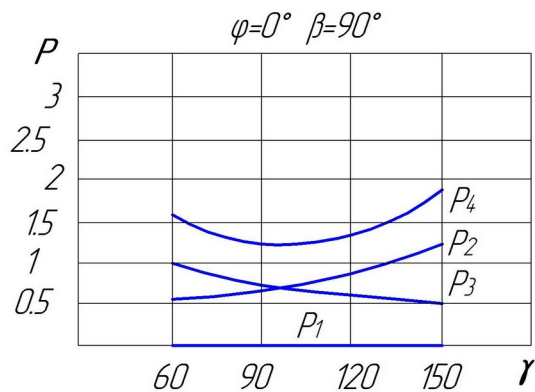


Рисунок 2.21 в

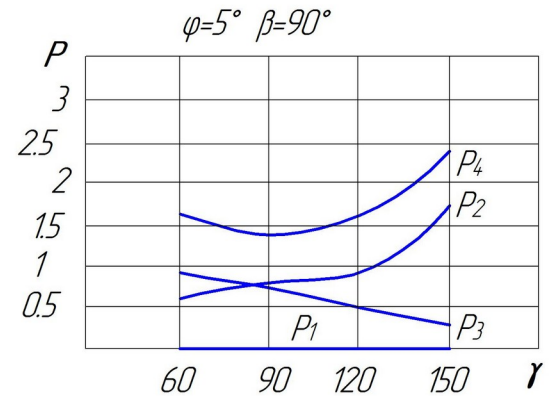


Рисунок 2.21г

Рисунок 2.21 - Графіки залежності сил затиску P_1 , P_2 , P_3 , P_4 від кута призми γ

Висновки: Коли кут розміщення вершини призми буде дорівнювати $\varphi=0$, а кут $\beta=0$ то сили затиску зі збільшенням кута призми γ від 60° до 150° $P_4=P_2$ будуть збільшуватися, $P_1=P_3=0$ (рисунку 1а), а тому кут призми γ необхідно вибирати в межах від 60° - 90° , збільшуючи кут напрямку сили інерції від 0 до 90° , сила P_2 буде збільшуватись, P_3 - зменшуватися сила P_4 - буде збільшуватися, тому кут призми рекомендується вибирати від 90° - 120° (рисунок 1в).

Змінюючи кут розміщення вершинки призми, наприклад $\varphi=5^\circ$, бачимо, що зі збільшенням кута призми γ від 60° до 150° при $\beta=0$ сили $P_4=P_2$ будуть збільшуватися, $P_1=P_3=0$ (рисунку 1а), а тому кут призми γ необхідно вибирати в межах від 60° - 90° (рисунок 1б).

Збільшуючи кут інерції β від 0 до 90° , сила P_2 буде збільшуватись, P_3 - буде зменшуватися сила P_4 - буде збільшуватися, тому кут призми рекомендується вибирати від 90° - 120° (рисунок 1г).

Розглянемо вплив кута розміщення вершинки призми φ на сили затиску.

Для цього розраховуємо сили затиску (коли сила інерції буде у другому квадранті) при таких значеннях кутів:

- кут призми γ (120°);
- кут напрямку сили інерції β ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$);
- кут розміщення вершинки призми φ ($0^\circ, 5^\circ, 15^\circ$);

Результати розрахунку сил затиску приводимо в таблиці 7.

Таблиця 7.

Значення кутів			Значення сил затиску		
γ	β	φ	P2	P3	P4
120°	0°	0°	0,83	0,58	1,41
		5°	0,91	0,49	1,57
		15°	1,33	0,3	2,1
120°	45°	0°	0,24	0,41	0,65
		5°	0,26	0,35	0,73
		15°	0,39	0,21	0,97
120°	90°	0°	0	0	0
		5°	0	0	0
		15°	0	0	0

Будуємо графіки залежності сил затиску P1, P2, P3, P4 від кута розміщення вершинки призми (Рис 2.22а, 2.22б, 2.22в).

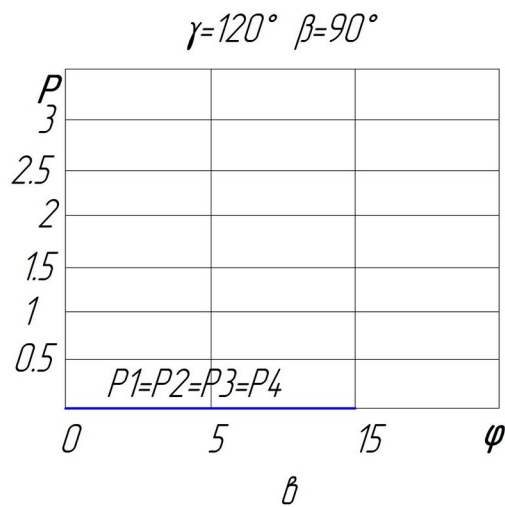
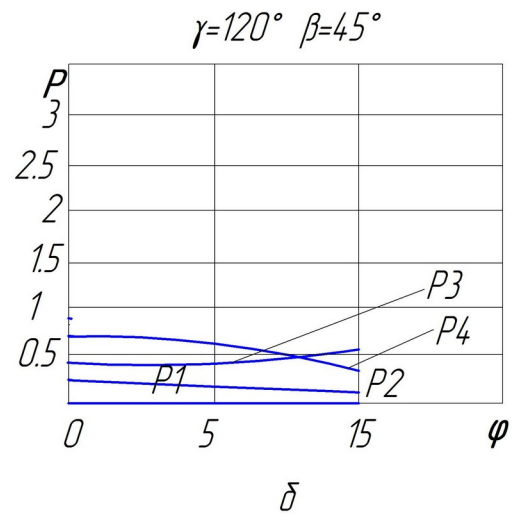
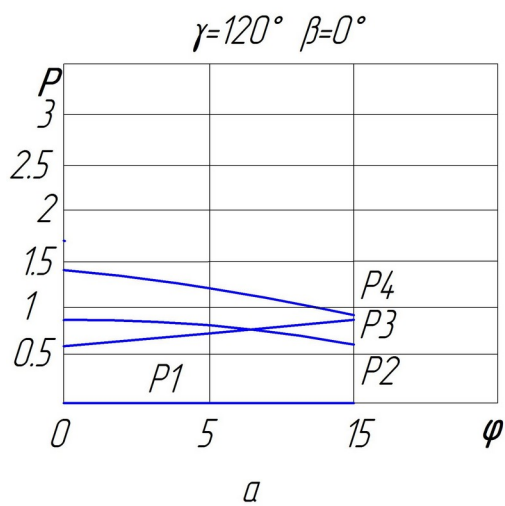


Рисунок 2.22 - Графіки залежності сил затиску P_1 , P_2 , P_3 , P_4 від кута розміщення вершинки призми

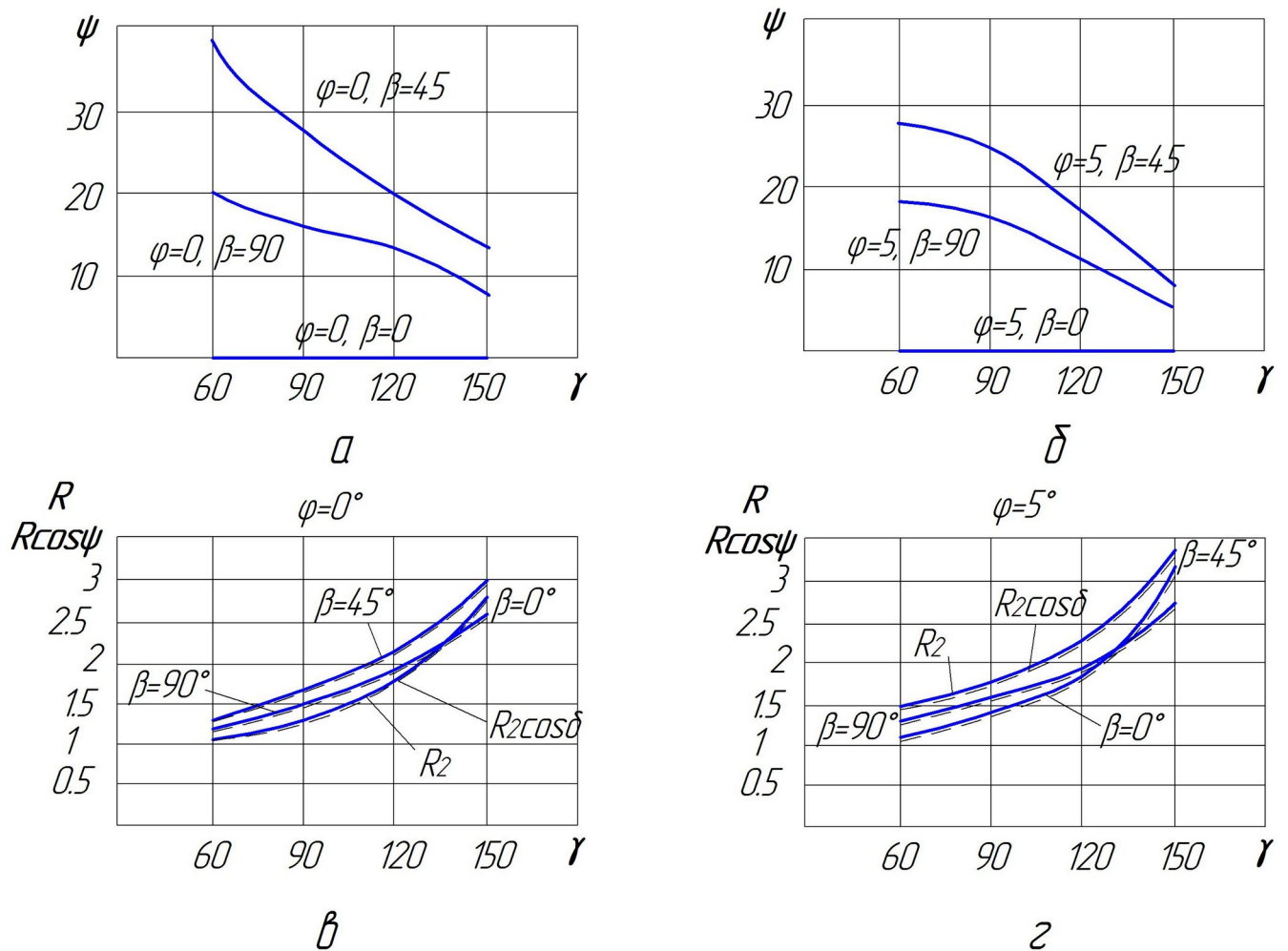
Висновки: Зі збільшенням кута розміщення вершинки призми коли кутнапрямку сили інерції $\beta = 0^\circ$ сила P_2 - зменшується, P_4 – зменшується, P_3 – збільшується, $P_4 = 0$, тому кут напрямку вершинки призми вибираємо в межах від 5° до 15° (рисунок 2а). Збільшуючи кут напрямку сили інерції від $0^\circ - 90^\circ$, P_3 – збільшується, P_2 - зменшується, P_4 - зменшується, тому кут розміщення вершинки призми вибираємо більшими, тобто від 10° до 15° (рисунок 2б). Зі збільшенням кута розміщення вершинки призми коли кутнапрямку сили інерції $\beta = 90^\circ$ сили $P_1 = P_2 = P_3 = P_4$ тому кут призми вибираємо в межах від 0° до 15° (рисунок 2в).

Розраховуємо сумарну силу затиску для сил P_1 та P_2 за формулою 10 та результати розрахунків зводимо до Таблиці 8.

Таблиця 8.

φ	β	γ	P3	P4	R2	δ°	$R2\cos\delta^\circ$
0	0	60	0	1,1	1,1	0	1,1
		90	0	1,25	1,25	0	1,25
		120	0	1,7	1,7	0	1,7
		150	0	2,7	2,7	0	2,7
0	45	60	0,71	1,64	1,4	34	1,2
		90	0,5	1,6	1,68	28	1,5
		120	0,41	1,84	2,1	20	2
		150	0,37	2,67	3	12	2,9
0	90	60	1	1,53	1,35	20	1,27
		90	0,71	1,34	1,52	17	1,45
		120	0,58	1,41	1,77	13	1,72
		150	0,52	1,85	2,3	9	2,27
5	0	60	0	1,12	1,12	0	1,12
		90	0	1,36	1,36	0	1,36
		120	0	1,8	1,8	0	1,8
		150	0	3,5	3,5	0	3,5
5	45	60	0,67	1,7	1,5	28	1,32
		90	0,46	1,7	1,76	25	1,59
		120	0,35	2,1	2,3	17	2,2
		150	0,25	3,4	3,6	8	3,56
5	90	60	0,94	1,6	1,4	19	1,32
		90	0,64	1,45	1,6	16	1,53
		120	0,48	1,57	1,86	12	1,81
		150	0,34	2,4	2,7	6	2,68

Будуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута γ рисунок 2.23а, 2.23б, 2.23в, 2.23г



Рисунко 2.23 - Графіки залежності сумарних сил затиску від кута γ

Висновки: Розглянемо вплив кута направлення сумарних сил затиску.

- Вплив кута призми. При збільшенні кута призми кут направлення сумарної сили затиску Ψ зменшується.
- Вплив кута напрямку сили інерції. При збільшенні кута напрямку сили інерції β від 0 до 45° кут направлення сумарної сили затиску збільшується, а потім зменшується.
- Вплив кута вершинки призми ϕ . При збільшенні кута вершинки призми від 0 до 15° кут направлення сумарної сили затиску збільшується.

Розглянемо вплив сумарних сил затиску.

- **Вплив кута призми.** При збільшенні кута призми від 0° до 150° сумарна сила затиску збільшується, тому кут призми вибираємо від 60° - 90° .

[illegible]

Квадрант III.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P1	P2	P4	R1	ψ	$R1\cos\psi$	R2	δ	$R2\cos\delta$	R
5°	0°	120°	0	1,8	1,8	1.8	0	1.8	1.8	0	1,8	3,6
	45°		0,35	2,1	1,6	2.3	17	2.2	1.6	25	1,45	3,65
	90°		0,49	1,57	0,91	1.86	12	1.82	0.91	25	0,83	2,65

Квадрант IV.

Значення кутів			Значення сил затиску									
φ	β	γ	P1	P2	P4	R2	δ	$R2\cos\delta$	R1	ψ	$R1\cos\psi$	R
5°	0°	120°	0,49	1,57	0,91	1.86	12	1,82	0,91	25	0,83	2,65
	45°		0,35	0,73	0,26	0,98	7	0,97	0,26	25	0,24	1,21
	90°		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Будуємо графік залежності сил затиску від кута напрямку сили інерції (рисунок 2.24).

Рисунок 2.24 - графік залежності сил затиску від кута напрямку сили інерції

Вплив кута направлення сили інерції - β .

Зі збільшенням кута β від 0° – 180° коли сила інерції знаходиться у I – II квадрантах при збільшенні кута вершинки призми ϕ від 0° до 15° сили P_2 зменшується, P_4 – збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, P_3 – збільшується до $\beta = 90^\circ$, а потім зменшується, $P_1 = 0$, тому кут призми вибираємо від 45° – 135° . Якщо сила інерції знаходиться у III – IV квадрантах зі зміною кута β від 0 – 180° сили P_4 - зменшується, P_2 – збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, P_1 – збільшується до $\beta = 90^\circ$, а потім зменшується, $P_3 = 0$, , тому кут призми вибираємо від 45° – 135° (рис 2.24).

Будуємо графіки залежності кута направлення сумарної сили затиску від кута направлення сили інерції (рис 2.25, 2.26)

Рисунок 2.25 - графіки залежності кута направлення сумарної сили затиску від кута направлення сили інерції

Висновки: При умові коли $P_i \leq G$ то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута β від $0 - 180^\circ$ збільшується $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується. При умові коли $P_i = G$ то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута β від $0 - 180^\circ$ збільшується $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується. При умові коли $P_i \geq G$ то кут напрямку сумарної сили затиску при збільшенні кута β від $0 - 180^\circ$ збільшується β від 45° , а потім

зменшується.

Рисунок 2.26 - графіки залежності кута направлення сумарної сили затиску від кута направлення сили інерції

Висновки: При умові коли $P_i \leq G$ сумарна сили затиску при збільшенні кута β від $0^\circ - 180^\circ$ збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, тому кут напрямку сили інерції вибираємо від $90^\circ - 180^\circ$. При умові коли $P_i = G$ сумарна сили затиску при збільшенні кута β від $0^\circ - 180^\circ$ збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, тому кут напрямку сили інерції вибираємо від $90^\circ - 180^\circ$. При умові коли $P_i \geq G$ сумарна сили затиску при збільшенні кута β від $0^\circ - 180^\circ$ збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується до $\beta = 90^\circ$, потім знову збільшується до $\beta = 135^\circ$ і зменшується до $\beta = 180^\circ$ тому кут напрямку сили інерції вибираємо від $90^\circ - 180^\circ$.

Будуємо графік залежності сумарних сил затиску від куту напрямку сили інерції β (рисунок 2.27) дивитись таблицю 9.

Рисунок 2.27 - графік залежності сумарних сил затиску від куту напрямку сили інерції β

Висновки: Зі збільшенням кута β від 0° - 180° сумарна сила затиску R_1 на першому важелі – зменшується, сумарна сила затиску R_2 на другому важелі – збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується, загальна сумарна сила затиску R збільшується до $\beta = 45^\circ$, а потім зменшується тому кут напрямку сили інерції приймаємо в межах від 45° - 180° . Будуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми γ , для побудови графіків складаємо таблицю 9.

Таблиця 9

φ°	β°	γ°	P3	P4	R2	δ	$R2\cos\delta$	R1	ψ	$R1\cos\psi$	R
5	0	60	0	1,12	1,12	0	1,12	1,12	0	1,12	2,24
		90	0	1,36	1,36	0	1,36	1,36	40	1,04	2,4
		120	0	1,8	1,8	0	1,8	1,8	25	1,63	3,16
		150	0	3,5	3,5	0	3,5	3,5	10	3,45	6,95
5	45	60	0,67	1,7	1,5	28	1,32	0,96	0	0,96	2,28
		90	0,46	1,7	1,76	25	1,59	1,14	45	0,81	2,4
		120	0,35	2,1	2,3	17	2,2	1,56	30	1,35	3,55
		150	0,25	3,4	3,6	8	3,56	2,94	15	2,84	6,4

Будуємо графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми γ (рисунок 2.28, 2.29).

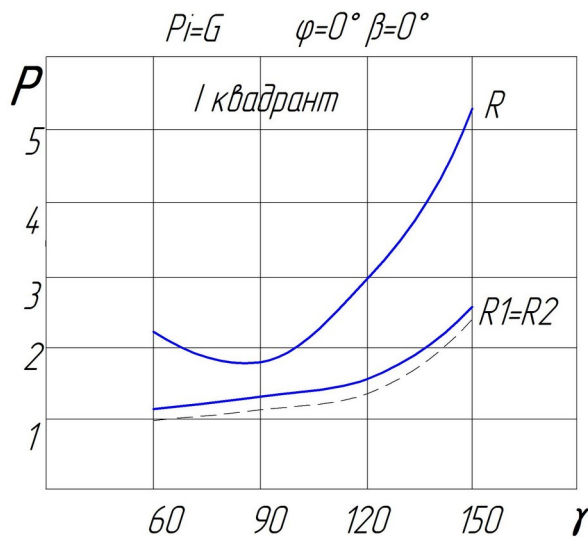


Рисунок 2.28 – графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми

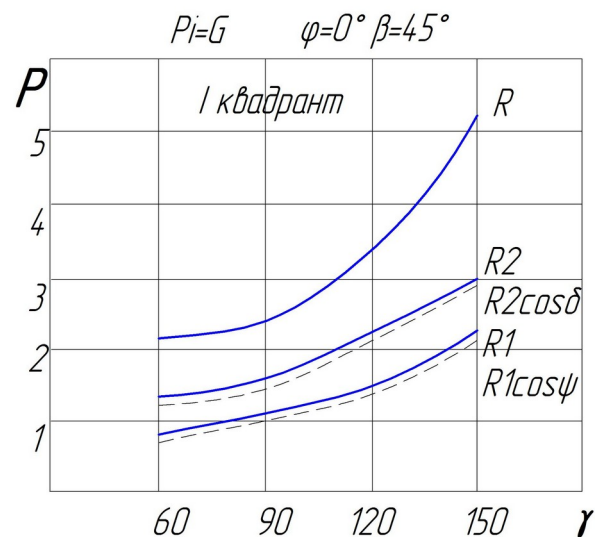


Рисунок 2.29 – графіки залежності сумарних сил затиску від кута призми

Висновки: При збільшенні кута призми γ від 60° - 150° коли кут розміщення вершинки призми $\varphi = 0^\circ$ та кут направлення сили інерції $\beta = 0^\circ$ сумарна сила затиску збільшується тоді кут призми вибираємо в межах від 60° - 120° , коли кут направлення сили інерції $\beta = 45^\circ$ сили затиску R_1 та R_2 – збільшуються, а тому сумарна сила затиску R також збільшується тому кут призми вибираємо в межах від 60° - 120° .

2.7. Висновки

На основі виконаних досліджень:

1. Розроблено методику визначення мінімально необхідних сил затиску захватних пристроїв промислових роботів.

2. Виконано розрахунки мінімально необхідних сил затиску для основних рухів захватного пристрою, які виконуються при маніпулюванні деталі під різними кутами дії сили інерції.

3. Досліджено вплив на сили затиску основних конструктивних параметрів та діючих силових навантажень.

4. Аналіз окремих сил затиску показує, що вони суттєво змінюються в залежності від величини конструктивних параметрів та умов роботи ЗП. Так, найбільші окремі сили затиску мають місце для вертикально орієнтованого ЗП при співпаданні сили ваги деталі G та сили інерції I . Наприклад, при куті призми

105°–120° найбільші сили затиску вертикально орієнтованого ЗП більші в 1,25–1,45 рази, ніж для горизонтально орієнтованого ЗП.

5.Найбільше силове навантаження має місце, коли ЗП орієнтований горизонтально, а утримувана деталь – вертикально. При кутах призми 105°–120° окремі сили затиску більші ніж для горизонтально орієнтованого захвата і деталі в 2,8–3,5 рази.

6.Сумарні сили затиску на вісь призми мають подібні залежності. Так, при куті призми 105°–120° вертикально орієнтований захват вимагає сумарної сили затиску в порівнянні з горизонтально орієнтованим більші у 1,15–1,5 рази. Для найбільш навантаженого варіанту, коли захват горизонтально орієнтований, а вісь деталі – вертикально, сумарні сили більші в 3,8–4,3 рази.

7.Зміна кута φ веде до значного збільшення сил затиску. Так, при збільшенні φ до 20° окремі і сумарні сили затиску збільшуються в 1,7–2,3 рази у порівнянні з варіантом при $\varphi=0^\circ$.

8.Зміна сили інерції I веде до приблизно лінійного зростання сил затиску.

9.Зміна кута затискних призм впливає на сили затиску по-різному, залежно від орієнтації ЗП. Для вертикально орієнтованого ЗП збільшення кута суттєво збільшує як окремі, так і сумарні сили затиску.

10.Отримані рівняння сил затиску можуть використовуватись як корегуючі підпрограми в роботі робота та його захватного пристрою залежно від умов його функціонування.

3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОБОТА

3.1. Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність модернізованої конструкції необхідно обрати базу, яку приймають за основу для виявлення техніко-економічних переваг нового конструкторського рішення і визначення економічного ефекту від впровадження його у виробництво.

В якості бази для порівняння приймаємо робот KUKA KR6, який послужив основою для модернізації.

Використання нової конструкції у роботизованому комплексі з токарним верстатом Haas SL-20 сприятиме вирішенню трьох завдань:

- покращення умов праці робітників-операторів, зокрема завдяки усуненню ручної малокваліфікованої праці;
- підвищення продуктивності праці на 10-12% за рахунок економії допоміжного часу (табл. 3.1);
- скорочення потреби в робочій силі.

Крім того, завдяки можливості швидкого переналагоджування промислового робота для виконання різних завдань, підвищується ефективність його використання за рахунок чергування великої номенклатури оброблюваних деталей.

Таблиця 3.1

Зміна структури штучного часу

№ з/п	Норма часу	Базовий варіант	Новий варіант
1.	Цикловий час, хв.	3,4	3,4
2.	Допоміжний час, хв.	0,33	0,08
3.	Оперативний час обробки деталі, хв.	3,73	3,48
4.	Час на обслуговування робочого місця, хв. (6% від оперативного часу)	0,22	0,20
5.	Час на особисті потреби, хв. (4% від оперативного часу)	0,15	-
6.	Штучний час обробки деталі, хв.	4,1	3,68
7.	Час налагодження обладнання, хв.	20	23

Загальні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 3.2.

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового верстатів

№ п/п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма виробництва деталей	шт./рік	2000	2000
2.	Штучний час обробки деталі	хв.	4,1	3,68
3.	Площа, яку займає обладнання	м ²	0,52	0,52
4.	Встановлена потужність електродвигунів: - верстата - робота	кВт	15 10	15 13
6.	Категорія ремонтної складності: механічної/електричної частин	УРО	15/12	19/12
7.	Розряд роботи: - оператора - наладчика	розряд розряд	3 6	3 6
8.	Оптова ціна - верстата - робота	грн.	740000 82000	740000 -

3.2. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (3.1)$$

де B_z – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальні потреби основних робітників, грн.;

B_e – витрати на силову електроенергію, грн.;

B_{mo} – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

B_n – витрати на утримання приміщення, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

B_n – витрати на амортизацію обладнання, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування оператора:

$$B_z = C_r \frac{T_{шт}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (3.2)$$

де $T_{шт}$ – штучний час виготовлення деталі, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_{\text{б}} = 70,181 \cdot \frac{4,1}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 6,4358 \text{ грн.};$$

В проектному варіанті:

$$B_{\text{п}} = 70,181 \cdot \frac{3,68}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 5,7766 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_{\text{е}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot K_{\text{о}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{д}}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{с}}} \cdot \frac{T_{\text{шт}}}{60} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (3.3)$$

де $N_{\text{в}}$ – встановлена потужність електродвигунів роботизованого комплексу, кВт;

$K_{\text{о}}$ – коефіцієнт одночасної роботи моторів ($K_{\text{о}}=0,65\ldots0,8$);

$K_{\text{н}}$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (для токарних верстатів $K_{\text{н}}=0,5\ldots0,6$);

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом ($K_{\text{д}}=0,3\ldots0,5$);

$\eta_{\text{с}}$ – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів ($\eta_{\text{с}}=0,86\ldots0,9$);

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства ($\eta_{\text{м}}=0,92\ldots0,96$);

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт-год силовій електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{25,0 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{4,1}{60} \cdot 4,50 = 1,2874 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{28,0 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{3,68}{60} \cdot 4,50 = 1,5530 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мв}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{шт}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \quad (3.4)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів обладнання, коп.;

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини обладнання, УРО;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_{\text{п}} = 1,0$).

$$B_{\text{дм}}^{\text{баз}} = \frac{79,5 \cdot 11,0 \cdot 4,1}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,8149 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{79,5 \cdot 19,0 \cdot 3,68}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,9264 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_{\text{р}} = \frac{R_{\text{м}} \cdot \Gamma_{\text{вм}} + R_{\text{е}} \cdot \Gamma_{\text{ве}}}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{шт}}}{60}, \quad (3.5)$$

де $\Gamma_{\text{вм}}, \Gamma_{\text{ве}}$ – відповідні річні витрати на всі види ремонту на 1 УРО механічної та електричної частин вузла, грн./рік;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для серійного виробництва – 3950 год.).

$$B_{\text{р}}^{\text{баз}} = \frac{15 \cdot 880 + 12 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{4,1}{60} = 0,4055 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{р}}^{\text{пр}} = \frac{19 \cdot 880 + 12 \cdot 720}{3980} \cdot \frac{3,68}{60} = 0,4227 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщення:

$$B_{\text{уп}} = \frac{F_{\text{о}} \cdot K_{\text{д}} \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{шт}}}{60}, \quad (3.6)$$

де $F_{\text{о}}$ – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення);

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м² виробничого приміщення, грн/м².

$$B_{\text{уп}}^{\text{баз}} = \frac{0,52 \cdot 4,0 \cdot 4,1}{3980 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0301 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{уп}}^{\text{пр}} = \frac{0,52 \cdot 4,0 \cdot 3,68}{3980 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0270 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію роботизованого комплексу:

$$B_{\text{а}} = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_{\text{а}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{шт}}}{60}, \quad (3.7)$$

де $H_{\text{а}}$ – норма амортизації, %;

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість обладнання, грн.

Балансову вартість обладнання знайдемо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = C_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (3.8)$$

де $C_{\text{опт}}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином, балансова вартість обладнання:

- верстата:

$$\Phi_{\text{бал.в}} = 740000 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 880600 \text{ грн.},$$

- базового робота:

$$\Phi_{\text{бал.р}}^{\text{баз}} = 82000 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 97580 \text{ грн.},$$

За попередніми прогнозами вартість робіт з проєктування та модернізації робота складають 5% від його вартості. Таким чином, ціна модернізованого робота складе $82000 \times 1,05 = 86100$ грн., а його балансова вартість:

$$\Phi_{\text{бал.р}}^{\text{баз}} = 86100 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 102459 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{а}}^{\text{б}} = \frac{(880600 + 97580) \cdot 15 \cdot 4,1}{3980 \cdot 60 \cdot 100} = 2,7246 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{а}}^{\text{пр}} = \frac{(880600 + 102459) \cdot 15 \cdot 3,68}{3980 \cdot 60 \cdot 100} = 2,4576 \text{ грн.}$$

Витрати на налагодження роботизованого комплексу:

$$B_{\text{н}} = C_{\text{зн}} \cdot (1 + K_{\text{д}}) \cdot (1 + K_{\text{с}}) \cdot \frac{T_{\text{пз}} \cdot A}{60 \cdot N_{\text{д}}}, \quad (3.9)$$

де $C_{\text{зн}}$ – годинна тарифна ставка наладчика, грн./год.;

A – кількість налагоджень за рік;

$T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час (час налагодження), хв.;

$N_{\text{д}}$ – річна програма випуску деталей, шт./рік.

$$B_{\text{н}}^{\text{баз}} = 103,972 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{20 \cdot 12}{60 \cdot 8000} = 0,0698 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{н}}^{\text{пр}} = 103,972 \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{23 \cdot 12}{60 \cdot 8000} = 0,0802 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо до табл. 3.3.

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п/п	Експлуатаційні витрати	Умовне познач.	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата основна, додаткова з відрахуваннями у соціальні фонди	B_z	6,4358	5,7766
2.	Силова електроенергія	B_{el}	1,2874	1,5530
3.	Допоміжні матеріали	B_{om}	0,8149	0,9264
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,4055	0,4227
5.	Утримання приміщення	B_{yn}	0,0301	0,0270
6.	Амортизація обладнання	B_a	2,7246	2,4576
7.	Налагодження обладнання	B_n	0,0698	0,0803
Загальна сума		B_e	11,7681	11,2436

3.3. Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект від проведеної модернізації розрахуємо за формулою:

$$E_p = (B_c^{баз} - B_c^{пр}) \cdot N_d - E_n \cdot K_d, \quad (3.10)$$

де N_d – річна програма випуску деталі, шт.;

K_d – додаткові капітальні витрати, грн.

$$K_d = \Phi_{бал.пр} \cdot Q_{пр} - \Phi_{бал.б} \cdot Q_b, \quad (3.11)$$

де $\Phi_{бал.пр}$, $\Phi_{бал.б}$ – відповідно балансова вартість обладнання в проектному та базовому варіантах, грн.;

$Q_{пр}$, Q_b – потреба в обладнанні відповідно в проектному і базовому варіантах.

Потребу в обладнанні визначаємо за формулою:

$$Q_p = \frac{N_d \cdot T_{нор}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot \kappa_e}, \quad (3.12)$$

де κ_e – коефіцієнт виконання норм (за даними підприємства).

Так потреба в проектному варіанті:

$$Q_{p.пр} = \frac{8000 \cdot 3,68}{3980 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,12 \quad (Q_{пр}=1);$$

$$K_d = 102459 \cdot 1 - 97580 \cdot 1 = 4879 \text{ грн.}$$

$$E_p = (11,7681 - 11,2436) \cdot 8000 - 0,16 \cdot 2927 = 3420 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{K_d}{(B_c^{баз} - B_c^{пр}) \cdot N_d}, \quad (3.13)$$

$$T_{ок} = \frac{4879}{(11,7681 - 11,2436) \cdot 8000} = 1,2 \text{ роки}$$

Визначимо показники ефективності використання нового роботизованого комплексу (РК) в умовах його застосування для обробки групи однотипних деталей (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Показники ефективності застосування РК для обробки групи деталей

№ з/п	Показник	Формула розрахунку	Базовий варіант	Новий варіант
1.	Середня величина партії деталей, шт.	$n = \frac{N_d}{A}$	$n_o = \frac{8000}{12} = 667$	$n_{np} = \frac{8000}{12} = 667$
2.	Річний обсяг випуску на дільниці (в цеху) продукції, шт.	$N_{заг} = \frac{F_{дрм} \cdot \eta \cdot 60}{T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}},$ де η – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{4,1 + \frac{20}{667}} = 49148$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{3,68 + \frac{23}{667}} = 54653$
3.	Середня кількість найменувань деталей, які обробляються на РК протягом року	$\frac{\Phi_{дрм} \cdot \eta \cdot 60}{\rho \cdot t_{шт.нов} + t_{пз} \cdot A}$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{8000 \cdot 4,1 + 20 \cdot 12} = 6$	$\frac{3980 \cdot 0,85 \cdot 60}{8000 \cdot 3,68 + 23 \cdot 12} = 7$
4.	Річний час налагоджування обладнання, год.	$T_{пз.р} = \frac{T_{пз} \cdot N_{заг}}{60 \cdot n}$	$\frac{20 \cdot 54653}{60 \cdot 667} = 27,3$	$\frac{23 \cdot 54653}{60 \cdot 667} = 31,4$
5.	Річний час роботи обладнання, год.	$T_{шт.р} = \frac{T_{шт} \cdot N_{заг}}{60}$	$\frac{4,1 \cdot 54653}{60} = 3734,6$	$\frac{3,68 \cdot 54653}{60} = 3352,1$

6.	Розрахункова кількість потрібного обладнання, шт.	$Q_p = \frac{T_{\text{шт.р}} + T_{\text{пз.р}}}{F_{\text{дрм}}}$	$\frac{3734,6 + 27,3}{3980} = 0,95$	$\frac{3352,1 + 31,4}{3980} = 0,85$
7.	Прийнята кількість обладнання, шт.	$Q_{\text{пр}}$	$Q_{\text{пр.б}}=1 (\eta=0,95)$	$Q_{\text{пр.пр}}=1 (\eta=0,85)$
8.	Прийнята кількість операторів, осіб	$Ч_{\text{оп}} = \frac{T_{\text{шт.р}}}{F_{\text{др}} \cdot K_{\text{вн}}}$	$Ч_{\text{оп.б}} = \frac{3734,6}{1840 \cdot 1} = 2,03$	$Ч_{\text{оп.пр}} = \frac{3352,1}{1840 \cdot 1} = 1,82$
9.	Кількість наладчиків, осіб	$Ч_{\text{н}} = \frac{T_{\text{нал.р}}}{F_{\text{дм}}}$	$Ч_{\text{н.б}} = \frac{27,3}{1840} = 0,02$	$Ч_{\text{н.пр}} = \frac{31,4}{1840} = 0,02$
10.	Економія чисельності основних робітників, %	$E_{\text{ч.оп}} = \frac{Ч_{\text{оп.б}} \cdot 100}{Ч_{\text{оп.пр}}} - 100$	-	$E_{\text{ч.оп}} = \frac{2,03 \cdot 100}{1,82} - 100 = 11,5\%$

Визначимо річний економічний ефект і строк окупності додаткових капітальних витрат в розрахунку на можливий річний обсяг виробництва однотипних деталей дільниці (цеху) із застосуванням РК:

$$E_p = (11,7681 - 11,2436) \cdot 54653 - 0,16 \cdot 2927 = 28200 \text{ грн.};$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{4879}{(11,7681 - 11,2436) \cdot 54653} = 0,17 \text{ року} = 2 \text{ міс.}$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Оди- ниця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1.	Потреба в обладнанні РК:				
	-верстатах	шт./рік	1	1	—
	- роботах	шт./рік	1	1	—

2.	Річна програма виробництва умовної деталі	шт./рік	8000	8000	—
3.	Можливий річний обсяг випуску однотипних умовних деталей дільниці (цеху)	шт./рік	49148	54653	+11,2
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	4,1	3,68	−10,2
4.	Оптова ціна:				
	- верстата	грн.	740000	740000	—
	- робота	грн.	82000	86100	+5,0
5.	Собівартість одиниці обробки	грн.	11,768	11,244	−4,5
6.	Орієнтовні витрати на підготовку виробництва, модернізацію, монтаж і відладку	грн.	—	8405	—
7.	Річний економічний ефект в розрахунку:				
	- на програму виробництва умовної деталі (I варіант)	грн.	—	3420	—
	- на можливий річний обсяг однотипних деталей дільниці (цеху) (II варіант)	грн.	—	28200	—
8.	Строк окупності додаткових капітальних витрат:				
	- у I варіанті	років	—	1,2	—
	- у II варіанті	місяців	—	2,0	—
9.	Економія чисельності операторів у II варіанті	%	—	11,5	—

Література

1. Горбацевич А.Л., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск; Высшая школа, 1983.
2. Справочник технолога – машиностроителя т.1. под. ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р.К. М. Машиностроение 1986.
3. Справочник технолога – машиностроителя т.2. под. ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р.К. М. Машиностроение 1986.
4. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени на обслуживание рабочего места и подготовительно – заключительного для технического нормирования. Серийное производство М. Машиностроение 1974.
5. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / Павленко І.І. - Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420с.
6. Павленко І. І. Захватні пристрої роботів: Навчальний посібник. / І. І. Павленко, М. О. Годунко. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 367 с.
7. Маталин А.А. Технология машиностроения. Машиностроение, Ленинградское отделение, 1985.
8. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога машиностроителя. М. Издательство стандартов, 1972.
9. Кузнецов Ю.И. и др. Оснастка для станков с ЧПУ. Справочник . – М. Машиностроения. 1983.
10. Методические указания к выполнению планировки цеха и строительной части дипломного проекта по технологии – машиностроения. Кировоград КИСМ.1990.
11. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. М. Машиностроение, 1983.
12. Методические указания к выполнению организационных и технико – экономических расчетов в дипломных проектах для студентов специальности 8.09.02.02. « Технология машиностроения.» . Киев. 1983.
13. Закон України «Про охорону праці».
14. Кодекс законів про працю України.

15. Ткачук К.Н., Зацарний В.В. Сабарно Р.В. та ін. Охорона праці та промислова безпека : Навч. посіб. – К.: Лібра, 2010. – 268 с.
 16. Справочник по охране труда на промышленном предприятии./ К.Н. Ткачук и др. - К.: Техника, 1991.-285 с.
 17. Закон України "Про охорону праці" Законодавство України про охорону праці - Т І. - К., 1995
 18. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша. 2004 – 230 с.
 19. <http://mindtrans.narod.ru/hands/hands.htm> - перелік існуючих п'ятипальцевих захватних пристроїв роботів
 20. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості виробничого процесу. «Охорона праці», № 6/98.
 21. Бичіне, В.Б. [Організація і нормування праці: підручник](#) для вузів. - М.: «Іспит», 2005. - 464 с.
- Вешнякова, Т.С. Організація, нормування і [оплата праці](#) на підприємствах сфери обслуговування [Текст]: навчальний посібник для [студентів](#) вищих навчальних закладів / Т.С. Вешнякова. - М: «Академія», 2006. - 224 с.