

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ А. І. Іванко _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
освітнього рівня «бакалавр»
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

на тему: Удосконалення привода блокообробного агрегату

Виконала: студент IV курсу, групи СМ-з21
(шифр групи)

_____ Гирич Олександр Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник доцент кафедри МАПВ, к.т.н., доцент Іванко А.І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент асистент каф. ТПВ, к.т.н., асистент Фоменко О. І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут
Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 - Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані поліграфічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри МАПВ

_____ Андрій ІВАНКО

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Гиричу Олександрю Юрійовичу

1. Тема проєкту: «Удосконалення привода блокообробного агрегату», затверджено наказом по університету від «25» травня 2026 р. № 1862-с
2. Термін подання студентом проєкту: 05 червня 2026 року.
3. Вихідні дані до проєкту: Кількість пазів мальтійського хреста $z = 8$, геометричні та кінематичні співвідношення: $\lambda = 0,5$; $k = 0,5$; $r = 100$ мм.
4. Зміст пояснювальної записки: огляд літературних джерел, огляд привода стола оклеювально-капталльної машини ОК-3, способу переміщення напівфабрикату по каруселі стола; модернізація привода стола; розрахунок кінематичних параметрів привода та технологічного процесу обробки книжкового блока.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): ОК-3 А-1 (1 аркуш); складальне креслення привода стола А-1 (1 аркуш); складальне креслення мальтійського механізму А-1 (1 аркуш); деталювання А-1 (1 аркуш).
6. Дата видачі завдання: 01 березня 2026 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Обклеювально-капталне устаткування	13.03.2026	Виконано
2.	Привод каруселі блокообробної машини	20.03.2026	Виконано
3.	Опис роботи обклеювально-капталної машини Ок-З	10.04.2026	Виконано
4.	Огляд існуючих видів мальтійських механізмів	21.04.2026	Виконано
5.	Механіка плоских мальтійських механізмів	05.05.2026	Виконано
6.	Опис запропонованого комбінованого приводу мальтійського механізму	15.05.2026	Виконано
7.	Розрахункова частина. Аналіз кінематичних та динамічних характеристик вихідного та комбінованого мальтійських механізмів	29.05.2026	Виконано
8.	Розрахунок кінематичних та динамічних характеристик запропонованого комбінованого мальтійського механізму	02.06.2026	Виконано
9.	Здача дипломного проєкту на кафедру	03.06.2026	Виконано

Студент

Олександр ГИРИЧ

Керівник проєкту

Андрій ІВАНКО

Реферат

Гирич Олександр Юрійович

«Удосконалення привода блокообробного агрегату»

Національний технічний університет України “КПІ ім. Ігоря Сікорського”
кафедра МАПВ, 2026
76 стор., 2 табл., 18 бібліогр.

У дипломному проєкті проведений аналіз кінематичних та динамічних характеристик вихідного та комбінованого мальтійських механізмів. Як показали розрахунки, динамічні навантаження у комбінованого механізму є значно меншими ніж у вихідного.

Розроблено конструкцію вузла комбінованого мальтійського механізму. Механізм мальтійського хреста виконаний у вигляді окремого вузла. Механізм складається з рами, в циліндричному отворі якої розміщено вал мальтійського хреста. До рами кріпляться два кронштейни. В одному з кронштейнів встановлено вал, на якому фіксується кривошип з одного боку, і зубчасте колесо з іншого. Другий кронштейн призначений для фіксації осі, на якій встановлено водило.

Механізм приводиться в рух зубчастим колесом, яке встановлене на одному валу з кривошипом. На палець кривошипа запресовується пластина до якої кріпляться планки у вигляді ластівчиного хвоста. У нижній частині водила зроблено спеціальний прилив – напрямну, також у вигляді ластівчиного хвоста. Таким чином кулісна модель механізму конструктивно виконана у вигляді пари тертя ковзання – ластівчин хвіст. Для зменшення тертя в парі ковзання передбачено мащення за допомогою прес масльонок. Оскільки продуктивність машини є не високою, вали встановлені у підшипниках ковзання.

Ключові слова: кривошип, мальтійський механізм, вал, мальтійський хрест, водило, ластівчин хвіст, зубчасте колесо.

Abstract

Hyrych Oleksandr. Improvement of the block processing unit drive. National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute Department of Machines and Aggregates for Printing Production, 2026

76 p., 2 Tab., Bibl.: 18.

The diploma project analyzed the kinematic and dynamic characteristics of the original and combined Maltese mechanisms. As calculations showed, the dynamic loads of the combined mechanism are significantly lower than those of the original.

The design of the combined Maltese mechanism assembly was developed. The Maltese cross mechanism is made as a separate assembly. The mechanism consists of a frame, in the cylindrical hole of which the Maltese cross shaft is placed. Two brackets are attached to the frame. In one of the brackets, a shaft is installed on which the crank is fixed on one side, and a gear wheel on the other. The second bracket is designed to fix the axis on which the carrier is installed.

The mechanism is driven by a gear wheel, which is installed on the same shaft as the crank. A plate is pressed onto the crank finger to which dovetail strips are attached. In the lower part of the carrier, a special tide is made - a guide, also in the form of a dovetail. Thus, the rocker model of the mechanism is structurally made in the form of a sliding friction pair - a dovetail. To reduce friction in the sliding pair, lubrication is provided using grease nipples. Since the machine's productivity is not high, the shafts are installed in sliding bearings.

Keywords: crank, Maltese mechanism, shaft, Maltese cross, carrier, dovetail, gear wheel.

ЗМІСТ

	Стор.
Реферат	4
ВСТУП	8
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МАЛЬТІЙСЬКІ МЕХАНІЗМИ	10
1.1. Мальтійський механізм	10
1.2. Сфера застосування мальтійських механізмів	11
1.3. Конструкція мальтійського механізму	12
1.4. Принцип роботи мальтійського механізму	13
1.5. Основні типи мальтійських механізмів	14
1.6. Кінематичні особливості роботи мальтійських механізмів	16
1.7. Переваги та недоліки мальтійських механізмів	17
1.8. Застосування мальтійських механізмів у техніці та промисловості	18
1.9. Порівняння мальтійського механізму з іншими механізмами переривчастого руху	19
1.10. Методика розрахунку простого мальтійського механізму	21
2. ОБКЛЕЮВАЛЬНО-КАПТАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ	23
2.1. Обклеювально-капталіні машини	23
2.2. Капталіно-паперова секція	32
2.3. Привод каруселі блокообробної машини	35
2.4. Опис роботи обклеювально-капталіної машини ОК-3	37
2.5. Удосконалення механіки плоских мальтійських механізмів	44
3. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО КОМБІНОВАНОГО ПРИВОДА МАЛЬТІЙСЬКОГО МЕХАНІЗМУ	49
3.1. Аналіз кінематичних та динамічних характеристик вихідного та комбінованого мальтійських механізмів	54
3.2. Розрахунок кінематичних та динамічних характеристик запропонованого комбінованого мальтійського механізму	58

3.3. Розрахунки на міцність	64
3.3.1. Розрахунок діаметрів валів	64
3.3.2. Розрахунок діаметра пальця ролика	65
3.3.3. Перевірка міцності шпонкових з'єднань	65
3.3.4. Перевірка міцності водила мальтійського хреста	66
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
ДОДАТКИ	72

ВСТУП

Поліграфічні машини в основному представляють собою багато позиційні циклічні автомати послідовного і паралельного агрегування операцій технологічного процесу безперервної і періодичної дії. Число позицій обробки і характер переміщення оброблюваного об'єкту залежить від особливостей технологічного процесу, виконуваного машиною.

Мальтійський механізм, або механізм Женеvського хреста, належить до класичних механізмів переривчастого руху. Його основне призначення полягає в перетворенні рівномірного або майже рівномірного обертання ведучої ланки у кроковий, тобто періодично зупинений, обертальний рух веденої ланки. Такий принцип є дуже важливим у техніці, оскільки багато машин і пристроїв працюють не безперервно, а циклічно: деталь потрібно подати в робочу зону, зупинити на певний час, виконати операцію, а потім перемістити до наступної позиції.

У сучасних автоматизованих системах подібні задачі часто виконуються за допомогою електроприводів, сервомоторів, пневматичних або гідравлічних систем. Проте механічні індексуєчі пристрої не втратили значення, тому що вони прості, надійні, мають повторювану геометрично задану траєкторію руху та не потребують складної системи керування. Мальтійський механізм є одним із найвідоміших прикладів такого пристрою.

Актуальність вивчення мальтійських механізмів пов'язана з тим, що вони демонструють важливий принцип машинобудування: потрібний закон руху можна отримати не лише за рахунок програмного керування, а й завдяки формі деталей та їхній взаємодії. Саме тому цей механізм розглядається в курсах теорії механізмів і машин, машинознавства, деталей машин, автоматизації виробництва та конструювання технологічного обладнання.

До складу розвинутих транспортно-подаючих систем поліграфічного устаткування входять різноманітні механізми періодичного руху: храпові, кулісні,

мальтійські, кулачково-зубчасті та інші. В роботі об'єктом дослідження є мальтійський механізм. Мальтійські механізми призначені перетворювати обертальний рух вхідної ланки – водила на періодичний нерівномірний із зупинками рух вихідної ланки – мальтійського хреста. Вони використовуються у блокообробних агрегатах, автоматах карусельного типу. Такі механізми прості за конструкцією, технологічні, надійні. Однак використання таких механізмів є обмежене, всі вони мають спільний недолік: у зв'язку з тим, що період повороту хреста залежить від кількості пазів, у механізмах виникають великі динамічні навантаження. З метою збільшення періоду робочого ходу в системах приводів використовують некруглі зубчасті колеса, планетарні механізми з кривими пазами.

В дипломному проєкті поставлено завдання розроблення комбінованого приводу мальтійського механізму обклеювально-капальної машини ОК-3, який має забезпечити високу швидкість роботи машини, за рахунок зниження динамічних навантажень, що виникали у вихідному механізмі.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МАЛЬТІЙСЬКІ МЕХАНІЗМИ

1.1. Мальтійський механізм

Мальтійський механізм – це механізм, який перетворює неперервний обертальний рух ведучого вала у переривчастий обертальний рух веденого колеса. У технічній літературі його також називають женевським механізмом, Geneva drive або механізмом Женевського хреста. Назва «мальтійський» пов'язана з характерною формою веденого колеса, яке у деяких конструкціях нагадує мальтійський хрест [2, 10, 13, 19].

Основна ідея роботи механізму полягає в тому, що ведуча ланка обертається постійно, але ведене колесо рухається лише тоді, коли спеціальний палець ведучої ланки входить у паз веденого колеса. Поки палець знаходиться в пази, він штовхає колесо і повертає його на певний кут. Коли палець виходить із паза, ведене колесо зупиняється та утримується у фіксованому положенні за допомогою запірної або фіксуєючої поверхні.

Таким чином, за один повний оберт ведучого кривошипа ведене колесо повертається тільки на один крок. Величина цього кроку залежить від кількості пазів у веденому колесі. Якщо колесо має z пазів, то за один робочий хід воно повертається на кут, що дорівнює одній z -й частині повного оберту.

$$\varphi = \frac{2\pi}{z}$$

У цій формулі φ – кут повороту веденого колеса за один крок, z – кількість пазів веденого колеса. Якщо формулу записати у градусах, то вона набуває вигляду:

$$\varphi = \frac{360^\circ}{z}$$

Наприклад, для чотирипазового механізму ведене колесо за кожний робочий хід повертається на 90° . Після цього воно зупиняється, поки ведучий кривошип не здійснить наступну частину оберту і палець знову не увійде в наступний паз.

Загальною особливістю мальтійських механізмів є чергування двох фаз: фази руху та фази вистою. У фазі руху ведене колесо повертається на фіксований кут. У фазі вистою воно залишається нерухомим. Саме поєднання руху і паузи робить цей механізм зручним для різних машин, де потрібне точне позиціонування.

1.2. Сфера застосування мальтійських механізмів

Мальтійський механізм пов'язують із годинниковими механізмами та містом Женева, де розвивалося точне приладобудування і виробництво годинників. У годинниковій техніці подібні пристрої використовувалися для обмеження руху, фіксації положень і забезпечення точного переходу між окремими станами механізму. Надалі принцип переривчастого руху почав широко застосовуватися в інших галузях техніки [2, 10, 13, 19].

Особливо важливим етапом поширення мальтійського механізму стало його використання в кіноапаратурі. У кінопроекторах і кінокамерах плівка має переміщуватися кадр за кадром. Під час експонування кадр повинен бути нерухомим, інакше зображення буде розмитим. Після експонування плівку потрібно швидко перемістити на один кадр і знову зупинити. Саме такий режим – швидке переміщення з подальшою паузою – добре реалізується мальтійським механізмом.

З розвитком промислової автоматизації мальтійські механізми почали використовувати в автоматичних лініях, пакувальних машинах, верстатах, пристроях подачі деталей, індексних столах, револьверних головках, сортувальних пристроях і приладах точного позиціонування. В усіх цих випадках потрібно не просто обертати деталь або стіл, а послідовно переводити їх у точно визначені положення.

У машинобудуванні мальтійський механізм цінується за те, що він забезпечує фіксований кутовий крок без складної електроніки. Якщо геометрія деталей виготовлена точно, то кожен поворот відбувається на однаковий кут. Це

важливо для технологічних процесів, де помилка позиціонування може призвести до неправильного свердління, маркування, різання, фасування або складання виробу.

Разом з тим історичний розвиток техніки показав і обмеження такого механізму. За великих швидкостей у ньому виникають удари, різкі зміни прискорення і підвищений знос. Тому в сучасному обладнанні мальтійський механізм часто використовується там, де потрібна механічна простота, помірна швидкість і надійна повторюваність, але не потрібне плавне регулювання закону руху.

1.3. Конструкція мальтійського механізму

Класичний мальтійський механізм складається з кількох основних елементів: ведучої ланки, ведучого пальця, веденого колеса з пазами, фіксуючих або запірних поверхонь, валів, опор і корпусних деталей. Кожен із цих елементів виконує свою функцію у процесі перетворення руху [2, 10, 13, 19].

Ведуча ланка найчастіше має вигляд диска або кривошипа, який обертається навколо власної осі з постійною кутовою швидкістю. На певній відстані від центра ведучої ланки встановлюється палець. Саме цей палець входить у паз веденого колеса і передає йому рух. Положення пальця, його діаметр і форма мають важливе значення, оскільки вони впливають на плавність входу в паз, контактні напруження та довговічність механізму.

Ведене колесо має кілька пазів, розташованих рівномірно по колу. Кількість пазів визначає кількість фіксованих положень колеса за один повний оберт. Наприклад, якщо у колесі чотири пази, воно має чотири основні положення; якщо шість пазів – шість положень. Пази виконують напрямну функцію: вони задають траєкторію руху пальця відносно веденого колеса і забезпечують поворот колеса на потрібний кут.

Потрібно визначити основні деталі: ведучий диск або кривошип, ведучий палець, ведене мальтійське колесо, пази, фіксуючий диск або запірну поверхню,

вали та напрямки обертання. Такий рисунок допоможе зрозуміти, які саме елементи взаємодіють під час роботи.

Фіксуєчи поверхні потрібні для того, щоб під час паузи ведене колесо не проверталось самовільно. У зовнішньому мальтійському механізмі часто використовується кругла запірня поверхня на ведучому диску, яка входить у відповідну увігнуту поверхню веденого колеса. Коли палець не перебуває в пазу, ця поверхня блокує колесо і не дозволяє йому зміститися.

Опори, вали і корпус забезпечують правильне взаємне розташування осей. Для мальтійського механізму це особливо важливо, бо навіть невелике порушення міжосьової відстані або перекіс осей може спричинити заїдання, удари, підвищений знос і втрату точності позиціонування. Тому у відповідальних конструкціях важливими є точність виготовлення, жорсткість корпусу, правильне змащування і контроль зазору між деталями.

1.4. Принцип роботи мальтійського механізму

Принцип роботи мальтійського механізму можна пояснити через послідовність фаз. На початку циклу ведучий диск обертається, а ведене колесо залишається нерухомим. Його нерухомість забезпечується фіксуючою поверхнею. Коли ведучий диск доходить до певного положення, палець входить у паз веденого колеса. З цього моменту починається фаза руху [2, 10, 13, 19].

Під час входу пальця в паз між ведучою і веденою ланками виникає кінематичний зв'язок. Палець рухається по коловій траєкторії разом із ведучим диском, але через контакт зі стінками паза він змушує ведене колесо повертатися. Поки палець залишається у пазу, ведене колесо повертається на один крок. Наприкінці робочої фази палець виходить із паза, зв'язок між ланками розривається, і колесо знову фіксується.

Отже, переривчастий рух виникає не через переривчасту роботу двигуна, а через геометрію самого механізму. Двигун або ведучий вал може обертатися

безперервно, але ведене колесо рухається лише в ті моменти, коли палець перебуває у пазу. У проміжках між цими моментами ведене колесо стоїть нерухомо.

Існує кілька послідовних положень: пауза перед входом пальця в паз, момент входу, активний поворот веденого колеса, вихід пальця з паза та фіксація після повороту. Такий рисунок повинен показувати чергування руху й вистою.

Якщо ведучий вал обертається з частотою n обертів за хвилину, то час одного повного циклу можна приблизно визначити як обернену величину до частоти обертання. Якщо частоту подати в обертах за секунду, то період одного циклу дорівнює:

$$T = \frac{1}{n}$$

Тут T – час одного повного оберту ведучої ланки, n – частота обертання ведучої ланки. Протягом цього періоду частина часу припадає на рух веденого колеса, а частина – на паузу. Якщо кут повороту ведучої ланки під час взаємодії пальця з пазом позначити β , то час руху можна записати так:

$$t_{\text{руху}} = T \cdot \frac{\beta}{360^\circ}$$

Відповідно час паузи визначається різницею між повним часом циклу та часом руху:

$$t_{\text{паузи}} = T - t_{\text{руху}}$$

Ці формули є спрощеними, але вони добре пояснюють загальний зв'язок між частотою обертання ведучої ланки, кутом активної взаємодії та тривалістю руху і зупинки веденого колеса.

1.5. Основні типи мальтійських механізмів

Найпоширенішими типами є зовнішній, внутрішній і сферичний мальтійські механізми. У навчальних курсах найчастіше розглядають зовнішній механізм, оскільки його будова є найбільш наочною. У ньому ведучий диск

розташований зовні відносно веденого колеса, а палець входить у відкриті пази колеса ззовні.

Зовнішній мальтійський механізм відрізняється тим, що ведуче і ведене колеса обертаються у протилежних напрямках. Під час одного повного оберту ведучого диска ведене колесо повертається на один крок. Такий механізм порівняно простий у виготовленні, компактний і достатньо надійний, тому саме він отримав найбільше поширення.

Внутрішній мальтійський механізм має іншу геометрію. У ньому ведучий елемент розташовується всередині веденого колеса або взаємодіє з пазами, виконаними на внутрішній поверхні. У такій схемі ведуча і ведена ланки зазвичай обертаються в одному напрямку. Внутрішній механізм може забезпечувати інше співвідношення часу руху і паузи, а також більш компактне розташування в деяких конструкціях.

Основна відмінність між зовнішнім і внутрішнім механізмами полягає не лише у взаємному розташуванні деталей, а й у характері руху. У зовнішньому механізмі період вистою, як правило, більший за період руху, що зручно для машин, де технологічна операція потребує довшої зупинки. У внутрішньому механізмі фаза руху може займати більшу частину циклу, тому його застосовують у випадках, де потрібне інше співвідношення часу переміщення та паузи.

Сферичний мальтійський механізм є складнішим різновидом, у якому рух відбувається не в одній площині, а на сферичній геометрії. Такі механізми використовують значно рідше, але вони цікаві з погляду просторової кінематики. Крім того, існують модифікації з кількома пальцями, зі спеціальними профілями пазів, із додатковими демпфувальними елементами та комбіновані механізми, які поєднують мальтійське колесо з зубчастими передачами, кулачками або електроприводами.

1.6. Кінематичні особливості роботи мальтійських механізмів

Кінематичний аналіз мальтійського механізму полягає у визначенні положення, швидкості та прискорення веденого колеса залежно від кута повороту ведучої ланки. На відміну від звичайної зубчастої передачі, де обидві ланки обертаються майже безперервно, у мальтійському механізмі ведена ланка має нерівномірний рух: спочатку вона розганяється, потім проходить середню частину кроку, а наприкінці гальмується і зупиняється [2, 10, 13, 19].

У найпростішому наближенні можна сказати, що середня кутова швидкість веденого колеса за час одного кроку дорівнює відношенню кута повороту до часу руху:

$$\omega_{\text{сер}} = \frac{\varphi}{t_{\text{руху}}}$$

Тут $\omega_{\text{сер}}$ – середня кутова швидкість веденого колеса під час активної фази, φ – кут одного кроку, $t_{\text{руху}}$ – тривалість руху. Однак реальна миттєва швидкість не є сталою. На початку входу пальця у паз швидкість веденого колеса зростає, далі досягає певного максимуму, а перед виходом пальця з паза зменшується.

Саме нерівномірність швидкості є однією з головних кінематичних особливостей мальтійського механізму. У моменти входу та виходу пальця можуть виникати різкі зміни прискорення. Якщо швидкість роботи велика або маса веденого колеса значна, це призводить до ударних навантажень, вібрацій і шуму. Тому під час проєктування потрібно враховувати не лише геометричний кут повороту, а й динамічні навантаження.

Ще однією важливою особливістю є наявність точно визначених положень зупинки. Коли палець вийшов із паза, ведене колесо не повинно залишатися вільним. Його положення фіксується запірною поверхнею. Якщо фіксація виконана правильно, колесо не повертається під дією зовнішніх сил або інерції. Це робить механізм придатним для індексування, тобто для послідовного встановлення об'єкта в наперед задані позиції.

Кількість пазів впливає на кут кроку, тривалість взаємодії та плавність роботи. За малої кількості пазів кут повороту за один крок великий, тому рух може бути різкішим. За більшої кількості пазів кут кроку менший, але конструкція стає складнішою, а розміри пазів і міцність перемичок між ними можуть обмежувати практичне використання.

$$z = \frac{360^\circ}{\varphi}$$

Ця формула показує, що кількість пазів z можна визначити через потрібний кут кроку φ . Наприклад, якщо потрібен крок 60° , то необхідна кількість пазів дорівнює 6.

1.7. Переваги та недоліки мальтійських механізмів

До головних переваг мальтійського механізму належить конструктивна простота. Для отримання переривчастого руху не потрібні складні електронні системи керування, датчики або програмне забезпечення. Закон руху задається формою деталей, кількістю пазів і розташуванням пальця. Завдяки цьому механізм може працювати стабільно в умовах, де електронні системи були б надто дорогими або невиправдано складними.

Другою важливою перевагою є точність позиціонування. Ведене колесо займає фіксовані положення, які визначені геометрією пазів. Це зручно для машин, у яких потрібно послідовно встановлювати деталь у кілька робочих позицій. Наприклад, індексний стіл може повертатися на однаковий кут, підводячи заготовку до різних інструментів.

Третьою перевагою є наявність природної паузи. У багатьох технологічних процесах пауза потрібна для виконання основної операції: свердління, маркування, пакування, наповнення, обрізання, контролю або фотографування. Мальтійський механізм створює таку паузу механічно, без необхідності зупиняти двигун.

Разом із тим мальтійські механізми мають суттєві недоліки. Найбільш помітний із них – ударний характер входу пальця в паз і виходу з нього. Якщо

швидкість обертання велика, контакт може супроводжуватися ударами, шумом і вібрацією. Це знижує довговічність деталей і потребує використання якісного змащування, точного виготовлення та іноді додаткового демпфування.

Іншим недоліком є обмежена гнучкість. Кут повороту визначається кількістю пазів, тому змінити його без заміни веденого колеса неможливо. На відміну від сервоприводу, де можна програмно задати майже будь-який кут і закон руху, мальтійський механізм має фіксовану кінематику.

Також слід враховувати обмеження за швидкістю і навантаженням. За великих мас ведених деталей або за високої частоти циклів інерційні навантаження можуть стати надмірними. У таких випадках застосовують кулачкові індексатори, серводвигуни або спеціальні механізми з плавнішим законом прискорення.

1.8. Застосування мальтійських механізмів у техніці та промисловості

Однією з найвідоміших сфер застосування мальтійського механізму є кінопроектори та кінокамери. У таких пристроях плівка повинна короткий час залишатися нерухомою перед об'єктивом, а потім швидко переміщуватися на наступний кадр. Мальтійський механізм забезпечує саме цей режим: фіксацію кадру під час експонування і швидке переміщення між кадрами.

У верстатах і автоматичних лініях мальтійський механізм використовується для періодичного повороту столів, барабанів, дисків або револьверних головок. Наприклад, індексний стіл може мати кілька позицій: у першій позиції заготовку встановлюють, у другій свердлять, у третій контролюють, у четвертій знімають готову деталь. Завдяки мальтійському механізму стіл кожного разу повертається на один і той самий кут.

Розглянемо круглий стіл із кількома робочими позиціями, ведучий привод із мальтійським механізмом і напрям крокового повороту. Слід підкреслити, що під час паузи на окремих позиціях виконуються технологічні операції.

У пакувальному обладнанні мальтійські механізми можуть застосовуватися для подачі тари, повороту дозувальних дисків, переміщення етикеток, встановлення заготовок упаковки у робочі позиції. Наприклад, пляшка або коробка повинна зупинитися під дозатором, потім переміститися до вузла закривання, після цього до вузла маркування. Кроковий рух у таких машинах є природною вимогою технологічного процесу.

У приладах точного позиціонування мальтійський механізм використовується тоді, коли потрібно отримати кілька стабільних положень без складної системи керування. Це можуть бути перемикачі, вимірювальні пристрої, лабораторні механізми, демонстраційні установки або навчальні моделі. У таких випадках важливими є простота, наочність і повторюваність руху.

Крім того, механізм може застосовуватися у транспортерах, сортувальних системах, лічильних пристроях, автоматах подачі, механізмах зміни інструменту та пристроях періодичного переміщення виробів. Хоча у сучасних машинах часто використовуються електронні системи керування, мальтійський механізм залишається корисним там, де потрібне просте й надійне механічне індексування.

1.9. Порівняння мальтійського механізму з іншими механізмами переривчастого руху

Мальтійський механізм не є єдиним способом отримання переривчастого руху. Подібну задачу можуть виконувати храпові механізми, кулачкові механізми, фрикційні муфти, електромагнітні приводи, крокові двигуни і сервоприводи. Кожне рішення має свої переваги та обмеження.

Храповий механізм також забезпечує кроковий рух, але його принцип роботи інший. У ньому собачка взаємодіє із зубцями храпового колеса. Такий механізм простий, але зазвичай має більші люфти, гіршу плавність і менш точне позиціонування порівняно з добре виготовленим мальтійським механізмом.

Храпові механізми часто використовують там, де потрібне одностороннє переміщення або фіксація від зворотного ходу.

Кулачкові механізми можуть забезпечувати значно плавніший закон руху. Профіль кулачка можна спроектувати так, щоб зменшити удари, обмежити прискорення і забезпечити м'який розгін та гальмування. Проте кулачкові індиксатори складніші у виготовленні й часто дорожчі. Вони доцільні для високошвидкісних автоматів, де ударність мальтійського механізму є небажаною.

Крокові двигуни і сервоприводи мають найбільшу гнучкість. Вони дозволяють програмно змінювати кут, швидкість, прискорення, паузу і послідовність руху. Але вони потребують електронної системи керування, датчиків, драйверів і налаштування. У простих механічних системах це може бути надмірним ускладненням.

Механізм	Основна перевага	Основний недолік	Типові сфери застосування
Мальтійський механізм	Точний фіксований крок і природна пауза	Удари та обмежена гнучкість	Індексні столи, кінопроектори, пакувальні машини
Храповий механізм	Простота і фіксація від зворотного руху	Люфти, шум, менша точність	Підйомні пристрої, лічильники, стопорні вузли
Кулачковий механізм	Можливість задати плавний закон руху	Складніший профіль і виготовлення	Високошвидкісні автомати, технологічні машини
Сервопривод або кроковий двигун	Програмна гнучкість і керованість	Складніша електроніка і вища вартість	Робототехніка, ЧПК, гнучкі виробничі системи

З наведеного порівняння видно, що мальтійський механізм займає проміжне місце між дуже простими храповими пристроями і складнішими керованими приводами. Його доцільно застосовувати тоді, коли потрібен повторюваний механічний крок, але немає потреби у вільному програмному змінюванні параметрів руху.

1.10. Методика розрахунку простого мальтійського механізму

Розглянемо простий зовнішній мальтійський механізм із чотирма пазами. Нехай ведучий диск обертається з частотою 60 об/хв, тобто виконує один оберт за одну секунду. Ведене колесо має чотири рівномірно розташовані пази, тому за один робочий хід воно повертається на одну четверту повного оберту [2, 10, 13, 19].

$$z = 4$$

$$\varphi = \frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$$

Отже, після кожного повного оберту ведучого диска ведене колесо повертається на 90° . За чотири цикли воно зробить повний оберт. Якщо такий механізм використовується в індексному столі, то стіл матиме чотири основні робочі позиції.

Частота обертання ведучого диска становить 60 об/хв. Це означає, що час одного повного оберту дорівнює:

$$T = \frac{60}{60} = 1 \text{ с}$$

Припустимо, що активна взаємодія пальця з пазом займає приблизно 120° повороту ведучого диска. Тоді час руху веденого колеса можна оцінити так:

$$t_{\text{руху}} = 1 \cdot \frac{120^\circ}{360^\circ} = 0,33 \text{ с}$$

Час паузи у такому разі становитиме:

$$t_{\text{паузи}} = 1 - 0,33 = 0,67 \text{ с}$$

Цей приклад показує, що протягом кожної секунди ведене колесо приблизно третину часу рухається, а дві третини часу перебуває у стані вистою. Саме під час паузи можна виконувати технологічну операцію: свердління, заповнення, маркування, контроль або іншу дію. Якщо потрібно збільшити час паузи, можна змінити геометрію механізму або обрати інший тип індексуєчого пристрою.

Слід розуміти, що наведений розрахунок є спрощеним і призначений для навчального пояснення. У реальному проектуванні додатково визначають діаметр пальця, ширину паза, міжосьову відстань, радіуси запірних поверхонь, контактні напруження, динамічні навантаження, умови змащування, матеріали деталей і допустиму частоту обертання. Проте навіть такий простий приклад добре демонструє головний принцип: кількість пазів задає кут кроку, а кут активної взаємодії визначає співвідношення часу руху і паузи.

2. ОБКЛЕЮВАЛЬНО-КАПТАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ

2.1. Обклеювально-капталні машини

Обклеювально-капталні машини випускають як автономні, операційні машини, наприклад, моделі *ОК-3М* (Харківський ЗПМ), *НЛ* фірми «*Kolbus*», так і вбудовані агрегатовані у блокообробні агрегати або блокообробні лінії у вигляді обклеювально-капталних секцій [1, 4, 6, 15, 17].

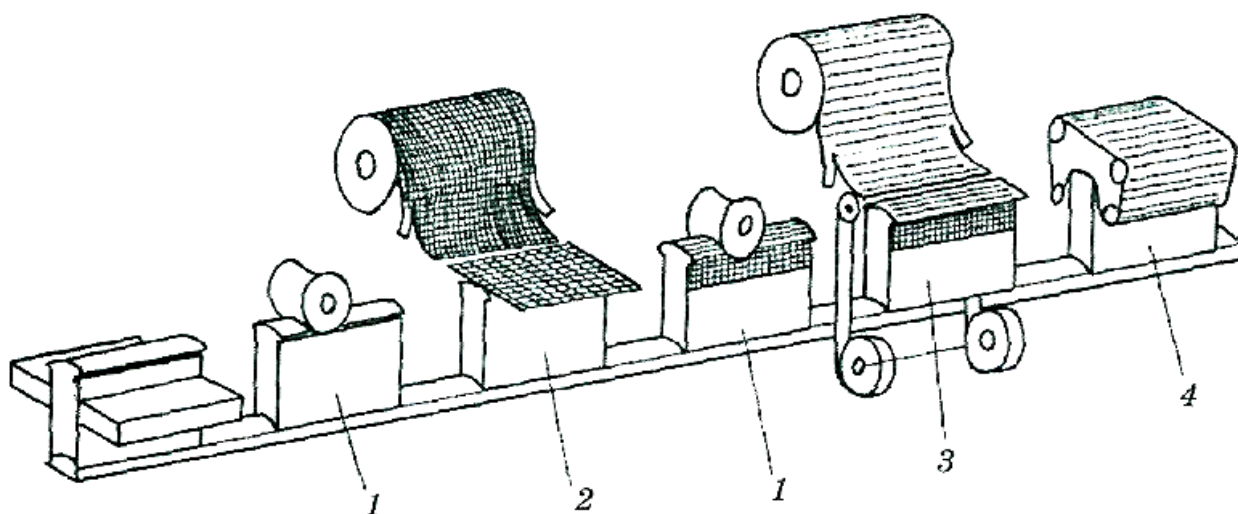


Рисунок - 2.1. Технологічна схема обклеювально-капталної машини лінійної будови

У більшості випадків обклеювально-капталні машини (ОКМ) або секції мають транспортувальний пристрій для переміщення блоків робочими позиціями та такі вузли і пристрої, що виконують наступні операції (рис. 2.1):

- 1) клейові апарати - для нанесення клею на корінець;
- 2) марлева секція - для подачі, відрізування і приклеювання смужки марлі на корінець;
- 3) каптало-паперова секція — для подачі, відрізування і приклеювання капталів і папірця;
- 4) прикочувальна секція — для прикочування приклеєних елементів до корінця.

ОКМ за типом транспортування будуються зазвичай за принципом лінійного переміщення блоків робочими позиціями. Зустрічається карусельна

будова, наприклад, у вітчизняної ОКМ мод. ОК-ЗМ. Раніше застосовувалися також машини з поздовжньо-замкненим конвеєром.

Коротко проаналізуємо особливості конструктивного виконання основних вузлів ОКМ. Клейові апарати виконують важливу функцію - нанесення шару клею на всі види корінця — прямий, заокруглений і заокруглений з відігнутими фальцами.

Для цього використовуються деталі різної конструктивної будови: циліндричні або профільні клеєнаносні валики, обгумована стрічка, профільні планки і т.д. Нанесення клею може відбуватися при переміщенні блока або під час його вистою. Напрямок переміщення валика щодо блока — уздовж його довжини або впоперек. При цьому розташування блока може бути корінцем униз або вверх.

Клеєнаносний валик використовується найчастіше, оскільки операцію можна виконувати на ходу, при транспортуванні блока. Недолік цього способу — необхідно мати комплект змінних валиків відповідно до профілю корінця. На рис. 1.2 представлено кілька варіантів нанесення клею на корінець блока.

Клейовий апарат валикового типу (рис. 2.2, а) використовується у багатьох блокообробних агрегатах. Він складається з клейового резервуара 1 та клейового профільного валика 2, який наносить клей на поверхню корінця. Перевага схеми - хороший контакт валика з поверхнею корінця, недоліки - по-перше, необхідно мати комплект змінних валиків, по-друге, іноді клеєнаносний валик повинен мати змінну колову швидкість, яка відповідає змінній швидкості переміщення блока. Це спричиняє ускладнення привода валика.

За схемою рис. 2.2, б клей наноситься на корінець блока за допомогою обгумованої стрічки 3, яка приймає його від клейового циліндра 2, що купається у резервуарі 1. При переміщенні стрічки шар потрапляє вверх під корінець книжкового блока. Під час вистою блока піднімаються догори дві планки 4, що встановлюються за товщиною блока і обтягують стрічкою його корінець, при цьому клей зі стрічки переходить на корінець.

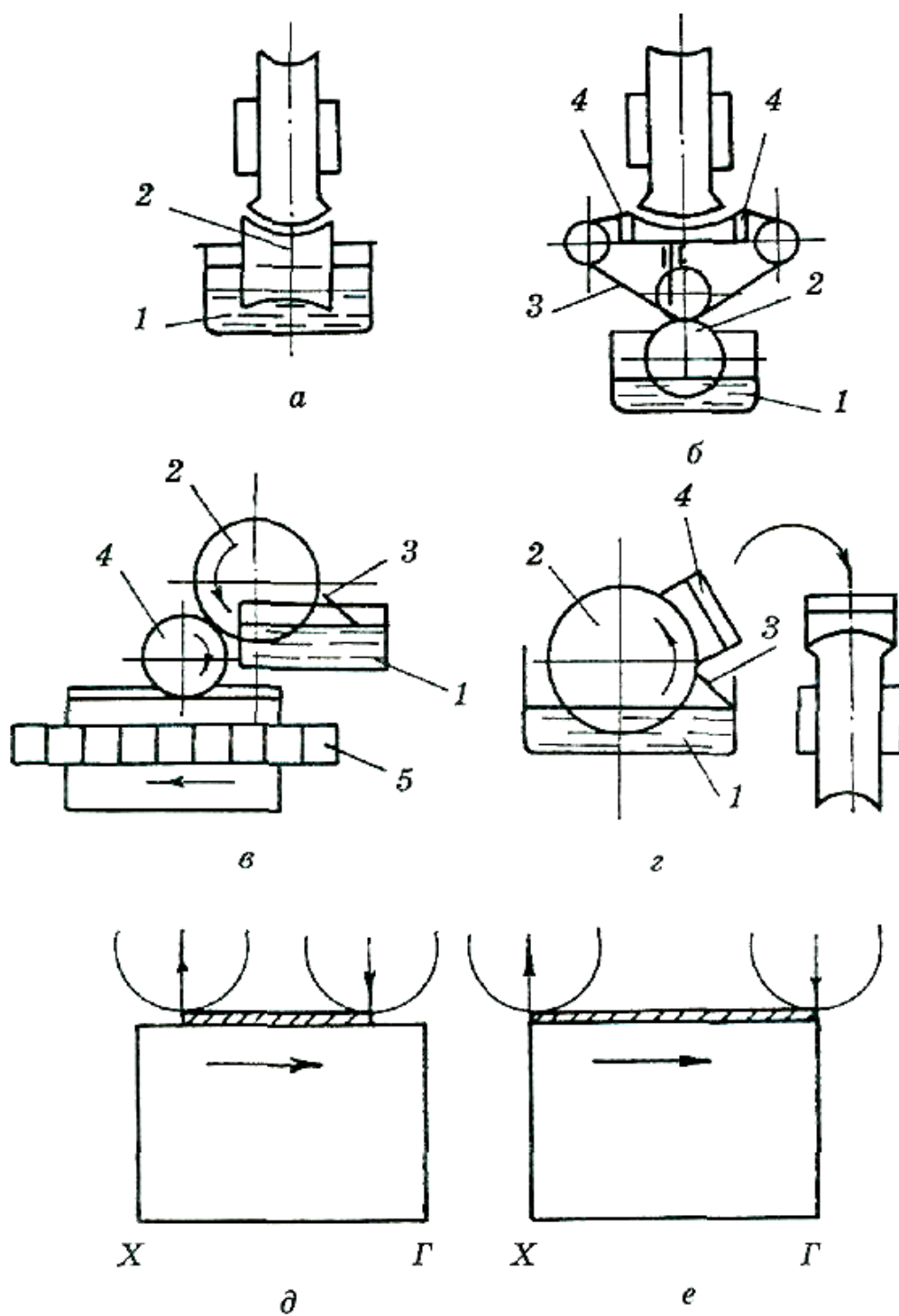


Рисунок - 2.2. Схеми клейових апаратів обклеювально-капталъних машин

Перевага такого способу — щільне прилягання стрічки до поверхні корінця. Недоліки: нанесення клею вимагає зупинки блока; потрібне періодичне переміщення стрічки на крок для подачі свіжого шару клею; виникає потреба в

пересуванні планок 4 при зміні товщини блока; необхідність підйому й опускання планок 4. Отже, цей апарат конструктивно досить складний.

На рис. 2.2, в показано клейовий апарат, що здійснює нанесення клею на корінець блока, розташований корінцем уверх. Для цього застосовується місткість для клею 1, живильний циліндр 2, який виводить шар клею, що регулюється скребачкою 3. Від циліндра 2 клеєнаносний валик 4 переносить клей на поверхню корінця блока, який переміщується траковим транспортером 5. Для якісного нанесення клею на корінець поверхня валика 4 повинна бути фігурною, приймаючи конфігурацію корінця.

Однією з особливостей конструкції клейового апарата є те, що він повинен мати рухоме положення клеєнаносного валика відносно блока, тобто опускатися вниз для нанесення клею на поверхню корінця (при розташуванні блока корінцем вверху) і підніматися для припинення подачі [1, 4, 6, 15, 17].

Як відомо, марля на корінці розміщується з відступом від головки і хвостика блока (рис. 2.2, д). Природно, клей має наноситися на корінець лише в місці приклеювання, тобто клеєнаносний валик повинен опуститися на корінець лише тоді, коли пройшов головковий обріз (Γ), і піднятися у визначений момент до підходу обрізу хвостика (X). Папірець з капталами кріпиться по всій довжині корінця (рис. 2.2, є), відповідно клейовий валик каптало-паперової секції повинен опускатися і підніматися по-іншому, тобто з підходом обрізів Γ і X . При цьому неприпустиме попадання клею на них. Таким чином, клейова смужка повинна бути точною за розміром і розташуванням і рівномірною на всій поверхні корінця.

Зазвичай ширина марлевої і каптало-паперової смужок, час витримки клейового валика внизу, при промащуванні, у сучасних машин задаються шляхом цифрової індикації на пульті керування. А відповідність профілю клейового валика формі корінця досягається наявністю змінних валиків.

На рис. 2.2, з наведено спосіб перенесення клею на корінець за допомогою клеєнаносної планки 4 з еластичною подушкою. Як у попередній схемі, клейовий

резервуар 1, вивідний циліндр 2 і скребачка 3 мають приблизно аналогічну конструкцію. Клей від циліндра переноситься на корінець блока за допомогою еластичної подушки, яка щільно прилягає до поверхні. Негативні особливості приблизно такі ж, як у способу за схемою б: нанесення клею під час вистою блока; потрібне періодичне повертання клейового циліндра; реалізація способу вимагає складного руху планки 4.

Марлева і каптало-паперова секції конструктивно подібні і мають однакові функціональні механізми і пристрої:

- 1) рулонотримачі матеріалу;
- 2) системи проводки стрічки матеріалу;
- 3) механізм подачі стрічки на визначений розмір;
- 4) механізм відрізування смужки матеріалу;
- 5) механізм перенесення смужки на корінець блока.

Каптало-паперова секція, крім того, має пристрій приклеювання капталів до паперової стрічки. Розглянемо найважливіші особливості тих механізмів.

Рулонотримачі матеріалу повинні забезпечувати утримання рулонів марлі і паперу, котушок з капталами для безперервної роботи секції. Основна особливість такого пристрою — зручність заміни рулонів і котушок при закінченні матеріалу.

Система проводки стрічки призначена для правильного живлення матеріалом механізмів подачі і відрізування. Система повинна подавати матеріал з рівномірним натягом, розпрямляючи складки і зморшки. Для цього іноді застосовується підігрівання стрічки, а також її пригальмовування, тобто створюється попередній натяг. Як правило, у систему проводки стрічки входять напрямні валики або ролики, обмежувальні шайби, щоб стрічка не зсувалася вбік. Інколи у таку систему монтуються дві пари дискових ножів, які обрізають матеріал на визначений розмір за шириною.

Механізм подачі корінцевого матеріалу на визначену довжину забезпечує періодичне переміщення стрічки під ножовий пристрій. Величина подачі визначається видом матеріалу: марлю подають з урахуванням ширини клапанів, паперово-капталну стрічку — за довжиною, що дорівнює дузі заокругленого корінця [1, 4, 6, 15, 17].

Механізми подачі матеріалу конструктивно побудовані приблизно за однаковим принципом: подача приклеєних матеріалів здійснюється парою валиків (рис. 2.3), один з них є привідним, інший — притискний. Величина подачі матеріалу визначається кутом повороту привідного валика, наприклад, від зубчасті рейки за наявності обгінної муфти. Регулювання величини подачі матеріалу здійснюється зміною геометричних параметрів механізму, наприклад, величини ходу рейки (старий спосіб), або застосовується індивідуальний дискретний електродвигун (новий спосіб). Величина подачі стрічки задається цифровим способом на пульті керування.

Механізм відрізування смужки матеріалу призначений для відокремлення смужки матеріалу визначеної ширини від стрічки, фіксації її і подачі на корінець. Перша операція відрізування виконується ножичним розрізом парою ніж—контрніж під час вистою матеріалу.

Відомі два типи ножових механізмів:

1) смужка відрізається рухомим ножом відносно нерухомого контр-ножа (рис. 1.3, в);

2) смужка відрізається механізмом переносу (столиком) при його русі вгору, при цьому ніж закріплено нерухомо (рис. 2.3, а).

Механізм переносу смужки матеріалу на корінець блока. На конструкцію такого механізму впливають два фактори — характер руху блока (неперервний чи періодичний) і спосіб його розташування (корінцем униз чи вгору). Механізми переносу смужки на рухомий блок використовувалися фірмою «Колбус», але згодом вона відмовилася від такого принципу через конструктивну складність його

реалізації і неточність розташування елементів на корінці. Фірма у всіх видах устаткування нині перейшла на принцип приклеювання матеріалу на нерухомий блок під час його вистою.

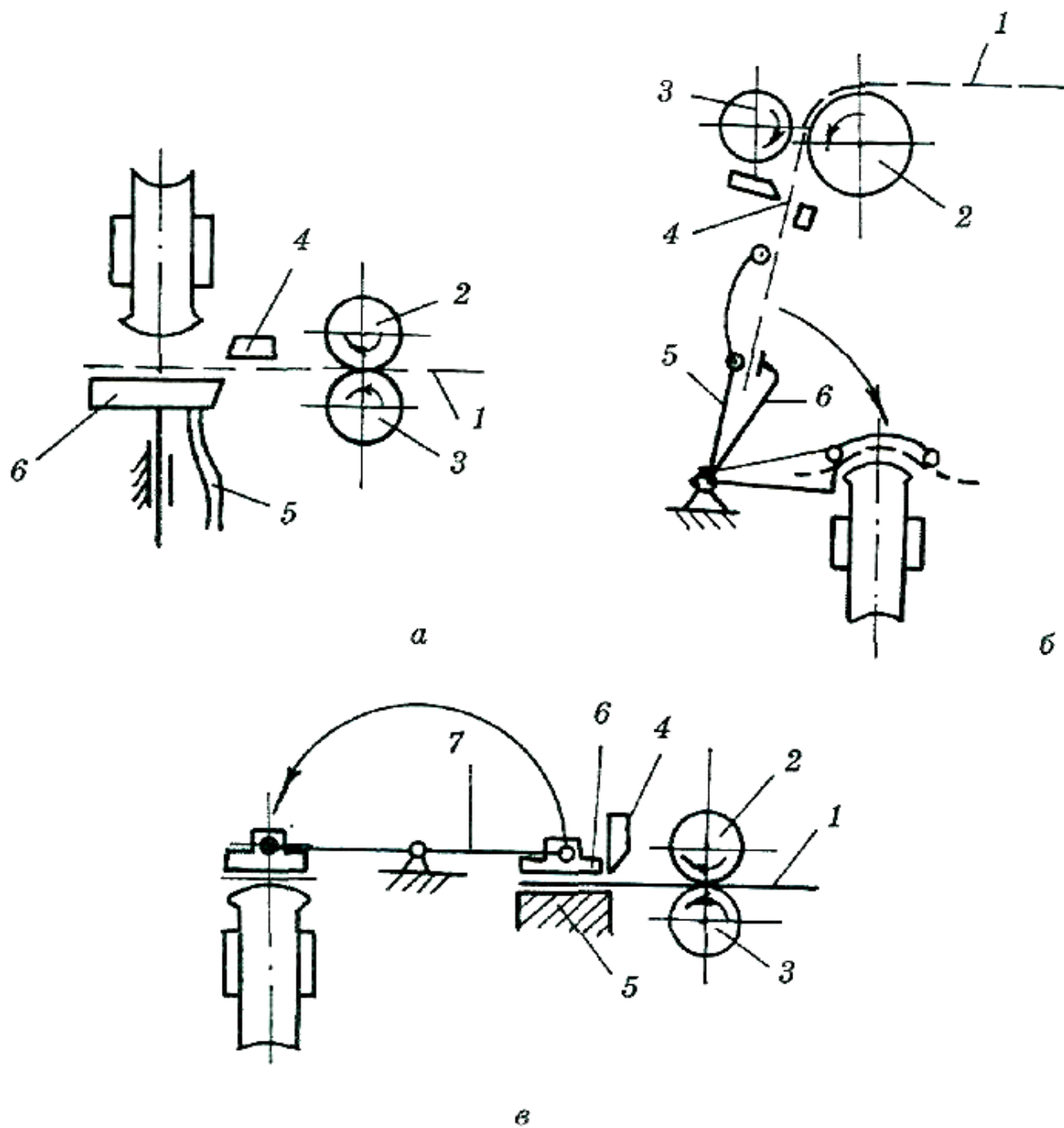


Рисунок - 2.3. Схеми механізмів відрізування і переносу смужки матеріалу на корінець блока

При розташуванні блока корінцем униз (рис. 2.3, а) визначена ширина смужки матеріалу 1 подається парою подавальних валиків (3 — приводного, 2 — притискного) на рухомий столик 6, який вистоє у нижньому положенні. Для утримування смужки на його поверхні є отвори, з'єднані з вакуумною системою 5. При підніманні столик проходить повз нерухомий, злегка нахилений ніж 4, своєю правою гострою гранню відрізає смужку матеріалу і притискає її до поверхні корінця блока, на яку нанесено шар клею. Щоб запобігти попаданню клею на поверхню столика, він часто має фторопластове покриття, яке відштовхує клей. Недолік цієї схеми — складність конструкції, її матеріаломісткість. Столик повинен мати значні розміри, отже, і велику масу [1, 4, 6, 15, 17].

За схемою (рис. 2.3, б) матеріал 1 (зазвичай марля) подається у щипці, що складаються з фігурної 5 та притискної 6 планок. Вони затискають його і після відрізання смужки ножовим пристроєм 4 переносять її на корінець блока. Спочатку повертається у вихідне положення верхня планка 5, потім — нижня 6.

За схемою (рис. 2.3, в) матеріал 1 визначеної ширини подається подавальними валиками 2 і 3 на столик 5. Рухомий ніж 4 відрізає смужку потрібної ширини, на яку опускається вакуумна планка 6, присмоктує її і, повертаючись відносно опори, важелем 7 переносить на корінець блока. З вакуумної планки на смужку подається струмінь стиснутого повітря, що сприяє її надійному приклеюванню до корінця.

Роботу всіх перелічених механізмів розглянемо у взаємодії при розгляді марлевої та каптало-паперової секцій.

Марлева секція. Стрічка марлі 2 (рис. 2.4) розмотується з бобіни 1, проходить біля шкали 3, за якою перевіряється правильність її розташування за шириною. Потім стрічка рухається через розгладжувальний пристрій 4. Витягування стрічки відбувається за допомогою тягнучих валиків: приводного 5 і притискного 7. Приводний валик 5 одержує обертання через обгінну муфту (не показано) від рейково-зубчастої передачі 6, яка, у свою чергу, приводиться

кривошипним механізмом 8 з регульованою величиною радіуса. Різальний пристрій 9 відрізає визначену довжину марлі M , яка затискається планками 10 і 11, розташованими на окремих важелях, і переноситься на корінець блока.

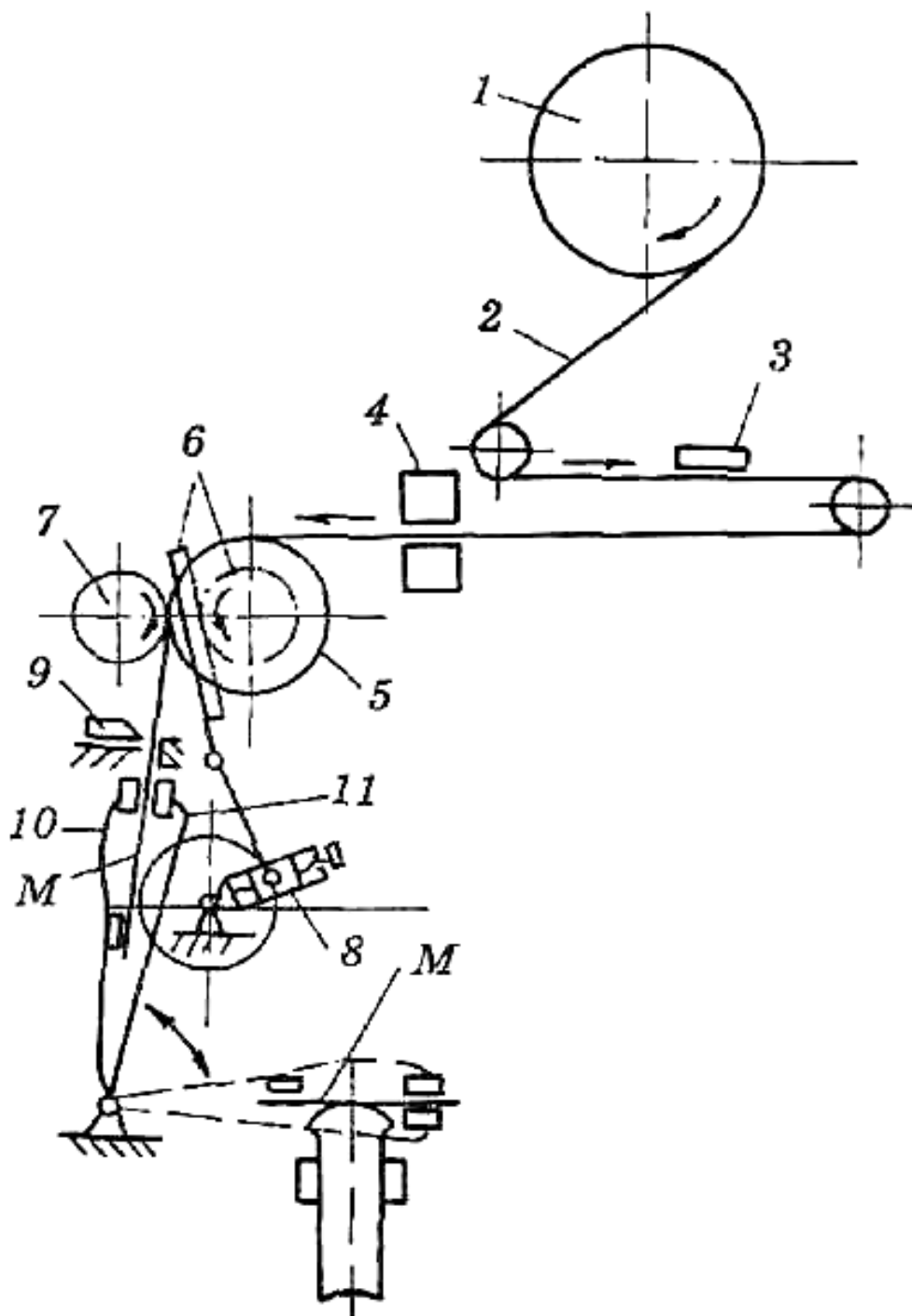


Рисунок - 2.4. Технологічна схема марлевої секції

2.2. Каптало-паперова секція

Каптало-паперова секція працює наступним чином (рис. 2.5) [4, 6, 15, 17]. Стрічка паперу 2 розмотується з рулону 1 за допомогою тягнучих валиків 14—15. Проходячи через дві пари дискових ножів 3, вона обрізається на визначену ширину (фрагмент А). При подальшому русі соплами 6 через клеєпроводи 5 з місткості 4 на неї вздовж країв наносяться дві смужки клею. Знизу з бобін 11 тими ж тягнучими валиками 14—15 розмотується дві стрічки капталів 10, які проходять через натяжний пристрій 9, що розгладжує їх перед приклеюванням до папірця. Цю функцію виконують приводний 7 і притискний 8 валики, що прикочують стрічки капталів 10 до папірця 2.

Збірна стрічка 12, що складається з папірця і приклеєних до нього капталів (січення В—В), дуговими напрямними 13 скеровується до тягнучих валиків 14—15, які забезпечують її періодичне переміщення визначеного розміру на горизонтальний столик 17. Там на неї опускається вакуумна планка 18 і присмоктує її. Ніж 16 відрізає смужку і поворотним механізмом 21, що складається з важелів і трьох зубчастих коліс, не змінюючи свого горизонтального положення, переноситься на корінець блока, який поданий траковим транспортером 20. Смужка 19 приклеюється до корінця, на який перед тим нанесено шар клею.

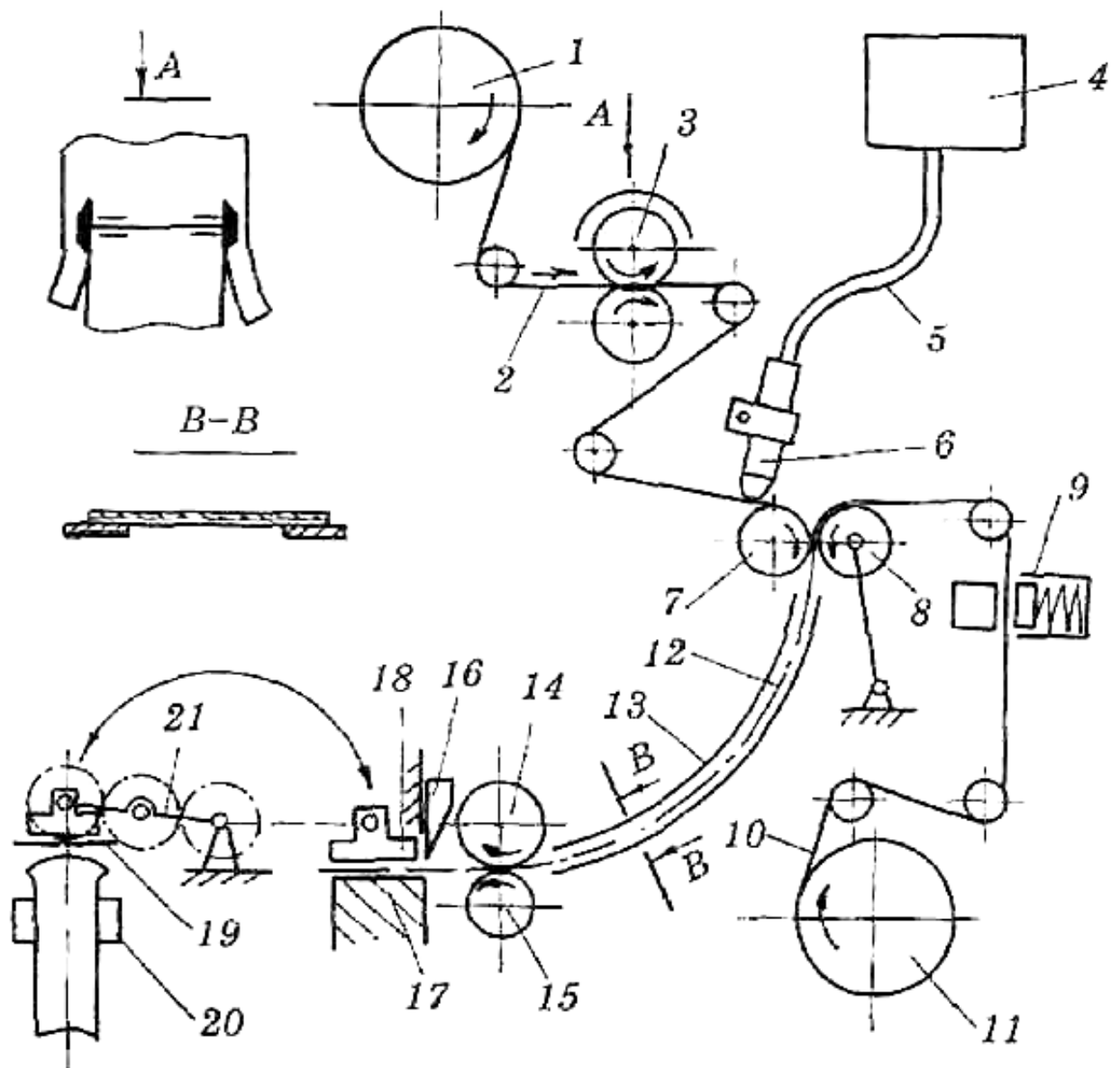


Рисунок - 2.5. Технологічна схема каптало-паперової секції

Прикочувальна секція призначена для здійснення щільного прикочування марлевої і каптало-паперової стрічок до поверхні корінця блока (рис. 2.6).

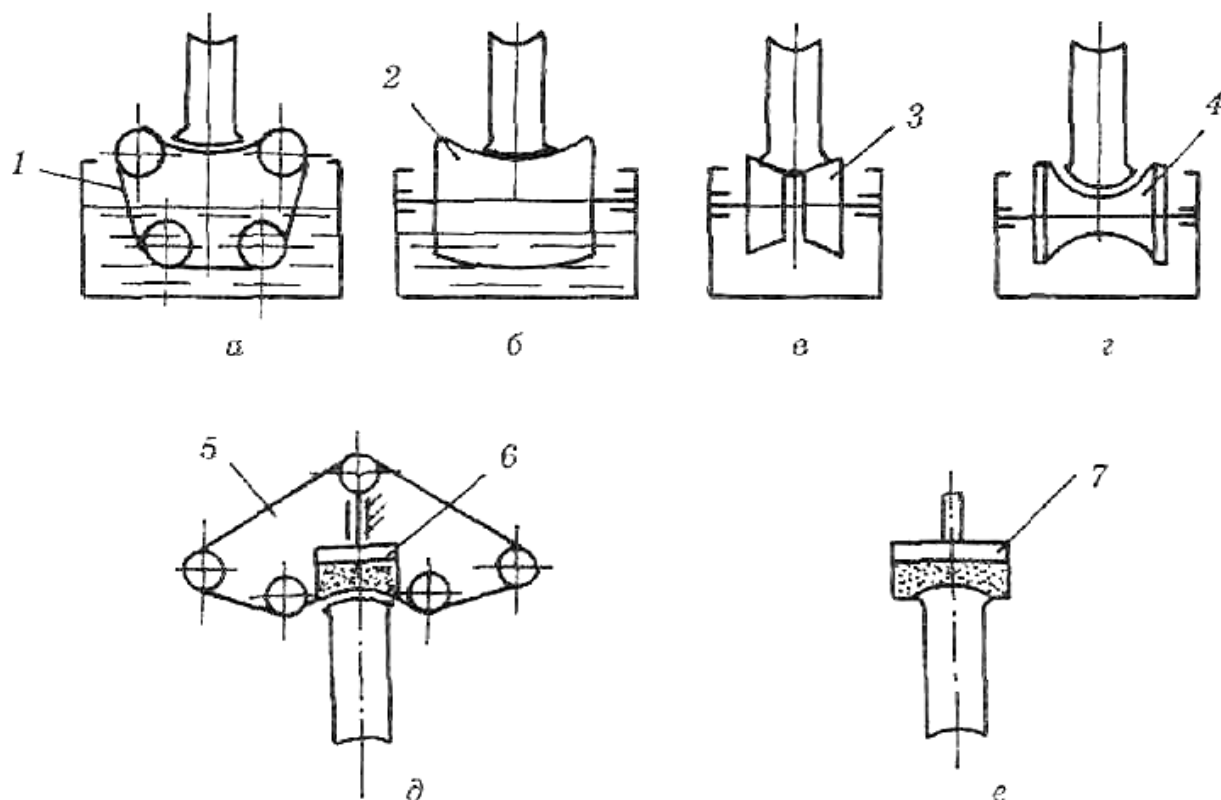


Рисунок - 2.6. Схеми пристроїв прикочування зміцнювальних елементів до корінця

Для цього в машинах фірм-виробників застосовувалися різні пристрої, наведені на рис. 2.6: обгумована стрічка 1 (схема *a*), пневматичний еластичний валик 2 (схема *б*), конічні диски 3 (схема *в*), профільний ролик 4 (схема *г*), стрічка з тефлоновим покриттям 5 і планка 6 з еластичною накладкою (схема *д*), планка 7 з еластичною накладкою (схема *е*) тощо. Вибір того чи іншого конструктивного рішення обумовлений характером руху блоків, конструкцією транспортувального пристрою, зрештою, традиціями фірми. Зрозуміло, схеми *a*, *д*, *е* можуть бути застосовані тільки для нерухомого блока, схеми *б*, *в*, *г* — для рухомого блока; схеми *a*, *б*, *в*, *г* — для блоків, розташованих корінцем униз, схеми *д*, *е* — для блоків, розташованих корінцем уверх. Аналізуючи наведені варіанти реалізації операції прикочування, слід відзначити, що найпростіші засоби використовуються в схемах

б, в, г (для рухомого блока). Однак усі вони мають недолік — контакт інструмента з блоком здійснюється лінією, отже, в процесі руху можливі зсування прикочувальних елементів стосовно корінця і поява «хвилі» перед зоною контакту. Тому в сучасних ОКМ застосовуються схеми д і е, тобто коли блок — нерухомий, а контакт — по всій поверхні корінця. Прикочування буде здійснюватись у більш сприятливих умовах, а застосування стрічки з тефлоновом покриттям (схема д) сприяє неза-брудненню її робочої поверхні клеєм, оскільки він не прилипає до цього матеріалу [4, 6, 15, 17].

2.3. Привод каруселі блокообробної машини

При роботі деяких механізмів блокообробних машин виникають значні технологічні навантаження. Це, насамперед, пресувальні пристрої, механізми секцій закруглювальної і відгинання фальців. При роботі транспортуючих пристроїв з періодичним рухом виникають також значні динамічні навантаження на їх привод [4, 6, 15, 17].

Ряд моделей блокообробного і палітурного устаткування має карусельну будову. Це, зокрема, обклеювально-каптална машина *ОК-3М*, блокообробні машини фірми VBF, пресувально-штрихувальні машини БШП-270 Харківського заводу ПМ і фірми VBF (Німеччина). Отже, становить інтерес розрахунок привода такого устаткування.

Привод каруселі з плоским мальтійським механізмом представлено на рис. 2.7. Карусель 1 з затискачами (на рис. не показані) установлена на вертикальному валу 2, що спирається на підп'ятник. На валу дещо нижче каруселі розташовано плоский мальтійський хрест 3, у пази якого входить ролик 4 водила 5, що має неперервне обертання.

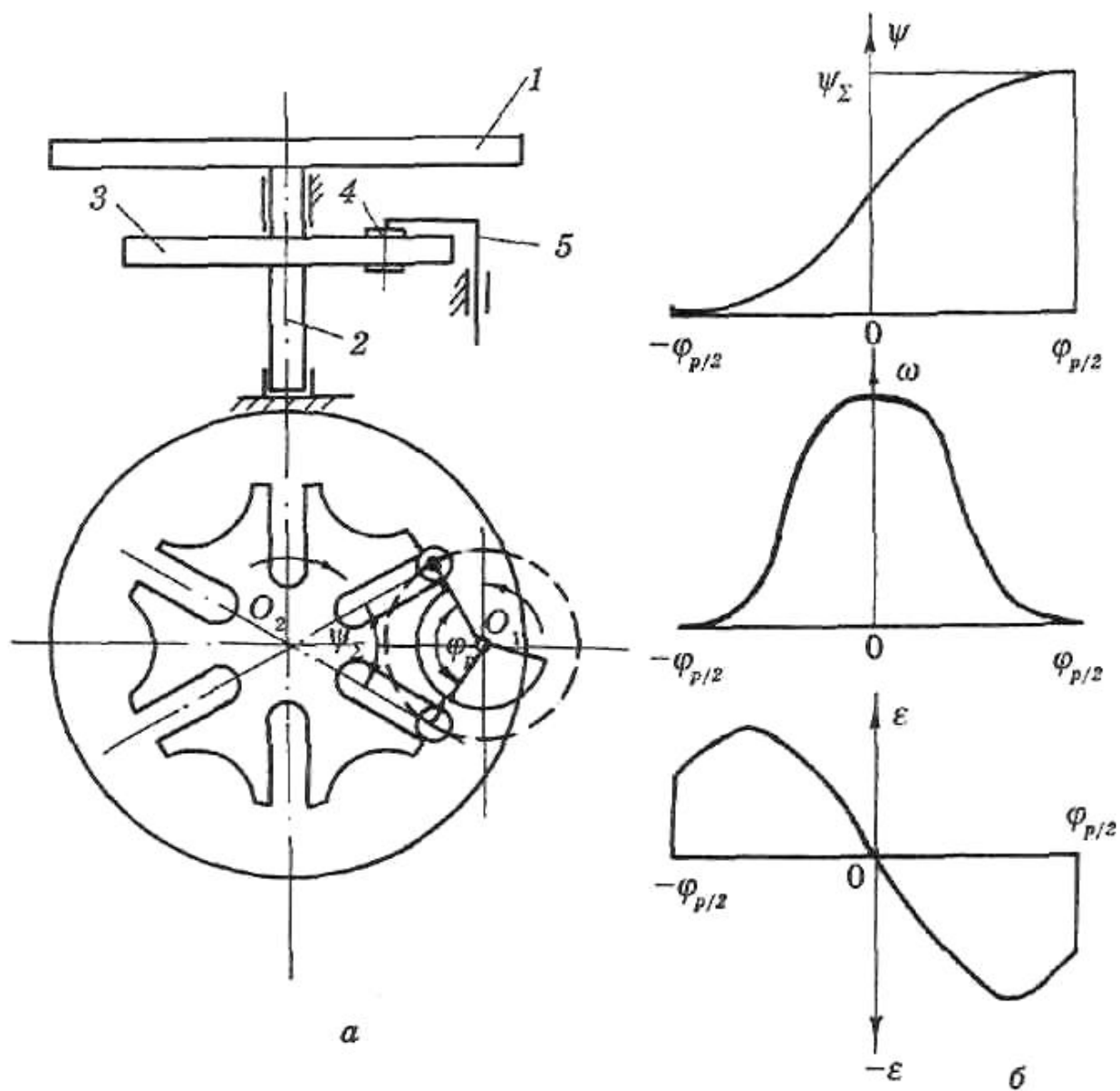


Рисунок - 2.7. Розрахункова схема привода каруселі (а) і графіки кінематичних параметрів (б)

2.4. Опис роботи обклеювально-капталльної машини ОК-3

Обклеювально-капталльна машина ОК-3 призначена для приклеювання стрічки паперу і капталів до округленого корінця книжкового блока, зшитого на марлі [4, 6, 15, 17].

Машина ОК-3 представляє собою багато позиційний напівавтомат карусельного типу з періодичним переміщенням блоків у позиції оброблення. Переміщення блоків здійснюється поворотним столом 1 (рис. 2.8.), який отримує періодичний рух від механізму восьми пазового мальтійського хреста. За кожен цикл роботи машини стіл повертається на 45^0 і зупиняється. На столі розміщено вісім затискачів для утримування блоків. Кожен затискач складається з двох губок: нерухомої 2 і рухомої 3, які притискаються одна до другої силою пружин 4. Відкривання губок відбувається нерухомою гіркою 5, яка взаємодіє з роликами 6.

В позиції *I* під час вистою поворотного столу робітник встановлює у відкриті затискачі блоки корінцем вниз, на установочний столик, завдяки чому корінці всіх блоків у всіх затискачах встановлюються на одному рівні. Потім столик повертається на 45^0 і переносить черговий блок у позицію *II*. При початку руху стола упори, які виставляються по формату, зіштовхують блок, потім затискачі закриваються і в такому положенні переносять блок по всіх позиціях обробки.

В позиції *II* на корінці блоків наноситься шар клею. Оскільки корінці блоків мають округлену форму, то клей на них наноситься резиновим полотном, яке , притискаючись до корінця, щільно облягає його.

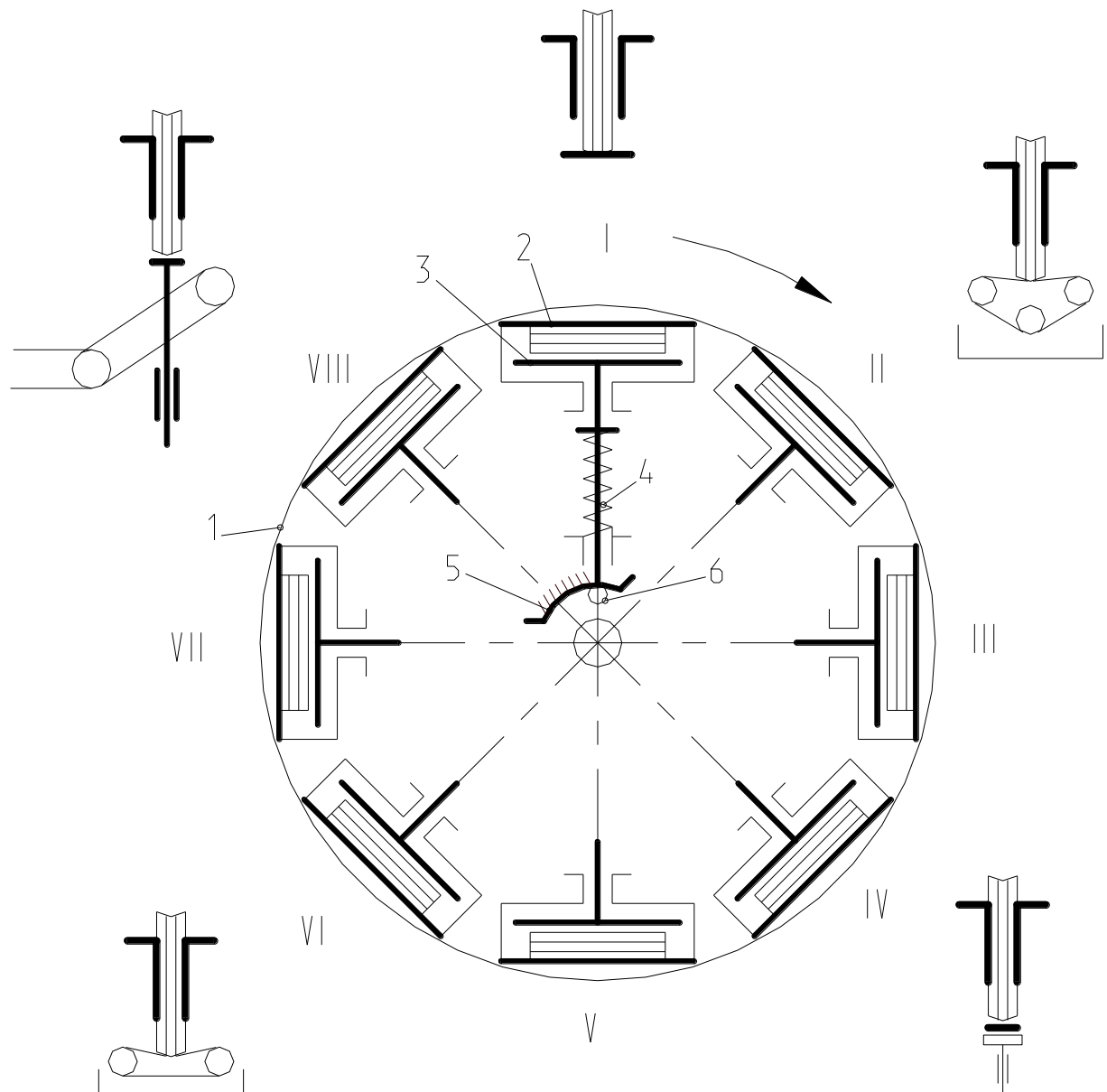


Рисунок - 2.8. Принципова технологічна схема обклеювально-каптальної машини ОК-3

Позиція III вільна. Тут нанесений на корінець блоку шар клею злегка підсихає і набуває необхідної в'язкості [4, 6, 15, 17].

У позиції IV на корінець наклеюється стрічка паперу, попередньо склеєна з капталами у каптально-паперовій секції. У цій позиції вона розрізується на заготовки потрібної довжини, і заготовка притискається до корінця блок.

Позиція V вільна. За час вистою відбувається подальше підсушування клею.

У позиції VI приклеєна до корінця блока стрічка паперу з капталами обтискується гумовим полотном, змоченим водою. В результаті обтискування папір щільно прилягає до округленої поверхні корінця.

Позиція VII вільна. Тут відбувається природна сушка блоків.

У позиції VIII блоки виводяться на приймальний стіл, який представляє собою ряд натягнутих на шківи клинових пасів. Для того, щоб при падінні на паси, під час автоматичного відкривання затискачів, корінці блоків не пошкоджувалися, блоки виводяться із затискачів спеціальним рухомим столиком, який здійснює зворотно поступальний руху вертикальній площині і плавно опускає блоки на паси.

Машина обслуговується трьома працівниками: один завантажує блоки в машину, а двоє приймають готові блоки, перевіряють якість приклеювання паперу і капталів і у випадку необхідності вручну виправляють якість приклеювання.

Машина може працювати зі швидкістю 25, 28, або 30 цикл/хв. Для цього в комплекті машини наявні три змінні шківи для електродвигуна.

Різноманітні види механізмів періодичного повороту знаходять широке застосування у даній машині. Тому дані механізми призначені перетворювати обертальний рух вхідної ланки – водила на періодичний нерівномірний із зупинками рух вихідної ланки – мальтійського хреста. Мальтійські механізми поділяються на плоскі та просторові, вихідні та комбіновані. Під вихідними розуміють механізми з найменшим числом ланок і геометричних параметрів, які визначають якісно та кількісно кінематику веденої ланки. Вихідні мальтійські механізми прості за конструкцією, технологічні, надійні, однак вони не дозволяють довільно вибирати величину відносної тривалості повороту хреста. Закон руху визначений структурою механізму і не завжди задовольняє потреби зменшення

динамічних навантажень. Для зміни величини відносної тривалості повороту хреста, а також для покращення кінематичних та динамічних характеристик застосовують багатоланкові приводи хреста, або змінюють форму пазів.

Для зміни динамічних характеристик застосовують різноманітні комбіновані мальтійські механізми. Застосування комбінованих механізмів передбачає зміну закону або відносної тривалості руху веденої ланки вихідного механізму. Комбіновані мальтійські механізми відрізняються від вихідних за однією, або декількома ознаками:

- наявність на валі, що рівномірно обертається, декількох, послідовно входячих у взаємодію з мальтійським хрестом, кривошипів однакової довжини;
- різниця у довжині кривошипів розміщенні пазів;
- нерівномірний рух вала кривошипа;
- відмінність траєкторії центра ролика від кола;
- змінний характер структури механізму протягом кінематичного циклу;
- напрям пазів хреста, відмінний від радіальної прямої;
- форма пазів хреста, відмінна від прямолінійної.

У плоских мальтійських механізмах (рис. 2.9.) вхідною ланкою є водило 1. з моменту входження ролика водила у паз хреста 3 і до його виходу хрест обертається нерівномірно з кутовою швидкістю, що поступово наростає, а потім зменшується до нуля. Після виходу ролика з паза хрест утримується у нерухомому стані фіксуючим сектором 2, що жорстко зафіксований на валу водила і входить у відповідний круговий паз хреста. Для без ударного входження ролика у паз хреста в початковий момент вісь паза має бути розміщена по дотичній до кола, окресленого центром ролика, а робоча ділянка паза куліси повинна починатися від точки дотику його осі з цим колом.

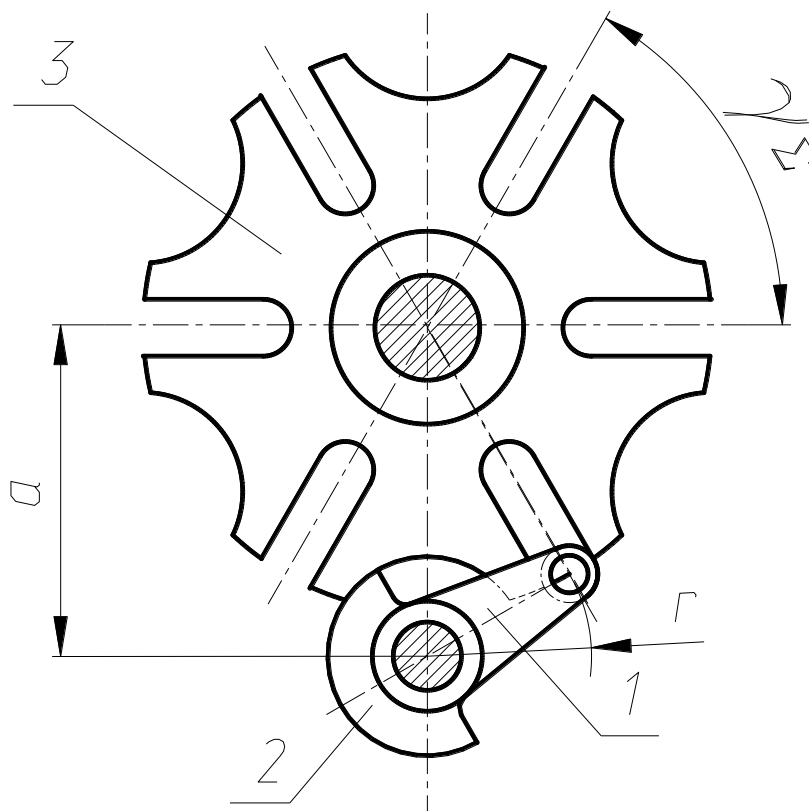


Рисунок - 2.9. Плоский мальтійський механізм

Сферичний мальтійський механізм (рис. 2.10.) – це різновид просторового кулісного механізму, в якому вісь обертання водила 1 і хреста 2 розміщені в одній площині і перетинаються під кутом 90° .

Сферичні механізми використовують для привода ланцюгового транспортера в блокообробних агрегатах БЗР-270 і 2БТГ-270.

Сферичні мальтійські механізми мають наступні переваги перед плоскими:

- період робочого ходу і вистою не залежать від кількості пазів;
- закон періодичного руху сферичного хреста при такій же кількості пазів, як у плоского, сприятливіший з погляду динаміки;
- легше вписується в габарити конвеєрних агрегатів із вертикальними валами вихідних ланок.

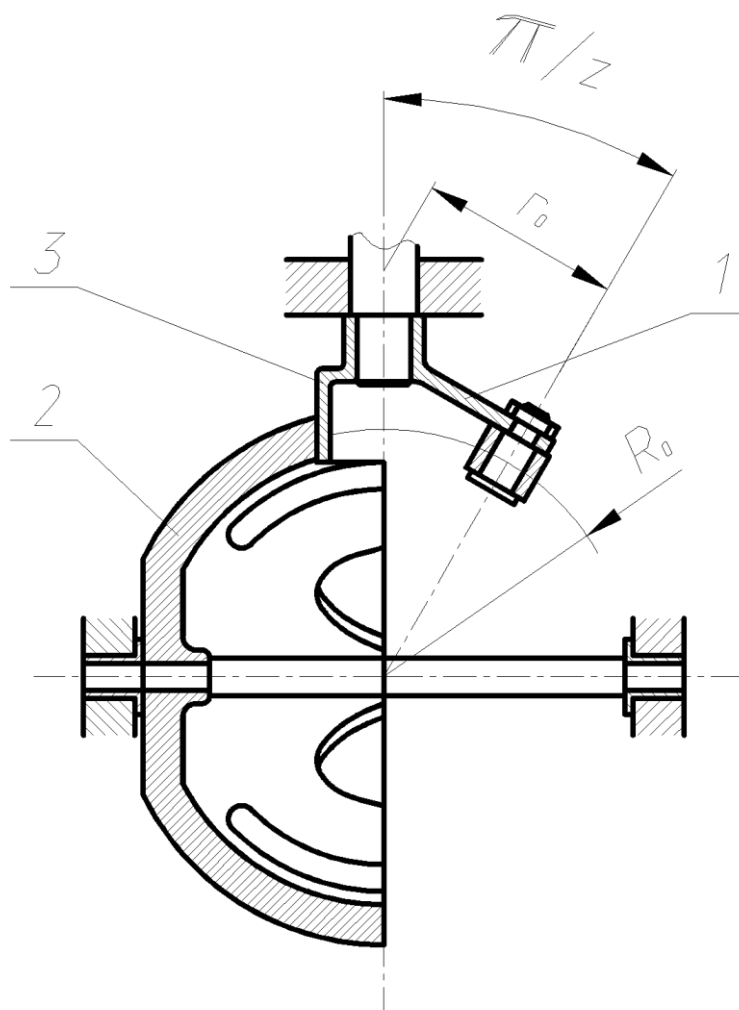


Рисунок - 2.10. Сферичний мальтійський механізм

Просторовий мальтійський механізм (рис 2.11.) має переваги перед іншими механізмами того ж призначення. Використовуючи його у приводі машини-автомата, можна:

- призначати будь-який закон періодичного руху вихідній ланці виконавчого механізму;
- забезпечити співвідношення періодів робочого ходу і зупинки вихідної ланки, чого вимагає циклограма, у межах роздільної здатності механізму;
- забезпечити чіткішу фіксацію вихідної ланки в момент зупинки;

- зменшити габаритні розміри привода, порівняно з деякими іншими механізмами періодичного повороту.

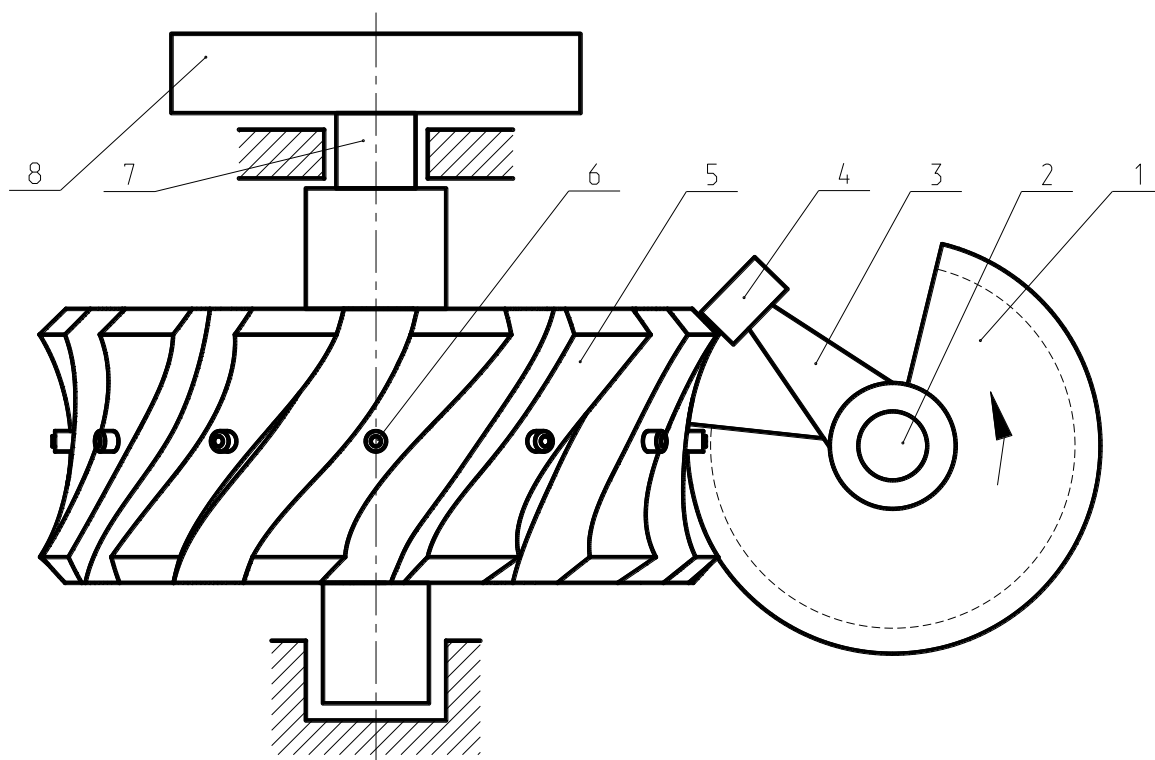


Рисунок - 2.11. Просторовий мальтійський механізм із криволінійними пазами

Просторовий мальтійський механізм працює наступним чином. На вхідній ланці 2 встановлено водило 3 з роликом 4 і сектор 1, що має паз по всій довжині зовнішньої частини. На вихідному валу 7 встановлено мальтійський хрест 5 з криволінійними пазами з роликами-фіксаторами 6 та вихідна ланка. У процесі роботи ролик 4 входить у криволінійний паз хреста 5 і починає обертати його згідно із запроєктованим законом руху. У момент зупинки вихідної ланки ролик 4 кривошипа 3 виходить із паза хреста 5 і ролик-фіксатор 6 потрапляє у паз сектора 1, забезпечуючи фіксацію вихідної ланки в період її зупинки. Потім кінематичний цикл повторюється.

2.5. Удосконалення механіки плоских мальтійських механізмів

Як видно із схеми (рис. 2.12.), паз мальтійського хреста являється частиною куліси, роз'єднаною прямою, перпендикулярною до її осі і такою, що проходить через центр обертання кривошипа. В цьому положенні палець кривошипа, що обертається рівномірно з кутовою швидкістю ω_1 , безударно входить в паз мальтійського хреста, надаючи останньому нерівномірного руху з монотонно зростаючою, а потім спадаючою кутовою швидкістю ω_2 . Якщо в зачепленні з кривошипом знаходиться частина куліси, розміщена вище лінії розподілу, як зображено на рисунку, то кутові швидкості ω_1 і ω_2 протилежні за знаком. Хрест в цьому випадку представляє собою багатопазову кулісу із зовнішнім зачепленням. У механізмах з внутрішнім зачепленням напрями кутових швидкостей хреста і кривошипа співпадають. Після виходу пальця із паза під час вистою хрест може фіксуватися сектором, який входить у кругові виточки хреста, або індивідуальним механізмом, частіше кулачковим, залежно від вимог до точності. Якщо хрест не зв'язаний безпосередньо з веденою масою, то для досягнення точності і сприятливих умов роботи мальтійського механізму необхідна окрема фіксація веденої маси і хреста [15, 17].

Важливою характеристикою вихідних мальтійських механізмів, що визначає геометричні, кінематичні та динамічні параметри, є число пазів (z) хреста.

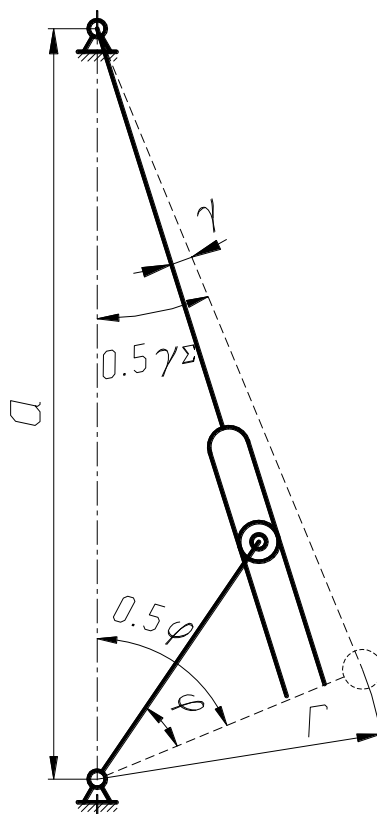


Рисунок - 2.12. Схема для розрахунку кінематичних параметрів механізму мальтійського хреста

Кут повороту хреста залежить від кількості пазів:

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{360}{Z} = \frac{2 \cdot \pi}{Z}$$

Кут повороту водила, що відповідає повороту хреста:

$$\varphi_{\Sigma} = \pi - \frac{2 \cdot \pi}{Z}$$

Співвідношення періоду робочого ходу і зупинки хреста:

$$K = \frac{\lambda_{\Sigma}}{\varphi_{\Sigma}} = \frac{Z\pi - 2\pi}{Z\pi + 2\pi} = \frac{Z - 2}{Z + 2}$$

Кінематичні характеристики для плоских мальтійських механізмів визначаються в системі $[I, w, r]$.

З геометричної схеми випливає:

$$\operatorname{tg}(0.5\gamma_{\Sigma} - \gamma) = \frac{r \sin(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi)}{a - \cos(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi)},$$

звідки поточні кути повороту хреста, які відраховуються від його початкового положення, дорівнюють:

$$\gamma = 0.5\gamma_{\Sigma} - \operatorname{arctg} \frac{\sin(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi)}{\lambda - \cos(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi)},$$

де $\lambda = \frac{a}{r}$.

Кутова швидкість хреста:

$$\omega_2 = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\gamma}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\lambda \cos(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi) - 1}{1 - 2\lambda \cos(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi) + \lambda^2} [\omega_1],$$

де $\omega_{2i} = \frac{\lambda \cos(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi) - 1}{1 - 2\lambda \cos(0.5\varphi_{\Sigma} - \varphi) + \lambda^2}$ є інваріантом кутової швидкості.

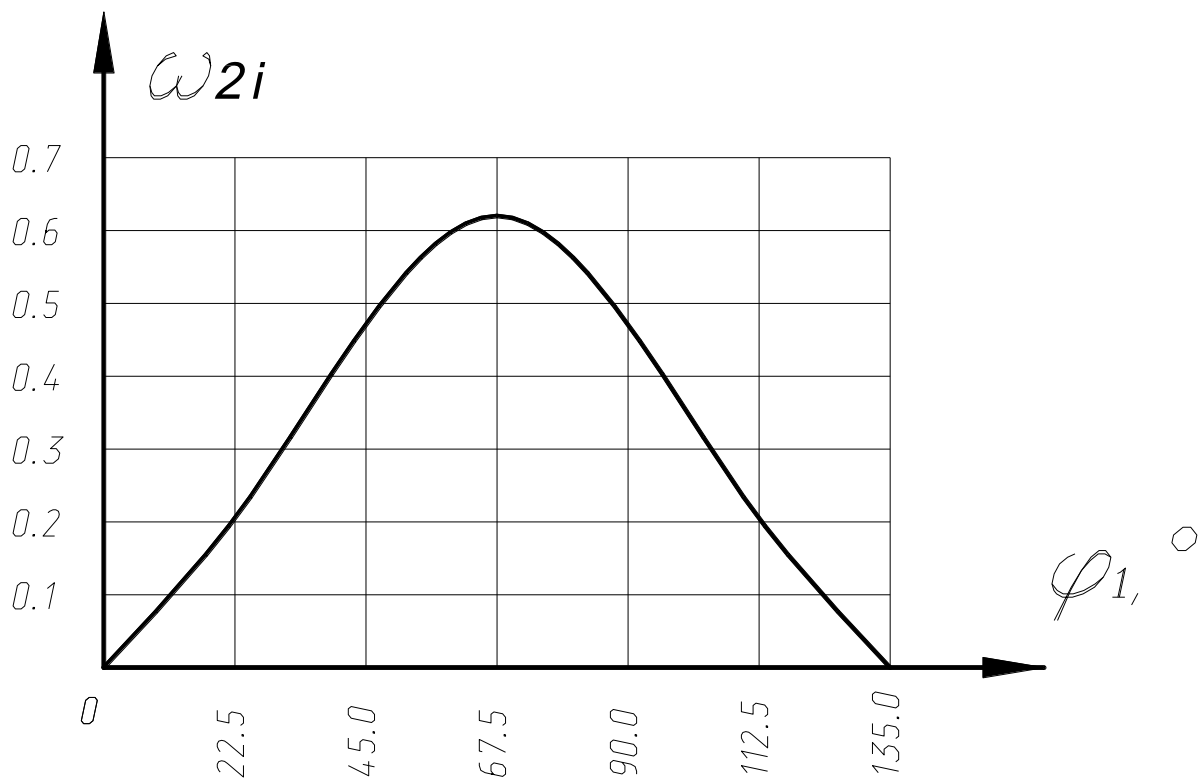


Рисунок - 2.13. Графік інваріантів кутової швидкості вихідного плоского мальтійського механізму

Кутові прискорення хреста:

$$\varepsilon_2 = \frac{d\omega_2}{dt} = \frac{d\omega_2}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\lambda(\lambda^2 - 1)\sin(0.5\varphi_\Sigma - \varphi) - 1}{(1 - 2\lambda \cos(0.5\varphi_\Sigma - \varphi) + \lambda^2)^2} [\omega_1^2],$$

де $\varepsilon_{2i} = \frac{\lambda(\lambda^2 - 1)\sin(0.5\varphi_\Sigma - \varphi) - 1}{(1 - 2\lambda \cos(0.5\varphi_\Sigma - \varphi) + \lambda^2)^2}$ - інваріант прискорення хреста.

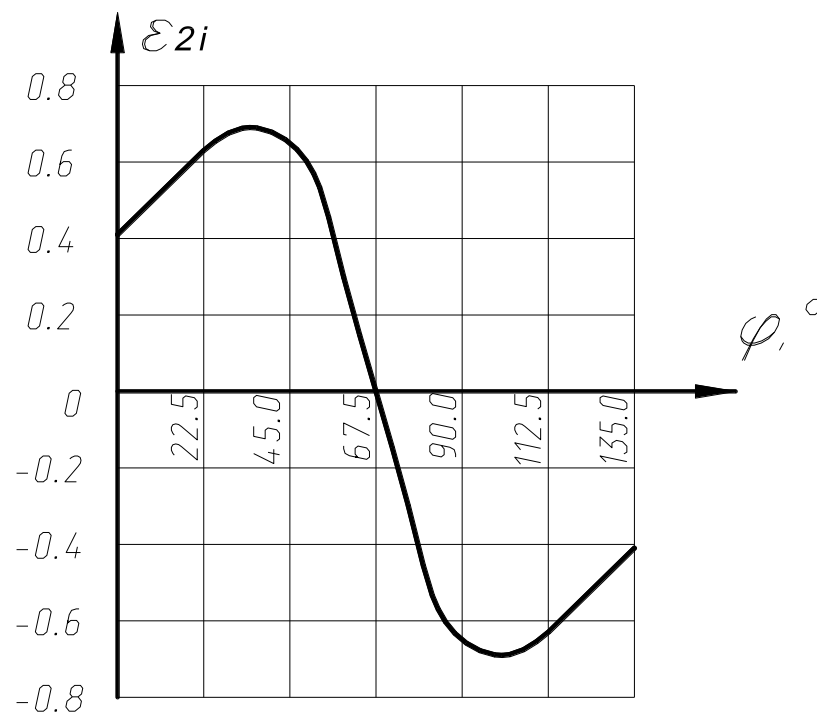


Рисунок - 2.14. Графік інваріантів кутового прискорення вихідного плоского мальтійського механізму

Кінетична потужність, необхідна для періодичного повороту хреста і мас, зведених до нього:

$$N_k = M_{in} \omega_2 = \varepsilon_{2i} [I\omega_1^2] \omega_{2i} [\omega_1] = \omega_{2i} \varepsilon_{2i} [I\omega_1^3],$$

де $N_{ki} = \omega_{2i} \varepsilon_{2i}$ - інваріант кінетичної потужності.

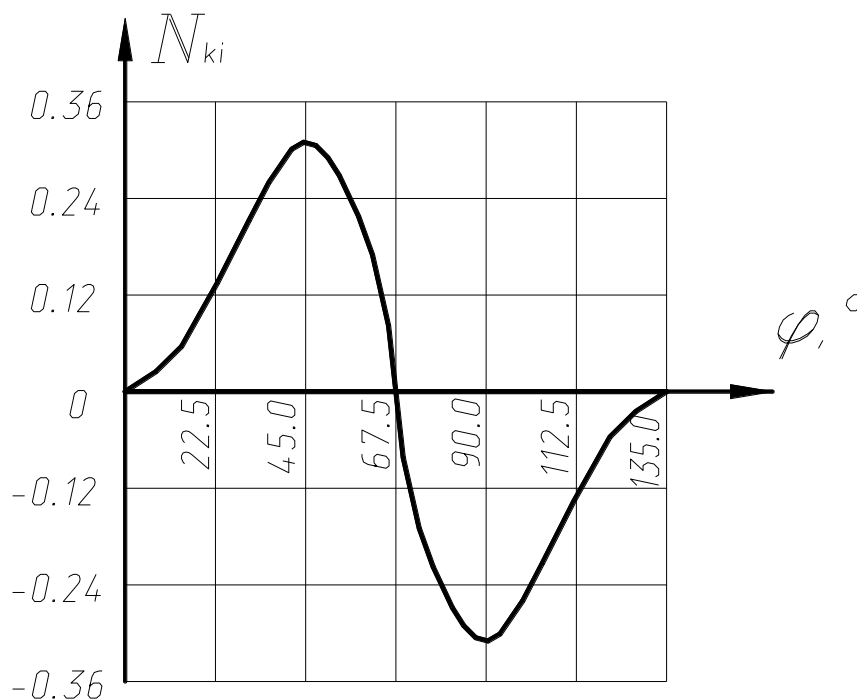


Рисунок - 2.15. Графік інваріантів кінетичної потужності вихідного плоского мальтійського механізму

За наявності моментів від статичних сил, приведених до валу хреста, потужність становить:

$$N_{\Sigma} = (M_{cm} + M_{in})\omega_2 = (M_{cm} + \varepsilon_{2i}I\omega_1^2)\omega_{2i}[\omega_1] = \\ = (M_{cm}/\omega_1^2 + \varepsilon_{2i})\omega_{2i}[\omega_1^3] = (p + \varepsilon_{2i})\omega_{2i}[\omega_1^3],$$

де $(p + \varepsilon_{2i})\omega_{2i}$ - інваріант сумарної потужності, p – число Ньютона.

Поточне значення крутного моменту на валу водила дорівнює:

$$M = (p + \varepsilon_{2i})\omega_{2i}[\omega_1^3]\Theta,$$

де Θ - коефіцієнт, що враховує ККД механізму ($\Theta = 1/\eta$, або $\Theta = \eta$ залежно від напрямку передачі енергії).

Графіки інваріантів кутового прискорення та кінетичної потужності вихідного мальтійського механізму показують, що такий механізм характеризується значними інерційними, а отже і динамічними навантаженнями.

3. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО КОМБІНОВАНОГО ПРИВОДА МАЛЬТІЙСЬКОГО МЕХАНІЗМУ

Для зміни величини відносної тривалості повороту хреста, а також для покращення кінематики та динаміки механізму застосовуємо привод хреста від повнообертової куліси (рис. 3.1).

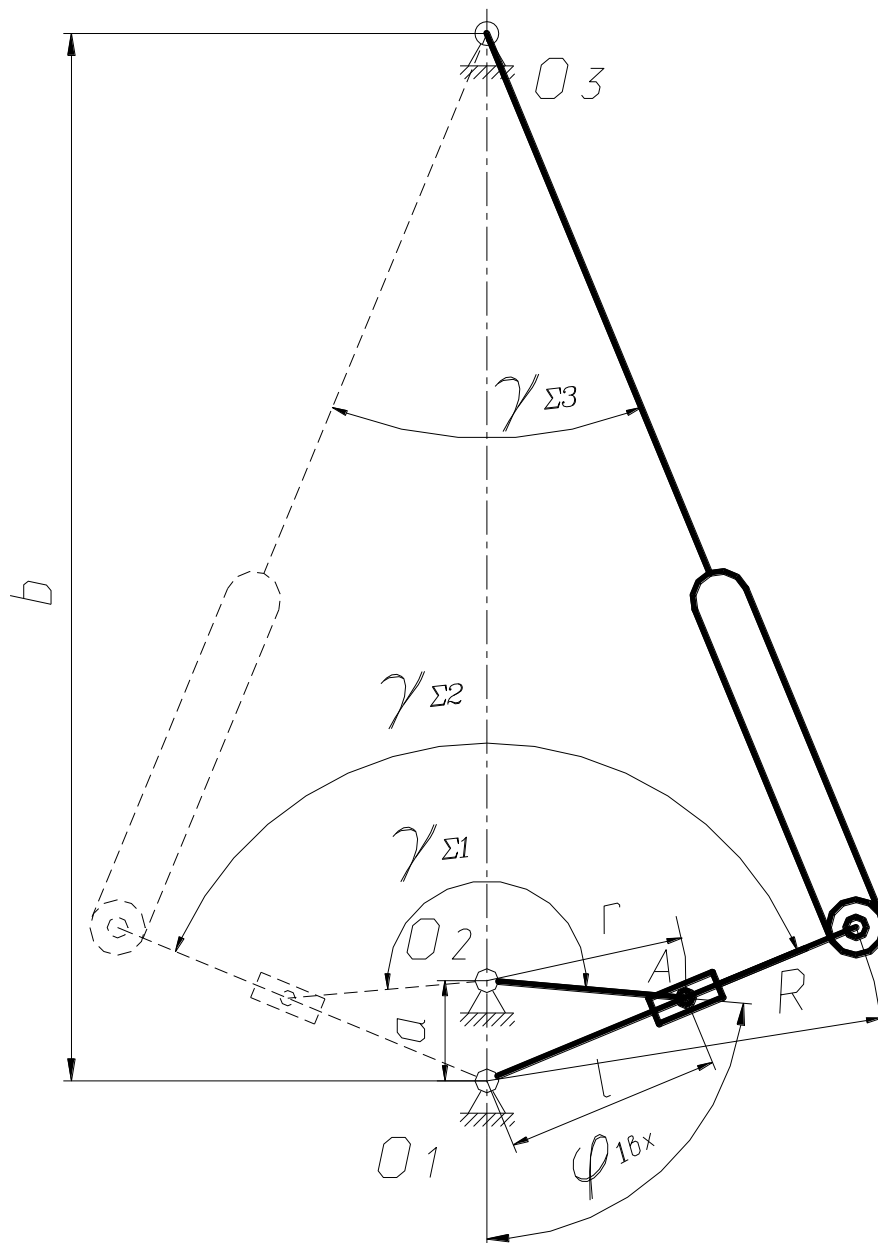


Рисунок - 3.1. Кінематична схема комбінованого приводу мальтійського механізму від повнообертової куліси

Кінематична схема запропонованого механізму відрізняється від вихідного мальтійського механізму тим, що водило R обертається не з постійною кутовою швидкістю, як у вихідному механізмі, а приводиться від кривошипа r . Кривошип, обертаючись з постійною кутовою швидкістю, надає водилу нерівномірного руху. Проаналізувавши дану схему, можна зробити висновок, що водило рухатиметься із змінною кутовою швидкістю, максимальне значення якої буде при мінімальному значенні плеча l в міру наближення ролика до пазу мальтійського хреста кутова швидкість буде зменшуватися, доки плече l не досягне максимального значення.

Важливою характеристикою такого механізму є параметр λ - це співвідношення величини базовідстані a до довжини кривошипа r .

$$\lambda = \frac{a}{r} < 1$$

Кут повороту хреста за один цикл становить:

$$\gamma_{\Sigma 3} = \frac{360}{z} = \frac{2 \cdot \pi}{z},$$

де z – кількість пазів хреста.

Кут повороту водила за час повороту хреста становить:

$$\gamma_{\Sigma 2} = \pi - \frac{2 \cdot \pi}{z}$$

Кут повороту кривошипа у момент входження ролика водила у паз мальтійського хреста:

Згідно рисунка складаємо рівняння:

$$a = r \cdot \cos \varphi_{1ex} + l \cdot \cos 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}$$

$$r^2 = a^2 + l^2 - 2 \cdot a \cdot l \cdot \cos 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}$$

Розв'язком системи рівнянь буде вираз:

$$\varphi_{1ex} = \pi - \arccos[|\cos \varphi_{2ex}| \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi_{2ex}} - \lambda \cdot \sin^2 \varphi_{2ex}]$$

Кут повороту кривошипу за час повороту хреста визначається з наступної системи рівнянь:

$$l^2 = a^2 + r^2 - 2 \cdot a \cdot r \cdot \cos(180 - 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 1})$$

$$a = l \cdot \cos(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}) + r \cdot \cos(180 - 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 1})$$

Розв'язком цієї системи рівнянь буде вираз:

$$\gamma_{\Sigma 1} = 2 \cdot \arccos(-\lambda \cdot \sin^2(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}) - \sqrt{\lambda^2 \cdot \sin^4(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}) - \lambda^2 + \cos^2(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}) + \lambda^2 \cdot \cos^2(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2})})$$

Надалі дослідження кінематики механізму будемо проводити при куті повороту кривошипа:

$$\varphi_{1\text{ex}} \leq \varphi_1 \leq \varphi_{1\text{ex}} + \varphi_{\Sigma 1}$$

Знаходимо кутові переміщення водила в будь - який момент часу. Для знаходження кінематичних залежностей, які характеризують рух водила побудуємо кінематичну схему (рис. 3.2).

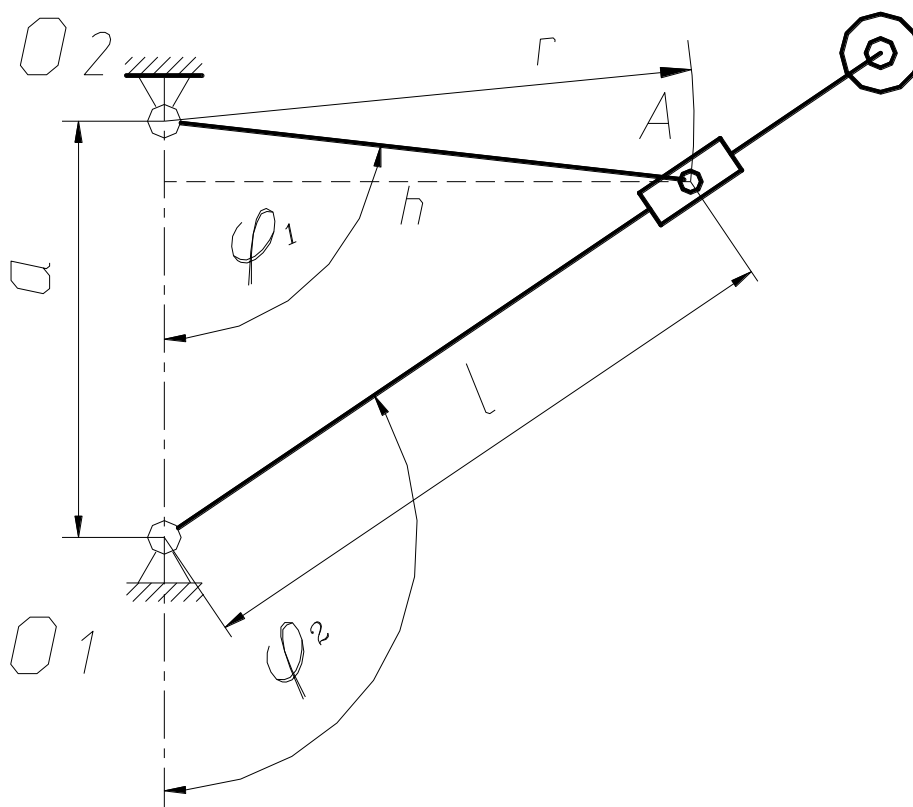


Рисунок - 3.2. Схема для знаходження кінематичних залежностей кулісного механізму

Згідно рис. 3.2. складаємо систему рівнянь:

$$h = r \cdot \sin \varphi_1;$$

$$\operatorname{tg}(180^\circ - \varphi_2) = \frac{h}{a - r \cdot \cos \varphi_1}.$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, отримаємо вираз для знаходження кута повороту водила в залежності від кута повороту кривошипа:

$$\varphi_2 = \pi - \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi_1}{\lambda - \cos \varphi_1}$$

Взявши похідні від φ_2 , знаходимо інваріанти кутової швидкості та кутового прискорення водила.

$$\omega_{2i} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{1 - \lambda \cdot \cos \varphi_1}{\lambda^2 + 1 - 2 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi_1}$$

$$\varepsilon_{2i} = \frac{d\varphi_2^2}{d\varphi_1^2} = \frac{\lambda \cdot \sin \varphi_1 \cdot (\lambda^2 - 1)}{(\lambda^2 - 2 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi_1 + 1)^2}$$

З отриманих залежностей слідує, що максимальне значення кутової швидкості куліси відповідає положенню при $\varphi_1 = 0$, а максимальне - $\varphi_1 = \pi$. При цьому максимальне та мінімальне значення інваріантів кутової швидкості куліси визначається за формулами:

$$\omega_{2i\max} = \frac{1}{1 - \lambda_1};$$

$$\omega_{2i\min} = \frac{1}{1 + \lambda_1}.$$

Знаходимо кутові переміщення хреста. Із геометричної схеми рис. 3.3 випливає:

$$\operatorname{tg}(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 3} - \varphi_3) = \frac{r \cdot \sin(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} - \varphi_2)}{b - \cos(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} - \varphi_2)},$$

звідки поточні кути повороту хреста, які відраховуються від його початкового положення, дорівнюють:

$$\varphi_3 = 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 3} - \operatorname{arctg} \frac{\sin(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} - \varphi_2)}{\frac{b}{R} - \cos(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} - \varphi_2)}$$

$$\varphi_3 = 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 3} - \operatorname{arctg} \frac{\sin(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} - \varphi_2)}{\frac{b}{R} - \cos(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} - \varphi_2)}$$

$$\varphi_3 = 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 3} - \arctg \frac{\sin(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} + \arctg \frac{\sin \varphi_1}{\lambda - \cos \varphi_1})}{\lambda_1 - \cos(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2} + \arctg \frac{\sin \varphi_1}{\lambda - \cos \varphi_1})},$$

$$\text{де } \lambda_1 = \frac{b}{R}.$$

Знайшовши похідні першого та другого порядку від кута φ_3 отримаємо інваріанти кутової швидкості ω_{3i} та кутового прискорення ε_{3i} хреста.

$$\omega_{3i} = \varphi_3' = \frac{d\varphi_3}{d\varphi_1};$$

$$\varepsilon_{3i} = \varphi_3'' = \frac{d^2\varphi_3}{d\varphi_1^2}.$$

Похідні від кута знаходимо у системі Mathcad.

3.1. Аналіз кінематичних та динамічних характеристик вихідного та комбінованого мальтійських механізмів

Для порівняння кінематичних характеристик вихідного та комбінованого мальтійських механізмів наведемо графіки інваріантів кутової швидкості та кутового прискорення хреста.

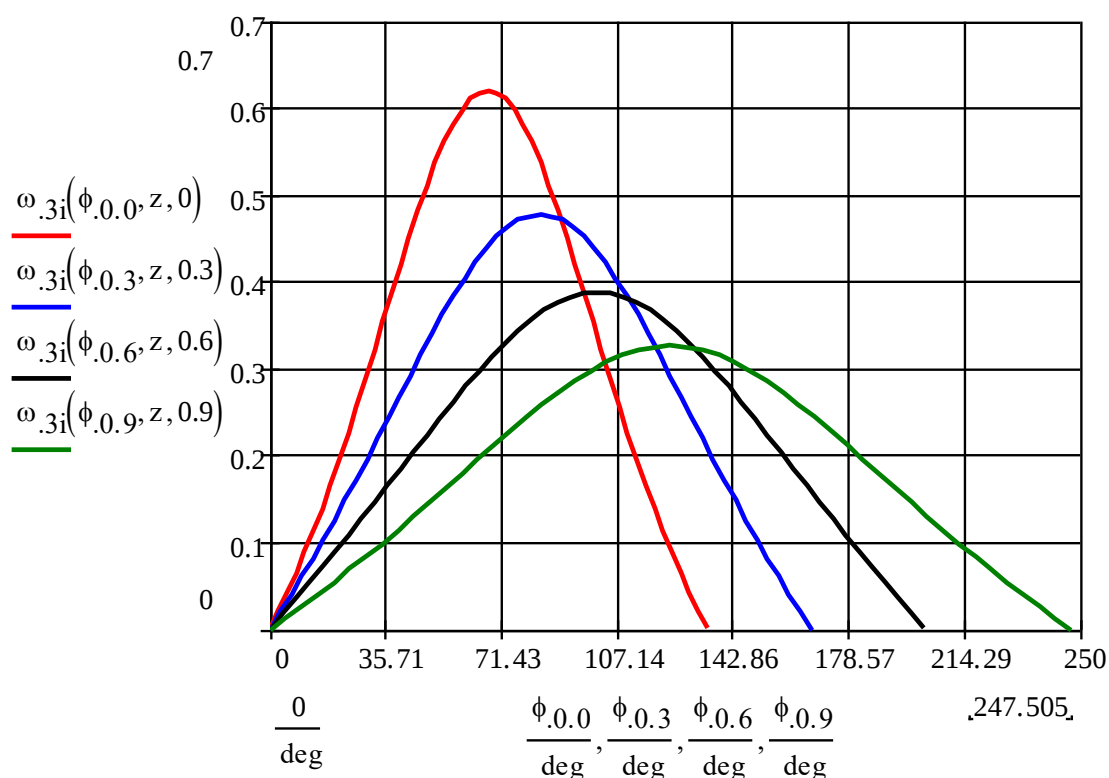


Рисунок - 3.4. Інваріанти кутової швидкості хреста комбінованого мальтійського механізму при різних значеннях параметру λ

На рисунках представлено відповідно графіки інваріантів кутової швидкості та кутового прискорення хреста мальтійського механізму з комбінованим приводом при кількості пазів хреста $z=8$ та різних значеннях параметру λ – $\omega_{3i}(\phi_{k,k}, z, \lambda)$. Із рівності $\lambda = \frac{a}{r}$ випливає, що при $\lambda = 0$, комбінований механізм перетворюється у вихідний. Як показує рисунок вихідний механізм характеризується найкоротшим періодом робочого циклу і найбільшим максимальним значенням інваріанта кутової швидкості. При збільшенні параметру λ період робочого циклу також збільшується, а максимальне значення інваріанта кутової швидкості хреста – зменшується. Графік залежності інваріанта кутової швидкості хреста від параметру λ зображено на рис. 3.5.

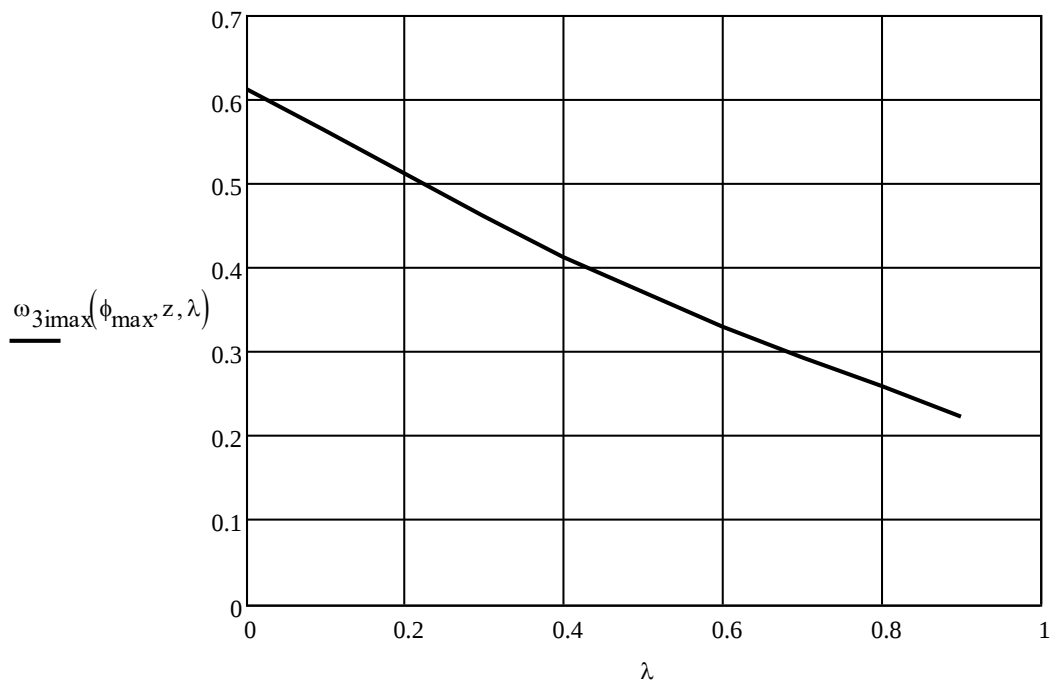


Рисунок - 3.5. Графік залежності максимальних значень інваріантів кутової швидкості хреста від параметру λ

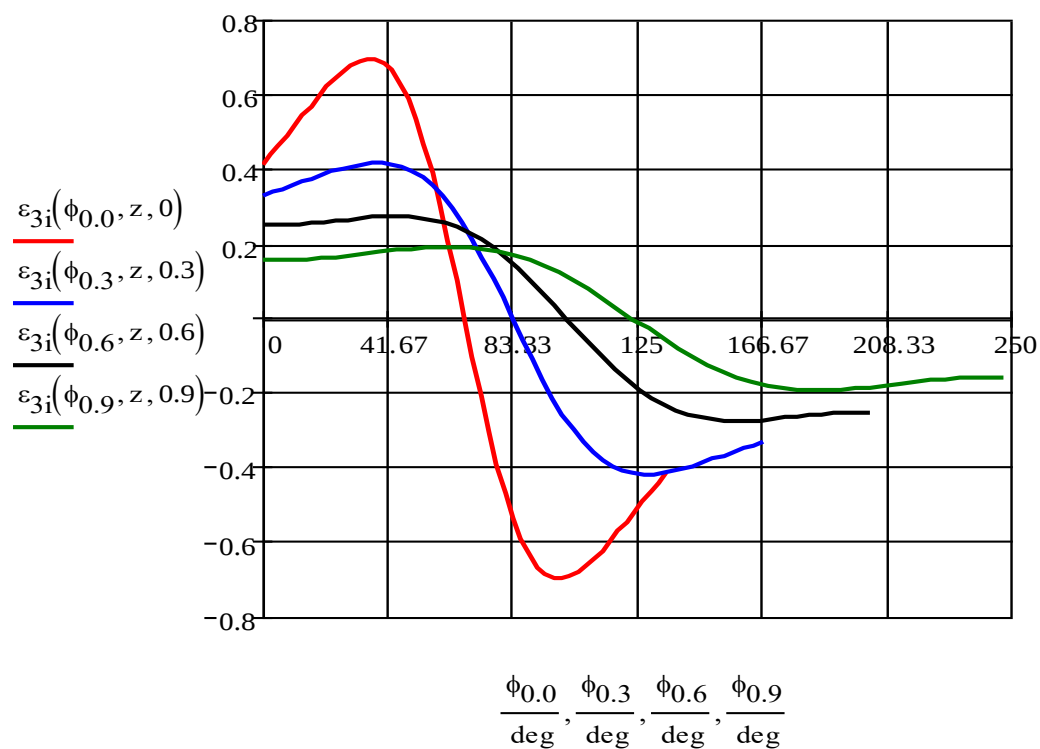


Рисунок - 3.6. Інваріанти кутового прискорення хреста комбінованого мальтійського механізму при різних значеннях параметру λ

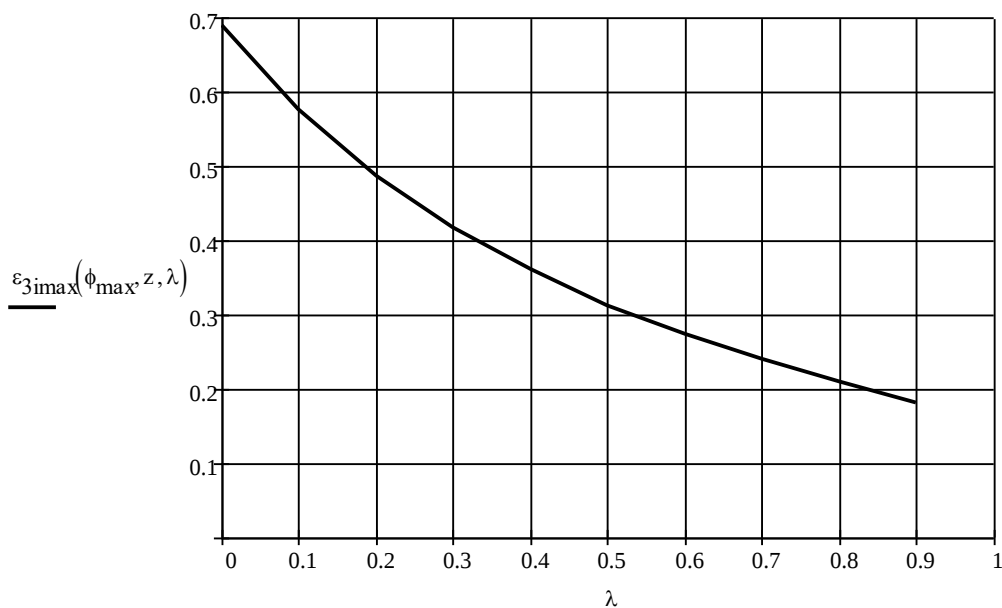


Рисунок - 3.7. Графік залежності максимальних значень інваріантів кутового прискорення хреста від параметру λ

Інваріанти кінетичної потужності обчислюємо за формулою:

$$N_{3i} = \omega_{3i} \cdot \varepsilon_{3i}$$

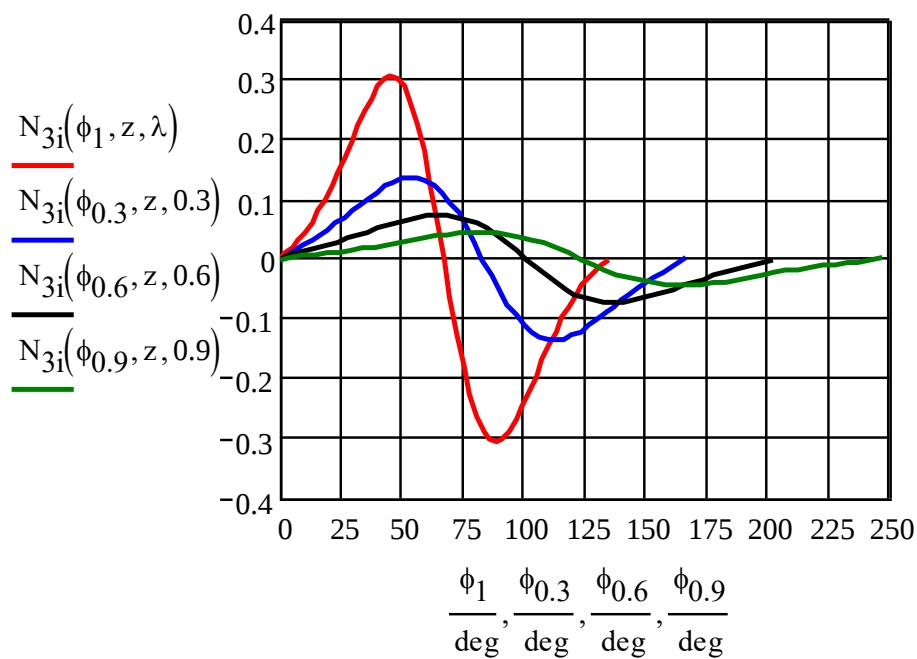


Рисунок - 3.8. Графіки інваріантів кінетичної потужності при різних значеннях параметру λ

3.2. Розрахунок кінематичних та динамічних характеристик запропонованого комбінованого мальтійського механізму

Розрахунки проводимо для восьми пазового механізму із співвідношенням $\lambda = a/r = 0.5$.

Знаючи продуктивність машини, знайдемо кутову швидкість обертання кривошипа:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 60}{30} = 6.28(c^{-1}).$$

Інваріанти кутової швидкості та кутового прискорення водила знаходимо за формулами:

$$\omega_{2i} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{1 - \lambda \cdot \cos \varphi_1}{\lambda^2 + 1 - 2 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi_1};$$

$$\varepsilon_{2i} = \frac{d\varphi_2^2}{d\varphi_1^2} = \frac{\lambda \cdot \sin \varphi_1 \cdot (\lambda^2 - 1)}{(\lambda^2 - 2 \cdot \lambda \cdot \cos \varphi_1 + 1)^2}.$$

Кутова швидкість водила дорівнює:

$$\omega_2 = \omega_{2i} \cdot \omega_1.$$

Кутове прискорення водила дорівнює:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{2i} \cdot \omega_1^2.$$

Результати розрахунків наведемо у вигляді таблиць та графіків.

Таблиця 3.1

Кутова швидкість та кутове прискорення водила

$\phi_1 =$	$\omega_2(\phi_1, z, \lambda) =$	$\varepsilon_2(\phi_1, z, \lambda) =$
0	5.17	-10.91
19	4.72	-6.46
38	4.45	-3.86
57	4.3	-2.19
76	4.21	-1
95	4.19	$24 \cdot 10^{-13}$
114	4.21	1
133	4.3	2.19
152	4.45	3.86
171	4.72	6.46
190	5.17	10.91

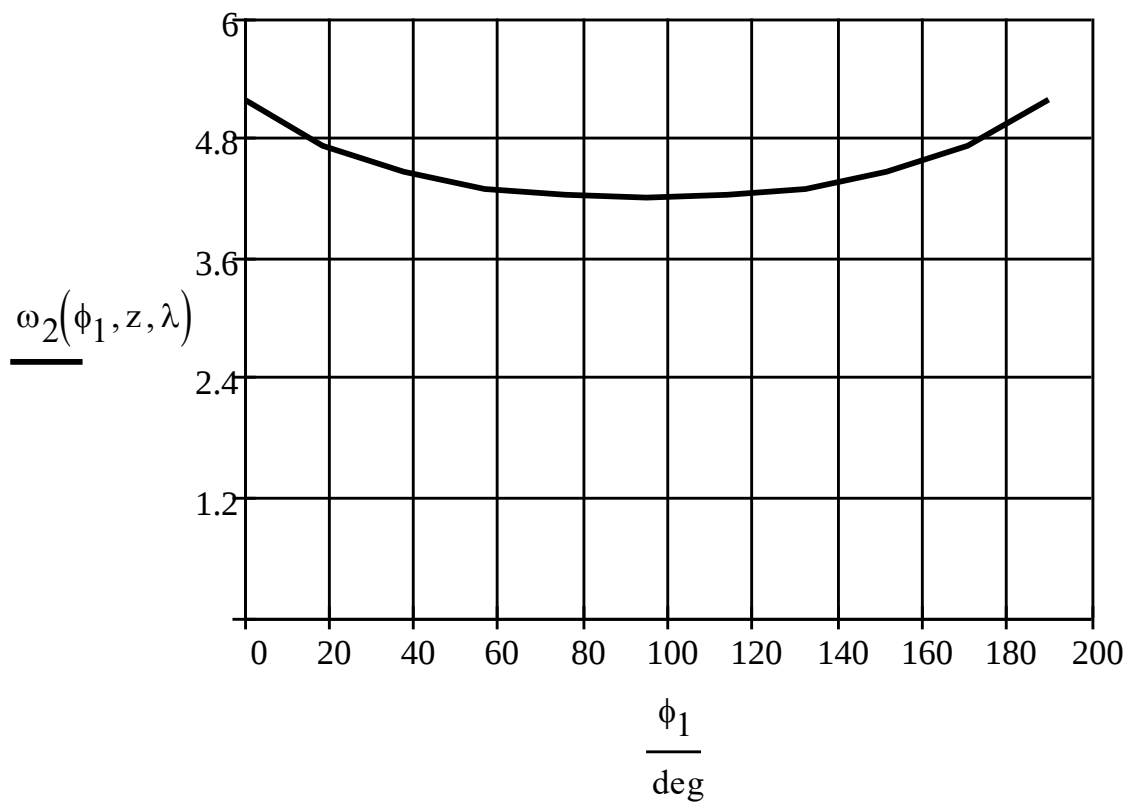


Рис. 3.5. Графік кутової швидкості водила

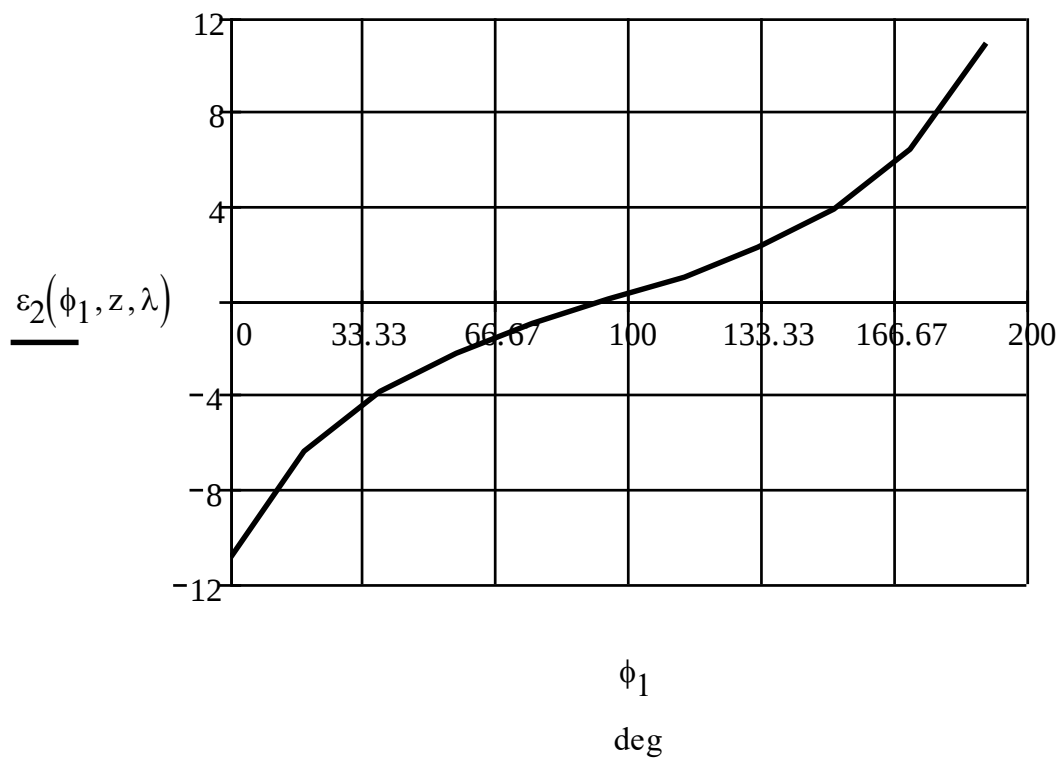


Рисунок - 3.6. Графік кутового прискорення водила

Кутова швидкість хреста дорівнює:

$$\omega_2 = \omega_{2i} \cdot \omega_1.$$

Кутове прискорення хреста дорівнює:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{2i} \cdot \omega_1^2.$$

Результати розрахунків наведемо у вигляді таблиць та графіків.

Таблиця 3.2.

Кутова швидкість та кутове прискорення хреста

$\phi_1 =$	$\omega_3(\phi_1, z, \lambda) =$	$\varepsilon_3(\phi_1, z, \lambda) =$
0	0	11.06
19	0.6	11.63
38	1.23	12.37
57	1.87	11.56
76	2.39	7.41
95	2.6	12·10-13
114	2.39	-7.41
133	1.87	-11.56
152	1.23	-12.37
171	0.6	-11.63
190	5·10-11	-11.06

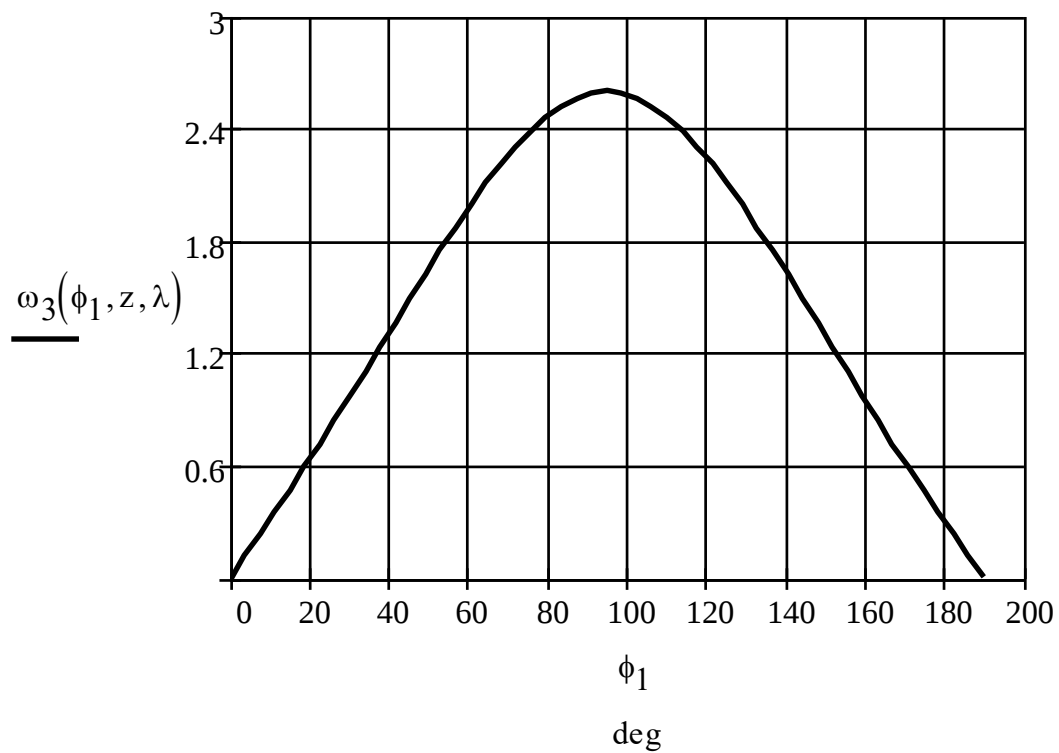


Рисунок - 3.7. Графік кутової швидкості хреста

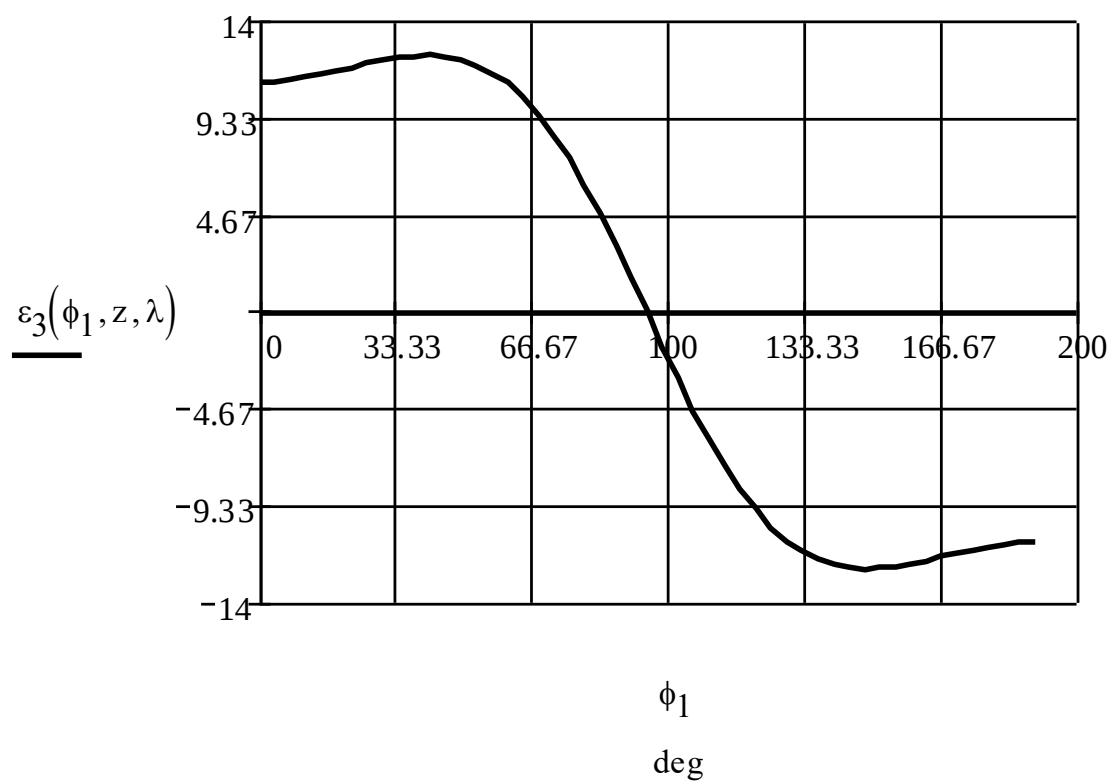


Рисунок - 3.8. Графік кутового прискорення хреста

Кінетична потужність, необхідна для періодичного повороту хреста і мас, зведених до нього:

$$N_k = M_{\text{ін}} \cdot \omega_3 = N_{3i} \cdot [J \cdot \omega_1^3], \text{ де}$$

J – момент інерції каруселі ($J=35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$).

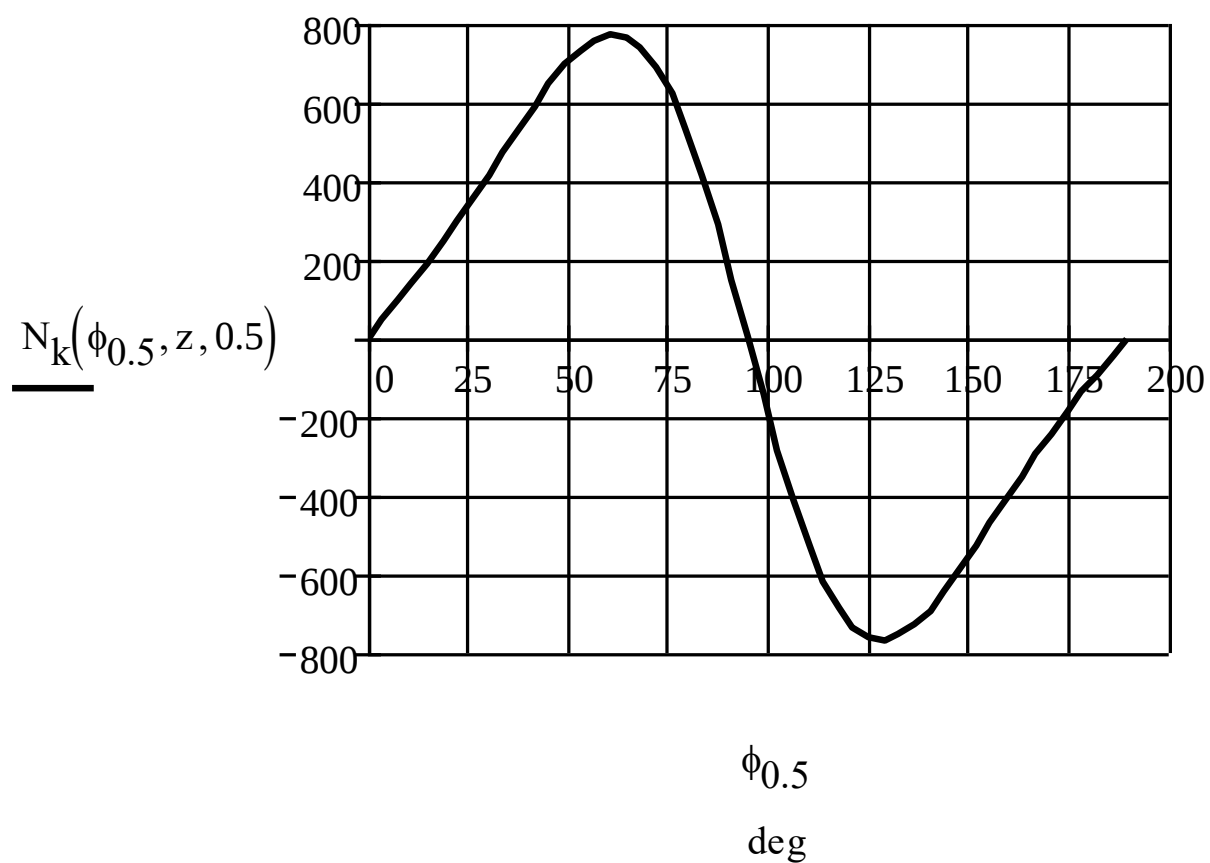


Рисунок - 3.9. Графік кінетичної потужності

3.3. Розрахунки на міцність

3.3.1. Розрахунок діаметрів валів

Для розрахунку на міцність деталей механізму знаходимо кут повороту кривошипа, при якому інерційні навантаження будуть найбільшими. При $z=8$, $\lambda=0,5$ найбільше значення добутку $\omega_{3i} \cdot \varepsilon_{3i}$ буде при $\varphi=61.55$; $\omega_{3i}=0.32$, $\varepsilon_{3i}=0.28$, $\omega_{3i} \cdot \varepsilon_{3i}=0.08$

Кутова швидкість хреста буде становити:

$$\omega_3 = \omega_{3i} \cdot \omega_1 = 0.32 \cdot 6.28 = 2.0 \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_{3i} \cdot \omega_1^2 = 0.28 \cdot 6.28^2 = 11.0 \text{ (с}^{-2}\text{)}$$

Момент інерції каруселі $J=35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент від сил інерції на валу хреста буде становити:

$$M_3 = \varepsilon_3 \cdot J = 11.0 \cdot 35 = 385 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність, необхідна для повороту хреста:

$$N_3 = M_3 \cdot \omega_3 = 385 \cdot 2.0 = 770 \text{ Вт}$$

Потужність на валу кривошипа:

$$N_1 = N_3 \cdot \Theta = 770 \cdot \frac{1}{0.8} = 962 \text{ Вт}$$

Момент на валу кривошипа:

$$M_1 = \frac{N_1}{\omega_1} = \frac{962}{6.28} = 153 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо діаметр вала з умови міцності на кручення:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_1}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 153}{\pi \cdot 30 \cdot 10^6}} \cdot 10^3 = 29.6 \text{ мм.}$$

Приймаємо $d_1=40\text{мм}$.

Таким чином міцність вала забезпечується.

Для забезпечення міцності осі водила приймаємо її діаметр $d_2=40\text{мм}$.

Визначаємо діаметр вала хреста з умови міцності на кручення:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_3}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 385}{\pi \cdot 30 \cdot 10^6}} \cdot 10^3 = 40.3 \text{ мм.}$$

Для забезпечення стійкості валу приймаємо $d=90\text{мм}$.

3.3.2. Розрахунок діаметра пальця ролика

Діаметр пальця ролика знаходимо за формулою:

$$d = \sqrt{7.2 \cdot F_p \cdot \psi \cdot [\sigma]_{\text{зе}}^{-1}},$$

де $F_p = M_2 / R = 250 / 0.127 = 1968 \text{ Н}$

$$M_2 = \frac{N_2}{\omega_2} = \frac{1026}{4.1} = 250 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$N_2 = N_3 \cdot \Theta = 770 \cdot \frac{1}{0.75} = 1026 \text{ Вт}$$

$$\omega_2 = \omega_{2i} \cdot \omega_1 = 0.66 \cdot 6.28 = 4.1, \text{ с}^{-1}$$

$$d = \sqrt{7.2 \cdot 1968 \cdot 1.3 \cdot 120^{-1}} = 12.4 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр пальця $d=30\text{мм}$.

Таким чином міцність забезпечується.

3.3.3. Перевірка міцності шпонкових з'єднань

Для передачі крутних моментів застосовуємо призматичні шпонки по ГОСТ 23360-78.

Матеріал шпонок Сталь35, для якої:

$$[\sigma]_{\text{зм}} = 220 \text{ МПа, тоді:}$$

$$[\tau_{\text{зр}}] = 90 \text{ МПа.}$$

Перевірка шпонки кривошипу:

Перевіряємо шпонки на зминання за формулою:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot (h - t_1) \cdot l_p} \leq [\sigma]_{\text{зм}}, \text{ де}$$

T - крутний момент на валу;

d – діаметр валу в місці встановлення шпонки;

h – висота шпонки;

l_p – розрахункова довжина шпонки;

$[\sigma_{зм}]$ – допустимі напруження зминання.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 153 \cdot 10^3}{40 \cdot (8-5) \cdot 40} = 63 \text{ МПа} < 220 \text{ МПа}$$

Перевіримо також шпонку на зріз

$$\tau_{зр} = \frac{2M_{кр}}{d \cdot l \cdot b} \leq [\tau_{зр}], \text{де}$$

$[\tau_{зр}]$ – допустимі напруження на зріз;

b – ширина шпонки ($b = 12$ мм).

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 153 \cdot 10^3}{40 \cdot 40 \cdot 12} = 16 \text{ МПа} \leq 90 \text{ МПа}.$$

Таким чином, міцність з'єднання є достатньою.

Перевірка шпонки мальтійського хреста:

за напруженнями зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 385 \cdot 10^3}{120 \cdot (14-9) \cdot 70} = 18.3 \text{ МПа}$$

за напруженнями зрізу:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 385 \cdot 10^3}{120 \cdot 70 \cdot 22} = 4.1 \text{ МПа} \leq 90 \text{ МПа}$$

отже, міцність шпонки забезпечується.

3.3.4. Перевірка міцності водила мальтійського хреста

Конструкція водила виконана таким чином, що до тіло водила має форму важеля, до якого зроблено прилив у формі ластівчиного хвоста. При неправильному виборі ширини ластівчиного хвоста можливе руйнування водила. Тому виконуємо перевірку міцності водила на зріз.

$$\tau_{зр} = \frac{M_1 / r}{A_{зр}} \leq [\tau_{зр}], \text{де}$$

r – радіус кривошипа;

$A_{зр}$ – площа перерізу по якій відбувається зріз;

$[\tau_{зр}]$ – допустимі напруження на зріз ($[\tau_{зр}] = 90 \text{ МПа}$).

$$\tau_{зр} = \frac{153 / 63 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 60 \cdot 10^{-6}} = 0.25 \text{ МПа} \leq 90 \text{ МПа}.$$

Таким чином, міцність водила є достатньою.

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті проведений аналіз кінематичних та динамічних характеристик вихідного та комбінованого мальтійських механізмів. Як показали розрахунки, динамічні навантаження у комбінованого механізму є значно меншими ніж у вихідного.

Розроблено конструкцію вузла комбінованого мальтійського механізму. Механізм мальтійського хреста виконаний у вигляді окремого вузла. Механізм складається з рами, в циліндричному отворі якої розміщено вал мальтійського хреста. До рами кріпляться два кронштейни. В одному з кронштейнів встановлено вал, на якому фіксується кривошип з одного боку, і зубчасте колесо з іншого. Другий кронштейн призначений для фіксації осі, на якій встановлено водило.

Механізм приводиться в рух зубчастим колесом, яке встановлене на одному валу з кривошипом. На палець кривошипа запресовується пластина до якої кріпляться планки у вигляді ластівчиного хвоста. У нижній частині водила зроблено спеціальний прилив – напрямну, також у вигляді ластівчиного хвоста. Таким чином кулісна модель механізму конструктивно виконана у вигляді пари тертя ковзання – ластівчин хвіст. Для зменшення тертя в парі ковзання передбачено мащення за допомогою прес масльонок. Оскільки продуктивність машини є не високою, вали встановлені у підшипниках ковзання.

Мальтійський механізм є одним із класичних механізмів переривчастого обертального руху. Його основне призначення полягає в тому, щоб перетворювати безперервне обертання ведучої ланки у кроковий рух веденого колеса з періодичними зупинками. Такий принцип використовується у багатьох машинах, де необхідне точне позиціонування і наявність технологічної паузи.

Основними деталями механізму є ведучий диск або кривошип, ведучий палець, ведене колесо з пазами та фіксуючі поверхні. Ведучий палець входить у паз, повертає ведене колесо на один крок, після чого виходить із паза. Під час паузи

ведене колесо утримується у нерухомому положенні. Саме така взаємодія деталей пояснює переривчастий характер руху.

Зовнішні мальтійські механізми є найпоширенішими завдяки простоті та компактності. Внутрішні механізми відрізняються геометрією, напрямом обертання та співвідношенням часу руху і паузи. Вибір конкретного типу залежить від конструктивних обмежень, потрібного закону руху, швидкості роботи та умов навантаження.

До переваг мальтійських механізмів належать простота, надійність, фіксований кутовий крок, точність позиціонування і природна пауза в циклі. До недоліків належать ударність, вібрації, обмежена гнучкість, підвищений знос за високих швидкостей і необхідність точного виготовлення деталей. Тому механізм доцільно застосовувати там, де потрібне просте механічне індексування, але не потрібне складне програмне керування рухом.

У техніці мальтійські механізми використовуються в кінопроекторах, верстатах, автоматичних лініях, пакувальному обладнанні, індексних столах і приладах точного позиціонування. Вивчення цього механізму має важливе навчальне значення, оскільки дає змогу зрозуміти, як за допомогою геометрії деталей можна отримати потрібний закон руху в машині.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Главацький А.С. Методологічні основи проектування поліграфічних і пакувальних машин. Конспект лекцій, УАД, 2003.
2. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин : підручник. Київ : Наукова думка, 2002. 660 с.
3. Кореняко О. С. Теорія механізмів і машин : навчальний посібник. Київ : Либідь, 1999. 352 с.
4. Полюдов О.М. , Кузнецов В.О., Коломієць А.Б. Розрахунки циклових механізмів поліграфічних і пакувальних машин на персональному комп'ютері (теорія, програми, інструкції); навчальний посібник.– Львів, Вид-во УАД , 2004.
5. Полюдов О.М. Механіка поліграфічних і пакувальних машин. – Львів: УАД, 2005.
6. Конструкції та розрахунки поліграфічного обладнання. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. А. Зенкін, Ю. О. Шостачук, А. І. Іванко. – Електрон. текст. дані (1 файл: 4,29 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 122 с. – Назва з екрана. URI <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73972>.
7. Полюдов О.М., Кузнецов В.О. Автоматизоване проектування кулачкових механізмів , – Львів ; “Фенікс”,1999.
8. Полюдов О.М., Кузнецов В.О. Автоматизований критеріальний синтез комбінованих законів періодичного руху на ПЕОМ. „Технологія і техніка друкарства”. Зб. Наук. Праць. Вип.. 2-3 – Київ. 2004. с. 66-69.
9. Полюдов О.М., Кузнецов В.О. Кінематика планетарного механізму привода ножів машини для тристоронньої обрізки книжкових блоків. „Технологія і техніка друкарства”. Збірник наукових праць. Вип.. 1 – Київ, 2003, с. 51-54.
10. Полюдов О.М., Кузнецов В.О. Розрахунки циклових механізмів

поліграфічних машин на програмованих мікрокалькуляторах . Навчальний посібник .— Львів ; Вид-во ЛДУ , 1994.

11. Приставський З.М., Петрук А.І. Проектування поліграфічних машин — К.: Політехніка , 2001.

12. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навч.посібник. — К.: Вища школа, 1993. — 414с.

13. Тір К.В., Главацький А.С., Петрук А.І. Зрівноважування надлишкових сил головного конвеєра блокообробляючих агрегатів / Поліграфія і видавнича справа. № 6, Львів, 1970.

14. Хведчин Ю.Й. Брошурувально-палітурне устаткування. Ч.1. Брошурувальне устаткування. Підручник / Ю.Й. Хведчин — Львів: ТеРус, 1999. - 336 с.

15. Хведчин Ю.Й. Брошурувально-палітурне устаткування: Ч.2: Палітурне устаткування. Підручник / Ю.Й. Хведчин — Львів: УАД, 2007. - 392 с.

16. Хведчин Ю.Й. Розрахунки механізмів брошурувально-палітурного устаткування: навч. посіб. / Ю.Й. Хведчин. - Львів, УАД., 1999. — 105 с.

17. Чехман Я. І. та ін. Друкарське устаткування. — Л.: УАД.— 2005. — 468 с.

18. Шостачук Ю.О. Техніка і технологія сучасного поліграфічного виробництва: навч. посіб. / Ю.О. Шостачук. - К.: НТУУ «КПІ», 2009. — 244 с.

19. Яременко В. В., Троханяк О. М. Теорія механізмів і машин : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2024. 244 с.

ДОДАТКИ

Програма розрахунку комбінованого мальтійського механізму

$$z := 8 \quad \lambda := 0.5 \quad k := 50 \quad r := 100 \quad a := \lambda \cdot r \quad R_v := a + r + 0.5 \cdot r \quad \pi := 1$$

$$\gamma_{\Sigma 3}(z) := 2 \cdot \frac{\pi}{z} \quad \gamma_{\Sigma 3}(z) = 45.00 \cdot \text{deg}$$

$$\gamma_{\Sigma 2}(z) := \pi - \frac{2 \cdot \pi}{z} \quad \gamma_{\Sigma 2}(z) = 135.00 \cdot \text{deg}$$

$$\phi_{2vx}(z) := \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{z} \quad \phi_{2vx}(z) = 112.50 \cdot \text{deg}$$

$$b := \frac{R_v}{\cos(\pi - \phi_{2vx}(z))} \quad b = 522.63$$

$$\phi_{1vx}(z, \lambda) := \pi - \arccos \left[\lambda \cdot \cos(\phi_{2vx}(z))^2 - \lambda + \sqrt{\cos(\phi_{2vx}(z))^2 \cdot (\cos(\phi_{2vx}(z))^2 \cdot \lambda^2 - \lambda^2 + 1)} \right]$$

$$\phi_{1vx}(z, \lambda) = 84.99 \cdot \text{deg}$$

$$as(z, \lambda) := \pi - \arccos \left[-\lambda \cdot \sin(\phi_{2vx}(z))^2 + \left| \cos(\phi_{2vx}(z)) \right| \cdot \sqrt{1 - (\sin(\phi_{2vx}(z))^2 \cdot \lambda^2)} \right]$$

$$as(z, \lambda) = 84.99 \cdot \text{deg}$$

$$\phi_{1vux}(z, \lambda) := 2 \cdot \pi - 2 \cdot \phi_{1vx}(z, \lambda) \quad \phi_{1vux}(z, \lambda) = 190.02 \cdot \text{deg}$$

$$\phi_{1vux4} := \phi_{1vux}(z, 0.4) \quad \phi_{1vux4} = 178.38 \cdot \text{deg}$$

$$\gamma_{\Sigma 1}(z, \lambda) := 2 \cdot \pi - 2 \cdot \phi_{1vx}(z, \lambda) \quad \gamma_{\Sigma 1}(z, \lambda) = 190.02 \cdot \text{deg}$$

$$\gamma_{\Sigma}(z, \lambda) := 2 \cdot \arccos \left(-\lambda \cdot \sin(0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}(z))^2 - \sqrt{\frac{-1}{4} \cdot \lambda^2 \cdot \sin(\gamma_{\Sigma 2}(z))^2 + \cos(\gamma_{\Sigma 2}(z))^2} \right)$$

$$\gamma_{\Sigma}(z, \lambda) = (360.00 - 53.61i) \cdot \text{deg}$$

$$bb := \frac{\pi}{\cos\left(\frac{\gamma_{\Sigma 1}(z, \lambda)}{2}\right)} \quad \beta := \frac{bb}{\pi}$$

$$bb = -11.45$$

$$\alpha(\phi_1, z, \lambda) := \pi - 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 1}(z, \lambda) + \phi_1$$

$$\phi_2(\phi_1, z, \lambda) := \text{if} \left(\lambda = 0, \phi_1, 0.5 \cdot \gamma_{\Sigma 2}(z) - \arctan \left(\frac{\sin(\alpha(\phi_1, z, \lambda))}{\lambda - \cos(\alpha(\phi_1, z, \lambda))} \right) \right)$$

$$\phi(z, \lambda) := 0, \frac{\gamma_{\Sigma 1}(z, \lambda)}{k} \dots \phi_{1 \text{ max}}(z, \lambda)$$

$$\phi_1 := \phi(z, \lambda)$$

$$\phi_{0.0} := \phi(z, 0)$$

$$\phi_{0.1} := \phi(z, 0.1)$$

$$\phi_{0.2} := \phi(z, 0.2)$$

$$\phi_{0.3} := \phi(z, 0.3)$$

$$\phi_{0.4} := \phi(z, 0.4)$$

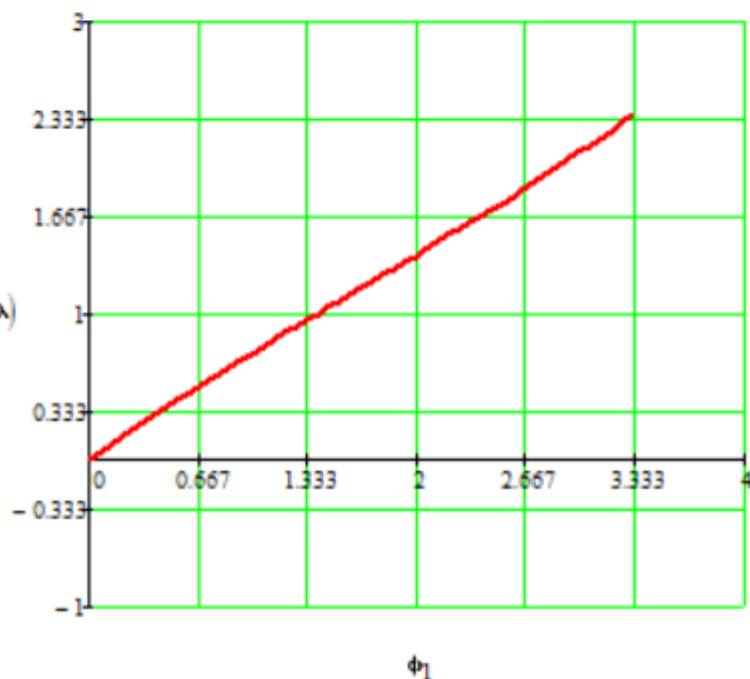
$$\phi_{0.5} := \phi(z, 0.5)$$

$$\phi_{0.6} := \phi(z, 0.6)$$

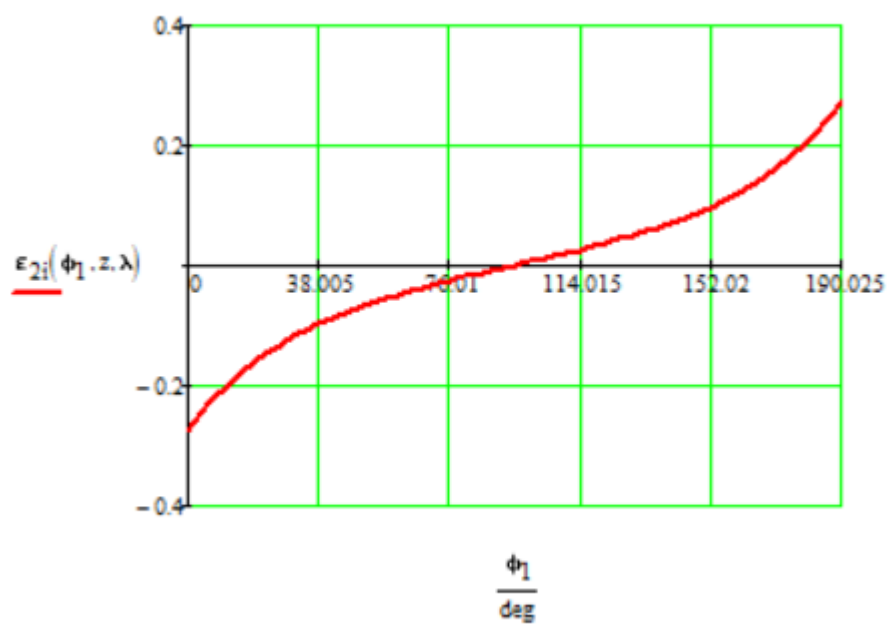
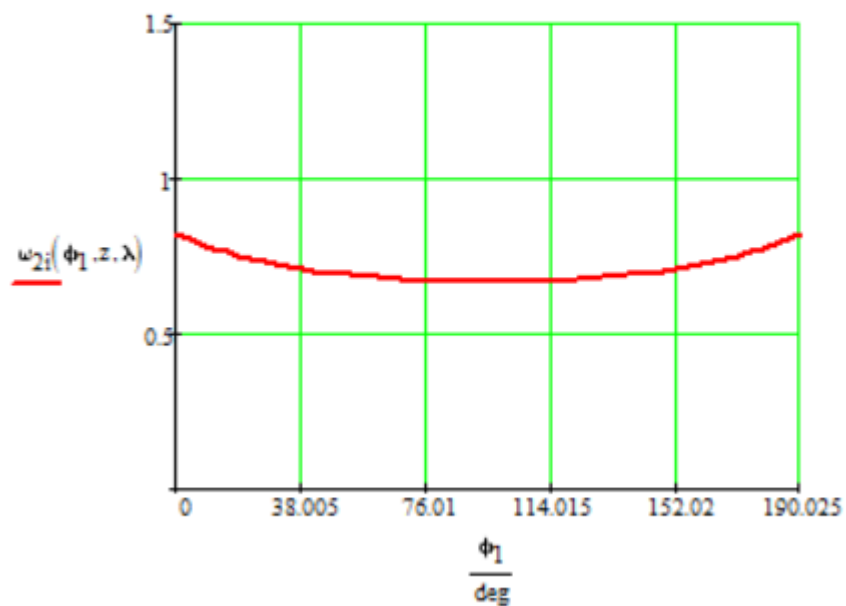
$$\phi_{0.7} := \phi(z, 0.7)^{z, \lambda}$$

$$\phi_{0.8} := \phi(z, 0.8)$$

$$\phi_{0.9} := \phi(z, 0.9)$$



$$\omega_{2i}(\phi_1, z, \lambda) := \frac{d}{d\phi_1} \phi_2(\phi_1, z, \lambda) \qquad \varepsilon_{2i}(\phi_1, z, \lambda) := \frac{d^2}{d\phi_1^2} \phi_2(\phi_1, z, \lambda)$$



$$\omega_1 := \frac{\pi \cdot 60}{30}$$

$$\omega_2(\phi_1, z, \lambda) := \omega_{2i}(\phi_1, z, \lambda) \cdot \omega_1$$

$$\varepsilon_2(\phi_1, z, \lambda) := \varepsilon_{2i}(\phi_1, z, \lambda) \cdot \omega_1^2$$

$\phi_1 =$		$\omega_2(\phi_1, z, \lambda)$	$\varepsilon_2(\phi_1, z, \lambda)$
0	-deg	5.17	-10.91
3.8		5.06	-9.8
7.6		4.96	-8.82
11.4		4.87	-7.94
15.2		4.79	-7.16
19		4.72	-6.46
22.8		4.66	-5.83
26.6		4.6	-5.26
30.4		4.55	-4.75
34.2		4.5	-4.28
38		4.45	-3.86
41.8		4.42	-3.47
45.6		4.38	-3.11
49.4		4.35	-2.78
53.2		4.32	-2.48
57		4.3	-2.19
60.8		4.28	-1.93
64.6		4.26	-1.68
68.4		4.24	-1.44
72.2		4.23	-1.22
76		4.21	-1
79.8		4.21	-0.79
83.6		4.2	-0.59
87.4		4.19	-0.39
91.2		4.19	-0.19
95		4.19	0
98.8		4.19	0.19
102.6		4.19	0.39
106.4		4.2	0.59
110.2		4.21	0.79
114		4.21	1
117.8		4.23	1.22
121.6		4.24	1.44
125.4		4.26	1.68
129.2		4.28	1.93
133		4.3	2.19
136.8		4.32	2.48
—		—	—