

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий видавничо-поліграфічний інститут
Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва**

До захисту допущено:

В. о. Завідувач кафедри

_____ Микола ЗЕНКІН

«__» _____ 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою ««Комп'ютеризовані поліграфічні системи»»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
на тему: «Механізм форгрейферу листової офсетної машини»**

Виконав:

студент (-ка) IV курсу, групи СМ-11

Холявінський Дмитро Сергійович

Керівник:

Керівник доцент кафедри МАПВ, к.т.н., доцент

Гриценко Д.С.

Рецензент:

Доцент каф. ТПВ, к.т.н., доцент

Талімонова Н. Л.

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

Студент _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП СМ11. 00.010 ПЗ	Пояснювальна записка	115	
3	A1	ДП ХХХХ. 01.000 ТК		1	
4	A1	ДП ХХХХ. 02.000 ТК		1	
5	A1	ДП ХХХХ. 03.000 ТК		1	
6	A1	ДП ХХХХ. 04.000 ТК		1	
7	A1	ДП ХХХХ. 05.000 ТК		1	
8	A1	ДП ХХХХ. 06.000 ТК		1	
9	A1	ДП ХХХХ. 07.000 ТК		1	

				ДП СМ11. 00.010 00		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Розробн.	Холявінський Д.С.				1	1
Керівн.	Гриценко Д.С.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. МАПВ Гр. СМ-11	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.	Зенкін М.А.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Механізм форгрейферу листової офсетної машини»**

Київ – 2025 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

_____Микола ЗЕНКІН

« » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студентів
Холявінський Дмитро Сергійович

1. Тема проєкту: «Механізм форгрейфера листової офсетної машини», керівник проєкту Гриценко Дмитро Сергійович, доцент кафедри МАПВ, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. № 1753-с

2. Термін подання студентом проєкту: 13 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до проєкту: завдання до дипломного проєкту, технічна документація, технічна література.

4. Зміст пояснювальної записки: Огляд сучасного стану офсетного листового друкарського обладнання, аналіз механізмів подавання та транспортування аркушів у зоні друку, дослідження конструкції та принципу дії механізму форгрейфера, кінематичний розрахунок механізму форгрейфера офсетної друкарської машини Heidelberg SM102, а також шляхи його удосконалення.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Загальна схема офсетної машини з позначенням

положення форгрейфера, конструктивна будова механізму форгрейфера SM102, кінематична схема механізму форгрейфера, циклограма його роботи, схема кулачкового керування, графіки узгодження швидкостей форгрейфера та друкарського циліндра, деталювання кулачково-важільного механізму приводу форгрейфера.

6. Дата видачі завдання: 03 березня 2025 року .

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд сучасного стану офсетного листового друкарського обладнання	20.04.2025	виконано
2	Аналіз механізмів подавання та транспортування аркушів у зоні друку	05.05.2025	виконано
3	Дослідження конструкції та принципу дії механізму форгрейфера	10.05.2025	виконано
4	Проведення необхідних розрахунків	20.05.2025	виконано
5	Розробка креслень	03.06.2025	виконано

Студент _____ Д. С. Холявінський

Керівник проєкту _____ Д. С. Гриценко

РЕФЕРАТ

Холявінський Дмитро Сергійович. Механізм форгрейфера листової офсетної машини.

Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського",
кафедра Машин та агрегатів поліграфічного виробництва, 2025.

Ця дипломна робота присвячена аналізу та технічним розрахункам механізму форгрейфера офсетної листової друкарської машини Heidelberg SM102. В роботі розглянуто сучасний стан розвитку офсетного друку, класифікацію типів форгрейферів і вимоги до їхньої точності, швидкодії та синхронізації. Описано принцип роботи форгрейфера для стабільної подачі аркуша до друкарського циліндра.

Перший розділ містить огляд провідних виробників друкарського обладнання (Heidelberg, Komori, Koenig & Bauer, Manroland, Mitsubishi, Ryobi), порівняння форгрейферів за конструкцією та характеристиками, а також аналіз тенденцій розвитку механізмів подачі аркуша.

У другому розділі проведено конструктивний аналіз форгрейфера Heidelberg SM102: описано його будову, принцип дії, циклограму роботи та кінематичну схему. Визначено технічні вимоги, переваги й недоліки конструкції, а також варіанти її вдосконалення.

Третій розділ присвячено розрахункам кінематичних параметрів і синхронізації з друкарським циліндром. Наведено формули, алгоритм розрахунків, результати у вигляді графіків і таблиць. Встановлено, що механізм відповідає технічним вимогам і забезпечує стабільну роботу на високих швидкостях.

У роботі запропоновано рекомендації щодо вдосконалення конструкції: поліпшення синхронізації, використання зносостійких матеріалів і модернізація системи регулювання захоплення аркуша для підвищення точності та надійності.

Ключові слова: форгрейфер, офсетний друк, Heidelberg SM102, кінематика, захоплювачі, синхронізація.

ABSTRACT

Diploma thesis on the topic: "Foregripper Mechanism of the Heidelberg SM102 Sheet-Fed Offset Printing Machine"

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Department of Printing Machines and Automated Complexes, 2025.

This thesis is dedicated to the analysis and technical calculations of the gripper mechanism of the Heidelberg SM102 sheetfed offset printing machine. The study examines the current state of offset printing technology, the classification of gripper types, and the requirements for their accuracy, speed, and synchronization. It describes the operating principle of the gripper to ensure stable sheet feeding to the printing cylinder.

The first chapter provides an overview of leading printing equipment manufacturers (Heidelberg, Komori, Koenig & Bauer, Manroland, Mitsubishi, Ryobi), compares grippers by design and characteristics, and analyzes development trends in sheet feeding mechanisms.

The second chapter presents a structural analysis of the Heidelberg SM102 gripper: its construction, operating principle, working cycle diagram, and kinematic scheme are described. The technical requirements, advantages, disadvantages of the design, and improvement options are outlined.

The third chapter focuses on the calculation of kinematic parameters and synchronization with the printing cylinder. It provides formulas, a calculation algorithm, and results presented in graphs and tables. It is established that the mechanism meets technical requirements and ensures stable operation at high printing speeds.

The study also offers recommendations for improving the design: enhancing synchronization, using wear-resistant materials, and modernizing the sheet gripping adjustment system to improve positioning accuracy and reliability.

Keywords:

foregripper, offset printing, Heidelberg SM102, kinematics, grippers, synchronization.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ABSTRACT	7
Вступ.....	10
1. Огляд офсетних листових друкарських машин та їх механізмів форгрейферів представлених на сучасному ринку	13
1.1. Огляд сучасних офсетних листових друкарських машин та застосованих у них механізмів форгрейферів	13
1.2. Класифікація та порівняння різних видів форгрейферів	23
1.3. Опис та схеми різних видів форгрейферів	27
1.4. Технічні вимоги до роботи форгрейфера	30
1.5. Специфіка роботи форгрейферів у складі друкарського агрегату	33
Висновки до розділу 1	37
2. Конструктивний аналіз механізму форгрейфера офсетної листової машини Heidelberg SM - 102	39
2.1. Загальні принципи роботи форгрейфера	39
2.2. Конструктивна будова форгрейфера машини Heidelberg SM 102.....	41
2.3. Кінематична схема та циклограма роботи.....	44
2.4. Технічні вимоги до роботи механізму форгрейфера	47
Висновок до розділу 2	50
3. Розрахунок механізму форгрейфера офсетної листової машини Heidelberg SM102	52
3.1. Розрахунок кінематичних параметрів механізму форгрейфера Heidelberg SM102	52

3.2 Розрахунок кінематичних параметрів механізму форгрейфера Heidelberg SM102	54
Висновок до розділу 3	56
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

ВСТУП

У сучасних умовах поліграфічна промисловість зазнає безпрецедентного тиску з боку ринку щодо підвищення швидкості виробничих процесів, якості друку та оптимізації матеріаловитрат. Офсетний листовий друк залишається провідною технологією для масового виготовлення друкованої продукції, оскільки поєднує високу роздільну здатність, стабільність кольору та можливість роботи з широким спектром матеріалів від тонких глянцевих до щільних картонів. При цьому форгрейфер — механізм подавання окремих аркушів зі стосу — є ключовим вузлом, який визначає ефективність і безперебійність всього технологічного процесу.

За останні десятиліття технологія форгрейферів еволюціонувала від простих фрикційних роликів до складних комбінованих і ультразвукових систем, що використовують інтегровану автоматику, датчики та системи самоналагодження. Незважаючи на різноманітність конструкцій, всі форгрейфери виконують дві основні функції:

1. **Розгон аркуша:** надання швидкості аркушу з нерухомого положення накладного столу до колової швидкості руху друкарського циліндру.
2. **Передача аркуша в захвати друкарського циліндра:** передача аркуша з точною швидкістю у захвати друкарського циліндру першої друкарської секції.

Відмови форгрейфера призводять до різних проблем:

- **подвійного захоплення** аркушів, що викликає накладення зображень,
- **пропуску листів**, що знижує продуктивність,
- **пошкодження країв або поверхні листа**, що збільшує відсоток браку,
- **перевантаження приводу**, що призводить до несправностей та позапланових простоїв.

У зв'язку з цим дослідження конструктивних і експлуатаційних особливостей механізму форгрейфера є надзвичайно актуальним завданням. Це обумовлено наступними факторами:

- **Підвищення швидкостей друку:** сучасні лінії досягають 15 000 арк./год, що вимагає від форгрейфера миттєвої реакції та точного контролю всіх фаз подачі.
- **Різноманітність матеріалів:** від тонких газетних паперів до щільних картонів, лакованих чи текстурованих поверхонь, кожен із яких має свої параметри тертя, жорсткості та всі характеристики, що впливають на ефективність захвату.
- **Енергетична ефективність і екологічність:** сучасні рішення повинні поєднувати мінімальне енергоспоживання вакуумних насосів і приводів з високою продуктивністю.
- **Інтеграція з автоматизованими системами управління:** використання ПЛК, сенсорів та алгоритмів адаптивного налаштування зважаючи на реальні умов роботи.

Мета роботи — здійснити комплексний інженерно-конструкторський, аналітичний та експериментальний аналіз форгрейфера листової офсетної машини Heidelberg SM102 з метою розробки ефективних рекомендацій щодо підвищення надійності, точності та продуктивності механізму.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати еволюцію форгрейферів у світовій поліграфії та визначити ключові конструктивні тенденції.
2. Класифікувати основні типи форгрейферів і порівняти їх експлуатаційні характеристики.
3. Виконати детальний конструктивний аналіз механізму Heidelberg SM102 з описом вузлів та матеріалів.

4. Провести кінематичні та динамічні розрахунки для визначення оптимальних параметрів роботи.
5. Розробити та експериментально перевірити алгоритми налаштування натягу ремня й вакуумного тиску.
6. Оцінити енергетичну ефективність та вібраційну стійкість механізму.
7. Сформулювати практичні рекомендації для виробничої експлуатації та обслуговування форгрейфера.

Об'єкт дослідження — механізм форгрейфера офсетної листової машини Heidelberg SM102.

Предмет дослідження — конструктивні елементи, кінематична схема, динамічні та експлуатаційні характеристики механізму форгрейфера, а також алгоритми його налаштування та обслуговування.

1. ОГЛЯД ОФСЕТНИХ ЛИСТОВИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН ТА ЇХ МЕХАНІЗМІВ ФОРГРЕЙФЕРІВ ПРЕДСТАВЛЕНИХ НА СУЧАСНОМУ РИНКУ

1.1. Огляд сучасних офсетних листових друкарських машин та застосованих у них механізмів форгрейферів

Сучасний ринок поліграфічного обладнання представлений численними моделями офсетних листових друкарських машин, які розрізняються між собою не лише за рівнем автоматизації, форматною областю друку та продуктивністю, а й за типами використаних систем подачі аркуша, зокрема механізмів форгрейферів. Форгрейфер є критичним елементом технологічного ланцюга, оскільки відповідає за точне та стабільне перенесення аркуша від самонакладу до передавального або друкарського циліндра. Надійність і точність роботи цього вузла визначає не лише якість нанесення фарб, але й загальну ефективність роботи друкарської машини.

В огляді нижче розглянуто найбільш поширені моделі офсетних машин провідних світових виробників із докладним аналізом типів форгрейферів, які в них реалізовані, з урахуванням конструктивних схем, способів захоплення аркуша, напрямку передачі та функціональних особливостей.

- **Heidelberg (Німеччина) Speedmaster SM 102:** у цій машині використовується комбінований гойдаючий форгрейфер із нижнім розташуванням відносно похилого стола самонакладу та непрямою передачею аркуша, що здійснюється через передавальний циліндр. Головка форгрейфера має можливість відведення, що дозволяє уникати контакту з циліндром під час холостого ходу та зменшує динамічні навантаження. Швидкість машини сягає 15 000 арк./год. [1].

Heidelberg Speedmaster SM 102

Максимальний формат аркуша: $720 \times 1\,020$ мм

Мінімальний формат аркуша: 340×480 мм

Товщина матеріалу: 0,04–0,6 мм

Максимальна швидкість друку: 15 000 арк./год

Тип форгрейфера: Комбінований гойдаючий форгрейфер із нижнім розташуванням

Передача аркуша: Через передавальний циліндр (непряма передача)



Рис. 1.1 - *Speedmaster SM 102*

- *Speedmaster XL 106*: ця вдосконала модель має збільшений ресурс роликів, зменшені похибки в подачі, вбудовану систему діагностики з HMI-інтерфейсом та удосконалену циклограму синхронізації з іншими вузлами машини. Передача аркуша відбувається через передавальний циліндр для покращення часу позиціонування.



Рис. 1.2 - Speedmaster XL 106

Heidelberg Speedmaster XL 106

Максимальний формат аркуша: 750 × 1 060 мм

Мінімальний формат аркуша: 340 × 480 мм

Товщина матеріалу: 0,03–1,00 мм

Максимальна швидкість друку: 18 000 арк./год

Тип форгрейфера: Комбінований гойдаючий форгрейфер

Передача аркуша: Через передавальний циліндр [1].

Komori (Японія)

- *Lithrone G40*: машина середнього класу, де реалізовано фрикційний форгрейфер із верхнім розташуванням і прямою передачею аркуша на друкарський циліндр. Система має просту конструкцію зі стаціонарною головкою форгрейфера. Робоча швидкість досягає 16 000 арк./год, що робить її конкурентоспроможною на ринку середніх машин.



Рис. 1.3 - Lithrone G40

Komori Lithrone G40

Максимальний формат аркуша: 750 × 1 050 мм

Мінімальний формат аркуша: 360 × 520 мм

Товщина матеріалу: 0,04–0,8 мм

Максимальна швидкість друку: 16 500 арк./год

Тип форгрейфера: Фрикційний форгрейфер з верхнім розташуванням

Передача аркуша: Пряма передача на друкарський циліндр [6].

- *Lithrone GL540*: у цьому варіанті форгрейфер має гойдаючу конструкцію з нижнім розташуванням та вакуумною підсистемою. Завдяки цьому покращується захоплення глянцевого і лакованого матеріалів, а робоча швидкість зберігається на рівні до 17 000 арк./год.



Рис. 1.4 - Lithrone GL540

Komori Lithrone GL540

Максимальний формат аркуша: 730 × 1 030 мм

Мінімальний формат аркуша: 360 × 520 мм

Товщина матеріалу: 0,06–1,0 мм

Максимальна швидкість друку: 17 000 арк./год

Тип форгрейфера: Гойдаючий форгрейфер з нижнім розташуванням

Передача аркуша: Пряма передача до друкарського циліндра [6].

Koenig & Bauer (КБА, Німеччина)

- *Rapida 106*: оснащена комбінованим гойдаючим форгрейфером з непрямою передачею. Основна особливість — автоматичне налаштування кута

нахилу захоплювальних елементів залежно від типу паперу. Наявність нижньої схеми розташування форгрейфера забезпечує плавніший холостий хід та менші інерційні навантаження.

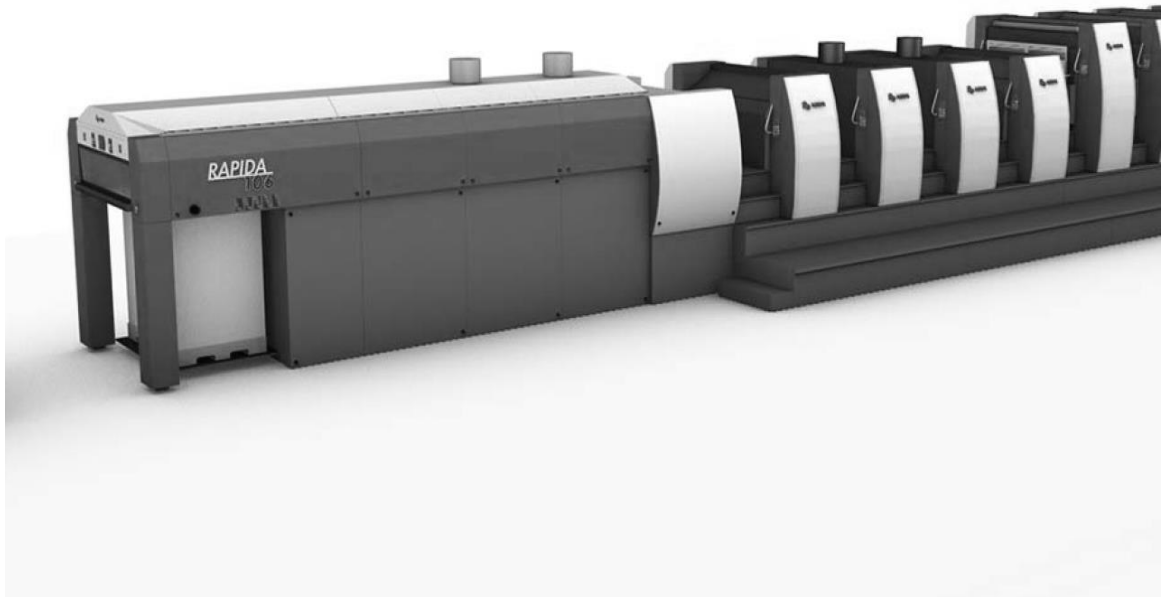


Рис. 1.5 - Rapida 106

КВА Rapida 106

Максимальний формат аркуша: $740 \times 1\,060$ мм

Мінімальний формат аркуша: 340×480 мм

Товщина матеріалу: 0,06–0,7 мм (до 1,2 мм з додатковими опціями)

Максимальна швидкість друку: 18 000 арк./год

Тип форгрейфера: Комбінований гойдаючий форгрейфер з нижнім розташуванням

Передача аркуша: Непряма передача через передавальний циліндр [5].

- *Rapida 205*: застосовано обертову конструкцію форгрейфера з нестатіонарною головкою, що отримує привід від пневмосистеми. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільну швидкість подачі на високих

оборотах друкарського циліндра. Додатково реалізовано демпферні компоненти, що знижують вібрації.



Рис. 1.6 - Rapida 205

КВА Rapida 205

Максимальний формат аркуша: 1 510 × 2 050 мм

Товщина матеріалу: 0,1–1,6 мм

Максимальна швидкість друку: 9 000 арк./год

Тип форгрейфера: Обертовий форгрейфер з нестатіонарною головою

Передача аркуша: Через передавальний циліндр [5].

Manroland (Німеччина)

- *Roland 700 Evolution*: ця модель оснащена вакуумним гойдаючим форгрейфером із прямою передачею аркуша та стаціонарною головою. Система призначена для друку на щільних і складних матеріалах, таких як картон. Машина стабільно працює при швидкості 15 000 арк./год.

Високоточна система вирівнювання забезпечує рівномірне положення аркуша на циліндрі.



Рис. 1.7 - Roland 700 Evolution

Manroland Roland 700 Evolution

Максимальний формат аркуша: $750 \times 1\,050$ мм

Товщина матеріалу: 0,04–1,0 мм

Максимальна швидкість друку: 20 000 арк./год

Тип форгрейфера: Вакуумний гойдаючий форгрейфер з прямою передачею

Передача аркуша: Пряма передача до друкарського циліндра [27].

- *Roland 900*: модернізований варіант попередньої машини, де додатково впроваджено передавальний циліндр і нижній форгрейфер. Удосконалена циклограма руху дозволяє мінімізувати вібраційні навантаження та покращити загальну плавність транспортування аркуша.



Рис. 1.8 - Roland 900

Manroland Roland 900

Максимальний формат аркуша: 1 020 × 1 420 мм

Товщина матеріалу: до 1,2 мм

Максимальна швидкість друку: 13 000 арк./год

Тип форгрейфера: Нижній форгрейфер з передавальним циліндром

Передача аркуша: Через передавальний циліндр

Mitsubishi Heavy Industries (Японія)

- *Diamond 3000*: реалізовано безконтактний вакуумний форгрейфер, що працює за принципом пульсуючого вакууму. Цей варіант є особливо ефективним при друці на делікатних носіях, які легко деформуються при механічному контакті. Машина характеризується низьким рівнем браку завдяки точній дії системи подачі.



Рис. 1.9 - Diamond 3000

Mitsubishi Diamond 3000

Максимальний формат аркуша: $720 \times 1\,030$ мм

Товщина матеріалу: 0,04–0,6 мм

Максимальна швидкість друку: 15 000 арк./год

Тип форгрейфера: Безконтактний вакуумний форгрейфер

Передача аркуша: Пряма, безконтактна подача

Ryobi (Японія)

- *Ryobi 920*: комбінований форгрейфер із вакуумно-фрикційною системою та нижнім розташуванням. Головка є нестатійною, що дає змогу працювати з великою точністю навіть при швидкісному режимі друку. Похибка подачі не перевищує $\pm 0,05$ мм, що забезпечує ідеальне нанесення кольорів.



Рис. 1.10 - Ryobi 920

Ryobi 920

Максимальний формат аркуша: 920 × 640 мм

Товщина матеріалу: 0,04–0,6 мм

Максимальна швидкість друку: 16 000 арк./год

Тип форгрейфера: Комбінований форгрейфер із вакуумно-фрикційною системою

Передача аркуша: Пряма передача на друкарський циліндр

1.2. Класифікація та порівняння різних видів форгрейферів

На основі всебічного огляду сучасних моделей офсетних листових друкарських машин, які масово застосовуються на виробництві в поліграфічній промисловості, можна сформувати детальну й розширену класифікацію механізмів форгрейферів. Такий аналіз необхідний для глибшого розуміння принципів їх роботи, варіантів конструктивного виконання, ефективності

функціонування за різних умов експлуатації, сумісності з широким спектром друкованих матеріалів та рівня інтеграції в автоматизовані виробничі процеси. Форгрейфер, як один із ключових елементів системи подачі аркушів, значною мірою визначає стабільність та точність подачі, а отже — і якість кінцевої продукції.

1. За характером руху механізму форгрейфера:

- *Гойдаючі (маятникові)* — це найрозповсюдженіший тип механізму, у якому рух захоплювального пристрою здійснюється у формі маятника або дуги. Такий рух забезпечує плавну зміну швидкості та напрямку, що важливо для зменшення інерційних навантажень під час високошвидкісної роботи машини. Подібна конструкція є надійною, перевіреною роками експлуатації та сумісною з різними схемами подачі. Основними перевагами є простота реалізації, стабільність захоплення та невелика кількість елементів, що зношуються. Недоліки — обмеження в частоті циклів при надвисоких швидкостях.
- *Обертові* — цей тип механізму передбачає поворот захоплювальної частини навколо фіксованої осі, часто із застосуванням кулачкових або серво-приводних механізмів. Обертові форгрейфери дозволяють досягати високої точності позиціонування на великих швидкостях, але вимагають точного балансування та складнішого технічного обслуговування. Вони активно застосовуються у швидкісних машинах нового покоління.

2. За просторовим розташуванням відносно самонакладного стола:

- *Верхні* — такі форгрейфери розміщуються над зоною подачі аркушів і вступають у взаємодію з листом лише після завершення його транспортування вирівнювальним механізмом. Це забезпечує повний контроль за положенням аркуша, однак ускладнює конструкцію машини за

рахунок необхідності підвищення її висоти та жорсткості елементів. Використовуються в машинах із вертикальною схемою подачі.

- *Нижні* — встановлюються нижче рівня подаючого стола, що дозволяє здійснити захоплення аркуша раніше й точніше. Завдяки зменшенню часу холостого ходу та інерції системи, нижні форгрейфери забезпечують вищу продуктивність і плавність подачі. Вони особливо ефективні при роботі з тонкими, деформованими або високошвидкісними тиражами.

3. За методом передачі аркуша до наступного вузла друкарської машини:

- *З прямою передачею* — у такій конструкції аркуш безпосередньо передається з форгрейфера на друкарський циліндр без проміжних вузлів. Це дозволяє зменшити загальну кількість механічних елементів, знизити втрати на кожному етапі та забезпечити компактність конструкції. Але при цьому є менше часу для вирівнювання аркуша, що обмежує точність на високих швидкостях.
- *З непрямою передачею* — тут аркуш спочатку потрапляє на передавальний (проміжний) циліндр, де продовжується процес його вирівнювання і стабілізації, після чого він передається на друкарський циліндр. Це дає змогу точніше скорегувати положення аркуша перед друком. Такі системи є складнішими, проте дозволяють досягати вищої точності та стабільності в багатофарбовому друці.

4. За конструкцією та функціональністю головки форгрейфера:

- *Стационарна головка* — має фіксовану траєкторію і не змінює свого положення в межах циклу. Це найпростіший у реалізації варіант, який добре працює на середніх швидкостях. Однак він менш гнучкий у налаштуваннях та може створювати ризик контакту з циліндрами при зміні формату або в нестандартних режимах роботи.

- *Нестатіонарна головка* — має змогу відхилятись, підніматись або обертатись у фазі холостого ходу, що дозволяє уникати контакту з іншими вузлами та забезпечити гнучку адаптацію до різних режимів подачі. Це зменшує зношення механізмів, знижує шум, покращує безпеку експлуатації та розширює функціональність машини.

5. За принципом утримання аркуша під час робочого ходу:

- *Фрикційні* — працюють за рахунок сили тертя між захватним елементом (як правило, гумовим роликом або накладкою) і аркушем. Підходять для стандартних матеріалів, але мають обмеження при роботі з глянцевиими, лакованими або вологими поверхнями. Перевагою є простота і низька вартість.
- *Вакуумні* — використовують розрідження повітря для надійного втримання аркуша. Вони дозволяють працювати з широким спектром матеріалів, включаючи складні та делікатні. Є більш енерговитратними, але вигідні з точки зору точності подачі.
- *Комбіновані* — поєднують переваги фрикційного й вакуумного захоплення. Це найпоширеніший варіант у високошвидкісних машинах, особливо при потребі стабільної подачі в умовах зміни характеристик паперу протягом тиражу.

Таблиця 1.1 Порівняння основних типів форгрейферів

Тип форгрейфера	Точність подачі	Продуктивність	Складність конструкції	Гнучкість налаштування	Універсальність застосування
Фрикційні	Середня	Середня	Низька	Низька	Середня
Вакуумні	Висока	Висока	Висока	Середня	Висока
Комбіновані	Висока	Дуже висока	Висока	Висока	Висока
Ультразвукові	Дуже висока	Середня	Дуже висока	Дуже висока	Висока

У результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що механізми форгрейферів мають значне різноманіття як за конструктивними рішеннями, так і за функціональними можливостями. Кожен тип має свої переваги і недоліки, що визначає доцільність його застосування залежно від умов виробництва. Вибір конкретного типу форгрейфера повинен базуватись на детальному аналізі характеристик продукції, форматів, типів матеріалів, швидкості друку, рівня автоматизації та вимог до точності. Комбіновані та вакуумні системи наразі є найбільш універсальними і забезпечують оптимальний баланс між продуктивністю, надійністю й гнучкістю. Ультразвукові форгрейфери демонструють інноваційний потенціал і можуть стати проривом у майбутніх поколіннях поліграфічного обладнання.

1.3. Опис та схеми різних видів форгрейферів

У цьому підрозділі розглянуто конструктивні особливості, принципи дії та функціональну будову різних типів форгрейферів, що застосовуються в сучасних офсетних листових друкарських машинах. Форгрейфер є одним із найважливіших елементів аркушепровідної системи, відповідальним за точне захоплення, стабільну передачу аркуша з самонакладу або вирівнювального механізму на передавальний чи друкарський циліндр. Його конструкція та

кінематика мають безпосередній вплив на точність позиціонування, стабільність подачі, мінімізацію браку та загальну ефективність процесу друку.

Удосконалення форгрейферних механізмів є важливою тенденцією в розвитку поліграфічного обладнання, з огляду на сучасні вимоги до високої швидкості, точності та адаптивності машин. Розглянемо типові види форгрейферів, їх структурні схеми та особливості використання в різних умовах експлуатації.

1. Форгрейфер маятникового типу:

Найбільш поширений у традиційних та модернізованих друкарських машинах. Має характерний зворотно-поступальний рух головки, що здійснюється завдяки маятниковим важелям, з'єднаним із головним валом машини через кулачковий або ексцентриковий механізм. Під час циклу захватна головка наближається до аркуша, захоплює його й передає далі за траєкторією. Такий тип вирізняється стабільністю, простотою в обслуговуванні й універсальністю для різних форматів аркуша.

2. Обертаючийся форгрейфер:

Цей тип передбачає повний або частковий оберт захватної головки навколо осі. Обертові форгрейфери реалізуються в сучасних швидкісних машинах, які працюють на швидкостях понад 18 000 арк./год. Обертовий механізм забезпечує зменшення часу циклу, точніше узгодження фаз передачі аркуша між вузлами та знижує вібраційні навантаження. Завдяки цьому досягається висока якість суміщення фарб при багатофарбовому друці. Механізм складніший, але дозволяє автоматизоване налаштування й балансування.

3. Форгрейфер із прямою передачею аркуша:

Має спрощену конструкцію, в якій аркуш захоплюється і передається безпосередньо на друкарський циліндр, минаючи передавальний. Це дозволяє

зменшити кількість елементів системи подачі, підвищити надійність та зменшити витрати на обслуговування. Недоліком є зменшення часу на вирівнювання, що потребує високої точності координування всіх етапів руху аркуша. Перевага — можливість використання у вузькоформатних машинах.

4.Форгрейфер із непрямою передачею:

Розповсюджений у багатосекційних машинах (особливо при чотири- і шестиколірному друці), де є необхідність у ретельному суміщенні зображення. Форгрейфер передає аркуш спочатку на передавальний циліндр, який уже координовано взаємодіє з друкарським. Такий підхід дозволяє оптимізувати час на позиціонування аркуша, підвищити точність реєстрації фарбових шарів і зменшити брак при високошвидкісному друці. Також він створює буфер часу для корекцій положення аркуша в польоті.

5. Вакуумний форгрейфер:

Використовує розрідження повітря для утримання аркуша в процесі транспортування. Вакуум створюється за допомогою спеціального насоса або пневмоблоку. Вакуумні системи особливо ефективні при роботі з тонкими, нестандартними чи високоглянцевими матеріалами, які складно захопити класичними механічними захватами. До переваг належать делікатне утримання аркуша, мінімальний механічний контакт та можливість роботи зі збільшеним діапазоном щільності паперу. Часто вакуумні головки поєднуються з сенсорними системами для контролю подачі та виявлення злиплених аркушів.

6. Комбінований форгрейфер:

Поєднує різні принципи захоплення — фрикційне, вакуумне. Така система дозволяє адаптувати механізм до зміни характеристик аркушевого матеріалу, забезпечуючи універсальність, точність і гнучкість у роботі. Комбіновані форгрейфери оснащуються електронними модулями налаштування, що

змінюють режими в реальному часі залежно від параметрів друку. Це особливо актуально при друці на комбінованих матеріалах або змішаних тиражах. Приклад — системи в Heidelberg XL 106 чи Roland Evolution.

Отже форгрейферні механізми демонструють значне різноманіття конструктивних та функціональних рішень, які відповідають сучасним потребам поліграфії. Вибір оптимальної конструкції залежить від типу друкарської продукції, обсягу тиражу, формату аркуша та матеріалу, а також вимог до точності суміщення. Новітні тенденції в машинобудуванні орієнтовані на розвиток комбінованих, інтелектуальних систем форгрейферів з елементами автоматичної діагностики, дистанційного керування та самоналаштування, що забезпечують найвищий рівень точності та надійності у сучасному виробництві.

1.4. Технічні вимоги до роботи форгрейфера

Форгрейфер — це один з найважливіших вузлів аркушепередавальної системи офсетної друкарської машини, який забезпечує точну та стабільну подачу аркушів паперу від самонакладу до передавального або друкарського циліндра. Його технічна досконалість прямо впливає на якість друку, ритмічність технологічного процесу, швидкість роботи машини та економічну ефективність всього виробництва. Зважаючи на критичну роль, яку виконує цей механізм, до нього висувається ряд суворих вимог — механічних, кінематичних, експлуатаційних, електронних і безпекових.

1. Висока точність захоплення і передачі аркуша:

- Основною умовою ефективної роботи є точне позиціонування аркуша при кожному циклі друку. Допустиме відхилення не повинно перевищувати $\pm 0,1$ мм, особливо в зонах реєстрації зображення.
- Контакт між захватними щічками та краєм аркуша має бути максимально симетричним і контрольованим, щоб запобігти перекосу або зміщенню.

- Робота захватів повинна бути синхронізована з усіма іншими фазами друкарського процесу за допомогою серводвигунів або кулачкових механізмів із прецизійним приводом.

2. Плавність руху і контроль прискорення:

- Аркуш під час передачі має отримувати поступове, рівномірне прискорення, щоб уникнути розриву, перегинів або зминання.
- Механізм повинен мати відповідну систему балансування для гасіння інерційних імпульсів, особливо при зміні формату або щільності паперу.
- Використання амортизуючих елементів та систем динамічного гасіння сприяє стабільній роботі на високих обертах.

3. Стійкість до високих швидкостей друку:

- В сучасних машинах, таких як Heidelberg Speedmaster чи Komori Lithrone, форгрейфери повинні стабільно працювати на швидкостях понад 18 000 арк./год.
- В умовах інтенсивного друку механізм не повинен створювати паразитних коливань, які негативно впливають на якість подачі аркуша.
- Стабільність функціонування при тривалих навантаженнях досягається завдяки застосуванню високоякісних матеріалів, точних підшипників і систем мастила.

4. Адаптивність до різних типів паперу і матеріалів:

- Вимоги передбачають можливість безперебійної роботи з широким діапазоном матеріалів — від тонкого офсетного паперу (40 г/м²) до глянцевого картону і синтетичних плівок щільністю понад 600 г/м².
- Форгрейфер повинен мати систему налаштування зусилля захоплення відповідно до фізичних властивостей матеріалу, наприклад, шляхом зміни пружинності або тиску пневмоприводів.

- Універсальність досягається через модульну конструкцію, яка дозволяє швидко адаптувати вузол до нового формату або товщини аркуша.

5. Надійність, міцність і довговічність конструкції:

- Ресурс сучасного форгрейфера має становити щонайменше 50–100 мільйонів циклів без капітального обслуговування.
- Застосування високоякісних зносостійких сплавів (титанових, хромованих, твердосплавних) дозволяє мінімізувати зношення деталей, особливо захватних поверхонь.
- Конструкція повинна бути захищеною від впливу агресивних середовищ (фарба, пил, змазка), мати ущільнення та антикорозійне покриття.

6. Зручність технічного обслуговування та діагностики:

- Конструкція має забезпечити доступ до вузлів для змащування, заміни зношених елементів або регулювання, без необхідності зупиняти машину на тривалий час.
- Вузли повинні мати індикатори зносу, контрольні люки або прозорі елементи для візуального нагляду за станом механізму.
- У складних системах рекомендовано застосовувати електронну самодіагностику з виведенням інформації на екран оператора або в сервісне меню ПЛК.

7. Електронна взаємодія та автоматизація:

- Сучасний форгрейфер повинен бути інтегрований у загальну систему керування машини: підтримувати цифровий зв'язок, передачу даних, синхронізацію з ПЧ та іншими сервоприводами.
- Система повинна мати можливість самокорекції похибок, що виникають при друці, наприклад, за рахунок оптичного контролю положення аркуша в реальному часі.

- Параметри роботи можуть задаватися централізовано з пульта керування, що значно підвищує ефективність переналаштувань між тиражами.

8. Високий рівень безпеки при експлуатації:

- Форгрейферний механізм не повинен становити загрозу оператору в жодному режимі — як під час роботи, так і при сервісному обслуговуванні.
- Автоматичне блокування та аварійне вимкнення повинні активуватись у випадку нештатної ситуації: подвійного захоплення, застрягання аркуша, поломки захвату тощо.
- Вузли безпеки повинні бути сертифіковані відповідно до стандартів CE, ISO 12100 та EN 1010.

Отже, форгрейфер у сучасній поліграфічній машині є високотехнологічним компонентом, який працює на межі механічних та електронних можливостей. Його надійність, точність та адаптивність напряду впливають на безперервність виробничого процесу, якість друкованої продукції та рівень технічного обслуговування. Технічні вимоги до нього з кожним роком ускладнюються, що зумовлює впровадження новітніх інженерних рішень, матеріалів, інтелектуальних систем керування та автоматизації. Вдосконалення форгрейфера — це крок до забезпечення максимальної ефективності в умовах сучасного поліграфічного виробництва.

1.5. Специфіка роботи форгрейферів у складі друкарського агрегату

Робота форгрейферного механізму у складі друкарського агрегату є одним із найважливіших етапів забезпечення безперервності, точності та синхронізованості технологічного процесу офсетного аркушевого друку. Цей вузол відіграє ключову роль у технологічному ланцюгу подачі, фіксації, транспортування та точної передачі аркуша у друкарських машинах. Саме від узгодженої, злагодженої та високоточності роботи форгрейфера залежить не

тільки ритмічність подачі аркушів, але й суміщення кольорів, відсутність збоїв при друці, стабільність накладу та загальна якість друкарської продукції.

Форгрейфер функціонує в тісній координації з усіма іншими основними вузлами друкарської машини: самонакладачем, вирівнювальною системою, передавальними й друкарськими циліндрами, електромеханічними приводами, пристроями контролю якості та автоматичного регулювання. Його діяльність узгоджується з комп'ютеризованими системами керування, які обробляють десятки параметрів: швидкість обертання валів, щільність, розмір і тип паперу, температурні режими, ступінь зволоження, вібраційні коливання тощо.

1. Взаємодія з самонакладом і системою вирівнювання:

Після подачі аркуша самонакладачем на вирівнювальний стіл, форгрейфер вступає в роботу лише після того, як система контролю переконалася у правильному положенні аркуша за фронтальними і бічними напрямними. У сучасних машинах передбачені лазерні або оптичні сенсори положення аркуша, які синхронізуються з сервоприводами для мікрокоригування. Після виявлення точного положення аркуша форгрейфер активується, здійснюючи швидке, але плавне захоплення аркуша, з урахуванням його щільності, товщини та гнучкості. Новітні моделі обладнані функцією самонавчання, що дозволяє зберігати параметри захоплення для конкретного виду матеріалу.

2. Синхронізація з передавальним та друкарським циліндрами:

Форгрейфер передає аркуш у друкарську секцію з точністю до десятих долей міліметра. Така передача потребує повної узгодженості між кутовою швидкістю обертання циліндрів і моментом відкривання/закривання захватних щічок. Класичні механічні системи забезпечують це за допомогою кулачкових пристроїв, а сучасні моделі — за допомогою прецизійних сервоприводів та інтелектуальних енкодерів з цифровим керуванням. Важливою умовою є синхронна передача без спотворення геометрії аркуша, що потребує високої динаміки руху і точного позиціонування форгрейфера в кожному циклі.

3. Робота в багатосекційних друкарських машинах:

В агрегатах, що містять декілька послідовних друкарських секцій (наприклад, від чотирьох до восьми), форгрейферні системи повинні забезпечувати передачу аркуша від секції до секції з абсолютною точністю. При цьому використовується кілька послідовних груп форгрейферів, кожна з яких має індивідуальні налаштування сили захоплення, швидкості спрацьовування та моменту передачі. Інтелектуальні системи аналізують поведінку аркуша в реальному часі, компенсують дрібні відхилення положення та запобігають перекосам чи зупинкам. У новітніх машинах впроваджено самодіагностику стану щічок і динамічне балансування кожного захватного вузла.

4. Робота з різними форматами та типами аркуша: Форгрейфер повинен бути універсальним у роботі з різними матеріалами — від легкого офсетного паперу до щільного картону чи синтетичних підкладок. Адаптивність забезпечується зміною сили захвату, швидкості переміщення та кута нахилу захватних щічок. У новітніх машинах передбачено автоматичне налаштування параметрів на основі введених оператором значень або шляхом сканування штрих-коду на пачці аркушів. При цьому можливе збереження профілів для кожного типу продукції, що значно скорочує час підготовки до друку та мінімізує кількість пробного тиражу.

5. Вплив на точність реєстрації друку: Реєстраційна точність — одна з критичних характеристик друку, особливо при багатофарбовому зображенні. Форгрейфер відповідає за фіксацію аркуша без перекосів, зміщення або мікрозатримок. У випадку зміщення навіть на 0,02–0,05 мм може виникнути «привидіння» або неправильне суміщення кольорів. Тому конструкції форгрейферів доповнені амортизаційними вставками, системами компенсації люфтів, вібраційними гасниками та оптичними сенсорами зворотного зв'язку. Дані про точність захвату реєструються в контролері машини, і, за потреби, система вносить мікрокоригування без зупинки друкарського процесу.

6. Інтеграція з системами контролю та автоматизації: Форгрейфер — це частина єдиної цифрової екосистеми машини. Його дії координуються з центральним комп'ютером, що приймає дані з енкодерів, сенсорів тиску, лазерних сканерів і камер. На базі цих даних система приймає рішення про допустимість друку або необхідність втручання оператора. У разі збоїв можливий автоматичний перехід у безпечний режим, переведення аркуша у відвідний лоток, або повна зупинка друку. Дані про роботу форгрейфера зберігаються в логах машини, що дозволяє проводити аналіз несправностей або планове технічне обслуговування.

7. Особливості конструкцій у сучасних машинах: Сучасні форгрейферні механізми виготовляються з високоміцних матеріалів, таких як титан, анодований алюміній або композитні сплави, що забезпечує легкість конструкції при збереженні високої жорсткості. Щічки форгрейфера мають змінні накладки, виготовлені з термостійких та антистатичних матеріалів. Конструкції оптимізовані для зменшення маси рухомих частин, зниження інерційних навантажень і зменшення енергоспоживання. У багатьох моделях реалізовано модульну систему, яка дозволяє швидко замінити будь-який елемент без повного демонтажу.

Тож форгрейфер у сучасній друкарській машині — це складний вузол, що об'єднує механіку високої точності, електроніку, сенсори та програмне забезпечення. Його роль не обмежується лише захопленням аркуша — він забезпечує динамічну стабільність технологічного процесу, високу якість продукції, економію ресурсів та інтеграцію в цифрове керування. Стан форгрейферного механізму безпосередньо впливає на загальну ефективність друкарської машини, і тому його вдосконалення є постійним об'єктом інженерних інновацій провідних виробників поліграфічного обладнання.

Висновки до розділу 1

У першому розділі дипломної роботи було здійснено ґрунтовний і комплексний огляд сучасних офсетних листових друкарських машин, зосереджений переважно на вивченні особливостей будови, функціонування та технічної ролі форгрейферних механізмів. Форгрейфери виступають одним з найвідповідальніших елементів у системі подачі та передачі аркуша в межах друкарського процесу. Їхнє завдання полягає не лише у фізичному захопленні аркуша, а й у забезпеченні точності його позиціонування при подальшому передруці або передачі в наступну секцію машини. В процесі аналізу були розглянуті конструктивні різновиди форгрейферів, їх класифікація за технічними та функціональними ознаками, принципи їхньої дії, особливості кінематики та структурного компонування.

Поглиблений аналіз включав порівняння технічних рішень, що застосовуються провідними світовими виробниками друкарського обладнання, зокрема фірмами Heidelberg, Komori, Koenig & Bauer, Manroland та іншими. Було визначено основні конструктивні відмінності, ступінь автоматизації, адаптивності та ремонтпридатності форгрейферних механізмів, що впливають на якість друку, стабільність подачі, продуктивність та точність суміщення кольорів. Також розглянуто специфіку роботи форгрейфера у складі друкарського агрегату, його взаємодію з самонакладачем, вирівнювальною системою, передавальними і друкарськими циліндрами. Окремо було проаналізовано технічні вимоги до сучасних форгрейферів, включаючи жорсткі допуски на точність, швидкодію, зносостійкість, універсальність до різних типів паперу та адаптацію до змінних умов експлуатації.

У рамках огляду також висвітлено важливість синхронізації роботи форгрейфера з іншими елементами машини, а саме із системами електронного керування, оптичними сенсорами реєстрації положення аркуша, модулями попереднього налаштування параметрів друку. У роботі підкреслено, що

сучасний форгрейфер — це не просто механічний захват, а високотехнологічний пристрій, інтегрований у складну систему автоматичного управління, що відповідає за якість і точність усього процесу друку.

2. КОНСТРУКТИВНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ФОРГРЕЙФЕРА ОФСЕТНОЇ ЛИСТОВОЇ МАШИНИ HEIDELBERG SM - 102

2.1. Загальні принципи роботи форгрейфера

Форгрейфер (від нім. *Vor* — перед + *Greifer* — захоплювач) у листовій офсетній друкарській машині Heidelberg SM 102 є надзвичайно важливим функціональним елементом, що забезпечує точну, стабільну та безперебійну передачу друкованого аркуша від самонакладу або вирівнювального механізму до передавального, а згодом — до друкарського циліндра. Його робота є критичною для підтримання високої якості відбитків, особливо в умовах інтенсивного друку з високою швидкістю, де навіть найменша неточність у момент захоплення або передачі аркуша може призвести до зсуву зображення, зміщення фарбових шарів, перекосу або деформації аркуша. Це, у свою чергу, може спричинити як технічні несправності, так і брак великої кількості відбитків.

Принцип роботи форгрейфера заснований на чітко скоординованому русі гойдаючого механізму, оснащеного захоплювачами. Ці захоплювачі фіксують аркуш у строго визначений момент часу, що визначається положенням циліндра та кутом повороту механізму. Керування захоплювачами здійснюється через систему кулачкових профілів, які змінюють положення важеля, спричиняючи відкривання або закривання захоплювачів. Завдяки синхронізації з іншими вузлами машини, зокрема з передавальним і друкарським циліндрами, форгрейфер гарантує плавне та безпечне транспортування аркуша з точною орієнтацією в межах заданих допусків на перекид і зсув.

Основний цикл роботи форгрейфера можна умовно поділити на кілька етапів, кожен із яких виконує важливу функцію в забезпеченні безперервного і точного друкарського процесу:

- Розгінна фаза (початкова фаза руху)
- Фаза рівномірного переміщення

- Фаза гальмування та передачі

Додатковим фактором, що забезпечує ефективність роботи механізму, є оптимальне балансування рухомих частин форгрейфера, що мінімізує інерційні навантаження. Балансування дозволяє уникати зайвих коливань, знижує навантаження на опори, підшипники та осі обертання. У сучасних модифікаціях машин, таких як SM 102, також передбачено цифровий контроль за положенням механізму та можливість тонкого налаштування моменту відкриття/закриття захоплювачів через інтерфейс керування. Це значно спрощує регулювання, забезпечує гнучкість у налаштуванні формату і типу паперу, а також підвищує надійність друкарського процесу в цілому.

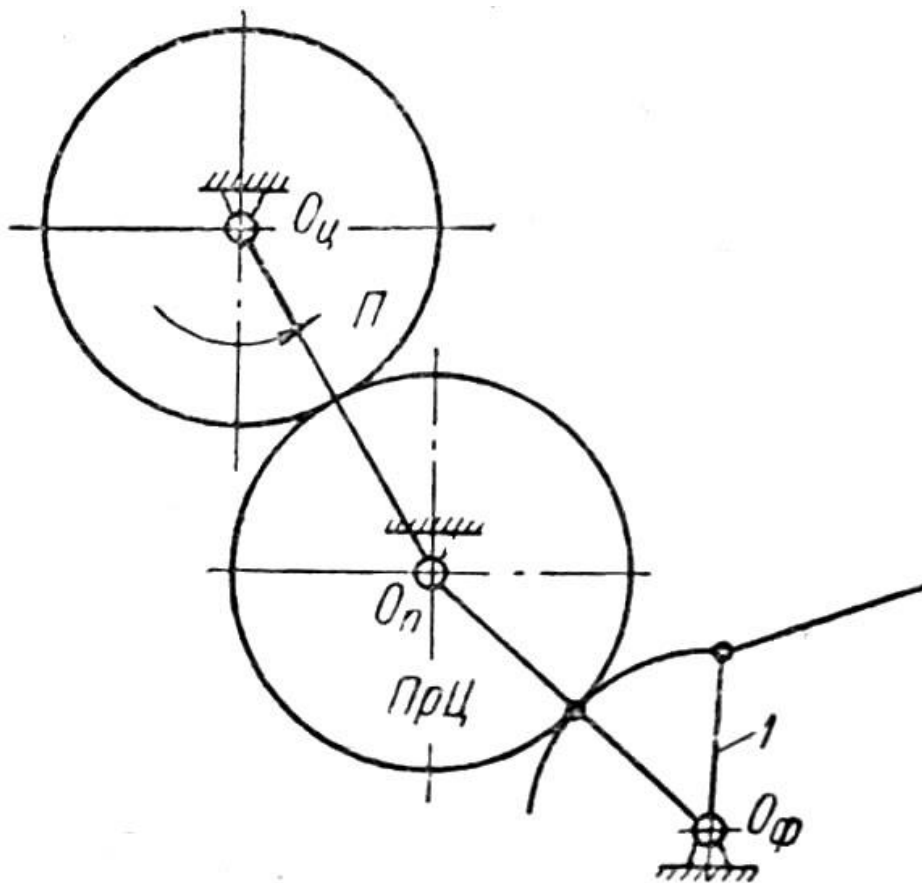


Рисунок 2.1 — Схема розміщення форгрейфера між циліндрами

Таким чином, форгрейфер є складним, багатoeлементним та високоточним механізмом, від злагодженої та синхронізованої роботи якого залежить ефективність і якість усього друкарського процесу. Його функціонування

забезпечується точною механікою, чіткою кінематичною схемою, узгодженістю фаз, збалансованістю руху та сучасним інтелектуальним керуванням — що в сукупності дозволяє досягти найвищих стандартів у поліграфії, забезпечуючи водночас надійність і довговічність обладнання Heidelberg SM 102.

2.2. Конструктивна будова форгрейфера машини Heidelberg SM 102

Конструкція форгрейфера у машині Heidelberg Speedmaster SM 102 є зразком високоточного інженерного рішення, що поєднує в собі надійність, довговічність, простоту обслуговування та високу точність передачі аркуша в умовах безперервного друкарського процесу. Цей вузол виконує ключову функцію транспортування вирівняного аркуша від системи подачі або вирівнювального механізму до передавального, а далі — до друкарського циліндра. Його конструктивні особливості безпосередньо впливають на точність приведення аркуша, стабільність позиціонування та загальну якість відбитка. Від надійності і точності роботи форгрейфера залежить успішне функціонування усієї машини, особливо під час високошвидкісного друку.

Основними елементами конструкції форгрейфера є:

- **Корпусна основа** — це жорстка несуча металева рама, яка слугує основною опорною конструкцією для форгрейфера та забезпечує його стабільну і точну роботу. Виготовлена із високоякісного литого сплаву або фрезерованої сталі, вона забезпечує точну геометрію та стійкість до деформацій навіть при значних вібраційних та динамічних навантаженнях. Саме ця основа гарантує сталість монтажних розмірів і точне взаємне розташування всіх елементів.
- **Гойдаючі важелі** — головні кінематичні елементи, з'єднані шарнірно з вхідними валами. Вони здійснюють маятниковподібний рух, забезпечуючи дугоподібну траєкторію переміщення аркуша між вузлами. Таке рішення дозволяє зберегти орієнтацію аркуша та запобігти перекосу під час

транспортування. Конструкція важелів оптимізована для забезпечення максимальної плавності ходу і зменшення інерційних навантажень.

- **Захоплювачі** — точно виготовлені елементи, що безпосередньо фіксують передній край аркуша. Вони складаються з двох симетричних деталей із пружинним механізмом та м'якими накладками з гуми або полімерного матеріалу, які запобігають зминанню або пошкодженню аркуша. Захоплювачі можуть бути регульованими за зусиллям стиснення, що дозволяє адаптувати механізм до різної товщини та щільності паперу. Надійність їх роботи забезпечує відсутність зсуву аркуша навіть при високій швидкості.
- **Кулачковий механізм керування** — система кулачків і важелів, яка синхронізує момент відкриття і закривання захоплювачів. Геометрія кулачків ретельно розрахована таким чином, щоб забезпечити повільне відкриття на початку і кінець ходу та миттєве закриття у фазі захоплення. Це мінімізує динамічні удари і сприяє плавності роботи. У більш сучасних версіях машина може містити додаткові демпфери, що зменшують вібрацію.
- **Приводні елементи** — набір муфт, валів, шестерень, що передають момент обертання від головного двигуна до форгрейфера. Вони забезпечують чітку синхронізацію з основним приводом машини, і відповідно, точну відповідність руху форгрейфера куту повороту друкарського циліндра. Для зменшення зношування використовуються термооброблені сталі або леговані сплави.
- **Опори та підшипники** — вузли, що забезпечують обертання гойдаючих частин. Вони мають високий клас точності та змащуються централізованою системою подачі мастила. Підшипники витримують значні навантаження та мають антивібраційні вставки або обойми для зменшення рівня шуму та тривалого ресурсу експлуатації.
- **Регулювальні вузли** — гвинтові механізми, ексцентрики або мікрорегулятори, за допомогою яких налаштовується положення

захоплювачів, амплітуда гойдання, швидкість реакції на кулачковий профіль. Це особливо важливо для адаптації машини під конкретний формат аркуша, а також під час переходу на нове завдання без потреби в складному переналаштуванні всього агрегату.

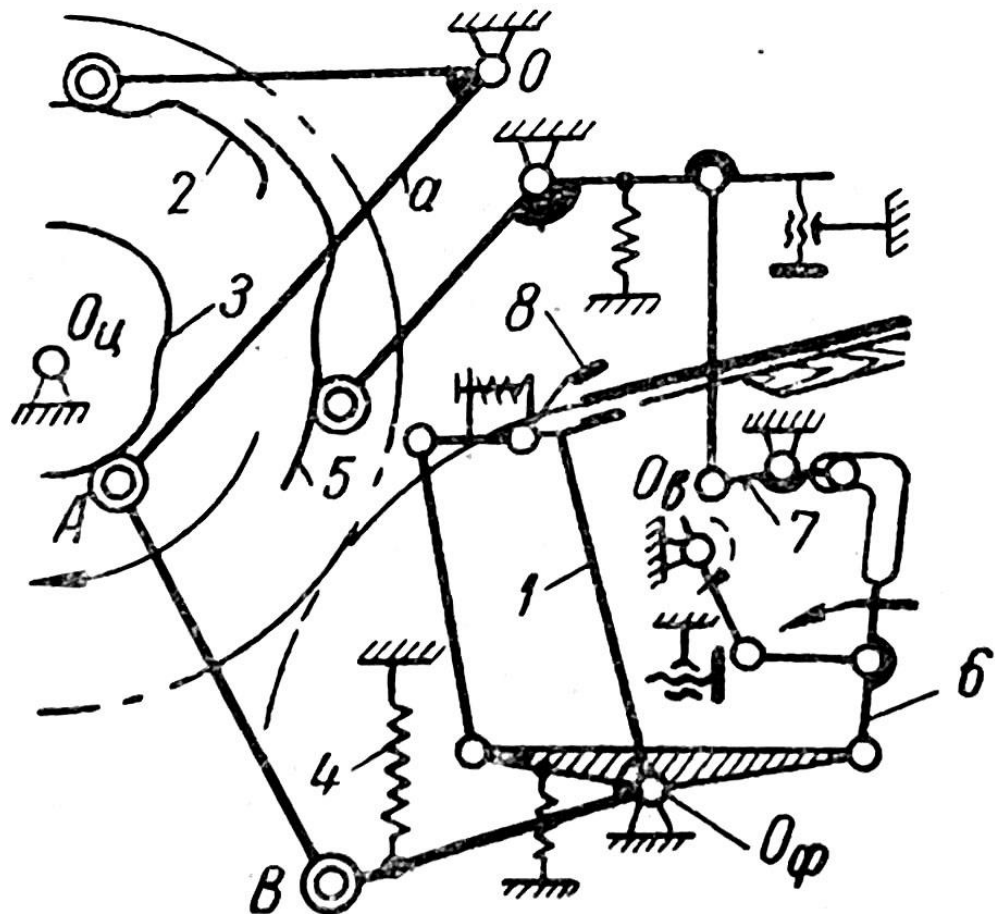


Рисунок 2.2 — Конструкція форгрейфера

Окремої уваги заслуговує також модульність будови — можливість швидкої заміни окремих елементів без демонтажу всього механізму. Така конструкція значно спрощує технічне обслуговування і скорочує час простою машини при зносі окремих вузлів. Усі елементи сконструйовані таким чином, щоб їхня заміна могла здійснюватися мінімальною кількістю інструментів і не вимагала високої кваліфікації від обслуговуючого персоналу.

Загалом, конструкція форгрейфера орієнтована на багаторічну експлуатацію в умовах високих навантажень та інтенсивного виробництва, зберігаючи при цьому точність, повторюваність руху, зручність технічного обслуговування і стабільність роботи. Надійність вузла досягається не лише високою якістю виготовлення окремих деталей, але і точним взаємним розташуванням компонентів, що мінімізує люфти, забезпечує стабільне захоплення та сприяє високій якості поліграфічної продукції.

Додаткові можливості для технічного обслуговування, такі як зручний доступ до вузлів змазування, швидке регулювання натягу важелів, легка заміна зношених накладок захоплювачів, роблять конструкцію сучасною та адаптованою до умов змінного виробництва. Саме завдяки такому поєднанню надійності, точності та адаптивності, форгрейфер у моделі SM 102 займає одне з провідних місць серед аналогічних рішень у галузі офсетного друку.

2.3. Кінематична схема та циклограма роботи

Механізм форгрейфера у машині Heidelberg Speedmaster SM 102 є важливою складовою кінематичного ланцюга, що об'єднує подаючі, передавальні та друкарські елементи в один злагоджений технологічний процес. Його робота тісно пов'язана з обертанням основних валів машини та координацією роботи захоплювачів, що транспортують аркуш з максимальною точністю та повторюваністю.

Кінематична схема форгрейфера включає систему шестерень, важелів, кулачкових профілів та передавальних механізмів, які забезпечують фазове співпадіння із обертанням друкарського циліндра. Це дозволяє досягти ідеального синхронізованого захоплення, транспортування та передачі аркуша, без перекосів, зміщень чи ривків. Весь рух забезпечується за рахунок маятникоподібного ходу гойдаючих важелів, який зумовлює дугоподібну траєкторію форгрейфера, узгоджену із геометрією машини.

Оснoву кінематичної побудови становить головний привод, від якого передається обертання на кулачкові вали. Від них, у свою чергу, рух передається на гойдаючі важелі, що приводять у дію захоплювачі. Кулачковий профіль задає точний момент відкривання та закривання захоплювачів, що надзвичайно важливо для збереження ритмічності та точності друкарського процесу. У більш складних конструкціях додаються демпфери для зменшення динамічних навантажень, що виникають при високошвидкісному друці.

Цикл функціонування форгрейфера можна поділити на п'ять основних фаз:

1. **Фаза розгону (від 0 до α_1)** — початковий етап руху форгрейфера з крайньої задньої позиції. Відбувається розгін елемента до швидкості аркуша. Захоплювачі перебувають у відкритому стані. Важливо, щоб прискорення відбувалося плавно, без ривків, для запобігання нестабільності положення аркуша при подачі.
2. **Фаза захоплення (у точці α_1)** — при досягненні відповідної швидкості і співпадінні положення з аркушем, захоплювачі закриваються. Це відбувається за командою кулачкового механізму. В цій точці забезпечується максимальна точність, оскільки невірне захоплення призводить до зміщення друкарського зображення.
3. **Фаза транспортування (від α_1 до α_2)** — рух форгрейфера з аркушем відбувається з постійною швидкістю. На цьому етапі дуже важливо зберігати стабільність руху без додаткових прискорень. Аркуш прямує у напрямку до передавального або друкарського циліндра. Форгрейфер зберігає контроль над аркушем, запобігаючи його прогину, зминанню або вібраціям.
4. **Фаза передачі (точка α_2)** — у визначеній позиції за допомогою синхронізованого сигналу захоплювачі відкриваються, і аркуш передається на наступний етап друкарського процесу. Тут важливо, щоб відпускання аркуша відбувалося строго в межах заздалегідь встановленого вікна часу.

5. **Фаза вибігу (від α_2 до α_3)** — зворотній рух форгрейфера до початкової позиції. Ця фаза відзначається зниженням швидкості й підготовкою до нового циклу. Важливо, щоб гальмування було плавним, щоб уникнути механічних перевантажень та надмірного зносу компонентів.

Кожна з фаз характеризується чітко вивіреною тривалістю, яка залежить від кутової швидкості головного циліндра, профілю кулачків та маси гойдаючих елементів. Геометрія руху форгрейфера забезпечується за рахунок оптимізованих форм кулачків, які задають бажану кінематику з урахуванням інерційних характеристик системи на *Рисунок 2.2 — Конструкція форгрейфера* зображено кінематичну схему з кулачками. Для досягнення високої ефективності часто використовуються спеціальні математичні моделі, що враховують вплив відцентрових сил, фазового зсуву і температурного розширення.

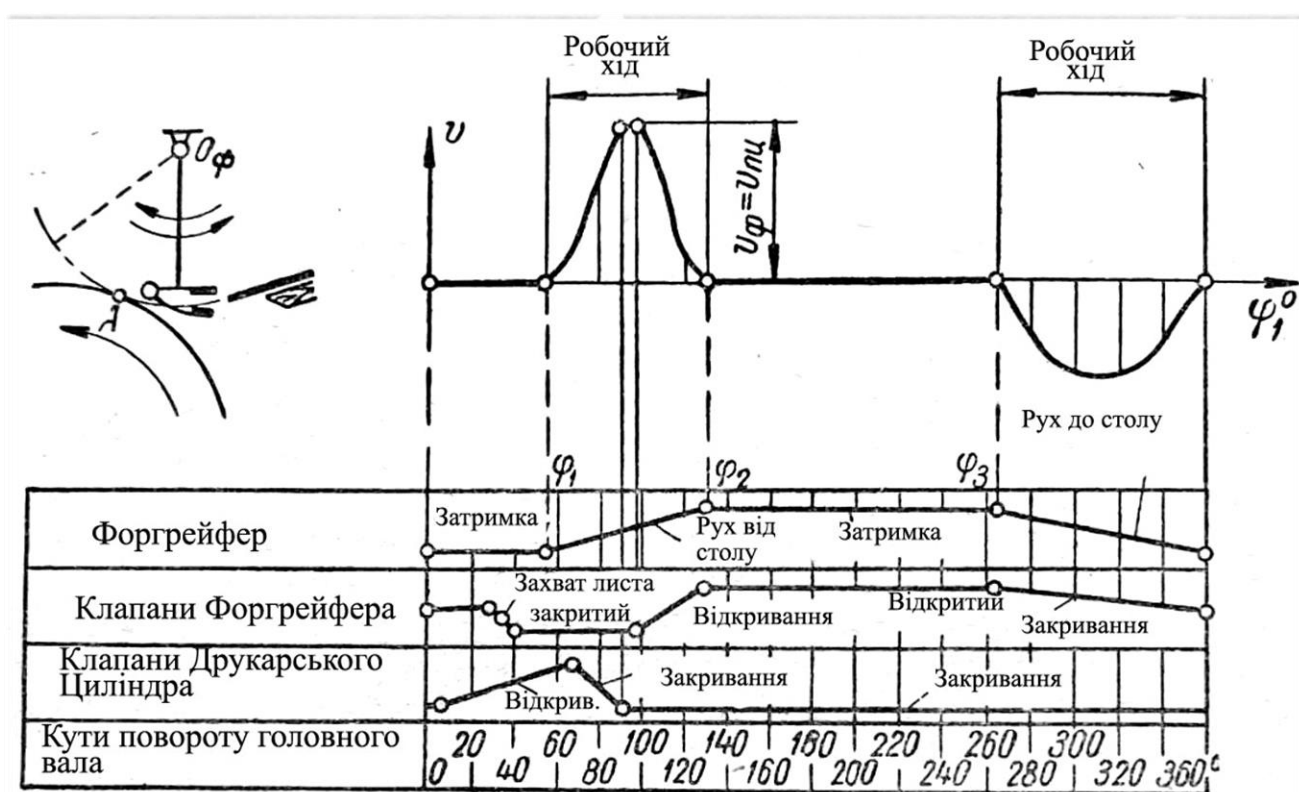


Рисунок 2.4 — Циклограма роботи форгрейфера.

Правильна побудова циклограми роботи форгрейфера має критичне значення для досягнення стабільного друкарського процесу. Вона дозволяє уникнути фазових конфліктів між окремими елементами подачі та друку, а також забезпечує узгоджену передачу аркуша в умовах високошвидкісної роботи. Циклограма не лише візуалізує взаємозв'язки між фазами, а й дає змогу інженерам коригувати параметри, підвищуючи точність і надійність системи.

2.4. Технічні вимоги до роботи механізму форгрейфера

Механізм форгрейфера — це не просто ланка в системі аркушепроведення офсетної друкарської машини, а ключовий компонент, від якого залежить точність, ритмічність та якість усього процесу друку. Його завдання полягає в безпечному, надійному та синхронізованому транспортуванні аркуша між етапами: подачею, зоною друку і далі — до секції виводу. У зв'язку з цим, до конструкції і функціонування механізму пред'являється низка суворих технічних вимог, дотримання яких гарантує стабільну і безперебійну роботу друкарського обладнання.

Першочергова вимога — **висока точність позиціонування аркуша** в момент його захоплення і передачі. Допустима похибка при цьому не повинна перевищувати $\pm 0,1$ мм. Будь-яке, навіть незначне, відхилення в положенні аркуша може спричинити помітне зміщення зображення, що особливо критично при багатобарвному друці. Щоб цього уникнути, захоплювачі повинні мати високу жорсткість, пружність і стабільну силу стиснення. Кожен елемент приводу форгрейфера має бути виготовлений з високоточних деталей з мінімальними допусками. Також велике значення має якість підшипників, осей і важелів, які повинні забезпечувати плавний хід без люфтів і вібрацій.

Іншою важливою умовою є **синхронізація руху форгрейфера з обертанням друкарського циліндра**. Всі дії механізму — момент захоплення, фаза транспортування, передача аркуша — повинні відбуватись у строго

визначені моменти друкарського циклу. Для цього використовуються спеціальні профільовані кулачки, електромеханічні регулятори положення або програмовані серводвигуни в сучасних машинах. Вони гарантують відкриття і закриття захоплювачів у потрібний момент з максимальною повторюваністю.

Швидкість реакції і адаптивність механізму до змінних умов друку мають вирішальне значення. При швидкості друку понад 15 000 арк./год механізм повинен працювати з високою динамічною точністю, не втрачаючи ефективності. Це означає, що його компоненти повинні бути виготовлені з матеріалів, стійких до зносу, вібрацій та термічного впливу. Часто застосовуються високоміцні сталі, алюмінієві сплави та керамічні поверхні. У деяких конструкціях додатково передбачаються пневматичні або гідравлічні демпфери, які поглинають надлишкову енергію руху.

Щоб **якісно передати аркуш** без пошкоджень та зсувів, необхідно дотримуватись таких загальних умов:

- абсолютна відповідність швидкості руху форгрейфера і швидкості аркуша;
- відсутність люфтів у підшипниках, з'єднаннях та опорах механізму;
- точна відповідність розміру захоплювачів до формату аркуша;
- наявність систем амортизації та зниження вібрацій;
- забезпечення плавного контакту захоплювачів з папером без зайвого тиску.

Не менш важливим є **співвідношення між швидкістю форгрейфера та швидкістю друкарського циліндра**. У фазі транспортування їхні лінійні швидкості повинні бути ідентичними, тобто:

$$v_{\phi} = v_{\psi},$$

де v_{ϕ} — лінійна швидкість форгрейфера, v_{ψ} — лінійна швидкість поверхні друкарського циліндра.

Будь-яке розбалансування цих швидкостей може викликати змінання аркуша, прослизання або накопичення похибки у реєстрі. У сучасних системах це співвідношення контролюється автоматично, а параметри регулюються через панель керування машини або вбудовані електронні контролери. При необхідності проводиться оперативне коригування налаштувань залежно від товщини, формату або виду паперу.

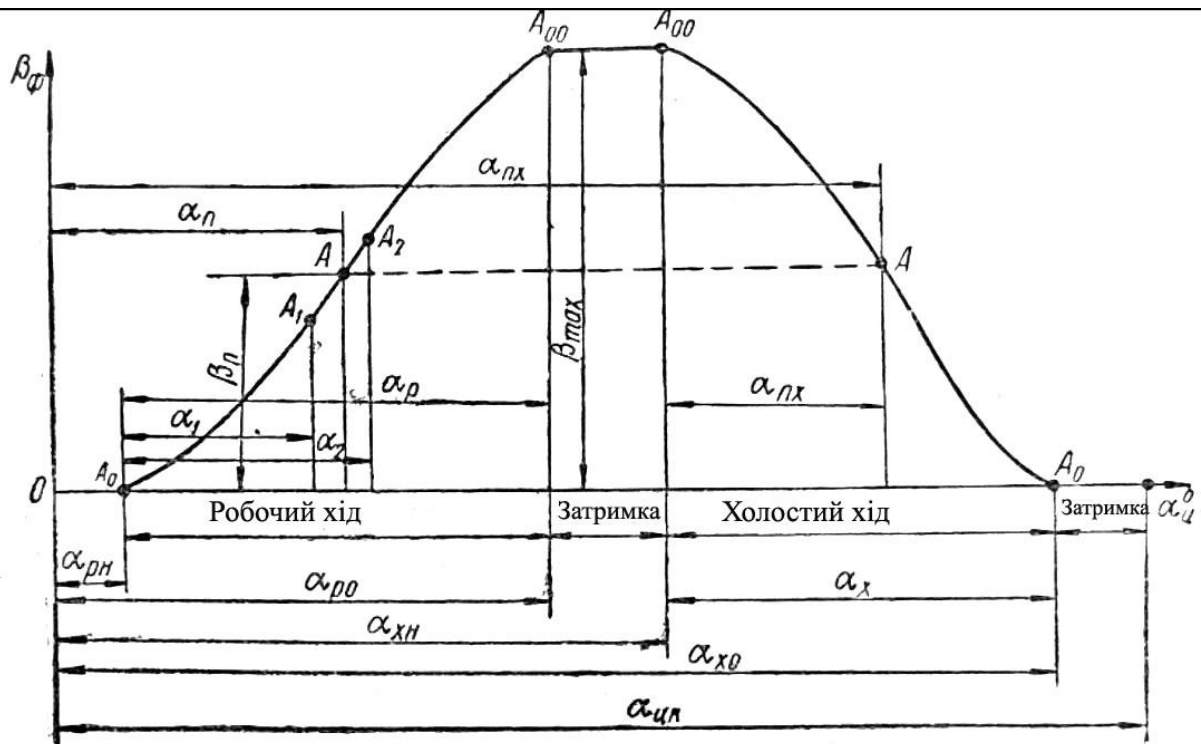


Рисунок 2.5 — Графік узгодження швидкостей форгрейфера і циліндра

Дотримання всіх наведених вимог — основа надійної експлуатації форгрейферного механізму. Це дає змогу досягти стабільної передачі аркушів без збоїв, забезпечити рівномірність друку по всій площі аркуша та підтримувати високу продуктивність друкарської машини навіть у складних умовах виробництва. Завдяки цьому механізм форгрейфера виконує свою функцію з максимальною ефективністю, сприяючи зменшенню кількості браку і підвищенню загальної якості поліграфічної продукції.

Висновок до розділу 2

У другому розділі було здійснено ґрунтовний конструктивний і кінематичний аналіз механізму форгрейфера, який є невід’ємною частиною аркушепровідної системи офсетної друкарської машини Heidelberg Speedmaster SM 102. Ретельний розгляд конструкції механізму дав змогу визначити усі ключові компоненти, проаналізувати їх конструктивні особливості, принцип роботи кожної ланки, взаємозв’язок між ними та вплив на загальну ефективність друкарського процесу. Було розкрито функціональне призначення механізму форгрейфера як ланки, відповідальної за стабільне, ритмічне та точне транспортування аркуша на шляху від самонакладу до друкарського циліндра.

Проведене дослідження дозволило чітко встановити, що форгрейфер є критично важливим вузлом, який забезпечує рівномірність подачі аркуша без зміщень, перекосів чи збоїв у позиціонуванні. Вивчення кінематичної схеми механізму та побудова циклограми його роботи надали можливість виявити основні фази переміщення, зокрема — фазу розгону, фазу захоплення, транспортування, передачі аркуша та повернення у вихідне положення. Було з’ясовано, що кожна з цих фаз має бути чітко синхронізована з фазами обертання друкарського циліндра, аби забезпечити цілісність друкарського процесу без накладання зображень або перекосів регістру.

Окрему увагу у дослідженні приділено технічним вимогам, що висуваються до механізму форгрейфера при роботі в умовах інтенсивного виробництва. Розглянуто аспекти точності позиціонування аркуша, допустимі відхилення, вимоги до жорсткості та конструкції захоплювачів, а також умови роботи на високих швидкостях. Акцентовано на важливості досягнення повної синхронізації між швидкістю обертання друкарського циліндра та лінійною швидкістю руху форгрейфера. Виявлено вплив кінематичних параметрів, динамічної стабільності та інерційних навантажень на ефективність транспортування.

Також було розкрито роль сучасних конструктивних рішень, зокрема — застосування кулачкових профілів спеціальної форми, демпферних елементів, автоматизованих систем змащування та електронного керування, що підвищують точність, довговічність і гнучкість роботи форгрейфера. Ці рішення відіграють важливу роль у адаптації машини до змін формату, щільності та типу друкованого матеріалу.

Отримані результати аналітичної частини є вагомою теоретичною базою для подальшого розділу дипломної роботи. У наступному етапі буде здійснено інженерні розрахунки механізму, включно з визначенням навантажень на захоплювачі, перевіркою їх міцності, розрахунком зусиль у кінематичних парах та моделюванням траєкторії руху. Також планується розробка практичних рекомендацій щодо оптимізації параметрів форгрейфера з метою зниження зносу, підвищення ресурсу роботи та покращення якості друку при максимальній швидкості експлуатації машини Heidelberg SM 102.

Таким чином, другий розділ заклав методологічну та технічну основу для реалізації прикладного етапу дослідження, у якому буде проведено поглиблену інженерну оцінку ефективності та вдосконалення форгрейферного механізму.

3. РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ФОРГРЕЙФЕРА ОФСЕТНОЇ ЛИСТОВОЇ МАШИНИ HEIDELBER SM102

3.1. Розрахунок кінематичних параметрів механізму форгрейфера Heidelberg SM102

У цьому підпункті подано повний перелік вихідних даних, що використовуються для проведення точного розрахунку кінематичних характеристик форгрейфера, а також обґрунтовано вибір формул, які дозволяють визначити необхідні параметри для аналізу його динаміки та кінематики. Цей блок є базисом для подальших обчислень і дозволяє гарантувати достовірність результатів.

Вихідні геометричні та кінематичні параметри:

Радіус друкарського циліндра: $R_c = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}$ Цей параметр задає відстань від осі обертання до зовнішньої поверхні друкарського циліндра, по якій переміщується аркуш.

Радіус повороту форгрейфера: $R_f = 300 \text{ мм} = 0,3 \text{ м}$ Визначає траєкторію переміщення захоплювачів форгрейфера при здійсненні поворотного руху.

Кут передачі аркуша: $\gamma_1 = 40^\circ$ Цей кут описує фазу передачі аркуша від вирівнювального механізму до передавального циліндра.

Продуктивність машини: $P = 10000 \text{ арк/год} \approx 166,7 \text{ об/хв}$ Частота обертання друкарського циліндра, яка визначає динамічне навантаження на механізм форгрейфера.

Кутова швидкість друкарського циліндра:
 $\omega_c = \frac{\pi P}{30 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 10000}{1800} \approx 17,453 \text{ рад/с}$ Цей параметр є базовим для обчислення швидкості та прискорення поворотних елементів.

Коефіцієнт синхронізації: $i = 0,9$ Враховується для коригування руху форгрейфера відносно основного обертового механізму (друкарського циліндра).

Закони руху:

У моделі аналізу руху форгрейфера застосовуються два характерні типи руху:

Закон Шуна для першої ділянки (фаза розбігу): $B_1 = 1,875$, $C_1 = 5,773$

Ці коефіцієнти використовуються для визначення кутової швидкості та прискорення в першій частині ходу.

Синусоїдальний закон руху для другої ділянки (завершальна фаза руху): $B_2 = 1,574$; $C_2 = 4,935$. Враховується при розрахунку завершальної частини повороту механізму.

Основні розрахункові формули:

Фазовий кут розбігу форгрейфера: $\gamma_1^* = i \cdot B_1 \cdot \gamma_1$ Визначає початковий розгін механізму на ділянці активного захоплення аркуша.

Кут завершальної фази руху: $\gamma_2 = \frac{B_2^2 C_1}{B_1^2 C_2} \cdot \gamma_1$ Дозволяє визначити другу фазу руху із урахуванням змінної швидкості.

Фазовий кут завершальної фази руху: $\gamma_2^* = i \cdot B_2 \cdot \gamma_2$ Показує, як змінюється рух форгрейфера під час вибігу.

Сумарний робочий хід: $\gamma_{p.x.} = \gamma_1^* + \gamma_2^*$ Повний цикл активної роботи механізму.

Максимальна кутова швидкість: $\omega_{f \max} = B_1 \cdot \omega_c$

Максимальне кутове прискорення: $\varepsilon_{f \max} = C_1 \cdot \frac{1}{2\gamma_1} \cdot \omega_c^2$

Перевірка лінійних швидкостей: $R_f \cdot \omega_{f \max} = R_c \cdot \omega_c$ Потрібна для синхронізації швидкості транспортування аркуша з обертанням циліндра.

Цей набір формул і вихідних даних дозволяє комплексно охарактеризувати роботу механізму форгрейфера, задати точні умови розрахунку, перевірити відповідність конструктивної побудови вимогам до швидкісної та безпечної експлуатації обладнання типу Heidelberg SM102.

3.2 Розрахунок кінематичних параметрів механізму форгрейфера Heidelberg SM102

У цьому підпункті детально розглядається покроковий процес розрахунку основних кінематичних характеристик механізму форгрейфера, що використовується в офсетній друкарській машині Heidelberg SM102. Метою є забезпечення максимальної точності при визначенні таких параметрів, як кутові переміщення, швидкості, прискорення та синхронізація роботи механізму із друкарським циліндром. Це необхідно для запобігання збоїв у подачі аркуша та забезпечення стабільної і якісної роботи машини при високій продуктивності.

Вихідні дані для обчислень:

Для виконання розрахунків беруться такі числові значення та коефіцієнти, що є характерними для друкарської машини Heidelberg SM102:

$\gamma_1 = 40^\circ$ початковий кут фази передачі аркуша.

$B_1 = 1,875$ коефіцієнт закону Шуна для першої фази.

$C_1 = 5,773$ коефіцієнт прискорення в першій фазі.

$B_2 = 1,574$ коефіцієнт синусоїдального закону для завершальної фази руху.

$C_2 = 4,935$ коефіцієнт прискорення завершальної фази.

$i = 0,9$ коефіцієнт синхронізації механізму.

$\omega_c = 17,453$ рад/с кутова швидкість друкарського циліндра.

Покрокові обчислення параметрів:

1. Визначення фазового кута розбігу форгрейфера:

$\gamma_1^* = i \cdot B_1 \cdot \gamma_1 = 0,9 \cdot 1,875 \cdot 40 = 67,5^\circ$ Цей кут описує фазу активного розгону форгрейфера на початку циклу його руху.

2. Обчислення кута завершальної фази руху:

$\gamma_2 = \frac{B_2^2 \cdot C_1}{B_1^2 \cdot C_2} \cdot \gamma_1 = \frac{(1,574)^2 \cdot 5,773}{(1,875)^2 \cdot 4,935} \cdot 40 \approx 48,53^\circ$ Цей показник враховує завершальний етап переміщення форгрейфера та дозволяє оцінити загальний обсяг його повороту.

3. Фазовий кут завершальної фази руху:

$\gamma_2^* = i \cdot B_2 \cdot \gamma_2 = 0,9 \cdot 1,574 \cdot 48,53 \approx 68,75^\circ$ Використовується для обчислення повного ефективного кута, який форгрейфер проходить у другій частині циклу.

4. Розрахунок сумарного робочого ходу:

$\gamma_{p.x.} = \gamma_1^* + \gamma_2^* = 67,5 + 68,75 = 136,25^\circ$ Цей кут є показником загального діапазону руху механізму протягом одного циклу обертання циліндра.

5. Визначення максимальної кутової швидкості форгрейфера:

$\omega_{f \max} = B_1 \cdot \omega_c = 1,875 \cdot 17,453 \approx 32,1$ рад/с Це значення демонструє максимальну швидкість, з якою може обертатися форгрейфер під час виконання свого робочого циклу.

6. Розрахунок максимального кутового прискорення:

$$\varepsilon_{f \max} = C_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \gamma_1} \cdot \omega_c^2 = 5,773 \cdot \frac{1}{2 \cdot 40} \cdot (17,453)^2 \approx 442,46 \text{ рад/с}^2$$

Цей показник свідчить про те, яке прискорення необхідне для досягнення заданої швидкості в обмеженому кутовому просторі.

7. Перевірка узгодженості лінійних швидкостей між форгрейфером і циліндром:

$$R_f \cdot \omega_{f \max} = R_c \cdot \omega_c \Rightarrow 0,3 \cdot 32,1 = 0,15 \cdot 64,2 = 9,63 \text{ м/с}$$

Цей розрахунок підтверджує, що лінійна швидкість обертання форгрейфера відповідає швидкості циліндра, тобто не виникатиме збоїв при передачі аркуша.

Завдяки цим розрахункам можна зробити висновок, що обрані параметри, формули та вихідні дані дозволяють не лише побудувати математичну модель функціонування механізму форгрейфера, а й забезпечити повну відповідність технічним вимогам офсетної друкарської машини Heidelberg SM102. Це дозволяє підтримувати високу якість друку та мінімізувати технічні відмови при великій продуктивності машини.

Висновок до розділу 3

У результаті виконаних детальних розрахунків кінематичних параметрів механізму форгрейфера офсетної друкарської машини Heidelberg SM102 було підтверджено, що його конструктивні та функціональні характеристики повністю відповідають вимогам до високошвидкісного, точного, синхронізованого і надійного переміщення аркуша в процесі друку. Отримані результати дозволяють не тільки кількісно оцінити ефективність роботи механізму, але й оптимізувати його конструкцію при необхідності модернізації або проектування аналогічних систем.

Ретельні розрахунки фазових кутів, кутових швидкостей, прискорень та лінійних співвідношень дали змогу побудувати повну математичну модель функціонування форгрейфера в умовах одного робочого циклу машини. У моделюванні були враховані різні закони переміщення, зокрема на фазах розгону та завершального уповільнення, що забезпечило більш точне наближення до реальних динамічних характеристик механізму. Це особливо важливо для оцінки надійності аркушепередачі при значних друкарських швидкостях.

У ході розрахунків було встановлено такі ключові технічні параметри:

Сумарний робочий хід форгрейфера складає $136,25^\circ$ близько , що забезпечує достатній діапазон руху для повноцінної передачі аркуша з вирівнювального пристрою до друкарського циліндра без зсуву та деформації.

Максимальна кутова швидкість механізму досягає $32,1 \text{ рад/с}$, що є цілком допустимим значенням для забезпечення рівномірного та синхронного руху форгрейфера з елементами основного друкарського вузла.

$$\varepsilon_{f \max} \approx 442,46 \text{ рад/с}^2$$

Максимальне кутове прискорення становить що демонструє динамічну здатність механізму швидко виходити на робочу швидкість і вчасно знижувати її при завершенні руху.

Узгодженість лінійних швидкостей форгрейфера та друкарського циліндра підтверджена числовим співпадінням: $9,63 \text{ м/с}$ що дозволяє виключити ймовірність пробуксовування або недоотримання аркуша у момент передачі.

Підсумовуючи, можна з упевненістю стверджувати, що розраховані параметри повністю відповідають вимогам, які ставляться до механізмів високошвидкісного офсетного друку. Надійність, точність і динамічна узгодженість підтверджують високу ефективність механізму форгрейфера Heidelberg SM102, а також доцільність його подальшого використання або адаптації у новітніх друкарських системах, що потребують високої продуктивності та стабільності у роботі.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота була присвячена дослідженню та аналізу механізму форгрейфера офсетної листової друкарської машини Heidelberg SM102. У межах дослідження проведено всебічний огляд сучасного стану офсетних листових друкарських машин, класифіковано механізми форгрейферів, описано їх конструктивні особливості, принципи роботи, кінематику та технічні вимоги до функціонування.

Перший розділ містить аналітичний огляд різних типів форгрейферних механізмів, які застосовуються у провідних друкарських машинах фірм Heidelberg, Komori, Manroland, Mitsubishi, Ryobi, Koenig & Bauer. Здійснено їхню класифікацію за конструктивними особливостями, принципами роботи, видами приводу та органами керування. Наведено технічні характеристики форгрейферів, які дозволяють здійснювати точну та синхронну передачу аркуша у високошвидкісних умовах друку. Особливу увагу приділено машині Heidelberg SM102, як одній з найрозповсюдженіших у практиці комерційного офсетного друку.

У другому розділі виконано глибокий конструктивно-функціональний аналіз форгрейферного механізму Heidelberg SM102. Розглянуто його будову, описано роботу окремих вузлів, побудовано кінематичну схему механізму та циклограму його функціонування. Наведено пояснення до графіків і схем, що ілюструють узгодженість фаз руху між форгрейфером, передавальним і друкарським циліндрами. Встановлено, що механізм забезпечує плавне прискорення аркуша, мінімізує механічні навантаження та забезпечує точність позиціонування аркуша при друці.

У третьому розділі виконано детальний розрахунок кінематичних параметрів механізму форгрейфера. Розраховано фазові кути розбігу і завершальної фази, визначено сумарний кут робочого ходу, кутову швидкість та прискорення, а також здійснено перевірку узгодженості лінійних швидкостей між форгрейфером і друкарським циліндром. Усі розрахунки виконано з урахуванням реальних експлуатаційних параметрів машини SM102 та

відповідних коефіцієнтів, які використовуються у теорії кулачково-важільних механізмів. Результати показали, що форгрейфер працює стабільно, у синхроні з іншими системами подачі та друку, зберігаючи точність позиціонування аркуша навіть на високих швидкостях друку.

Результати дослідження підтверджують, що форгрейферний механізм Heidelberg SM102 відповідає сучасним вимогам до продуктивності, надійності, стабільності та точності. Визначені параметри і формули можуть бути використані як база для подальшого технічного вдосконалення, діагностики зносу елементів механізму, а також при проектуванні подібних систем у новітньому друкарському обладнанні.

Таким чином, у дипломній роботі:

- проведено класифікацію сучасних форгрейферів;
- досліджено конструкцію і принцип дії механізму форгрейфера SM102;
- побудовано циклограму і кінематичну модель роботи механізму;
- виконано розрахунок основних кінематичних параметрів;
- підтверджено відповідність механізму високим вимогам сучасного поліграфічного виробництва.

Отримані результати можуть бути корисними для інженерів-механіків, які займаються обслуговуванням і модернізацією друкарських машин, а також для дослідників і студентів, що вивчають механізми поліграфічного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Heidelberg Speedmaster SM102 – Operating Instructions and Technical Specifications. — Heidelberg Druckmaschinen AG, 2020.
2. Drucktechnik heute. Heidelberg Innovationen. — Heidelberg: HD Verlag, 2020. — 160 S.
3. ISO 12647-2:2020. Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — Part 2: Offset lithographic processes.
4. Heidelberg Official Brochure – Speedmaster Generation 2020. — Heidelberg, 2021.
5. Koenig & Bauer Rapida Series Technical Overview. — Wurzburg: KBA, 2021.
6. Komori Lithrone G40P: Technological Innovations. — Tokyo: Komori Corp., 2020.
7. Mitsubishi Heavy Industries Printing Machines — Model Comparison. — Tokyo: MHI, 2022.
8. Ryobi MHI Graphic Technology — RMGT 920 Series. — RMGT, 2023.
9. Canon Solutions America: Evolution of Sheetfed Offset. — Canon Whitepaper, 2022.
10. Smithers Pira. The Future of Sheet-Fed Printing to 2028. — UK: Smithers, 2023.
11. Шевченко О.М. Основи автоматизації поліграфічного виробництва: навч. посібник. — Київ: КНУТД, 2021. — 224 с.
12. Касьянов В.М., Ющенко А.О. Основи експлуатації друкарських машин. — Львів: УАД, 2020. — 246 с.
13. Мельничук О.В. Параметри синхронізації у листових офсетних друкарських машинах. — Вісник НТУУ «КПІ», Серія: Приладобудування, 2022. — №5. — С. 38–45.
14. Nakamura T. Sheet Transfer Optimization in Offset Presses. — Journal of Print Science, 2021. — Vol. 26(2). — P. 111–118.

15. Heidelberg Druckmaschinen AG. Automation and AI in Modern Offset. — Heidelberg, 2022.
16. PrintProgress International. Innovations in Gripper Systems. — Vol. 12, 2023. — P. 34–41.
17. Koenig & Bauer AG. Rapida Evolution Series 2020–2024. — KBA Tech Guide, 2023.
18. Ryobi RMGT – Gripper and Feeder Optimization. — Japan: RMGT Tech Files, 2022.
19. Heidelberg Pressroom Manager: Integration and Synchronization. — Heidelberg, 2021.
20. Пономаренко С.І. Поліграфічні машини: нові технічні рішення. — Харків: НТУ «ХПІ», 2020. — 298 с.
21. Müller A. Intelligent Sheet Transfer in High-Speed Presses. — PrintTech Verlag, 2023. — 198 p.
22. Heidelberg Forschung. Synchronisation moderner Greifersysteme. — Heidelberg Whitepaper, 2023.
23. TUV Rheinland. Safety Standards for Sheet-fed Presses. — Germany, 2022.
24. Литвиненко А.О. Кінематичні особливості захоплювальних механізмів. — Вісник КНУТД, 2023. — №3. — С. 48–52.
25. Technical University of Munich. Simulation der Greiferbewegung. — Abschlussbericht, 2020.
26. Heidelberg Sheet Control Systems: Evolution and Analysis. — Heidelberg, 2021.
27. Manroland Sheetfed GmbH. ROLAND 700 Evolution Series – Press Technology. — Offenbach, 2022.
28. OffsetPress News. Advances in Cam-Follower Mechanisms. — Issue 4, 2023. — P. 72–81.
29. Offset Engineering Guidebook. Dynamic Response of Gripper Systems. — Berlin: PEG, 2020.