МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра машин та агрегатів поліграфічного виробництва

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Шостачук Олександр Павлович

УДК 655.326.1+655.3.062

ДИСЕРТАЦІЯ

Підвищення експлуатаційних властивостей друкарського апарату флексографічних аркушевих машин

за спеціальністю 05.05.01. – Машини і процеси поліграфічного виробництва.

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник __***д. т. н., проф. Киричок П. О.*** _____

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

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Шостачук О.П. Підвищення експлуатаційних властивостей друкарського апарату флексографічних аркушевих машин. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01. – Машини і процеси поліграфічного виробництва. – Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського ”, Київ, 2021.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі машин та агрегатів поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» під керівництвом доктора технічних наук, професора Киричка П. О.

Дослідження експлуатаційних властивостей друкарського апарату та фізико-механічних характеристик гофрованого картону і флексографічних форм проводились на створеній технологічній установці на ТОВ ВКП «СТ-Друк».

Робота є результатом самостійних досліджень Шостачука О.П., передбачених обраною тематикою. В ході виконання досліджень автором вперше обґрунтовано та розроблено спосіб визначення жорсткості друкарського апарату, а саме деформацій друкарського та формного циліндрів, досліджено фізико-механічні властивості гофрованого картону та флексографічних форм.

Проаналізовано й узагальнено теоретичні напрацювання технологічного процесу друку на аркушевих флексографічних машинах, визначено фактори, що впливають на процес друку та на якість віддрукованої продукції, проведений аналіз взаємозв’язку між властивостями і параметрами компонентів технологічного процесу та якості проходження самого процесу друку, впродовж якого можуть виникати різноманітні дефекти.

Огляд джерел і наукових праць, проблем якісного друкування на заготовках гофрованого картону, залежності від особливостей технологічного процесу флексографічного способу друку дозволили встановити, що величина тиску при

друці має значний діапазон, що зумовлено властивостями великої номенклатури типів гофрованого картону і флексографічних друкарських форм. Визначено, що параметри технологічного процесу визначаються значеннями тиску при друці 0,05…0,8 МПа, мінімально допустимі навантаження деформації стиску форми 0,02…0,1мм, характер навантажень – циклічний. На основі проведених досліджень складено схему залежності технічного стану флексографічного обладнання і виникненню дефектів при друці.

Проаналізовано і представлено друкарське обладнання, його специфіка та особливості. Було визначено і систематизовано основні складові частини флексодрукарських аркушевих машин для гофрованого картону і на основі отриманих даних було обрано методику для подальшого аналізу конструкцій аркушевого флексографічного обладнання.

Розглянуто техніко-експлуатаційні властивості, що характеризуються через придатність поліграфічного обладнання для його ефективного використання, визначення його технічного стану, ефективної експлуатації при затвердженій системі технічного обслуговування і ремонтів. Представлена схема техніко-експлуатаційних властивостей. В даній роботі розглядаються деякі функціональні показники першої групи, пов’язані насамперед з вимогами до жорсткості конструкції друкарського апарата. Крім того проводиться систематизація факторів впливу функціональних характеристик та параметрів друкарського апарата на типові явища, що виникають в процесі друку.

Дослідження показали, що недостатня жорсткість механічних систем призводить до порушення взаємодії їх механізмів. Це супроводжується порушенням умов нормального перебігу технологічних процесів та викликає знос рухомих з’єднань. Під дією зусилля тиску всі елементи друкарського апарата в друкарських машинах деформуються. Це зменшує деформацію форми для забезпечення необхідного технологічного тиску, а також призводить до перепаду тисків вздовж довжини відбитка. Крім того згинальна жорсткість валів також визначає правильні умови роботи зубчатих зчеплень, що пов'язано з забезпеченням їх точності в процесі роботи. Тому жорсткість ДА — важлива його характеристика, що впливає на

значення припустимого зусилля друку, налагодження апарату до друку і на його якість. Для ротаційних і плоско-друкарських машин вона характеризується величиною сумарного прогину його складових частини - циліндрів і їх цапф, підшипникових опор, стінок остову, крутних деформацій валів і циліндрів.

Аналізуючи фактори, що впливають на якість друку, було визначено, що жорсткість друкарського апарата одна з найважливіших характеристик. Прогин циліндрів призводить до необхідності збільшення тиску на еластичну флексографічну друкарську форму для забезпечення її робочої деформації. Це зумовлює погіршення якості друку і виникненню таких дефектів, як розтискування, розмитість контурів, деформації гофрованого картону. Прогин і кут повороту в опорах буде впливати на точність зубчатих зачеплень, що може визивати їх інтенсивне зношення і полошення на відбитку.

Для визначення прогину геометричної осі циліндра, була розрахована формула, що максимально точно дає змогу визначити прогини аналітичним способом. Також розлянуто типові дефекти, оскільки друк на гофрованому картоні має чимало особливостей, які зумовлені відповідністю вимог до якості і складовими технологічного процесу, а також конструкцією і технічним станом друкарьского апарата.

Проведені дослідження в умовах виробничого процесу на тестових формах зі спеціальними елементами. Виміряні за допомогою цих елементів дефекти і параметри друку класифікували на три основні групи: дефекти до друкарської підготовки, дефекти внаслідок технічного рівня і технічного стану флексодрукарської форми, параметри для коригування передачі кольору.

В процесі дослідження встановлено, що результатами впливу схеми, характеристик друкарського апарата і явищ, які виникають, є якість друку і зміни технічного стану. Враховуючи всі дані, був розглянутий вплив на якість характеристик друкарського апарата. Між характеристиками, типовими явищами та їх наслідками (результати друку і змін технічного стану існує взаємозв'язок, який був виявлений в процесі систематизації і представлений у роботі.

Протягом досліджень було встановлено, що у зв’язку з нерівномірністю жорскості конструкції гофрованого картону по всій площині максимальні технологічні тиски друку різні для різних типів гофрованого картону та флексоформ.

Було проведено експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей гофрованого картону та флексографічних друкарських форм в процесі друку на аркушевих флексографічних машинах. Суть методу полягає у прикладенні руйнівного зусилля при стиску. Для кожного зразка були складені таблиці значень, що дали змогу якісно і кількісно оцінити деформації, визначено фактори, які впливають на їх фізико-механічні властивості при площинному стиску, досліджено показники, залежності значень деформацій від прикладених навантажень.

Для керування якістю флексографічної продукції систематизований вплив параметрів навколишнього середовища (вологості, температури, статичного навантаження та ін.), самого друкарського процесу та технічного стану друкарського апарату.

Розроблена поетапна схема деформації гофрованого картону та флексоформ в залежності від тиску, що дозволяє визначити максимальні величини тиску для різних типів гофрованого картону та флексографічних форм. За результатами досліджень класифіковано гофрований картон в залежності від його конструкції: жорсткий, середньої жорсткості та м’який (легкодеформуючий або «тендітний») та флексоформі: жорсткі та м’які.

У спільних публікаціях автору належить провідна роль у виконанні дослідів та обговоренні їх результатів, формулювання задач досліджень, обґрунтування методології та способу їх розв’язку, проведення математично-статистичного аналізу, формулювання висновків і розроблення комплексного технологічного процесу забезпечення якості друку на заготовках гофрованого картону.

За результатами досліджень опубліковано 14 наукових праць, у тому числі 8 статей у наукових фахових виданнях (з яких 2 праці у виданнях країн, що входять до складу ЄС, 3 у виданнях категорії А та 3 у виданнях категорії В, 6 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій), які широко висвітлюють результати роботи, що виноситься на захист.

1. О. П. Шостачук // Дослідження фізико-механічних властивостей гофрованого картону та флексоформ при друці на флексографічних аркушевих друкарських машин, 2020, Польша, Збірник праць, Przeglad papiemiczy, С. 217-224; Мова публікації: англійська. Видання Євросоюзу.

2. О. П. Шостачук // Підвищення експлуатаційних властивостей деталей флексографічних аркушевих машин, 2020, Болгарія, SWorldjournal, випуск 6, С. 37-48. Мова публікації: укр/англ. Видання Євросоюзу.

3. О. П. Шостачук // Особливості експлуатації пневматичних систем у флексографічних друкарських машинах // Чернігів, Журнал Технічні науки та технології, 2019, С.27-31. Мова публікації: українська (кат.А).

4. О. П. Шостачук, П.О.Киричок // Дослідження впливу технологічних експлуатаційних властивостей гофрованого картону на процес друку на флексографічних аркушевих друкарських машинах, 2020, Київ, Технологія і техніка друкарства. С. 41-55; Мова публікації: українська. (кат.В) / Автор провів аналіз експлуатаційних властивостей друкарського апарату, впливом фізико-механічних характеристик гофрованого картону на процес друку.

5. О. П. Шостачук // Дослідження експлуатаційних властивостей гофрованого картону та флексографічної друкарської форми при друці на флексографічних аркушевих друкарських машинах, 2019, Київ, Технологія і техніка друкарства. С44-49; Мова публікації: українська. (кат.В).

6. О. П. Шостачук // Жорсткість підшипникових вузлів друкарського апарату флексографічних аркушевих друкарських машин //2020, Дніпро, Науковий вісник Національного гірничого університету, Scientific Bulletin of National Mining University, випуск 4, С. 79-84. Мова публікації: українська. (кат.В)

7. О. П. Шостачук //Управління фарбоперенесенням у флексографічному друці шляхом налаштувань флексографічної друкарської машини // Журнал ПакЕкспо, 2019, С. 73–76.;; Мова публікації:українська.

8. О. П. Шостачук // Управление переносом краски в флексографской печати путем подбора расходных материалов, Беларусь, 2019, Зборник трудов НБУ. С. 61-69; Мова публікації: російська. Видання країн СНД.

9. О. П. Шостачук // Жорсткість друкарського апарату флексографічних аркушевих друкарських машин, 2019, Київ, Збірник праць до міжнародної конференції , С. 21-24; Мова публікації: українська.

10. Шостачук О. П. Усунення дефектів флексографічної продукції, пов'язаних із фотополімерними друкарськими формами / О. П. Шостачук // XXV Міжнарод. наук.-практ. конф. з пробл. вид.-полігр. галузі : тези доп., Київ 16 листоп. 2017 р. – К. : УкрНДІСВД, 2017. – 152 с. – С. 145-147.; Мова публікації:українська.

11. Шостачук О. П. Управління якістю флексографічної продукції шляхом налаштувань друкарської секції / О. П. Шостачук // Тези доповідей 18-ї міжнародної науково-технічної конференції студентів і аспірантів «Друкарство молоде», Київ 18-19 квітня 2018 р. – К. : ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 260 с. – С. 130-131.; Мова публікації:українська.

12. Шостачук О. П. Фактори, які визначають якість флексографічної продукції // XXVI Міжнарод. наук.- практ. конф. з пробл. вид.-полігр. галузі : тези доп., Київ 25 квітня 2018 р. – К. : УкрНДІСВД, 2018.; Мова публікації:українська.

13. О. П. Шостачук // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. робіт до міжнар. наук-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – 232 с. – С. 176–177.; Мова публікації:українська.

14. О. П. Шостачук // Особливості підбору та експлуатації підшипників у флексографічній друкарській машині // Зб. праць УкрНДІСВД, кв. 2019, ; Мова публікації:українська.

ANNOTATION

Shostachuk O.P. Improving the performance of the printing unit of flexographic sheet-fed machines. - On the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.05.01. - Machines and processes of printing production.- National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2021.

The dissertation was performed at the Department of Machines and Units of Printing Production of the Publishing and Printing Institute of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, under the guidance of Doctor of Technical Sciences, Professor Kirichko P.A.

Studies of the operational properties of the printing unit and the physical and mechanical characteristics of corrugated cardboard and flexographic forms were carried out on the created technological installation at VKP ST-Druk.

The work is the result of independent research by Shostachuk O.P., provided by the chosen topic. In the course of research, the author for the first time substantiated and developed a method for determining the stiffness of the printing apparatus, namely the deformation of printing and forming cylinders, investigated the physical and mechanical properties of corrugated cardboard and flexographic forms.

Theoretical developments of technological process of printing on sheet flexographic machines are analyzed and generalized, the factors influencing printing process and quality of printed production are defined, the analysis of interrelation between properties and parameters of components of technological process and quality of passing of printing process during which can arise various defects.

A review of sources and scientific works, problems of quality printing on corrugated cardboard blanks, depending on the features of the technological process of flexographic printing allowed to establish that the pressure at printing has a significant range due to the properties of a wide range of types of corrugated cardboard and flexographic printing forms. It is determined that the parameters of the technological process are determined by the values of pressure at printing 0.05… 0.8 MPa, the minimum allowable loads of compression deformation of the form 0.02… 0.1 mm, the nature of the loads is cyclic. On the basis of the carried-out researches the scheme of dependence of a technical condition of the flexographic equipment and occurrence of defects at the press is made.

The printing equipment, its specifics and features are analyzed and presented. The main components of flexographic printing machines for corrugated cardboard were identified and systematized, and on the basis of the obtained data a method was chosen for further analysis of the designs of sheet flexographic equipment.

The technical and operational properties characterized by the suitability of printing equipment for its effective use, determination of its technical condition, efficient operation with the approved system of maintenance and repairs are considered. The scheme of technical and operational properties is presented. In this paper, we consider some functional indicators of the first group, primarily related to the requirements for the rigidity of the design of the printing apparatus. In addition, the systematization of factors influencing the functional characteristics and parameters of the printing apparatus on the typical phenomena that occur in the printing process.

Studies have shown that insufficient rigidity of mechanical systems leads to a violation of the interaction of their mechanisms. This is accompanied by disruption of the normal course of technological processes and causes wear of movable joints. Under the action of pressure, all elements of the printing apparatus in printing machines are deformed. This reduces the deformation of the mold to provide the required process pressure, and also leads to a pressure drop along the length of the impression. In addition, the bending stiffness of the shafts also determines the correct operating conditions of the gears, which is associated with ensuring their accuracy during operation.

Therefore, the rigidity of PU is an important characteristic that affects the value of the allowable printing force, the adjustment of the device to print and its quality. For rotary and flatbed typewriters, it is characterized by the value of the total deflection of its components - cylinders and their pins, bearing supports, frame walls, torsional deformations of shafts and cylinders.

Analyzing the factors influencing the quality of printing, it was determined that the rigidity of the printing apparatus is one of the most important characteristics. The deflection of the cylinders leads to the need to increase the pressure on the elastic flexographic printing plate to ensure its working deformation. This causes a deterioration in print quality and the appearance of such defects as compression, blurred contours, deformation of corrugated cardboard. Deflection and angle of rotation in the supports will affect the accuracy of the gears, which can cause their intense wear and position on the imprint.

To determine the deflection of the geometric axis of the cylinder, a formula was calculated that allows the most accurate determination of deflections in an analytical way. Also typical defects as the press on a corrugated cardboard has many features which are caused by conformity of requirements to quality and components of technological process, and also a design and a technical condition of the printing device.

Researches in the conditions of production process on test forms with special elements are carried out. Defects and printing parameters measured with these elements were classified into three main groups: defects before printing, defects due to the technical level and technical condition of the flexographic printing form, parameters for adjusting color rendering.

In the course of the research it was established that the results of the influence of the scheme, the characteristics of the printing apparatus and the phenomena that occur are the quality of printing and changes in the technical condition. Taking into account all the data, the impact on the quality of the characteristics of the printing apparatus was considered. Between the characteristics, typical phenomena and their consequences (the results of printing and changes in technical condition, there is a relationship that was identified in the process of systematization and presented in the work.

Experimental studies of the physical and mechanical properties of corrugated cardboard and flexographic printing plates in the process of printing on sheet flexographic machines were carried out. The essence of the method is to apply a destructive force during compression. Tables of values were compiled for each sample, which allowed to qualitatively and quantitatively assess the deformations, the factors influencing their physical and mechanical properties under planar compression were determined, indicators, dependences of deformation values on applied loads were investigated.

To control the quality of flexographic products, the influence of environmental parameters (humidity, temperature, static load, etc.), the printing process itself and the technical condition of the printing apparatus is systematized.

A step-by-step scheme of deformation of corrugated cardboard and flexoforms depending on pressure is developed, which allows to determine the maximum pressure values for different types of corrugated cardboard and flexographic forms. According to

the results of the research, corrugated cardboard is classified depending on its construction: hard, medium and soft (easily deformable or "fragile") and flexoform: hard and soft.

In joint publications, the author has a leading role in performing experiments and discussing their results, formulating research objectives, substantiating the methodology and method of their solution, conducting mathematical and statistical analysis, formulating conclusions and developing a comprehensive technological process to ensure print quality on corrugated cardboard blanks.

ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень……..... 15

ВСТУП…….....16

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ДРУКУ……..... 22

1.1. Динамічний розвиток таропакувальної індустрії…….....22

1.2. Флексографічний друк – важлива складова технологічного процесу виготовлення паковання з ГК…….24

1.3. Флексографічне обладнання для друку на ГК…….. 26

1.4. Експлуатаційні властивості друкарських апаратів ФДМ для ГК…… 27

1.4.1. Номенклатура властивостей та показників якості поліграфічного обладнання……... 27

1.4.2. Рекомендації щодо вибору номенклатури показників якості експлуатаційних властивостей ДА ФДМ для друку на ГК……. 29

1.4.3. Світові тенденції побудови і розвитку конструкції флексографічних машин для друку на ГК……29

1.4.4. Взаємозв’язок з іншими науковими роботами……30

РОЗДІЛ 2.ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ АРКУШЕВИХ ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ МАШИН ДЛЯ ДРУКУ НА ГОФРОКАРТОНІ……....32

2.1. Гофрований картон, його експлуатаційні властивості та їх вплив на процеси в друкарському апараті…….32

2.2. Конструкція і параметри ящиків з ГК…….39

2.3. Особливості друку на ГК на аркушевих флексографічних машинах……..…42

2.3.1. Основні способи контактного друку з друкарських форм для ГК……42

2.3.2. Технологічний процес флексографічного способу друку на ГК……....43

2.3.3. Основні фактори впливу на технологічний процес друку на ГК……...44

2.3.4. Основні характеристики ФПФ та монтажної стрічки…….46
2.4. Стан досліджень параметрів технологічного процесу флексографічного способу друку……47
2.5. Систематизація показників якості друку на сучасному пакуванні з ГК, які визначають вимоги до технологічних властивостей ДА ФДМ…..……49
2.6. Висновки до розділу……..50
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДРУКУ НА ГК…….…51
3.1. Сучасне обладнання. Історія, структура, класифікація……..…51
3.2. Огляд сучасного обладнання, їх конструкцій та характерних особливостей……..…53
3.3. Технологічна схема роботи друкарської секції (друкарських апаратів)…….….64
3.3.1. Конструкція ДА флексографічних машин для друку на ГК (на прикладі ДВЛ-1800)……..…….……68
3.3.2. Конструкція ДА швецької машини ЕМВА 244……..…….…..70
3.3.3. Механізм забезпечення друкарського тиску між ФЦ та ДЦ…….....71
3.3.4. Механізм забезпечення друкарського тиску між АВ та ФЦ…….….72
3.3.5. Система транспортування заготовок……....72
3.3.6. Привід флексодрукарського апарату для друку на ГК (на прикладі машини ДВЛ-1800)…….……..75
3.4. Технічні характеристики сучасного обладнання для друку на ГК……...78
3.5. Результати патентного пошуку……..……..78
3.6. Техніко-експлуатаційні властивості друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин.…….……81
3.6.1. Техніко-експлуатаційні властивості……..…...81
3.6.2. Розрахунок жорсткості конструкції ДА……..…….82
3.6.2.1. Опис досліджуваної конструкції…….……..83

3.6.2.2. Розрахункова схема для визначення пружних деформацій формного і друкарського циліндрів……..…..…84

3.6.2.3. Навантаження в друкарському апараті……....……85

3.6.2.4. Розрахунок технологічного навантаження……...……86

3.6.2.5. Навантаження у системі привода ДА…….86

3.6.2.6. Навантаження від сил ваги циліндрів…….....88

3.6.2.7. Розрахунки пружних деформацій…….....89

3.6.2.8. Жорсткість підшипникових вузлів…….....…..98

3.7. Типові дефекти при флексографічному друці на ГК як діагностичні параметри і ознаки……....100

3.8. Систематизація факторів впливу складових ТП на якість і дефекти при друці…….…...…103

3.9. Висновки по розділу……..…105

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА……..……108

4.1. Дослідження деформацій ГК при площинному стиску……..108

4.2. Дослідження фізико-механічних властивостей ФДФ…….…….117

4.3. Рекомендації щодо застосування техніко-експлуатаційних показників при флексографічному друці на гофрокартоні……...122

4.4. Висновки по розділу……...…129

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ……..…….....131

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..….134

Додатки

Додаток А

Додаток Б

Перелік скорочень та умовних позначень.

АВ – анілоксовий валик;

ГК – гофрований картон;

ДА – друкарський апарат;

ДВ – дукторний валик;

ДС – друкарська секція;

ДЦ – друкарський циліндр;

ЗМ – задруковуваний матеріал;

ПО – поліграфічне обладнання;

ПЯ – показник якості продукції;

Р – ремонт;

ТО – технічне обслуговування;

ТП – технологічний процес;

ТС – технічний стан;

ФДМ – флексографічна друкарська машина;

ФДФ – флексографічна друкарська форма;

ФПП – фотополімерна пластина;

ФПФ – фотополімерна друкарська форма;

ФЦ – формний циліндр.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Основним завданням будь-якого друкарського процесу є отримання відбитка, що відповідає основним вимогам якості зображення, а також є максимально наближеним до відтворюваного оригіналу. Нині флексографічний друк найчастіше використовують під час виробництва паковань, етикеток, газет.

Тема дослідження зумовлена потребою у підвищенні якості виконання паковання з заготовок гофрованого картону, відсутністю рекомендацій щодо технологій та необхідного обладнання, а також значних проблем при нанесенні суцільних друкованих елементів на його поверхні.

Наявність великої кількості задруковуваних типів поверхонь і друкарських фарб досі не дозволила розробити єдині стандарти та вимоги до процесів флексографічного аркушевого друку. Нині флексографічний друк усе ж поступається іншим видам друку за якісними характеристиками відбитків. Серед основних недоліків варто відзначити: обмежену розподільчу здатність і графічну точність друку, високий приріст фарбового тону, проблеми закріплення фарби на відбитку, нерівномірність фарбового шару, особливо при задруковуванні суцільних елементів.

Проаналізувавши теоретичні напрацювання технологічного процесу друку на аркушевих флексографічних машинах, визначено фактори, що впливають на процес друку та на якість віддрукованої продукції. Проведено аналіз взаємозв’язку між властивостями компонентів технологічного процесу та якістю проходження самого друку, упродовж якого можуть виникати різноманітні дефекти. Наявні джерела та наукові праці щодо проблем якісного друкування на заготовках гофрованого картону, дозволили встановити, що, залежно від особливостей технологічного процесу флексографічного способу друку, величина тиску під час друку має значний діапазон. Це явище зумовлене властивостями великої номенклатури типів гофрованого картону та флексографічних друкарських форм.

Досліджуючи процес транспортування заготовок гофрованого картону в флексографічній друкарській машині було визначено, що якість нанесення шару

фарби продукції суттєво залежить від позиціювання відносно направляючих та елементів самого друкарського апарату, однак, рекомендацій щодо поліпшення наразі немає.

Отже, актуальною проблемою є розробка технологічного процесу та удосконалення друкарського апарату, оптимізація технологічних параметрів, визначення параметрів витратних матеріалів з метою покращення показників якості і експлуатаційних властивостей задрукованої продукції.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено такі завдання:

- провести аналітичний огляд проблеми забезпечення якості і експлуатаційних властивостей задрукованої флексографічної продукції і запропонувати шляхи її підвищення;
- розробити методику теоретико-експериментальних досліджень з урахуванням параметрів якості флексографічних форм, задрукованої продукції і її експлуатаційних властивостей;
- встановити аналітичні залежності між технічними показниками друкарського апарату флексографічної аркушевої машини та якістю задрукованої продукції;
- запропонувати конструкторсько-технологічне удосконалення друкарьского апарату флексографічних аркушевих машин;
- розробити класифікацію друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин;
- дослідити вплив технологічних особливостей виготовлення гофрованого картону та флексографічних форм, їх фізико-механічних властивостей на якість проходження процесу друку на флексографічних аркушевих машинах та якість задрукованої продукції;
- розробити програмний комплекс для автоматизованого розрахунку прогинів друкарського та формного циліндрів за заданими параметрами на флексографічних аркушевих машинах;
- розробити алгоритм керування технології флексографічного друку з урахуванням удосконаленого флексографічного друкарського апарату

обладнання та запропонувати відповідне програмне забезпечення для оперативного моніторингу складових процесу;

- провести апробацію результатів досліджень і визначити застосування розробленого технологічного забезпечення в реальних виробничих умовах;
- дати науково-обґрунтовані рекомендації щодо реалізації технологічного процесу флексографічного аркушевого друку, а також методів підвищення якості відбитків на поліграфічному виробництві;
- виявити причини технічного і технологічного характеру, що впливають на показники якості задрукованої флексографічної продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження проводились у КПІ ім. І. Сікорського на кафедрі машин та агрегатів поліграфічного виробництва Видавничо-поліграфічного інституту, за господарськими договорами №157/21 від 14.11.2013 «Дослідження ринку гофрованого картону в Україні та обладнання для задруковування заготовок з гофрованого картону» (пошукачем проаналізовано витратні матеріали та технології задруковування гофрованого картону, обладнання та розроблено технічні рекомендації щодо подальшого впровадження у виробництво), №41/12 від 05.05.2014 «Розробка програмного продукту для автоматизованого розрахунку жорсткості друкарського апарату флексографічних аркушевих машин» (пошукачем досліджено прогини друкарського та формного циліндрів, на основі отриманих даних створено алгоритм та програмне забезпечення для автоматизованого розрахунку самих прогинів), №17/9 від 01.09.2020 «Розробка паковання для м'ясної продукції та технології її задруковування» (пошукачем розроблено спеціальне паковання для м'ясної продукції короткого терміну зберігання та запропонована технологія для його задруковування) та №2212-п від 22.11.2020 «Теоретичні та практичні засади забезпечення якості металографічного друку» (пошукачем проаналізовано прогини формного та друкарського циліндрів металографічного друку).

Об'єктом дослідження є технологічна система забезпечення якості і експлуатаційних властивостей задрукованої продукції і флексографічного аркушевого обладнання, а також комплекс конструкторсько-технологічних заходів

щодо удосконалення параметрів та властивостей друкарського апарату флексографічних аркушевих машин, оптимізації технологічних режимів процесу друку.

Предметом дослідження є технологічні режими, параметри якості та експлуатаційні властивості задрукованої продукції, друкарського апарату і флексографічних аркушевих машин в цілому.

Методи дослідження. Теоретичні та експериментальні дослідження проводилися на основі методів для аналізу прогинів циліндрів, теорії вимірювань, системного аналізу та математичного моделювання. Для обробки експериментальних даних застосовувалися методи математичної статистики та теорії імовірності, а також програмний комплекс Microsoft Excel.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертації отримані наступні наукові результати:

1. Вперше розроблено комплекс технологічного забезпечення параметрів якості і експлуатаційних властивостей задрукованої продукції, а також вплив параметрів вдосконаленого друкарського апарату, навколишнього середовища і технічного стану обладнання в цілому на якість флексографічної продукції.
2. Встановлені аналітичні залежності між технічними показниками, режимами та параметрами удосконаленого друкарського апарату флексографічної аркушевої машини та якістю виготовлення кінцевої продукції.
3. Розроблено класифікацію друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин з урахуванням технологічних параметрів для виявлення загальних ознак, які можуть бути використані при конструюванні нових апаратів, а також при аналізі та дослідженні існуючих.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Для підвищення надійності флексографічних аркушевих машин запропоновано технічні рішення, що в свою чергу пов’язані з реалізацією комплексу технічних та технлогічних заходів для забезпечення високих вимог експлуатаційних властивостей друкарського апарату флексографічних аркушевих машин та показників надійності в цілому.

2. Запропонована класифікація дозволяє оптимізувати і уніфікувати флексографічне аркушеве обладнання.

3. Матеріали досліджень використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін: «Обладнання виробничо-поліграфічних виробництв», «Друкарське обладнання», «Конструювання і розрахунок друкарського обладнання».

4. Розроблено технологічні інструкції щодо експлуатації флексографічного аркушевого друкарського обладнання, які забезпечують підвищення продуктивності в межам від 20% до 40%, а також такі показники якості: суміщення фарб, рівномірність фарбового шару, стабільність самого процесу.

5. Розроблено рекомендації щодо усунення поширених причин виникнення різноманітних дефектів при друці на флексографічному аркушевому обладнанні, що в свою чергу зменшує час налагодження обладнання, а також виявленню недоліків друку на початкових етапах друку.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертаційного дослідження отримано автором особисто. Наукові праці [1-3], [5-14] написано автором одноосібно. У роботі [4] автор провів аналіз експлуатаційних властивостей друкарського апарату, впливом фізико-механічних характеристик гофрованого картону на процес друку. Основні ідеї та теоретико-експериментальні дослідження, які виносяться на захист розроблені і отримані автором особисто. У праці, яка опубліковані в співавторстві, здобувач описав основні ідеї проведених досліджень, їх реалізацію та наукове обґрунтування. .

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднені автором у доповідях і повідомленнях на міжнародних і всеукраїнських наукових, науково-практичних конференціях: XIII, XIV, XVI, XVII, XIX Міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Друкарство молоде» (м. Київ, 2013 р., 2014 р., 2016., 2017 р., 2019 р.); XXV, XXVI, XXVIII Міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі (м. Київ, 2017 р., 2018 р., 2019 р.) та на наукових

семінарах кафедр машин та агрегатів поліграфічного виробництва та технології і техніки друкарства.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 14 наукових праць, у тому числі 8 статей у наукових фахових виданнях (з яких 2 праці у виданнях країн, що входять до складу ЄС, 1 стаття у виданні категорії А та 3 у виданнях категорії Б), 8 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій, які широко висвітлюють результати роботи, що виноситься на захист.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку науково-технічних джерел та додатків. Обсяг рукопису 131 сторінка, містить 54 рисунка, 14 таблиць, 5 додатків. Список науково-технічних джерел нараховує 142 найменування.

РОЗДІЛ 1

1. Аналіз сучасного стану розвитку флексографічної галузі.

1.1. Динамічний розвиток таропакувальної індустрії.

Сучасний світ вже зараз неможливо уявити без паковання. Більше 94% продукції вимагає паковання. Дослідження ринку показало , що за своїми соціально-економічними функціями, обсягом та темпами виробництва, ступенем автоматизації та у використанні досягнень в науці та техніці ця галузь займає провідні позиції та визначає загальні показники національної економіки. В більшості країнах виробництво паковання і тари займає одне з найважливіших місць серед галузей промисловості та складає приблизно 2..5% від валового національного продукту. Обсяг виробництва таропакувальної продукції у світі на кінець 2020 року оцінюється приблизно *530-580 млрд. дол. США* [1-4] (за даними WPO, Світової організації з пакування та Британського об'єднання PSRA), що значно більше, ніж у авіа- та судно будівництві разом взятих.

Паковання виготовляється з різних матеріалів: паперу, картону, плівок, пластмаси, металу та навіть скла [4]. Сучасний ринок пакувальних матеріалів постійно змінюється як у якісному, так і числовому значеннях. Матеріали для заготовок ГК займають до 40% від загальних обсягів світового ринку паковання .

Рис.1.1. *Види паковання з ГК.*

Паковання з ГК застосовується як у вигляді паковання одиничної продукції, та і для групової, практично у всіх сферах промисловості (рис.1.1). Здебільшого це транспортна тара, яка призначена для захисту різноманітних

виробів від механічних пошкоджень під час перевезень і зберігання [9]. Паковання з ГК класифікують відповідно до стандартів ASSCO (Союз європейських виробників паковання ГК). В Україні його виготовлення регламентується ГОСТ 9142-90. До переваг паковання з ГК відносять досить дешеве виготовлення та доступність витратних матеріалів, надання необхідних фізико-механічних та споживчих характеристик, високу степінь автоматизації технології виробництва. Картонна тара – екологічна, оскільки дуже просто утилізується та 80% використовується вторинно.

Український ринок паковання має стрімкий розвиток завдяки розширенню ринку послуг та товарів. За даними Держкомстату за 2020 рік було випущено близько 1,9 млн. т картону та гофрокартону, що становить приблизно 36 кг на одного мешканця України. Український ринок гофрованого картону представлений такими виробництвами:

- Рубажінським КТК;
- Київським КБК;
- Жидачівським ЦБК;
- Трипільським УК;
- Ізмаїльським ЦКК;
- Луганським ГТК
- ГК «Донецьк-Вторма»;
- «Картол»;
- іншими, частка на ринку яких становить менше 1,4%.

Потреба у ГК до 80% забезпечується вітчизняними виробниками, решта імпортується, це здебільшого більш дорогі види для спеціальних видів паковання [4] (за даними компанії Drink-Plus).

Об’єми українського ринку тари з ГК, починаючи з 1996 року, постійно ростуть за рахунок того, що основними споживачами гофрованого паковання є харчова промисловість, частка якої складає близько 75%, інші 25% відносяться до фармацевтичної, парфюмерно-косметичної промисловості та виробників побутової хімії, а також техніки. Розподіл загального об’єму споживання

гофрокартону по галузям на кінець 2020 року представлено на рис. 1.2 [5] (за даними Держкомстату).

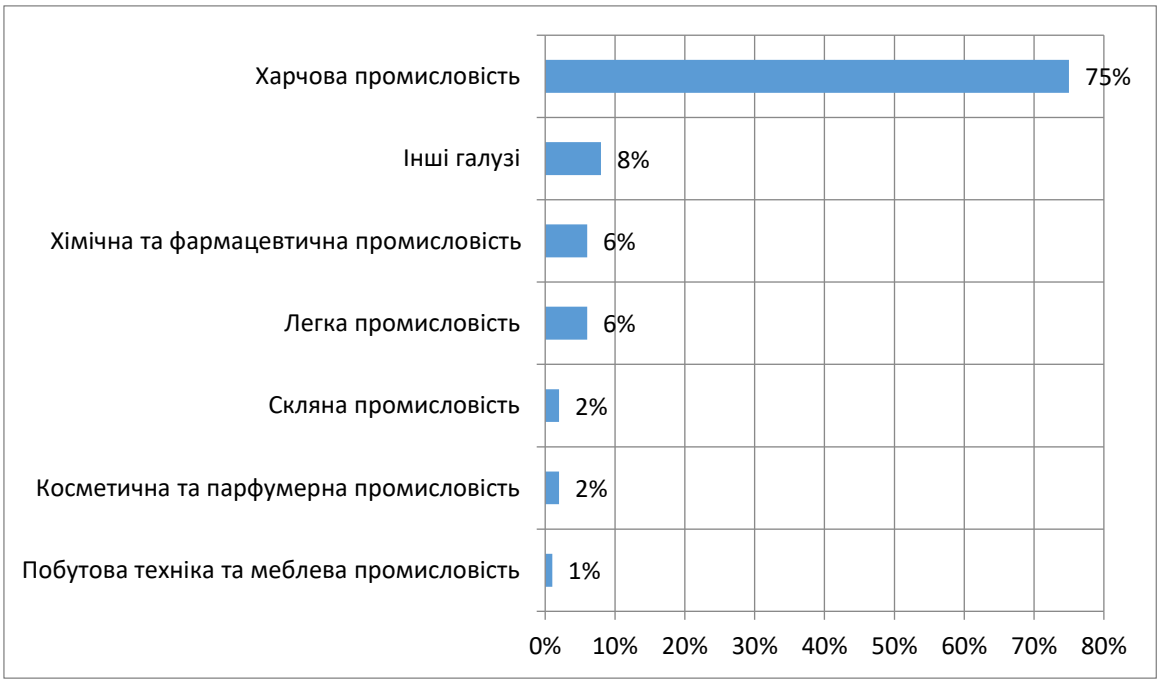


Рис.1.2. *Розподіл загального об'єму споживання продукції з ГК по галузях на кінець 2020 року.*

1.2. Флексографічний друк – важлива складова технологічного процесу виготовлення паковання з ГК.

Якість виготовлення паковання і тари залежать від якості складових частин: починаючи з розробки дизайну (форма та кольорове оформлення) та проектування [5-7], рівня технологій, що застосовуються, технічного рівня обладнання, властивостей обраних напівфабрикатів та витратних матеріалів. Поліграфічному оформленню паковання приділяється значна увага [8,9], оскільки наряду з інформаційною функцією про продукт воно є і маркетинговим інструментом [10-12].

Флексографія — спосіб друку, який постійно вдосконалюється, та є одним з найперспективніших напрямків у виготовленні друкованої продукції, пов'язаної зі створенням якісного паковання. Завдяки використанню гнучких форм, мало-в'язких, швидковисихаючих фарб [13,14], флексографія об'єднує в собі переваги високого і офсетного друку і в той же час позбавлена недоліків цих способів. Процес друку відбувається при малих тисках. На даному етапі розвитку флексографія посідає одне з провідних місць за об'ємами

на світовому ринку друкованої продукції (рис.1.3), а питома вага паковання з ГК, що оброблюється флексографічним способом показана на рис.1.4.

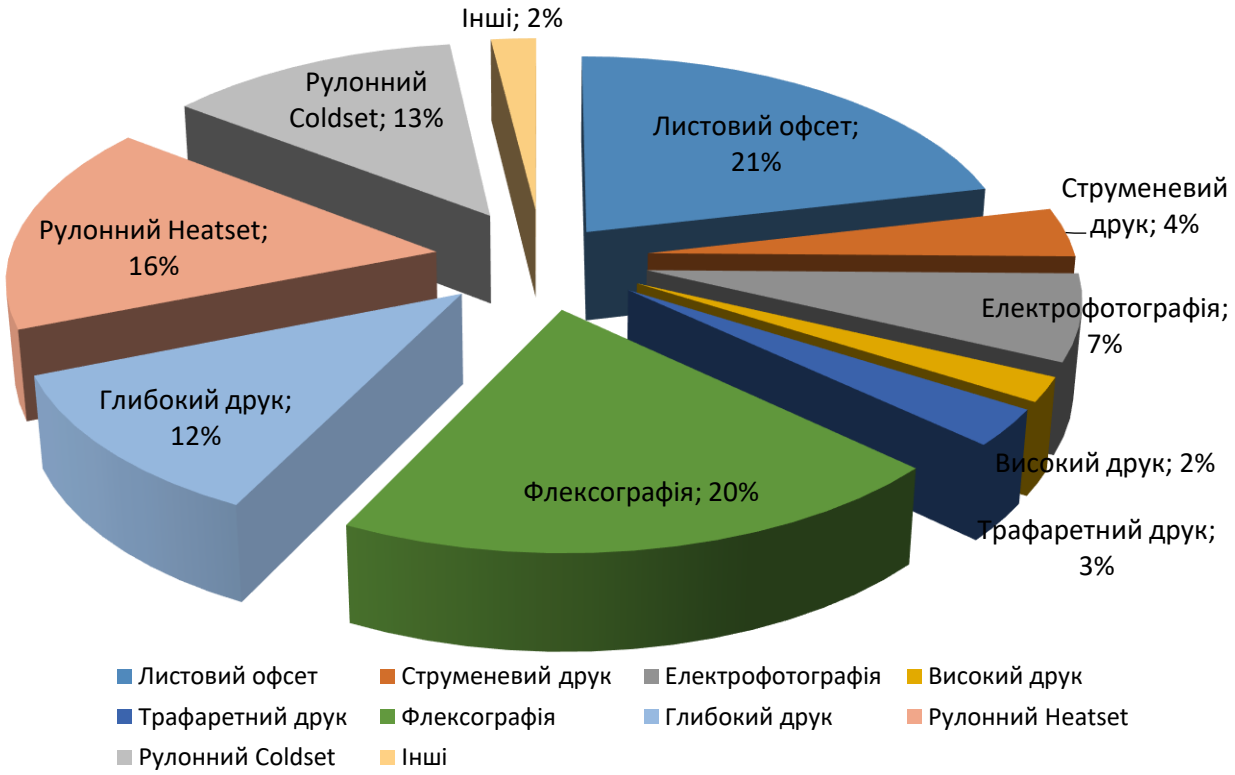


Рис.1.3. *Світовий ринок друкованої продукції на кінець 2020 року.*

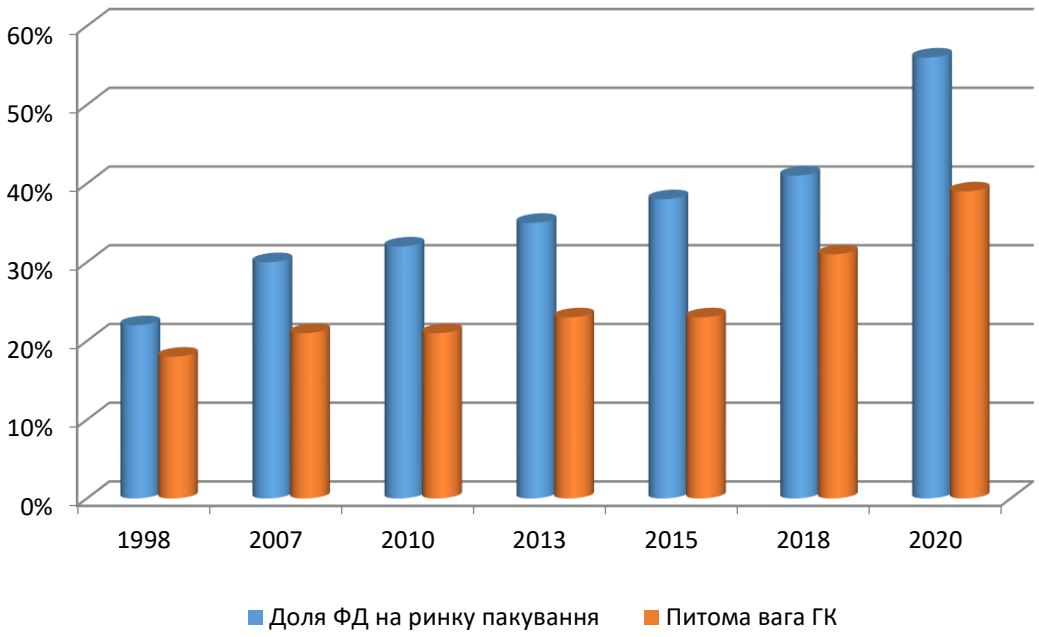


Рис.1.4. *Гістограма питомої ваги паковання з ГК.*

1.3. Флексографічне обладнання для друку на ГК.

Для задруковування заготовок ГК найчастіше використовують аркушеві флексографічні машини. Донедавна основними елементами поліграфічного оформлення паковання з ГК були текст та прості штрихові ілюстрації, але вже сьогодні є необхідність забезпечувати оформлення повноцінними растровими зображеннями [15,16]. Завдяки цьому спостерігається динамічний розвиток видів ФДМ і вдосконалення друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин, як найбільш вагомих складових конструкції. ФДМ різного технічного рівня виготовляють в багатьох країнах: в Україні на заводі «Київполіграфмаш», «Реста», «Донпласт» та ін. Серед відомих закордонних виробників необхідно відмітити таких флагманів: шведську фірму «EMBA», французьку «M.Martin», а також фірми KBA, BOBST Group, фірми Китаю, Тайваню, російську «Веста», «Арніта» та інші.

Зі всієї гамми обладнання значне місце займають одно- і двохфарбові операційні машини та друкарські секції, що використовуються в лініях по виготовленню і пакуванню гофроящиків. Але світовою тенденцією є рішення побудови флексографічних машин для друку на ГК разом з іншим технологічним обладнанням для фальцювання, висічки, рилювання, склеювання і складання готової продукції у блоки та на палети.

Такі сучасні лінії представляють собою потокові лінії, побудовані по принципу «on-line» та досить гнучкі у конфігурації при комплектуванні, а з використанням автоматизованої системи управління не тільки обладнанням, а й технологічним процесом, автоматичним регулюванням та налагоджуванням на тираж, а також діагностики на всіх етапах проходження самого процесу, стану обладнання, ми отримуємо сучасний комплексний автоматизований агрегат для обробки заготовок з ГК. Це в свою чергу обумовлює підвищені вимоги до конструкції друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин при використанні нових технологій, а також висока клаліфікація працівників.

1.4. Експлуатаційні властивості друкарських апаратів ФДМ для ГК.

1.4.1. Номенклатура властивостей та показників якості поліграфічного обладнання.

У відповідності із визначенням поняття «якість продукції», в тому числі і для машинобудівної продукції, визначає сукупність таких властивостей, які характеризують ступінь придатності до виконання поставлених задач в залежності від їх призначення та застосування. Стосовно поліграфічного обладнання та паковання [17] якість визначається придатністю машин виробляти продукцію певного тиражу і необхідної якості при мінімальних витратах. В такому випадку ПО в залежності від їх функціональних призначень може набувати великої кількості різноманітних властивостей. Виходячи з цього, для кожного виду ПО можна класифікувати експлуатаційні властивості на три групи. До них відносимо технологічні та технічні властивості, що дають можливість дати оцінку технічному стану ПО, його конструкції, складових частин, а також техніко-експлуатаційні, які обумовлюють можливість для ефективного використання та ступеню придатності машин стабільно випускати якісну продукцію при вже прийнятій системі технічного обслуговування та ремонту. Якість ПО суттєво залежить від якості його складових частин та матеріалів, від сукупності властивостей та характеристик комплектуючих, функціональних вузлів та деталей.

Кількісна характеристика одного або декількох властивостей, що розглядається відповідно до зазначених умов її експлуатації, називається ***показником якості продукції*** [2]. Їх розділяють на дві підгрупи:

– ознака ПЯ, яка є якісною або кількісною характеристикою властивості;

– параметр ПЯ, який кількісно характеризує властивості або стан ПО.

Таким чином, ПЯ ПО характеризують ступінь виявлення визначеної експлуатаційної властивості, а його найменування визначає властивості, що характеризуються, а числове значення може визначатися як в розмірних одиницях, так і в безрозмірних. Тобто кожен вид продукції характеризує своя

номенклатура показників якості, яка залежить від призначення продукції. Для ПО був розробленийстандарт [18], який визначав показники в залежності від підгруп ПО за галузевим класифікатором. У зв'язку із зростанням та удосконаленням в технології поліграфічного виробництва та, відповідно з вимогами до функціонування обладнання ГОСТ не містить сучасної інформації по показникам якості та носить суто інформаційний та рекомендований характер.

Показники якості для різних типів поліграфічних машин специфічні і залежать від їх функціонального призначення. Вони описуються у відповідних нормативних документах (стандартах, технічних вимогах і т.п.) із зазначенням допустимих значень. В експлуатаційній документації вказують технічні дані, параметри і характеристики, необхідні для вивчення і вірної експлуатації машин та її складових частин [19].

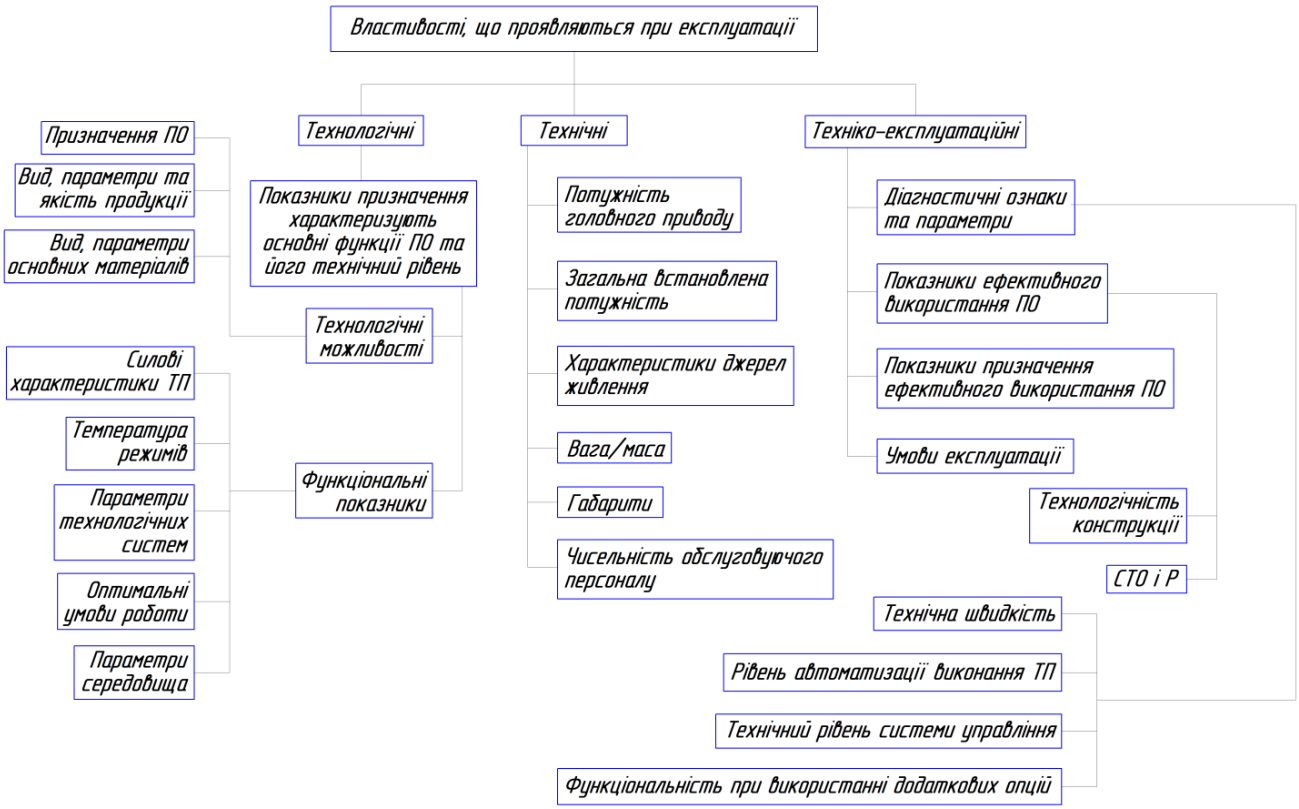


Рис.1.5. *Систематизація показників якості поліграфічного обладнання.*

В складних системах та машинах вимоги до номенклатури показників та їх значень встановлюються як до машини (або лінії) в цілому, так і до її окремих частин, вузлів та агрегатів. При цьому значення вихідних параметрів якості поліграфічних машин залежать від таких параметрів, що характеризують стан окремих частин та вузлів, а також від впливу та ролі при забезпеченні запрограмованих показників якості машин в цілому. На рис.1.5 приведена систематизація ПЯ ПО.

1.4.2. Рекомендації щодо вибору номенклатури показників якості експлуатаційних властивостей ДА ФДМ для друку на ГК.

При складанні рекомендацій по вибору ПЯ базувались на:

– положеннях в [20-22];

– тенденціях розвитку та вимог до паковання з ГК (розд. 1);

– аналізі факторів впливу складових та відомих параметрів технологічного процесу, параметрів конструкції ДА на якість процесу друку (розд. 2, 3);

– аналізі світової тенденції побудови та розвитку конструкцій ФДМ та їх ДА.

Було встановлено, що якість друку на ГК суттєво залежить від:

– характеристик ДА, а саме жорсткість і точність конструкції циліндрів та елементів приводу, чутливість та стабільність їх до налагодження;

– фізико-механічних властивостей ГК та фото полімерних форм.

Рекомендації щодо експлуатаційних властивостей ДА і їх показників якості сформулювало в розд. 5.

1.4.3. Світові тенденції побудови і розвитку конструкції флексографічних машин для друку на ГК.

Аналіз конструкції і технічного рівня флексографічного обладнання для обробки ГК дозволяє зробити висновки про тенденції його розвитку [23-26]:

– друкарські апарати флексографічного способу друку для ГК побудовані за двома технологічними схемами, що обумовлює різницю в експлуатації та технічному обслуговуванні;

– удосконалення конструкції ДА для поліпшення якості друку відбувається за рахунок змін у фарбових системах (виготовлення високоякісних та високолініатурних АВ та застосування камер-ракельної системи подачі фарби);

– ДА мають значні габарити, оскільки ширина відбитку може сягати до 4,5 *м*, що є передумовою насичення друкарської секції механізмами, які забезпечують налагодження на величину друкарського тиску, товщину ГК та суміщення фарб при друці;

– для забезпечення багатокольорового друку, ДА у вигляді автономних секцій (модулів) встановлюються послідовно у лінію;

– ДС поєднуються у лінію з висікальними та фальцювально-склеювальними секціями і мають високоавтоматизовані системи керування та технічного діагностування.

1.4.4. Взаємозв’язок з іншими науковими роботами.

При дослідженні механіки ДА аналізувалися і використовувалися положення нормативних документів [24-30], роботи по механіці друкарських апаратів офсетних і плоскодрукарських машин [31-34] по фізико-механічним властивостям ФПФ та ГК, нормативні документи на проведення вимірювань характеристик ГК і його складових частин, використовуючи відомі методики розрахунків та обробки результатів [35-47].

1.4.5. Висновки до розділу.

Аналіз флексографічного обладнання для задруковування гофрованого картону вказав на відсутність рекомендацій та стандартів по налаштуванню друкарських апаратів аркушевих машин. Є необхідність у розробці практичних рекомендацій та апробація їх у виробничих процесах виготовлення якісного

паковання з ГК. Необхідно дослідити причини неякісного відтворення флексографічним способом відбитків на аркушевих флексографічних машинах.

Аналіз різновидів ГК показав відсутність оптимальних та чітких технологічних режимів та технічних умов для налаштувань ДА флексографічних аркушевих машин.

Наявність значної кількості флексографічних форм, розроблених в різних країнах провідними виробниками та з різними технологічними вимогами не дозволяє чітко визначити їх технічні параметри для технологічного процесу друкування на аркушевих флексографічних машинах.

Наявність прогину циліндрів, що суттєво впливає на якість задруковування на ГК, потребує нових конструкторсько-технологічних рішень для ДА, а також математичних розрахунків його динамічних навантажень, специфіки конструкції та кінематики.

Проведений аналіз прогинів показав, що причиною цього явища є відсутність постійного тиску по всій ширині смужки контакту в друкарському апараті флексографічних аркушевих машин.

Дослідження самого процесу показало наявність проблеми щодо якісного позиціонування заготовок ГК в процесі друку на аркушевих флексографічних машинах.

РОЗДІЛ 2

2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ АРКУШЕВИХ ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ МАШИН ДЛЯ ДРУКУ НА ГОФРОКАРТОНІ.

Технологічні властивості поліграфічного обладнання характеризуються показниками призначення, які визначають його технологічні можливості, а також функціональними показниками, до яких відносять параметри технологічного процесу та особливості його проходження. Для аркушевих ФДМ для друку на ГК технологічні можливості розкриваються через тип і параметри вихідної продукції, характери витратних матеріалів. В свою чергу вони можуть впливати не тільки на параметри технологічного процесу, але і визначають технологічну схему роботи машини та її складових частин. Проведемо систематизацію факторів впливу на технологічні властивості ФДМ.

2.1. Гофрований картон, його експлуатаційні властивості та їх вплив на процеси в друкарському апараті.

Структура ГК та його основні параметри.

Гофрокартон – багатошаровий матеріал, який складається з послідовно з’єднаних плоского аркуша паперу (лайнера) та гофрованого шару (флютінга) [26]. У випадку багатошарового ГК зовнішні лайнери називають покривними (рис. 2.1).

Рис. 2.1. *Види гофрокартону.*

В залежності від кількості гофрованих шарів розрізняють 2-х, 3-х, 5-ти, 7-ми, 9-тишаровий ГК [34], що класифікують за загальною кількістю гофрованих і плоских шарів:

Д – двохшаровий - складається з одного плоского та одного гофрованого шарів;

Т – трьохшаровий – складається з двох плоских шарів, та одного гофрованого шару;

П – п’ятишаровий – складається з трьох плоских (двох зовнішніх та одного внутрішнього) та двох гофрованих шарів.

Головними параметрами, які впливають на фізико – механічні характеристики ГК є:

– крок та довжина хвилі гофру (рис.2.2). В залежності від їх значень на погонний метр приходиться від 108 до 560 кількості хвиль. Саме цей параметр суттєво обумовлює опір площинному стиску аркуша та частково гладкість його поверхні;

– міцність на стиск лайнерів, які фіксують положення гофрів, функціонують на стиснення, розрив і опір продавлюванню.

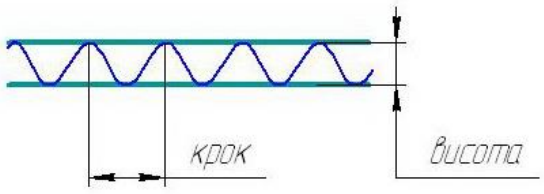


Рис.2.2. *Параметри гофрокартону.*

Структура ГК може мати різні типи гофрованих шарів. Види гофрів і їх параметри характеризують різні типи ГК (табл. 2.1), що регламентуються стандартами [26-30] та технічною документацією [48].

Матеріали для виробництва гофрованого картону.

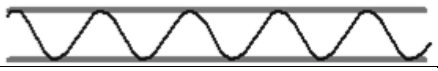
Картон для плоских шарів – картон-лайнер (англ. *linerboard*). Складається з двох і більше шарів і підрозділяється на окремі види залежно від використовуваних при його виготовленні напівфабрикатів та зовнішнього

вигляду покривного шару [49-50]. Маса лайнерів становить 125..250 *г/м*^{2}. Розрізняють:

- картон-лайнер бурого кольору без покриття (англ. *brown liner*), картон-лайнер з білим покривним шаром (англ. *white-top liner*), та крейдований лайнер (англ. *coated liner*);
- папір для гофрування – флютінг (англ. *fluting*) – зазвичай виготовляють одношаровим і залежно від первинної сировини підрозділяють напівцелюлозний (англ. *cemichemical*) і макулатурний (*recycled*). Флютінг має масу від 110 до 150 *г/м*^{2}, але якщо паковання призначається для використання в екстремальних умовах, або зберігання товару, що легко ушкоджується, то цей показник повинен становити 175, 200 та 225 *г/м*^{2}*;*
- клеї застосовують на основі ПВА, на крохмальній основі або силікатний – з розчинного силікату натрію.

Таблиця 2.1

Профілі гофрів ГК

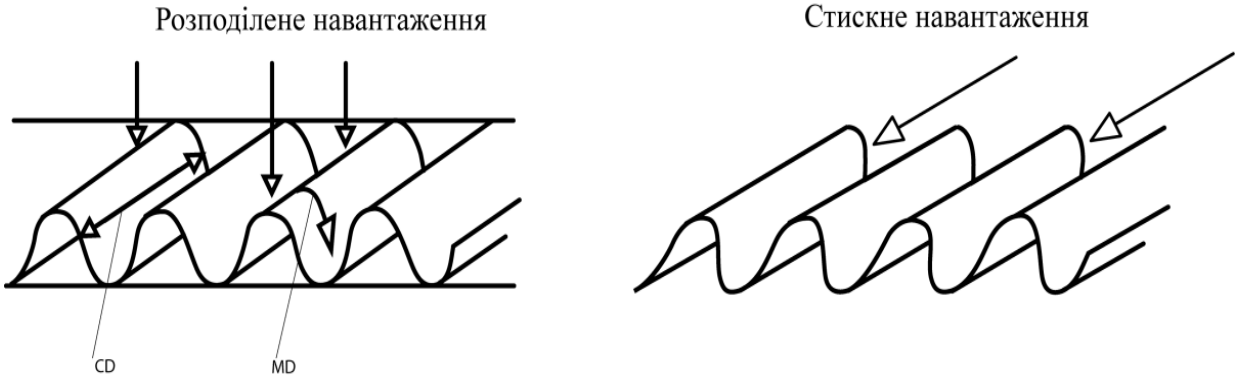
Тип гофру	Структура ГК	Найменування гофру	Висота гофру, мм	Крок гофру, мм	Кількість хвиль на 1погонний метр
A		крупний	4,4 – 5,5	8 – 9,5	108-118
B		мілкий	2,2 – 3,2	4,5 – 6,4	154-164
C		середній	3,2 – 4,4	6,5 – 8,0	127-137
E		мікро	1,1 – 1,6	3,2 – 3,6	295-315
F			0,75	2,4	413-415
G			0,55	1,8	553-555
N			0,50	<1,8	>565

A+B		—	—	—	—
C+B		—	—	—	—
E+B		—	—	—	—

Основні фізико-механічні характеристики, що визначають якість ГК при виготовленні паковання.

Основні механічні характеристики, що визначають якість ГК наведені в табл. 2.2. В зв'язку з тим, що ГК застосовується для транспортної тари, тому особливого значення набувають його характеристики площинної і торцевої міцності та амортизаційні властивості.

ГК відноситься до анізотропних матеріалів, що мають міцність вздовж (*MD*) і поперек (*CD*) гофрів (рис.2.3). Тому при обробці картону, в т.ч. і при друці, уздовж машинного напряму і упоперек до нього, технологічні навантаження різні по величині. Під дією навантаження перпендикулярно до напрямку гофрів картон діє як амортизуючий матеріал (рис.2.3а). Якщо навантаження діє вздовж гофрів, картон працює як жорсткий матеріал, що не деформується (рис.2.3б). Ці особливості картону використовують при конструюванні транспортної тари [51,52], яка повинна витримувати стиснення у вертикальному напрямі – при штабелюванні, а також вздовж і поперек



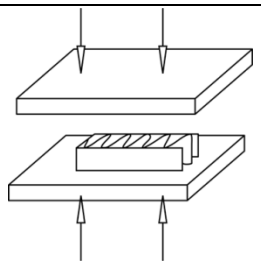
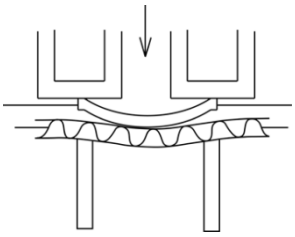
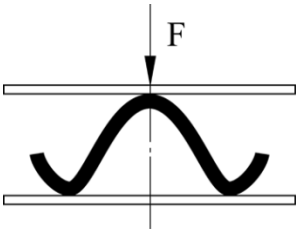
а *б*

Рис.2.3. *Площинний та вертикальний стиск аркуша ГК.*
а – перпендикулярна дія навантаження;
б – дія навантаження вздовж гофрів ГК

бокових стінок – при транспортуванні. Всі плоскі шари – лайнери – фіксують положення гофрів, функціонують на стиснення, розрив і чинять опір продавлюванню. Як правило, співвідношення *MD/CD* складає *1,0...1,4*.

Таблиця 2.2

Характеристики ГК та методи випробувань

Характеристика	**Розрахункова формула**	**Схема випробувань**	**Методика вимірювань та нормативна документація**
Опір торцевому тиску вздовж гофрів, *кН/м*	$q_{ст} = \frac{F}{l}$, *F* – руйнівне зусилля, *Н*; *l* – довжина взірця, *м*		Визначається руйнівне зусилля при стиску взірця, поставленого на торець
Абсолютний опір продавлюванню, *Р*, *кПа*	Визначення тиску при якому відбувається руйнування взірця		Фіксований повільно зростаю-чий тиск на прила-ді гідравлічного типу, з резиновою діафрагмою на взірець, затисну-тий між двома кільцями до його руйнування. ГОСТ 13525.8-86
Опір площинному стиску взірця ГК, FCT, $\sigma_{ст}$, *Н/см*^{2}	$\sigma_{ст} = \frac{F}{S}$ *F* – руйнівне зусилля, *Н*; *S* – площа взірця, *мм*^{2}		Взірець встановлюється між двома плитами, одна з яких рухається вниз до руйнування взірця ГОСТ 20681-75

Експлуатаційні властивості гофрокартону.

До експлуатаційних властивостей відносять наступну сукупність властивостей, що обумовлені фізико-механічними характеристиками:

– можливість отримання жорсткого і міцного пакування;

– придатність до друкування, лакування, склеювання, а також обробки при виготовленні розкрою паковання;

– бар’єрні і сенсорні властивості [53-55].

Вплив характеристик на придатність ГК до друкування систематизовані в табл.2.3.

Таблиця 2.3

Вплив характеристик ГК на придатність до друкування

Експлуатаційні властивості	**Характеристики**	
	Багатошаровий картон	**Гофрокартон**
Придатність до друкування і лакування	Білизна покривного і першого шару	Колір зовнішнього лайнера
	Глянець	Шорсткість зовнішнього лайнера
	Гладкість	Опір розшаруванню
	Опір розшаруванню	Поверхневе всмоктування зовнішнього лайнера
	Стійкість до вищипування	Кількість хвиль гофрів на $м^2$
	Поверхневе всмоктування	Різнотовщинність
	Структура и склад	Опір площинному стиску
	Міжшарова міцність	
	Різнотовщинність	

Висновки, щодо експлуатаційних властивостей ГК, що впливають на його придатність до друкування.

– оптичні характеристики визначаються білизною і глянцем зовнішніх шарів лайнерів і їх поверхневим всмоктуванням;
– опір розшаруванню визначає придатність ГК на його проводку (транспортування) в машинах і на швидкість друку або рилювання.
– опір площинному стиску (рис.2.3а) суттєво впливає на технологічні навантаження і якість друку на ГК, який визначається відношенням руйнівної величини тиску до площі друкарського контакту;

– вологість має суттєвий вплив на міцність і жорсткість ГК. Лицьовий шар картону має поверхню, яка добре вбирає вологу і фарбу, що призводить до втрати міцністних характеристик, особливо в машинному напрямку (рис.2.4), що впливає на величину тиску при друці, оскільки застосовуються рідкі водорозчинні фарби.

Опір площинному стиску ГК суттєво впливає на тиск при друці, оскільки при збільшенні тиску виникає такий дефект, як ефект «пральної дошки». Даний показник в свою чергу суттєво залежить від кількості хвиль на 1 погонний метр (табл.2.1).

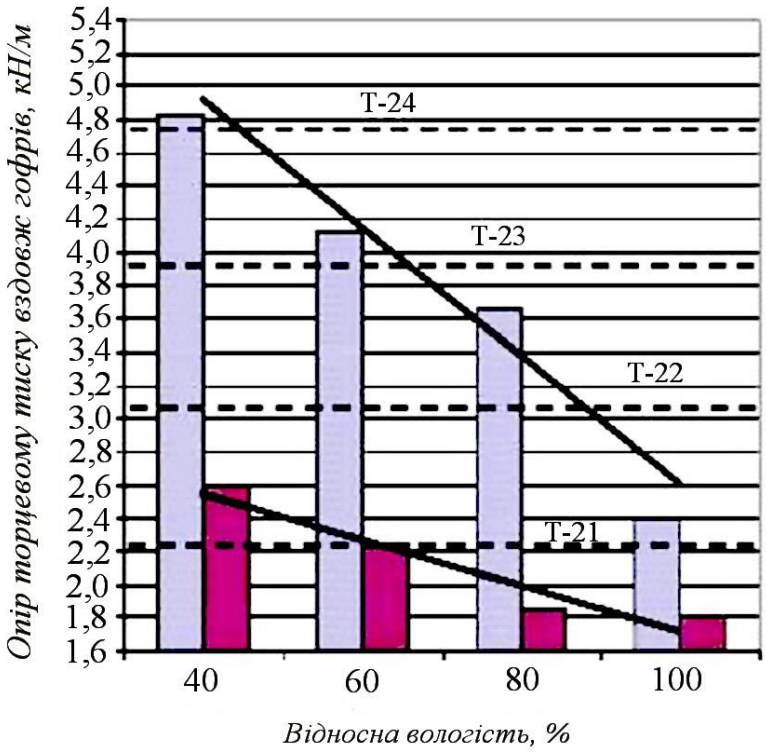


Рис.2.4. *Вплив вологості на міцність гофрокартону.*

Експериментальні дослідження опору площинному стиску в залежності від виду ГК і типів гофрів наведені у розділі 4 та на графіку (рис. 4.3). Досліджуючи їх, визначили, що абсолютні деформації ГК в області друкарського тиску 0,05…0,3 *МПа* знаходяться у діапазоні 0,08…0,2 *мм*. Аналіз спеціальної літератури показав, що на сьогодні немає рекомендацій щодо питомого тиску при друці на ГК в залежності від його структури й фізико-механічних властивостей.

Проведений аналіз експлуатаційних властивостей ГК дозволяє виділити

наступні його характеристики, що мають бути враховані при розробці вимог до друкарських апаратів ФДМ:

- характеристики зовнішнього лайнеру: поверхневе всмоктування, шорсткість, колір;
- структура (тип) ГК і анізотропність його механічних характеристик, особливо – опір площинному стиску;
- різнотовщинність аркуша по всій площині, що задруковується.

2.2. Конструкція і параметри ящиків з ГК.

Основним і найбільш типовим виконанням ящиків з гофрокартону є конструкція з чотирьохклапанним дном і кришкою. На рис.2.5 та рис.2.6 показані розкрої (геометрія розгортки ящика) і тривимірні зображення зібраних ящиків.

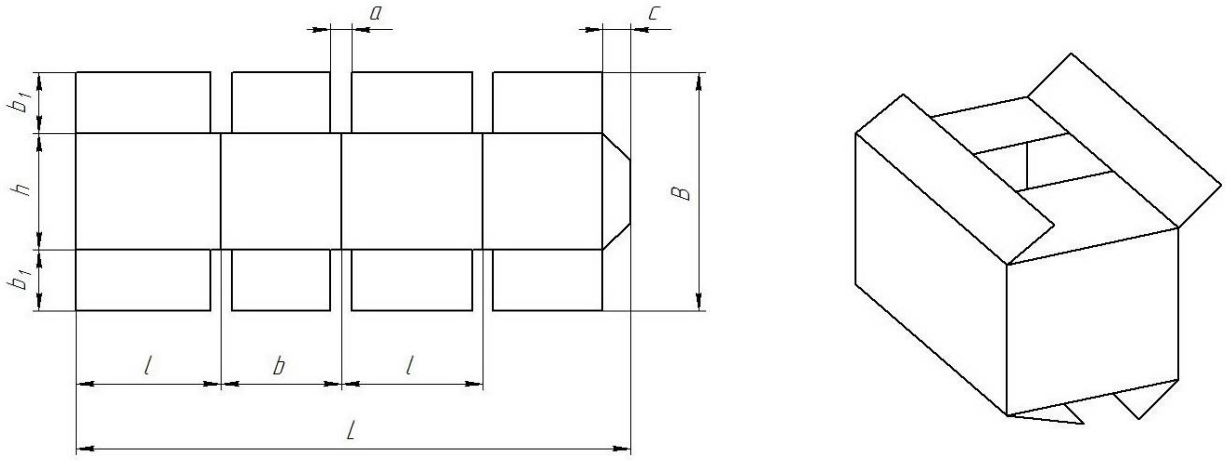


Рис.2.5. *Розгортка і загальний вигляд ящика з ГК (з чотирьохклапанним дном та кришкою).*

Конструкції, розміри ящика, вид ГК та тип гофрів рекомендовані в ГОСТ 9142 – «Ящики з гофрованого картону. Загальні ТУ» і в директивах країн ЄС**,** які були розроблені Союзом європейських виробників ящиків з ГК – **ASSCO.** Такий підхід дозволив виділити загальні стандарти до конструкцій ящиків, оптимізувати витрату матеріалу і створити уніфікований ряд значень піддонів, на які складається (штабелюється) транспортна тара. Систематизація внутрішніх розмірів ящиків по виду пакувальної продукції дозволяє отримати питому вагу застосованих розмірів розгорток:

– ящики з довжиною розгорток $L \leq 1600$ *мм* складають *74 %*, при $B_{макс.}$= = *855 мм*;

- *L ≤ 1800 мм*– 83 %, при $B_{макс.}$ = *790 мм*;
- *L ≤ 2000 мм*– 93 %, при $B_{макс.}$ = *886 мм*;
- *L ≤ 2300 мм*– 97 %, при $B_{макс.}$ = *1 210 мм*.

Дана залежність визначила можливість побудови уніфікованих рядів друкарських секцій і устаткування для виготовлення паковання з ГК.

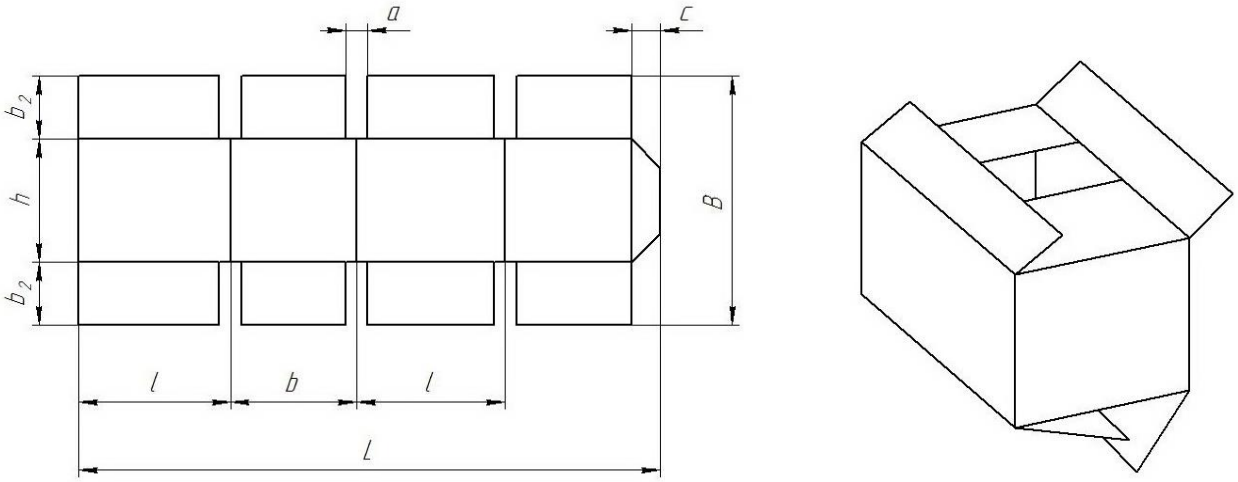


Рис.2.6. *Розгортка і загальний вигляд ящика з ГК (з чотирьохклапанним дном та кришкою із зовнішніми клапанами, що частково перекриваються).*

Механічна міцність ящиків, виготовлених з ГК [56-58], залежить від комбінації розташування флютінгів і лайнерів (рис.2.7), що в свою чергу впливає на орієнтацію аркуша ГК відносно формного циліндру при друці.

У табл. 2.4 наведені параметри типових конструкцій паковання з ГК для різних типів продукції.

Позначення:

L – довжина розгортки, фактично ширина друку флексографічної машини;

B – ширина розгортки ящика;

l – довжина ящика; *b* – ширина ящика; *h* – висота ящика.

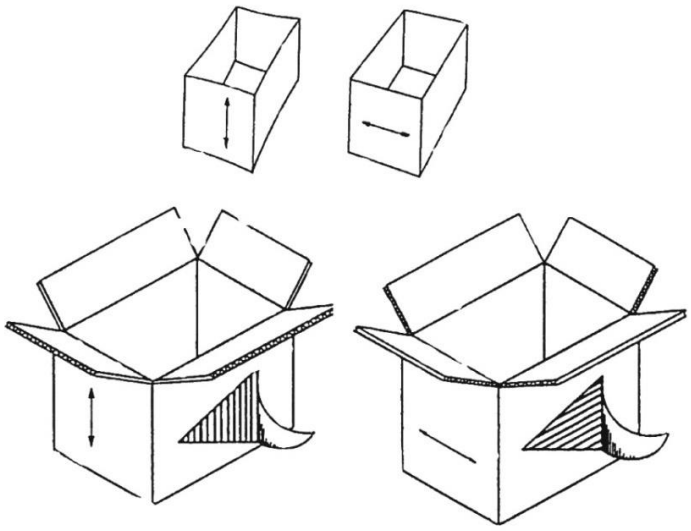


Рис.2.7. *Два варіанти розташування гофрів і напрямку волокон в лайнерах.*

Таблиця 2.4

Параметри типової тари/паковання, виготовлених з ГК

Параметри, *мм* / Вид продукції	***L***		***%***				***B***		***l***		***b***		***h***	
	min	***max***	***1600***	***1800***	***2000***	***2300***	***min***	***max***	***min***	***max***	***min***	***max***	***min***	***max***
ГОСТ 13511 харчові, тютюнові	990	2320	56	78	88	100	415	950	260	760	190	475	162	475
ГОСТ 13512 кордит.	800	1700	100	(1700)	-	-	335	633	205	510	175	380	50	320
ГОСТ 13513 м’ясні, молочні	1100	1940	66	78	100	-	370	665	304	630	162	380	126	380
ГОСТ 13514 легка проми-словість	990	2700	26	42	63	74	253	1045	285	760	190	570	63	475
ГОСТ 13515 масло	-	1306	100	-	-	-	-	481	-	380	-	253	-	228
ГОСТ 13516 консерви	820	1750	97	100	-	-	320	602	220	570	145	380	98	306

ГОСТ 13841 хімічна промисловість	876	2826	72	82	90	96	316	922	228	1140	190	442	114	542
ГОСТ 15629 ліки	1054	2320	73	81	97	100	443	722	317	760	190	380	190	380
ГОСТ 16535 морозиво	800	1560	100	-	-	-	380	570	190	380	190	380	190	380
ГОСТ 22702 пляшки	960	1660	87	100	-	-	502	648	275	450	185	360	190	380
ГОСТ 5884 лампи розжарювання	1430	2090	33	47	87	100	465	840	342	680	253	425	190	385
ГОСТ 4112 електроніка	-	2090	-	-	-	-	-	1210	-	850	-	620	-	590

2.3. Особливості друку на ГК на аркушевих флексографічних машинах.

Для визначення факторів впливу технологічного процесу на експлуатаційні властивості ДА, призначених для друку на ГК флексографічним способом була проведена систематизація основних параметрів процесу, а також огляд робіт, присвячених цій проблемі.

2.3.1. Основні способи контактного друку з друкарських форм для ГК.

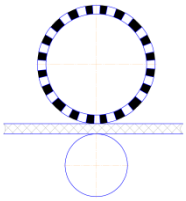
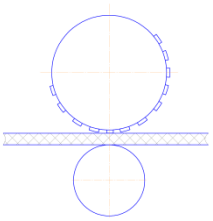
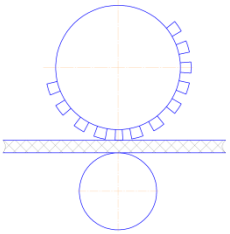
Процес друку с друкарських форм незалежно від способу друку, ЗМ та типу машини складається з двох технологічних операцій: нанесення друкарської фарби на форму –> перенесення шару фарби з форми на поверхню матеріалу, що задруковується. Інформація передається через друкуючі та пробільні елементи форми [59-64].

У табл. 2.5 представлена принципова схема сучасних ТП друку з друкарських форм (схеми для аркушевого способу друку), що використовуються при задруковуванні ГК.

Перенесення фарби відбувається у контактній зоні. У друкарській парі друкарських машин для всіх способів друку має місце еластичний елемент, який компенсує (вирівнює) різницю у товщині друкарської форми та радіальне

Таблиця 2.5

Характеристика технологічних процесів для задруковування ГК.

Спосіб друку	**Матеріал**	**Схема**	**Тиск, *МПа***	**Якість, *л/см***
Глибокий	мікро-гофрокартон		1,5…2	40 – 150
Офсетний плоский	мікро-гофрокартон		0,8…2	60 – 120
Флесогра-фічний	в залежності від типу ГК		0,05…0,8	20 – 50

биття циліндрів, а також частково вирівнює тиск для компенсації різних об’єктів форми. З наведеної таблиці ми бачимо, що тиск при друці флексографічним способом складає приблизно 25-30% від зусиль, що виникають при офсетному способі друку.

2.3.2. Технологічний процес флексографічного способу друку на ГК.

На рис. 2.8 представлена схема ТП флексографічного способу друку для нанесення інформації на ГК. Еластична форма монтується на ФЦ за допомогою двосторонньої липкої стрічки, яку приклеюють на його робочу поверхню [65]. У процесі друку здійснюється контакт форми з робочою поверхнею АВ. Вона виконана у вигляді сітки мілких комірок однакового об’єму і форми. Вони розташовані з однаковим кроком. Під тиском чи за допомогою ДВ фарба заповнює чарунки АВ, які при обертанні рівномірно переносять фарбу на друкарські елементи форми. Таким чином, відбувається дозована подача фарби на форму.

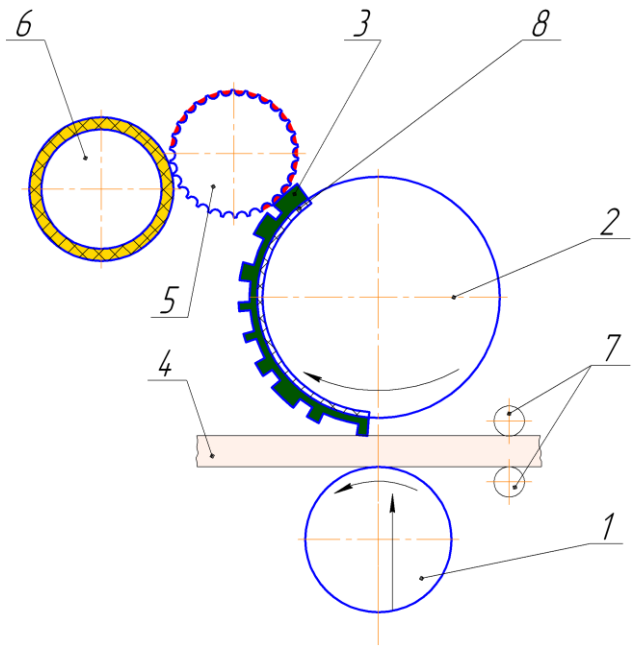


Рис.2.8. *Принципова схема флексографічного способу друку на ГК: 1 – ДЦ, 2 – ФЦ; 3 – ФДФ; 4 – ГК; 5 – АВ; 6 – ДВ; 7 – Транспортуючі валики; 8 – Демпферна (монтажна) стрічка.*

В процесі друку на ГК заготовки транспортуються [66,67] між обертальними ФЦ та ДЦ. Їх робочі поверхні виставлені з робочим зазором. Це забезпечує транспортування заготовки визначеної товщини та створення технологічно необхідного друкарського тиску. Поверхня ГК має високу всотувальну здатність, тому застосовують екологічно прийнятні водорозчинні фарби. Як правило, не виникає проблем із сушкою.

2.3.3. Основні фактори впливу на технологічний процес друку на ГК.

Аналіз та вивчення машинного технологічного процесу, до якого відноситься ФД, зводиться до визначення:

- основних параметрів процесу: швидкість, технологічні навантаження, час, необхідний для операцій, температура;
- вплив параметрів та характеристик технологічного процесу на якість друку;
- вплив фізичної ті хімічної суті процесу на зміну технічного стану друкарського апарату при його експлуатації.

ФД відноситься до способу високого друку, однак його технологічний процес має суттєві відмінності від традиційного типографського способу:

- застосування еластичних друкарських форм;
- застосування водорозчинних фарб низької в’язкості;
- невисокий тиск при друці, оскільки друкарські форми виконують функцію носія зображення і одночасно є декелем.

Ці особливості технологічного процесу дозволяють друкувати з невисоким тиском та визначили ФД основним способом нанесення інформації (тексту, зображення) на паковання з ГК.

Для отримання якісного відбитка необхідно, щоб у процесі друку баланс між роботою адгезії до поверхні (змочування поверхонь, що контактують) та когезії (розділення фарбового шару) повинен забезпечити розподіл фарбового шару навпіл і не змінюватись протягом друку накладу. Цей процес суттєво залежить від швидкості розділу фарбового шару після спаду напруження та деформаційних властивостей матеріалів у зоні контакту. Для ФД величина когезії невелика, оскільки фарби малов’язкі. Оптимальною умовою забезпечення друкарського контакту є перехід фарби з форми на ЗМ в умовах постійного тиску. Однак, є наступні фактори, що негативно впливають на дану умову:

- величина тиску у друкарській парі суттєво залежить від фізико-механічних властивостей ГК, а саме товщини та шорсткості поверхні, на яку наноситься зображення;
- «цілісність» друкарської форми та її деформаційних властивостей;
- в’язкість фарби змінюється у процесі друку та швидко і доволі часто регулюється вручну. Це призводить до непостійних і змінних властивостей фарби.

Суттєвим недоліком ФД є явище розтискування. Його виникнення пов’язане з тим, що друкарський тиск на площині форми – неоднаковий, оскільки на ній присутні штрихові, растрові елементи та плашки (рис.2.9).

Тому тиск виставляється для якісного друку одного типу елементів, як правило, плашки.

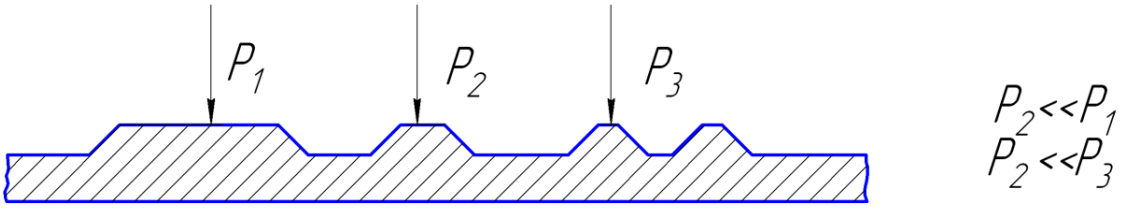


Рис. 2.9. *Друкарські елементи форми*

Але встановлений тиск деформує більш тендітні елементи, тому що форма еластична. Взагалі, хоча фарба переноситься на форму при дуже низькому тиску еластична форма трохи деформується і стискується. Це викликає збільшення площі друкарського елементу.

2.3.4. Основні характеристики ФПФ та монтажної стрічки.

В процесі друку ФПФ та монтажна стрічка отримують деформації стиску, які визначають величину робочого технологічного зусилля. Деформація залежить від фізико-механічних властивостей пластин, з яких виготовляють форми та їх товщини, режимів їх обробки, і може становити від 0,04 до 0,2 мм (див. розд. 4.2). Відрізняють три структури формних пластин для виготовлення ФПФ: одношарову, багатошарову і окремо для технології «Компьютер–друкарська форма». Їх виготовляють товщиною від 0,76 *мм* до 6,35 *мм.* Пластини мають еластичний шар з високим значенням стисливості. В залежності від ступеня деформації при створенні тиску при друці формні системи (ФПФ + монтажна стрічка) аналогічно декелям підрозділяють на жорсткі та м’які.

Жорсткі (тверді) формні системи утворюють ФДФ товщиною 2,54 – 3,18 *мм,* які класифікують для ГК як тверді. Вони встановлюються за допомогою монтажних стрічок з демпферним шаром товщиною 0,38; 0,55; 1 *мм.* Стрічка компенсує надлишковий тиск шляхом перерозподілу деформації від найбільш твердої форми до свого демпфуючого шару (рис. 2.10). Така система використовується при комбінованому друці на ГК з мікрогофром, коли друкують разом плашки, штрихові і растрові елементи.

М'які формні системи утворюють ФДФ товщиною 3,94 – 6,35 *мм*, які класифікують для ГК як м'які. Вони встановлюються за допомогою жорсткої монтажної стрічки товщиною 0,1 – 0,2 *мм.* У таких системах надлишковий тиск компенсується за рахунок деформацій шарів товстої форми. Такі системи застосовують при друці плашок та великих штрихових елементів. Цей умовний розподіл, який в певній мірі дає якісну оцінку пружним властивостям ФПФ, але не допомагає визначити параметри друку на ГК.

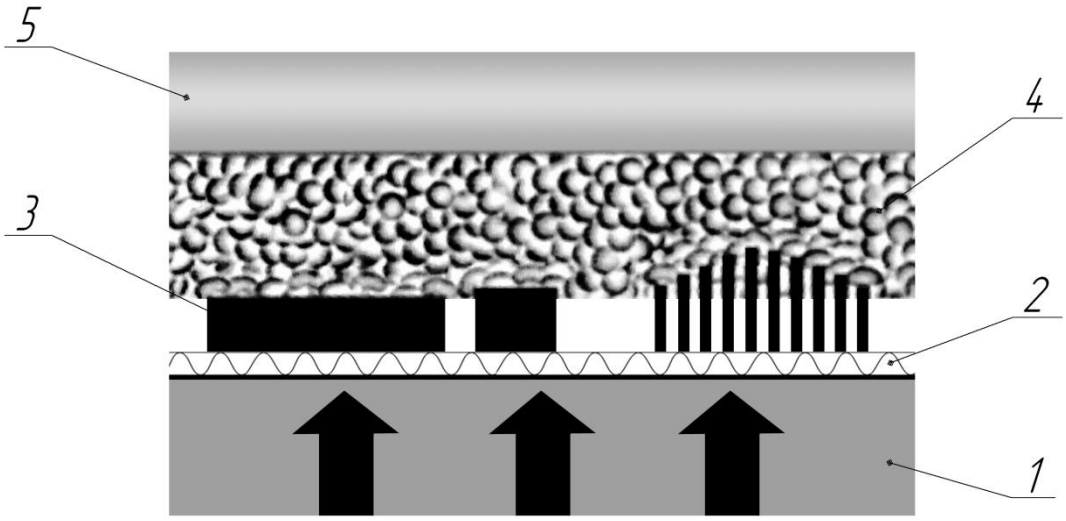


Рис. 2.10. *Перерозподіл деформації і тиску в жорстких системах.*

1 – Друкарський циліндр; 2 – ГК; 3 - Друкарські елементи фотополімерної форми; 4 – Монтажна стрічка; 5 – Формний циліндр.

2.4. Стан досліджень параметрів технологічного процесу флексографічного способу друку.

Огляд джерел і наукових праць [1,5,6,8,9,12], проблем якісного друкування на ГК і залежності від особливостей ТП флексографічного способу друку дозолили зробити такий висновок:

– Величина тиску при друці має значний діапазон, що зумовлено властивостями великої номенклатури типів ГК і ФПФ.

Тиск при друці визначається значеннями 0,1… 0,5 *МПа,* а параметри технологічного процесу визначаються наступними значеннями:

- тиск при друці (для ФДФ *Cyrel, Flexlight*): 0,05…0,8 *МПа;*

- мінімально допустимі навантаження деформації стиску форми: 0,02…0,1 *мм,* характер навантажень – циклічний.

В [13] аналізується сам процес контакту у друкарській парі, що розподілили на два етапи. Вони відрізняються величиною деформації та напружень, які витримують поверхні, що контактують: форма –> фарба –> матеріал, що задруковується. Перший етап починається з моменту контакту форми та матеріалу, другий – з моменту початку розділення фарбового шару. Характер зміни навантажень у часі представлено на рис. 2.11. Графік показує, що час значного перепаду напруг складає долі секунди друкарського контакту.

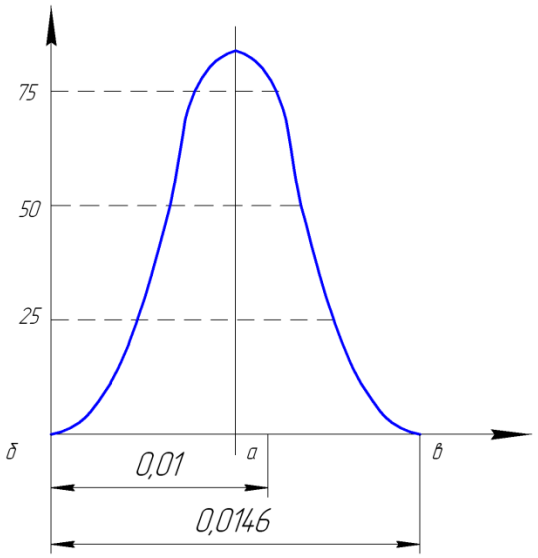


Рис.2.11. *Зміна тиску у друкарській парі.*

– Залежність якості вихідної продукції і дефектів при друкуванні розглядається в основному через фарби та параметри лініатури АВ.
– Вплив властивостей ГК розглядається в основному через стан його поверхні, тобто властивостей верхнього лайнера.
– Вивчення властивостей ФДФ в основному пов’язані зі зміною їх фізико-механічних властивостей в залежності від режимів обробки на етапі виготовлення, а також при дисторсії (зміні параметрів і характеристик ФДФ залежно від діаметру ФЦ, на який монтується форма).

- Деформаційні властивості ФДФ і ГК, що проявляються в процесі друку, розглядаються узагальнено і практично не мають чітких кількісних рекомендацій.
- Величину сил когезії можна не враховувати у зв’язку з низькою в’язкістю фарби.
- Немає чітких рекомендацій щодо питомого тиску при друці на ГК з врахуванням властивостей ГК і ФДФ.

2.5. Систематизація показників якості друку на сучасному пакуванні з ГК, які визначають вимоги до технологічних властивостей ДА ФДМ.

У наш час відбувається трансформація вимог до якості паковання з ГК. Якщо раніше основними елементами поліграфічного оформлення паковання з ГК були шрифти та штрихові ілюстрації, то сьогодні необхідно забезпечити оформлення коробки повно кольоровими растровими ілюстраціями. В залежності від призначення паковання і типу гофру (середній, крупний, мікро і т.п.) мають місце параметри якості відбитку. Вони наведені на схемі (рис.2.12). Ці дані запропоновані світовими виробниками флексографічного обладнання (Bobst, KBA, Sund та ін.)

Проведений аналіз показує, що існує взаємозв’язок між властивостями і параметрами компонентів ТП та якості проходження самого процесу друку, впродовж якого можуть виникати відомі дефекти (див. п. 3.3). Фактори даного впливу повинні неодмінно бути враховані при розрахунках ДА. До суттєвих слід відносити:

- деформаційні властивості ГК, а саме площину жорсткість;
- допуск на товщину ГК;
- деформаційні властивості ФДФ, а саме об’ємний стиск;
- допуск на товщину ФДФ;
- деформаційні властивості монтажної стрічки, а саме стисливість;
- параметри процесу:
  - тиск при друці;

- швидкість друку;

– ширину ГК (в напрямку друку), яка на сьогодні може складати до *3400 мм*.

Дані, наведені на схемі (рис.2.12), являються основними вимогами до технологічних властивостей сучасного ДА.

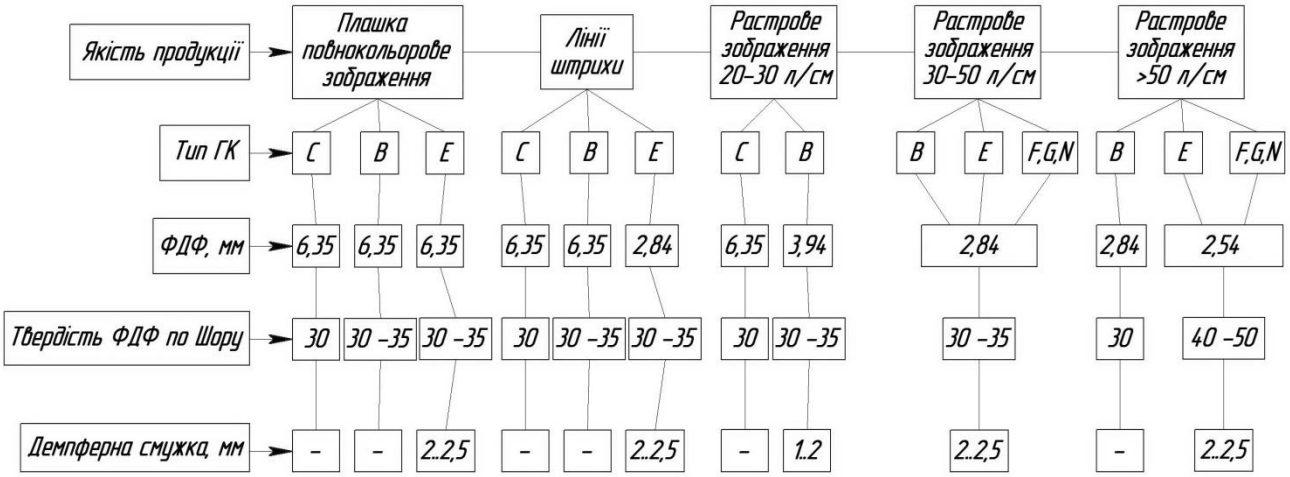


Рис.2.12. *Схема залежності якості вихідної продукції від параметрів ГК та ФДФ.*

2.6. Висновки до розділу.

В даному розділі розглянуто структуру ГК, його структурну будову та матеріали, що використовуються при виготовленні, типи ГК та його основні фізико-механічні властивості (оптичні характеристики, ступінь поверхневого всмоктування, опір розшаруванню та площинному стиску ті ін.). Опір площинному стиску ГК суттєво впливає на тиск при друці, оскільки при збільшенні тиску виникають розповсюджені дефекти.

Також проаналізовано особливості друку на ГК на аркушевих флексографічних машинах, розглянуто технологічний процес друку на ГК та визначено фактори, що впливають на сам ТП.

Проведено систематизацію показників якості друку на сучасному пакованні з ГК, що визначають конструктивні особливості побудови ДА ФДМ.

РОЗДІЛ 3

3. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДРУКУ НА ГК.

3.1. Сучасне обладнання. Історія, структура, класифікація.

Історія розвитку друкарських машин флексографічного способу друку для ГК нараховує близько 70 років, а перша аркушева машина для друку на ГК була створена в 1923 р. (патент США № US55203223). З тих пір технологія, устаткування й матеріали набули широкого розвитку та розповсюдження.

Сучасний етап розвитку флексографічних аркушевих машин для друку на ГК представлений такими світовими виробниками: «BOBST» (Швейцарія), «SIMON»(Англія), «MARTIN» (Франція), «EMBA» (Швеція), «KBA» (Німеччина), «Київполіграфмаш» (Україна, Київ), «Петромаш-Сервіс»(Росія, Санкт-Петербург), «Машграф» (Україна, Київ), «Гофромаш» (Україна, Харків), «Арніта» (Росія, Калінінград), та іншими.

Обладнання для друку на ГК можна класифікувати за технологічними можливостями. Перший тип – це машини суто для флексографічного способу друку. Вони можуть бути від одно- до чотирьох фарбовими та більше. Другий тип– це лінії, побудовані по системі «on-line». В них об’єднано обладнання для друку, висікання, розкрою заготовки, фальцювально – склеювальні лінії для складання заготовки в коробки (ящики) і з’єднання їх клапанів.

Багатофарбові машини для друкування на аркушах ГК та лінії для виготовлення тари та упаковки з ГК мають лінійну побудову, яку створюють технологічні модулі (секції). Друкарські апарати розділені й утворюють горизонтальний агрегат з послідовним розміщенням секцій. Машини такого типу можуть виготовлятися з будь – якою кількістю друкарських секцій, а також додатково містити секцію висічки чи іншого технологічного процесу.

Основними складовими частинами флексодрукарських аркушевих машин для ГК є:

– самонаклад або при ручній подачі – накладний стіл;

– пристрій подачі заготовок в друкарський апарат, який має валики подачі і упори передньої кромки аркуша;
– друкарський апарат, який містить формний циліндр, друкарський циліндр, фарбову систему;
– механізм включення тиску;
– система транспортування заготовки;
– привід виконавчих механізмів і вузлів;
– система створення вакууму та стисненого повітря, що необхідні для ряду технологічних процесів.

Розроблена структурна схема побудови ліній для обробки аркушів ГК представлена на рис.3.1. Секції ліній розташовуються у такій послідовності: самонаклад для подачі заготовок у машину, одна чи декілька друкарських

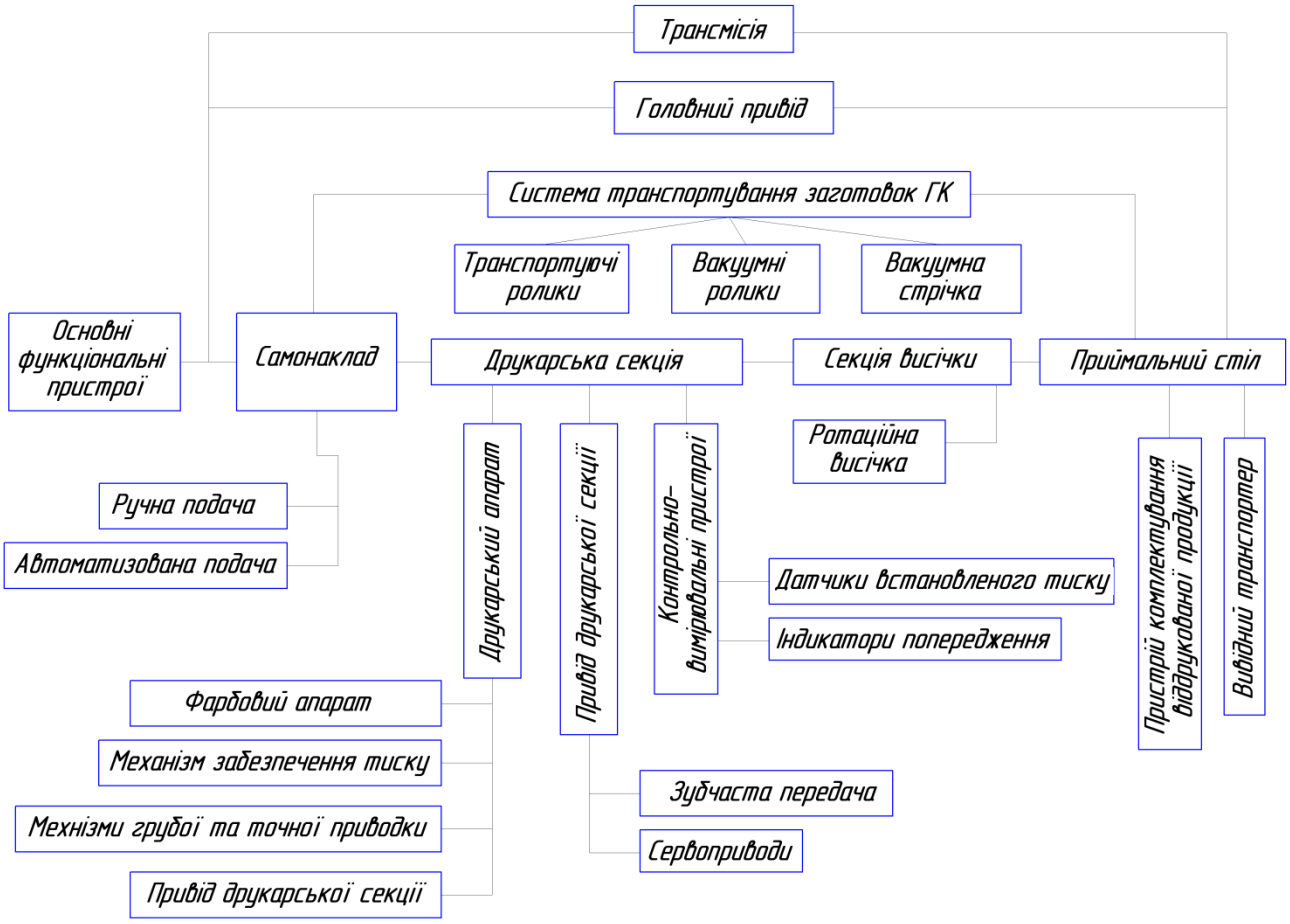


Рис. 3.1. *Р озроблена структурна схема друкарських машин.*

секцій, секції слотерної та (або) ротаційної висічки, фальцювально – склеювальна секція, вивідний пристрій. Модульна побудова дозволяє значно

розширити технологічні можливості підприємства та комплектувати лінії поступово. Типовим є створення на базі ліній багатофарбових машин до складу яких входять самонаклад, друкарські секції, вивідний пристрій.

3.2. Огляд сучасного обладнання, їх конструкцій та характерних особливостей.

3.2.1. Машини фірми Sund EMBA.

Машина EMBA-244 [68] призначена для друку на аркушах ГК, висікання, рилювання, фальцювання заготовок і склеювання ящиків. Друк проводиться флексографічним способом на верхній поверхні аркуша, а фальцювання здійснюється зверху вниз на спеціальному транспортері.

Технологічна схема друкарської частини даної машини представлена на рис.3.2.

Аркуші ГК вкладаються у самонаклад, попередньо налаштований на заданий формат та товщину гофрокартону. Штовхачі самонакладу, захоплюючи нижній аркуш, підводять його до приймальних роликів, які покриті еластичним синтетичним матеріалом. Транспортування аркуша через друкарські секції відбувається стрічковим транспортером з вакуумними

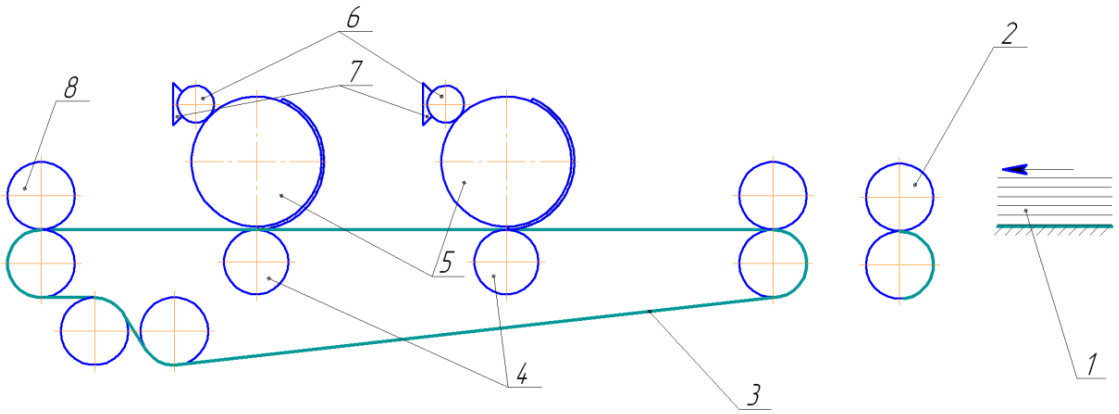


Рис.3.2. *Схема аркушевої флексографічної машини EMBA-244 для друку на ГК.*
1 – самонаклад, 2 – приймальні ролики,
3 – стрічковий вакуумний транспортер; 4 – ДЦ, 5 – ФЦ; 6 – АВ;
7 – камер-ракельна система; 8 – пристрій рилювання.

присосами по всій його довжині. Його лінійна швидкість повинна співпадати з лінійною швидкістю зовнішньої поверхні форми, встановленої на формному

циліндрі. Друкарські секції – стаціонарні. Відстань між ними – 700 *мм*. Фарбовий апарат містить замкнену камер-ракельну систему.

Лінія може бути обладнана пристроями для автоматичного підрахунку заготовок ящиків, формування пачки, автоматичної передачі та упаковки, а також автоматичного обв'язування пачок. Додатково може встановлюватися секція висікання. Стаціонарні секції обмежують можливості переналагодження системи машини на тираж.

3.2.2. Машини фірми Koenig und Bauer.

Німецька фірма Koenig und Bauer (KBA) для друку на ГК випустила машину KBA Corrugraph (рис.3.3). Дана машина має сучасну камер-ракельну систему подачі фарби, але на відміну від попередніх машин, друк здійснюється знизу матеріалу.

Машина KBA Corrugraph має індивідуальний привід друкарських секцій, без зубчастих коліс (використовуються сучасні сервоприводи та новітня електроніка). Завдяки цьому рішенню зникають проблеми зі зростаючим допуском суміщення, які виникають внаслідок використання таких механічних елементів, як зубці.

Рис. 3.3. *Друкарський апарат KBA Corrugraph*

1 – ДЦ, 2 – ФЦ, 3 – АВ,
4 – камер-ракельна система подачі фарби.

Використання сервоприводів забезпечує кращу якість отримуваних відбитків, швидке налагоджування на тираж та оптимальну роботу всіх елементів друкарської секції, включаючи автономний привід АВ, який може обертатися під час друку, простою чи в період миття машини.

Крім цього, перевагами такого рішення є швидша зміна замовлень, покриття цілої сфери робіт, зменшення кількості відходів завдяки можливості друкування точно для кожної конкретної роботи. Але це вимагає значно складнішу систему керування і діагностування [15].

3.2.3. Машини фірми ООО „Цзиньшань – Маш”.

Китайська фірма Цзиньшань – Маш пропонує серію автоматичних слотерів з друком у 1 – 4 фарби. Вузол подачі машини серії JYK (рис.2.4) оснащений двома незалежними електричними сервоприводами валиків проводки і штовхача, а також вакуумною системою, що забезпечує точну подачу матеріалу при роботі на високих швидкостях [16].

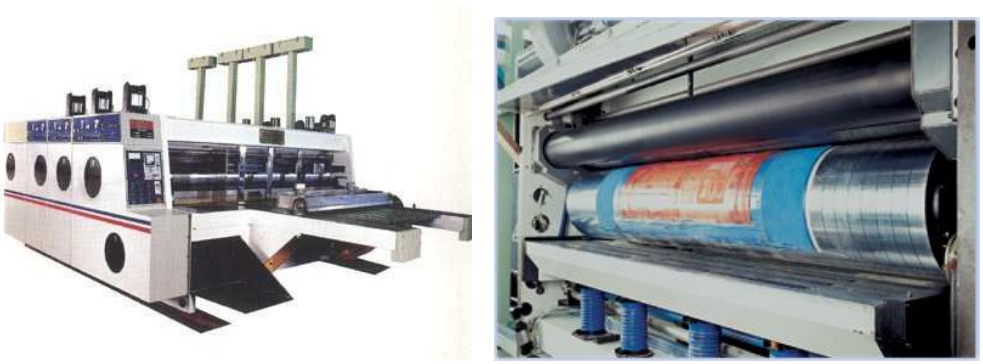


Рис. 3.4. *Автоматична лінія JYK-серії з висікальною секцією.*

3.2.4. Машини фірми „Curioni”.

Також на ринку представлено обладнання італійської фірми Curioni (рис.3.5). Всі машини даної фірми [70] мають модульну структуру. Секції розміщуються на повздовжніх рельсах та можуть розсуватися для проведення обслуговування. Секції флексографічного друку можуть бути від однієї до п’яти в лінію, з пневматичними замками, остання друкарська секція часто

використовується для нанесення лаку. Точність суміщення кольорів висока, допуск приводки не більше ±0,5 *мм*.

Curioni випускає машини з широким діапазоном форматів та довжиною розгортки. Поділяються машини на чотири серії: T, NT, PLUS, JUMBO.

Рис. 3.5. *Лінія Curioni та її флексографічна секція.*

В залежності від технічного рівня ширина друку складає від 2 000 *мм* (серія NT) до 4 500 *мм* (серія JUMBO).

3.2.5. Машини фірми Bobst Group.

Фірма BOBST GROUP виготовляє серію машин для друку на ГК, серед яких добре відома FLEXO 160-VISION (рис.3.6). Яка має, декілька приводів, систему подачі та транспортування, окремий привід для кожної друкарської секції [69,71].

Транспортування гофрованого картону через друкарські секції відбувається передавальними роликами з вакуумним повітрям, що забезпечує відсутність контакту з задрукованою поверхнею, високу точність приводки, високу швидкість. Фарбовий апарат складається з двох валиків (гумового та

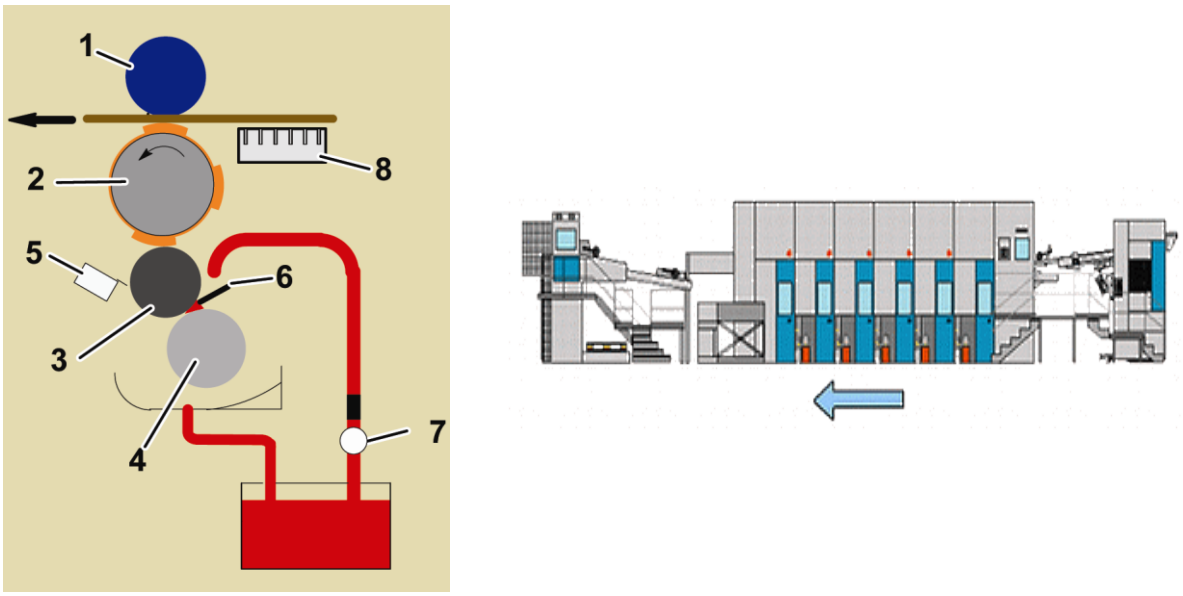


Рис. 3.6. *Друкарський апарат машини FLEXO 160-VISION.*
1 - контрциліндр, 2 – ФЦ; 3 – АВ;4 – гумовий валик;
5 – ракель; 6 – датчик; 7 – насос; 8 – сушка.

анілоксового) з ракелем. Процес друку відбувається знизу поверхні гофрокартону. Технічні характеристики машини FLEXO 160 –VISION наведені у табл. 3.2, п. 3.4.

3.2.6. Машини фірми «M.Martin».

На світовому ринку також представлено машини «колишньої» французької фірми «M.Martin», яка на сьогоднішній день є власністю BOBST GROUP. Агрегати даної фірми виконують ті самі операції, що і машина EMBA. Крім того, на ньому здійснюються і такі операції як підрахунок, комплектування і пресування підібраного стосу ящиків. Технологічна схема представлена на рис.3.7.

Агрегат складається з самонакладу 1, транспортуючих валків 2, двох уніфікованих друкарських секцій 3, висікальної секції 4. Самонаклад складається із столу з упорами (переднім та бічним) і механічних штовхачів. Упори виставляються на заданий по спеціальних лінійках і шкалах на заданий формат і товщину заготовки. Штовхачі змонтовані на рухомій каретці хід штовхачів складає 150 *мм*. Самонаклад приводиться від головного електродвигуна і може агрегатуватися як з друкарським, так і з висікальними

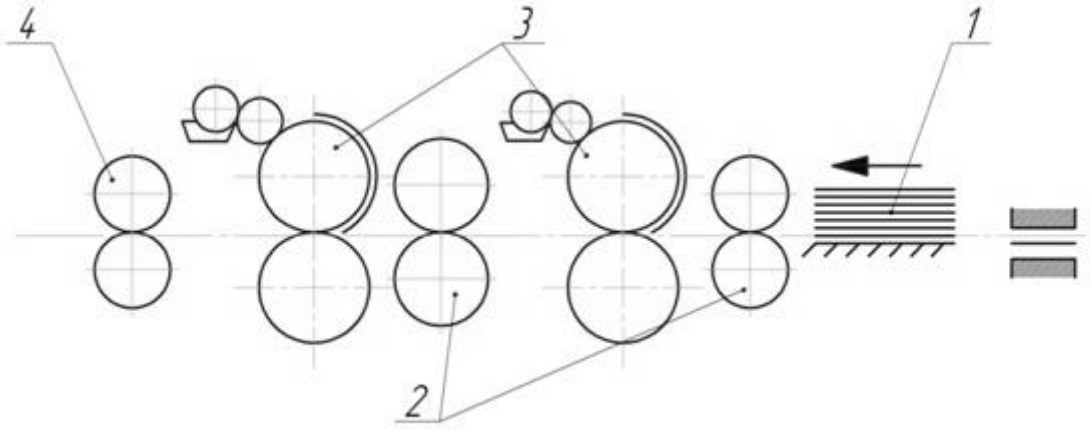


Рис.3.7. *Технологічна схема машини-агрегату фірми «M.Martin»*
1 – самонаклад; 2 – транспортуючі валики;
3 – друкарські секції; 4 – секція висічки.

секціями. Друк здійснюється флексографічним способом. Фарбовий апарат має незалежний привід і складається з двох циліндрів з мікрометричними регістрами, фарбового резервуару і насосу для безперервної подачі фарби. Шар фарби, що наноситься на форму, визначається інтенсивністю роботи насоса.

Транспортування аркуша між друкарськими і висікальною секціями здійснюється за допомогою передавальних роликів.

Блоковий принцип побудови агрегату фірми «M.Martin» дозволяє у міру

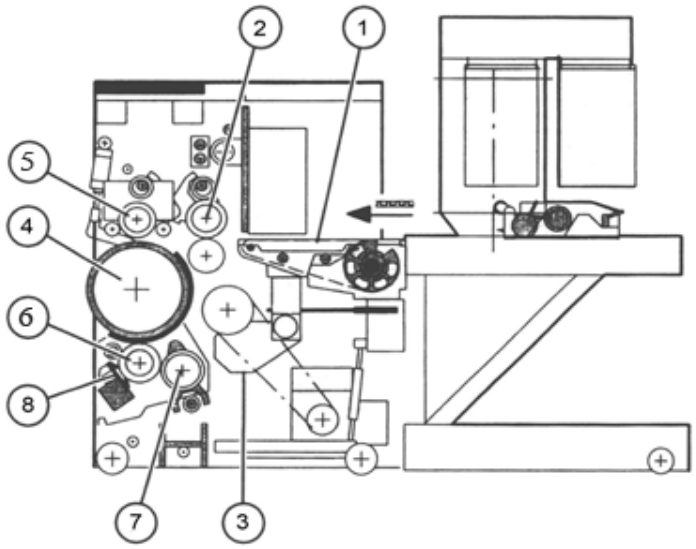


Рис. 3.8. *Схема флексографічної секції моделі DRO 1622.*
1 – система подачі; 2 – приймальні валики; 3 – система всмоктування;
4 – ДЦ; 5- Валик контр-матриці; 6- АВ; 7,8 – Гумовий ролик/камера ракелів.

потреби виводити окремі секції; при цьому працездатність машини не порушується, а час перебудови незначний. Завдяки наявності комплектуючого і лічильного пристроїв процес виготовлення ящиків повністю автоматизований.

Ще одним представником сучасного обладнання є лінії DRO (преси ротаційної висічки, на прикладі DRO 1622) для висічки коробок (контейнери для фруктів, дисплеїв). Вони дозволяють виготовляти дуже складну продукцію за рахунок регулярної подачі аркушів у машину (рис.3.8), що забезпечує високоякісний друк та висічку [20].

Аркуш ГК за допомогою системи вводу подавального транспортера Feed belt 1 переміщуються до приймальних валків 2, які передають його у наступну секцію. Система всмоктування подавального транспортера Feed belt 3 утримує аркуші ГК на стрічках системи вводу. Друкарський циліндр 4 є носієм друкарської форми та відображає її вихідні параметри в секції. За допомогою валика контр матриці 5 відбувається перенос необхідної кількості фарби на друкарську форму, а з неї на аркуші ГК і відбувається процес друкування.

Анілоксовий валик 6, та гумовий валик чи система камерних валиків складають фарбовий апарат [21].

3.2.7. Машини фірми ВАТ «Київполіграфмаш» (м. Київ).

Завод випускає дві машини для обробки аркушів ГК флексографічним способом друку: друкарсько-висікальну лінію ДВЛ-1800 та флексографічну машину ТПФ-850.

Технологічна схема ДВЛ 1800 [72] наведена на рис. 3.9. Самонаклад аркушів 1 з ГК призначений для поштучного відділення аркушів від стопи і їхньої подачі в друкарську секцію 2. Активна висота стапеля – 200мм. Механізм відділення й подачі аркушів мають механічні штовхачі. Вони роблять синхронні зворотно-поступальні, і циклічно подають задруковуючий матеріал у друкарську секцію 2. Вакуумні камери стола сприяють вирівнюванню площини гофрокартону і його стабільній подачі. Подача аркушів може бути оперативно припинена на ходу машини за допомогою механізму підйому стопи.

Друкарська секція 2 призначена для нанесення на аркуші ГК зображення флексографічним способом фарбами на водній основі. Друкарський апарат і транспортуюча система забезпечують нанесення зображення з фотополімерних форм.

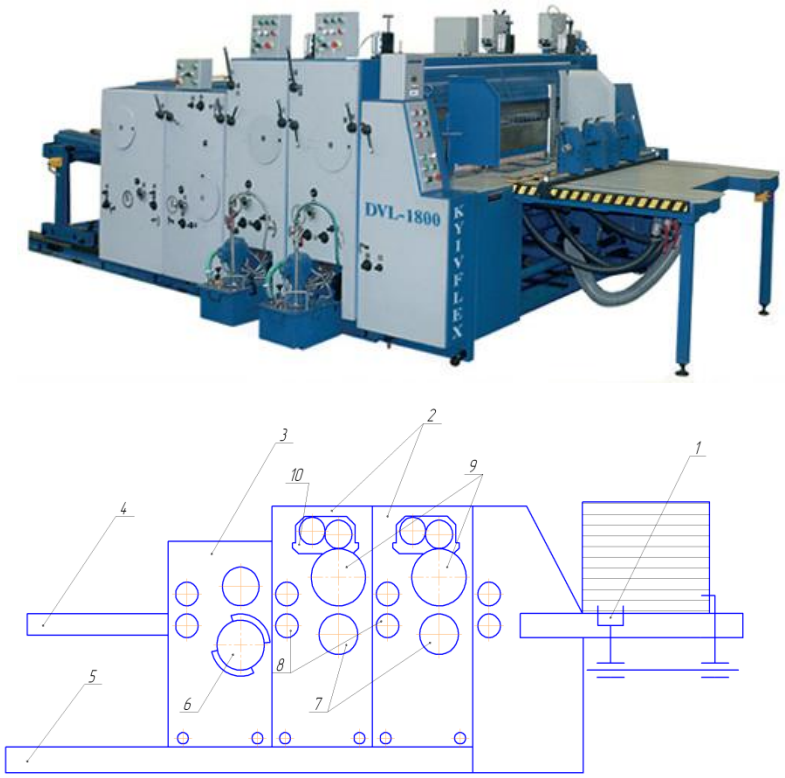


Рис.3.9. *Друкарсько-висікальна лінія ДВЛ-1800.*
1 – самонаклад; 2 – ДС; 3 – висікально-бігувальна секція;
4 – приймальний стіл; 5 – рейки; 6 – циліндр зі штанцформою;
7 – ДЦ; 8 – Транспортуючі ролики; 9 – ФЦ; 10 – фарбовий апарат.

Монтаж фотополімерної форми на формний циліндр 9 здійснюють за допомогою двосторонньої липкої стрічки. Для правильного встановлення форми на поверхню формного циліндра нанесена координатна сітка. Фарбовий апарат 10 складається з анілоксового й дукторного валів, системи подачі фарби. Вали фарбового апарата можуть працювати у двох режимах:

– робочому, при якому вони одержують обертання від головного привода лінії й обертаються разом з формним циліндром, в процесі друку;

– автономному, при якому вали обертаються від індивідуального привода, коли головний привід вимкнений (екстрена зупинка, переналагодження, миття та ін.).

У фарбовому апараті 10 фарба зі спеціальної ємності подається електронасосом зверху на вали, розтікається по їх твірним і стікає по торцях валів у ванночки, а з них назад у ємність. Тиск між АВ і ФЦ включається за допомогою пневмоцилиндрів. Друкарський апарат має два регулювання приводки зображення в поздовжньому напрямку (тонка й груба) і приводку в осьовому напрямку [22].

Машина ТПФ-850 (рис.3.10) призначена для нанесення однокольорового зображення флексографічним способом на аркуш плоского або гофрованого картону. Флексографічна форма кріпиться на формний циліндр за допомогою двосторонньої монтажної стрічки.

Рис.3.10. *Флексографічна машина ТПФ-850.*

Зусилля, необхідне для передачі фарби з форми на заготовку, створюється за допомогою підпружиненого друкарського валу. Фарбовий апарат складається з анілоксового валу і дукторного, який занурений у ванну з флексографскою фарбою на водневій основі.

Машина досить проста в конструкції та обслуговуванні, характеризується ручною подачею заготовки, а пристрій подачі і транспортуюча система дозволяють послідовно і неодноразово подавати аркуш ГК для отримання

багатофарбових відбитків. При цьому забезпечується точність друку до ± 1,5 *мм* [23].

3.2.8. Машини фірми «Реста» (м. Харків).

Фірма «Реста» представляє машину для друку на ГК флексографічним способом ПРП-200 (рис.3.11). Машина призначена для нанесення багатофарбового (одно-, дво-, трьох-, чотирьохфарбового) зображення на аркуші гофрованого картону з одночасною висічкою клапанів та обрізанням кромки для виготовлення коробок для упаковки.

Рис.3.11. *Флексографічна друкарська машина ПРП-200.*

Машина ПРП 200 виконана в лінійному секційному виконанні, коли друкарські секції розташовані на одному рівні, одна за одною послідовно і зв'язуються між собою крізним кінематичним ланцюгом, що забезпечує безперервну проводку аркушевих матеріалів через всі секції із забезпеченням необхідної якості суміщення фарб [24].

До характерних особливостей можна віднести:

- низька ціна;
- висока продуктивність за рахунок автоматичної подачі заготовок;
- якісний друк на заготовках листового гофрокартону різноманітного розміру з можливістю встановлення додаткових друкарських секцій;
- модульна побудова машини;
- автоматична розстиковка секцій для переналагоджування та технічного обслуговування;
- швидка приводка в повздовжньому та поперечному напрямках без зупинки машини;

– реверсивний привід від асинхронного двигуна з частотним перетворювачем.

3.2.9. Машини фірми ВАТ «Петромаш-Сервіс» (Росія, Санкт-Петербург).

Даний завод випускає цілу низьку флексографічних машин для друку на ГК. Однією з найпопулярніших моделей є друкарсько-оброблювальна лінія Ishikawa (рис.3.12).

Рис.3.12. *Друкарсько-оброблювальна лінія Ishikawa.*

Характерними особливостями друкарських секцій даної лінії є:

– система кріплення і натягу фартуха фотополімерного кліше на ДЦ (система MATTEWS);
– автоматичний підйом АВ та транспортуючих валів (навіть при відключенні машини, вали автоматично розводяться, щоб не пошкодити кліше та поверхню АВ, при висиханні фарби);

- автоповернення в «нульове положення» всіх ДЦ. Обгінна електрична муфта з цифровою індикацією. Цифрова 360-градусне фазування ДЦ налагоджується і контролюється з LCD-монітора, або дублюється за допомогою кнопок управління. Фазування може бути відрегульоване одночасно при роботі машини, а також при її зупинці;
- цифрова настройка на товщину ГК. Параметри настройки відображаються на LCD-моніторі;
- всі вали зроблені зі сталі підвищеної міцності, хромовані та загартовані;
- система індикації наявності фарби;
- автоматична система змивання секції;
- електрична поперечна приводка має цифрову настройку з комп'ютера (загальне переміщення 20 *мм*);
- при розведенні секцій, спрацьовує система фіксації ДЦ для збереження всіх налагоджувань.

3.3. Технологічна схема роботи друкарської секції (друкарських апаратів).

На рис. 3.13 наведено технологічну схему роботи друкарської секції аркушевої флексографічної машини для обробки ГК.

Побудова флексографічних друкарських апаратів [83-85] незалежно від моделі машин має однакову структуру. До складу основної частини ДА, що бере участь у перенесенні фарби входять: формний циліндр, друкарський циліндр, анілоксовий вал і фарбова система, їх приводи. Для регулювання і налагодження параметрів процесу друку в друкарській секції є механізм тиску, механізми повздовжньої і поперечної приводки, транспортуюча система, а також системи контролю та управління. Кожна із цих складових має значний вплив на якість процесу друкування та продуктивність.

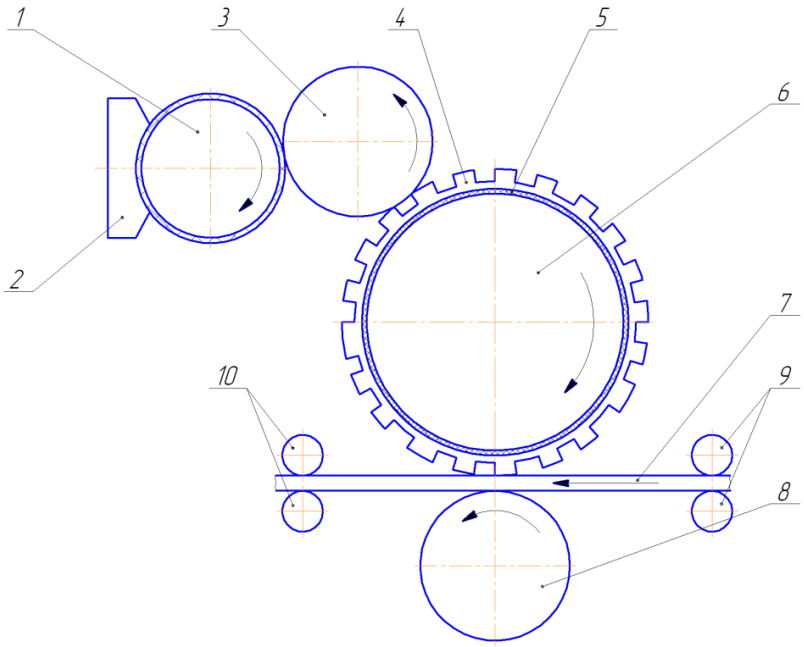


Рис. 3.13. *Технологічна схема ДС флексографічної аркушевої машини.*

1 - дукторний валик; 2 – камер-ракельна система; 3 – АВ;
4 – флексографічна форма; 5 – монтажна стрічка; 6 – ФЦ;
7 – ГК; 8 – ДЦ; 9 – подавальні ролики; 10 – транспортуючі ролики.

Формний циліндр.

На формний циліндр (ФЦ) за допомогою липкої монтажної стрічки або спеціальних фіксаторів монтується фотополімерна ФДФ. Тому діаметр ФЦ визначається виходячи з потрібного формату, тобто довжини відбитку, з урахуванням товщини форми та клейової стрічки, оскільки їх товщина може приймати різні значення. Щоб спростити розміщення форм при їх наклеюванні всі формні циліндри оснащуються повздовжніми та поперечними насічками. Частіше використовують ФЦ, виготовлені із стальної труби з привареними до неї цапфами. У моделях машин EMBA використовують ФЦ із силуміну, а форму монтують при допомозі швидкодіючої системи затискачів.

Друкарський циліндр.

У більшості ФДМ друкарський циліндр використовується для створення друкарського тиску. Він притискує знизу (або зверху) аркуш ГК до форми. У сучасних секційних машинах його виготовляють зі стальної труби, до якої приварюють цапфи. Циліндр повинен бути розрахований на визначене

навантаження, щоб не виникало деформацій, при яких неможливо забезпечити рівномірний друк по всій ширині матеріалу.

Фарбові системи.

У сучасних флексографічних аркушевих друкарських машинах використовують два типи фарбових систем:

– дукторна система, в якій на анілоксовий вал фарба наноситься дукторним валиком;

– камер-ракельна система, в якій фарба подається у камеру, що утворена самою камерою, анілоксовим валиком (чи дукторним валиком) та двома ракелями.

До складу дукторної фарбової системи (рис.3.14) входять: анілоксовий вал 1, дукторний вал 2, фарбовий ящик 3. Дукторний вал має робочу поверхню з гуми. Глибина занурення дукторного валу зазвичай не повинна перевищувати 15 *мм*, в процесі роботи фарба доливається у резервуар. Дукторний вал забирає фарбу з ящика і наносить її на поверхню анілоксового валу, заповнюючи його комірки. Дозування фарби відбувається завдяки тиску між анілоксовим і дукторним валиками, а також диференціацією їх швидкостей для створення ефекту «витирання».

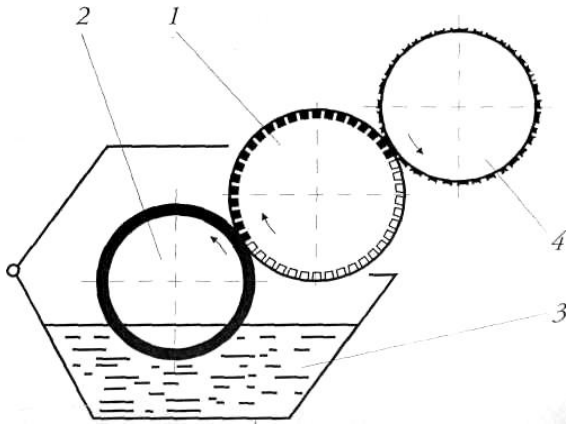


Рис.3.14. *Дукторна система подачі фарби.*

1– анілоксовий валик; 2 – дукторний вал; 3 – фарбовий ящик; 4 – ФЦ.

Принципову схему ракельної системи з замкненою камерою представлено на рис.3.15.

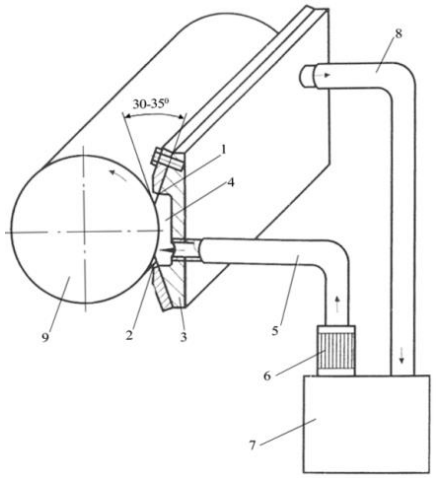


Рис.3.15. *Камер-ракельна система подачі фарби.*
1 – робочий ракель; 2 – замикаючий ракель; 3 – тримач ракелів;
4 – камера; 5 – подавальний трубопровід; 6 – фарбовий насос;
7 – резервуар; 8 – зливний трубопровід; 9 – анілоксовий валик.

Робочий ракель 1 і замикаючий ракель 2 утворюють камеру, обмежену з боків поверхнею анілоксового валика і корпусом тримача ракелів 3. З торців ця фарбова камера закривається еластичними або ущільнювачами, що підпружинені. Передній (замикаючий) по напрямку обертання анілоксового валика ракель 2 призначений для попереднього очищення поверхні анілоксового валика від залишків фарби, паперового пилу. Робочий ракель 1 працює, як головний. Після заповнення растрових комірок анілоксового валика фарбою з камери 4, він забирає надлишки фарби з його поверхні. В камеру 4, для подачі фарби на анілоксовий валик, фарбовий насос 6 через подавальний трубопровід 5 закачує фарбу з бачка 7. Надлишок фарби з камери 4 відводиться через зливний трубопровід 8.

Ракельні камери мають наступні переваги:

– фарбопередача на форму не залежить від швидкості;
– можливість використання АВ з лініатурою до 600 *л/см;*
– можливість підвищення швидкості друкарського процесу;
– зводиться до мінімуму випаровування летких розчинників.

Треба відзначити також, що дукторна система на сьогодні має досить широке розповсюдження. Це пояснюється тим, що вона забезпечує насиченість відбитку, що є важливим при друці плашок і штрихових зображень.

3.3.1. Конструкція ДА флексографічних машин для друку на ГК (на прикладі ДВЛ-1800).

Технологічна схема друкарської секції.

В роботі представлено складальне креслення формного та друкарського циліндрів ДА лінії ДВЛ-1800, а технологічна схема приведена на рис.3.16.

Анілоксовий вал 3 збірний. На його робочій поверхні нанесена растрова сітка. Закріплений в сферичних шарикопідшипниках. Його підводка до дукторного вала та форми здійснюється за допомогою приводу від пневмоциліндра. Привідна шестерня вала змонтована разом з обгінною муфтою, яка від'єднує фарбовий апарат від привода машини під час її зупинки.

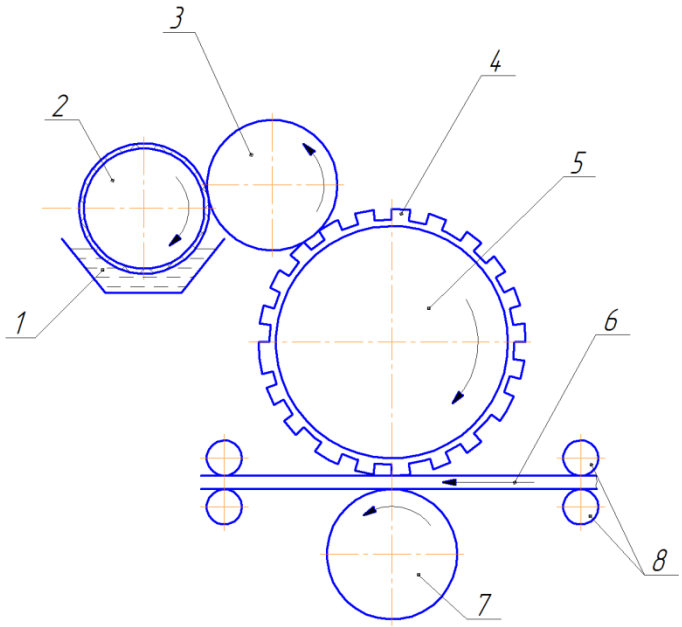


Рис. 3.16. *Технологічна схема ДА ДВЛ-1800.*
1 – резервуар з фарбою; 2 – дукторний валик; 3 – АВ;
4 – форма; 5 – ФЦ; 6 – ГК; 7 – ДЦ; 8 – транспортуючі ролики.

Дукторний валик 2 також збірний. Його робоча поверхня – вулканізована спеціалізована гумова суміш. Він з'єднаний ланцюговою передачею з редуктором автономного привода і передає обертання анілоксовому валу.

Формний циліндр 5 представляє собою гільзу, оброблену по зовнішньому та внутрішньому діаметру. У неї вварені цапфи. Вся конструкція підлягає балансуванню. На робочій поверхні циліндра нанесена сітка для полегшення

монтажу форми. Підшипникові вузли встановлені у стаканах, які монтуються у бокові стійки остова друкарської секції.

Для лівої опори застосовані конічні роликові підшипники з вибіркою бокового зазору.

Для правої опори застосовуються сферичні роликові підшипники, що полегшують встановлення вала.

З зовнішньої лівої сторони на осі формного циліндра встановлюють косозубе колесо, яке спряжене з приводом через механізм тонкої повздовжньої приводки.

З лівої сторони встановлені деталі механізму грубої повздовжньої приводки. Для даного механізму передбачено дві прямозубі шестерні, які встановлені на голчастих підшипниках. Голчасті підшипники змонтовано на пальці, встановленому у приводному зубчастому колесі через болтове з'єднання скріплено з зубчастим колесом, яке змонтоване за допомогою шпонкового з'єднання на валу формного циліндра.

Проворот шестерень змушує обертатися зубчасте колесо. Якщо болтове з'єднання розімкнено, то привідне колесо залишається на місці, пригальмоване приводом, а формний вал обертається.

З правої сторони розміщений механізм осьової приводки. За допомогою штурвала, вісь, якого закріплена у боковині через зубчасті зачеплення. Осьове переміщення циліндра відбувається за рахунок різьби на стакані.

Друкарський циліндр збірний, його конструкція аналогічна конструкції формного циліндра. Підшипникові опори встановлені у стаканах, які кріпляться за допомогою ригелів у бокових стінках остова.

Стаканом за допомогою болтових з'єднань притягнуті важелі, які можуть отримувати коливний рух через тягу від механізму регулювання циліндра на товщину матеріалу для задруковування. Для цього стакани виконані з ексцентриситетом внутрішньої частини, у який монтуються підшипник друкарського циліндра.

Таким чином, провертаючи зовнішній діаметр стакана, ми змінюємо положення вісі друкарського циліндра. Максимальна величина ексцентриситету становить *10 мм.*

3.3.2. Конструкція ДА швецької машини EMBA 244.

Конструкція формного і друкарського циліндрів машини EMBA 244 представлена на рис.3.17.

Робоча частина ФЦ – гільза 1, встановлена на вал 2 і в остов друкарської секції 3 за допомогою спеціальних з'єднань на пружних затискачах типу *Ringfeder* 4. У них силова передача здійснюється за рахунок тиску і тертя

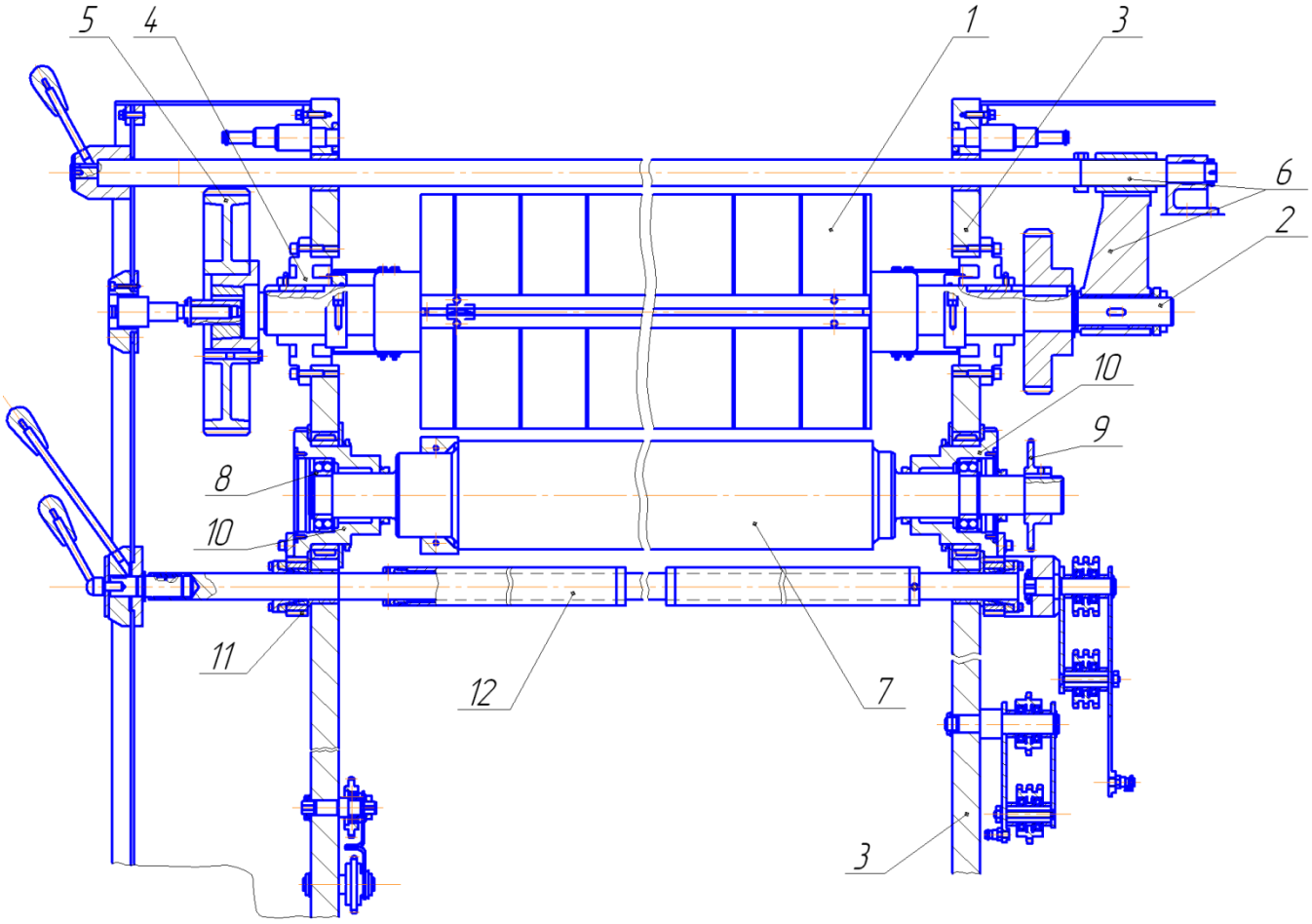


Рис. 3.17. *Конструкція ФЦ і ДЦ EMBA-244.*
1 – ФЦ, 2 – вал ФЦ; 3 – остов ДС; 4 – затискач Ringfeder;
5 – зубчасте колесо приводу ФЦ; 6 – механізм поперечної приводки;
7 – ДЦ; 8 – підшипники; 9 – зірочка приводу ДЦ; 10 – стакан;
11 – шестерня; 12 – вал.

робочих поверхонь, що контактують з валом та внутрішнім кільцем підшипника, який змонтовано в отворі стінки. ФЦ отримує обертання від приводу друкарської секції за допомогою зубчатого колеса 5, яке встановлено на валу 2, за допомогою затискачів типу *Ringfeder*. З протилежного боку розміщено механізм поперечної приводки 6.

ДЦ 7 встановлений у стінках остова за допомогою сферичних шарикопідшипників 8. Він отримує обертання від приводу друкарської секції за допомогою ланцюгової передачі – зірочка 9. Підшипники 8 встановлені в ексцентричних зубчатих стаканах 10. Це дозволяє виставляти положення ДЦ та ФЦ на необхідну товщину ГК та задавати технологічно необхідний тиск.

Поворот стакану 10 надають шестерні 11, які закріплені на валу 12, який може повертатися у стінках остову.

Порівнюючи конструкцію ДА машини ДВЛ-1800 та EMBA-244 можна зробити висновок, що остання має більшу жорсткість конструкції у опорах і можливість забезпечення більшої точності виставлення робочого зазору між ДЦ та ФЦ.

3.3.3. Механізм забезпечення друкарського тиску між ФЦ та ДЦ.

Високий тиск при друці призводить до такого дефекту як розтискування та сприяє швидкому забиванню мілкого рельєфу фарбою, що в свою чергу викликає підвищений знос друкарської форми. Тому до механізму задання тиску висуваються такі вимоги:

– забезпечити монтажний зазор на товщину ГК, яка коливається у межах 1 – 9 *мм*;
– чутливість та точність регулювання задання тиску.

Забезпечення робочого тиску у різних машинах різна. Наприклад, у ДВЛ-1800 та у EMBA-244 його налаштування здійснюється за рахунок встановлення підшипникових вузлів ДЦ у ексцентричні стакани, які можуть провертатися у остові машини. Проте механізми регулювання різні: за допомогою важільного механізму або за допомогою зубчастих секторів. Конструктивно це забезпечує більш тонке регулювання тиску. Аналізуючи

конструкцію машини ТПФ-850, встановили, що встановлення тиску відбувається за рахунок переміщення ДЦ. Його підшипникові опори встановлені у підпружинених сухарях, які переміщаються по пазам бокової стінки остова за допомогою гвинтових пар. Недоліком такої конструкції є необхідність регулювання положення ДЦ з обох сторін.

В інших машинах європейського виробництва використовують високоточні механізми із зубчастими секторами у поєднанні з електронікою, яка контролює положення ДЦ. При цьому забезпечується висока точність виставлення зазорів між ДЦ та ФЦ на різні товщини ГК.

3.3.4. Механізм забезпечення друкарського тиску між АВ та ФЦ.

При регулюванні тиску анілоксового вала до ФЦ, а саме тиску АВ на ФДФ, слід дотримуватися тих же вимог, що й при заданні друкарського тиску.

Багато виробників для вирівнювання тиску між анілоксовим та дукторним валами на великі довжині «бочкують» дукторні вали, надаючи їм форму бочки зі збільшенням діаметру по серединні до 0,3 *мм*. У такому випадку переваги камер-ракельної системи подачі фарби очевидні.

Особливою увагою при проектуванні механізму системи АВ–ФЦ, є механізм відводу АВ від ФЦ (механічний, пневматичний) та автономного приводу АВ (досить часто за допомогою обгінної муфти), необхідних для попередження висихання фарби у його комірках при зупинці машини.

Усі складові частини встановлюються в остові друкарської секції, яка представляє собою модуль, який є частиною друкарсько-висікальної лінії.

3.3.5. Система транспортування заготовок.

Розрізняють три типи систем транспортування заготовки ГК у друкарських секціях:

- транспортування тяговими валами з кінематичним зв'язком;
- транспортування за допомогою транспортувальної стрічки з вакуумними присосами;
- транспортування роликами з вакуумними присосами.

Тип системи транспортування є суттєвим фактором впливу на якість друку - на приводку та відтворення растрових зображень, тому розглянемо кожну з них більш детально.

Транспортування заготовки ГК за допомогою тягових валів (роликів) з кінематичним зв'язком використовується на лініях ДВЛ-1800, Центурион Л120 та АРНІТА-1/2100. Заготовка ГК переміщується між двома валами, що обертаються: нижнім подавальним валом та верхніми роликами (рис.3.18). Вони виставляються на товщину заготовки за допомогою ексцентричних опор,

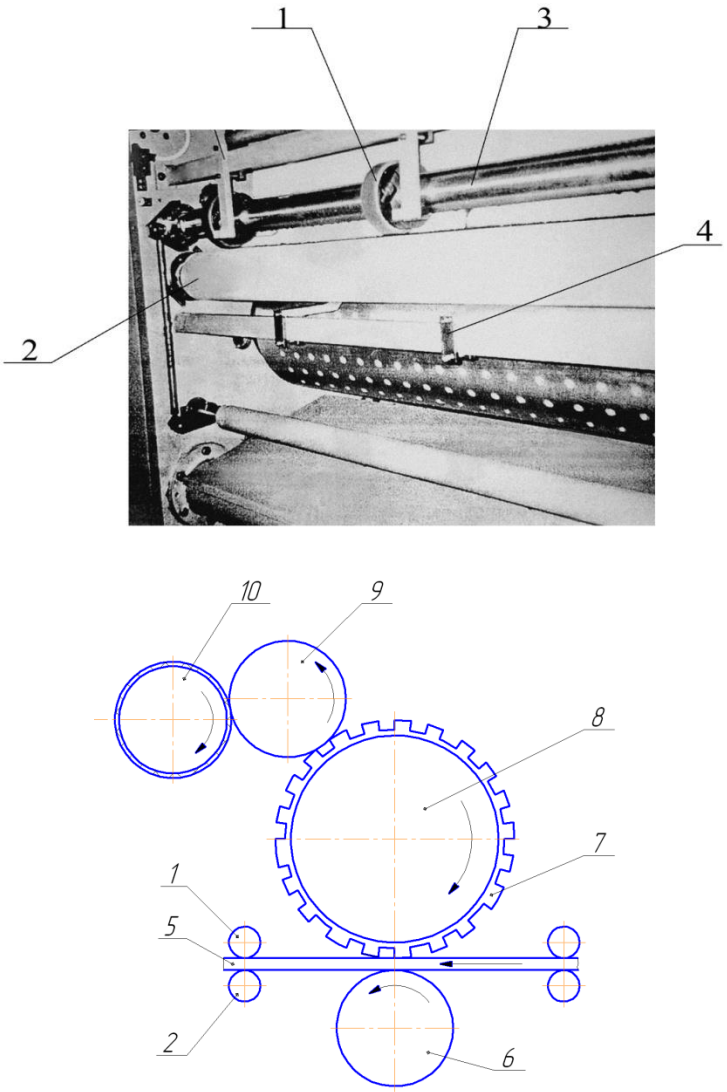


Рис. 3.18. *Транспортуюча система тяговими валами (ДВЛ – 1800). 1 – верхні ролики; 2 – вал подачі; 3 – вал регулювання тиску; 4 – тяга; 5 – ГК; 6 – ДЦ; 7 – форма; 8 – ФЦ; 9 – АВ; 10 – дукторний вал.*

а їх поворот здійснюється через важільно-зубчастий механізм. Така система має ряд недоліків: регулювання зазору у транспортуючій системі здійснюється

смужками матеріалу заготовки, що закладені під крайні ролики і повинні витягуватися при незначному зусиллі. При використанні невеликих форматів по довжині ГК ФЦ та ДЦ можуть додатково здійснювати функцію транспортування.

Вакуумна стрічкова система транспортування (рис.3.19) застосовується на машинах EMBA та M.Martin. Заготовки за допомогою системи самонакладу поступають на вакуумний транспортер у вигляді безперервної стрічки, яка охоплює всю робочу ширину машини. Вакуумний транспортер приймає заготовку, закріплює її по всій площині і транспортує через всі секції друкарської машини (лінії). За допомогою вакууму заготовка ГК утримується в одному положенні впродовж всього процесу оброблення.

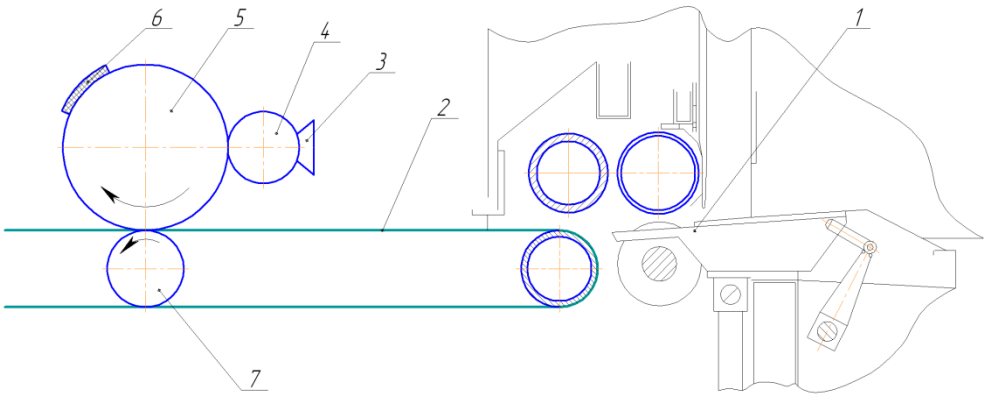


Рис.3.19. *Вакуумна стрічкова транспортуюча система (EMBA 244) 1 – самонаклад; 2 – вакуумна стрічка транспортера; 3 – камер-ракельна система; 4 – АВ; 5 – ФЦ; 6 – форма; 7 – ДЦ.*

Така система транспортування оптимальна при забезпеченні високої якості друку, оскільки:

- забезпечується висока точність приводки;
- зводиться до мінімуму небезпека зминання гофр та розмазування свіжої фарби;
- друкарська форма не бере участь у транспортуванні заготовки ГК, що дозволяє знизити тиск між друкарською формою та ГК до мінімуму.

Транспортування гофрованого картону через друкарські секції за допомогою передавальних роликів з вакуумним повітрям (рис.3.20)

відбувається в машинах FLEXO 160-VISION та KBA Corrugraph. Така система забезпечує мінімальний контакт з поверхнею, що вже задрукована, а також високу швидкість та точність приводки.

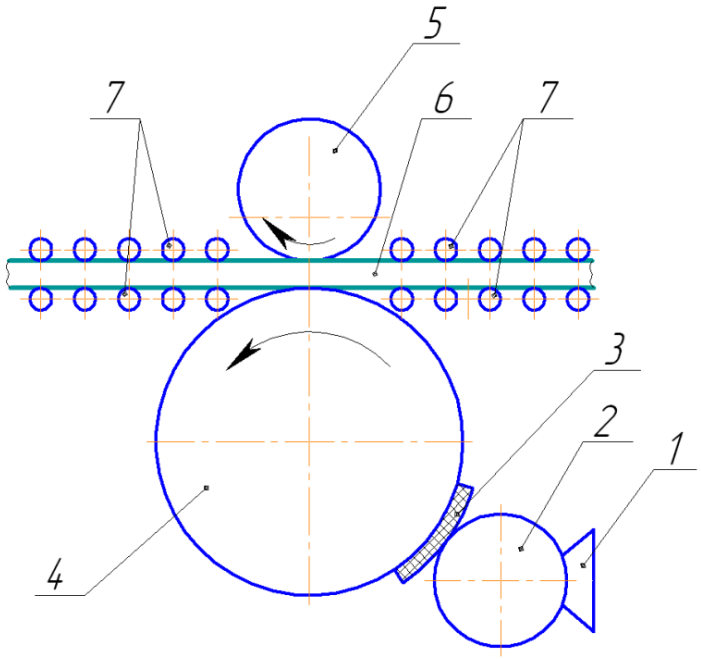


Рис.3.20. *Транспортуюча система з вакуумними передавальними роликами (KBA Corrugraph)*
1 – камер-ракельна система; 2 – АВ; 3 – форма; 4 – ФЦ; 5 – ДЦ; 6 – ГК; 7 – вакуумні ролики.

3.3.6. Привід флексодрукарського апарату для друку на ГК (на прикладі машини ДВЛ-1800).

3.3.6.1. Структура приводу друкарської секції.

Технологічна схема машини ДВЛ-1800 та друкарського апарату були розглянуті на рис.3.16. Особливістю цієї схеми є суміщення функцій формного та друкарського циліндра для транспортування аркуша ГК під час друку. Крім того, в процесі транспортування приймають безпосередню транспортуючі вали. Для забезпечення роботи цих складових частин та фарбового апарату друкарська секція має дуже розгалужений привід в якому розміщені і косозубі зубчасті колеса. Структурну схему приводу представлено на рис.3.21.

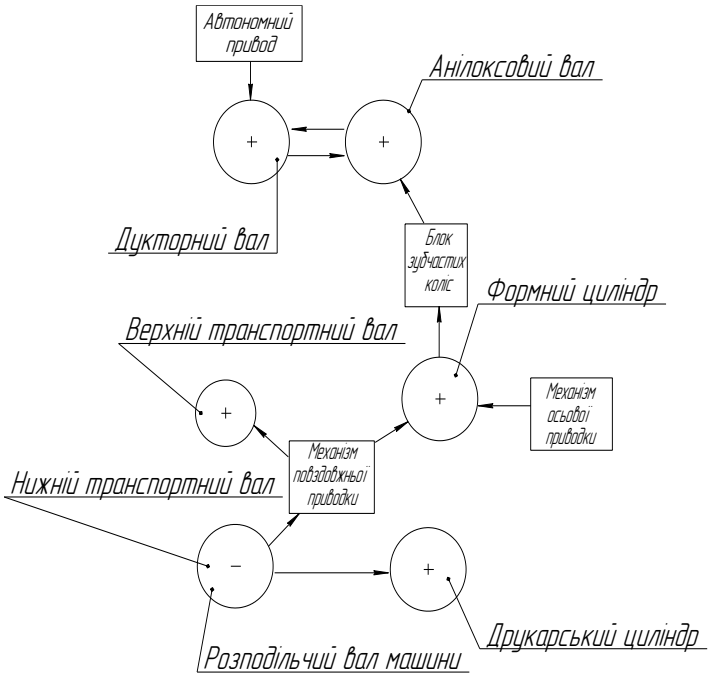


Рис.3.21. *Структурна схема приводу друкарської секції.*

3.3.6.2. Складання кінематичної схеми привода друкарського апарату та її опис.

На основі вивчення конструкторської документації вузлів друкарської секції ДВЛ-1800 була складена кінематична схема привода друкарського апарату (рис.3.22).

Привід всіх вузлів друкарської секції здійснюється від розподільчого вала лінії через зубчасте колесо z_1 (вал *1*).

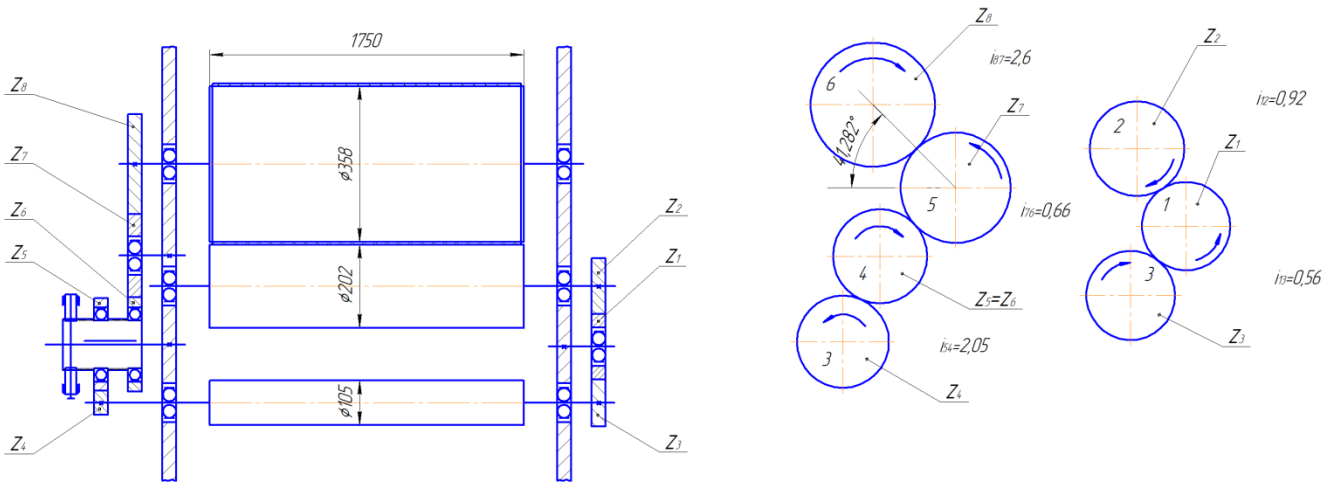


Рис.3.22. *Кінематична схема привода ДС.*

Від вала *1* через пару z_1 та z_2 обертання передається друкарському циліндру (вал *2*).

Від вала *1* через пару z_1 та z_3 обертання передається нижньому транспортному валу *3*, а від нього через пару z_4 та z_5 валу *4* пристрою тонкої повздовжньої приводки.

Вал *4* представляє собою вісь, вздовж якої може по шпонці переміщатись втулка. На втулці, на підшипникових опорах, обертається блок зубчастих коліс z_5 та z_6.

Формному циліндру (вал *6*) обертання передається від вала *4* через пару z_6 та z_8 та паразитне колесо z_7 (вал *5*).

Таблиця 3.1

Кінематичні параметри приводу ДС (ДВЛ-1800).

Вал	**Зубчасте колесо**	**Передавальне число, і**	**n, об/хв**	**ω, рад/с**
6 (ФЦ)	$z_8 = 68$	$i_{87} = \frac{z_8}{z_7} = \frac{68}{26} = 2.6$	$n_V = 77,23$	*8,08*
5 (мех. приводки)	$z_7 = 26$		$n_V = n_{VI} \times i_{87} = 200,79$	*21,01*
4 (мех. приводки)	$z_{6(5)} = 39$	$i_{76} = \frac{z_7}{z_6} = \frac{26}{39} = 0,66$	$n_{V^2} = n_V \times i_{76} = 132,66$	*13,8*
3 (трансп. вал)	$z_{4(3)} = 19$	$i_{54} = \frac{z_5}{z_4} = \frac{39}{19} = 2,05$	$n_{III} = n_V \times i_{54} = 271,95$	*28,29*
1 (вал трансмісії)	$z_1 = 34$	$i_{31} = \frac{z_3}{z_1} = \frac{19}{34} = 0,56$	$n_I = n_{III} \times i_{31} = 152,29$	*15,84*
2 (ДЦ)	$z_2 = 37$	$i_{12} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{34}{37} = 0,92$	$n_{II} = n_I \times i_{12} = 140,1$	*14,57*

Особливості схеми приводу

Згідно кінематичної схеми:

– друкарський та формний циліндр кінематично не зв’язані на пряму зубчатою парою;

– формний циліндр отримує обертання від приводу трансмісії через велику кількість зубчастих пар;
– привід транспортних валів зв'язаний з приводом ФЦ та ДЦ через визначену кількість зубчастих коліс.

Результати розрахунків кінематичних параметрів схеми наведені в табл. 3.1.

3.4. Технічні характеристики сучасного обладнання для друку на ГК.

Ринок сучасного флексографічного обладнання для друку на ГК представлений багатьма виробниками, найпопулярніші приведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Основні технологічні характеристики сучасних машин

Модель	Макс. формат, *мм*	Робоча швид., *арк./год*	Тип приводу секцій	Транспортування листа	Товщина ГК, *мм*	Товщина ФДФ, *мм*
EMBA-244	1100×2400	15000		Вакуумний транспортер	1,5-8	6,35
KBA Corrugraph	1524 ×3000	10 000	Індивідуальний	Вакуумні ролики	2-10	6,35
JYK 2400 ×1250	2400×1250	15 000	Інливідуальний	Транспорт. валики	2-8,5	6,35
Curioni	1000×2500	10 000	Інливідуальний	Вакуумний транспортер	2-10	6,35
Flexo 160 Vision	1600×1100	5 500	Індивідуальний	Вакуумні ролики	3-8	6,35
ПРП 200	1250×2000	3600	Кінематичні ланцюги	Тягові ролики	1,5-25	6,35
ДВЛ 1800	1100×1800	4800	Зубачасті передачі	Транспорт. валики	2-9	6,35
Ishikawa-1525 (Петромаш)	2470×1320	12 000	Індивідуальний	Транспорт. валики	2-10	до 7,2

3.5. Результати патентного пошуку.

Проводячи дослідження технічного рівня та тенденцій розвитку обладнання флексографського способу друку на ГК був проведений патентний пошук.

На першому етапі пошуку було визначено класифікаційний індекс. Згідно Міжнародної патентної класифікації (МПК) пошук проводився у розділі В – «Різні технологічні процеси; Транспортування» [32].

Пошук проводився серед патентів СРСР України, РФ, США, Японії, Німеччини та інших країн.

Було знайдено та досліджено:

– Патент EP0913254A1, Int.Cl.[6],B41F13/00 Apparatus for printing corrugated board; Апарат для друку на гофрокартоні [32].

Згідно даного винаходу, принаймні одна друкарська секція містить друкарський циліндр, змонтований з боку на рухомій рамі, яка може переміщатися у напрямку паралельно вісі циліндрів від кромки задруковуючого матеріла, залишаючи на місці, головним чином, вузли друкарської секції, що дозволяє проводити заміну друкарської форми; тим часом інші друкарські секції можуть перебувати у роботі.

– Патент US6,412,409B2, Int.Cl.[7]: B41F13/08 Apparatus and method for printing corrugated board; Апарат та метод для друку на гофрокартоні [32].

Даний винахід пов’язаний з монтажем змінних друкарських форм без зупинки друкарського апарату в цілому та включає в себе систему фільтрів самоочищення на витяжному вентиляторі друкарського апарату для забезпечення вимог до повітря для обслуговуючого персоналу.

– Патент US4,362,104B2 Int.Cl.[3]: B41F13/00 Flexographic printing press; Флексографічна друкарська машина [32].

Суть даного винаходу полягає у тому, що привід анілоксового вала здійснюється не від формного валу, як у прототипа, а від дукторного через систему передач, що дає змогу збільшити швидкість обертання формного циліндра, без збільшення споживання фарби, що забезпечує рівномірний шар фарби на відбитку.

– Патент JP04303657 Int.Cl.[7]: B41F5/24, B41F31/20 Method and apparatus for printing onto corrugated sheet; Метод та апарат для друку на гофрованому картоні [32].

Згідно даного винаходу зменшується час на зміну фарби.

– Патент JP10157079A Int.Cl.[7]: B41F31/20, B41F5/24 Printer for corrugated fiberboard sheet and its operating method; Метод та апарат для друку на гофрованому картоні [32].

Згідно даного винаходу відбувається швидка заміна фарби без циркуляції фарби.

Патент UA43669, МПК7, B41F13/14, 13/16, 31/00 Флексографічна аркушева друкарська машина .

Патент на дану машину був розроблений УНДІ Спеціальних видів друку. Дана машина придатна для друку на ГК. Авторами патенту розроблено таку її конструкцію, яка відрізняється тим, що на цапфах формних циліндрів першої друкарської секції змонтовано систему кутового розвороту формного циліндру ,а на цапфах формних циліндрів другої друкарської секції змонтовано систему колового (на 360°) повертання зазначеного формного циліндра.

Патент RU5946, МПК 6, B41F5/02, 5/24 Флексографическая машина [28].

За станом на 16.04.2008 даний патент уже не діє. Але авторами патенту було запропоновано таку його конструкцію при якій притискні вали встановлені з можливістю регулювання їх положення у вертикальній площині, на формних барабанах по їх окружності закріплені циліндричні еластичні елементи з забезпеченням їх рухомого контакту з відповідними валами та циліндрами, кулачковий механізм запуску заготовок виготовлений у вигляді двох кулачків, закріплених з можливістю регулювання їх кутового положення на торцях першого формного барабана, та важелів, обладнаних на одному кінці заслінкою, а на іншому – роликом, встановленим з можливістю дотику робочої поверхні відповідного ролика, а кожний з формних барабанів обладнаний швидкозмінними пластиковим фартухом, який закріплюється на формному барабані вздовж довжини паза, при цьому друкарська форма приклеєна до пластикового фартуха.

У результаті проведених патентних досліджень встановлено:

1. Конструкція ДА лінії ДВЛ-1800 патентно чиста, тобто в ній не використано запатентованих вузлів та деталей;

2. У галузі аркушевих флексографічних машин для друку на ГК основні розробки спрямовані на скорочення часу підготовки до друку, а саме зменшення часу та зручність при монтажі друкарських форм на формний циліндр; вдосконалення фарбового апарату, системи подачі матеріалу для друку, конструкції приводу.

3. Не знайдено патентів щодо механіки процесу друку на ГК і пов'язаних з ним особливостей механіки ДА.

3.6. Техніко-експлуатаційні властивості друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин.

3.6.1. Техніко-експлуатаційні властивості.

Техніко-експлуатаційні властивості характеризуються через придатність ПО для його ефективного використання, визначення його ТС, ефективної експлуатації при затвердженій системі ТО і Р. На рис. 3.23 представлена схема

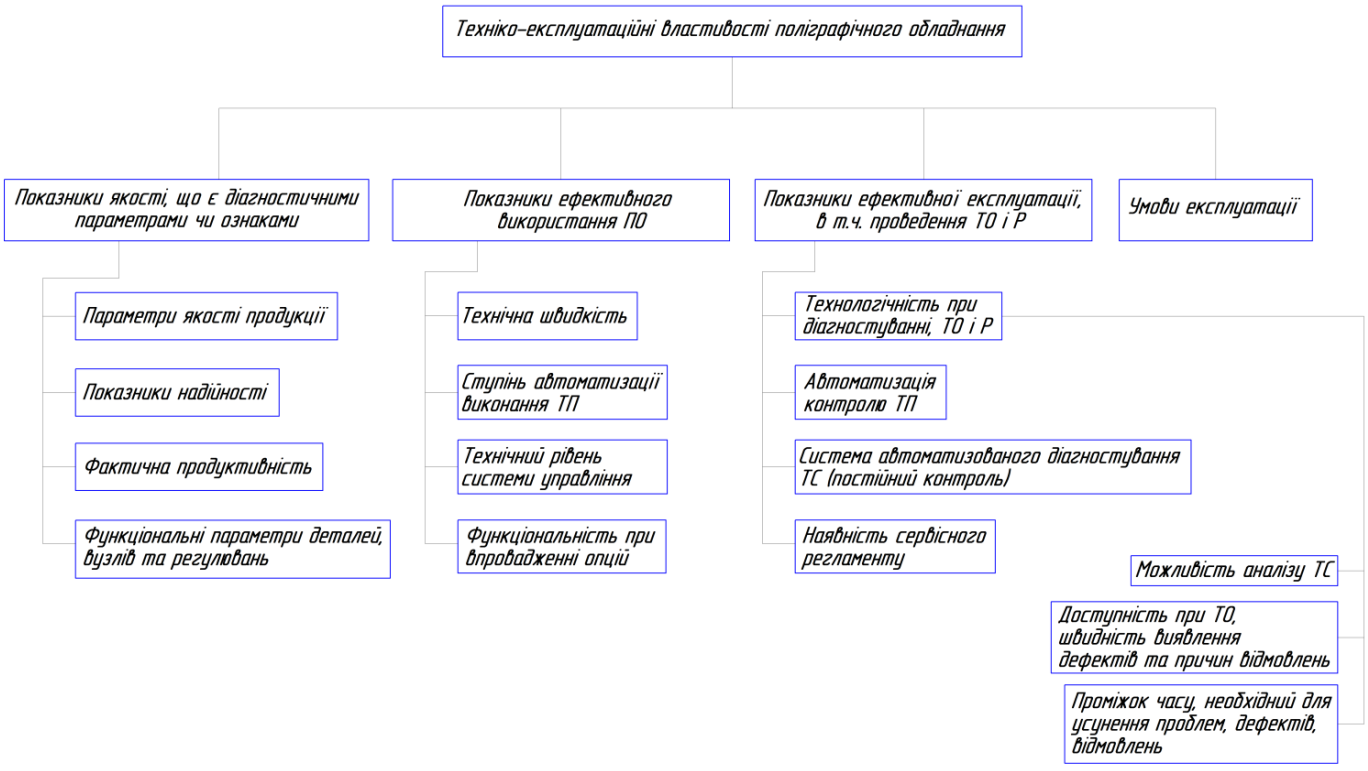


Рис.3.23. *Техніко-експлуатаційні властивості ПО.*

техніко-експлуатаційних властивостей. Розглядаються функціональні показники першої групи, пов’язані насамперед з вимогами до жорсткості конструкції ДА. Крім того проводиться систематизація факторів впливу функціональних характеристик та параметрів ДА на типові явища, що виникають в процесі друку.

3.6.2. Розрахунок жорсткості конструкції ДА.

Жорсткість конструкції ДА — це спроможність системи чинити опір дії зовнішніх навантажень з деформаціями, допустимими для конкретних умов роботи. Жорсткість оцінюють коефіцієнтом жорсткості, який визначається як відношення сил, прикладених до системи до максимальної її деформації, що ці сили викликають. До факторів, які суттєво впливають на жорсткість конструкцій (характер і ступінь пружних деформацій), відносять:

- модуль пружності матеріалу;
- геометричні характеристики перетину системи, що деформується;
- лінійні розміри системи, що деформується;
- вид навантаження та конструкція опор.

Недостатня жорсткість механічних систем призводить до порушення взаємодії їх механізмів. Це супроводжується порушенням умов нормального перебігу технологічних процесів та викликає знос рухомих з’єднань.

Під дією зусилля тиску всі елементи ДА в друкарських машинах деформуються. Це зменшує деформацію форми для забезпечення необхідного технологічного тиску, а також приводить до перепаду тисків вздовж довжини відбитка. Крім того згинальна жорсткість валів також визначає правильні умови роботи зубчатих зчеплень, що пов'язано з забезпеченням їх точності в процесі роботи. Тому жорсткість ДА — важлива його характеристика, що впливає на значення припустимого зусилля друку, налагодження апарату до друку і на його якість. Для ротаційних і плоско-друкарських машин вона характеризується величиною:

- сумарного прогину його складових частини - циліндрів і їх цапф, підшипникових опор, стінок остову,
- крутних деформацій валів і циліндрів.

3.6.2.1. Опис досліджуваної конструкції.

Циліндри 1 та 2 встановлені в підшипникових опорах, стакани 16, 19 яких розташовані в стінках остова друкарської секції. Зовнішній діаметр стаканів ДЦ, що спряжений з отвором стінки, і внутрішній діаметр під установку підшипника з валом виконані з ексцентриситетом. Це дозволяє за допомогою синхронного повороту стаканів в стінках встановлювати необхідний зазор між твірними ФЦ і ДЦ, який враховує товщину ФПФ з монтажною стрічкою і ГК, і в той же час, забезпечує необхідний технологічний тиск друку. Тобто конструкція ДА передбачає передачу тиску від друкарського до формного циліндру через ГК.

Робоча частина циліндрів зроблена зі стальних труб, в які посаджені по гарячій посадці (H7/u7) цапфи. Найбільше навантажена опора ФЦ (зі сторони приводного косозубого колеса) змонтована на двох радіально-упорних конічних підшипниках по схемі попереднього осьового натягу. Протилежна опора змонтована на спарених сферичних роликопідшипниках і компенсує зміни довжини вала циліндру внаслідок його деформацій. ДЦ змонтований на спарених сферичних шарикопідшипниках. Його найбільш навантажена опора виконана по схемі осьової фіксації.

Стінки остову виготовлені з листової сталі 35 товщиною 45 мм кожна. Їх жорсткість значно вища ніж жорсткість елементів ДА. Тому в подальшому її не враховуємо.

Цапфи циліндрів мають ступінчату конструкцію. Тому для розробки розрахункової схеми ступінчаті ділянки замінено на гладкі вісі з приведеним діаметром та довжиною згідно формул.

З врахуванням зробленого аналізу і використанням параметрів кінематичної схеми запропонована розрахункова схема для визначення сумарного прогину елементів ДА.

3.6.2.2. Розрахункова схема для визначення пружних деформацій формного і друкарського циліндрів.

Аналізуючи фактори, що впливають на якість друку, було визначено, що жорсткість ДА одна з найважливіших характеристик. На рис.3.24 представлено розрахункову схему ДА лінії ДВЛ-1800 (де *ФЦ* – формний циліндр; *ГК* – гофрований картон; G_1, G_2–технологічний тиск при друці, $g_ф$, $g_д$ -розподілене навантаження формного та друкарського циліндра, $M_{кр}$–крутні моменти на шестернях приводу, z_8–зубчасте колесо приводу). Прогин циліндрів призводить до необхідності збільшення тиску на еластичну ФПФ для забезпечення її робочої деформації. Це зумовлює погіршення якості друку: розтискування, розмитість контурів, деформації ГК. Прогин і кут повороту в опорах буде впливати на точність зубчатих зачеплень, що може визивати їх інтенсивне зношення і полошення на відбитку.

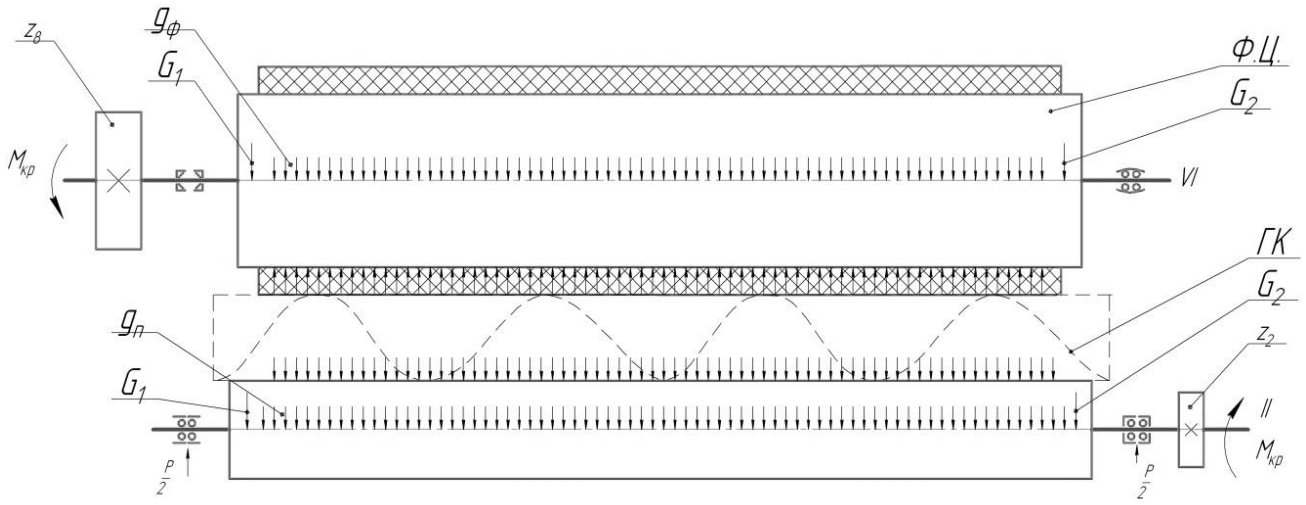


Рис.3.24. *Схема навантажень в ДА лінії ДВЛ-1800.*

Сумарна величина прогину елементів ДА, яка характеризує жорсткість конструкції, має вигляд:

$$f_C = f_Д + f_Ф + f_{ОД} + f_{ОФ} + f_{ПФ} + f_{ПП},$$

де $f_п$, $f_ф$ – прогини стінок друкарського та формного циліндрів;

$f_{оп}$, $f_{оф}$ – прогини осей циліндрів.

$f_{пф}$, $f_{пп}$ – радіальна жорсткість підшипників.

3.6.2.3. Навантаження в друкарському апараті.

Схема навантажень на друкарський апарат лінії ДВЛ 1800 наведена на рис.4.2.

При роботі друкарського апарату на його складові частини діють такі навантаження:

P_T – технологічне навантаження;

G – вага гільз циліндрів, яку згідно їх конструкції розділяємо на:

$G_{1,2}$ – вага втулок циліндрів:

$G_{Ф,П}$ – вага гільз циліндрів.

$M_{кр}$ – крутний момент приводу циліндрів і відповідно виникають сили у косозубому зачеплені:

F_t – колова сила;

F_r – радіальна сила;

F_a – осьова сила.

Відомо, що від способу друку, властивостей фарби, форми і матеріалу для друкування, у ДА повинен бути забезпечений технологічно необхідний тиск. Розподіл технологічного тиску по ширині смужки контакту неоднаковий. Тому при визначенні технологічного навантаження P_T вводять коефіцієнти усереднення ψ, який залежить від властивостей декеля і визначається як відношення середнього тиску у зоні контакту до максимального.

Аналіз праць з флексографського способу друку для ГК дозволяє прийняти такі параметри технологічного процесу друку:

- абсолютна деформація ФПФ досягає значень λ_m=0,1-0,2мм;
- величина максимального тиску досягає з урахуванням розд. 5: P_{max}= = 0,1 – 0,35 *МПа*, для мікрогофрокартону може приймати до 0,5 *МПа*;
- коефіцієнт усереднення для флексографського друку приймаємо, використовуючи рекомендації високого друку, ψ=0,58. Йому відповідає $\sigma_{ст}$ при P_{max}=0,8 *МПа* і відносна деформація 0,03 = 02/6,35 (де 6,35 *мм* – товщина недеформованої ФПФ).

При обчисленні ширини смужки контакту розглядаємо друкарську пару як контакт циліндра з площиною та з врахуванням питомого тиску обчисленого в розд. 5. Це припущення обумовлене тим, що площинна жорсткість ГК вища за ФПФ і ГК при друці не повинен руйнуватися.

3.6.2.4. Розрахунок технологічного навантаження.

Технологічне зусилля, що виникає у процесі друку, визначаємо із залежності:

$$P_{mex} = P_m \psi B l \alpha$$

де P_m – технологічно необхідний тиск; приймаємо P_m = 0,05 – 0,8 *МПа* => беремо за базовий розрахунок $P_m = 8 \times 10^5$ *Па (Н/м²);*

B – ширина смужки контакту, *м*;

l – довжина смужки контакту (довжина формного циліндра); l = 1750 *м*;

α – коефіцієнт, що враховує характер форми. Приймаємо α = 1 для друкування плашки.

Ширину смужки контакту визначаємо за формулою:

$$B = 2\sqrt{2R\lambda_m}$$

де *R* – радіус формного циліндра;

λ_m – абсолютна деформація форми. Приймаємо λ_m = 0,2 *мм*.

Враховуючи, що *R* = 183 *мм*, то ширина смужки контакту за формулою:

$$B = 2\sqrt{2 \times 183 \times 0,2} = 17,1 \text{ мм}$$

Тоді навантаження в друкарському апараті розраховуємо за формулою:

$$P_{mex} = P_m \psi B l \alpha = 8 \times 10^5 \times 0,58 \times 17,1 \times 10^{-3} \times 1,750 \times 1 = 13,88 \text{ кН}$$

Технологічне навантаження розглядаємо як розподілене навантаження, тоді питомий тиск, буде складати:

$$p = \frac{P_{mex}}{l} = \frac{13,88 \times 10^3 H}{1,750 м} = 7934,4 \text{ Н / м}$$

3.6.2.5. Навантаження у системі привода ДА.

Кінематична схема друкарського апарату представлена на рис. 3.22.

Привід формного циліндру

Потужність на валу трансмісії складає 2,5 кВт, враховуючи ККД системи зубчастих: η_{Σ}=0,81.

Потужність на валу формного циліндра складає:

$$N_{фц} = \eta_{\Sigma} \times 0,81 = 2,5 \times 0,81 = 2,03\ кВт$$

Момент:

$$T_1 = \frac{N_1}{\omega_8} = \frac{2,03 \times 1000}{8,08} = 251,2\ Н \times м$$

Розрахуємо сили, які діють у зубчатому зачепленні $z_8 – z_7$:

Колова сила:

$$F_t = \frac{2 \times 10^3 \times T_1}{d_8} = \frac{2 \times 1000 \times 251,2}{282,88} = 1776\ Н = 1,776\ кН$$

Радіальна сила:

$$F_r = \frac{F_t tg\alpha}{\cos\beta} = \frac{1,776 \times 10^3 \times tg20^{\circ}}{\cos 16^{\circ}} = 672,46\ Н$$

Осьова сила:

$$F_a = F_t tg\beta = 1776 tg16^{\circ} = 509,25\ Н$$

Привід друкарського циліндру

Враховуючи КПД зубчатої передачі z_1 z_2,(рис. 5.2) потужність на валу друкарського циліндру буде становити:

$$N_2 = 2,5 \times 0,95 = 2,375 кВт$$

Тоді крутний момент на валу друкарського циліндра:

$$T_2 = \frac{2,375 \times 1000}{14,63} = 162,3\ Н \times м$$

Сили, що діють у зубчатому зачепленні:

Колова сила:

$$F_t = \frac{2 \times 10^3 \times T_2}{d_2} = \frac{2 \times 1000 \times 162,3}{153,92} = 2109,37 Н$$

Радіальна сила:

$$F_r = \frac{F_t tg\alpha}{\cos\beta} = \frac{2109,37 \times tg20^\circ}{\cos 16^\circ} = 798,69H$$

Осьова сила:

$$F_a = F_t tg\beta = 2109,37 tg16^\circ = 604,85\ H$$

3.6.2.6. Навантаження від сил ваги циліндрів.

Формний циліндр (рис.3.25):

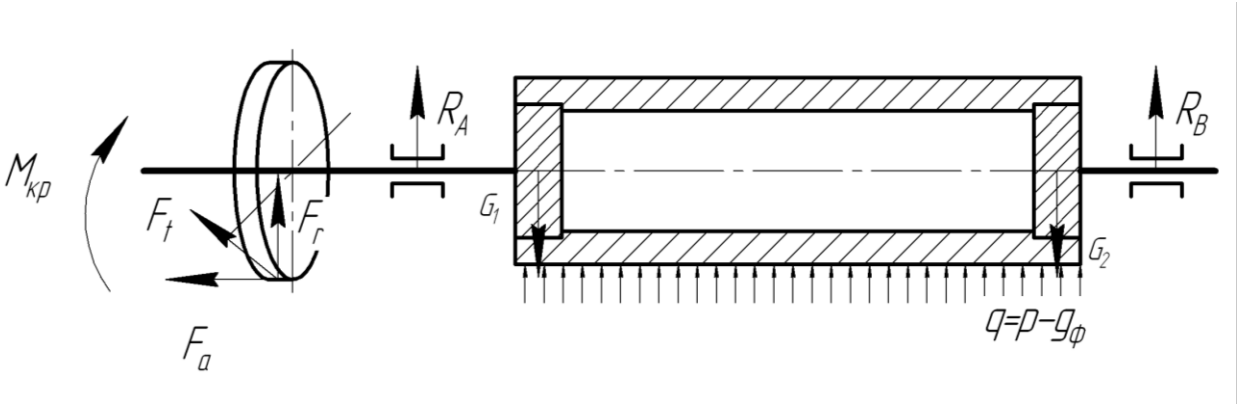


Рис.3.25. *Розрахункова схема ФЦ.*

Сили ваги гільзи ФЦ $G_ф$:

$$G_ф = m \times g$$

$$m = 7,8 \times 10^3 \times \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4} l = 7,8 \times 10^3 \times 3,14 \times \frac{(0,358^2 - 0,316^2)}{4} \times 1,750 = 303,3\ кг$$

$$G_ф = 303,3 \times 9,8 = 2972,6\ H$$

Розглядати силу ваги гільз ФЦ будемо як розподілене навантаження, тому:

$$g_ф = \frac{G_Ф}{l_ц} = \frac{2972,6}{1,75} = 1698,6\ H/м$$

Сили ваги втулок ФЦ:

$$G_1 = G_2 = m \times g,$$

$$m = 7,8 \times 10^3 \times \pi \frac{(D_1^2 - d_1^2)}{4} l = 7,8 \times 10^3 \times \pi \frac{0,316^2 - 0,1^2}{4} 0,04 = 22\ кг$$

$$G_1 = G_2 = 22 \times 9,8 = 215,67H$$

Друкарський циліндр (рис.3.26):

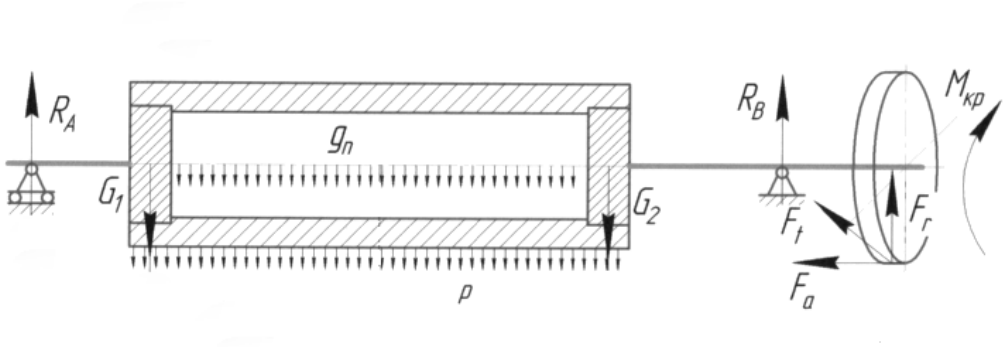


Рис.3.26. *Розрахункова схема ДЦ.*

Сили ваги гільз:

$$G_Д = m \times g$$

$$m = 7,8 \times 10^3 \times \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4} l = 7,8 \times 10^3 \times 3,14 \times \frac{(0,202^2 - 0,169^2)}{4} \times 1,760 = 131,9 \text{ кг}$$

$$G_Д = 131,9 \times 9,8 = 1292,9 \text{ Н}$$

Розглядати силу ваги гільз ДЦ будемо як розподілене навантаження, тому:

$$g_П = \frac{G_П}{l_ц} = \frac{1292,9}{1,76} = 734,6 Н / м$$

Втулок:

$$G_1 = G_2 = m \times g \text{ ,}$$

$$m = 7,8 \times 10^3 \times \pi \frac{(D_1^2 - d_1^2)}{4} l = 7,8 \times 10^3 \times \pi \frac{0,172^2 - 0,048^2}{4} 0,035 = 1,86 \text{ кг}$$

$$G_1 = G_2 = 1,86 \times 9,8 = 18,24 \text{ Н}$$

3.6.2.7. Розрахунки пружних деформацій.

Пружні деформації згину ФЦ

На рис.3.25 представлено розрахункову схему ФЦ з прикладеними навантаженнями.

Для визначення реакцій R_A та R_B необхідно визначити складові цих реакцій від радіальних та колових сил.

Радіальні складові реакцій R_{Ap} та R_{Bp} визначимо із рівняння рівноваги моментів відносно опор А та В у вертикальній площині.

$$\sum M_{Ap} = F_t \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 65 + F_r \cos 41,282^\circ \times 65 + G_1 \times 145 + g \times 997,5 \times l + G_2 \times 1850 - R_{Bp} \times 2000 = 0$$

$$\sum M_{Bp} = F_t \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 2065 + F_r \cos 41,282^\circ \times 2065 + R_{Ap} \times 2000 - G_1 \times 1855 - + g \times 1002,5 \times l - G_2 \times 150 = 0$$

$$R_{Ap} = -\frac{1776 \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 2065 + 672,46 \cos 41,282^\circ \times 2065 - 215,67 \times 1855}{2000} + + \frac{6244,25 \times 1,75 \times 1002,5 - 215,67 \times 150}{2000} = -7019,1\ H$$

$$R_{Bp} = \frac{1776 \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 65 + 672,46 \cos 41,282^\circ \times 65 + 215,6 \times 145 - }{2000}$$
$$\frac{-6244,25 \times 1,750 \times 997,5 + 215,67 \times 1850}{2000} = -5206,6\ H$$

Для знаходження складових опор від колових сил складаємо 2 рівняння моментів відносно опор А та В у горизонтальній площині:

$$M_{FO} = F_O \frac{d_8}{2} = 509,25 \frac{282,88}{2} = 72028,32\ H \times мм$$

$$\sum M_{AO} = M_{FO} - F_t \cos 41,282^\circ \times 65 + F_r \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 65 - R_{BO} \times 2000 = 0$$

$$\sum M_{BO} = M_{FO} - F_t \cos 41,282^\circ \times 2065 + F_r \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 2065 + R_{AO} \times 2000 = 0$$

$$R_{AO} = -\frac{72028,32 - 1776 \cos 41,282^\circ \times 2065 + 672,46 \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 2065}{2000} = 883,8H$$

$$R_{BO} = \frac{72028,32 - 1776 \cos 41,282^\circ \times 65 + 672,46 \cos(90^\circ - 41,282^\circ) \times 65}{2000} = 7,05H$$

Визначивши складові реакцій опор, знаходимо сумарні реакції:

$$R_A = \sqrt{R_{Ap}^2 + R_{AO}^2} = \sqrt{7019,1^2 + 883,8^2} = 7074,5H$$

$$R_B = \sqrt{R_{Bp}^2 + R_{BO}^2} = \sqrt{5206,6^2 + 7,05^2} = 5206,6H$$

Моменти інерції знаходимо за формулою:

$$I_Ц = \frac{\pi(D_З^4 - D_В^4)}{64}$$

де $D_З$ та $D_В$ – зовнішній та внутрішній діаметри.

Моменти інерції циліндру:

$$I_Ц = \frac{\pi(35,8^4 - 31,6^4)}{64} = 31668,8\ см^4$$

Моменти інерції втулки:

$$I_В = \frac{\pi(31,6^4 - 10^4)}{64} = 48430,67\ см^4$$

Моменти інерції осі циліндра:

$$I_О = \frac{\pi d_0^4}{64} = 187,25\ см^4$$

Сумарна жорсткість у середньому перетині циліндру складає:

$$EI = 31668,8 \times 1,75 \times 10^7 + \frac{1}{3}(48430,67 + 187,25) \times 2 \times 10^7 = 152656,24 \times 10^7\ Н/см^2$$

Е – модуль пружності для матеріалу циліндра. Приймаємо для осі та втулки рівним 2×10^7Н/см^2; для циліндру – $1,75\times10^7$Н/см^2.

Знаючи реакції опор, моменти інерцій перетину циліндра $I_Ц$ та його осі $I_О$ знаходимо згинальні моменти:

$$M_{Х1} = \frac{I_Ц}{I_О} R_А \times 90 = \frac{31668,8}{187,25} 66570 = 11258702\ Н \times см$$

Звідси $M_{Х2} = 307460 Н \times см$

Для перетину осі циліндра:

$$M_О = R_А \times (65 + 145) = 6566570 Н \times см$$

Для цього ж перетину циліндра знаходимо згинальний момент:

$$M_Ц = M_{Х2} - M_О = 307460 - 66570 = 240890\ Н \times см$$

Визначення жорсткості друкарського апарату по методиці проф. Н.Н. Серпіонова рекомендується в попередніх роботах Тюрина А.А., та полягає у окремому визначенні прогинів стінки циліндрів та його геометричної осі. Для прогину стінки полого без реберного циліндра в процесі дослідження виведена наступна залежність:

$$f_3 = 0,032\frac{p}{E_Ц}(\frac{D}{\delta}-1)^3$$

,

де р – питоме навантаження, Н/см;

D – діаметр циліндра:

δ – товщина стінки циліндра;

$$f_3 = 0,032\frac{79,42}{1,75\times10^7}(\frac{35,8}{2,1}-1)^3 = 0,0006\ см = 0,006\ мм$$

Для визначення прогину геометричної осі циліндра виведена та експериментально доведена така формула:

$$f_O = \frac{pl_Ц^4}{384EI}\times\frac{5\psi^3+40\psi^2+96\psi+64(n-1)}{\psi^3}$$

де *р* - питоме навантаження при друці, МПа;

lц - довжина циліндра, мм;

Е - модуль пружності матеріалу, Н/мм2;

І -момент інерції циліндра, мм4;

Ψ - коефіцієнт, що дорівнює відношенню відстані кріплення до повної довжини циліндра, мм;

n - кількість ламелей, встановлених вздовж усього циліндра..

$$f_O = \frac{79,42\times175^4}{384\times152656,24\times10^7}\times\frac{5\times8,3^3+40\times8,3^2+96\times8,3+64(815,25-1)}{8,3^3} =$$

$$= 0,0127см = 0,127\ мм$$

<u>Пружні деформації згину ДЦ</u>

Розрахункова схема ДЦ з прикладеними навантаженнями показана на рис.3.26.

Розглянемо вертикальну площину і визначимо радіальні реакції опор:

$$\sum M_{Ap} = G_1\times160+(g\times1,76+p\times1,76)\times1031,25+G_2\times1902,5-R_{Bp}\times2052,5-$$
$$-F_t\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times2117,5-F_r\cos1,114^\circ\times2117,5=0$$

$$\sum M_{Bp} = R_{Ap}\times2052,5-G_1\times1892,5-(g\times1,76+p\times1,76)\times1021,25-G_2\times150-$$
$$-F_t\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times65-F_r\cos1,114^\circ\times65=0$$

$$R_{Ap} = -\frac{-18,24\times1892,5-8677,45\times1,76\times1021,25-18,24\times150}{2052,5} -$$

$$-\frac{2109,37\times\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times65-798,69\cos1,114\times65}{2052,5} = 7643,79H$$

$$R_{Bp} = \frac{18,24\times160+8677,45\times1,76\times1031,25+18,24\times1902,5-}{2052,5} -$$

$$-\frac{2109,37\times\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times2117,5-798,69\cos1,114\times2117,5}{2052,5} = 6822,02H$$

Для знаходження складових опор від колових сил складаємо 2 рівняння моментів відносно опор А та В у горизонтальній площині:

$$M_{FO} = F_O\frac{d_2}{2} = 604,85\frac{153,92}{2} = 46739,34\ H\times мм$$

$$\sum M_{AO} = M_{FO} + F_t\cos1,114^\circ\times2117,5 - F_r\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times2117,5 - R_{BO}\times2052,5 = 0$$

$$\sum M_{BO} = M_{FO} + F_t\cos1,114^\circ\times65 - F_r\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times65 + R_{AO}\times2052,5 = 0$$

$$R_{AO} = -\frac{46739,34+2109,37\cos1,114^\circ\times65-798,69\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times65}{2052,5} = 89,39H$$

$$R_{BO} = \frac{46739,34+2109,37\cos1,114^\circ\times2117,5-798,69\cos(90^\circ-1,114^\circ)\times2117,5}{2052,5} = 2191,3H$$

Визначивши складові реакцій опор, знаходимо сумарні реакції:

$$R_A = \sqrt{R_{Ap}^2+R_{AO}^2} = \sqrt{4362,43^2+83,39^2} = 4363,2H$$

$$R_B = \sqrt{R_{Bp}^2+R_{BO}^2} = \sqrt{3508,53^2+2191,3^2} = 4136,66H$$

Друкарський циліндр виготовлено у вигляді полого циліндру з однаковою товщиною стінок по всій довжині без ребер жорсткості.

Моменти інерції циліндру:

$$I_Ц = \frac{\pi(20,2^4-16,9^4)}{64} = 4166,56\ см^4$$

Моменти інерції втулки:

$$I_B = \frac{\pi(17,2^4-4,8^4)}{64} = 4267,96\ см^4$$

Моменти інерції осі циліндра:

$$I_O = \frac{\pi d_0^4}{64} = \frac{\pi\times5,14^4}{64} = 34,25\ см^4$$

Сумарна жорсткість у середньому перетині циліндру складає:

$$EI = 4166,56 \times 1,75 \times 10^7 + \frac{1}{3}(4267,96 + 34,25) \times 2 \times 10^7 = 21895,9 \times 10^7 \, H / см^2$$

Е – модуль пружності для матеріалу циліндра. Приймаємо для осі та втулки рівним 2×10^7Н/см^2; для циліндру – $1,75 \times 10^7$Н/см^2.

Знаючи реакції опор та моменти інерцій перетину циліндра $I_Ц$ та його осі I_O знаходимо згинальні моменти.

$$M_{X1} = \frac{I_Ц}{I_O} R_A \times 130 = \frac{4166,56}{34,25} 122300 = 14877964,61 \, H \times см$$

$$M_{X2} = 457400 \, H \times см$$

Для перетину осі циліндра:

$$M_O = R_A \times 130 = 122300 H \times см$$

Для цього ж перетину циліндра знаходимо згинальний момент:

$$M_Ц = M_{X2} - M_O = 457400 - 122300 = 335100 H \times см$$

Визначивши моменти M_{X1}, M_O, $M_Ц$ знаходимо величину найбільшого прогину циліндру разом з віссю у середньому перетині циліндра:

Визначимо жорсткість друкарського апарату по отриманій формулі:

$$f_3 = 0,032 \frac{p}{E_Ц} (\frac{D}{\delta} - 1)^3 ,$$

де p – питоме навантаження, Н/см;

D – діаметр циліндра:

δ – товщина стінки циліндра;

$$f_3 = 0,032 \frac{79,42}{1,76 \times 10^7} (\frac{20,2}{1,65} - 1)^3 = 0,0002 см = 0,002 мм$$

Для визначення прогину геометричної осі циліндра застосовуємо отриману формулу:

$$f_O = \frac{p l_Ц^4}{384 EI} \times \frac{5\psi^3 + 40\psi^2 + 96\psi + 64(n-1)}{\psi^3},$$

де $\psi = \frac{l_Ц}{14,5} = \frac{176}{16} = 11$ - коефіцієнт, що дорівнює відношенню відстані кріплення до повної довжини циліндра, мм;

$n = \frac{EI}{E_O I_O} = \frac{21895,9 \times 10^7}{34,25 \times 10^7} = 639,29$ - коефіцієнт, який дорівнює відношенню сумарної жорсткості циліндра, втулки та осі EI до жорсткості осі циліндру $E_O I_O$.

$$f_O = \frac{79,42 \times 176^4}{384 \times 21895,9 \times 10^7} \times \frac{5 \times 11^3 + 40 \times 11^2 + 96 \times 11 + 64(639,29 - 1)}{11^3} = 0,0278 \text{ см} = 0,278 \text{ мм}$$

Використовуючи вищевказані розрахунки, знаходимо прогини елементів даної конструкції при різних тисках. Дані заносимо до табл. 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3

Деформації складових лінії ДВЛ-1800 ($l_ц$=*1 750 мм*)

P,МПа	**0,2**	**0,5**	**0,8**
$f_{Ф.Ц.}$, мм	0,024	0,058	0,133
$f_{П.Ц.}$	0,09	0,22	0,28
$f_{Под}$	0,009	0,027	0,045
f_{Σ}	0,123	0,3	0,38

Аналізуючи останні роботи з опору матеріалів та розробки у сфері папероперероблної галузі, а також базуючись на експетиментальних даних була виведена ще одна залежність:

$$f = \frac{P \cdot B^2 (12 \cdot L - 7 \cdot B)}{384 \cdot EJ},$$

де P – навантаження, що діє на циліндр, $P = 13,88$ *кН*;

B – довжина циліндра;

L – відстань між вісями підшипників;

E – модуль пружності сталі, приймаємо E=1,75x10^5 МПа;

I – момент інерції поперечного розрізу циліндра, м^4.

Для формного циліндра:

B = 1 705 *мм*;

L = 2 000 *мм*;

$I_{ФЦ} = 31\,668{,}8\ см^4 = 3{,}1669 \times 10^8\ мм^4$.

$$f_{ФЦ} = \frac{13{,}8 \times 10^3 \times 1705^2 (12 \times 2000 - 7 \times 1705)}{384 \times 1{,}75 \times 10^5 \times 3{,}1669 \times 10^8} = 0{,}022\ мм$$

Для друкарського циліндра:

B = 1 742,5 *мм*;

L = 2 022,5 *мм*;

$I_{ДЦ} = 4\,166{,}56\ см^4 = 4{,}167 \times 10^7\ мм^4$.

$$f_{ДЦ} = \frac{13{,}8 \times 10^3 \times 1742{,}5^2 (12 \times 2022{,}5 - 7 \times 1742{,}5)}{384 \times 1{,}75 \times 10^5 \times 4{,}167 \times 10^7} = 0{,}181\ мм$$

Проведемо розрахунки прогинів для різних тисків:

Для формного циліндра:

B = 1 705 *мм*;

L = 2 000 *мм*;

$I_{ФЦ} = 3{,}1669 \times 10^8\ мм^4$.

1. P= 0,2 МПа =>

$$P_{тех} = P_m \psi B l \alpha = 2 \times 10^5 \times 0{,}58 \times 17{,}1 \times 10^{-3} \times 1{,}750 \times 1 = 3{,}47\ кН$$

$$f_{ФЦ} = \frac{3{,}47 \times 10^3 \times 1705^2 (12 \times 2000 - 7 \times 1705)}{384 \times 1{,}75 \times 10^5 \times 3{,}1669 \times 10^8} = 0{,}0057\ мм$$

2. P= 0,4 МПа =>

$$P_{тех} = P_m \psi B l \alpha = 4 \times 10^5 \times 0{,}58 \times 17{,}1 \times 10^{-3} \times 1{,}750 \times 1 = 6{,}943\ кН$$

$$f_{ФЦ} = \frac{6,943 \times 10^3 \times 1705^2 (12 \times 2000 - 7 \times 1705)}{384 \times 1,75 \times 10^5 \times 3,1669 \times 10^8} = 0,0114 \text{ мм}$$

3. P= 0,6 МПа =>

$$P_{тех} = P_m \psi B l \alpha = 4 \times 10^5 \times 0,58 \times 17,1 \times 10^{-3} \times 1,750 \times 1 = 10,414 \text{ кН}$$

$$f_{ФЦ} = \frac{10,414 \times 10^3 \times 1705^2 (12 \times 2000 - 7 \times 1705)}{384 \times 1,75 \times 10^5 \times 3,1669 \times 10^8} = 0,0172 \text{ мм}$$

Для друкарського циліндра:

B = 1 742,5 *мм*;

L = 2 022,5 *мм*;

$I_{ДЦ} = 4,167 \times 10^7 \text{ мм}^4$.

1. P= 0,2 МПа =>

$$P_{тех} = P_m \psi B l \alpha = 2 \times 10^5 \times 0,58 \times 17,1 \times 10^{-3} \times 1,750 \times 1 = 3,47 \text{ кН}$$

$$f_{ДЦ} = \frac{3,47 \times 10^3 \times 1742,5^2 (12 \times 2022,5 - 7 \times 1742,5)}{384 \times 1,75 \times 10^5 \times 4,167 \times 10^7} = 0,045 \text{ мм}$$

2. P= 0,4 МПа =>

$$P_{тех} = P_m \psi B l \alpha = 4 \times 10^5 \times 0,58 \times 17,1 \times 10^{-3} \times 1,750 \times 1 = 6,943 \text{ кН}$$

$$f_{ДЦ} = \frac{6,943 \times 10^3 \times 1742,5^2 (12 \times 2022,5 - 7 \times 1742,5)}{384 \times 1,75 \times 10^5 \times 4,167 \times 10^7} = 0,091 \text{ мм}$$

3. P= 0,6 МПа =>

$$P_{тех} = P_m \psi B l \alpha = 4 \times 10^5 \times 0,58 \times 17,1 \times 10^{-3} \times 1,750 \times 1 = 10,414 \text{ кН}$$

$$f_{ДЦ} = \frac{10,414 \times 10^3 \times 1742,5^2 (12 \times 2022,5 - 7 \times 1742,5)}{384 \times 1,75 \times 10^5 \times 4,167 \times 10^7} = 0,136 \text{ мм}$$

Всі дані заносимо до табл. 3.4.

При проведенні розрахунків були взяті до відома експериментальні дослідження прогинів друкарського та формного валів флексодрукарської машини ДВЛ-1800 на підприємстві ПП «Василиск». При дослідженні були

виявлені наступні величини прогинів ФЦ та ДЦ, які представлені у табл. 3.5.показники:

Таблиця 3.4

Деформації формного та друкарського циліндрів.

P, МПа	**0,2**	**0,4**	**0,6**	**0,8**
$\mathbf{f_{Ф.Ц.}}$**,** ***мм***	0,0057	0,0114	0,0172	0,022
$\mathbf{f_{Д.Ц.}}$**,** ***мм***	0,045	0,091	0,136	0,181

Таблиця 3.5

Деформації при заданому тиску

P, МПа	**0,2**	**0,4**	**0,6**	**0,8**
$\mathbf{f_{Ф.Ц.}}$**,** ***мм***	0,0051	0,0111	0,0176	0,0228
$\mathbf{f_{Д.Ц.}}$**,** ***мм***	0,048	0,094	0,140	0,184

3.6.2.8. Жорсткість підшипникових вузлів.

Жорсткість підшипникового вузла визначається в основному жорсткістю самого підшипника: величинами радіального зазору, осевою грою чи попереднім натягом.

Радіальна жорсткість підшипника,мкм визначаємо за формулою:

$$J_{r_n} = \frac{F_r}{\delta_r}$$

де F_r – радіальне навантаження на опору, Н;

δ_r – радіальна піддатливість (деформація) підшипника під навантаженням, мкм.

$$\delta_r = \delta_r^{'} + \delta_r^{''}$$

де δ'_r – радіальна піддатливість у контакті найбільш навантаженого тіла кочення з доріжкою кочення, мкм;

$$\delta_r^{'} = \beta\delta_{\text{o}}$$

δ_{ro} – радіальна піддатливість у контакті найбільш навантаженого тіла кочення з доріжкою кочення при нульовому зазорі залежить від типу підшипника, мкм;

β – коефіцієнт, який враховує величину натягу чи зазору у підшипнику. Приймаємо його рівним 1.

δ_r" – радіальна піддатливість у контакті кілець підшипника з посадочними поверхнями вала та корпуса, мкм.

Q – радіальне навантаження, яке сприймає найбільш навантажене тіло кочення,

$$Q = \frac{5F_r}{iz\cos\alpha}, H;$$

α – кут контакту, град;

i - кількість рядів тіл кочення;

z - кількість тіл кочення в одному ряді;

k – 0,002мм^3/кгс

P – радіальне навантаження на опору;

d, D,B – Відповідно внутрішній, зовнішній діаметри підшипника та ширина, мм.

$D_т$, l – відповідно діаметр та довжина тіл кочення.

Визначення жорсткості підшипників:

Опора з натягом (підш. №7213):

$$Q = 112,5\ Кгс$$

$$\delta_0 = \frac{6,0\times10^{-4}}{\cos\alpha}\times\frac{Q^{0,9}}{l^{0,8}} = 0,025\ мкм,$$

$$\delta_r^{'} = \beta\delta_0 = 0,025\ мкм$$

$$\delta_r^{"} = \frac{4Pk}{\pi dB}(1+\frac{d}{D}) = 17,6\ мкм$$

$$\delta_r = 0,025+17,6 = 17,625\ мкм$$

Отже, маємо:

$$J_{r_n} = 0,039\ H/мм$$

Опора з зазором (підш. №3513):

$$Q = 69,55\ Кгс$$

$$\delta_0 = \frac{1,2\times10^{-3}}{\cos\alpha}\times\frac{\sqrt[4]{Q^3}}{\sqrt{l}} = 0,0098\ мкм,$$

$$\delta_r^{'} = \beta\delta_0 = 0,0098\ мкм$$

$$\delta_r^{''} = \frac{4Pk}{\pi dB}(1+\frac{d}{D}) = 12,09\ мкм$$

$$\delta_r = 0,0098+12,9 = 12,099\ мкм$$

Отже, маємо: $J_{r_n} = 0,043\ Н/мм$

Опора з натягом (підш. №80210):

$Q = 192,9\ Кгс$

$$\delta_0 = \frac{1,2\times10^{-3}}{\cos\alpha}\times\frac{\sqrt[4]{Q^3}}{\sqrt{l}} = 0,0286\ мкм,$$

$$\delta_r^{'} = \beta\delta_0 = 0,0286\ мкм$$

$$\delta_r^{''} = \frac{4Pk}{\pi dB}(1+\frac{d}{D}) = 30,3\ мкм$$

$$\delta_r = 0,0286+30,3 = 30,33\ мкм$$

Отже, маємо: $J_{r_n} = 0,025\ Н/мм$

Опора з зазором (підш. №80210):

$Q = 172,2\ Кгс$

$$\delta_0 = \frac{1,2\times10^{-3}}{\cos\alpha}\times\frac{\sqrt[4]{Q^3}}{\sqrt{l}} = 0,0265\ мкм,$$

$$\delta_r^{'} = \beta\delta_0 = 0,0265\ мкм$$

$$\delta_r^{''} = \frac{4Pk}{\pi dB}(1+\frac{d}{D}) = 27,04\ мкм$$

$$\delta_r = 0,0265+27,04 = 27,07\ мкм$$

Отже, маємо: $J_{r_n} = 0,025\ Н/мм$

3.7. Типові дефекти при флексографічному друці на ГК як діагностичні параметри і ознаки.

Друк на ГК має чимало особливостей, які зумовлені відповідністю вимог до якості і складовими технологічного процесу, а також конструкцією і

технічним станом ДА. У флексографії актуальна концепція: машина – друкар – матеріал. Тому у флексодруці має місце значно більше дефектів, ніж в інших способах друку. Зараз проводяться роботи по стандартизації вимог до якості відбитку, можливих дефектів і причин їх виникнення. Для цього проводять тестування – друк на тестових формах в умовах виробничого процесу, який буде відповідати виготовленню конкретного тиражу. На тестових формах розташовані спеціальні елементи. Виміряні за допомогою цих елементів дефекти і параметри друку розподіляють на три основні групи:

– дефекти до друкарської підготовки;
– дефекти внаслідок технічного рівня і технічного стану ФДМ;
– параметри для коригування передачі кольору.

Розглянемо можливі дефекти, які зумовлені технічним рівнем і станом ДА ФДМ, пружними властивостями ФПДФ і ГК та їх шорсткістю.

1). При друці на ГК часто виникає проблема ефекту «пральної дошки». Він виникає через нерівну поверхню ГК, нерівномірний шар фарби. Причиною цього є структура ГК, який виготовляють мінімум з двох плоских шарів та одного гофрованого між ними (рис.3.27).

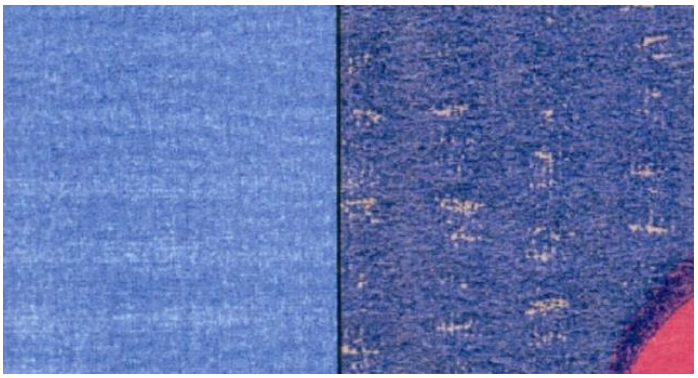


Рис.3.27. *Ефект «пральної дошки».*

Дефекту можна уникнути, якщо зменшувати тиск, за рахунок зміни подачі фарби і її в’язкості, використовувати більш м’які форми. При цьому можливе погіршення якості друку штрихових та растрових елементів.

2). Полошення – на відбитку у напрямку друку чергуються світлі та темні полоси (рис.3.28). Причина – биття формного валу, косозубі колеса приводу

формного та АВ виготовлені з похибкою колового кроку, пошкоджені бічні сторони зубців цих коліс. Для визначення причин діагностують друкарський апарат та його привід. Потім проводять відповідний ремонт чи заміну.

Рис.3.28. *Полошення.*

3). Нерівномірний накат фарби – по ширині заготовки відбиток не має однакову щільність (рис.3.29). Причина – поганий стан анілоксових та дукторних валів, ФЦ та АВ виставлені з перекосом, нерівномірний притиск листа ГК до форми через неправильне виставлення ДА. Методика усунення аналогічна п.п.2.

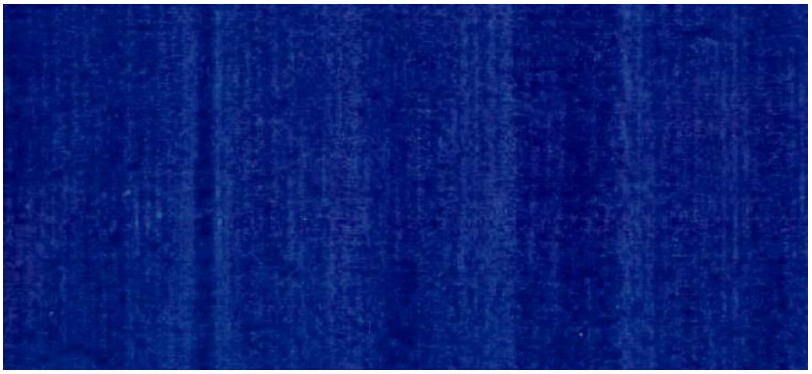


Рис.3.29. *Нерівномірний накат фарби.*

Розтискування – збільшення площі друкарського елемента (рис.3.30). За рахунок цього погіршується якість зображення – підсилюється насиченість тонів. Причина – великий друкарський тиск, або дуже м’яка форма.

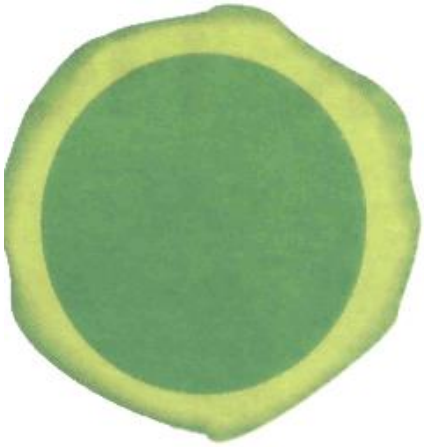


Рис.3.30. *Явище розтискування.*

Аналіз параметрів якості відбитків і причин типових дефектів при друці повинні допомогти систематизувати технічні вимоги до друкарського апарату і виявити ті його елементи, що суттєво впливають на них.

3.8. Систематизація факторів впливу складових ТП на якість і дефекти при друці.

Огляд сучасного устаткування для ФД на ГК, аналіз схем конструкції ДА, їх приводу і складових частин дозволили розробити систематизацію факторів впливу характеристик і параметрів ДА на якість друку і типових явищ, що супроводжують друк.

Розглянемо деякі елементи конструкції ДА та вимоги до них.

Важливим елементом фарбових систем є анілоксовий вал. Він повинен бути дуже жорстким на згин, мати найбільший можливий діаметр і високу радіальну точність порідка 0,01мм. Його опори у більшості випадків робляться на сферичних підшипниках кочення [25].

ФЦ повинні мати високу радіальну точність, биття його поверхні не повинно перевищувати 0,01-0,03мм. ФЦ встановлюють у високоточних роликових підшипниках з забезпеченням відсутності осьових зазорів. На відміну від ФДМ для плівки підшипникові опори стаціонарно монтуються у стінках остову друкарської секції.

В сучасних машинах биття друкарського циліндру складає приблизно 0,01-0,03 *мм*, а сам він встановлюється у підшипниках кочення. Поверхня циліндра оброблюється тонким шліфуванням і хромується.

Враховуючи особливості технологічного процесу флексографічного способу друку на ГК і конструкції ДА комплексними характеристиками ДА прийняті:

- точність і жорсткість конструкції складових частин, в які увійшли ГК, ФДФ і монтажної стрічки, що мають функцію декеля;
- точність приводу ДА і друкарської секції;
- функціональні операції по налагодженню ДА, що обумовлюють якісну роботу ДА.

Для кожного комплексу характеристик проведена деталізація їх складових, що впливають на механіку і роботу ДА і, як наслідок, на якість друку. В процесі друкування вплив характеристик ДА виявляється через типові явища, які мають місце у зоні друкарського контакту.

Результатами впливу схеми і характеристик ДА і явищ, які виникають, є

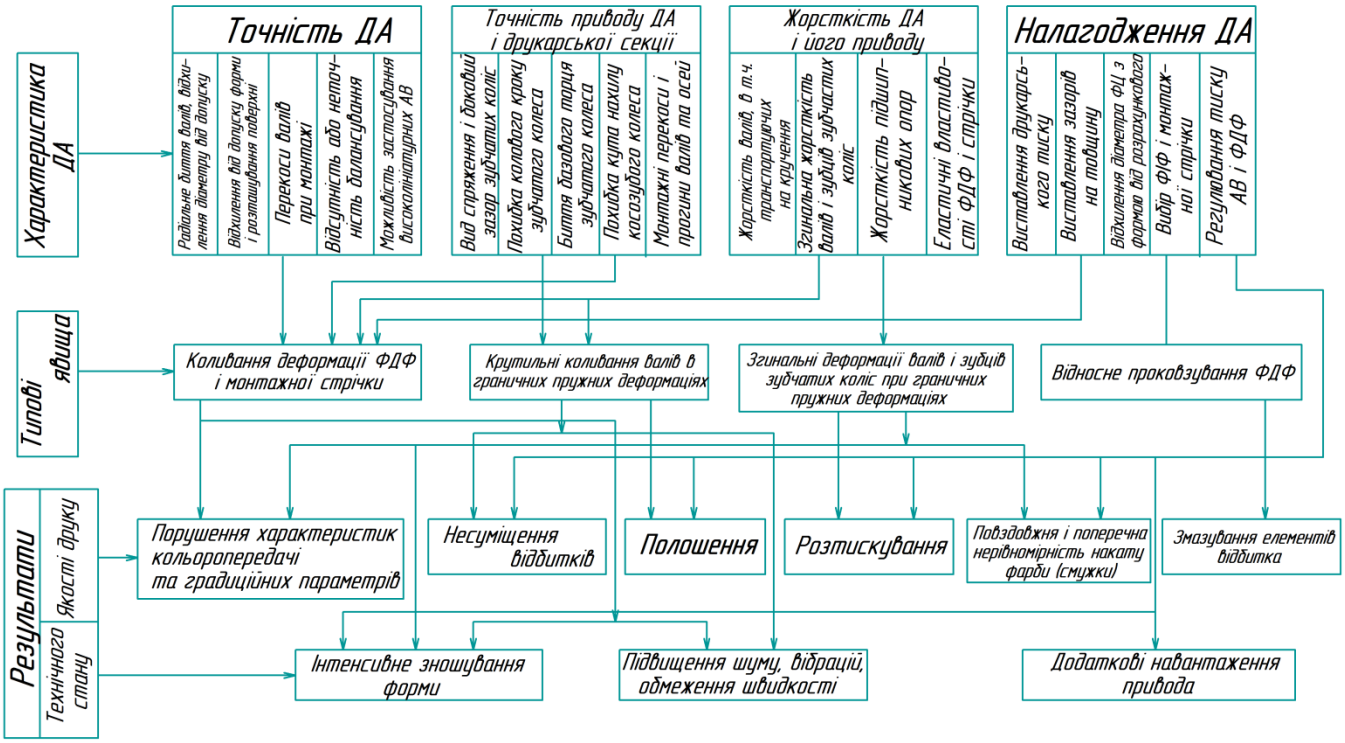


Рис.3.31. *Систематизація факторів впливу складових конструкції ДА на якість продукції.*

якість друку і зміни технічного стану. Беручи до уваги всі данні, був розглянутий вплив на якість характеристик ДА. Між характеристиками, типовими явищами та їх наслідками (результати друку і змін ТС) існує взаємозв'язок, який був виявлений в процесі систематизації і представлений на рис.3.31.

3.9. Висновки по розділу.

Проведено аналіз жорсткості конструкції ДА на прикладі лінії ДВЛ-1800. Були складені розрахункові схеми і визначені кількісні навантаження для розрахунку пружних деформацій ФЦ, ДЦ та підшипникових вузлів.

Розрахунки пружних деформацій ФЦ та ДЦ проведені за допомогою удосконаленої методики проф. Н.Н. Серпіонова.

Базуючись на проведених дослідженнях, а також враховуючи експериментальні дані, отримані на ПП «Василиск», при розрахунках ДА обрано методику, в результаті якої встановлено:

- сумарна величина пружних деформацій машини ДВЛ-1800 повинна враховувати деформацію підшипникових вузлів, ДЦ, ФЦ. Деформації, в діапазоні $P_{тех}$ = 0,2 - 0,8 *МПа* відповідно приймають значення 0,0048 - 0,182 *мм*.
- у системі ФЦ та ДЦ найбільш сильну деформацію мають вісі циліндрів. Порівняно з їх прогином, прогин поверхні циліндра складає приблизно 10% для ФЦ та 1% для ДЦ;
- найбільше пружні деформації в ДА зумовлені деформаціями ДЦ. Вони складають 70 – 80% від сумарного прогину.

Таблиця 3.6

Значення прогинів елементів конструкції ДА

P, МПа	**0,2**	**0,4**	**0,6**	**0,8**
$f_{ФЦ}$, *мм*	0,0057	0,0114	0,0172	0,022
$f_{ДЦ}$, *мм*	0,045	0,091	0,136	0,181

$f_{підш.}$, *мм*	0,004	0,008	0,013	0,017
$f_{сум.}$, *мм*	0,0547	0,1104	0,1662	0,22

– в залежності від геометричних параметрів ДА, значення найбільшого прогину варіюється в межах 0,021 *мм* до 0,17 *мм* (для формного) та 0,154 *мм* до 0,93 *мм* (для друкарського).

Отримані дані (табл.3.6) дозволяють отримати наглядну оцінку (рис.3.32) поведінки елементів ДА у процесі друку, а також вплив характеристик на якість вихідної продукції.

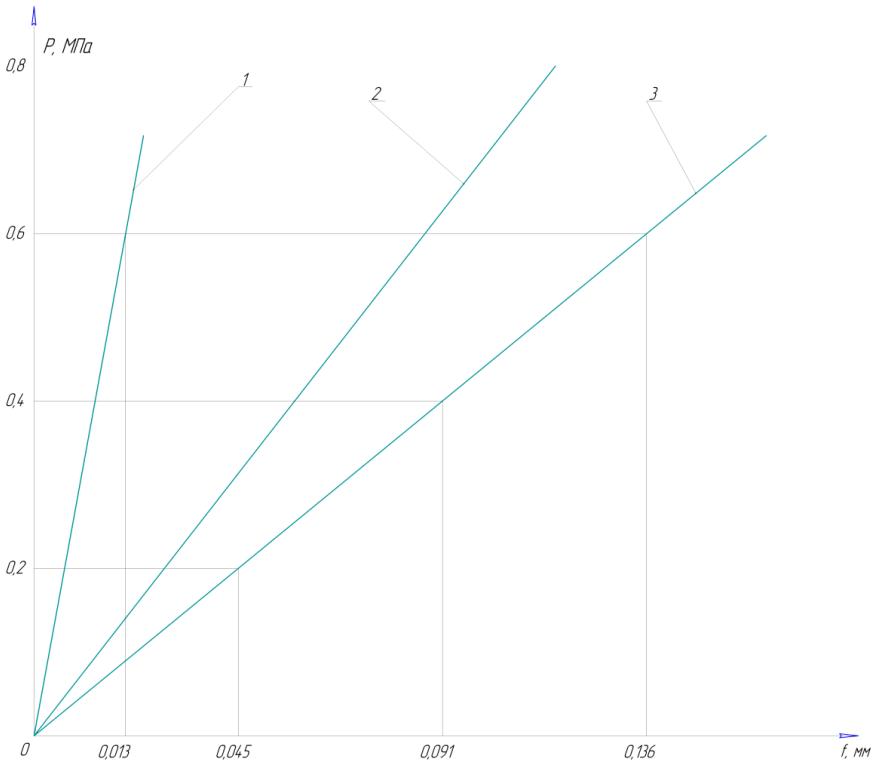


Рис.3.32. *Прогини складових частин ДА.*
1 – підшипникові вузли; 2 – ФЦ, 3 – ДЦ.

На основі теоретико-експериментальних досліджень був створений автоматизований програмний комплекс для аналітичного розрахунку прогину формного та друкарського циліндрів (рис. 5), а отримані дані перевірені експериментально на удосконаленій друкарській флексографічній машині за допомогою комплексної тензометрії.

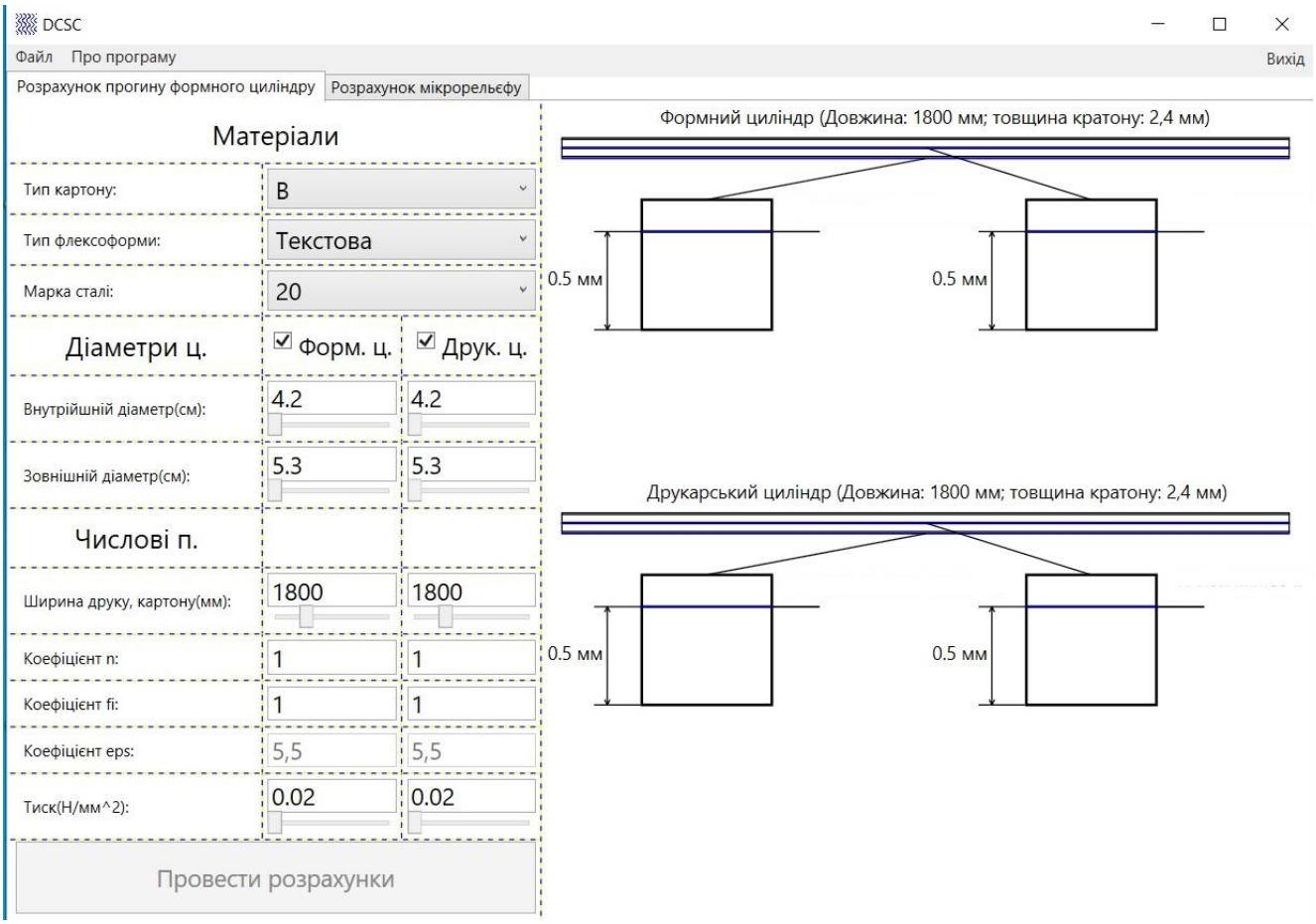


Рис.3.33. *Програмний комплекс для аналітичного розрахунку прогинів формного і друкарського циліндрів друкарського апарату флексографічних аркушевих машин.*

Розглянуті техніко-експлуатаційні властивості ДА флексографічних машин. Проведено розрахунок жорсткості ДА, визначено кількісну характеристику прогинів елементів конструкції ДА. Були показані типові дефекти, що виникають в процесі друку та систематизовані фактори впливу складових конструкції ДА на якість вихідної продукції.

РОЗДІЛ 4
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.

4.1. Дослідження деформацій ГК при площинному стиску.

Вибір методики проведення експерименту.

Методи випробувань регламентовані ГОСТами та нормативами ISO. У табл. 4.1 наведено перелік методів, які використовуються при випробуваннях ГК.

До механічних властивостей ГК, які найбільш суттєво впливають на технологічні навантаження і якість друку відносимо опір площинному стиску, тому даний розділ присвячений дослідженню жорсткості ГК при певних навантаженнях.

Суть методу полягає у прикладенні руйнівного зусилля при стиску, направленого перпендикулярно площині зразка (рис. 4.1).

Таблиця 4.1

Перелік стандартів на методи для випробувань ГК

Найменування показника	Методи випробувань					
	ГОСТ	ISO	TAPPI	DIN	SCAN	FEFCO
Кондиціонування зразків	13523-78	187:1990	T402	50011		
Відбір проб зразків	8047-2001	186:1985				№1
Фізико – механічні показники						
Маса 1м^2				53104		№2, №10
Товщина	22186-93	3034:1975	T411	53105	P47	№3
Опір продавлюванню	13525.8-86	2759:1975	T807, T810	53141	P25	№4I
Опір торцевому стиску вздовж гофрів (ECT)	20683-97	3037:1994	T811	53149	P33	№8
Вологість	13525.19-91	287:1985	T412	53103	P4	
Опір площинному стиску (FST)	20.681-75	3035	T808	53144	P32	№6

Планування експерименту.

Процес експерименту регламентується ГОСТом 20681-75 [41].

Мета: визначення деформації ГК при навантаженні по схемі площинного стиску (рис.4.1).

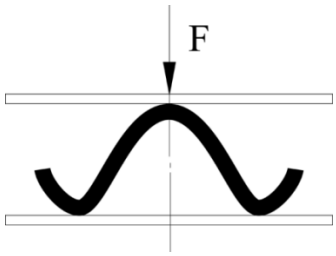


Рис.4.1. *Схема навантажень при випробуванні зразка на опір площинному стиску.*

Обладнання та матеріали: експериментальна установка для визначення жорсткості гофрокартону, пристрій для нарізання зразків, штангенциркуль, мікрометр, папір шліфувальний, зразки гофрокартону різних виробників.

Підготовка до експерименту.

1. Відбір проб проводимо за ГОСТом 8047-2001 [15].

2. З пачки вибираємо 10 аркушів ГК для випробування та з кожного вирізаємо зразки квадратної форми площею не менше 25 $см^2$. Якщо зусилля руйнування при стисненні вище верхньої межі діапазону вимірювання використовуваної установки, допускається використання зразків площею 15 $см^2$.

3. Кондиціювання зразків проводимо за ГОСТом 13523-78 [16].

4. Допустиме відхилення розмірів квадратних чи круглих зразків не повинно перевищувати ±0,5 *мм*.

5. Площа зрізу повинна бути перпендикулярна площі зразка, краї повинні бути чистими, рівними та без пошкоджень. Зразки із зім’ятим гофрованим шаром відбраковуються. На поверхні зразків не повинно бути вм’ятин, згинів та інших дефектів, які можуть впливати на результати вимірювань.

6. На зрізі, профіль гофрів повинен бути симетричним, як зображено на рис.4.1.

7. Навантаження повинно проводитися приблизно до статичних умов– поступове дискретне навантаження з інтервалом 5 – 10 *с*. Це дозволить виявити характер руйнування ГК.

8. Вимірювання деформації повинно проводитися з точністю до 0,01 *мм*.

9. Кожний зразок проходить один цикл навантажень один раз, оскільки при повторних навантаженнях значення деформацій можуть бути різними.

10. Після кожного дослідження повинна перевірятися залишкова деформація при поступовому зніманні тягарців.

11. Експериментальна установка повинна мати наступні характеристики:

- пристрій повинен мати дві взаємно паралельні плити та вимірювальні інструменти для зняття показань;
- робочі поверхні плит повинні бути плоскими та паралельними один одному, відхилення від паралельності між поверхнями не повинно перевищувати 0,05 *мм* на довжині 100 *мм*;
- розміри плит не повинні бути меншими, ніж 100 х 100 *мм* та повинні перевищувати розміри зразків;

Проведення експерименту.

При визначенні параметрів друкарського процесу необхідно знати величину деформації ГК, яка виникає при навантаженні. У зв'язку з тим, що ми можемо отримати лише руйнівне зусилля, було прийнято рішення про проведення перевірки за допомогою установки, що показана на рис.4.2. Схема проведення вимірювань повторює вимоги по методиці [29,30]. Опорна плита 1 встановлюється на масивну контрольну плиту. У плиту 1 запресовані чотири напрямних штоки 3. Верхня плита 4 має класні отвори, завдяки яким може переміщатися по штоках.

Це забезпечить її стійкість при навантаженнях тягарцями 5. Зразок ГК встановлюється на плиту 1 нижнім лайнером. Верхня плита 4 повільно опускається і вручну плавно навантажується тягарцями 5 в умовах близьких до статичних. Для визначення деформації ГК застосовувалися індикатори часового типу з ціною поділки 0,01 *мм* та мікрометр з ціною поділки 0,01 *мм*. При встановленні індикатора у робоче положення між його ніжкою 7 та плитою створювався натяг за допомогою важільної стійки 8.

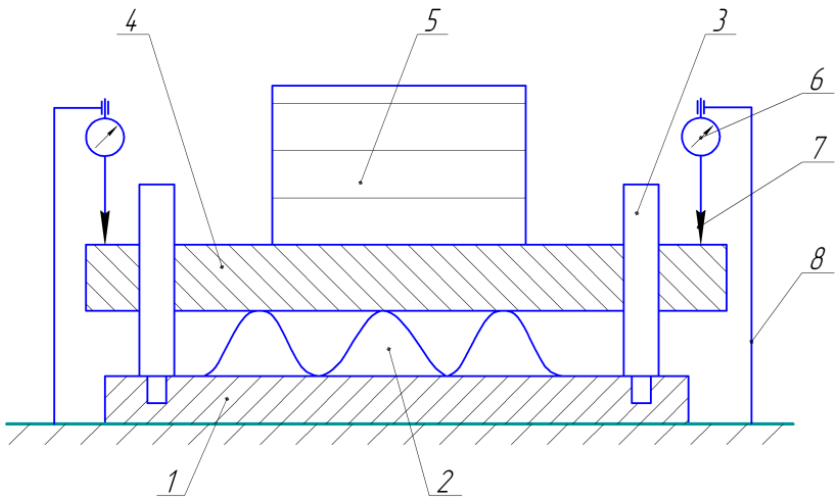


Рис.4.2. *Схема експериментальної установки*
1- плита; 2 – ГК; 3 – шток; 4 – верхня плита; 5- тягарі; 6 – індикатор часового типу; 7 – ніжка індикатора; 8 – важільна стійка.

Обробка результатів експерименту.

Для кожного зразка були складені таблиці значень: площа зразка – величина тягарця в *кг* – сила навантаження, *Н* – абсолютна деформація, *мм* – відносна деформація, *%* ».

Значення сили навантаження (питомого тиску) визначали за формулою:

$$p = \frac{F}{S}, [МПа]$$

де *F* – навантаження, яке виникає під дією тягарців, *Н;*

S – площа зразка в $мм^2$.

Вимірювання сторін зразку проводилося штангенциркулем з ціною поділки 0,1 *мм*.

Заміри товщини деформованого ГК проводилися за допомогою індикаторів годинникового типу.

По значенню «р» та відповідним деформаціям f будувались діаграми стиску – залежності p=f(t) (рис.4.3).

Відповідно до ГОСТ 20682 [19] результати вимірювань записувались таким чином:

– питомий тиск з точністю до 0,001 *МПа* (така точність дає можливість отримати більш точну схему поведінки ГК при навантаженні);

– деформація з точністю до 0,01 *мм*.

Для кожного типу ГК проводили випробування 10 – ти зразків. Запис деформацій проводився при кожному збільшенні навантажень – 10 вимірів (див. додаток 1).

Аналіз результатів експериментальних досліджень.

Умови проведення експерименту дозволили проводити навантаження тягарцями сумарною масою до 100 *кг*, що дозволило отримати зусилля до 0,35 *МПа* та отримати відповідні залежності деформації ГК. При цьому похибка складала не більше 4%.

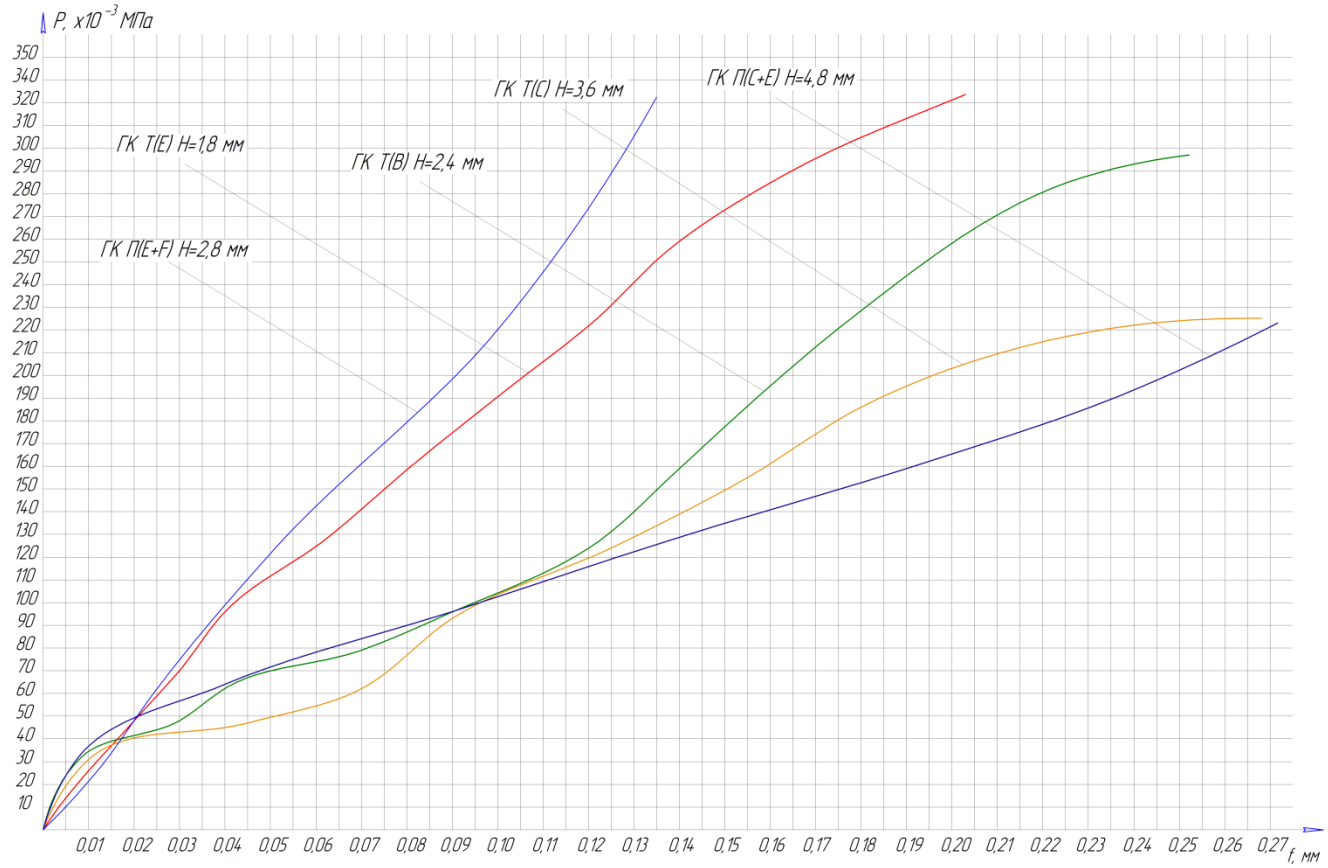


Рис.4.3. *Діаграми стиску ГК*

Всередині однієї партії зразків мали місце різні значення деформацій для одного значення тиску стиску, тому оцінку проводили для діапазону значень, які були усереднені (взято середнє арифметичне) для кожного зусилля (див. дод.1).

Діапазон стиску в залежності від типу та параметрів ГК (параметри гофрів та товщина лайнера) представлені на рис 4.6 та арк. 11.

Крива 1 характеризує залежність $p=f(f_{ГК})$, граничних значень мікрогофрокартону типу *E*; крива 2 характеризує трьохшарового ГК типу *B* (*H*=2,4 *мм*); крива 3 також характеризує трьохшаровий ГК, але типу *C* (*H*=3,6 *мм*); крива 4 характеризує п'ятишаровий ГК типу *B+E* (*H*=3,8 *мм*), а крива 5 характеризує п'ятишаровий ГК типу *C+E* (*H*=4,8 *мм*).

Кількісна оцінка деформацій.

Дані абсолютної та відносної деформації стиску товщини ГК та відповідні навантаження, що діяли на них при площинному стиску p = 0,03 – 0,28 *МПа* в залежності від типу та параметрів ГК занесені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Деформація ГК типу E, H=1,8 мм

Питомий тиск, *p=F/S, Mпа*	**Висота деформованого зразка, *h, мм***	**Абсолютна деформація, *f, мм***	**Відносна деформація, ε, %**
0,032	1,80	0,00	0,00%
0,048	1,78	0,02	1,11%
0,064	1,77	0,03	1,67%
0,096	1,76	0,04	2,22%
0,128	1,74	0,062	3,44%
0,161	1,72	0,081	4,50%
0,193	1,70	0,101	5,61%
0,225	1,68	0,122	6,78%
0,257	1,67	0,132	7,33%
0,289	1,64	0,164	9,11%

Решту значень див. у додатку 1.

Залишкова деформація при поступовому зніманні тягарців та в залежності від часу знаходилася у діапазоні 0,01 - 0,05 *мм*.

Якісна оцінка деформації ГК

Структура ГК містить лайнер та флютінг, конструкція яких при площинному стиску деформується по різному. Діаграми стиску (рис. 4.3) мають нелінійний характер.

Лайнер може розглядатися як плоский аркуш. Дослідження його деформацій при площинному стиску проведені у працях [28]. Згідно з цим положенням залежність між питомим тиском та деформацією має нелінійний характер та визначається по формулі:

$$\sigma = E_{ум} \times \varepsilon^{n},$$

де $E_{ум}$ – умовний модуль пружності, який враховує пружні деформації та пластичні властивості матеріалу;

ε – відносна деформація зразка;

n – показник, який характеризує кривизну графіка.

У нашому випадку лайнер, як плоский аркуш, знаходиться на вершинах гофрів (рис.4.4). При цьому мають місце суттєві впадини, величиною Δ. Це підтверджується ефектом «пральної дошки» при друкуванні відбитка, якого досить часто неможливо позбутися тільки за рахунок збільшення тиску.

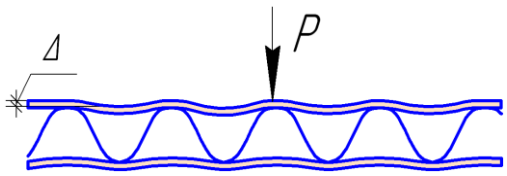


Рис.4.4. *Розташування лайнера на вершинах хвиль*

При навантаженні ці зони деформуються та працюють за схемою пружини, що підтверджується відсутністю залишкових деформацій при малих тисках.

Для ГК типу П та Т з малим та дрібним гофрам по досягненню цієї деформації наступає діапазон тисків, при яких ГК веде себе практично як жорсткий матеріал. Цьому відповідають ділянки кривих, на яких збільшення навантаження не призводить до різкого збільшення значення абсолютної деформації. (рис.4.3).

Збільшуючи навантаження, починають зростати деформації, що пояснюється вже ущільненням флютінгу (рис.4.5).

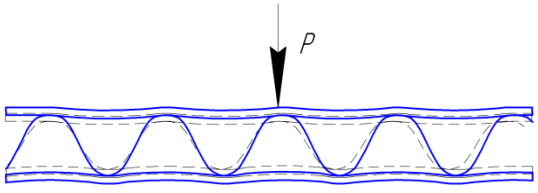


Рис.4.5. *Схема деформації ГК*

Конструкція флютінга представляє собою конструкцію ферми, яка складається з похилих стержнів. При повздовжніх навантаженнях їх поведінка обумовлена втратою стійкості. При досягненні критичної сили, дії деформації становляться необоротними. При дослідженні спостерігались руйнування структури ГК, при яких ГК втрачав свої властивості.

Таким чином поведінку ГК при площинному стиску можна розділити на такі послідовні етапи:

- зміна шорсткості поверхні лайнера за рахунок невеликих навантажень;
- ущільнення та деформація ділянок лайнерів, які знаходяться на вершинах хвиль флютінгу;
- ущільнення конструкції флютінгу, що зменшує ріст деформацій;
- деформація гофрошару, часткова деформація та ущільнення ділянок лайнера, які розташовані між впадинами гофрошару;
- критичний стан конструкції, поступове руйнування елементів ГК;
- зміна фізико-механічних властивостей елементів ГК, суттєва руйнація конструкції ГК.

Явище повзучості при руйнуванні ГК

При проведенні досліджень було виявлено таке явище, як повзучість (при сталому тиску спостерігається поступове зростання деформацій з часом, що пояснюється зміною профілю гофру(рис.4.6) під дією тривалого навантаження). Таке явище може виникати під дією різноманітних факторів: від складу первинної сировини для виготовлення ГК до фізико-хімічних властивостей клейової основи.

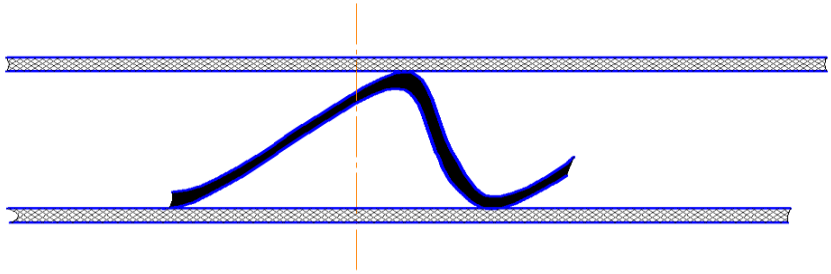


Рис.4.6. *Явище повзучості ГК.*

Це явище було помічене на типах гофрокартону С та С+Е, де кількість хвиль гофрошару на погонний метр незначна.

Висновки

1. ГК має складну структуру, складові частини якого по різному деформуються при площинному стиску.
2. Велике значення на якість ГК та опір його до площинного стиску мають технологія виготовлення та первинна сировина.
3. Залежність діаграм площинного стиску питомий тиск – деформація ($p = f(f_к)$) має нелінійний характер. Тому модуль пружності $Е_{ум}$ не буде сталою величиною.
4. В результаті експериментальних досліджень виявлено:
   - деформації ГК в залежності від типу і параметрів ГК в області друкарського тиску (0,05–0,3 *МПа*) знаходяться у діапазоні 0,03 – 0,2 *мм*;
   - значення деформації ГК при площинному стиску в першу чергу залежить від комплексного параметру – кількості хвиль на погонний метр та висоти гофру;
   - має місце залишкова деформація в діапазоні 0,01 – 0,03 *мм*.
5. Аналіз результатів експерименту дозволив розробити якісну картину деформацій з виокремлення етапів деформування конструкції ГК.
6. Результати досліджень дозволили умовно розділити ГК в залежності від кількості хвиль на погонний метр на більш м’який та жорсткий.
7. Склад сировини з якого вироблені лайнер і флютінг та клейова основа були враховані частково.
8. Проведені експериментальні дослідження дозволяють більш системно та ретельніше розробити методику визначення деформацій різних типів ГК на площинний стиск.

4.2. Дослідження фізико-механічних властивостей ФДФ.

До основних фізико-механічних властивостей ФПФ відносять модуль пружності, твердість за Шором, руйнівне зусилля на розтягування. При друці ФПФ і монтажна стрічка отримують деформації стиску, які визначають величину робочого технологічного зусилля. Деформація залежить від фізико-механічних властивостей пластин, з яких виготовляють форми, і режимів їх обробки. В такому контексті розглядають зміни пружних властивостей ФПФ в роботах [53–55]. В залежності від технологічних режимів обробки пластин при виготовленні ФПФ модуль пружності може змінюватись від 14 до 25 *МПа* [55].

Планування експерименту.

Процес експерименту регламентується ГОСТами 265-77 та 29089-91 [17].

Мета: визначення деформаційних властивостей флексодрукарської форми під дією навантаження, залежність кількісної деформації від прикладеного зусилля.

Обладнання та матеріали: експериментальна установка для визначення жорсткості ФДФ, ніж для нарізання зразків, штангенциркуль, мікрометр, зразки різних ФДФ.

Підготовка до експерименту.

1. Відбір проб проводимо за ГОСТом 29089-91.

2. З проекспонованих форм, що не були у вжитку вибираємо 3 зразка з різними поверхневими елементами (плашка, растр та штрихові елементи, текст) для випробування та з кожного вирізаємо зразки квадратної форми площею не менше 25 $см^2$. Якщо зусилля руйнування при стисненні вище верхньої межі діапазону вимірювання використовуваної установки, допускається використання зразків площею 32 $см^2$.

3. Допустиме відхилення розмірів квадратних чи круглих зразків не повинно перевищувати ±0,5 мм.

4. Площа зрізу повинна бути перпендикулярна площі зразка, краї повинні бути чистими, рівними та без пошкоджень.

5. Навантаження повинно проводитися приблизно до статичних умов– поступове дискретне навантаження з інтервалом 5 – 10 *с*. Це дозволить виявити характер руйнування ФДФ.

7. Вимірювання деформації повинно проводитися з точністю до 0,01 *мм*.

8. Кожний зразок проходить один цикл навантажень один раз, оскільки при повторних навантаженнях значення деформацій можуть бути різними.

9. При проведенні експерименту необхідно перевіряти залишкову деформацію при поступовому зніманні тягарців.

10. Експериментальна установка повинна мати наступні характеристики:

- пристрій повинен мати дві взаємно паралельні плити та вимірювальні інструменти для зняття показань;
- робочі поверхні плит повинні бути плоскими та паралельними один одному, відхилення від паралельності між поверхнями не повинно перевищувати 0,05 *мм* на довжині 100 *мм*;
- розміри плит не повинні бути меншими, ніж 100 х 100 *мм* та повинні перевищувати розміри зразків;

Проведення експерименту.

При визначенні параметрів друкарського процесу необхідно знати не тільки величину деформації ГК, яка виникає при включенні тиску, але ще і враховувати деформації, що відбуваються з ФДФ. Схема проведення вимірювань аналогічна схемі з ГК та повторює вимоги по методиці [55,56]. Опорна плита 1 встановлюється на масивну контрольну плиту. У плиту 1 запресовані чотири напрямних штоки 3. Верхня плита 4 має класні отвори, завдяки яким може переміщатися по штоках. Це забезпечить її стійкість при навантаженнях тягарцями 5. Зразок ФДФ встановлюється на плиту 1. Верхня плита 4 повільно опускається і вручну плавно навантажується тягарцями 5 в умовах близьких до статичних. Для визначення деформації ФДФ застосовувався мікрометр з ціною поділки 0,01 *мм*.

Обробка результатів експерименту

Для кожного зразка ФДФ були складені таблиці значень: площа зразка – величина тягарця в кг – сила навантаження, *Н* – абсолютна деформація, *мм* – відносна деформація, *%* ».

Значення сили навантаження (питомого тиску) визначали за формулою:

$$p = \frac{F}{S}, [МПа]$$

де *F* – навантаження, яке виникає під дією тягарців, *Н;*

S – площа зразка в $мм^2$.

Вимірювання сторін зразку проводилося штангенциркулем з ціною поділки 0,1 *мм*.

Заміри товщини деформованого ГК проводилися мікрометром з ціною поділки 0,01 *мм*.

По значенню *p* та відповідним деформаціям *f* будуємо діаграми стиску – залежності *p=f(t)* (рис.4.6, арк. 11).

Відповідно до ГОСТ 20682 [19] результати вимірювань округлялися:

– питомий тиск до 0,001 *МПа* (більш точна схема поведінки ГК);

– деформація до 0,01 *мм*.

Для кожного типу ФДФ було проведено 2 випробування та враховані середні арифметичні значення деформацій при відомих навантаженнях.

Аналіз результатів експериментальних досліджень

Умови проведення експерименту дозволили проводити навантаження тягарцями сумарною масою до 100 *кг*, що дозволило отримати зусилля до 0,49 *МПа* та отримати відповідні залежності деформації ФДФ. При цьому похибка складала не більше 4%.

Діапазон стиску в залежності від типу ФДФ (плашка, растр чи текст) представлені на рис 4.6.

Крива 1 характеризує залежність p=f($f_{ГК}$), граничних значень для ФДФ-плашки; крива 2 характеризує ФДФ-растр; крива 3 характеризує ФДФ-текст.

Кількісна оцінка деформацій.

Дані абсолютної та відносної деформації стиску товщини ФДФ та відповідні навантаження, що діяли на них при площинному стиску p = 0,02..0,05 МПа в залежності від типу ФДФ занесені у табл. 4.3.

Залишкова деформація при поступовому зніманні тягарців, в перші 15-20 *с* складала 0,01–0,02 *мм*, після – з часом все ж таки зникала.

Якісна оцінка деформації ФДФ

Структура про експонованої ФДФ багато в чому залежить від сировини, з якої виготовлена пластина та технології експонування (вид експонування, час експонування, умови). Як показує практика різні виробники регламентують різні умови процесу друку, що пов’язано з особливістю форм.

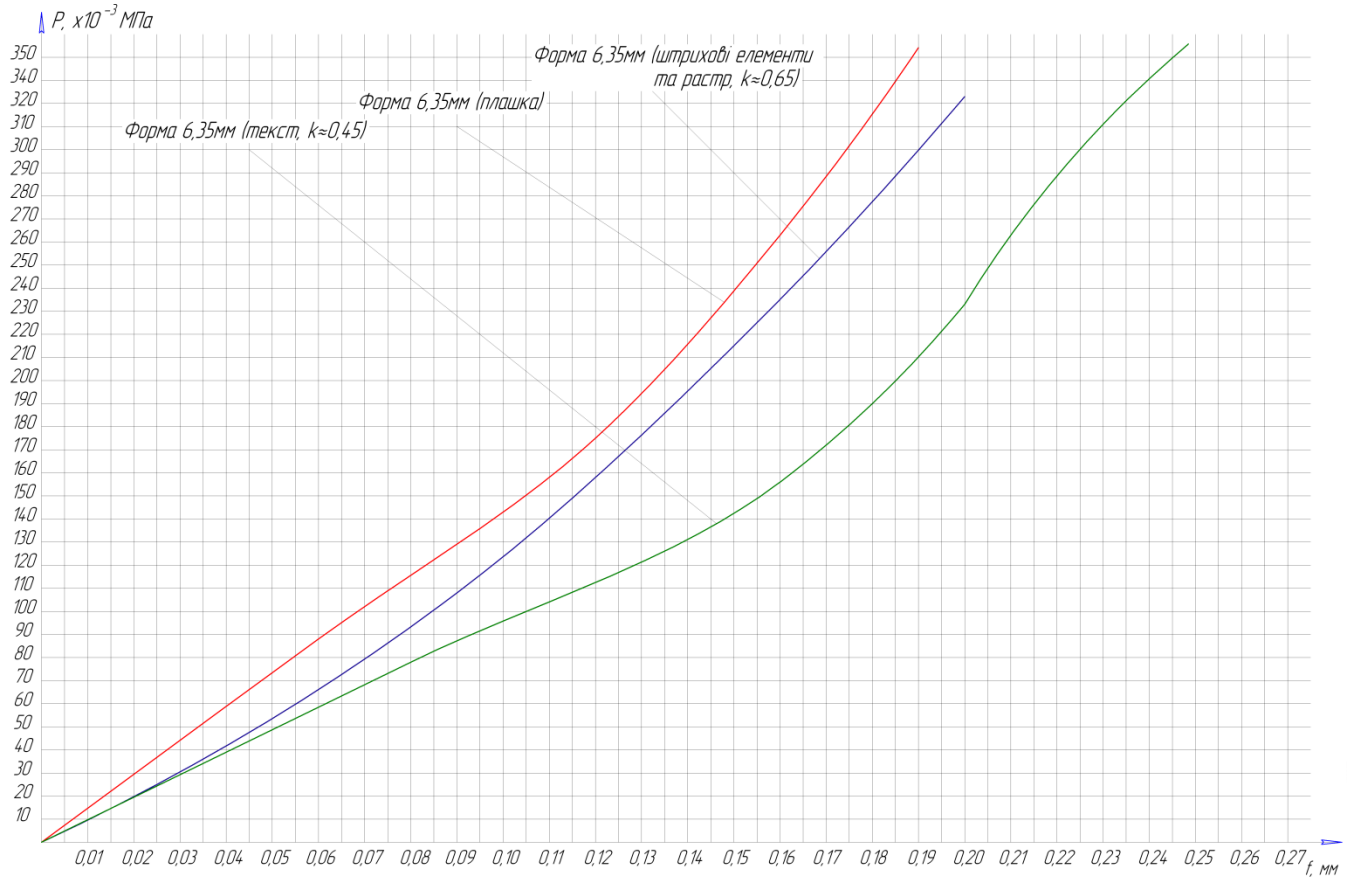


Рис.4.6. *Діаграми стиску ФДФ.*

Таблиця 4.3

H=6,35 мм, S=2240мм²							**Плашка**
№ досліду	**Площа зразка, *S, мм²***	**Вага тягарців, *m, кг***	**Навантаження, *F, Н***	**Питомий тиск, *p=F/S, Мпа***	**Висота деформованого зразка, *h, мм***	**Абсолютна деформація, *f, мм***	**Відносна деформація, *ε, %***
1	2240	20	196	0,088	6,29	0,06	0,94%
2	2240	40	392	0,175	6,23	0,12	1,89%
3	2240	60	588	0,263	6,19	0,16	2,52%
4	2240	80	784	0,350	6,16	0,19	2,99%
5	2240	100	980	0,438	6,14	0,21	3,31%

де *k*-коефіцієнт заповнення форми.

При проведенні експерименту було виявлено такі особливості деформації ФДФ:

- при малих тисках відбувається незначне стиснення верхніх шарів ФДФ, площа контакту ще мала для якісного друку (особливо помітно на ФДФ-растр);
- при поступовому збільшенні навантаження відбувається ущільнення ФДФ по всьому профілю друкарських елементів, в межах даного етапу друкар вибирає оптимальний тиск, починає проявлятися таке явище як розтискування;
- при значному навантаженні явище розтискування та інші дефекти, що пов’язані з надмірним тиском (нерівні краї тексту, нерівномірність накату та швидке зношування), проявляють більш явно. Якісний друк при таких умовах неможливий.

Висновки

1. ФДФ має досить складну структуру, що суттєво залежить від вихідних пластин та технології експонування.

2. Залежність діаграм площинного стиску питомий тиск – деформація ($p = f(f_к)$) має нелінійний характер та пояснюється полімерним матеріалом, з якого виготовлена ФДФ.

3. В результаті експериментальних досліджень виявлено:

- деформації ФДФ в залежності від типу та при тиску 0,08…0,4 *МПа* приймають значення у діапазоні 0,05 – 0,24 *мм*;
- для різних типів ФДФ (плашка, растр, текст) різні технологічно необхідні тиски;
- значення деформації ФДФ при площинному стиску в першу чергу залежить від технології виготовлення;
- ФДФ при незначних тисках веде себе як абсолютно пружне тіло;
- має місце короткочасна залишкова деформація в діапазоні 0,01 – 0,02 *мм* при навантаженнях > 0,3 МПа.

4. Отримана кількісна та якісна оцінка деформацій ФДФ.

5. Проведені експериментальні дослідження дозволяють більш системно та ретельніше розробити методику визначення деформацій різних типів ФДФ на площинний стиск.

4.3. Рекомендації щодо застосування техніко-експлуатаційних показників при флексографічному друці на гофрокартоні.

Результати роботи, отримані в розділах 1,3 та 4 дозволили проаналізувати вплив жорсткості конструкції ДА, характеристик ГК і ФПФ на абсолютні

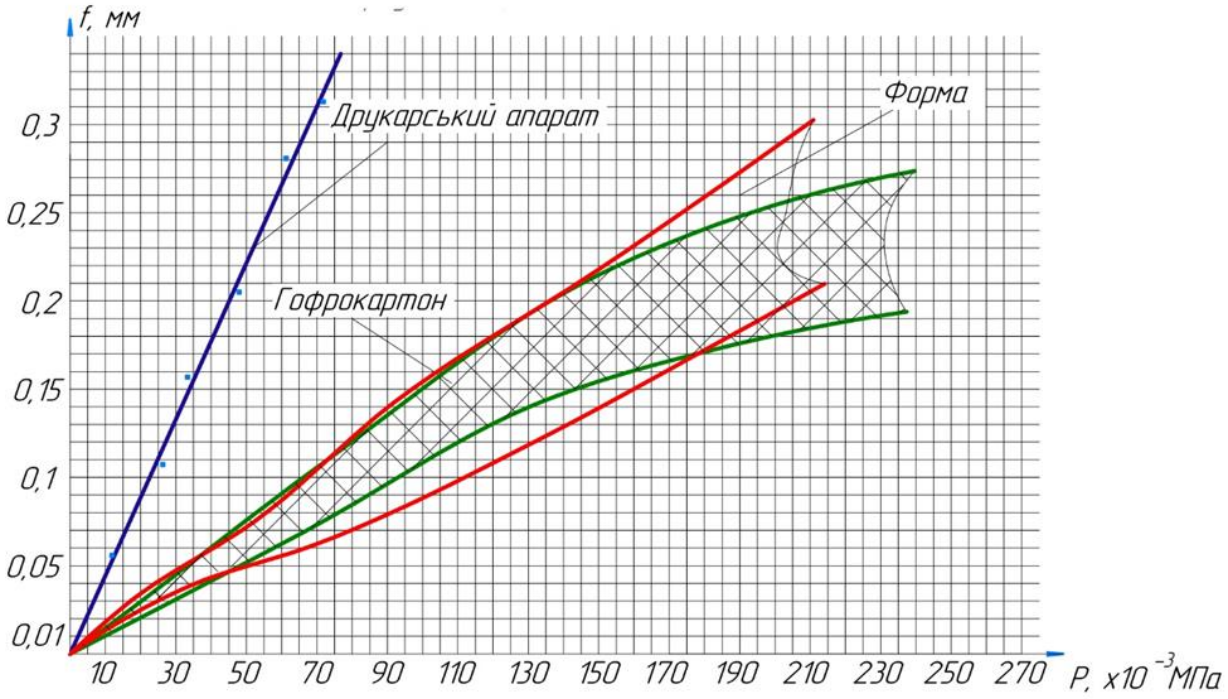


Рис.4.7. *Взаємодія складових ТП у процесі друку.*

деформації від питомих зусиль, що можуть виникати при друці.

Дотримання цих значень дозволить отримати якісний друк, вимоги до якого викладені в розділах 1 і 3. На рис.4.7 представлені значення абсолютних деформацій в залежності від питомого тиску при друці. Значення останнього в процесі друку не повинні руйнувати структуру ГК, не викликати значне розтискування і спотворення зображення і виникнення значного ефекту «пральної дошки».

Для першої групи техніко-експлуатаційних властивостей можуть бути рекомендовані наступні показники та їх значення:

1. При використанні м'якої формної системи при абсолютній деформації м'якої формної системи на 0,2 *мм* питомий тиск при друці повинен знаходитись в діапазоні від 0,24 *МПа* до 0,4 *МПа* в залежності від коефіцієнту заповнення форми (рис.4.6, розділ 4).
2. При друці плашок, штрихових елементів і растрових зображень з лініатурою 20 – 30 *л/см*, застосовуючи м'які формні системи (п.1.5, розділ 1) з урахуванням граничної абсолютної деформації ГК 7 -10 % від висоти його профілю допустимим є питомий тиск друку до ≈ 0,3 *МПа* (рис. 4.3. розділ 4):
   – для трьохшарового картону ГК з гофром С – до 0,23 *МПа*;
   – для трьохшарового картону ГК з гофром В – до 0,27 *МПа*;
   – для трьохшарового картону ГК з гофром Е – до 0,3 *МПа*.

Ці значення не потребують корегування підвищенням тиску із-за жорсткості конструкції ДА, оскільки вона вище при наведених значеннях питомого тиску: сумарна деформація знаходиться в діапазоні 0,06 – 0,075 *мм*.

3. Для п'ятишарового картону з гофрами, що наведені у розділі 1 та 4 питомий тиск буде визначатися значеннями, що характерні для більшого по висоті гофра. Про це свідчать графіки деформацій для картону П(E+F) і П(E+C).

4. Для визначення характеристик друку на мікрогофрокартоні з лініатурою 30 – 50 *л/см* необхідні додаткові дослідження деформаційних властивостей твердих формних систем.
5. Табл. 3.4 (розділ 3) та рис.5.1 можуть бути використані в якості діагностичних ознак і параметрів якості продукції, оскільки наведений взаємозв'язок явищ і причин їх виникнення.

При дослідженні проходження заготовок через транспортувальну систему було визначено, що досить великий вплив на плавність має поверхня направляючих.

Механізми вирівнювання разом із направляючими забезпечують стабільне прямокутне положення аркушів по відношенню до форми перед подачею їх у друкарську секцію. Це пов'язано з необхідністю точного співвідношення та сталості розмірів полів на відбитках, а також точного накладання фарб при друкуванні в кілька прогонів. Було проведено серію експериментів і запропоновано утворення мікронаправляючих на пласких поверхнях транспортуючої системи аркушевої флексографічної машини методом

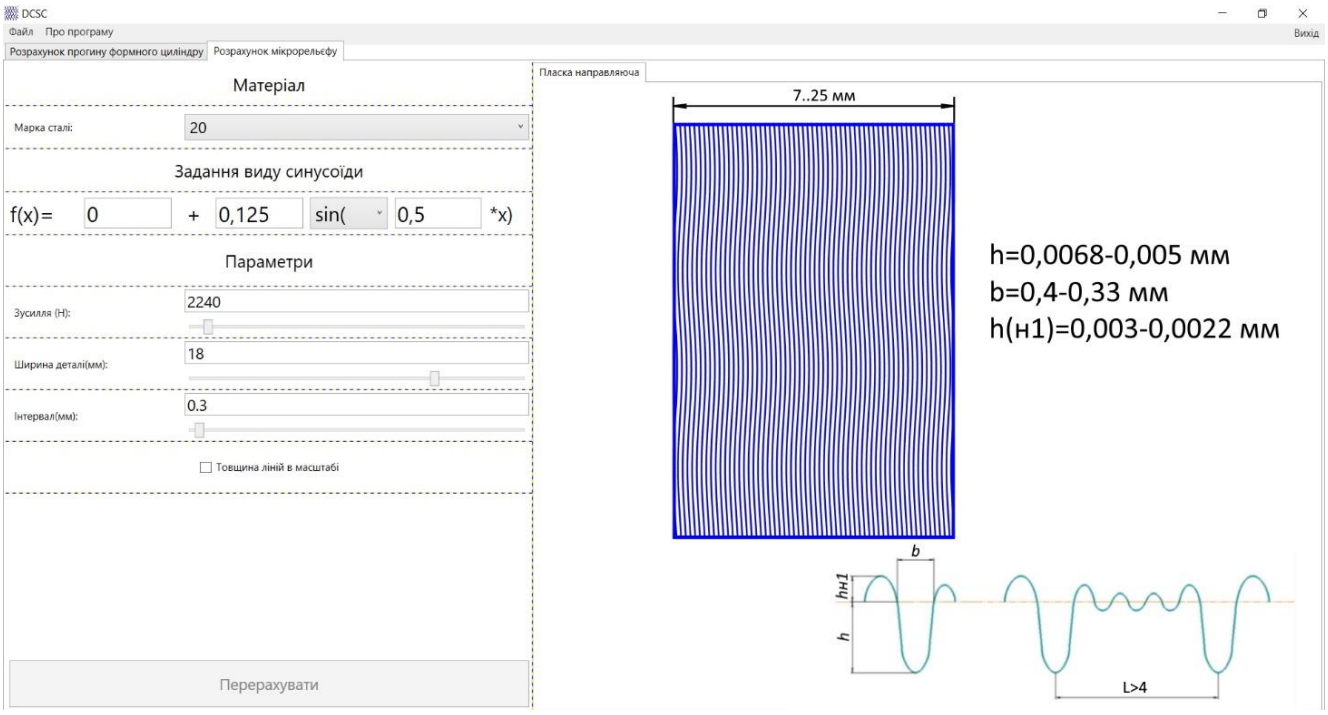


Рис.4.8. *Програмний комплекс для візуалізації профілю мікрорельєфу для направляючих флексографічних аркушевих машин.*

поверхневого пластичного деформування. Це значно покращило плавність руху і позиціювання гофрокартону при його переміщенні по направляючим флексографічного обладнання. Як наслідок – якісне відтворення необхідної інформації на поверхні задрукованої продукції.

Для цієї задачі був створений програмний комплекс на мові C Sharp, який аналітично прораховує тип синусоїди та візуалізує майбутній результат за введеними значеннями (рис. 4.8).

Залежно від вимог до твердості матеріала направляючих, собівартості механізмів подачі в якості матеріала виробів досліджувались: Ст20 (HRC 55..57), Ст20Х (HRC 58..60), Ст40 (HRC 60..63), Ст40Х (HRC 62..64), Ст65 (HRC 63..65), Ст65ХГ (HRC 65..67).

Технологічний процес утворення регулярного мікрорельєфу на пласких направляючих проводять в декілька проходів. В результаті першого проходу на поверхні крайніх направляючих утворюють прямолінійні мікронаправляючі (рис.5.2) для вказаних вище матеріалів та відповідними параметрами. В результаті виконання першого проходу утворюють пласку мікронаправляючу шириною b=0,4-0,33 мм, глибиною h=0,0068-0,005 мм, з напливами $h_{н1}$=0,003-0,0022 мм (рис.4.9).

Описати утворення мікрорельєфу пропонуємо за допомогою функції:

$$y = d + \frac{1}{8} sin \frac{1}{2} x,$$

де *x, y* – координати положення деформуючого інструмента;

d – величина зміщення від початкового положення.

На другому проході зусилля деформування зменшують і внутрішні напливи прямолінійною мікронаправляючої, крім двох крайніх, піддають пластичному деформуванню. Геометричні характеристики вказаних напливів мають параметри: hн2=0,0015-0,0012мм.

Потім на внутрішній пласкій направляючій отримують синусоїдальну мікронаправляючу з параметрами b=0,33-0,25 мм, h=0,002-0,0015 мм, $h_н$=0,001-0,0006 мм (рис.4.9). Експериментально досліджено, що оптимальною площею

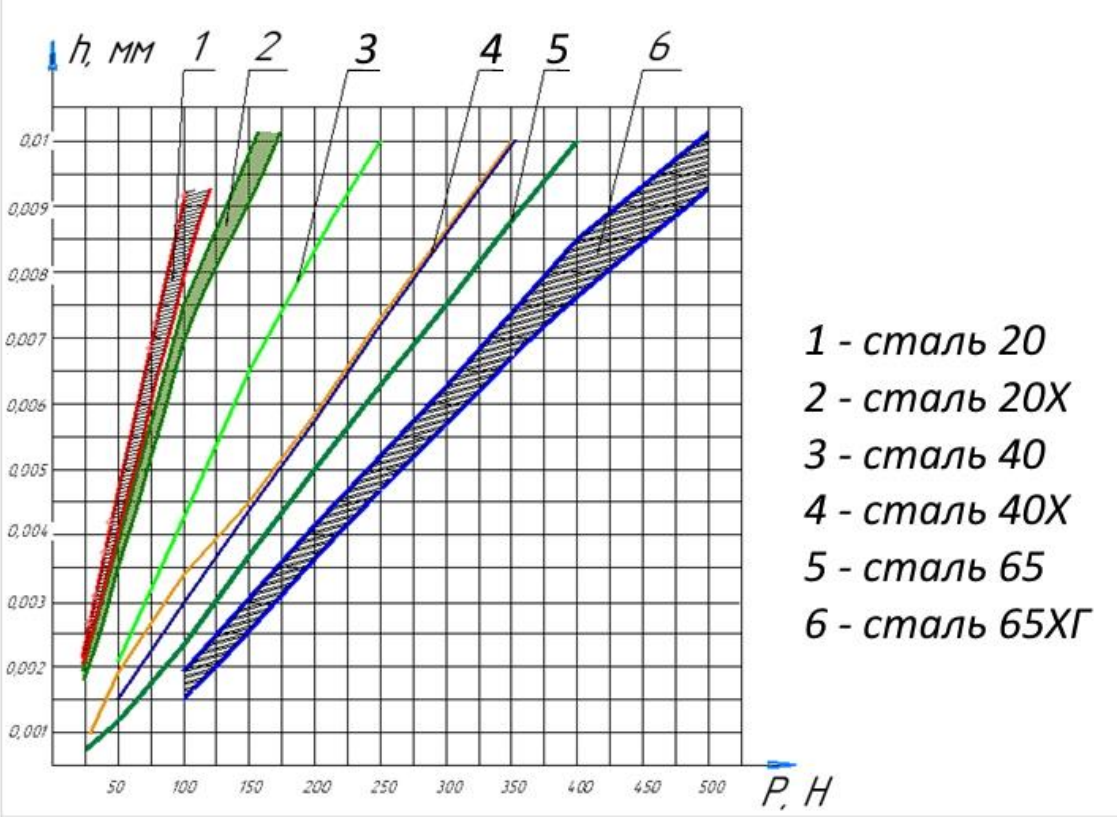


Рис.4.9. *Залежність глибини мікрорельєфу від зусилля вдавлювання при технологічній обробці поверхні направляючої.*

мікронаправляючих для крайніх внутрішньої є величина F=28..32% від загальної площі кожної з них.

Для визначення зносостійкості направляючих проводились дослідження на знос методом порівняння вагових втрат за допомогою лабораторних аналітичних ваг. Погрішність зносу маси не більше +/-0,15мг. Результати досліджень показали, що зносостійкість крайніх та внутрішньої направляючих у порівнянні з шліфованими направляючими збільшується у 1,8-2,2 разів.

Одним із важливих механізмів у флексографічній машині є також механізм задання тиску з використанням конусних поверхонь. Особливістю цього механізму є періодичність контакту зовнішньої і внутрішньої конусних поверхонь. Згідно з технічними умовами для передачі зусилля кожна з контактуючих деталей повинна максимально щільно періодично прилягати одна до одної і в той же час точно позиціонуватись в заданій позиції. Нами

запропонований технологічний процес, який складається з декількох технологічних операцій.

На першому технологічному етапі внутрішню конусну поверхню піддають поверхневому пластичному деформуванню (ППД) (рис. 4.8). Внаслідок ППД змінюються геометричні і фізико-механічні параметри поверхні і поверхневого шару. Мікрогеометрія поверхні набуває іншого значення: мікронерівності мають згладжену, закруглену форму. У зв'язку з великим радіусом закруглень вершин мікронерівностей збільшується і опорна площа поверхні.

В результаті ППД в приповерхневому шарі виникають стискуючі залишкові напруги, які підвищують експлуатаційні властивості виробу (час припрацювання, зносостійкість, щільність прилягання контактуючих поверхонь, корозійна стійкість і тощо).

На другому технологічному етапі для збільшення площі контакту і точності позиціонування конусних поверхонь і як наслідок покращення якісних показників кінематики друкарського апарата флексографічних аркушевих машин, а також якості друкованої продукції виконують дві технологічні операції. Під час першої операції на зовнішній конусній поверхні утворюють частково-регулярний мікрорельєф у вигляді синусоїди. Площа поверхні мікрорельєфної синусоїди знаходиться в межах 20-25% від площі конусної поверхні, яка відсічена.

Виходячи з конструктивної особливості конусної деталі синусоїдальну мікронаправляючу утворюють на відстані 3 мм від вершини конуса деталі. В результаті відсічена частина для утворення синусоїдальної направляючої має ~2мм. Твердість конусної деталі HRC 56..60 та 58..62.

Результати попередніх досліджень дозволяють вибрати зусилля деформування в діапазоні 100-120Н. В якості деформуючого інструмента обрано синтетичний алмазний індентор марки «карбонадо». Радіус сфери закруглення рекомендується 2,0..2,5 мм.

Результати проведених пробних досліджень сімплекс-методом дозволили задати зусилля вдавлювання P=100Н при радіусі сфери інструмента R=2мм. При зазначених зусиллях інструмента на поверхні на поверхні деталі видавили і

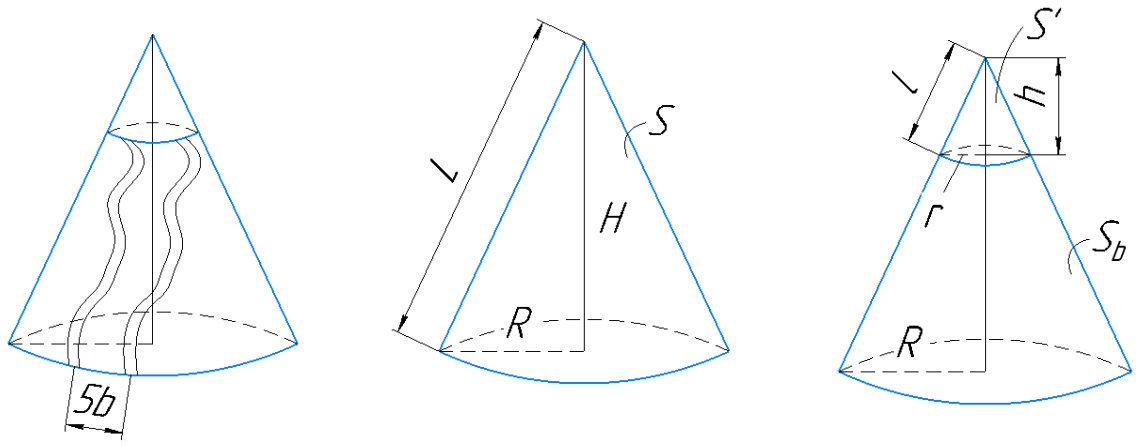


Рис.4.10. *Конусна деталь механізму тиску з мікрорельєфом.*

утворили сінусоїдальну мікронаправляючу з параметрами: ширина канавки синусоїди—0,2мм, глибина канавки синусоїди—0,001мм, висота напливів канавки синусоїди—0,0003мм.

На другій операції зовнішню конусну поверхню деталі (рис. 4.10) піддають вигладжуванню при зусиллі вдавлювання P=50H і радіусі сфери інструмента R=2,5мм. В результаті запропонованої операції згладжуються напливи до величини 0,0002мм, тобто напливи знаходяться в межах шорсткості поверхні.

Площа арки синусоїди:

$$S = 2b\sqrt{2\mathrm{E}}(\frac{\sqrt{2}}{2},\frac{\pi}{2}),$$

де b – ширина канавки синусоїди;

$E(k,t)$ – еліптичний інтеграл II роду.

Довжина дуги синусоїди:

$$L_{sin} = \sqrt{2}E(\frac{\sqrt{2}}{2},x_2)\text{-}\sqrt{2}E\left(\frac{\sqrt{2}}{2},x_1\right), 0 \le x_1 \le x_2 \le \frac{\pi}{2}$$

Довжина повної арки синусоїди від 0 до π дорівнює:

$$L_{\text{арк}} = 2\sqrt{2\mathrm{E}}(\frac{\sqrt{2}}{2},\frac{\pi}{2})$$

Таким чином:

$$\frac{\pi R\sqrt{R^2+H^2} - r\sqrt{r^2-h^2}}{5} \le 4b\sqrt{2\mathrm{E}}(\frac{\sqrt{2}}{2},\frac{\pi}{2})$$

Розрахунок площі контактуючої конусної поверхні (рис.11):

$$S = \pi RL = \pi R\sqrt{R^2+H^2}$$

$$S' = \pi Rl = \pi r\sqrt{r^2 - h^2}$$

$$S_b = \pi(R\sqrt{R^2 + H^2} - r\sqrt{r^2 - h^2} \leq 5S_{sin}$$

Довжина однієї синусоїди до двох арок:

$$L'_{\text{арк}} = 4\sqrt{2\text{E}}(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\pi}{2})$$

Отримані експериментальні статистичні дані накладу 20 000 шт. задрукованих аркушів гофрокартону показали, що запропонований комплексний технологічний процес утворення мікрорельєфів на пласких направляючих та конусних деталях системи тиску суттєво підвищив якість друкованої продукції:

1. Точність позиціювання заготовок гофрокартону збільшилась на 33..37%.
2. Дефекти при друці, а саме несуміщення фарб зменшилось на 14..18%.
3. Плавність проходження заготовок зросла на 20%.
4. Збільшення швидкості друку за рахунок зменшення похибок позиціювання можливе на 5..10%.
5. Точність задання тиску в друкарській парі зросла на 12..17%.
6. Стабільність товщини шару фарби на задруковуваному матеріалі підвищилась на 16..22% в залежності від швидкості.
7. Час налагодження до друкарського процесу зменшується на 10%.

4.4. Висновки по розділу.

В результаті проведених досліджень встановлено, що ГК має складну структуру, складові частини якого по різному деформуються при площинному стиску. Велике значення на якість заготовок ГК та опір їх до площинного стиску мають технологія виготовлення та первинна сировина. Деформації ГК в залежності від типу і параметрів ГК в області друкарського тиску (0,02–0,5 *МПа*) знаходяться у діапазоні 0,03 – 0,2 мм, має місце залишкова деформація в діапазоні 0,01 – 0,03 мм. В свою чергу значення деформації ГК при площинному стиску в першу чергу залежить від комплексного параметру – кількості хвиль на погонний метр та висоти гофру. Аналіз результатів експерименту дозволив розробити якісну картину деформацій з виокремлення етапів деформування конструкції ГК.

Досліджуючи деформації ФДФ визначили, що при наявній досить складній структурі, суттєво залежить від вихідних пластин та технології експонування. Залежність діаграм площинного стиску «питомий тиск – деформація» має нелінійний характер та пояснюється полімерним матеріалом, з якого виготовлена ФДФ. В результаті експериментальних досліджень виявлено:

- деформації ФДФ в залежності від типу та при тиску 0,02…0,5 *МПа* приймають значення у діапазоні 0,05 – 0,24 *мм*;
- для різних типів ФДФ (плашка, растр, текст) різні технологічно необхідні тиски;
- значення деформації ФДФ при площинному стиску в першу чергу залежить від технології виготовлення;
- ФДФ при незначних тисках веде себе як абсолютно пружне тіло;
- має місце короткочасна залишкова деформація в діапазоні 0,01 – 0,02 *мм* при навантаженнях > 0,3 МПа.

Проведені експериментальні дослідження дозволяють більш системно та ретельніше розробити методику визначення деформацій різних типів ГК та ФДФ на площинний стиск. Було отримано кількісну та якісну оцінку деформацій ГК та ФДМ при друці, визначено фактори, які впливають на їх фізико-механічні властивості при площинному стиску.

Також в роботі було проведено дослідження по нанесенню мікрорельєфу на елементи ДА та траспортуючої системи флексографічних аркушевих машин, представлено результати і визначено його ефективність на певному тиражі.

В результаті досліджень виявлені кількісні показники, залежності значень деформацій від прикладених навантажень, а також умови, при яких можливе якісне перенесення інформації (зображень, тексту) на поверхню ГК.

Отримані дані оформлені у вигляді техніко-експлуатаційних рекомендацій та можуть використані при проектуванні нових флексографічних аркушевих машин, а також при дослідженні існуючих.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.

У дисертаційній роботі розв’язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення експлуатаційних властивостей друкарського апарату флексографічних аркушевих машин. Отримано такі наукові та практичні результати:

1. Для керування якістю флексографічної продукції систематизовано вплив різних чинників: параметрів навколишнього середовища (вологості, температури, статичного навантаження та ін.), друкарського процесу, складників конструкції друкарського апарату, властивостей гофрокартону та флексографічних форм.

2. Розроблена поетапна схема деформації гофрованого картону та флексоформ залежно від тиску, що дозволяє визначити максимальні величини тиску для різних типів гофрованого картону та флексографічних форм, що уможливило класифікацію гофрованого картону залежно від його конструкції, а також флексографічних форм, і, в підсумку, стало підґрунтям для рекомендацій щодо вибору витратних матеріалів для флексографічного обладнання залежно від типу кінцевої продукції, що скорочує час на налагодження та отримання якісного відбитка.

3. Експериментально визначено здатність гофрованого картону до стискання для найбільш поширених типів гофрованого картону та встановлено, що деформації за умови P=0,05..0,8 МПа становлять 0,03–0,2 мм, а також має місце залишкова деформація в діапазоні 0,01–0,03 мм. Це дозволило цілеспрямовано розробити технологічні режими налаштувань друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин.

4. Розроблено структурну схему флексографічних аркушевих друкарських машин та класифікацію друкарських апаратів флексографічних аркушевих машин з урахуванням технологічних параметрів, що дозволяє виявляти загальні ознаки, котрі можуть бути використані під час конструювання нових апаратів, а також під час аналізу та дослідження наявних.

5. На основі теоретико-експериментальних досліджень розроблено систему керування прогинами циліндрів залежно від їх геометричних параметрів, що в результаті забезпечує стабільність тиску по всій смужці контакту в друкарській парі, що в свою чергу сприяє стабільному перенесенню фарби по всій ширині друку на флексографічних аркушевих машинах: розроблено методику визначення прогинів циліндрів за їх геометричними параметрами та особливостями конструкції, реалізовану в програмному комплексі автоматизованого розрахунку прогинів задля цілеспрямованого корегування ними; експериментально досліджено прогини друкарського та формного циліндрів, що дозволяє стабілізувати величину фарбового шару, рівномірність його нанесення вздовж смужки контакту.

6. Проведено комплекс досліджень деформацій конструктивних елементів друкарського апарату (формного та друкарського циліндрів, підшипникових вузлів) за тиску в друкарській парі (формний та друкарський циліндри) в діапазоні Ртех = 0,2–0,8 МПа. Експериментально отримано допустимі прогини, що складають 0,0048–0,182 мм. При цьому встановлено, що у ненавантаженому стані прогин вісі формного циліндра складає 10 %, а друкарського – 1 % від максимально допустимих. Залежно від геометричних параметрів друкарського апарату, значення найбільшого прогину варіюється в межах 0,021 мм до 0,17 мм (для формного) та 0,154 мм до 0,93 мм (для друкарського).

7. Розроблено конструкторсько-технологічні рекомендації щодо встановлення додаткових ламелей для забезпечення необхідної жорсткості формного та друкарського циліндрів, що дозволяє суттєво покращити якісні показники вихідної продукції.

8. Розроблено технологію нанесення мікрорельєфу на пласкі поверхні для забезпечення більш точного позиціювання заготовок гофрованого картону при проходженні через транспортувальну систему, а також на конусні поверхні – для більш точного спряження контактуючих поверхонь, що підвищують експлуатаційні характеристики цих деталей. За результатами дослідження створено програмний комплекс на мові C Sharp, який дозволяє аналітично

обраховати параметри синусоїдального мікрорельєфу та візуалізувати результат.

9. Аналіз показників якості задрукованої статистично значимої кількості аркушів накладу гофрокартону показав, що розроблений комплекс технологічного забезпечення параметрів якості задрукованої продукції, що включає утворення мікрорельєфу на пласких поверхнях транспортуючої системи аркушевої флексографічної машини методом поверхневого пластичного деформування та утворення мікрорельєфу за декілька проходів на конусоподібних деталях механізму задання тиску суттєво покращив перебіг технологічного процесу друкування: значно покращилася плавність руху і позиціювання гофрокартону під час його переміщення по направляючих флексографічного обладнання; збільшилася щільність періодичного контакту зовнішньої і внутрішньої конусних поверхонь та точність їх позиціювання (точність позиціювання заготовок гофрокартону збільшилась на 33–37 %; плавність проходження заготовок зросла на 20 %; збільшення швидкості друку за рахунок зменшення похибок позиціювання досягає 5–10 %; точність задання тиску в друкарському контакті зросла на 12–17 %). Як наслідок, суттєво зросла якість друкованої продукції: несуміщення фарб зменшилось на 14–18 %, стабільність товщини шару фарби на задруковуваному матеріалі підвищилась на 16–22 % залежно від швидкості; час налагодження додрукарського процесу зменшується на 10 %.

10. Розроблений комплекс технологічного забезпечення параметрів якості й експлуатаційних властивостей задрукованої продукції з урахуванням впливу параметрів удосконаленого друкарського апарату, витратних матеріалів, навколишнього середовища та технічного стану обладнання на параметри флексографічної продукції дозволив суттєво підвищити її якість.

11. Матеріали досліджень впроваджено у виробництво і використовуються в навчальному процесі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Річний звіт WPO, Світової організації з паковання, 2020
2. Річний звіт FEFCO 2020.
3. Звіт World Packaging Organisation, 2019.
4. Рынок гибкой упаковки: тенденции развития, Режим доступу: http://www.loglink.ru/massmedia/analytics/record/?id=749.
5. Кривошей В.М. Упаковка в нашому житті. - К.: ІАЦ „Упаковка”, 2001.-160с.
6. Мартинюк Ф. У центрі уваги – паковання з гофрованого картону// Друкарство. – 2005.-№5. – С.11-15.
7. John R. Wagner Jr. Multilayer Flexible Packaging. - Oxford, UK: Elsevier Science & Technology, 2010.-300 p.
8. Aaron L. Brody. Active packaging for food application/ Aaron L. Brady, Eugene R. Strupinsky, Lauri R. Kline. - Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. - 224 p.
9. Massey, Liesl K. Permeability properties of plastics and elastomers : a guide to packaging and barrier materials / Liesl K. Massey. - Norwich: Plastics Design Library, 2003. - 592 p.
10. Черданцева, А.А. Технология упаковочного производства: конспект лекций. - Кемерово: КемТИПП, 2008. - 112 с.
11. Локс, ф. Упаковка и экология: учеб. пособие / пер. с англ. О. В. Наумовой; под ред. В. А. Наумова. - М.: МГУП, 1999. - 220 с.
12. Стюарт, Билл. Упаковка как инструмент эффективного маркетинга. -М.: МГУП, 1999.-145 с.
13. Jung H. Han. Innovations in Food Packaging. - Oxford, UK: Elsevier Science & Technology, 2005. - 518 p.
14. Mark J. Kirwan. Paper and paperboard packaging technology. - London: Blackwell Publishing Ltd, 2005. - 454 p.
15. Исаев Б., Ватель О. Проблемы качества гофрокартона // Тара и упаковка.2000.-№5.-с.22 – 23.

16. Кипхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. – М.:МГУП, 2003.-1280с.
17. ДСТУ 3991-2000 (ISO 13820:1996). Папір, картон та гофрований картон.
18. ГОСТ 4353-90 «Система показателей качества продукции. Оборудование полиграфическое. Номенклатура показателей».
19. ГОСТ 2601
20. Многослойные и комбинированные материалы. Области применения и способы изготовления, - Режим доступу: http://real-press.com/ article.php?aid=236.
21. ГОСТ 13525.2-80 Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на излом при многократных перегибах. – Москва, Изд-во стандартов, 2007. - 4 с.
22. ГОСТ 7247-2006 Бумага и комбинированные материалы на основе бумаги для упаковывания на автоматах пищевых продуктов, промышленной продукции и непродовольственных товаров. Общие технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 2007. - 15 с.
23. Варепо, Л.Г. Производство тары и упаковки: учеб. пособие / Л. Г. Варепо. - Омск: ОмГТУ, 2007. - 176 с.
24. [Електронний ресурс], http://www.freepatentsonline.com
25. [Електронний ресурс], http://www.fips.ru/
26. ГОСТ 7376-84. Картон гофрированный.ТУ.
27. ГОСТ 20.681-75.
28. ГОСТ 20682-75.
29. ГОСТ 20.683-97.
30. ISO 3035.
31. The Wiley encyclopedia of packaging technology / edited by Kit L. Yam. - Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2009. - 1366 p.
32. Шредер, В.Л. Экономичность и экологичность упаковки // Упаковка: журнал / В. Л. Шредер. - 2010. - № 5. - С. 9-12.

33. Баранкевич А. как производится гофрократон//- Гофро индустрия – 2004. №2.
34. Федотова, О.Б. Научно-практические аспекты разработки и применения упаковочных материалов с проектируемым комплексом качества и безопасности для молока и молочной продукции: автореф. дисс. д-ра техн. наук. - Вологда-Молочное: ВГМХА им. Н.В. Верещагина, 2011. – 49 с.
35. [Електронний ресурс], www.kursiv.ru
36. Крауч Дж. Пэйдж. Основы флексографии / пер. с англ. и ред. В. А. Наумова. - М.: МГУП, 2004 - 166 с.
37. Сорокин, Б. А. Флексографская печать: настоящее и будущее // Флексо Плюс. - 1997. - № 1. - Режим доступу: http://www.flexoplus.ru/ archive/01/flexo1.html.
38. Техника флексографской печати: учеб. пособие / пер. с нем.; под ред. В. П. Митрофанова, Б. А. Сорокина. В 2-х ч. Ч. 1. - М.: МГУП, 2000. -192 с.
39. Техника флексографской печати: учеб. пособие / пер. с нем.; под ред. В. П. Митрофанова, Б. А. Сорокина. В 2-х ч. Ч. 2,- М.: МГУП, 2000. -208 с.
40. Сорокин Б.А., Здан О.В. Флексографская печать. -М: МГАП «Мир книги», 1996. – 192с.
41. Ярема С.М. Флексографія. Обладнання. Технологія: навчальний посібник. - К.: Либідь, 1998.-312с.
42. Ефремов Н. Печать на гофрокартоне //– Гофро индустрия -2004.- №3(3).- С.18-24.
43. Коломберо, Ч. Бумага и другие основы для печати: [пер. с итал.] / Ч. Коломберо, Р. Рамбальди. - Гатчина: СЦДБ, 2002. - 30 с.
44. Роджерс Эд. Флексопечать и гофрокартон: навстречу друг другу//Флексодрук РЕВЮ.2001 - №2. С.40.
45. Кривошей, В. Н. Справочник по полимерной упаковке / В.Н. Кривошей, М. Г. Соломенко, В. Л. Шредер. - К.: Техшка, 1982. - 232 с.
46. Сассанелли, П. Л. Печать упаковки: стимулирование устойчивого развития / П. Л. Сассанелли // Флексо Плюс. - 2008. - № 6. - С. 52-55.

47. Бухвайц, Я. Флексография: наравне с офсетной и глубокой печатью / Я. Бухвайц // Флексо Плюс. - 2011. - № 6. - С. 38 - 41.
48. DIN 55468
49. Joel R. Fried. Polymer science and technology. - New Jersey: Upper Saddle River, 1995. - 266 p.
50. Braun, D. Polymer synthesis: theory and practice. Fundamentals, methods, experiments / D. Braun, H. Cherdon, M. Rehahn, H. Ritter, B. Voit. - Springer, 2004.-400 p.
51. Гуль В.Е. Упаковка продуктов питания / В.Е. Гуль, Е.Г. Любешки, Т.И. Аксенова, Н.М. Дворецкая, В.В. Ананьев, И.Н. Смиренный. - М.: МГАПБ, 1996. - 84 с.
52. Ефремов, Н.Ф. Производство тары из полимерных пленок и листов: учеб. пособие. - 4.1. - М.: МГУП, 2009. - 341 с.
53. Шарфенберг, Я. Флексография: взгляд в будущее / Я. Шарфенберг // Флексо Плюс. - 2011. - № 4. - С. 32 - 35.
54. ГОСТ 15467-79. «Управление качеством продукции. Основные показатели. Термины и определения».
55. Комов, А. Структурирование функций качества, Режим доступу: http://quality.eup.ru/MATERIALY9/sfk.htm.
56. Борисова, А.С. Прогнозирование качества печати на основе структурирования функции качества / А.С. Борисова, Л.Г. Варепо // Проблемы полиграфии и издательского дела. Известия высш. учеб. заведений: науч.-техн. журнал. - М.: МГУП, 2011. - №4. - С. 27 - 35.
57. Варепо, Jl. Г. Модель абсолютного качества печатного оттиска / J1. Г. Варепо, А. С. Борисова, А. В. Голунов // Фундаментальные исследования. -М.: РАЕ, 2007. -№12. - 4.2. - С. 365 - 366.
58. Borisova, A.S. Investigation of composition materials microgeometry influence on print quality / A.S. Borisova, L.G. Varepo // Modem techniques and technologies MTT'2006: the twelfth International Scientific and Practical

Conference of Students. - Tomsk: Tomsk polytechnic university, 2006. - P. 96 - 98.

59. Борисова, А.С. К вопросу оценки качества печатного оттиска, нанесенного на упаковку / А.С. Борисова, Л.Г. Варепо // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика : матер. 11-й междунар. науч.-практ. конф., г. Ялта. - Киев: АТМ Украины, 2011. - С. 13 -15.
60. ГОСТ 4353-85. «Система показателей качества продукции. Оборудование полиграфическое. Номенклатура показателей».
61. Кондратьєв С. Аналіз фарбових систем сучасних флексографічних машин //Друкарство – 2004. №2. – С. 59-61.
62. Чехман Я.І., Сенкусь В.Т., Бирбраер Е.Г. Печатные машины. - М.: Книга, 1987. - 304с.
63. Тюрин А.А. Печатные машины – автоматы. - М.: Книга, 1980.-416с.
64. Чехман Я.І., Сенкусь В.Т., Босак К.П. Практичні заняття з дисципліни «Друкарське устаткування».Л.-1993.
65. Сорокин, Б. А. Флексографские печатные машины / Б. А. Сорокин // Флексо Плюс. - 2005. - № 5. - С. 60 - 68.
66. Печатное оборудование: учебник / В. П. Митрофанов, А. А. Тюрин, Е. Г. Бирбраев, В. И. Штоляков. - М.: МГУП, 1999. - 443 с.
67. Прохоров, Д. Ярусные и линейные флексографские машины: как выбирать? / Д. Прохоров // Флексо Плюс. - 2002. - № 5. - С. 38 - 43.
68. Паспорт на машину EMBA 244.
69. Брошура фірми Bobst Group.
70. Брошура фірми Curioni.
71. Паспорт на машину DRO 1622.
72. Паспорт на машину ДВЛ 1800.
73. Паспорт на машину ТПФ 850.
74. [Електронний ресурс], http://www.kba-print.de
75. [Електронний ресурс], http://www.petromash.ru
76. [Електронний ресурс], http://www.curioni.it

77. [Електронний ресурс], http://www.gofromash.com
78. [Електронний ресурс], http://www.bobstgroup.ru/
79. [Електронний ресурс], http://tokkata.ru
80. Приставський З.М., Петрук А.І. Проектування приводів поліграфічних машин. Навчальний посібник. – К.: „Політехніка”, 2001.
81. Иванов М.Н. Детали машин. – М.: „Высшая школа”, 1976. – 399с.
82. Титов, А. С. Технологическая настройка оборудования и процессов флексографской печати: автореф. дисс.... канд. техн. наук. - Москва: МГУП, 2007.- 16 с.
83. Длоугий В.В. "Приводы машин: Справочник"/ В.В. Длоугий, Т.И. Муха: Под общей ред. В.В. Длоугого - 2-е изд. перераб. и доп.- Л.: Машиностроение., Ленинградское отделение, 1982. - 383 с.
84. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин.- К.: Вища школа, 1993.
85. Бушунов В.Т. Печатные машини. Расчет и проэктирование.- Москва, Л.: «Машиностроение», 1963.- 616с.
86. Тир К. В. Механика полиграфических автоматов. Москва.:Книга, 1965.- 393с.
87. Чехман Я.І., Печатные машины. - М.: Книга, 2003.-602с.
88. ГОСТ 27.002-89. «Надежность в технике. Термины и определения».
89. Анке Фрейзер-Тауш. Оптимальное соотношение для желаемого результата. ФлексоДрук Ревю.-2004. -№2. - с. 22.
90. ГОСТ Р 15.011-96 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения».
91. ГОСТ 2.601-2006. «Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы».
92. Конкін В.М. Розрахунки на міцність та жорсткість при згинанні. Харків: 2007, 79с.

93. Конохов В.І. Розрахунок на міцність та жорсткість стержнів при крученні. Київ, 2006 – 96с.
94. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: ГИТТЛ, 1953. – 856с.
95. Серпионов Н.Н. Методика технического расчёта на жёсткость печатного узла ротационных машин.(К вопросу о снижении веса.) М., Искусство, 1955, с. 125-149 (Научные труды МЗПИ. Вып. II).
96. Бейзельман Р. Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения. Справочник. –М.: Машиностроение, 1975. 576 с.
97. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. - М.: Стандартинформ, 2006. - 6 с.
98. Гавенко С. Ф. Практикум з проектування і розрахунку технологічних і виробничих процесів. Автор О. М. Величко / С. Ф. Гавенко, Е. Т. Лазаренко // Кваліlогія книги. - 2009. - № 2. - С. 145.
99. Варепо, Л.Г. Профильный метод оценки микрогеометрии поверхности комбинированных материалов на основе упаковочных материалов / Л.Г. Варепо, А.С. Борисова, О.С. Больбот // Измерения в современном мире - 2009: науч. труды Второй междунар. науч.-практ. конф. - СПб: ИПУ, 2009. -С. 12-14.
100. Cage K. L. Clark W. L. Opportunités and constraints for flexible packaging of foods, Food Technol, 1980. 34. N 9. P. 28 - 31.
101. Stern W. Hybrid packages meet cost, consumer demands by combining the best structures materials. Food Prod. Develop, 1980. 14. N 4, 48 - 50, 52.
102. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М. Л. Кербер [и др.]; под ред. А. А. Берлина. - Спб,: Профессия, 2009. - 560 с.
103. ГОСТ Р 52145-2003 Материалы комбинированные на основе алюминиевой фольги. Технические условия. -М.: Изд-во стандартов, 2004. - 16 с.
104. ISO 12647 - 6:2006 Технология полиграфии. Управление техно-логическим процессом по изготовлению растровых цветоделенных изображений, пробных и тиражных оттисков. Часть 6. Флексография. - ISO, 2006. - 16 с.

105. Варепо, Л.Г. Основы планирования эксперимента: учеб. пособие / Л.Г. Варепо, В.М. Вдовин, О.А. Колозова. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 1995. – 75 с.
106. Горшков А.Г., Старовойтов Э.И., Тарлаковский Д.В. Теория упругости и пластичности. – М.: ФИЗМАТЛИТ., 2002. – 416с.
107. Брет Килхени. Сжимаемость депферных лент. Флексодрук Ревю. – 2000. - №4. –с.37.
108. Шибанов В.В., Гладилович М.К., Бузина Г.П. Поля деборы или релаксация флексографских материалов. ФлексоДрук Ревю.-2002. -№4.-с.12.
109. Дуб Я.І., Огірко Г.В., Ясінський М.Ф. Деформація друкарського елемента фотополімерної форми. -Сб. «Поліграфія і видавнича справа», вип.4, Львів, 1986.-с.49.
110. Финна Д., Янсен Ф., Катт М. Технология тонких печатных форм. Флексо Плюс. – 1999. - №2-с.8.
111. Бухина М.Ф. Техническая физика эластомеров. – М., «Химия», 1984.-224с.
112. Тичаут, П. Стандартизировать разнообразие / П. Тичаут // Флексо Плюс. - 2011. - № 4. - С. 42 - 45.
113. Борисова, А. Ламинаты: безбарьерные возможности при барьерных свойствах / А. Борисова // Флексо Плюс. - 2009. - № 3. - С. 26 - 29.
114. Борисова, А. С. Исследование прочностных свойств упаковочных материалов / А. С. Борисова, Л. Г. Варепо, А. В. Голунов // Наука и производство - 2009: материалы междунар. науч.-практ. конф. - Брянск: БГТУ, 2009. - 4.1.-С. 174-179.
115. Леонтьев, В.Н. Методы и средства совершенствования печатных свойств бумаг в системе «бумага - краска - оттиск»: учеб. пособие. - СПб.: ГОУВПО СПбГУРП, 2009. - 170 с.
116. Варепо, Л. Г. Аналитическое представление оценки профиля поверхности материалов для печати / Л. Г. Варепо, А. С. Борисова, О. А. Колозо-ва // Проблемы полиграфии и издательского дела. Известия высш. учеб. заведений: науч.-техн. журнал. - М.: МГУП, 2010. - №5. _ с. 16-23.

117. Программа для оценки полноты укрывистости полиграфических оттисков v.l.0 / Л. Г. Варепо, А. С. Борисова, А. В. Голунов, И. В. Демченко // свидетельство о регистрации электронного ресурса №17067 от 10.05.2011 г. -М.: ОФЭРНИО ИНИМ РАО, 2011.
118. Повстугар, В.И. Строение и свойства поверхности полимерных материалов / В. И. Повстугар, В. И. Кодолов, С. С. Михайлова. - М.: Химия, 1988. – 192 с.
119. Pizzi, A. Handbook of Adhesive Technology, Revised and Expanded / A. Pizzi, K.L. Mittal. - New York: Basel, 2003. - 998 p.
120. Программный продукт для аналитического представления профиля поверхности и оценки параметров шероховатости материалов для печати / Л.Т. Варепо, А.С. Борисова, О.А. Колозова, Е.В. Трапезников // Свидетельство о гос. /регистрации программы для ЭВМ №2011610392 от 11.01.2011 г. - М.: ФСИСПТ, 2011.
121. Evaluation of surface microgeometry and quality provision of printed materials / A.S. Borisova, L.G. Varepo, A.V. Golunov // Papers of the 42-th conference: international circle of educational institutes for graphic arts technology and management - M.: MSUPA, 2010. - P. 145-151.
122. Борисова, А.С. Исследование влияния микрогеометрии композиционных материалов на качество печати / Вестник МГУП. - 2006. - №10. -С. 13-19.
123. Программа для оценки красковосприятия запечатываемого материала / Л. Г. Варепо, А. С. Борисова, О. А. Колозова, Е. В. Трапезников // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2011618158 от 18.10.2011 г. - М.: ФСИСПТ, 2011.
124. Борисова, А. С. Моделирование оценки красковосприятия на основе аналитического представления профиля поверхности / А. С. Борисова, Л. Г. Варепо, О. А. Колозова // Омск. науч. вестник. Сер. Приборы, машины и технологии : журнал. - Омск: ОмГТУ, 2011. - №3 (103). - С. 323 - 325.
125. Richard A. Pethrick. Monomers, oligomers, polymers, composites and nanocqmposites research: synthesis, properties and applications / Richard A.

Pethrick , G.E. Zaikov, and J. Pielichowski. - New York: Nova Science Publishers, Inc., 2009. - 485 p.

126. Будникова, О.А. Повышение оптических защитных свойств многослойных упаковочных материалов средствами полиграфии: автореф. дисс. канд. техн. наук. - М.: МГУП, 2008. - 21 с.
127. Махотина, JIM. Научные основы создания многослойных целлюлозных композиционных материалов для высококачественной упаковки: авто-реф. дисс. д-ра. техн. наук. - СПб.: СГТУРП, 2008. – 32 с.
128. Гуль, В.Е. Структура и механические свойства полимеров: учебник /В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев. -М.: Лабиринт, 1994.-367 с.
129. Ефремов, Н.Ф. Надежность и испытание упаковки: учеб. пособие / Н.Ф. Ефремов, И.К. Корнилов, Ю.М. Лебедев. - М.: МГУП, 2004. - 112 с.
130. Бристон Дж. Х. Полимерные пленки / Дж. Х. Бристон, Л. Л. Катан; пер. с англ.; под ред. Э. П. Донцовой. 3-е изд. - М.: Химия, 1993. – 384 с.
131. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов: учеб. пособие / А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М. В. Соколов, В. Г. Однолько. - Тамбов: ТГТУ, 2010.-100 с.
132. Варепо, Л. Г. Основы переработки и утилизации: учеб. пособие / Л. Г. Варепо. - Омск: ОмГТУ, 2005. - 208 с.
133. Борисова, А.С. Оценка печатных свойств комбинированных материалов / Проблемы полиграфии и издательского дела. Известия высш. учеб. заведений: науч.-техн. журнал. - М.: МГУП, 2010. - №1. - С. 3 -7.
134. Варепо, Л.Г. Измерение и коррелированность показателей прочности упаковочных материалов /, Л.Г. Варепо, А.С. Борисова // Измерения в современном мире - 2011 : сборник науч. трудов третьей междунар. науч.-практ. конф. - СПб: ИПУ, 2011. - С. 20-21.
135. Борисова, А.С. Разработка математической модели зависимости качественных показателей оттиска от функции рельефа (показателя шероховатости поверхности бумаг) / А.С. Борисова, А.В. Голунов //

Творчество молодых: дизайн, реклама, полиграфия: материалы VI междунар. науч.-практ. конф. - Омск: ОмГТУ, 2007. - С. 137-145.

136. Borisova, A.S. The development algorithm quality management technological processed: in printings / A.S. Borisova, L.G. Varepo // Modern techniques and technologies MTT'2007: the 13th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientist - Tomsk: TPU, 2007. -С. 138- 140.
137. Фаренбрух, К.В. Исследование морфологии поверхности многослойных пленок из полипропилена // Проблемы полиграфии и издательского дела/К. В. Фаренбрух, Е. Б. Баблюк. - 2007. - № 2. - С. 10-16.
138. Калинин, В.В. Влияние поверхностных сил на гидродинамику растекания капель и капиллярные течения: автореф. дисс. д-ра. физ.-мат. наук. - М.: РГУНГ, 2002. - 286 с.
139. Варепо, Л.Г. Особенности воспроизведения приемов авангарда в упаковке и этикетке / Л.Г. Варепо, А.С. Борисова, А.В. Голунов // Experiment : Эксперимент. Журнал русской культуры. Спец. вып. - Лос-Анджелес, 2009. -Т. 15.-С. 133-141.
140. Филин, В. Методы контроля качества при флексографской печати/ В. Филин // Мир Этикетки. - 2001. - №3
141. Day, B.P.F. Consumer Acceptability of Active and Intelligent Packaging // Proceeding of the «Active and Intelligent Packaging». Conference, 2000, 18 April. Zeist, The Netherlands: TNO, 2000.
142. Fink D., Transport Processes in Ion Irradiated Polymers and Applications, Springer Series in Materials Science, Vol. 65, Springer-Verlag, 2004.