

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Поворозник Ярослав Ігорович

Прізвище, ім'я, по батькові студента(ки)

На здобуття першого (бакалавра) ступеня вищої освіти

Розробка інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння зображення

трафаретного друку

Назва теми

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма Робототехнічні та мехатроні системи галузі

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент(ка) 4 курсу група PM-21-1

Шифр


Підпис

Поворозник Я.І.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник К.Т.Н., доц.

Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Смутко С.В.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер _____

Посада


Підпис

Шчеголєв С.П.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри машин і апаратів,
електромеханічних та енергетичних систем

Назва


Підпис

Неймак В.С.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

2.06.25

Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалавр)
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма Робототехнічні та мехатроні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

2 . 06 . 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Поворозник Ярослав Ігорович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння зображення трафаретного друку

Керівник роботи Смутко Світлана Валеріївна к.т.н., доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи характеристики інфрачервоної сушарки для сушіння зображень деталей одягу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Огляд та аналіз інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння зображення трафаретного друку для виробів легкої промисловості. 2 Розрахунок нагрівальних елементів та підбір електричної конструкції. 3 Розробка креслень інфрачервоної сушарки. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Технологічний процес трафаретного друку (ДО1, А1). 2. Типи конструкцій (ДО2, А1). 3. Електрична принципова схема (Е1, А1). 4. Нижня опорна колона для інфрачервоної сушарки (СК1, А2). 5. Вентилятори та нагрівальні елементи (СК2, А2). 6. Зборка інфрачервоної сушарки (ВЗ, А1)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|--|-------------------|---------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |


7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--|----------------------------------|----------|
| 1. Огляд та аналіз інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння зображень трафаретного друку для виробів легкої промисловості | | |
| 2. Розробка креслень сушарки | | |
| 3. Розрахунок нагрівальних елементів | | |
| 4. Оформлення пояснювальної записки Та графічного матеріалу | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Студент(ка)

Керівник роботи



Підпис



Підпис

Я.І. Поворозник
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

С.В. Смутко
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалавр)
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма Робототехнічні та мехатроні системи галузі

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Поворозник Ярослав Ігорович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Розробка інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння трафаретного друку

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг магістерської роботи: креслень 6 арк, сторінок записки 56

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

У першому розділі досліджено технологічний процес трафаретного друку, розглянуто його основні етапи та методи оздоблення текстильних виробів. Особлива увага приділена способам сушіння зображень зокрема інфрачервоному випромінюванню, яке визначено найефективніше в умовах сучасного виробництва. У другому розділі проведено розрахунки основних параметрів інфрачервоного сушильного обладнання, включно з вибором автоматики, визначення кількості теплоти, що виділяють лампи, та розрахунок ККД системи. Підбрано тип інфрачервоної лампи, вентилятора і елементів керування. У третьому розділі розроблено конструкцію інфрачервоної сушарки. Вибрано габаритні розміри нижньої колони, здійснено розрахунок її ваги, складальне креслення нагрівальних елементів та зібрання та зібрання всіх частин конструкції. Описано окремих елементів конструкції та розроблено загальне креслення виробу

Підпис студента 

" 2 " 06 2025 р.


Р І Ш Е Н Н Я Е К ЗА М Е Н А Ц І Й Н О Ї К О М І С І Ї:

Протокол 2 від 25 06 2025 р.

Оцінка роботи ЕК 4,0 / с

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 


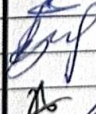


Підпис

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 25 " 06 2025 р.

Зміст

| | Стор. |
|---|-------|
| 1 Огляд та аналіз інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння зображення трафаретного друку для виробів легкої промисловості | 7 |
| 1.1 Види оздоблень на одязі | 9 |
| 1.2 Процес трафаретного друку | 14 |
| 1.3 Способи та обладнання сушки під час трафаретного друку | 17 |
| 1.4 Висновки до розділу | 26 |
| 2 Розрахунок нагрівальних елементів та підбір електричної конструкції | 27 |
| 2.1 Розрахунок вибору автоматики для інфрачервоної сушарки | 29 |
| 2.2 Розрахунок на кількість теплоти яка виділяється нагрівальними елементами | 32 |
| 2.3 Розрахунок коефіцієнту корисної дії | 32 |
| 2.4 Вибір інфрачервоної лампи | 34 |
| 2.5 Підбір вентилятора | 36 |
| 2.6 Висновки до розділу | 38 |
| 3 Розробка креслення інфрачервоної сушарки | 40 |
| 3.1 Вибір габаритних розмірів конструкції нижньої колони | 40 |
| 3.2 Розрахунок нижньої колони (стійки) для обладнання інфрачервоного сушіння | 41 |
| 3.3 Деталювання нагрівальних елементів | 44 |
| 3.4 Зборка деталей обладнання інфрачервоної сушарки | 46 |
| 3.5 Призначення окремих частин | 50 |
| 3.6 Висновки до розділу | 51 |
| Висновки | 53 |
| Перелік джерел інформації | 55 |
| Додадки | 59 |

| | | | | |
|--|------|---------------|---|---------|
| БРМА 00.00.000. ПЗ | | | | |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |
| Виконав | | Поворозник Я. |  | |
| Перевір. | | Смутко С.В |  | |
| Н.контр. | | Пундик С. І. |  | |
| Затвер. | | Неймак В. С. |  | |
| Розробка інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння зображень трафаретного друку | | | Літера | Аркуш |
| | | | 4 | Аркушів |
| ХНУ гв. РМ-21-1 | | | | |

Вступ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці обладнання інфрачервоного сушіння для нанесення зображень на деталі одягу

Актуальність у сучасній текстильній та легкій промисловості нанесення зображень на одяг є важливою складовою процесу його оздоблення та персоналізації. Особливу популярність має трафаретний друк — метод, який поєднує високу якість відбитка, стійкість до зношування та можливість роботи з різними типами тканин. Цей спосіб застосовується як у серійному виробництві, так і в індивідуальному дизайні одягу.

Трафаретний друк (шовкодрук) базується на перенесенні фарби через друкарську форму (трафарет) за допомогою ракеля. Зображення формується на поверхні текстильного виробу шляхом пропускання фарбника через відкриті ділянки сітки. Серед переваг методу — насиченість кольорів, можливість створення багатошарових ефектів, а також довговічність зображення навіть після багаторазового прання. Проте ефективність цього процесу значною мірою залежить від правильного сушіння фарби, що наноситься, оскільки недостатнє або нерівномірне висушування призводить до її розтікання, зниження якості друку чи пошкодження виробу.

Серед популярних видів оздоблення одягу можна виділити: трафаретний друк, термоперенос, вишивку, сублимацію, флокування, 3D-друк та нанесення термоплівок. Кожен з цих методів має свої переваги та галузі застосування, однак саме трафаретний друк зберігає провідні позиції завдяки своїй універсальності, економічності та яскравим результатам.

Процес друку включає декілька основних етапів: створення макету, виготовлення трафаретної форми, нанесення фарби на текстильний виріб, та подальше сушіння або полімеризацію нанесеного шару. Саме останній етап є критичним для забезпечення адгезії фарби до тканини та довготривалого збереження зображення. Традиційно для сушіння застосовуються тунельні або

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

інфрачервоні сушарки. Останні стали особливо популярними завдяки своїй енергоефективності, компактності та можливості точкового нагріву. Розробка сучасного, ефективного обладнання для інфрачервоного сушіння у трафаретному друці є актуальним завданням для виробництва та малого бізнесу. Така система повинна забезпечувати рівномірне та контрольоване нагрівання, відповідати нормам безпеки, мати регульовану потужність, а також бути сумісною з існуючими технологічними процесами.

Метою даної дипломної роботи є проектування і конструювання обладнання для інфрачервоного сушіння, що оптимально відповідає потребам технології трафаретного друку на деталях одягу. Мета роботи полягає у створенні технічно обґрунтованого та ефективного пристрою для сушіння нанесених зображень за допомогою інфрачервоного випромінювання. Такий пристрій має забезпечувати рівномірне та швидке висушування фарб на текстильних матеріалах без їх перегріву або пошкодження. Особливу увагу при цьому приділено енергоефективності обладнання, безпеці в експлуатації, зручності керування, а також можливості його інтеграції у виробничі лінії трафаретного друку.

Проектоване обладнання повинно відповідати сучасним вимогам до друкарських процесів на текстилі, зокрема — забезпечувати стабільну роботу при нанесенні фарб різного складу (водних, пластизольних тощо), підтримувати регулювання температури та часу сушіння, мати компактні габарити та бути зручним для обслуговування в умовах невеликого швейного або друкарського підприємства.

Розробка такого пристрою дозволить підвищити якість зображень, пришвидшити виробничий процес, зменшити витрати на енергію та знизити ризик браку через неправильне сушіння. Таким чином, реалізація цього проекту має не лише технічну, а й практичну значущість для галузі.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

1 Огляд та аналіз інфрачервоної сушарки для проміжного сушіння зображення трафаретного друку для виробів легкої промисловості

Використання сушильних пристроїв в друкарнях стає все більш поширеним, частина технологій друку просто не можуть обійтися без сушіння.

У сучасній офсетного друку процес нанесення фарби на папір відбувається дуже швидко, для підвищення швидкості друку і зменшення кількості антивідбиткового (антивідбитковий порошок — це дрібнодисперсний порошок, який використовується в поліграфії, зокрема у трафаретному, офсетному та цифровому друці. Його основне призначення — запобігати склеюванню та відбитку фарби між щойно надрукованими аркушами..) порошку використовують процес сушіння прямо під час друку. І хоча антивідбитковий порошок не дорогий і його використання не впливає на собівартість виготовлення книги, але він сприяє забрудненню друкувальної машини при друку обороту сторінок[1].

Шовкографія використовується для нанесення фарби на тканину, кераміку, скло і навіть для нанесення композицій на текстолітові пластини в мікроелектроніці.

Шовкова тканина для нанесення фарб або кольорових полімерних композицій в сучасному світі все ще використовується, наприклад, у випадках, коли розмір сита підходить для бажаної в'язкості і консистенції фарби. До речі, в'язкість фарби є однією з найбільш важливих технічних характеристик, які дозволяють успішно виконувати процес трафаретного друку.

Щоб процес пройшов на найвищому рівні, і кінцевий виріб виділялося відмінною якістю необхідно застосовувати під час нанесення трафарету високоточний нагрів. Фарба, яка в звичайному стані не здатна пройти через отвори сита, різко змінює свої властивості при нагріванні до певної температури. Вона успішно продавлюється через мікроскопічні отвори, а потім закріплюється на поверхні виробу, наприклад, на світшоті або керамічній вазі.

| | | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|------|
| | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | 7 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | |

Зрозуміло, що предмет, оброблений кольоровою композицією, що включає, наприклад, частинки люмінофора або блискітки, необхідно трохи висушити. І в даному випадку доведеться підтримувати певний рівень температури. Температура нижче необхідного рівня не дозволить досягти необхідного ефекту, а значення вище необхідних можуть зіпсувати задумку. Дійсно, багато полімерів здатні працювати тільки в строго визначеному температурному діапазоні. Той же поліуретан зберігає механічну міцність тільки до температури + 80 ° С, а потім швидко втрачає свої властивості[2].

Високоточну підтримку потрібних значень температури і максимально рівномірний розподіл тепла при нанесенні трафаретного друку здатні виконати тільки інфрачервоні нагрівачі. Довгохвильові випромінювання, що випускаються кварцовими або керамічними випромінювачами, допомагають дозувати необхідне тепло, а також нагрівати забарвлений продукт. Інфрачервоні нагрівачі відмінно підходять не тільки для виробів з тонкими стінками, а й для товстостінних предметів, так як прогрів здійснюється не тільки по площині, але і в глибину виробу.

У той же час інфрачервоні промені практично не нагрівають навколишнє повітря, вони концентруються на об'єкті трафаретного друку. Великою їх перевагою також вважається висока економічність. Навіть промисловий інфрачервоний обігрівач може споживати електроенергію в діапазоні 300-500 Вт. Крім того, інфрачервоний обігрівач за короткий час досягає повного робочого режиму і має дуже тривалий термін служби. [3].

На даний момент в друкарнях використовують кілька типів сушок для офсетного друку. При листового друку застосовують в основному інфрачервону сушку або сушку гарячої повітряної масою.

Іфрачервона сушка - це найпростіший тип сушіння в поліграфії. В основі такої сушки лежить використання інфрачервоних випромінювачів або інфрачервоних ламп[4]. Для збільшення ефективності сушіння часто застосовують спільно з іх випромінювачами додатковий обдув гарячим повітрям,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

для нагріву якого застосовуються інші промислові нагрівачі, наприклад, кільцеві нагрівальні елементи або сухі ТЕНи.

Сушка з використанням іч випромінювання і гарячого повітря

Залежно від необхідної якості друку, виду паперу, тканини і ходу технологічних процесів в книжковій друкарні підбирається свій унікальний режим сушки. Для більшості типів фарб це складений пристрій, який включає в себе такі пристрої:

Інфрачервона сушарка з (іч) випромінювачами. Такий пристрій прискорює полімеризацію і вбирання фарби при друку

Конвекційна сушарка з потоком гарячого повітря. Цей тип сушарки значно збільшує швидкість випаровування розчинника у фарбі за рахунок підвищеного обміну повітря. Такий тип інфрачервоних сушарок з обдувом особливо ефективний при сушінні лаків на водній основі.

Обдув при інфрачервоній сушці може бути не тільки гарячим, але і також холодним повітрям. Особливо вдалим вважається поєднання обдування і нагрітим і холодним повітрям, при такому режимі папір не пересихає і не деформується. [5].

1.1 Види оздоблень на одязі

Асортимент оздоблень при виготовленні сучасного одягу з різних матеріалів дуже різноманітний. Він включає як добре відомі у виробництві одягу види, так і нетрадиційні, пов'язані з властивостями конкретних матеріалів і з появою нових технологій виготовлення оздоблення. За способом виготовлення оздоблення поділяють на три групи: поверхневе оздоблення, об'ємне оздоблення, додаткові аксесуари.

Поверхневе оздоблення виконується безпосередньо на поверхні деталей одягу, просторова форма матеріалу при цьому не змінюється. До неї відносяться:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- оздоблювальні строчки і шви, які підкреслюють, підсилюють конструктивні лінії, шви, краї деталей, роблячи їх помітнішими;
- обробка тасьмою, сутажем, шнуром, бейкой, бахромою, які використовуються для обробки країв деталей. Тасьма, сутаж, шнур можуть бути використані для вишивання складних узорів;
- вишивка, яка може бути ручною і машинною, виконаною за допомогою різного матеріалу (нитками, бісером, стеклярусом, перлами, пайєтками);
- аплікація, виконана різними способами (нитковим, клейовим, зварним) з різних матеріалів;
- оздоблення фурнітурою — металевою, пластмасовою, дерев'яною, з дорогоцінних металів і каменів. Роль фурнітури виконують гудзики, застібка-блискавка, пряжки, кнопки, гачки, блочки і т. п.;
- комбінування матеріалів, коли поєднуються тканини однієї і тієї ж фактури різних кольорів; тканини різних фактур одного кольору; тканини різних фактур і контрастного кольору;
- інші види обробки зображено на (рис.1.1).

Об'ємне оздоблення забезпечує об'ємну форму виробу і окремих його деталей за рахунок зміни просторового розташування матеріалу. Об'ємну обробку можна умовно підрозділити на два види: рухома обробка — об'ємна форма, яка передбачає деяку свободу зміни первинної форми. Це драпіровки, складки, волани, складки, плісе, гофре і т. п.; нерухома обробка — це така об'ємна форма, яка не змінюється і зазвичай закріплена за допомогою додаткових матеріалів; ниток, прокладок, клеїв[7]. До нерухомих видів об'ємної обробки відносяться буфи, защипи, декоративне вистьобування.

Додаткові аксесуари одягу — це знімні оздоблювані деталі: шарфи, краватки, квіти, кокільє, жабо, коміри, манжети, пояси та інше.

Розрізняють оздоблення, виконане переважно механічним способом, тобто досягнуто фізичними діями, і оздоблення, операції якого пов'язані з дією хімічних процесів і препаратів. Класифікують види оздоблення одягу за

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

способом дії на матеріал і способом з'єднання (фіксації) оздоблення з виробом.

Єрмилова В.В. виділяє такі види оздоблення як:

- іншою тканиною (іншого кольору або фактури);
- вишивкою (нитками, бісером, стеклярусом, паєтками);
- фурнітурою (гудзики, кнопки, декоративні застібки, петлі, пряжки);
- обробка застібок, кишень, кокеток тасьмою «блискавка»;
- декоративними строчками, стьобанням;
- іншими матеріалами (трикотажем, хутром натуральним і штучним, шкірою, оксамитом);
- кистями, бахромою, тасьмою, мереживами, кантами, стрічками; аплікацією; штучними квітами.



Рисунок 1.1 – Оздоблення деталями [12]

Одним із сучасних методів оздоблення швейних виробів є друк на тканині. Цей метод широко використовується в сучасному виробництві одягу, Тому далі розглянемо його більш детально

У сучасній поліграфії виділяють основні види трафаретного друку: цифровий друк, флексографічний друк, офсетний друк, шовкотрафаретний друк,

сублімаційний друк, термоперенос, виконаний методом трафаретного друку. Споживачі рідко цікавляться їх відмінностями, у більшості випадків підбір виду друку залежить від менеджера поліграфічної компанії. Загалом такий підхід виправданий, оскільки замовник не зобов'язаний вникати у технічні деталі, його цікавить кінцевий результат — готовий продукт.

Але часто вибір виду друку робиться не відповідно до потреб клієнта, а залежно від обладнання, яким володіє поліграфічна компанія. Якщо ж обладнання для різних видів друку наявне, може виникнути ситуація, коли менеджер пропонує певний вид друку, але не надає необхідних пояснень. Тому у цій статті ми поговоримо про види друку, їх переваги та сфери застосування.

Найбільш сучасним є цифровий друк. Цифровий друк здійснюється шляхом прямого нанесення фарб спеціальним принтером після зчитування електронних носіїв інформації. Тому великою перевагою цифрового друку є відсутність фази підготовки до друку (виготовлення друкуючих форм), що економить час та гроші, а також дозволяє друкувати мінімальними тиражами (від 1 штуки). Друк може здійснюватися на паперових чи поліпропіленових матеріалах, текстилі, шкірі, металі, пластику, кераміці, склі, дереві та інших матеріалах, придатних для друку. Якість друку спеціальних сучасних принтерів дуже висока, друк повністю комп'ютеризований, достатньо оперативний та незамінний, коли потрібно швидко отримати готову продукцію або ж протестувати дизайн. Деякі моделі оснащені додатковими функціями, наприклад лазерної порізки. Як правило, отримуємо зображення фотографічної якості.

Принтери бувають струменеві та лазерні. Для друку на струменевому принтері використовують рідкі чорнила. Недоліком такої продукції є те, що вона не стійка до тертя чи вологи. Тому необхідна ламінація. Лазерний друк здійснюється за допомогою фарбуючих порошків, які припікаються до матеріалу. Продукція, виготовлена на лазерному принтері не піддається впливу вологи, більш стійка у використанні. Але недоліком обох різновидів є те, що фарби можуть вигорати на сонці. У такому разі варто обрати струменевий друк,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

але із УФ-фарбами, оскільки УФ-фарби під час застигання утворюють стійку плівку. Сольвентні фарби також є стійкими, але через їх токсичність вони є забороненими до використання у розвинених країнах.

Також виділяють вузько та широкоформатні машини для цифрового друку, залежно від можливої ширини поверхні друку. Наприклад, машини із шириною друку до 3 метрів використовуються для друку великих зображень зазвичай у рекламних цілях (білборди, реклама на будівлях, сценічні декорації тощо) . Якість друку тут не відіграє особливої ролі, оскільки великі зображення розглядаються із значної відстані. Для друку, наприклад, плакатів, сітілайтів чи календарів достатньо ширини друку у 1,5 метри, але тут уже важливою є висока якість друку, бо на надруковані зображення дивляться із близької відстані. Вузькоформатні принтери використовуються, як правило, для друку самоклеючих етикеток чи упаковки, візиток, листівок та іншої дрібної поліграфічної продукції. Так різновидом цифрового друку є друк за допомогою термопринтерів чи термотрансферних принтерів безпосередньо на місці споживання. Замовник може купити рулони стандартних чистих етикеток або ж етикеток із попереднім друком та використовувати їх по мірі необхідності. Перевагою такого виду друку є те, що не потрібно чекати на виготовлення етикеток поліграфічною компанією, а можна швидко задрукувати їх в місці, де це необхідно. Також цифровий друк дозволяє вносити зміни у будь-який момент, що неможливо для видів друку, де використовуються друкуючі форми. Наприклад, інформація про дату пакування чи вагу товару не є сталою і її як правило додруковують на принтерах чи електронних вагах. Приклад цифрового друку можна спостерігати на електронних вагах у супермаркеті — етикетки із попереднім задруком вставляються у вагу, де при кожному зважуванні здійснюється друк змінної інформації (ваги, часу, назви товару тощо).

Поліграфічне цифрове обладнання дозволяє друкувати продукцію як рулонно, так і планшетно, залежно від типу принтера. Рулонний друк здійснюється на матеріалах, які постачаються в рулонах, наприклад, банери,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

самоклейкі матеріали, ламінований папір, поліпропіленові плівки тощо. Планшетний тип дозволяє друкувати на рівних поверхнях, таких як пластик, керамічна плитка, скло та ін. Недоліком такого типу друку є складність роботи із нерівними поверхнями.

1.2 Процес трафаретного друку

Трафаретний друк складається з п'яти основних компонентів, а саме екрану, ракеля, чорнила, друкарських станцій і підкладок. Основний принцип трафаретного друку полягає у використанні основного принципу частини трафаретного друку сітки для проникнення чорнила, при цьому частина зображення, що не є зображенням сітки, не є прозорою для друку. Під час друку чорнило заливають на одному кінці трафаретної друкарської форми, і певний тиск наноситься на частину чорнила на пластині трафаретного друку за допомогою леза ракеля при переміщенні до іншого кінця пластини для трафаретного друку. Чорнило стискається з сітки графічної частини на підкладку ракелем під час руху. Завдяки в'язкому дії чорнила друк фіксується в певному діапазоні (рис 1.2).

Під час процесу друку ракель завжди знаходиться в лінії контакту з трафаретною друкованою пластиною і підкладкою, і лінія контакту рухається з рухом ракеля за рахунок трафаретної друкарської форми і підкладки. Між ними зберігається певний розрив, так що трафаретний друк під час друку створює реакційну силу проти ракеля за рахунок власного натягу, і ця сила реакції називається силою пружності. Завдяки пружності пластина для трафаретного друку і підкладка розташовані тільки в рухомому лінійному контакті, а інші частини трафаретної друкарської форми відокремлені від підкладки. Чорнило і екран розбиті, а друк гарантовано забезпечує точність розмірів і запобігає забрудненню підкладки. Коли ракель дряпає по всьому макеті, він піднімається,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

а екранна пластина піднімається, і чорнило обережно відскакують у вихідне положення. Це друкована поїздка.

Технологічний процес нанесення зображення трафаретним способом друку на матеріали легкої промисловості

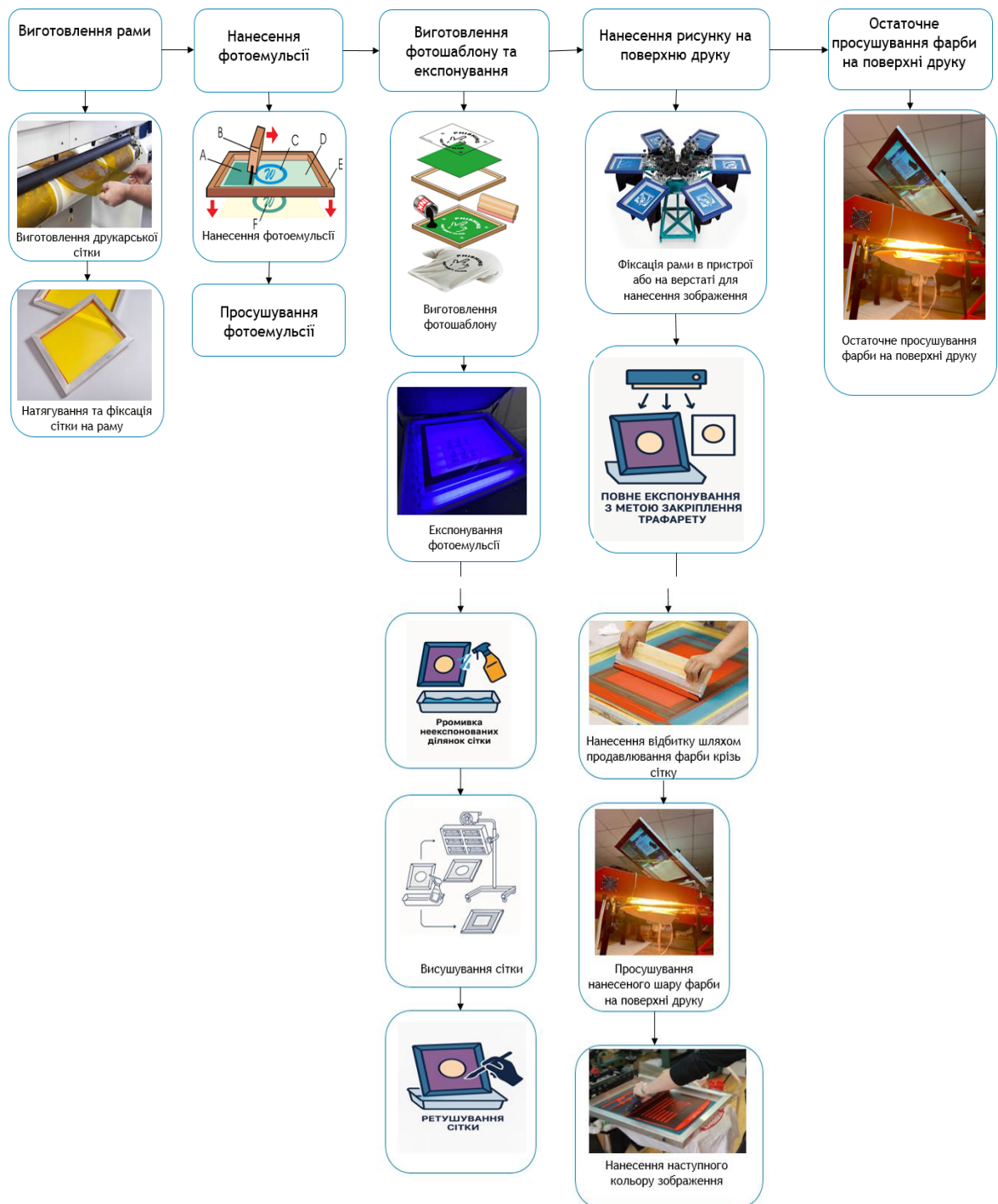


Рисунок 1.2- Технологічний процес трафаретного друку

Основними відмінностями між іншими методами друку є:

1. Пристосовність друку, три способи друку сильної літографії, тиснення та глибокого друку можна друкувати тільки на плоскій підкладці. Трафаретний друк можна друкувати не тільки на плоскій поверхні, але і на підкладках з вигнутими, сферичними і увігнутими поверхнями. З іншого боку, трафаретний друк можна друкувати не тільки на жорстких об'єктах, але і на м'яких об'єктах, не обмежуючись текстурою підкладки. На додаток до цього, крім прямого друку, трафаретний друк також може бути надрукований методом непрямого друку, як необхідно, тобто трафаретний друк на желатині або силіконовій пластині, а потім перенесений на підкладку. Отже, можна сказати, що трафаретний друк має високу адаптивність і має широке застосування.

2. Шар чорнила товстий і міцний, текстура міцна, текстура багатого офсетного і рельєфного шару чорнила зазвичай становить 5 мкм, глибина становить близько 12 мкм, флексографічний (аніліновий) шар друкованої фарби - 10 мкм, Товщина шару фарби набагато перевищує товщину вищевказаного шару фарби, і зазвичай становить до приблизно 30 мікрон. Товстий трафаретний друк для друкованих плат з товщиною шару чорнила до 1000 мкм. Шрифт Брайля друкується з піноутворюючим чорнилом, а товщина шару фарби після спінювання може досягати 300 мкм. Шар фарби для трафаретного друку є товстим, якість друку багата, а тривимірне відчуття сильне, що незрівнянно з іншими методами друку. Трафаретний друк можна виконувати не тільки в монохромному, але і в кольоровому та кольоровому екрані[6].

3. Сильного світлостійкості, яскравого кольору Тому що трафаретний друк має характеристики відсутнього друку, він може використовувати різноманітність фарб і покриттів, не тільки може використовувати суспензію, клей і різні пігменти, а також може використовувати більш грубі пігменти. Крім того, чорнило трафаретного друку є простим для приготування, наприклад, світлостійкий пігмент може бути безпосередньо поміщений в чорнило, що є ще однією важливою особливістю трафаретного друку. Продукція трафаретного друку має великі переваги у світлостійкості. Практично було показано, що

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

діапазон значень максимальної щільності, виміряний після одного тиснення на папері з покриттям з використанням чорної фарби, становить 1,4, офсетний друк - 1,6, глибина - 1,8, а трафаретний друк має діапазон максимальної щільності. До 2,0, світлостійкість продукції трафаретного друку сильніше, ніж у інших видів друкованої продукції, і вона більш підходить для реклами і вивісок на відкритому повітрі.

4. Велика область друку В даний час область друку загального офсетного друку, тиснення та інші способи друку можуть бути до повного розміру листа. Якщо він перевищує повний розмір аркуша, він обмежений механічним обладнанням. Трафаретний друк може бути використаний для великоформатного друку. На сьогоднішній день продукція трафаретного друку може досягати максимум 3 метрів x 4 метри або навіть більше.

Вище чотири пункти - це різниця між трафаретним друком та іншим друком, а також особливості та переваги трафаретного друку. Розуміючи характеристики трафаретного друку, при виборі методів друку можна розробити сильні сторони і уникнути слабкостей, виділити переваги трафаретного друку, щоб досягти більш ідеального ефекту друку.

1.3 Способи та обладнання сушки під час трафаретного друку

Після нанесення рисунку трафаретним методом на заготовку, його потрібно висушити для закріплення фарби на поверхні та запобігання її розмазуванню чи відшаруванню. Вибір способу сушіння залежить від типу фарби, матеріалу основи, а також вимог до швидкості та якості виробництва. Найпростіший варіант — природне сушіння за кімнатної температури, яке підходить для невеликих партій продукції. У промислових умовах найчастіше застосовують інфрачервоне або конвекційне сушіння, що забезпечує швидке й рівномірне висихання фарби. Для фарб, що полімеризуються під впливом ультрафіолету, використовують УФ-сушарки. Правильно обраний спосіб

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

сушіння гарантує довговічність зображення та збереження якості готового виробу.

Особливу увагу варто приділити інфрачервоному (ІЧ) сушінню, яке є одним із найефективніших і найпоширеніших методів у трафаретному друці, особливо при роботі з текстильними матеріалами. Суть цього способу полягає в нагріванні фарби за допомогою ІЧ-випромінювання, при сушінні інфрачервоними променями напрямки потоку вологи (градієнт вмісту вологи) і потоку тепла (градієнт температури) є протилежними, що дещо знижує швидкість сушіння у перший період. При поступовому прогріванні тіла волога переміщається всередину шару матеріалу, вміст вологи у віддалених від поверхні шарах зростає і виникає значний перепад вмісту вологи у тілі. До кінця періоду опромінення тіло прогрівається, перепад температур зменшується, волога рухається до поверхні і починає інтенсивно випаровуватись. Інтенсивність випаровування підвищується в десятки разів[8].

Виходячи з цієї проблеми у швидкому та якісному висушуванні трафаретних відбитків, постає необхідність у розробці технічного рішення — інфрачервоної сушарки. Її розробка дозволить оптимізувати процес сушіння, скоротити час виробництва, підвищити стабільність друку та зменшити залежність від зовнішніх умов, таких як температура і вологість навколишнього середовища. Крім того, впровадження ІЧ-сушарки сприятиме підвищенню енергоефективності та автоматизації технологічного процесу.

Для початку розглянемо, які є способи висушування зображень. У трафаретному друці використовують кілька основних методів сушіння:

Конвективне сушіння

При конвективному сушінні тепло передається від джерела теплової енергії до поверхні матеріалу, що піддається сушінню за допомогою теплоносія. Як теплоносії використовують повітря, інертні гази, димові гази, перегріту пару.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Фізична сутність процесу зводиться до видалення вологи з матеріалу за рахунок різниці парціальних тисків над матеріалом p_{pm} та в навколишньому середовищі p_{ps} . Процес сушіння відбувається за умови $p_{pm} > p_{ps}$. При вирівнюванні цих парціальних тисків настає рівновага і процес сушіння припиняється. Видалення вологи з поверхні тісно пов'язане з дифузією вологи всередині матеріалу до його поверхні. Ці два процеси повинні перебувати у строгій відповідності, в іншому випадку можливе пересихання, жолоблення поверхні матеріалу та погіршення його якості.

Таким чином, при конвективному сушінні волога переміщається до поверхні за рахунок градієнта вологості, градієнт температури дещо гальмує цей процес. За рахунок різниці температур на поверхні і всередині матеріалу відбувається рух вологи до середини, у напрямку зниження температури.

Рівноважна вологість, а значить і перебіг процесу конвективного сушіння залежать від властивостей матеріалу, що підлягає сушінню, характеру зв'язку з ним вологи і параметрів навколишнього середовища[9].

Контактне сушіння

При контактному сушінні тепло матеріалу, що піддається сушінню передається через нагріту перегородку, що контактує з матеріалом.

При контактному сушінні термодифузія і дифузія за рахунок різниці концентрації вологи є однаково спрямованими, що сприяє деякій інтенсифікації процесу на першому періоді сушіння. У другому періоді різниця температур зменшується, тому дещо знижується інтенсивність сушіння [10].

Інфрачервоне сушіння

При сушінні інфрачервоними променями напрямки потоку вологи (градієнт вмісту вологи) і потоку тепла (градієнт температури) є протилежними, що дещо знижує швидкість сушіння у перший період. При поступовому прогріванні тіла волога переміщається всередину шару матеріалу, вміст вологи у віддалених від поверхні шарах зростає і виникає значний перепад вмісту вологи у тілі. До кінця періоду опромінення тіло прогрівається, перепад температур

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

зменшується, волога рухається до поверхні і починає інтенсивно випаровуватись. Інтенсивність випаровування підвищується в десятки разів[11].

УФ-світлодіодне затвердіння для трафаретного друку

Технологія затвердіння УФ-світлодіодом чудово підходить для трафаретного друку в таких сферах застосування, як друк скла, пластикових пляшок і кришок. УФ-світлодіод має значні переваги перед традиційним ультрафіолетовим затвердінням для трафаретного друку, включаючи менші та легші лампи, менше обслуговування та простоїв, що призводить до вищих показників продуктивності, кращої адгезії на пігментованих продуктах, меншої кількості браку та вищої якості кінцевої продукції за нижчих витрат. Використання традиційних ультрафіолетових ламп для затвердіння чорнила на термочутливих основах, таких як пластикові косметичні предмети, може призвести до деформації. Ультрафіолетові світлодіоди забезпечують високу адгезію до покривних чорнил, забезпечуючи насичені кольори на складніших основах. Завдяки вузькій високій довжині хвилі UV-A ультрафіолетові світлодіоди виділяють значно менше тепла. Довжина хвилі UV-A також дозволяє проводити більш проникаюче затвердіння, що є перевагою при зіткненні з більш товстими ділянками. Щоб скористатися перевагами затвердіння УФ-світлодіодів, вам потрібні чорнила, розроблені для затвердіння в межах високої довжини хвилі UV-A, що виробляється світлодіодною лампою. Ультрафіолетові світлодіодні екранні чорнила включають фотоініціатори, які поглинають задані довжини хвиль UV-A, необхідні для забезпечення повного затвердіння з бажаною швидкістю.

Сьогодні компанії пропонують ультрафіолетові світлодіодні чорнила для конкретних застосувань, включаючи декорування пляшок, друк на контейнерах, довговічні наклейки, мембранні перемикачі, а також графіку для внутрішніх і зовнішніх точок продажу. Деякі ультрафіолетові світлодіодні екранні чорнила мають формули «подвійного затвердіння», які також працюють із традиційними системами затвердіння парами ртуті.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Кожна нова формула чорнила повинна забезпечувати бажану ефективність затвердіння на швидкості виробництва, а також відповідати вимогам до адгезії та довговічності конкретних застосувань[13].

Хоч усі вище перелічені методи є дієвими, проте вони не є поширеними в трафаретному сушінні. Одним з найбільш поширених та дієвих методів є інфрачервоне сушіння.

Інфрачервоне сушіння вважається одним із найкращих методів сушіння у трафаретному друці завдяки своїй ефективності, простоті та універсальності. Основна перевага цього способу полягає в тому, що інфрачервоне випромінювання швидко нагріває фарбу, прискорюючи процес її висихання. На відміну від природного сушіння, яке займає багато часу та залежить від зовнішніх умов, інфрачервоне сушіння забезпечує стабільний результат за лічені секунди.

Крім того, інфрачервоні сушарки споживають менше енергії, ніж традиційні системи з обдувом гарячим повітрям, оскільки тепло спрямовується безпосередньо на зону друку, не нагріваючи зайво повітря навколо. Обладнання для ІЧ-сушіння зазвичай компактне та легко вбудовується в друкарські лінії, що особливо зручно в умовах обмеженого виробничого простору[14].

Ще однією важливою перевагою є можливість використовувати інфрачервоне сушіння як на завершальному етапі, так і в якості проміжного сушіння між нанесенням різних шарів фарби. Це дозволяє запобігти змішуванню кольорів і забезпечити чітке, якісне зображення. Завдяки цим властивостям інфрачервоне сушіння широко застосовується в сучасному трафаретному друці як на невеликих виробництвах, так і у великих друкарських цехах.

Преса для трафаретного друку

Трафаретний друкарський верстат, також званий машиною трафаретного друку, є серцем будь-якої операції трафаретного друку. Це надпотужне обладнання, яке має різні розміри та конфігурації залежно від розміру друку, обсягу та складності дизайну. Трафаретний друкарський верстат складається з

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

кількох ключових компонентів, включаючи станцію друку, пристрій для утримання трафарету та ракель. Станція друку – це місце, де розміщується підкладка (матеріал, на якому друкується), а пристрій для утримання трафарету закріплює сітчастий трафарет на місці. Рапель рухається по сітці та натискає чорнило через трафарет на основу.

Трафаретні машини бувають двох основних типів: ручні та автоматичні. Ручні преси покладаються на людську силу для роботи, тобто принтеру потрібно вручну розташувати субстрат і потягнути рапель по сітці. Навпаки, автоматичні преси мають автономне живлення та використовують двигуни та пневматику для переміщення підкладки та ракеля, що робить процес друку швидшим та ефективнішим.

Після того, як трафарет був експонований і проявлений, його потрібно висушити, перш ніж його можна буде використовувати для друку. Тут стане в нагоді сушильна шафа. Це машина, яка використовує тепло та циркуляцію повітря для швидкого та рівномірного висихання екранів, запобігаючи відшарування або розтріскування емульсії. Шафа для сушіння сит має камеру з регульованою температурою з кількома полицями, які можуть вміщувати кілька сит одночасно. Принтер поміщає щойно розроблені сита всередину шафи та встановлює температуру та тривалість циклу сушіння. Гаряче повітря циркулює всередині камери, видаляючи вологу з екранів і залишаючи їх готовими до друку.

Система змішування чорнила

Трафаретний друк вимагає точного поєднання кольорів чорнила для досягнення бажаного відтінку та непрозорості. Таким чином, система змішування чорнила є життєво необхідною машиною в будь-якій майстерні трафаретного друку. Це машина з комп'ютерним керуванням, яка розподіляє та змішує чорнило відповідно до специфікацій принтера, заощаджуючи час і зменшуючи відходи. Система змішування чорнила складається з комп'ютера, блоку дозування та бази даних кольорів. Принтер вибирає потрібний колір

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

чорнила і вводить необхідну кількість на комп'ютері. Пристрій видачі наливає відповідну кількість чорнильної основи та пігменту в ємність для змішування та перемішує суміш. Потім принтер може перевірити колір на зразку підкладки, поки він не збігається з бажаним відтінком і консистенцією.

Типи конструкцій обладнання інфрачервоного сушіння

На рисунку (1.3) зображено стаціонарну інфрачервону сушку, яка використовується для сушіння матеріалів після трафаретного друку. Цей тип сушильного обладнання є стаціонарним, тобто не має рухомих частин для транспортування матеріалу під час сушіння. Основними елементами конструкції є інфрачервоні випромінювачі, розміщені у верхній частині камери, які забезпечують спрямоване теплове випромінювання на поверхню виробу.

Матеріал розміщується на перфорованій або суцільній основі всередині сушильної камери. Інфрачервоне випромінювання нагріває поверхню, викликаючи швидке випаровування вологи або розчинників із фарби. Така конструкція забезпечує ефективне та рівномірне сушіння, що є важливим для досягнення якісного друку. Стаціонарна інфрачервона сушка зазвичай застосовується в умовах дрібносерійного або середньосерійного виробництва[20].

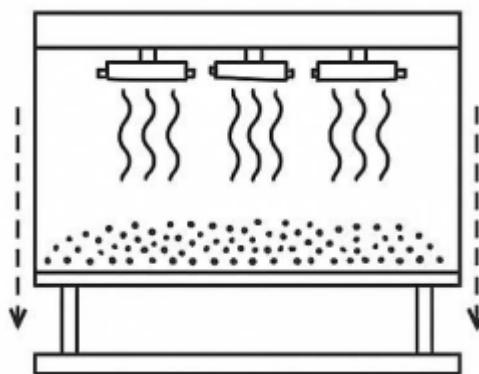


Рисунок 1.3 – Стаціонарна інфрачервона сушарка

Конвеєрна (стрічкова) інфрачервона сушка (рис.1.4) є автоматизованим типом сушильного обладнання, який забезпечує безперервний процес обробки продукції. У конструкції використовується рухома стрічка (конвеєр), яка

транспортує матеріали крізь зону нагріву. Над стрічкою встановлені інфрачервоні випромінювачі, що забезпечують спрямоване теплове випромінювання на поверхню виробу.

Такий тип сушарки дозволяє ефективно висушувати великі обсяги продукції за короткий час, що робить її зручною для серійного та масового виробництва. Конвеєрна сушка забезпечує рівномірне сушіння завдяки постійному руху матеріалу та рівномірному розташуванню нагрівальних елементів[21].

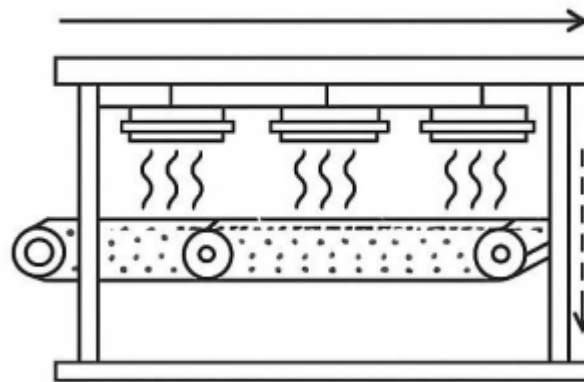


Рисунок 1.4 – Конвеєрна (стрічкова) сушарка

Барабанна сушарка з інфрачервоним нагрівачем є теплотехнічним обладнанням, призначеним для сушіння різноманітних матеріалів за рахунок поєднання механічного руху та інфрачервоного випромінювання. Основним елементом конструкції є циліндричний перфорований барабан, який обертається навколо своєї осі. Внутрішня частина барабана оснащена інфрачервоними нагрівальними елементами, які забезпечують рівномірне прогрівання матеріалу під час його переміщення всередині барабана (рис. 1.5).

Матеріал, що підлягає сушінню, завантажується всередину барабана і під дією обертання постійно переміщується, що сприяє однорідному висушуванню. Завдяки перфорації корпусу забезпечується циркуляція повітря і ефективне видалення вологи. Такий тип сушарки широко використовується в харчовій, хімічній, текстильній промисловості, а також для обробки сипучих матеріалів.

Поєднання механічного перемішування з інтенсивним інфрачервоним нагрівом дозволяє зменшити час сушіння, підвищити енергоефективність процесу та зберегти якість оброблюваного матеріалу[22].

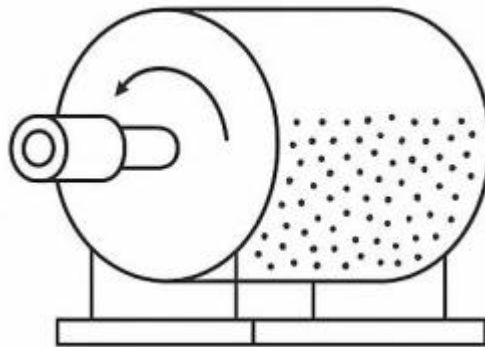


Рисунок 1.5 – Барабана сушарка з інфрачервоним нагрівачем

Камерні інфрачервоні сушарки (рис. 1.6) — це вид теплотехнічного обладнання, призначеного для сушіння матеріалів у замкненому просторі за допомогою інфрачервоного випромінювання. Конструкція такої сушарки зазвичай являє собою теплоізольовану камеру з дверцятами, всередині якої розміщуються робочі лотки або полиці з оброблюваним матеріалом.

У верхній частині камери встановлені інфрачервоні нагрівачі, які випромінюють тепло в напрямку вниз. Теплова енергія передається безпосередньо до поверхні матеріалу, що забезпечує швидке й рівномірне випаровування вологи. Така система дозволяє зменшити тривалість сушіння, підвищити енергоефективність та зберегти властивості оброблюваного продукту.

Камерні ІЧ-сушарки використовуються в харчовій, фармацевтичній, хімічній промисловості, а також для лабораторних цілей. Основними перевагами є компактність, керованість температурного режиму та можливість обробки матеріалів із підвищеними вимогами до якості сушіння.[23]

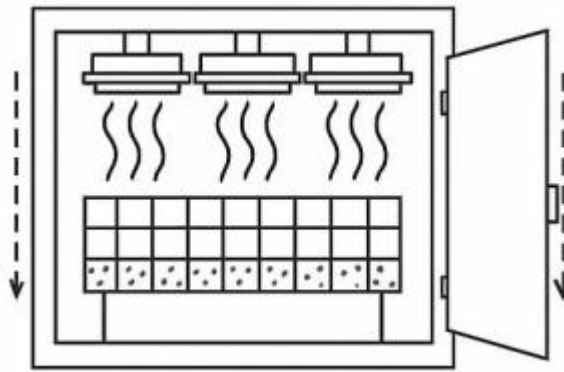


Рисунок 1.6 – Камерна інфрачервона сушарка

1.4 Висновки до розділу

У першому розділі кваліфікаційної дипломної роботи проаналізовано особливості технології трафаретного друку та визначено важливість етапу сушіння зображення для забезпечення його якості, довговічності та естетичної привабливості. Було з'ясовано, що серед сучасних способів сушіння інфрачервона технологія є однією з найефективніших завдяки своїй енергоефективності, швидкості, рівномірності нагріву та компактності обладнання.

Розглянуто основні види оздоблення текстильних виробів, класифікацію типів друку, технічні та технологічні особливості трафаретного методу. Також охарактеризовано ключові типи обладнання для ІЧ-сушіння: стаціонарні, конвеєрні, камерні та барабанні сушарки, а також порівняно їх переваги та сфери застосування.

На основі огляду літературних джерел та аналізу існуючих технологічних рішень сформульовано вимоги до проектованої ІЧ-сушарки: забезпечення рівномірного прогріву поверхні виробів, безпека, енергоефективність, можливість інтеграції в технологічний процес трафаретного друку. Розробка такого обладнання дозволить підвищити продуктивність виробництва та якість готової продукції, а також зменшити енергоспоживання.

2 Розрахунок нагрівальних елементів та підбір електричної конструкції

Правильний вибір елементів автоматики та розрахунок нагрівальних елементів має вирішальне значення для забезпечення стабільної роботи обладнання, енергоефективності процесу та досягнення необхідних технологічних параметрів сушіння. Головною метою є здійснення розрахунків основних характеристик ІЧ-нагрівачів, з урахуванням теплових втрат, площі обігріву, необхідної потужності та робочих температур, а також розглянути вплив параметрів випромінювання на ефективність сушіння.

Параметри системи з трифазним реле

- Кількість ламп: 6 шт
- Потужність однієї лампи: 1 кВт
- Загальна потужність: 6.1 кВт
- Живлення: 3 фази, 380 В
- Тип реле: 3-фазний контактор з керуванням від однієї фази або від окремого реле
- Потужність однієї ІЧ-лампи: 1 кВт (1000 Вт)

Для забезпечення стабільної та безпечної роботи інфрачервоної сушарки на 6 ламп потужністю по 1 кВт кожна доцільно використовувати трифазне живлення напругою 380 В з підключенням через трифазний контактор. У цьому випадку загальна потужність навантаження становить 6.1 кВт, що дозволяє рівномірно розподілити навантаження між трьома фазами. Лампи розбиваються на три групи: до фази L1 підключаються дві лампи (2 кВт), до фази L2 — ще дві лампи (2 кВт), а до фази L3 — дві лампи (2 кВт). Усі лампи працюють у режимі фазного навантаження, тобто підключаються між відповідною фазою (L1, L2 або L3) та нейтраллю (N), а не між фазами.

Живлення на лампи подається через трифазний контактор, який одночасно замикає три силові лінії. Це дозволяє централізовано вмикати та вимикати всі групи ламп за допомогою кнопки «Пуск» або додаткових пристроїв керування —

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

таких як таймер, термореле або автоматична система підтримки температури. Керування котушкою контактора здійснюється зазвичай через одну з фаз і нейтраль, з використанням кнопок «Пуск» і «Стоп», а також блок-контактів для фіксації стану (самопідхоплення). За потреби в ланцюг керування може бути додано термостат або датчик температури, що вимикатиме сушку при досягненні заданої температури.

Такий підхід забезпечує надійність, безпечність та енергоефективність системи, а також дозволяє легко масштабувати або регулювати кількість активних ламп шляхом перепідключення груп. Використання трифазного живлення значно зменшує струмове навантаження на кожен фазу, порівняно з однофазним підключенням, що особливо важливо для стабільної роботи в промислових умовах або при використанні довгих кабельних ліній. У монтажі можна поєднати деякі лампи між фазами (лінійно), або організувати «зірку» — залежно від конфігурації.

Таблиця 1.1 - підключення фаз до ламп інфрачервоної сушарки

| Фаза | Кількість ламп | Сумарна потужність |
|-------|----------------|--------------------|
| L1 | 2 лампи | 2 кВт |
| L2 | 2 лампи | 2 кВт |
| L3 | 2 лампи | 2 кВт |
| Разом | 6 ламп | 6 кВт |

Розрахунок струму через реле

Загальний струм у трифазному ланцюгу (по кожній фазі):

$$I = \frac{P \text{ фази}}{U \text{ лінійна} * \sqrt{3}} \approx \frac{6000}{380 * 1.732} \approx 9.11 \quad (2.1)$$

де: I — електричний струм.

P фази — потужність споживача або навантаження.

U лінійна — електрична напруга.

Виходячи з цього можна зробити такі висновки:

— Контактор має бути на струм не менше 20 А, краще з запасом — 25–32

А

— Котушка керування: 380 В — Автоматичний вимикач на вході — 3Р,
16–20 А, тип С

2.1 Розрахунок вибору автоматики для інфрачервоної сушарки

1. Вибір автоматичного вимикача (захист мережі)

Для захисту лінії живлення слід встановити триполюсний автоматичний вимикач [13].

— Тип: автоматичний вимикач, 3Р

— Номінальний струм: з запасом 20–25%

— Тип спрацювання: тип С (для помірного пускового струму)

— Тип моделі: АВВ S203 С20

2. Вибір контактора (керування навантаженням)

Контактор повинен вмикати й вимикати лампи централізовано [14].

— Номінальний струм контактів: з запасом не менше 20–25 А

— Котушка керування: напруга 220 В АС (найчастіше) або 380 В

— Кількість полюсів: 3

— Контакти: NO (нормально розімкнуті), контактор 3Р, 25–32 А, котушка
220 В

АВВ А26-30-10 або Schneider LC1D32

3. Вибір кнопок керування (Пуск / Стоп) [20].

— Кнопка «Пуск»: нормально розімкнений контакт (NO)

— Кнопка «Стоп»: нормально замкнений контакт (NC)

Для самозахоплення використовується допоміжний контакт контактора (13–14), кнопки типу SB7, Ø22 мм, з поверненням

4. Таймер або термостат[15]

Якщо потрібно обмежити час або температуру сушіння:

Таймер:

— Реле часу з діапазоном 0–30 хв, 220 В АС RE17RMMU (Schneider) або H3CR-A8 (Omron)[16].

Термореле:

— Для відключення при перегріванні
— Тип: термостат з датчиком NTC/PT1000 цифрове термореле на DIN-рейку

5. Додатковий захист

— Плавкі запобіжники на кожен фазу (особливо якщо автомат не має терромагнітного захисту)[24]

— Індикатори напруги або контроль фаз (для промислового середовища)[25]

— Магнітне реле перевантаження — у випадку прямого запуску двигунів (наприклад, вентилятора).

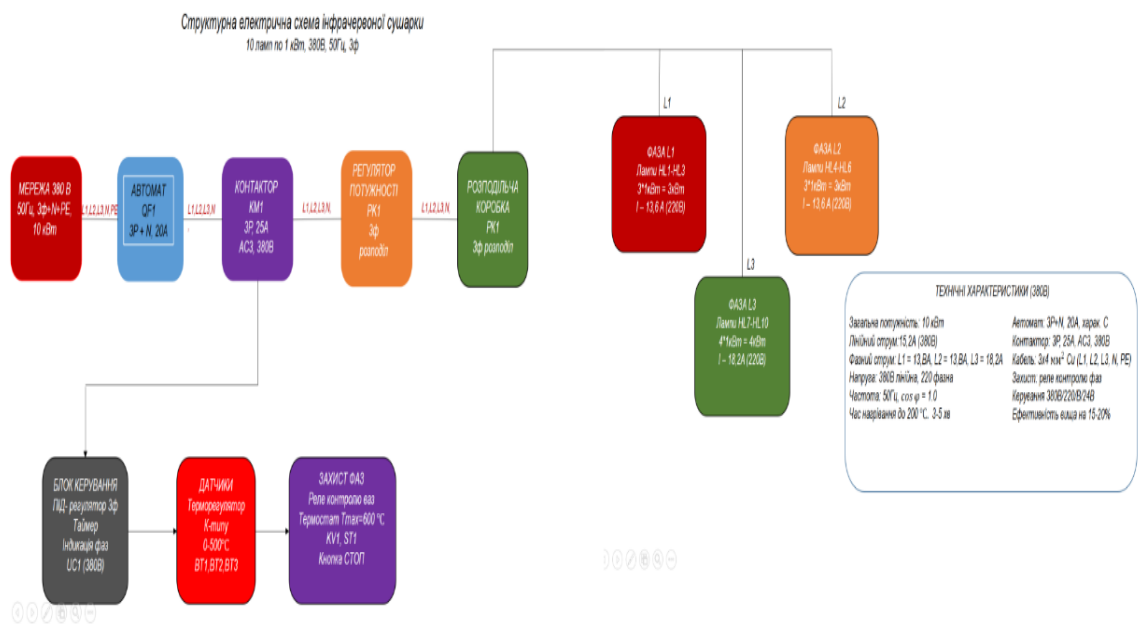


Рисунок 1.8 – Структурна електрична схема інфрачервоної сушарки[19]

Інфрачервона сушарка живиться від трифазної мережі 380 В. На вході встановлюється автоматичний вимикач, який забезпечує захист від перевантаження та короткого замикання. Після автомата електроенергія подається на контактор, який керує подачею напруги до нагрівальних елементів — інфрачервоних ламп. Контактор вмикається або вимикається за командою від керуючого блоку, який складається з ПД-регулятора, таймера та реле контролю фаз.[25]

До керуючого блоку підключена термопара, що вимірює температуру в зоні нагріву. Отримані дані обробляються регулятором, який у режимі зворотного зв'язку підтримує задану температуру, вмикаючи або вимикаючи контактор. У випадку перегріву або аварійної ситуації спрацьовує система температурного захисту, яка припиняє подачу живлення на лампи.

Навантаження у вигляді десяти інфрачервоних ламп потужністю по 1 кВт рівномірно розподіляється між трьома фазами. Це дозволяє знизити струмове навантаження на кожен фазу, зменшити переріз кабелів живлення і забезпечити стабільну та безпечну роботу системи. Лампи згруповані по фазах: дві підключено до L1, дві — до L2, і дві — до L3. Такий розподіл дає змогу оптимізувати споживання потужності та уникнути перекосу фаз.

Сушильна стійка має чітко визначене розміщення ламп відповідно до фазового підключення. У центрі зони нагріву розміщується продукт, який рівномірно обігрівается інфрачервоним випромінюванням з різних боків. Загальна електрична схема забезпечує автоматизоване керування температурою, часом роботи та захистом від аварійних ситуацій, роблячи процес сушіння надійним, ефективним і безпечним.[27]

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

2.2 Розрахунок на кількість теплоти яка виділяється нагрівальними елементами

Кількість теплоти, яка виділяється електричними нагрівальними елементами (у даному випадку — інфрачервоними лампами), визначається за формулою:

$$Q = P * t * \eta, \quad (2.2)$$

де:

Q — кількість теплоти, Дж;

P — споживана потужність, Вт;

t — час роботи, с;

η — коефіцієнт корисної дії (ефективність передачі енергії у тепло).

Підставляємо значення у формулу (2.2):

$$Q = 6\,000 * 3600 * 0.841 = 18\,165\,600 \text{ Дж}$$

За одну годину інфрачервона сушарка виділяє $Q = 18.1$ МДж. Це реальна кількість теплової енергії, яка досягає поверхні матеріалу або об'єкта, що нагрівається. 18.1 МДж цілком вистачить щоб висушити зображення і не пошкодити матеріал деталі тканини.

2.3 Розрахунок коефіцієнту корисної дії

У процесах термічної обробки матеріалів, зокрема при сушінні інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням, важливим параметром, що визначає ефективність обладнання, є коефіцієнт корисної дії (ККД). Цей показник відображає, яка частка спожитої електричної енергії фактично перетворюється на корисну теплову енергію, що передається нагрівальному об'єкту.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

При роботі інфрачервоної сушарки частина енергії неминує втрачається через відбиття, поглинання повітрям, теплові втрати корпусу, випромінення поза робочою зоною тощо. Тому визначення ККД дозволяє об'єктивно оцінити реальну ефективність сушіння, враховуючи втрати і теплопередачу[18].

Формула ккд:

$$\eta = \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\text{в}}} \quad (2.3)$$

де:

η — коефіцієнт корисної дії (від 0 до 1 або 0 % – 100 %)

$Q_{\text{к}}$ — кількість теплоти, яка реально нагріває виріб, Дж

$Q_{\text{в}}$ — загальна кількість енергії, спожитої лампами, Дж

Вихідні дані:

Потужність сушарки – 6.1Вт = 6 100 Вт

Тривалість роботи – 1 година = 3600 с

Корисне тепло що передається об'єкту – 18.1 МДж = 18 165 600

Загальна спожита енергія – $P * t = 6000 * 3600 = 21\,600\,000$ L

Обчислення за формолою (2.3):

$$\eta = \frac{18\,165\,600}{21\,600\,000} \approx 0.841$$

$$\eta = 84.1 \%$$

За результатами розрахунку встановлено, що коефіцієнт корисної дії інфрачервоної сушарки потужністю 6.1 кВт становить приблизно 84.1%. Це свідчить про високу ефективність перетворення електричної енергії у теплову при мінімальних втратах. Значення ККД підтверджує доцільність використання інфрачервоної технології у виробничих умовах, де необхідне швидке та локальне нагрівання матеріалів.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Розподіл споживчої енергії потужністю 6.1 кВт (за 1 годину роботи)

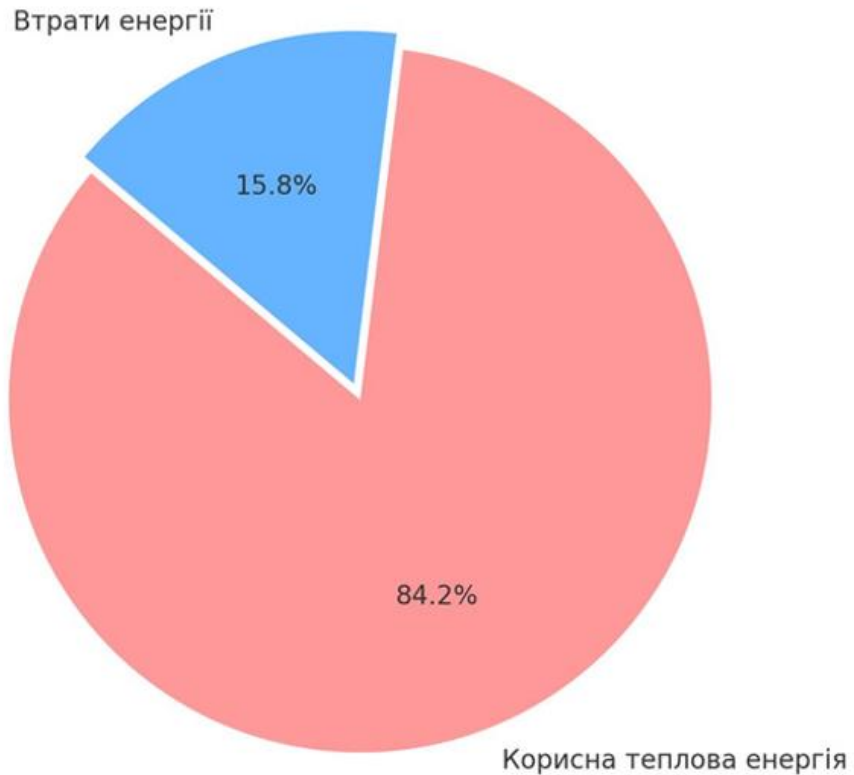


Рисунок 2.1 – Графік спожитої енергії

Графік, який показує розподіл енергії, спожитої інфрачервоною сушаркою потужністю 6.1 кВт за 1 годину:

84.1 % — корисна теплова енергія, що реально нагріває виріб.

15.9 % — втрати енергії (випромінювання в повітря, відбиття, нагрів корпусу тощо) (рис 2.1).

2.4 Вибір інфрачервоної лампи

Вибір інфрачервоної лампи для інфрачервоної сушарки трафаретного друку є одним із ключових аспектів забезпечення високої якості друку та ефективності виробничого процесу. Для цього виду обладнання оптимальним є використання інфрачервоних ламп потужністю 175 Вт і напругою 230 В, що дозволяє отримати необхідний рівень теплового випромінювання для швидкого

та рівномірного висихання фарби. Важливим параметром є також великий термін служби ламп, який складає близько 5000 годин. Це забезпечує тривалу експлуатацію сушарки без частих технічних перерв на заміну ламп, що знижує витрати на обслуговування та підвищує продуктивність виробництва[26].

Інфрачервоне випромінювання, яке використовують ці лампи, відрізняється тим, що воно не потребує повітря як середовища для передачі тепла. Це означає, що енергія передається безпосередньо на поверхню фарби, мінімізуючи теплові втрати і роблячи процес сушіння більш енергоефективним. Крім того, інфрачервоні лампи забезпечують рівномірний розподіл тепла по всій робочій поверхні, що важливо для запобігання перегріву окремих ділянок і уникнення дефектів друку.

Для досягнення максимальної ефективності та рівномірного нагріву у сушарці встановлюється десять інфрачервоних ламп. Така кількість дозволяє створити оптимальний температурний режим, який забезпечує швидке висихання фарби без втрати її якості та адгезії до поверхні. Це особливо важливо при роботі з різними типами фарб і матеріалів, де точний контроль температури є запорукою отримання стабільного результату.

Використання шести ламп по 175 Вт також дає можливість регулювати інтенсивність нагріву, включаючи або вимикаючи окремі лампи залежно від потреб технологічного процесу. Це підвищує гнучкість обладнання і дозволяє адаптуватися до різних умов друку. Загалом, правильний вибір та якісні характеристики інфрачервоних ламп суттєво впливають на продуктивність сушарки, енергозбереження і кінцеву якість продукції[30].

Характеристики:

Потужність – 175 W

Напруга – 230 V

Термін служби – 5000 годин

Тип лампи – інфрачервона лампа

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

2.5 Підбір вентилятора

Найкращим ефективним варіантом для охолодження буде вентилятор SUNON AC A2123HBT-7 на 220 В із габаритами 120×120×38 мм є цілком обґрунтованим для систем охолодження у промислових або напівпромислових пристроях, зокрема в інфрачервоних сушарках[17]. Завдяки робочій напрузі 220 В він може безпосередньо підключатися до стандартної електромережі без потреби в перетворювачах живлення, що значно спрощує монтаж і підвищує надійність. Частота обертів 2700 об/хв забезпечує стабільну і потужну вентиляцію, а продуктивність до 190 м³/год дозволяє ефективно відводити тепло від нагрівальних елементів або з робочої зони сушарки. Потужність вентилятора складає лише 23 Вт, що робить його енергоефективним рішенням при достатньо високій продуктивності[29]. Крім того, відомий виробник Sunon гарантує якість, довговічність і стабільну роботу пристрою, що критично важливо для безперервних технологічних процесів. Саме поєднання компактних розмірів, високої продуктивності та надійності робить цей вентилятор оптимальним варіантом для систем, де потрібне ефективне повітряне охолодження в умовах обмеженого простору. Для нормальної роботи потрібно 2 вентилятора [14].

Розрахунок на споживчий струм. Можна оцінити струм споживання за формулою:

$$I = \frac{P}{U * \cos\varphi} \quad (2.4)$$

де:

$P = 23$ Вт – активна потужність,

$U = 220$ В,

$\cos\varphi = 0.7$ – типовий коефіцієнт потужності для малих асинхронних вентиляторів:

$$I = \frac{23}{220 * 0.7} \approx 0.15$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Струм становить приблизно 150 мА. Вентилятор виконує допоміжну функцію – охолодження. Він не є основним елементом сушіння, але важливий для стабільної роботи інфрачервоної сушарки[28].

Розрахунок повітряного обміну у приміщенні або корпусі.

Для оцінки, наскільки ефективно вентилятор провітрює певний об'єм, використовується формула:

$$n = \frac{Q}{V} \quad (2.5)$$

де:

$n = 190 \text{ м}^3/\text{год}$ – об'єм повітря, який переміщує вентилятор,
 $V = \text{об'єм корпусу або приміщення в } \text{м}^3$, якщо об'єм корпусу сушарки складає 0.3 м^3 :

$$n = \frac{190}{0.3} \approx 633 \text{ обмнв/год}$$

Це високе значення, отже вентилятор цілком достатній для швидкого охолодження або примусового обдування.

Для приблизної оцінки, скільки тепла може видалити вентилятор, можна провезти розрахунок тепловідводу вентилятора за формулою:

$$Q_{\text{тепл}} = m * c_p * \Delta T \quad (2.6)$$

де:

m – масова витрата повітря,

$c_p = 1005 \text{ Дж/(кгС)}$ – теплоємність повітря

ΔT – перепад температур (наприклад, 10°C).

Спочатку знайдем масову витрату:

$$m = \rho * V = 1.2 * \frac{190}{3600} \approx 0.0633 \text{ кг/с}$$

виходячи з цього можна розрахувати $Q_{\text{тепл}}$:

$$Q_{\text{тепл}} = 0,0633 * 1005 * 10 \approx 636 \text{ Вт}$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Тобто вентилятор здатен відводити до 636 Вт тепла, якщо повітря прогрівається на 10°C — це дуже ефективно для локального охолодження ІЧ-елементів.

2.6 Розрахунок споживання електроенергії вентилятора за часом

Розрахунок кількості енергії, яку споживає вентилятор за певний час роботи:

$$E = P * t \quad (2.7)$$

де:

$P = 46$ Вт – потужність двох вентиляторів,

t – час роботи в годинах

Наприклад за 8 годин роботи:

$$E = 46 * 8 = 368 \text{ Втгод} = 0.368 \text{ кВтгод}$$

Таким чином, використання двох вентиляторів забезпечує достатнє охолодження при мінімальному енергоспоживанні, що робить систему ефективною та енергоощадною в довгостроковій експлуатації[18].

2.7 Висновки до розділу

У другому розділі кваліфікаційної дипломної роботи проведено технічне обґрунтування та розрахунки нагрівальних елементів для інфрачервоної сушарки, яка використовується в процесі трафаретного друку. Зокрема, здійснено підбір електричної схеми живлення, визначено оптимальну кількість та потужність ІЧ-ламп, а також розглянуто структуру автоматизованої системи керування нагрівом. Розрахунки показали, що використання десяти

інфрачервоних ламп загальною потужністю 10 кВт дозволяє досягти високої продуктивності сушіння при ефективному енергоспоживанні.

Електрична схема з трифазним живленням забезпечує рівномірний розподіл навантаження, що сприяє стабільності роботи обладнання. Визначено, що коефіцієнт корисної дії системи становить близько 84 %, що свідчить про високу енергоефективність конструкції.

Крім того, підібрано відповідні елементи автоматики — контактор, автоматичний вимикач, кнопки керування, термостат і вентилятор охолодження — які забезпечують безпечну та надійну експлуатацію пристрою. Розрахунок теплової енергії підтвердив здатність сушарки ефективно передавати тепло до об'єкта обробки.

Загалом, результати другого розділу підтверджують технічну доцільність запропонованого рішення, енергоефективності та адаптованість до виробничих умов сучасного текстильного виробництва.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3. Розробка креслення інфрачервоної сушарки

Об'єктом проектування є інфрачервона сушарка, призначена для технологічного процесу проміжного сушіння текстильних або інших матеріалів після трафаретного друку. До основних вимог, що ставляться до даного виробу, належать: забезпечення рівномірного теплового впливу, надійність у роботі, простота експлуатації та мобільність конструкції.

3.1 Вибір габаритних розмірів конструкції нижньої колони

Габаритні розміри конструктивного елемента визначаються з урахуванням його призначення, умов експлуатації, допустимих навантажень і монтажних вимог. Їхній правильний підбір безпосередньо впливає на надійність, стійкість, зручність установлення та економічність виготовлення. У конструкції основними параметрами є висота вертикального елемента, площа та товщина опорної плити, а також розміри косинки (ребра жорсткості) (рис. 3.1).

1. Висота вертикального елемента — 280 мм

Цей розмір обраний на основі передбачуваного положення робочої або кріпильної поверхні відносно опорного рівня. Він дозволяє досягти необхідної висоти монтажу обладнання або кріплення деталей, забезпечуючи зручність доступу, а також відповідність ергономічним або конструкційним вимогам.

2. Розмір опорної плити — 250×145 мм

Розміри основи визначаються зіставленням кількох факторів:

Стійкість конструкції — чим більша площа опори, тим краща стійкість до перекидання або хитання;

Місце встановлення — обмеження розмірами суміжних елементів або простору на монтажній поверхні;

Кількість і розташування кріпильних отворів — для забезпечення рівномірного навантаження та надійного кріплення.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Цей розмір дає змогу рівномірно розташувати кріпильні отвори по периметру плити, зберігаючи достатню відстань від країв для зварювання або свердління.

3. Товщина опорної плити — 4 мм

Товщина листового металу підібрана на основі розрахунку на жорсткість і згин. Вона достатня для того, щоб не деформуватися під вагою всієї конструкції або навантаженням зверху. Водночас цей розмір не є надлишковим, що дозволяє зменшити масу виробу та витрати матеріалу.

4. Розміри профільної труби — 43×43 мм, товщина стінки (орієнтовно) 2 мм

Такий профіль забезпечує баланс між жорсткістю і вагою. Квадратна труба має добру опірність до згину та скручування, а зовнішній розмір 43 мм забезпечує достатню площу для зварювання й монтажу додаткових елементів.

5. Ребро жорсткості — трикутник 73×73 мм, товщина 4 мм

Це ребро виконує роль підсилювача, який значно знижує деформації в зоні стику вертикальної труби з основою. Розмір 73 мм обраний як достатній для створення ефективною жорсткої діагоналі, без значного збільшення маси конструкції.

3.2 Розрахунок нижньої колони (стійки) для обладнання інфрачервоного сушіння

На кресленні (БРМА 25.00.01.000 СК) зображено конструктивний елемент, що виконує функцію опори в складі більшого механізму. Виріб складається з кількох основних частин: вертикального профільного елемента, горизонтальної основи, а також ребра жорсткості, що підсилює з'єднання. Для оцінки параметрів такого виробу важливим є визначення його ваги (маси), що впливає на загальну стійкість конструкції, навантаження на опори та зручність монтажу.

Вихідні дані:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Креслення зображено, що конструкція складається з таких елементів:

1. Вертикальний профіль — квадратна труба 43×43 мм, висота 280 мм.
2. Основа — плита 250×145×4 мм.
3. Косинка (ребро жорсткості) — трикутна пластина.
4. Кріпильні отвори — не впливають суттєво на масу,

Для розрахунку ваги спочатку потрібно обчислити об'єм кожної деталі за формулою:

$$m = \rho * V \quad (3.1)$$

де:

m – маса тіла (у грамах або кілограмах)

ρ – густина матеріалу (для сталі $\approx 7.85 \text{ г/см}^3$)

V – об'єм тіла (у см^3 або м^3)

Для різних частин конструкції використовуються стандартні геометричні формули:

1. Прямокутна плита

$$V = a * b * h \quad (3.2)$$

де:

a, b – сторони

h – товщина

2. Порожниста квадратна труба

$$V = V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}} = (A^2 - B^2) * H \quad (3.3)$$

де:

A – зовнішній розмір

B – внутрішній (з урахуванням товщини стінки)

H – висота труби.

3. Трикутна косинка (ребро жорсткості)

$$V = \frac{1}{2} * a * b * t$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

де:

a, b – сторони прямокутного трикутника

t – товщина пластини

Обчислюємо об'єм кожної деталі за наведеними формулами (3.2), (3.3),

(3.4)

1. Обчислюємо об'єм профільної труби 43х43 мм, товщина стінки приймемо – 2 мм.

Зовнішній об'єм труби:

$$V_{\text{зовн}} = 43\text{мм} * 43\text{мм} * 280\text{мм} = 516\,280\text{ мм}^3$$

Внутрішній об'єм (враховуючи товщину 2 мм → внутрішній розмір 39×39 мм):

$$V_{\text{зовн}} = 39\text{мм} * 39\text{мм} * 280\text{мм} = 425\,880\text{ мм}^3$$

Реальний об'єм труби :

$$V_{\text{труби}} = V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}} = 516\,280 - 425\,880 = 90\,400 = 90.4\text{ см}^3$$

2. Обчислюємо об'єм плити – основи 250х145х4

$$V_{\text{плити}} = 259 * 145 * 4 = 145\,000\text{ мм}^3 = 145\text{ см}^3$$

3. Обчислюємо трикутну пластину з розмірами 73х73, товщина 4

мм:

$$S_{\text{трикутника}} = \frac{1}{2} * 73 * 73 = 2664.5\text{ мм}^2$$

$$V_{\text{ребра}} = S_{\text{трикутника}} * 4 = 2664.5 * 4 = 10\,658\text{ мм}^3 = 10.7\text{ см}^3$$

Підсумковий об'єм:

$$V_{\text{загальний}} = 90.4 + 145 + 10.7 = 246.1\text{ см}^3$$

Маса (вага) конструкції:

Матеріал – сталь (щільність – 7.85 г / см³)

$$m = V * \rho = 246.1 * 7.85 = 1931.9 \approx 1.93\text{ кг}$$

У результаті розрахунків орієнтовна маса металевої конструкції становить приблизно 1.93 кг за умови, що матеріалом є сталь із густиною 7.85 г/см³.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Отримане значення є важливим для подальших етапів проєктування, зокрема при виборі кріплень, оцінці стійкості всієї системи або розрахунку транспортних навантажень.

3.3 Деталювання нагрівальних елементів

Основна мета деталювання — забезпечити правильне розташування, надійне кріплення та безпечне підключення всіх функціональних компонентів конструкції.

На кресленні (БРМА 25.00.02.000 СК) наведено кілька проєкцій, що демонструють взаємне розташування нагрівальних модулів, отворів під кріплення, елементів кріплення та охолоджувальних вентиляторів. Нагрівальні елементи розміщено рівномірно по площині для формування однорідного теплового поля. Для уникнення перегріву корпусу й підвищення надійності роботи в конструкцію присутні вентилятори охолодження. Вони забезпечують циркуляцію повітря всередині корпусу, стабілізують тепловий режим і подовжують ресурс роботи нагрівачів.

У складі інфрачервоного сушильного обладнання вузол нагрівальних елементів виконує ключову функцію — забезпечення рівномірного теплового впливу на робочу поверхню в процесі сушіння. Його основне призначення полягає у генеруванні інфрачервоного випромінювання, яке передається безконтактно на виріб, що дозволяє ефективно й швидко висушити фарбу або покриття після процесу трафаретного друку.

Конструкція вузла передбачає розміщення десятих інфрачервоних нагрівальних ламп у корпусі. Елементи розміщені паралельно один до одного по ширині корпусу з рівними інтервалами, що забезпечує однорідне теплове поле по всій площині нагріву. Таке рішення дозволяє уникнути локальних перегрівів або зон зниженого нагріву. Нагрівачі закріплюються на монтажних планках або направляючих за допомогою гвинтових і болтових з'єднань[31].

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Оскільки під час роботи нагрівачі значно підвищують температуру, для стабілізації теплового режиму у вузол інтегровано систему примусового охолодження. Вентилятори, розміщені у верхній частині конструкції, забезпечують циркуляцію повітря всередині корпусу, відводячи надлишкове тепло й запобігаючи перегріву як самих нагрівачів, так і електричних з'єднань. Це суттєво продовжує термін служби елементів та підвищує безпечність експлуатації обладнання.

Під час роботи нагрівачі генерують значну кількість теплової енергії, яка концентрується у внутрішньому просторі корпусу. Без примусової вентиляції це призвело б до перегріву корпусних елементів, деформації матеріалів, пошкодження електропроводки та зниження ефективності роботи нагрівачів. Вентилятори створюють потік повітря, який проходить через внутрішню порожнину корпусу, охолоджуючи як самі нагрівальні елементи, так і інші вузли, зокрема місця електричних підключень.

Конструкція системи передбачає наскрізний рух повітря: свіже повітря надходить через вентиляційні отвори знизу або збоку, проходить уздовж нагрівачів і виводиться назовні вентилятором. Це створює постійний температурний баланс і запобігає накопиченню тепла в замкнутому просторі.

Вибір кількості вентиляторів, їх потужності та місця встановлення виконується з урахуванням теплової потужності всіх нагрівальних елементів, внутрішнього об'єму корпусу, а також швидкості бажаного повітрообміну. У кресленні видно, що вентилятори закріплені на верхній панелі корпусу через спеціальні перехідні кронштейни, що забезпечують їхню стійкість і гасіння вібрацій.

Уся конструкція спроектована таким чином, щоб у разі необхідності забезпечити швидкий доступ до електричних контактів та можливість легкої заміни окремих елементів без демонтажу всього вузла. Завдяки поєднанню нагріву та активного охолодження ця система є ефективною, надійною та довговічною в роботі.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 45 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | | | |

У додатках наведена специфікація яка є складовою частиною технічної документації на вузол інфрачервоного нагріву та безпосередньо стосується раніше розглянутого креслення нагрівального блока з вентиляторами. У ній перелічені всі необхідні комплектуючі, які використовуються під час складання конструкції. Зокрема, це кріпильні елементи, електричні з'єднувачі, нагрівальні лампи, клемники та допоміжні деталі[32].

У першій частині таблиці переважають стандартні елементи: шайби, гвинти та гайки, що відповідають міжнародним стандартам DIN. Вони слугують для з'єднання корпусних деталей, фіксації ламп, вентиляторів і монтажних пластин. Окремо зазначено клепальні гайки, які можуть використовуватися для тонколистової конструкції, де неможливо нарізати різьбу.

Далі вказані елементи електричного монтажу: керамічний клемник, який забезпечує з'єднання при високих температурах, та кільцеві наконечники з ПВХ-ізоляцією, що використовуються для зручного підключення проводів до контактів. У списку також є спеціалізовані роз'єми Connector USJW-01, які забезпечують швидке підключення та відключення електричних ліній до ламп чи керуючих елементів.

Основним функціональним елементом вузла є інфрачервоні лампи моделі IR lamp 220-1000-1 R7S L_350, яких у складі передбачено десять — це повністю відповідає кількості нагрівачів, показаних на кресленні.

3.4 Зборка деталей обладнання інфрачервоної сушарки

На креслення (БРМА 25.00.00.000 В3) зображує інфрачервону сушарку на регульованій стійці, призначену для локального нагріву та сушіння поверхонь у технологічних процесах, зокрема в трафаретному друці, малярних роботах, ремонті або лакуванні. Конструкція складається з металевого корпусу, в якому розміщено нагрівальні елементи (ІЧ-лампи), систему вентиляції та панель керування. Сушарка закріплена на вертикальній стійці з регулюванням висоти та

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

нахилу, що дозволяє адаптувати положення сушильної головки до оброблюваної поверхні. На кресленні зображено три основні проєкції (вигляд спереду, збоку та зверху) з нанесеними габаритними розмірами та позначенням складових елементів конструкції.

Інфрачервона сушарка має добре збалансовані габарити, які забезпечують її стійкість, зручність у використанні та ефективно охоплення робочої зони. Загальна висота конструкції складає приблизно 800 мм, що дозволяє використовувати її як у стаціонарних умовах, так і в умовах майстерень або цехів із невеликою висотою стелі. Вертикальна стійка має перфоровану шкалу з можливістю регулювання положення сушильної головки по висоті в діапазоні до 215 мм, що дає змогу точно налаштувати відстань між джерелом тепла та об'єктом сушіння.

Сама сушильна головка має довжину 600 мм і ширину 480 мм, що забезпечує рівномірний розподіл інфрачервоного випромінювання по всій площі нагріву. Її розміри оптимізовані для локального сушіння невеликих та середніх за розміром площин. Корпус головки виготовлено у вигляді прямокутного металевого кожуха з вентиляційними отворами, в якому розміщено нагрівальні елементи (ІЧ-лампи) та охолоджувальні вентилятори[33].

Ширина опорної платформи становить 490 мм, що забезпечує достатню площу опори для всієї конструкції та запобігає її перекиданню. Платформа виготовлена з металу і має укріплену форму для стійкої фіксації. Загальна конструкція розрахована на мобільність, просте переміщення та зручність під час обслуговування чи переналаштування, що особливо важливо для серійного або гнучкого виробництва.

Габаритні розміри ретельно вивірені та відображені на кресленні у масштабі, відповідно до формату А1, що дозволяє точно відтворити всі пропорції пристрою та забезпечити подальше виготовлення або складання конструкції згідно з технічною документацією. Інфрачервона сушарка має добре збалансовані габарити, які забезпечують її стійкість, зручність у використанні та

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ефективне охоплення робочої зони. Загальна висота конструкції складає приблизно 800 мм, що дозволяє використовувати її як у стаціонарних умовах, так і в умовах майстерень або цехів із невеликою висотою стелі. Вертикальна стійка має перфоровану шкалу з можливістю регулювання положення сушильної головки по висоті в діапазоні до 215 мм, що дає змогу точно налаштувати відстань між джерелом тепла та об'єктом сушіння.

Сама сушильна головка має довжину 600 мм і ширину 480 мм, що забезпечує рівномірний розподіл інфрачервоного випромінювання по всій площі нагріву. Її розміри оптимізовані для локального сушіння невеликих та середніх за розміром площин. Корпус головки виготовлено у вигляді прямокутного металевих кожуха з вентиляційними отворами, в якому розміщено нагрівальні елементи (ІЧ-лампи) та охолоджувальні вентилятори.

Ширина опорної платформи становить 490 мм, що забезпечує достатню площу опори для всієї конструкції та запобігає її перекиданню. Платформа виготовлена з металу і має укріплену форму для стійкої фіксації. Загальна конструкція розрахована на мобільність, просте переміщення та зручність під час обслуговування чи переналаштування, що особливо важливо для серійного або гнучкого виробництва.

Розміри ретельно вивірені та відображені на кресленні (БРМА 25.00.00.000 В3) у масштабі, відповідно до формату А1, що дозволяє точно відтворити всі пропорції пристрою та забезпечити подальше виготовлення або складання конструкції згідно з технічною документацією.

Конструкція інфрачервоної сушарки складається з кількох основних компонентів, кожен із яких виконує важливу функцію в забезпеченні стабільної роботи пристрою, ефективного нагріву та зручності в експлуатації. Центральним елементом є сушильна головка, яка являє собою прямокутний металевий корпус, в якому встановлено інфрачервоні лампи. Ці лампи є основним джерелом теплової енергії й призначені для швидкого та рівномірного прогріву поверхонь. У верхній частині корпусу розміщені вентиляційні отвори або спеціальні

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

охолоджувальні вентилятори, які запобігають перегріванню електроніки та самої лампової системи, забезпечуючи стабільну робочу температуру під час тривалої експлуатації.

Сушильна головка закріплена на регульованій вертикальній стійці, виготовленій із профільної труби з перфорацією або шкалою для фіксації висоти. Стійка забезпечує можливість піднімати або опускати сушильну головку відповідно до розміру об'єкта або необхідної інтенсивності нагріву. Для цього в конструкції передбачено фіксуючий гвинт або шпінтовий механізм, що дозволяє жорстко зафіксувати головку на вибраній висоті. Стійка, у свою чергу, кріпиться до металевої опорної платформи, яка слугує основою всієї конструкції. Платформа має широкі габарити та низький центр тяжіння, що гарантує стійкість сушарки навіть при максимальному піднятті головки.

Для точного позиціонування головки в горизонтальній площині передбачено поворотний механізм або осьове кріплення, завдяки якому головку можна нахилити під потрібним кутом. Це особливо важливо при сушінні вертикальних або похилих поверхонь. На корпусі головки можуть бути встановлені елементи керування, зокрема кнопки "Пуск/Стоп", регулятори температури, термостати або таймери, які дають змогу оператору налаштовувати параметри сушіння відповідно до технологічного процесу.

У деяких варіантах конструкції передбачено захисну решітку або прозорий екран з термостійкого матеріалу, який унеможливорює прямий контакт користувача з лампами та підвищує безпеку експлуатації. Також можливе встановлення температурного датчика або термореле, що автоматично регулює режим роботи в залежності від температури навколишнього середовища чи об'єкта сушіння.

Усі компоненти пристрою з'єднані у компактну, міцну та мобільну конструкцію, яка забезпечує стабільну роботу, зручне обслуговування та довгий термін експлуатації в умовах виробництва або майстерні.

| | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 49 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | | | |

3.5 Призначення окремих частин

Призначення окремих частин інфрачервоної сушарки тісно пов'язане з її функціональністю, безпечністю та ефективністю в роботі. Центральним і найважливішим елементом є сушильна головка, в якій розташовані інфрачервоні лампи. Ці лампи випромінюють теплову енергію в інфрачервоному діапазоні, що дозволяє швидко нагрівати поверхню об'єкта без нагрівання навколишнього повітря. Завдяки цьому досягається висока швидкість сушіння покриттів (фарб, чорнил, клеїв) з мінімальним ризиком деформації або перегріву матеріалу. ІЧ-лампи встановлені на внутрішніх кронштейнах, які забезпечують їх стабільне положення та рівномірний розподіл теплового потоку по всій ширині сушильної зони.

Металевий корпус головки виконує захисну і конструкційну функції: він не тільки оберігає лампи від механічних пошкоджень, а й забезпечує відведення зайвого тепла через вентиляційні отвори. У верхній частині корпусу можуть бути вмонтовані охолоджувальні вентилятори, які створюють примусовий повітряний потік для зниження температури всередині корпусу. Це особливо важливо при тривалій роботі на високій потужності, оскільки дає змогу зберегти стабільність роботи електроніки й продовжити термін служби нагрівальних елементів.

Головка закріплюється на регульованій вертикальній стійці, яка виготовлена з металевого профілю з отворами або шкалою для фіксації висоти. Завдяки цьому користувач може змінювати положення головки в залежності від розміру об'єкта або потрібної інтенсивності нагріву. Стійка забезпечує можливість не лише підйому й опускання, а й регулювання кута нахилу сушильної головки. Це робить пристрій універсальним — він підходить для горизонтальних, вертикальних або похилих поверхонь, що сушаться. Поворотний механізм або осьове кріплення забезпечує зміну кута нахилу, а

| | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 50 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | | | |

спеціальні фіксатори утримують головку в стабільному положенні після налаштування.

Вся конструкція тримається на опорній платформі, яка виконує функцію основи. Її призначення — забезпечити жорсткість та стійкість сушарки під час експлуатації. Завдяки великій ширині платформи (приблизно 490 мм), пристрій має низький центр тяжіння і не перекидається навіть при повному висуненні головки вгору. У деяких варіантах конструкції платформа може бути оснащена гумовими ніжками або коліщатами з фіксаторами для зручного переміщення пристрою по виробничій зоні.

На корпусі головки або у спеціальному блоці передбачено панель керування, яка містить органи управління роботою пристрою: кнопки “Пуск” і “Стоп”, термореле для встановлення температурного режиму, таймер для контролю часу сушіння, а також індикатори живлення та роботи. Панель керування призначена для простого та безпечного налаштування режимів нагріву безпосередньо оператором. Якщо до складу сушарки входить температурний датчик, він автоматично відстежує температуру в зоні сушіння і за потреби вимикає або зменшує потужність ламп через реле або контролер, що запобігає перегріву об’єкта.

Важливою частиною системи є також електричні з’єднання, які об’єднують усі функціональні компоненти: лампи, вентилятори, елементи керування, захист і датчики. Вони зазвичай прокладені усередині корпусу або в окремих ізольованих кабель-каналах, щоб мінімізувати ризик пошкодження або короткого замикання. Пристрій також може бути оснащений захисними елементами, такими як автоматичні вимикачі або теплові реле, які відключають живлення у випадку аварійної ситуації[34].

3.6 Висновки до розділу

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

У третьому розділі кваліфікаційної дипломної роботи розглянуто конструкторську розробку інфрачервоної сушарки для трафаретного друку. Було обґрунтовано вибір габаритних розмірів конструкції та виконано розробку основних елементів сушарки, зокрема нижньої колони, нагрівального модуля, нижньої опори.

Для забезпечення рівномірного нагріву, зручності експлуатації та безпеці використання обладнання. У проєкті враховано промислові вимоги до конструкційної міцності, енергоефективності, термостабільності. Конструкція сушарки є модульною, що дозволяє її легко обслуговувати та адаптувати до різних виробничих умов.

Таким чином, запропонована конструкція інфрачервоної сушарки відповідає технічним та технологічним вимогам до сучасного обладнання для трафаретного друку і має потенціал до впровадження у виробничих умовах.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Висновки

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено конструкцію інфрачервоної сушарки для проміжного або фінального сушіння зображень, нанесених методом трафаретного друку на текстильні вироби. Розробка такого обладнання є актуальною для підприємств легкої промисловості, що займаються виготовленням одягу з індивідуальним або серійним оздобленням.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій трафаретного друку та методів сушіння, визначено ключові переваги інфрачервоного сушіння: швидкодія, енергоефективність, компактність та здатність забезпечити рівномірне висушування без перегріву виробу. Розглянуто типи конструкцій ІЧ-сушарок, а також сформульовано технічні вимоги до проєктованого обладнання.

У другому розділі виконано теплотехнічні розрахунки, визначено оптимальні параметри системи: кількість і потужність ламп, схема електроживлення, захисна та керуюча автоматика. Проведено розрахунок коефіцієнта корисної дії, який склав 84,1%, що свідчить про високу ефективність обраного методу сушіння. Підібрано необхідні елементи автоматики для стабільної та безпечної роботи пристрою.

У третьому розділі здійснено конструкторську розробку інфрачервоної сушарки: визначено компонування, габарити, конструкцію каркаса, модуль нагріву, систему вентиляції та панель керування. Особливу увагу приділено ергономіці, зручності технічного обслуговування, безпеці експлуатації та можливості інтеграції сушарки у виробничі лінії трафаретного друку.

Загалом, розроблене обладнання відповідає сучасним вимогам до інфрачервоного сушіння в трафаретному друці, забезпечує якісне та швидке висихання друкованого шару, підвищує надійність та ефективність технологічного процесу, знижує ймовірність браку та зменшує

| | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 53 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | | | |

енергоспоживання. Отримані результати можуть бути впроваджені виробництво як на малих підприємствах, так і в умовах середньосерійного виробництва.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 54 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Перелік джерел інформації

1. TEN 24 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ten24.com.ua/ua/blog/infrakrasnaya-sushka-v-shelkografii/>.
2. Крюк А. Г. Машины та обладнання для трафаретного друку [Електронний ресурс] / Анна Григорівна Крюк. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/9771208/page:20/>.
3. VIKPRINT [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://vikprint.com.ua/o-kompanii-vikprint/>.
4. [Електронний ресурс] / URL: <https://ten24.com.ua/ua/blog/ispolzovanie-infrakrasnykh-izluchateley-dlya-sushki-v-poligrafii/>.
5. [Електронний ресурс] / URL: <https://ten24.com.ua/ua/blog/ispolzovanie-infrakrasnykh-izluchateley-dlya-sushki-v-poligrafii/>.
6. Prybeha D., Koshevko J., Smutko S., Onofriichuk V., Skyba M., Synyuk O., Kuleshova S., Pidhaichuk S., Zlotenko B. Analysis of methods of printing images on textile materials and evaluation of their quality // *Vlakna a textil (Fibres and Textiles)*. – 2021. – Vol. 28, No. 2. – P. 63–74.
7. Козлова Т. В. Сучасні технології обробки та оздоблення деталейодягу [Електронний ресурс] / Т. В. Козлова. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://yn24082010.wixsite.com/website/post/blogging-from-your-livesite-mobile>
8. [Електронний ресурс] / URL: <https://ua.joyful-printing.net/info/screen-printing-technology-basic-question-and-34401318.html>.
9. Учасники проєктів Вікімедіа. Сушіння – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Сушіння>.

10. Phoseon: UV LED for Screen Printing – Futureprint. Futureprint.
URL: <https://www.futureprint.tech/the-futureprint-blog/uv-led-curing-for-screen-printing> (date of access: 22.05.2025).

11. Прибега Д. В. Stibok [Електронний ресурс] / Дмитро Володимирович Прибега. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://stibok.com.ua/>.

12. Презентація "Сучасне оздоблення одягу. Оздоблення штучними квітами". Освітній проект «На Урок» для вчителів. [Електронний ресурс] URL: <https://naurok.com.ua/prezentaciya-suchasne-ozdoblennya-odyagu-ozdoblennya-shtuchnimi-kvitami-362207.html>

13. Лампа інфрачервона пальчикова Smart Heat, R7-118mm, червона 175W. Фермерський магазин Ukrferma: купити обладнання для птахівництва та тваринництва. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrferma.com.ua/lampa-infrachervona-palchykova-smart-heat-r7-118mm-chervona-175w>.

14. Лампа інфрачервона пальчикова Smart Heat, R7-118mm, червона 175W. Фермерський магазин Ukrferma: купити обладнання для птахівництва та тваринництва. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrferma.com.ua/lampa-infrachervona-palchykova-smart-heat-r7-118mm-chervona-175w>

15. АБВ. Автоматичний вимикач S203-C20. Технічна документація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://new.abb.com/products/2CDS253001R0205>

16. Schneider Electric. RE17RMMU – Мультифункціональне реле часу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.se.com/ww/en/product/RE17RMMU>

17. SUNON. Вентилятор A2123-НВТ-7-GN 220 В, 120×120×38 мм. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sunon.com/eCatalogPDF/ACFan/A2123HBT.pdf>

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 56 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

18. ДСТУ EN 60204-1:2017. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1: Загальні вимоги. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 104 с.

19. Shop220. Контакттор, положення контактів: 3NO, номінальний струм: 32А [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://shop220.com.ua/categories/kontaktor-polozhenie-kontaktov-3-no-nominalnyi-tok-32>

20. 001.com.ua. Кнопка SB-7 ПУСК D22 мм зелена 240V 13+1P IEK [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://001.com.ua/knopka-sb-7-pusk-d22-mm-zelenaya-240v-1z-1r-iek>

21. Mismatch. Інфрачервона сушка M265 для трафаретного друку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mismatch.com.ua/product/infrared-dryer-m265>.

22. Ranar. Conveyor Dryers – Infrared Conveyor Tunnel Dryers for Screen Printing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ranar.com/infrared-conveyor-dryers.html>.

23. Камерна сушарка [Електронний ресурс] // *Вікіпедія* : вільна енциклопедія .– Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Камерна_сушарка

24. [Електронний ресурс] // *5Watt.ua*. – Режим доступу: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/vid-plavkikh-zapobizhnikiv-do-avtomatichnih-vimikachiv>

25. Індикатор фаз Novatek [Електронний ресурс] // *Warm-On Україна*. – Режим доступу: <https://warm-on-ukraine.in.ua/ua/p2359073141-indikator-faz-novatek.html>

26. SUNON. Вентилятор моделі A2123HBT-7 на 220 В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sunon.com>

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 57 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

27. TEN24. *Інфрачервона сушка в шовкографії* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ten24.com.ua/ua/blog/infrakrasnaya-sushka-v-shelkografii/>

28. Крюк А. Г. *Машини та обладнання для трафаретного друку* [Електронний ресурс] // Навчальний посібник.

29. Warm-On Україна. *Індикатор фаз Novatek* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://warm-on-ukraine.in.ua/ua/p2359073141-indikator-faz-novatek.html>

30. 5Watt.ua. *Від плавких запобіжників до автоматичних вимикачів* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/vid-plavkikh-zapobizhnikiv-do-avtomatichnikh-vimikachiv>

31. “Розробка та дослідження інфрачервоної сушарки” – elartu.tntu.edu.ua

32. Науковий репозитарій КПІ ім. Ігоря Сікорського: “Система інфрачервоного сушіння поліграфічної продукції” – el.kpi.ua

33. Науковий архів СумДУ: “Інфрачервоне сушіння як ефективний метод для технологічних процесів” – essuir.sumdu.edu.ua

34. Блог TEN24: “Принцип дії тунельної інфрачервоної сушарки” – ten24.com.ua

| | | | | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 58 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | | | |

Додадки

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|--|------|
| | | | | | | Арк. |
| | | | | | | 59 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |