



Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання  
Кафедра Медіасистем та технологій  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія  
Тип програми Освітньо-професійна  
Освітня програма Комп'ютерні технології  
та системи видавничо-поліграфічних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри МСТ \_\_\_\_\_

(підпис)

« 26 » жовтня 2020 р.

ЗАВДАННЯ  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Романько Кристині Сергіївні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження можливостей адитивного друку  
у харчовій промисловості

затверджена наказом по університету від «23» жовтня 2020 р. № 170 Стз

2. Термін подання студентом роботи «10» грудня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: Асортимент пристроїв адитивного друку. Економічна оцінка  
можливості впровадження технології виготовлення сувенірних виробів на ПАТ  
«Харківська бісквітна фабрика»

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: Аналіз стану проблем застосування  
технологій поліграфічного виробництва в харчовій промисловості. Огляд систем  
адитивного друку харчових продуктів. Аналіз критеріїв та систем оцінювання якості  
пристроїв адитивного друку. Постановка задач дослідження; Опис предметної області;  
Планування експериментальної частини; Опрацювання методики вибору пристроїв  
адитивного друку та відповідної технології на основі системи критеріїв оцінювання  
якості їх роботи з урахуванням специфіки виробництва. Проведення експерименту та  
обробка експериментальних даних. Економічна частина. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Слайди: Актуальність та мета роботи; Задачі; Дослідження стану  
проблеми; Опис предметної області; Вибір та обґрунтування критеріїв оцінки якості  
роботи пристроїв адитивного друку та відповідних технологій з урахуванням специфіки  
виробництва. Експериментальна частина; Обробка та аналіз результатів експерименту;  
Оцінка ефективності розробленої методики; Економічна частина; Висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		Підпис	Дата
Основна частина	проф. Бізюк А.В.		
Економічна частина	проф. Полозова Т.В.		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз стану проблем застосування технологій поліграфічного виробництва в харчовій промисловості.</i>	26.10.2020 – 02.11.2020	<i>вик</i>
2	<i>Огляд систем адитивного друку харчових продуктів</i>	02.11.2020 – 08.11.2020	<i>вик</i>
3	<i>Аналіз критеріїв та систем оцінювання якості пристроїв адитивного друку</i>	02.11.2020 – 08.11.2020	<i>вик</i>
4	<i>Постановка задач дослідження Опис предметної області</i>	02.11.2020 – 08.11.2020	<i>вик</i>
5	<i>Планування експериментальної частини</i>	09.11.2020 – 15.11.2020	<i>вик</i>
6	<i>Опрацювання методики вибору пристроїв адитивного друку та відповідної технології на основі системи критеріїв оцінювання якості їх роботи з урахуванням специфіки виробництва</i>	16.11.2020 – 22.11.2020	<i>вик</i>
7	<i>Проведення експерименту та обробка експериментальних даних</i>	16.11.2020 – 22.11.2020	<i>вик</i>
8	<i>Економічне обґрунтування дослідження</i>	23.11.2020 – 29.11.2020	<i>вик</i>
9	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	30.11.2020 – 06.12.2020	<i>вик</i>
10	<i>Оформлення графічної частини</i>	30.11.2020 – 06.12.2020	<i>вик</i>

Дата видачі завдання «26» жовтня 2020 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Романько К.С.  
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

проф. Бізюк А.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 65 сторінок, 18 рисунків, 7 таблиць, 31 використане літературне джерело.

### АДИТИВНИЙ ДРУК, ПРИСТРОЇ АДИТИВНОГО ДРУКУ, ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ АДИТИВНОГО ДРУКУ, МЕТОД АНАЛІЗА ІЄРАРХІЙ.

Атестаційна робота магістра присвячена аналізу ефективності застосування пристроїв адитивного друку в харчовій промисловості з урахуванням специфіки виробництва.

Мета магістерської роботи полягає в розробці теоретично обґрунтованої методики оцінювання та подальшого впровадження технології адитивного друку та відповідного обладнання на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика».

В результаті досліджень було запропоновано набір критеріїв для комплексної оцінки ефективності роботи та продукції пристроїв адитивного друку харчовими матеріалами. На підставі сформульованого набору критеріїв було запропоновано методику, за якою можна кількісно оцінити рівень ефективності певної технології методом порівняльного аналізу. Наведено рекомендації щодо застосування розробленої методики, та проведено оцінку ефективності методики з сформульованим набором критеріїв. Проведено економічне обґрунтування дослідження.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 65 страниц, 18 рисунков, 7 таблиц, 31 использованный литературный источник.

АДДИТИВНАЯ ПЕЧАТЬ, УСТРОЙСТВА АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ, МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ.

Аттестационная работа магистра посвящена анализу эффективности применения устройств аддитивной печати в пищевой промышленности с учетом специфики производства.

Цель магистерской работы заключается в разработке теоретически обоснованной методики оценки и дальнейшего внедрения технологии аддитивного печати и соответствующего оборудования на ПАО «Харьковская бисквитная фабрика»

В результате исследований было предложено набор критериев для комплексной оценки эффективности работы и продукции устройств аддитивной печати пищевыми материалами. На основании сформулированного набора критериев была предложена методика, по которой можно количественно оценить уровень эффективности выбранной технологии методом сравнительного анализа. Приведены рекомендации по применению разработанной методики, проведена оценка эффективности методики по сформулированным наборам критериев. Приведено экономическое обоснование исследования.

## ABSTRACT

The explanatory note contains 65 pages, 18 pictures, 7 tables, 31 used references.

ADDITIVE PRINTING, ADDITIVE PRINTING DEVICES,  
EVALUATION OF EFFICIENCY OF ADDITIVE PRINTING TECHNOLOGY,  
METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES.

The attestation work of the master degree is devoted to the analysis of efficiency of application of devices of additive printing in the food industry taking into account specificity of production.

The purpose of the master's thesis is to develop a theoretically sound method of evaluation and further implementation of additive printing technology and related equipment at "Kharkiv Biscuit Factory"

As a result of research, a set of criteria for a comprehensive assessment of the efficiency of work and production of additive printing devices with food materials was proposed. Based on the formulated set of criteria, was proposed a method by which it is possible to quantify the level of efficiency of a particular technology by the method of comparative analysis. Recommendations for the application of the developed methodology are given, and the effectiveness of the methodology is evaluated with a formulated set of criteria. The economic substantiation of the research is carried out.

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	8
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	12
1.1 Основні напрями діяльності ПАТ «Харківська бісквітна фабрика» .....	12
1.2 Технічна характеристика систем адитивного друку харчовими матеріалами .....	13
2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	17
2.1 Огляд застосувань технологій адитивного друку в харчовій промисловості.....	17
2.2 Огляд сучасних пристроїв 3D-друку харчовими матеріалами .....	19
2.3 Аналіз критеріїв оцінювання якості поліграфічної продукції .....	31
2.4 Висновки за розділом .....	36
3 ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ В РАМКАХ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ .....	39
3.1 Метод аналізу ієрархій як засіб прийняття рішень у багатокритеріальному виборі .....	39
3.2 Метод аналізу ієрархій: математична реалізація .....	42
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	46
4.1 Проведення експерименту .....	47
4.2 Обробка та аналіз результатів експерименту.....	50
4.3 Апробація методики на підприємстві .....	51
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	53
5.1 Характеристика науково-дослідного рішення .....	53
5.2 Етапи виконання НДР, Ія трудомісткість та заробітна плата .....	53
5.3 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР.....	56
5.4 Оцінка результатів науково-дослідної роботи.....	60
ВИСНОВКИ .....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	64

## ВСТУП

Одним з сучасних прикладних напрямів в розвитку різних галузей виробництва, у тому числі харчовій промисловості являється технологія адитивного друку (additive manufacturing, інша назва – 3D-друк, 3D-printing), яка є процесом створення виробу за допомогою послідовного накладення шарів спеціального матеріалу. Результатом є створення тривимірного фізичного об'єкту з його цифрової моделі.

Технологія реалізації такого виробництва передбачає використання певного набору знань в області харчової хімії, гігієни харчування, процесів і апаратів харчових виробництв і інформаційних технологій і закінчується кінцевим результатом – харчовим продуктом. Основним методом виробництва харчової продукції за допомогою адитивного друку є моделювання методом пошарового нанесення/наплавлення (FDM), що пов'язано із специфікою сировини для вироблення готових харчових виробів. Наразі більшість 3D-принтерів для харчових продуктів представлена або в концептуальних моделях, експериментальних або передпродажних зразках, рідше – в апаратах, що комерційно реалізуються. Проте очікується, що в харчовій індустрії 3D-друк прогресуватиме, у тому числі за допомогою подальшого розвитку існуючих принципів і технологій, а також шляхом створення і розвитку нових ідей і можливостей.

З моменту створення першої адитивної технології (у 1980 році) устаткування, як і методи друку, зробили революційне просування в поліпшенні якості друку з різних матеріалів; у значному зниженні собівартості отримуваних продуктів, апаратів для друку; у розширенні спектру використання предметних областей (медицина, авіакосмічна галузь, харчова промисловість тощо) [8].

Згідно з визначенням, адитивна технологія друку (3D-printing) – це дія або процес створення фізичного об'єкту з тривимірної цифрової моделі, як правило, що встановлює послідовна безліч тонких шарів матеріалу [4]. Для

цього необхідно використовувати комп'ютерне програмне забезпечення (ПЗ) – CAD-програми для створення 3D-моделі, які перетворюють об'єкт в суму тонких перерізів (шарів) в процесі друку, та 3D-принтер, який починає створювати об'єкт в нижній частині конструкції шляхом послідовного нанесення шарів матеріалу до тих пір, поки об'єкт не буде завершений. 3D-друк часто використовується також для швидкого прототипування (rapid prototyping) або адитивного виготовлення (additive manufacturing) складних вузлів і механізмів [5].

Мета магістерської роботи полягає в розробці теоретично обґрунтованої методики оцінювання та подальшого впровадження технології адитивного друку та відповідного обладнання на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика».

У рамках досягнення вказаної мети в цій магістерській роботі досліджуються наступні питання:

- аналіз наявних методів оцінювання пристроїв адитивного друку (3D-принтерів);

- розробка методики оцінювання та визначення критеріїв з метою застосування багатокритеріальної математичної моделі з урахуванням специфіки харчової промисловості;

- апробація методики на прикладі вибору 3D-принтеру (а, відповідно, особливостей технології та застосованих матеріалів) з метою виявлення оптимального в умовах конкретного замовлення на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика»;

- аналіз результатів застосування методики і міри релевантності її використання.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення друківаних декоративних елементів для рекламно-харчової продукції (шоколадно-вафельних тортів).

Предметом дослідження є методика вибору оптимальної технології адитивного друку з використанням методів порівняльного оцінювання ефективності обладнання та якості отримуваних декоративних елементів.

Гіпотезою дослідження в рамках роботи виступає припущення про те, що методика оцінювання ефективності роботи 3D-принтерів та якості отримуваних декоративних елементів може бути формалізована завдяки запропонованому підходу, застосована в рамках поставленої задачі та надасть адекватні результати.

Елемент новизни дослідження полягає в застосуванні технологічного підходу до вибору технології виготовлення елементів харчової промисловості як виробів адитивних технологій друку на базі комбінованої метрики критеріїв.

У введенні представлений загальний опис дослідження, сформульовані цілі і завдання, обґрунтована актуальність дослідження, описані об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна і практична значущість роботи.

У першому розділі описані основні напрями та характеристики ПАТ "Харківська бісквітна фабрика", наведено огляд систем адитивного друку харчовими матеріалами, сформульоване завдання на дослідження.

У другому розділі відповідно до поставлених задач наведений стислий огляд застосувань технологій адитивного друку в харчовій промисловості, наведено огляд сучасних пристроїв 3D-друку харчовими матеріалами, визначено їхні основні характеристики, проведено аналіз критеріїв оцінювання якості поліграфічної продукції з урахуванням специфіки виробництва.

В третьому розділі розглянуті математичні засади проведеного дослідження, а саме Метод аналізу ієрархій як засіб прийняття рішень у багатокритеріальному виборі та його математична реалізація в рамках поставленої задачі.

В четвертому розділі відповідно до наведеному переліку критеріїв проведено комплексне оцінювання ефективності роботи пристроїв

адитивного друку та відповідних технологій методом попарного порівняння. Розглянуто отримані результати, наведено рекомендації щодо вибору оптимальної технології в конкретних умовах.

В п'ятому розділі обґрунтовано економічну доцільність виконання дослідження за даною темою.

У висновках викладені головні результати і перспективи подальшого розвитку магістерського дослідження.

## 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Основні напрями діяльності ПАТ «Харківська бісквітна фабрика»

ПАТ «Харківська бісквітна фабрика» - це сучасне кондитерське підприємство, яке спеціалізується на виробництві борошняних кондитерських виробів. Загальний обсяг виробництва становить близько 40 тис. тон продукції на рік. На підприємстві працює 1 200 осіб.

Підприємство характеризується дуже великий асортиментним рядом та кількістю новинок, які пропонуються споживачам. Підприємство випускає понад 100 найменувань продукції, серед них: печиво зтяжне, цукрове та здобне, крекери, вафлі, вафельні трубочки, вафельні сандвічі, бісквіти і рулети, шоколадно-вафельні торти, шоколадно-горіхові батончики, глазуровані цукерки. У прайс-листі бісквітної фабрики понад 250 позицій – це вироби з борошна вищого та першого ґатунку, продукція розсипна та фасована.

Проте на виробництві постійно розробляються нові вироби та рецепти. Серед цікавих пропозицій – сувенірні набори виробів різної форми, розмірів та смаків. Як подарунковий набір виготовляють шоколадно-вафельні торти – «Тріумф», «Рандеву», «Восторг». Усі торти складаються з кількох часток ромбовидної, прямокутної чи круглої форми, вкритих шоколадною глазур'ю. Поверхня тортів прикрашена фундуком, кокосовою стружкою, фігурними листочками з шоколаду, фруктами з помади.

До свят та пам'ятних дат підприємство завжди готує продукцію з відповідним оформленням. Наприклад разом із кондитерською фабрикою до Нового року випускається безліч солодких подарунків, упаковка яких має вигляд дитячої іграшки.

В даній атестаційній роботі розглядається пропозиція розробки лінії кондитерських тортів з фото історичних пам'яток Харкова для приїжджих до нашого міста. Кондитерські вироби будуть зроблені з вафельних коржів з шоколадною та кремовою начинкою. Фото будуть зображені на вафельному

папері, а замість чорнила будуть використовуватися харчові барвники. Орієнтовний розмір зображення на торті 200\*300мм, а розмір самого тарту буде трохи перевищувати розміри аркуша паперу формату А4.

## 1.2 Технічна характеристика систем адитивного друку харчовими матеріалами

3D-друк харчових продуктів це одна з сфер застосування адитивних технологій (синонім терміну 3D-друк).

Як чорнила, тобто фарбний елемент друку використовуються різних спеціально підготовлені типи харчових матеріалів. Пастоподібні продукти використовуються, аби формувати довільні форми і структури з використанням адитивних технологій 3D-друку. Серед подібних матеріалів досить легко застосувати цукрові сиропи, шоколад, пюре, кондитерські вироби.

Свого часу появу 3D принтерів, призначених для створення харчової продукції, багато хто сприйняв як рекламний хід, покликаний притягнути увагу більшого числа споживачів до цієї технології. Проте ці пристрої швидко завоювали значну кількість шанувальників. Ще в 2013 році NASA обговорювало створення 3D-принтерів для того, щоб годувати астронавтів під час космічних польотів. Планувалося використання цих принтерів для виробництва їжі космонавтам.

У 2017 році учені з Данії розраховували на те, що їжа, надрукована на 3D-принтері, доповнить стандартний раціон людей виходячи з потреб окремої людини. Харчовий 3D-друк відкриє можливості для живлення кожної людини. Якщо якась людина не любить певний продукт, харчовий 3D-принтер може виключити цей інгредієнт.

У тому ж році учені з Австралії прийшли до того, що 3D-принтери можна використовувати в лікарнях. Наприклад, існує таке захворювання, як розлад ковтання їжі. Для людей з такою недугою їжа має бути в зручній для них консистенції, а саме у вигляді рідкої маси. 3D-друк може допомогти

таким люди за рахунок створення їжі, яка буде для них комфортна, при цьому вона буде різноманітна і приємна на смак. Принтери можна буде розмістити в кожній лікарні.

Короткий огляд застосувань харчового 3D-друк у світі показує широку різноманітність технології. Наприклад, Varilla, італійська компанія з виробництва макаронів, використовує 3D-друк для створення макаронних виробів наперед заданої складної форми, потім лише необхідно їх зварити.

Багато кафе у світі роблять упор на те, щоб яким-небудь чином виділитися серед інших, створити свої унікальні блюда. Наприклад, багато хто з нас пробував каву з пінкою з чийогось портрета.

Існують також 3D-принтери для створення фігур з шоколаду. Їх досить складно виготовити вручну, тому часто над їх створенням замість людей працюють 3D-принтери. Вони забезпечують 100-відсоткову повторюваність продукту з заданого малюнка.

Також існує млинцевий 3D-принтер, який здатний роздрукувати млинці у вигляді різних малюнків. Вони можуть мати різний колір, відтінок. Досягається це за рахунок того, що той матеріал, який наноситься раніше на гарячу платформу принтера, стає темніше. Відповідно, знаючи потрібний час нанесення маси для кожних областей, можна створювати різні малюнки. Принтер робить це в автоматичному режимі.

Створені 3D-принтери, які дозволяють друкувати блюда з декількох інгредієнтів. Багато шеф-кухаря купують такі принтери у свої ресторани і використовують їх для того, щоб подати блюдо в красивішому і цікавішому виді. Якщо говорити про саму техніку, то принтер видавлює рідкий матеріал на платформу для друку, утворюючи з часом цілісну конструкцію.

Є і такий 3D-принтер, який здатний надрукувати піцу. Він може використовувати три інгредієнти для створення піци. Механізм використовує систему для видаленої подачі, яка дозволяє користуватися принтером безперервно. Таким чином, можна завантажувати більше кількості інгредієнтів для того, щоб надрукувати велику кількість піц.

Завдяки 3D технологіям відкривається ряд нових можливостей по організації живлення індивідуального живлення для кожної людини. На сьогодні, таке питання встає усе більш гостро. Щорічно збільшується число людей, що страждають алергією або непереносимістю яких-небудь інгредієнтів (наприклад, лактоза або глютен). Серед населення росте попит на здорове живлення, яке коштує недешево, або вимагає значного часу. Харчовий 3D-принтер буде здатний приготувати красиву і здорову їжу з точно заданим складом. Також ще одна перевага полягає в тому, що 3D-принтер відтворює унікальні блюда. Останнім часом людей все складніше і складніше здивувати, виробники прагнуть в умовах високої конкуренції знаходити нові рецепти, нові способи виробництва, щоб їх продукт був цікавий і відрізнявся від конкурентів.

Харчовий 3D-друк може відкрити абсолютно нові горизонти і напрями у виробництві їжі. Наприклад, якщо згадати усім відому мережу швидкого живлення Макдональдс. До її появи люди не могли навіть і подумати, що блюдо можна приготувати заздалегідь і подати його у вигляді загорнутого в упаковку бутерброда.

Перевагою 3D-друку в харчовій промисловості є зведення ролі людського чинника майже до нуля, тобто кожен готовий виріб в точності повторюватиме особливості оригінального рецепту.

Отже, для аналізу і порівняльного оцінювання ефективності описаної вище пропозиції для підприємства ПАТ «Харківська бісквітна фабрика» протягом атестаційного дослідження пропонується:

- проаналізувати підходи до оцінювання якості продукції адитивних технологій та ефективності роботи відповідного устаткування;
- підібрати критерії оцінювання ефективності роботи 3D-принтерів у харчовій промисловості;
- проаналізувати засоби та методи отримання кількісних даних, що описують вказані критерії;

– вибрати метод для обробки результатів порівняльного опрацювання харчових 3D-принтерів з метою визначення оптимальної виробничої технології;

– як результат, створити перелік рекомендацій щодо впровадження описаної пропозиції в умовах роботи ПАТ «Харківська бісквітна фабрика».

## 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Огляд застосувань технологій адитивного друку в харчовій промисловості

3D-друк харчових продуктів це одна з сфер застосування адитивних технологій друку. Вона є технологією, що швидко розвивається. В результаті наразі стають доступними нові 3D-принтери для друку специфічними матеріалами, в тому числі харчовими.

Пастоподібні продукти можуть бути організовані в будь-які форми й структури з використанням технології 3D-друку. Як приклад можна згадати такі матеріали як шоколад, пюре, цукрові кондитерські вироби. Нижче наведений огляд сучасних технологій та можливостей пристроїв, які можуть бути впроваджені в масове виробництво.

Застосування 3D-технології в харчовій промисловості не є таким простим. Є багато чинників, які слід враховувати. Наприклад, термін придатності, мікробіологічне забруднення, температура друку, текстури, придатність матеріалу друку для споживання.

3D-друк харчових продуктів не обов'язково зводиться до дизайнерських досліджень. Істотним напрямом також визначається питання про розробку персоналізованих продуктів харчування на основі дієтичних потреб та різних дієтичних вимог. Зокрема такі як збагачення продуктів вітаміном D, кальцієм і білком для літніх людей. Використання пастоподібних харчових сумішей дозволяє персоналізувати продукт для усунення специфічних персональних недоліків. Приміром, в них включаємо недолік незамінних жирних кислот і харчових волокон.

За прогнозами досліджень Research and Markets, об'єм ринку 3D-друку для харчових продуктів до 2023 року досягне 525,6 млн. доларів. Але це далеко від можливостей більших секторів харчових технологій. Світова індустрія харчових продуктів, як очікується, досягне 250 мільярдів доларів до 2022 року [8].

Проте, 3D-друк харчових продуктів складає досить великий сегмент ринку. Враховуючи відносно недавню появу нових виробників і розробників, які модифікують 3D-принтери для друку з використанням харчових матеріалів.

Глобальний ринок 3D-друку для харчових продуктів сильно мотивований зростаючим попитом на персоналізовані продукти харчування із індивідуальним змістом поживних речовин, в тому числі адаптованим до індивідуальних дієтичних потреб. У цій області було застосовано декілька технологій 3D-друку, залежно від технології виготовлення харчових продуктів, щоб задовольнити попит на дизайн харчових продуктів і обробку матеріалів.

Основними типами технологій, вживаних для 3D-друку харчових продуктів, є моделювання методом наплавлення (FDM), селективне спікання і струминний друк. Серед поширених застосувань можна згадати 3D-друк шоколадом, цукром, 3D-друк млинців, 3D-друк на напоях, друк пастоподібними інгредієнтами.

До переваг 3D-друку харчовими продуктами можна віднести різноманітність дизайну від текстури до форми і художнього зовнішнього обліку. Нова технологія також пропонує безліч можливостей для того, щоб зробити споживання деяких продуктів, таких як м'ясо, раціональнішим. Таке досить поширене застосування пов'язане з обслуговуванням літніх людей, поки вони знаходяться в лікарні або реабілітаційному центрі.

Але є цілий ряд проблем, з якими стикається ця галузева ніша. Починаючи з задрукованих матеріалів основи й закінчуючи пошуком готових інгредієнтів для друку.

У звичайному 3D-друці є два ключові компоненти: швидкість і надійність. З 3D-друком харчових продуктів додаються ще два.

Надійність: потрібне точне відтворення як форми, так і структури нормативного продукту в межах допуску.

Швидкість: 3D-друк усієї трапези в ресторані on demand займає багато часу. Загалом, 3D-друк їжі все ще занадто повільний для масового виробництва.

Вартість: спеціалізовані харчові 3D принтери коштують дорого. Існує можливість установки спеціальних насадок для 3D-друку на звичайному принтері. Але тільки спеціалізовані харчові матеріали для 3D принтерів дадуть задовільні результати.

Безпека: кожен аспект харчового 3D-принтера має бути чистим і безпечним відносно харчових продуктів.

## 2.2 Огляд сучасних пристроїв 3D-друку харчовими матеріалами

Комерційне використання пристроїв 3D-друку продуктів харчування – найбільший сегмент кінцевого споживання. Воно застосовує пристрої 3D-друку продуктів харчування для пекарень, ресторанів високого класу і роздрібних магазинів. Основні проблеми, пов'язані з подібними інноваціями, пов'язані із з'ясуванням того, як створити стійкі системи виробництва харчових продуктів у міру зміни потреб в продовольстві у всьому світі. Наприклад, очікується, що 3D-друк харчових продуктів надасть інноваційні способи прогнати постійно зростаюче населення планети [9].

3D-друк шоколадом. Справжня знахідка для любителів солодкого. За допомогою 3D-принтерів, які друкують шоколадом, можна створювати об'ємні фігурки, плоскі зображення і написи. Дозволити собі купити кондитерський принтер, ціна на який за останні декілька років знизилася, можуть вже не лише цехи по виробництву тортів, але і маленькі кондитерські, що виконують приватні замовлення, у тому числі і вдома – це дає нам безліч прикладів застосування.

Choc Edge Choc Creator 2.0 Plus (рис. 2.1) – це харчовий 3D-принтер для професійних кондитерів. З його допомогою можна створювати шоколадні об'єкти різної складності. Для друку виробів нагрітий шоколад заливається в спеціальні 30-міліметрові шприци.

Принтер оснащений сенсорним ЖК-дисплеєм, а шаблони моделей завантажуються через USB-носій.



Рисунок 2.1 – Харчовий 3D-принтер Choc Edge Choc Creator 2.0 Plus

Область друку: 180 x 180 x 50 мм.

Товщина шару: 0,8 мм.

Швидкість друку: 150 мм/с.

Ціна: 3,5 тис доларів.

Для користувачів розроблені мобільні застосування: Choc Draw, Mix & Match і Choc Text. З їх допомогою можна створювати свої малюнки і написи (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Приклади відтворення шоколадних виробів за допомогою 3D-принтера

Незважаючи на свою назву, харчовий 3D-принтер Chocola3d може друкувати не лише шоколадом, але і кондитерськими сумішами, сиром, паштетом і іншими пастоподібними інгредієнтами. Зображення в принтер можна завантажувати з SD-карти і через порт USB. Chocola3d друкує на різних поверхнях: печиві, тості, тарілці.

Область друку: 250 x 210 x 80 мм.

Товщина шару : 0,1 мм.

Швидкість друку : 50 мм/с.

Ціна: 3 тыс доларів.

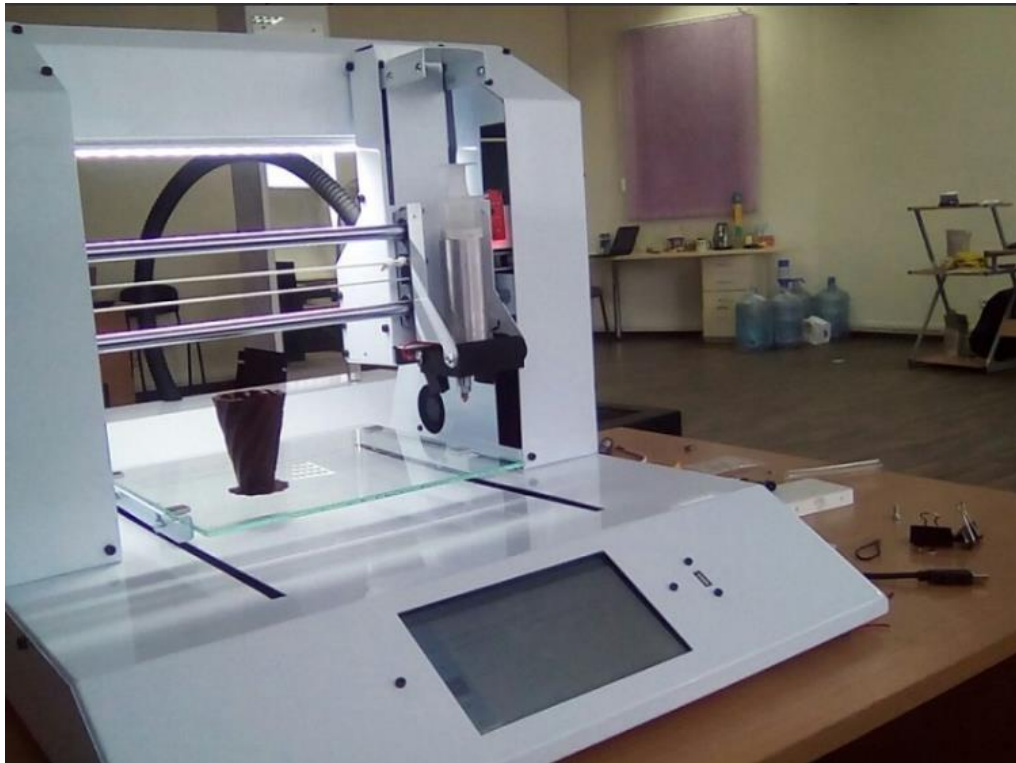


Рисунок 2.3 – Харчовий 3D-принтер Rokit Chocosketch

Rokit Chocosketch (рис. 2.3) – це кондитерський 3D-принтер, який створює шоколадні фігури. Шоколад поступає в принтер із спеціального картриджа, який легко можна міняти в процесі роботи, щоб створити мікс з білого, чорного і молочного шоколаду. У принтері передбачено автоматичне вирівнювання. Є LCD екран. Дизайн моделей користувачі можуть викачати на сайті виробника або завантажити за допомогою SD-карти.

Область друку: 240 x 120 x 70 мм.

Швидкість друку: 20 мм/с.

Товщина шару: 0,3 мм.

Ціна: 1700 доларів.

3D-принтер ChefJet Pro (рис. 2.4) призначений для створення 3D-солодощів. Основний матеріал для роботи – цукор. Настільна модель ChefJet друкує монохромні вироби, а більший апарат ChefJet Pro – кольорові об'єкти з різним смаком: шоколадним, ванільним, м'ятним, вишневим, яблучним тощо (рис. 2.5, 2.6).



Рисунок 2.4 – 3D-принтер ChefJet Pro в роботі

ChefJet Pro часто використовують в ресторанах. Наприклад, в Melisse - це стильний ресторан в Санта-Моніці, що удостоївся двох зірок Мишлен. Ним управляє шеф-кухар Джозія Китрин. Він описує заклад як "сучасну американську кухню з французьким впливом". 3D-принтер в Melisse використовується, наприклад, для виготовлення різних дизайнів грінок в цибулевому супі.



Рисунок 2.5 – Приклад відтворення однокольорових цукрових виробів за допомогою 3D-принтера



Рисунок 2.6 – Приклад відтворення кольорових цукрових виробів за допомогою 3D-принтера

А компанія The Sugar Lab, яку заснували сестри Кайли і Ліз геть Хасселн, займається виготовленням прикрас для весільних тортів за допомогою 3D-принтера (рис. 2.7).

Область друку : 430 x 210 мм.

Швидкість друку : регульована.

Ціна: 2500 доларів.



Рисунок 2.7 – Приклад відтворення прикрас для весільних тортів за допомогою 3D-принтера

PancakeBot (рис. 2.8) – 3D-принтер, який друкує млинці. Але не звичайні круглі, а будь-якої, навіть найхитромудрішої форми. Готові дизайни млинців можна завантажувати через SD-карту. Користувачі також можуть розробляти свої моделі за допомогою програмного забезпечення, яке йде в комплекті.

Область друку: 180 x 180 x 15 мм.

Швидкість друку: 300 мм/с.

Товщина шару: 0,4 мм.

Commercial Art Pancakes Printer F5 – це ще один 3D-принтер для друку млинців від китайського виробника ZBOT. Як і у попередньому випадку, користувачі можуть використовувати для друку як готові шаблони, так і розробляти свої (рис. 2.9).

Область друку : 110 x 110 мм

Швидкість друку : 10 с/чашка

Ціна: 1 тис доларів



Рисунок 2.8 – Принтер Art Pancakes Printer F5



Рисунок 2.9 – Приклад млинців, випечених за допомогою адитивної технології

Друк на поверхні напоїв.

Принтер Safe maker призначений для нанесення зображень на різні напої (єспресо, латте, молочні коктейлі, пиво) і тістечка. Малюнки можуть

бути як монохромні, так і кольорові. На даний момент одночасно можна друкувати трьома фарбами: жовтою, синій і червоною.

Принтер дозволяє вибирати зображення для друку з галереї, створювати написи і навіть друкувати власні фотографії. Завдяки цьому пристрою можна всього за декілька секунд перенести написи, малюнки і фотографії із смартфона на поверхню кавової пінки. Передача даних відбувається через Wi-Fi. У спеціально розробленому додатку Barista є велика бібліотека готових зображень.

Спонсором акції став виробник кавоварок Lavazza (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Приклад нанесення написів на кавову піну з логотипом Lavazza

Першим міжнародним партнером виробника була авіакомпанія Люфтганза (рис. 2.11).

Ripple Maker успішно використовують в компанії World of Beer для нанесення написів на пивну піну (рис. 2.12).



Рисунок 2.11 – Приклад нанесення написів на кавову піну з логотипом Люфтганзи



Рисунок 2.12 – Приклад нанесення написів на пивну піну

3D-друк пастоподібними інгредієнтами.

Ікра з манго, динозаври з шпинату, квіти з авокадо. Кулінарні 3D-принтери пропонують безліч різних варіантів сервіровки повсякденних блюд.

Область друку : 250 x 165 x 120 мм.

Швидкість друку : 100 мм/с.

Товщина шару : 0,1 мм.

Ціна: 6,5 тыс доларів.

Foodini – універсальний харчовий 3D-принтер, виготовлений іспанською фірмою Natural Machines для спрощення рутинних процесів при приготуванні їжі. Він може друкувати пельмені, пасту, печиво, їстівні елементи декору і навіть гамбургери. У 3D-принтер можна одночасно завантажувати до п'яти різних інгредієнтів. Апарат поставляється з соплами різного діаметру, тому для друку підходить їжа різної текстури (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Тестовий файл для комплексної оцінки якості цифрового друку

Завдяки своїй багатофункціональності, Foodini набув широкого поширення серед рестораторів. Наприклад, його використовують в ресторані La Enoteca. Це модний заклад в центрі Барселони, яким управляє шеф-кухар Пако Пересом. Гордість ресторану – різноманітність і креативність блюд. Шеф-кухар відмічав, що "креативність визначається тим, що можуть робити технології". Одне з блюд з 3D-друком – Sea Coral. Принтер Foodini використовує пюре з морепродуктів для друку зображення у вигляді корала. Кухарі відмічають, що такий дизайн було б дуже складно зробити вручну, тому 3D-принтер є хорошим рішенням.

Область друку: 208 × 228 × 150 мм.

Швидкість друку : 60 мм/с.

Товщина шару : 0,1-0,4 мм.

Ціна:7,8 тис доларів.

Ву Flow Focus (рис. 2.14) друкує усіма видами пастоподібних матеріалів, але в першу чергу призначений для роботи в хлібопекарнях і кондитерських.

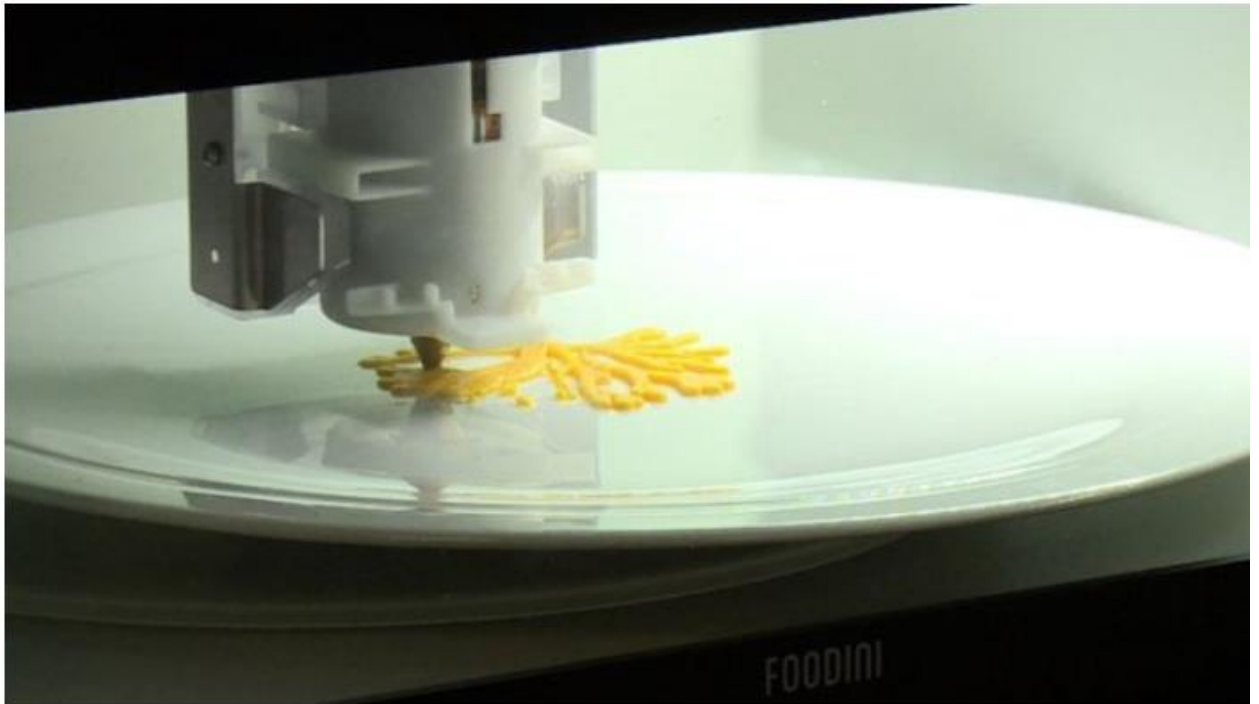


Рисунок 2.14 – Приклад друку принтером Ву Flow Focus

Виробник Vu Flow прагнув зробити принтер простим і надійним. Для зручності користувачів на сайті розміщуються рецепти, які можна відправити безпосередньо на 3D-принтер по Wi-Fi. Можна винаходити і власні рецепти.

Vu Flow Focus використовують в ресторані Food Ink. Цей ресторан повністю надрукований в 3D, причому не лише їжа, але і усі стільці, лампи і прикраси. Ресторан позиціонує себе як місце з "концептуальними обідами, де вишукана кухня поєднується з мистецтвом, філософією і технологіями майбутнього".

Харчовий плотер Decoplotty (рис. 2.15) наносить зображення безпосередньо на кондитерський виріб (торт, пиріг, печиво та ін).

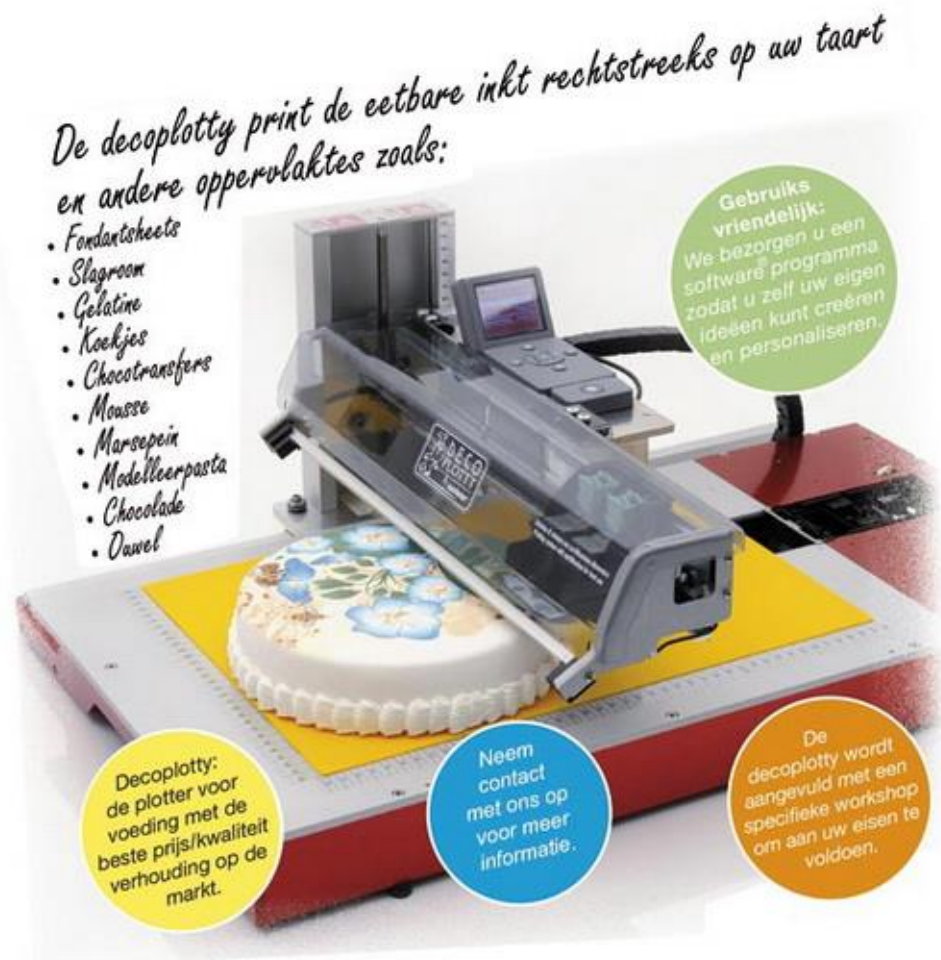


Рисунок 2.15 – Принтер Art Pancakes Printer F5

Основи, на які наноситься зображення, можуть бути різноманітними: збиті вершки, желатин, бісквіт, цукрова паста, вафля, марципан, карамель,

шоколад, цукрова пудра тощо. Друкуюча система оздоблена парою друкуючих головок (картриджів) з харчовими чорнилами: кольоровим і чорним. В свою чергу, кольоровий картридж має три канали подачі чорнил. Наявність двох картриджів, кольорового і чорного, забезпечує високу економічність витрати харчових барвників (чорнил). Встановлені датчики, що сприяють безпечному процесу нанесення малюнка і збереженню виробу.

Для друку не потрібно використовувати харчовий папір, принтер друкує безпосередньо на заготівлю торта, що розміщена на спеціальній підкладці. Висота торта може досягати до 12см. У випадку, якщо розміри торта або його висота будуть задані неправильно, спеціальний сенсорний датчик автоматично припинить роботу принтера.

Максимальний розмір виробу для друку – еквівалент формату А3 (40х30см).

Швидкість друку для торта діаметром 22 см. – 1 хвилина.

Технологія друку - крапельне напilenня.

Роздільна здатність друку 4800 точок на дюйм.

Вартість 3800 доларів.

Можна зауважити, що ринок харчових 3D-принтерів наразі знаходиться у стадії зростання: за оцінками фахівців, до 2023 року його об'єм досягне 525,6 мільйонів доларів. Можливо, зовсім скоро ми побачимо нові, ще цікавіші моделі.

Більшість представлених апаратів – кулінарні принтери, призначені для друку шоколадних фігурок, прикрас для тортів, для пряників, загалом – для солодоців, але багато хто з них може друкувати і іншими пастоподібними продуктами, що говорить нам про широкі перспективи їх застосування.

### 2.3 Аналіз критеріїв оцінювання якості поліграфічної продукції

3D друк зараз користується великою популярністю. 3D-друк може здійснюватися різними способами і з використанням різних матеріалів, але у будь-якому випадку в основі лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердого об'єкту.

Лазерна технологія припускає використання лазерного променя, який або сплавляє порошок з металу або пластика, шар за шаром, в контур майбутньої деталі, або поступово, піксель за пікселем, засвічує рідкий фотополімер, який поступово твердне і перетворюється на досить міцний пластик.

При струминній технології роздавальна голівка видавлює на охолоджувану платформу-основу краплі розігрітого термопластика. Краплі швидко застигають і злипаються один з одним, формуючи шари майбутнього об'єкту. Також застосовується полімеризація фотополімерного матеріалу під дією ультрафіолетової лампи. Як матеріал для 3D-друку харчових моделей можуть застосовуватися густі пюреподібні суміші.

Технології 3D-друку використовуються в багатьох галузях: харчовий, медицині, електроніці, будівництві та ін.

Основна термінологія та загальні вимоги до управління якістю 3D-друку визначені, зокрема, в міжнародному стандарті ISO/ASTM 52900 Additive manufacturing - General principles - Terminology. Згідно з ним адитивна технологія друку (3D-друк) – це процес з'єднання матеріалів для створення об'єктів на основі цих тривимірних моделей, як правило, пошарово.

Вимоги до якості 3D-друку з описаними стандартами (які, до речі, є на стадії розробки) зводяться в декілька технологічних груп, а саме:

- надійність. Мається на увазі безперервна якісна робота 3D-принтерів на протязі відносно довгого періоду часу виготовлення окремого виробу;

- якість. Якість виробів, що виготовляються за допомогою 3D-принтерів оцінюється з точки зору роздільної здатності друку, тобто товщини друкованого шару;

- швидкість. 3D-принтери працюють досить повільно. Друк куба об'ємом  $10 \text{ см}^3$  займає приблизно 1 годину, проте створення куба удвічі більшого об'єму ( $20 \text{ см}^3$ ) зажадає вже до 4 годин, що пов'язано із забезпеченням запікання матеріалу;

– матеріали. Більшість матеріалів для друку, доступних наразі, потребують удосконалення. У нашому випадку значущою є безпека матеріалу для здоров'я людини.

Порівняльні огляди представлених в інтернет-магазинах моделей показують, що майже усі ці принтери побудовані за схожим принципом, мають однотипні стандартні крокові двигуни, звичайні приводні ремені і класичні стандартизовані екструдери. Електронне управління цих принтерів побудоване на базі недорогій Arduino платформи і забезпечено тією або іншою варіацією open source програмного забезпечення. Для сприйняття зовнішніх 3D моделей використовуються, як правило, вільно поширювані програми Cura, Repetier Host, ReplicatorG та інші. Очевидно, що в таких умовах перевага в якості зможуть отримати принтери, побудовані, наприклад, в металевому корпусі на базі рейкових лінійних направляючих (наприклад, 3D принтер Trident). Застосування високоточних гвинтів і безлюфтових рейок мінімізує погрішності в ході 3D друку і дозволяє екструдувати пластик або інший матеріал при вищих швидкостях роботи.

Найпоширенішою технологією друку є струменева технологія FDM. Часто принтери з такою технологією є не дуже дорогими і мають достатню якість друку. Друкують вони за допомогою видавлювання пластикової нитки. Принцип роботи простий: принтер підігріває матеріал для друку (пластик або його аналог) до в'язкого стану, роблячи з нього краплю або нить, яка видавлюється на платформу.

Важливими критеріями оцінки якості 3D принтерів вважають, як правило:

- розмір області друку;
- автономність друку без ПК;
- гвинтовий або ремінний привід підйому бази;
- наявність і якість системи обдування області друку;
- потужність двигуна екструдера;
- наявність притискного механізму і тефлонової серцевини екструдера;

- місце розташування бобіни з пластиком;
- закритість камери для друку;
- жорсткість корпусу;
- якість використовуваних матеріалів;
- гарантійний і розрахунковий термін експлуатації принтера;
- забезпечення технічної підтримки принтера;
- наявність додаткових функцій (камера спостереження, прийом даних через wi-fi тощо).

Ряд параметрів можна оцінити в абсолютних величинах, наприклад:

- точність позиціонування по осях X, Y – це параметр, який визначає наскільки вірно переміститься друкуюча голівка 3D принтера відносно заданих комп'ютером координат. Точність позиціонування у багатьох сучасних принтерів складає близько 6-30 мікрон. Виключенням з цього принципу є недорогі і вже морально застарілі 3D принтерів, побудованих на гвинтовому приводі;

- висота кроку по осі Z, В сучасних принтерах крок механічного приводу, який опускає платформу з моделлю, дуже малий, до 2,5 мікрона. Проте це не означає, що висота шару при друці буде всього 2,5 мікрони. На висоті шару позначається цілий ряд фізичних обмежень, які не дозволяють створювати шари такого малого розміру. Слід враховувати також розмір розплавленої в'язкої краплі матеріалу з екструдера. Оптимальна висота шару за даними численних експериментів для FDM 3D друку - 200 мікрон. При такій висоті шару крапля утворюється досить великою, щоб склеїтися з попереднім шаром і надійно зафіксуватися на поверхні. Так само цілком прийнятною є висота шару 100 мікрон, але подібні налаштування удвічі збільшують час друку і роблять об'єкт крихкішим. Нагадаємо також, що вказувані в технічних характеристиках 100, 50 або навіть 20 мікрон - це часто не точність позиціонування, і не точність друку, а усього лише висота віддрукованого шару;

– розмір видавлюваної краплі (діаметр сопла). Реальний розмір "точки" на створюваній 3D моделі набагато більше залежить від діаметру отвору сопла екструдера, чим від висоти шару. Експериментальним методом інженери дійшли висновку, що оптимальним є використання сопел екструдера в 400 - 500 мікрон. Зменшення розміру сопла трохи поліпшить якість друку, але тонше сопло має і свої недоліки: його легко засмітити, друк частіше уривається, шари стають крихкішими. Програми створення моделей для 3D друку дозволяють вибрати довільний діаметр встановленого сопла, що враховується при генерації команд принтеру. Втім, термін "точка" в FDM 3D друку є дещо умовною. Принтери, які друкують пластиковою ниткою, не формують точки, вони видавлюють (екструдують) довгі об'ємні мікронитки, які укладають по заданій траєкторії. Іншими словами ви ніколи не отримаєте ідеальної точки і ідеальних граней на FDM 3D принтері. Нитка, яку видавлює принтер, неоднорідна і пластична. Більше того, в процесі нагріву і охолодження нитка міняє свою форму, плавиться і вигинається. Це фізичне обмеження термопластмас і аналогічних ним матеріалів, тому реально складно на FDM 3D принтері отримати якість друку краще 200-500 мікрон. Проте в більшості випадків точності 3D друку в межах 0,3-0,7 мм більш ніж достатньо.

Вищу точність видають DLP принтери, для яких характерні найвища деталізація і швидкість друку. Їх принцип роботи заснований на засвіченні фотополімеру спеціальною лампою. Дозвіл лампи проектора формує розмір точки. З штатним проектором розмір точки складає 50 мікрон, висота шару – 50 мікрон. Засвічення усього шару відбувається за один раз, міра твердіння полімеру визначається відрізком часу, який принтер витрачає на проектування картинки одного шару проектором. Такі принтери вимагають окремого ПК, окремого виходу відеокарти і регулярної заміни дорогих ламп.

Технічно цікавішими виглядають 3D принтери, побудовані на базі класичної SLA технології. У таких принтерах фотополімер твердіє під впливом лазерного променя, який міняє своє положення за допомогою

системи дзеркал. Товщина лазерного променя визначає розмір точки по осі X/Y - 300 мікрон (варто врахувати, що зріз лазерного променя - це швидше круг, ніж квадрат, тому візуальний розмір точки в SLA друку дещо менше і дуже близький до DLP принтерам), висота шару - 50 мікрон. Зараз эт осамые дорогі (понад 30 000 USD) і найбільші по розмірах принтери.

Короткі підсумки підрозділу:

- усі FDM 3D принтери на низьких швидкостях і високих налаштуваннях друкують з приблизно однаковою якістю;

- серед FDM 3D принтерів кращу якість і високу швидкість демонструють моделі, виконані в закритому корпусі з металу і оснащені системою обдування деталі;

- точність деталізації FDM 3D принтерів складає не вище 100-300 мікрон;

- вищу якість можна отримати тільки завдяки використанню SLA або DLP 3D принтерів. Проте харчові матеріали такого типу практично не зустрічаються.

#### 2.4 Висновки за розділом

За результатами оглядів в системі оцінювання 3D принтерів було визначено як важливі наступні критерії:

- точність 3D друку, яка залежить від таких характеристик, як точність позиціонування по осях X, Y, висота кроку по осі Z, та може бути узагальнена таким параметром як товщина друкованого шару;

- область друку, що задається розмірами прямокутної платформи;

- швидкість 3D друку. 3D принтер не друкує миттєво. Часто друк об'єкту може зайняти до декількох годин. Швидкість друку на цьому етапі залежить тільки від якості механіки і корпусу 3D принтера. Чим жорсткіше корпус, тим швидше можуть рухатися його рухливі елементи;

– матеріал друку. Усі представлені матеріали визначені як гарантовано безпечні для споживача. Тому при оцінці якості враховувалася наявність або відсутність синтетичних барвників. Зокрема, друк шоколадною масою або безбарвним цукровим сиропом була оцінена як прийнятніша в порівнянні з 4-х кольоровими компонентами;

– окремо було розглянуто кількість інгредієнтів, які можуть бути друковані одночасно – аналог поняття "кількість фарб" у звичайному друку;

– технологічність створеного елемента – мається на увазі поєднання надрукованих 3D елементів з харчовою основою шоколадно-вафельного торта;

– технологічність підготовки принтера до друку. Включає трудовитрати (які позначаються на собівартості кінцевого виробу) на підготовку моделі і обробку заданої моделі програмним забезпеченням принтера;

– вартість 3D принтера. Враховувалася тільки виставлена ціна продажу принтера. Вартість матеріалів розглядалася окремо, а витрати на підготовку до друку - в критерії технологічність підготовки;

– наявність додаткових переваг, як то – можливість підключення SD-карти або передачі даних через USB-порт.

Для подальшого оцінювання були відібрані принтери та критерії, дані по яких представлені у зведеній таблиці. Слід враховувати також, що у більшості випадків вибір певного принтера пов'язаний із відповідною технологією (табл. 2.1). Тобто в нашому випадку вибір обладнання впливав на особливості технологічного процесу та дизайн створюваного кондитерського виробу.

Вказані критерії закладені в основу розроблюваної методики.

Таблиця 2.1 – Зведена таблиця пристроїв адитивного друку та їх основних характеристик

Принтер	Технологія	Матеріал	Синтетичність шреденів	одночасно	Область друку	швидкість друку, мм/с	товщина шару, мм	SD-карта	USB-порт	Технологічність по торгу	Технологічність налаштування	Ціна, долл
Choc Edge Choc Creator 2.0 Plus	по пласкій поверхні	Шоколад	ні	1	180 x 180 x 50	150	0,8	ні	так	безп.	легка	3500
Chocola3d	по пласкій поверхні	Шоколад, паштет, сири	ні	1	250 x 210 x 80	50	0,1	так	так	безп.	легка	3000
Rokit Chocosketch	по пласкій поверхні	Шоколад	ні	1	240 x 120 x 70	20	0,3	так	ні	безп.	легка	1700
ChefJet	об'ємні фігури	цукор	ні	1	430 x 210 x 200	20	0,1	так	так	монтаж	складна	1500
ChefJet Pro	об'ємні фігури	цукор, 4	так	4	431 x 210 x 200	20	0,1	так	так	монтаж	складна	2500
PancakeBot	випікання	тісто	ні	1	180 x 180 x 15	20	0,4	так	ні	монтаж	середня	1700
Pancakes Printer F5	випікання	тісто	ні	1	110 x 110 x 15	20	0,4	так	ні	монтаж	середня	2500
Decoplotter	по пласкій поверхні	харчова паста, 5	так	5	416 x 228 x 120	60	0,4	так	так	монтаж	складна	7800

### 3 ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ В РАМКАХ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

3.1 Метод аналізу ієрархій як засіб прийняття рішень у багатокритеріальному виборі

За результатами огляду (розділ 2) була обґрунтована необхідність використання математичної моделі для порівняльного оцінювання якості та ефективності роботи пристроїв адитивного друку харчовими матеріалами на основі комплексного аналізу техніко-експлуатаційних показників і якості отримуваних виробів.

На практиці індивідуальні завдання ухвалення рішень дуже поширені в суспільстві. Візьмемо для прикладу керівництво фірмою, компанією або банком. Незважаючи на існування колегій, правління і рад, зазвичай є центральна фігура – ОПР (особа, що приймає рішення), яка визначає курс, тактику і стратегію дій на майбутній період.

У слабоструктурованих завданнях сама проблема вибору тісно пов'язана з людиною – постановником завдання, враховує суб'єктивне ставлення такої особи до проблеми.

В нашому випадку стоїть задача упорядкування альтернатив на відомій заздалегідь множині. Тобто це означає, що ми хочемо визначити відносну цінність кожної з альтернатив, враховуючи певну кількість різнопланових критеріїв.

Серед різноманітних методів формалізації рішення такої задачі ми можемо вибрати Метод Аналізу Ієрархій Сааті.

Метод Аналізу Ієрархій (МАІ) – математичний інструмент системного підходу до складних проблем ухвалення рішень. МАІ не наказує особі, що приймає рішення, якого-небудь "правильного" рішення, а дозволяє їй в інтерактивному режимі знайти такий варіант (альтернативу), який якнайкраще узгоджується з її розумінням суті проблеми і вимогами до рішення.

Цей метод розроблений американським математиком Томасом Сааті, широко використовується на практиці і активно розвивається вченими всього світу. У його основі разом з математикою закладені і психологічні аспекти. МАІ дозволяє зрозумілим і раціональним чином структурувати складну проблему ухвалення рішень у вигляді ієрархії, порівняти і виконати кількісну оцінку альтернативних варіантів рішення.

Метод Аналізу Ієрархій використовується у всьому світі для ухвалення рішень в різноманітних ситуаціях: від управління на міждержавному рівні до рішення галузевих і приватних проблем в бізнесі, промисловості, охороні здоров'я і освіті. Для комп'ютерної підтримки МАІ існує програмні продукти, розроблені різними компаніями.

Аналіз проблеми ухвалення рішень в МАІ починається з побудови ієрархічної структури, яка включає мету, критерії, альтернативи і інші чинники, що впливають на вибір. Ця структура відбиває розуміння проблеми особою, що приймає рішення. Кожен елемент ієрархії може представляти різні аспекти вирішуваної задачі, причому до уваги можуть бути прийняті як матеріальні, так і нематеріальні чинники, вимірювані кількісні параметри і якісні характеристики, об'єктивні дані і суб'єктивні експертні оцінки. Іншими словами, аналіз ситуації вибору рішення в МАІ нагадує процедури і методи аргументації, які використовуються на інтуїтивному рівні.

Наступним етапом аналізу є визначення пріоритетів, що представляють відносну важливість або перевагу елементів побудованої ієрархічної структури, за допомогою процедури парних порівнянь. Безрозмірні пріоритети дозволяють обґрунтовано порівнювати різноманітні чинники, що є відмітною особливістю МАІ.

На завершальному етапі аналізу виконується синтез (лінійна згортка) пріоритетів з ієрархії, в результаті якої обчислюються пріоритети альтернативних рішень відносно головної мети. Кращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету.

Таким чином багатокритерійне завдання ухвалення рішення про вибір оптимальної альтернативи з використанням МАІ містить наступні етапи:

- пошук і вибір альтернатив для оцінки;
- формулювання завдання вибору;
- підбір і ранжирування критеріїв;
- визначення оцінок об'єктів за критеріями і рівнями ієрархії;
- підсумкове згортання за нормованими оцінками і ухвалення рішення про вибір альтернативи [11].

Основна ідея методики, що розглянута в дослідженні, полягає в тому, що в рамках задачі вибору оптимальної технології ефективність певної технології 3D друку в харчовій промисловості визначається на основі порівняння даних, отриманих як у чисельному вигляді, так і у слабо вираженому відношенні.

Для виявлення чинників, що впливають на визначення ефективності технології 3D друку і виготовленого продукту, будуть розглянуті одиничні, групові і інтегральні показники. Уточнимо, що багатокритеріальний аналіз спрямований на встановлення найбільш значущих чинників і виявлення взаємозв'язків розглянутих даних.

На підставі дослідження математичної моделі та аналізу чинників, що впливають на визначення якості кінцевого продукту буде розроблено пропозицію використання 3D принтера та відповідної технології для впровадження в технологічний процес на Харківській бісквітній фабриці.

Аналіз проблеми на етапі декомпозиції дозволяє виділити і критерії, що складають другий рівень ієрархії в методі Сааті, з наступним визначенням множини альтернатив відповідно на третьому рівні ієрархії. У основі ієрархії розміщені можливі 3D принтери та відповідні технології.

Під час дослідження зв'язків між критеріями застосовувався метод рангового порівняння. Отримання і обробка оцінок включала наступні етапи: створення робочої і експертної груп; збір думок фахівців шляхом анкетного опитування; оцінка середньої міри узгодженості думок експертів, складання

зведеної матриці рангів на основі парних порівнянь та шкали стосунків (більше, менше, рівно; краще, гірше, еквівалентно).

### 3.2 Метод аналізу ієрархій: математична реалізація

Постановка завдання в процесі застосування методу аналізу ієрархій може бути зведена до аналізу сукупності альтернатив (варіантів рішень):  $A_1, A_2 \dots A_k$  за кожним з переліку критеріїв:  $K_1, K_2 \dots K_n$ .

Оптимальне рішення трактується як визначення альтернативи, яка у згортці з ваговими коефіцієнтами за всіма критеріями отримає найвищу інтегровану оцінку  $M$ .

$$M(A)_i = \sum_{j=1}^n W_j K_j.$$

Інтегрована оцінка  $M$  складає вищий рівень ієрархії (рівень 1). На цьому рівні може знаходитися лише один об'єкт. На наступному рівні знаходяться критерії, які було описано в підсумках до розділу 2.. В рамках кожного з цих критеріїв оцінюються порівнювані об'єкти (звані «альтернативами»). Альтернативи розташовано на самому нижчому рівні. Перелік альтернатив було визначено в таблиці 2.1 розділу 2.

Виконується попереднє ранжирування критеріїв, в результаті якого вони розташовуються в порядку убуття важливості (значущості). Критерії порівнюються попарно по відношенню до мети, альтернативи (на наступних кроках метода) – попарно по відношенню до кожного з критеріїв.

Попарне порівняння критеріїв за важливістю проводиться за дев'ятибальною шкалою із складанням відповідної матриці (таблиці) розміру  $(n \times n)$ . Система парних порівнянь призводить до результату, який може бути представлений у вигляді обернено симетричної матриці.

Відповідно заповнюються матриці парних порівнянь: одна – для комплексних критеріїв,  $n$  матриць – для альтернатив; тут  $n$  – кількість критеріїв.

Операція парного порівняння: два об'єкти, що знаходяться на одному рівні порівнюються за своєю відносною значимістю для одного об'єкту вищого рівня. Елементом матриці  $a(i, j)$  є інтенсивність прояву елемента ієрархії  $i$  відносно елемента ієрархії  $j$ , що оцінюється за шкалою інтенсивності від 1 до 9, де оцінки мають наступний сенс:

- рівна важливість – 1;
- помірна перевага – 3;
- значна перевага – 5;
- сильна перевага – 7;
- дуже сильна перевага – 9;
- у проміжних випадках ставляться парні оцінки: 2, 4, 6, 8 (наприклад, 4 – між помірною і значною перевагою).

При цьому при проведенні попарних порівнянь в основному ставляться наступні питання при порівнянні елементів  $A$  і  $B$ :

- «Який з них важливіше або має більшу дію?»;
- «Який з них вірогідніший?»;
- «Який з них прийнятніше?».

Потім формується матриця (схема представлена на рис. 4.2). В процесі заповнення матриці якщо елемент  $i$  важливіший за елемент  $j$ , то клітина  $(i, j)$ , відповідна рядку  $i$  і стовпцю  $j$ , заповнюється цілим числом, а клітина  $(j, i)$ , відповідна рядку  $j$  і стовпцю  $i$ , заповнюється зворотним числом (дробом).

Наприклад, якщо  $K1$  помірно перевершує  $K4$ , то в клітину  $(1;4)$  ставиться число 3, а в клітину  $(4;1)$  – зворотна величина, рівна  $1/3$ . Якщо ж елемент  $j$  важливіший, ніж елемент  $i$ , то ціле число ставиться в клітину  $(j; i)$ , а зворотна величина – в клітину  $(i; j)$ . Якщо вважається, що  $i$  та  $j$  однакові за важливістю, то в обидві клітини ставиться одиниця.

Якщо критерій має певну числову міру, наприклад, маса, продуктивність, ціна, то як результат оцінки зручно узяти відношення відповідних характеристик (заданих або розрахованих) в деякій шкалі відношень. Якщо критерій не має прийнятої міри, то порівняння проводиться

з використанням спеціальної «шкали відносної важливості» (інші назви: «шкала 1-9», «шкала Сааті» (табл. 3.1)). Ця шкала має 9 порівняльних градацій, вибраних з урахуванням експериментально встановлених психофізіологічних особливостей людини, що виконує порівняння.

Таблиця 3.1 – Шкала Сааті

Міра переваги	Визначення	Коментарі
1	Рівна перевага	Дві альтернативи однаково переважні з точки зору мети
2	Слабка міра переваги	Проміжна градація між рівною і середньою перевагою
3	Середня міра переваги	Досвід експерта дозволяє рахувати одну з альтернатив трохи прийнятніше за іншу
4	Перевага вище за середнє	Проміжна градація між середньою і помірно сильною перевагою
5	Помірна сильна перевага	Досвід експерта дозволяє рахувати одну з альтернатив явно прийнятніше за іншу
6	Сильна перевага	Проміжна градація між помірно сильною і дуже сильною перевагою
7	Дуже сильна(очевидне) перевага	Досвід експерта дозволяє рахувати одну з альтернатив набагато прийнятніше за іншу : домінування альтернативи підтверджене практикою
8	Дуже, дуже сильна перевага	Проміжна градація між дуже сильною і абсолютною перевагою
9	Абсолютна перевага	Очевидність переваги однієї альтернативи над іншою має безперечне підтвердження

Далі проводиться попарне порівняння варіантів (альтернатив) за кожним критерієм аналогічно тому, як це робилося для критеріїв, і заповнюються відповідні таблиці. Для кожної таблиці проводиться перевірка узгодженості локальних пріоритетів шляхом розрахунку індексу узгодженості.

Математична обробка матриць парних порівнянь для знаходження локальних і глобальних пріоритетів. При точному процесі визначення вектору локальних пріоритетів завдання зводиться до знаходження власного вектору матриці парних порівнянь:

$$A \cdot X = \lambda \cdot X,$$

де  $A$  – матриця парних порівнянь (МПП);

$X$  –  $n$ -мірний вектор, складений з шуканих пріоритетів;

$\lambda$  – власне значення МПП.

Нормування цього вектору:

$$\sum x_i = 1.$$

У даному завданні шуканим є вектор, відповідний максимальному власному значенню.

Вектор локальних пріоритетів може бути приблизно вичислений спрощеним способом: для кожного рядка матриці парних порівнянь знаходимо середнє геометричне її елементів:

$$a_{ij} = \left( a_{ij}^1 \cdot a_{ij}^2 \cdot \dots \cdot a_{ij}^n \right)^{1/n}.$$

Знаходимо суму усіх цих середніх геометричних.

Ділимо кожне середнє геометричне на їх суму («нормування на одиницю»). Результат – вектор локальних пріоритетів цієї матриці.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ

Планування дослідження в даній атестаційній роботі полягає в обґрунтуванні вибору необхідних критеріїв оцінювання ефективності застосування 3D-принтерів та відповідних технологій для друку декоративних елементів у харчовій промисловості. В рамках роботи було перевірено на практиці застосування пропонованої методики та обробки експериментальних даних [4].

План дослідження – це перелік послідовних етапів для досягнення поставленої мети дослідження. Метою дослідження є розробка загальної методики для багатокритеріальної оцінки ефективності роботи та подальшого впровадження технології адитивного друку та відповідного обладнання на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика».

Планування експерименту включає ряд етапів [12].

1. Встановлення мети експерименту (метою даного дослідження є уточнення набору критеріїв для оцінки розглянутих варіантів ефективності роботи та вибору оптимального 3D-принтера).

2. Виявлення і вибір критеріїв оцінювання (докладний опис критеріїв зазначено в розділі 2).

3. Уточнення умов проведення експерименту. Експеримент проводиться відповідно до протоколу, в якому необхідно було визначити порівняльну міру для кожної пари альтернатив (принтерів) за кожним критерієм.

4. Встановлення точності результатів вимірювань за допомогою методу порівняння критеріїв в процесі прийняття рішення. З урахуванням цієї обставини кожному критерію присуджується свій бал (ранжування на основі узагальнювання висловлювань експертів). Оцінка кожного критерію здійснена в рамках того ж методу попарного порівняння.

5. Складання плану і проведення експерименту – кількість і порядок випробувань, спосіб збору, зберігання і документування даних. Експеримент буде проходити відповідно до схеми, наведеної на рисунку 4.1.

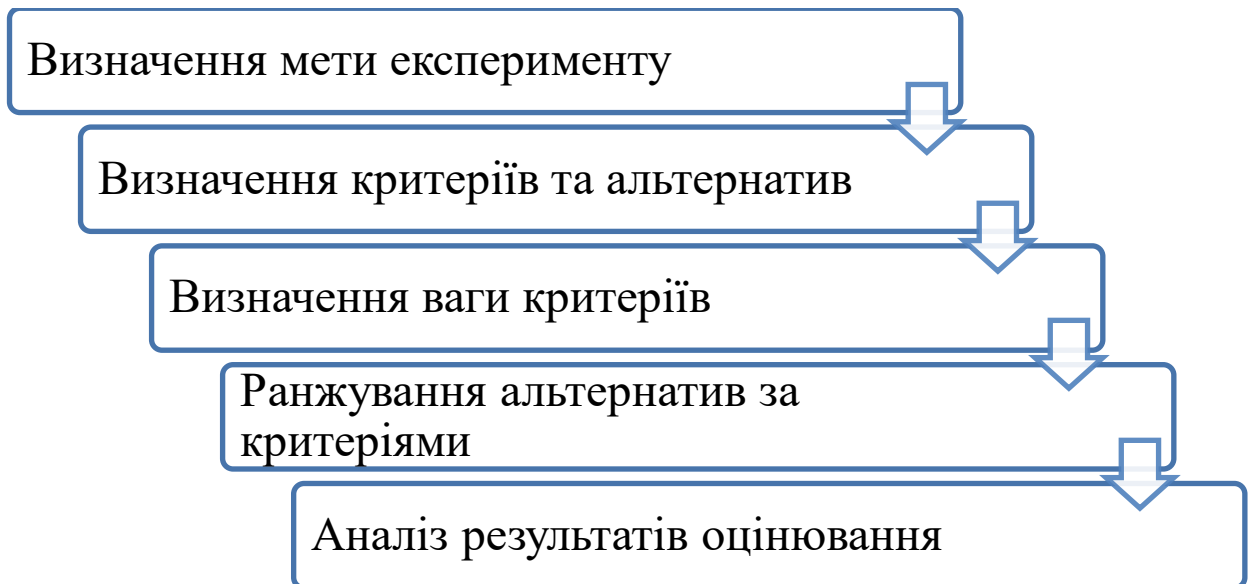


Рисунок 4.1 – Проведення експерименту

6. Статистична обробка результатів експерименту, побудова математичної моделі поведінки досліджуваних характеристик.

7. Пояснення отриманих результатів та формулювання рекомендацій по їх використанню.

#### 4.1 Проведення експерименту

Попередній погляд на розподіл параметрів розглянутих пристроїв адитивного друку показав, що навіть після формалізації якісних параметрів, як то синтетичність застосованих матеріалів або технологічність монтажу надрукованого виробу на поверхню торта, вибір оптимального з них не є простим завданням (рис. 4.2).

Так, швидкий погляд на діаграму свідчить, що певні пристрої мають свої переваги – наприклад, Decoplotter та ChefJet Pro мають переваги за кількістю інгредієнтів та розмірами області друку, а Choc Edge відрізняється швидкістю друку. Тому для визначення практичних результатів використовується метод згортання чисельних оцінок в єдину інтегровану оцінку. Одним з таких методів є метод аналізу ієрархій.

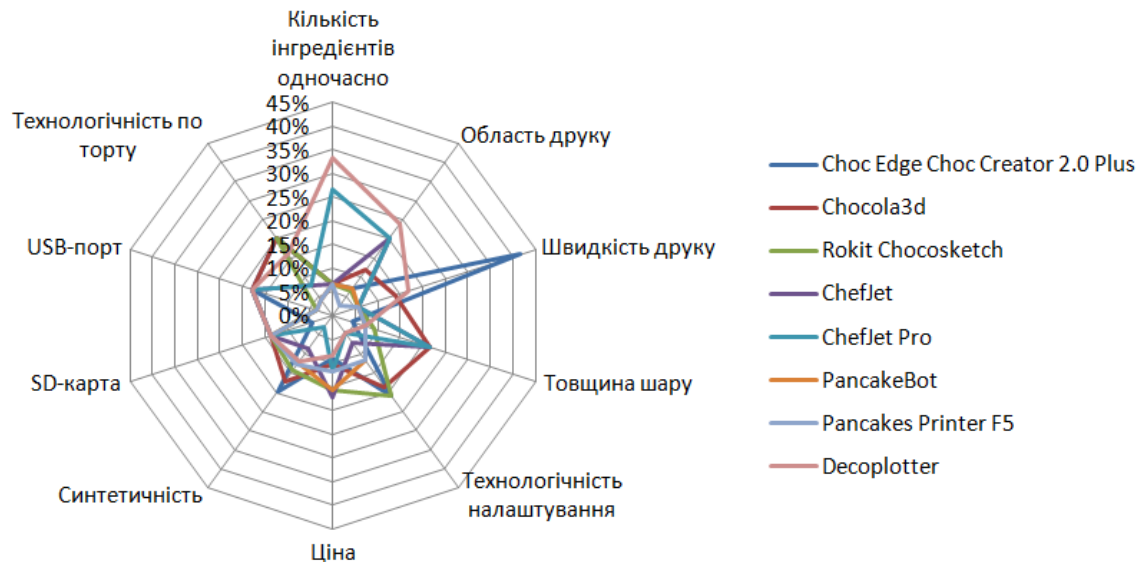


Рисунок 4.2 – Радіальна діаграма параметрів розглянутих пристроїв

У класичному розумінні метод аналізу ієрархій припускає активне обговорення усіх його етапів групою експертів під керівництвом організатора, починаючи з етапу встановлення цілей дослідження, рівнів і критеріїв ієрархії, альтернатив, і закінчуючи обговоренням отримуваних результатів з метою коригування думок.

Вимоги до експертів не жорсткі, без визначення кількісних оцінок переваг по розроблюваних шкалах. Згідно методології методу аналізу ієрархій достатні рангові оцінки переваг (краще, гірше, приблизно рівно). У результаті можна від експерта перейти до оцінок особи, що приймає рішення (у нашому випадку – директори підприємства або його зама).

Перелік критеріїв другого рівня ієрархії в методі (власне, критеріїв оцінювання) був наведений в висновках до розділу 2. Перелік альтернатив, тобто елементів третього рівня, наведений в таблиці 2.1 наприкінці розділу 2.

Створена ієрархія наведена на рис. 4.3.

Для визначення порівняльної значущості критеріїв, що буде виражена у вагових коефіцієнтах, були залучені четверо експертів та проведена процедура ранжування критеріїв методом попарного порівняння.

Відповідно до вимог методу критерії були ранжирувані методом попарного порівняння групою експертів (рис. 4.4). З точки зору експертів-фахівців (директор підприємства і його заступники) найбільш важливими

показниками були визначені точність та швидкість друку, а також можлива кількість інгредієнтів для друку більш привабливого зображення (рис. 4.5).



Рисунок 4.3 – Ієрархія критеріїв «мета – критерії – альтернативи»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Принтер	Оцінка критерію	Кількість інгредієнтів одночасно	Область друку	Швидкість друку	Товщина шару	Технологічність налаштування	Ціна	Синтетичність	SD-карта	USB-порт	Технологічність по торту			
2			7,5	8,75	9,5	8,25	4	5,5	5,5	1,25	1,75	3			
3	Кількість інгредієнтів одночасно	7,50	1,00	0,86	0,79	0,91	1,88	1,36	1,36	6,00	4,29	2,50		1,661545	14%
4	Область друку	8,75	1,17	1,00	0,92	1,06	2,19	1,59	1,59	7,00	5,00	2,92		1,938469	16%
5	Швидкість друку	9,50	1,27	1,09	1,00	1,15	2,38	1,73	1,73	7,60	5,43	3,17		2,104624	17%
6	Товщина шару	8,25	1,10	0,94	0,87	1,00	2,06	1,50	1,50	6,60	4,71	2,75		1,8277	15%
7	Технологічність налаштування	4,00	0,53	0,46	0,42	0,48	1,00	0,73	0,73	3,20	2,29	1,33		0,886157	7%
8	Ціна	5,50	0,73	0,63	0,58	0,67	1,38	1,00	1,00	4,40	3,14	1,83		1,218466	10%
9	Синтетичність	5,50	0,73	0,63	0,58	0,67	1,38	1,00	1,00	4,40	3,14	1,83		1,218466	10%
10	SD-карта	1,25	0,17	0,14	0,13	0,15	0,31	0,23	0,23	1,00	0,71	0,42		0,276924	2%
11	USB-порт	1,75	0,23	0,20	0,18	0,21	0,44	0,32	0,32	1,40	1,00	0,58		0,387694	3%
12	Технологічність монтажу по торту	3,00	0,40	0,34	0,32	0,36	0,75	0,55	0,55	2,40	1,71	1,00		0,664618	5%
13															
14															100%

Рисунок 4.4 – Матриця парних порівнянь комплексних критеріїв першого рівня

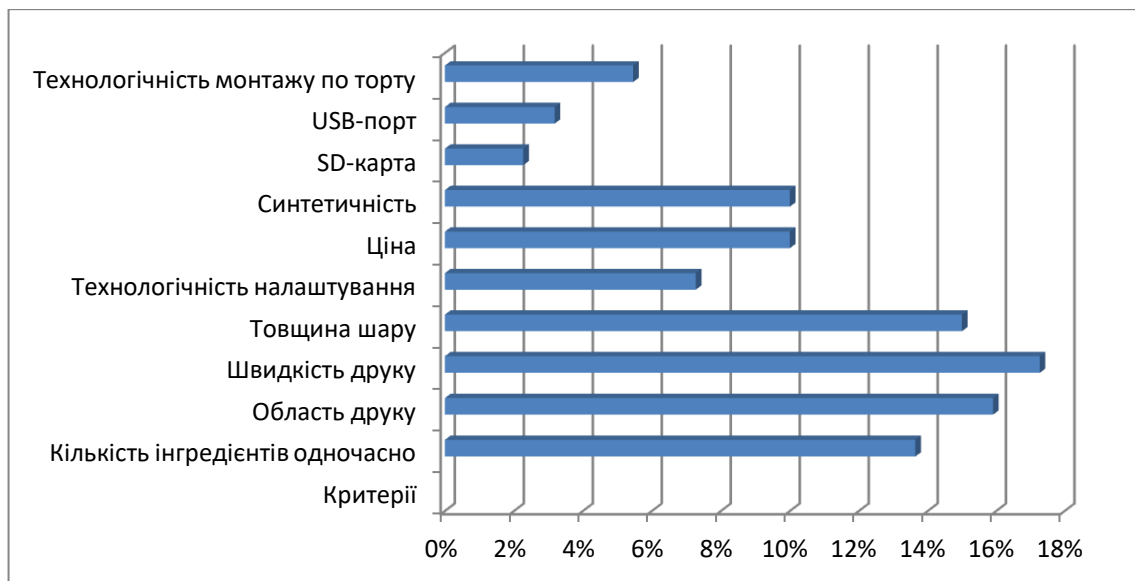


Рисунок 4.5 – Діаграма ранжування критеріїв першого рівня

## 4.2 Обробка та аналіз результатів експерименту

Для оцінки як альтернативи були розглянуті принтери адитивного друку для харчової промисловості, опис яких був наведений в таблиці 2.1 наприкінці розділу 2.

Результати порівняльного оцінювання зведені в єдину таблицю (рис. 4.6-4.7) з урахуванням вагових коефіцієнтів, які були визначені на попередньому етапі.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
				Узагальнена оцінка	Кількість інгредієнтів одночасно	Область друку	Швидкість друку	Товщина шару	Технологічність налаштування	Ціна	Синтезність	SD-карта	USB-порт	Технологічність по торгу
1	Технологія	Матеріал	Принтер	Вагові коефіцієнти ->	14%	16%	17%	15%	7%	10%	10%	2%	3%	5%
3	по пласкій поверхні	Шоколад	Choc Edge Choc Creator 2.0 Plus	<b>16,1%</b>	7%	7%	42%	4%	21%	9%	20%	5%	18%	20%
4	по пласкій поверхні	Шоколад, паштет, сири	Chocola3d	<b>14,5%</b>	7%	12%	14%	22%	19%	10%	17%	14%	18%	20%
5	по пласкій поверхні	Шоколад	Rokit Chocosketch	<b>10,3%</b>	7%	6%	6%	9%	21%	16%	14%	14%	4%	20%
6	об'ємні фігури	цукор	ChefJet	<b>12,7%</b>	7%	20%	6%	22%	7%	17%	9%	14%	18%	8%
7	об'ємні фігури	цукор, 4	ChefJet Pro	<b>14,2%</b>	27%	20%	6%	22%	5%	12%	3%	14%	18%	8%
8	випікання	тісто	PancakeBot	<b>8,4%</b>	7%	7%	6%	7%	12%	16%	13%	14%	4%	4%
9	випікання	тісто	Pancakes Printer F5	<b>7,3%</b>	7%	3%	6%	7%	12%	12%	13%	14%	4%	4%
10	по пласкій поверхні	харчова паста, 5	Decoplotter	<b>16,5%</b>	33%	24%	17%	7%	5%	9%	12%	14%	18%	16%

Рисунок 4.6 – Загальний вигляд таблиці порівняльного оцінювання

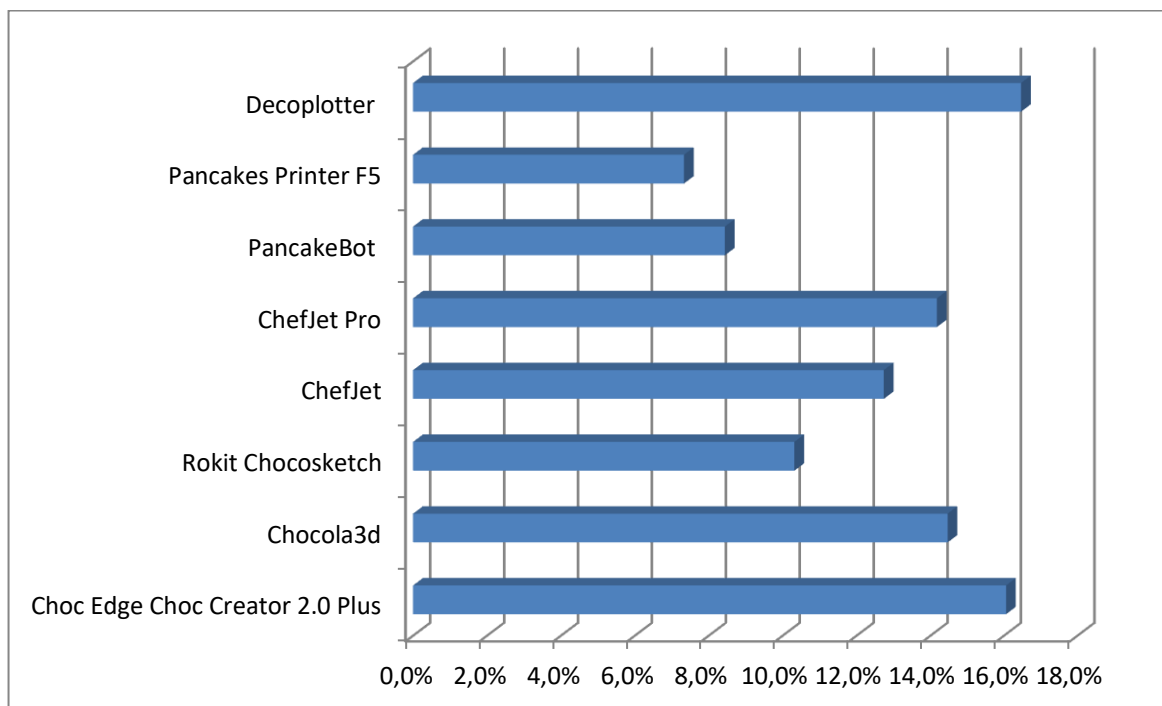


Рисунок 4.7 – Діаграма результатів комплексної оцінки якості принтерів

Так, за даними багатокритерійного комплексного оцінювання найбільш вдалим рекомендаціями можна вважати принтери Decoplotter (друк кольоровими барвниками), Choc Edge (друк шоколадом), ChefJet Pro (друк кольоровим цукром). Незважаючи на певний недолік (синтетичність барвників), в основу пропонованої технології був обраний принтер Decoplotter, за рахунок відносно низької ціни, вдалої технології монтажу (друк може бути виконаний на будь-якій харчовій поверхні) та кольорового зображення на продукті.

Використання методики комплексної оцінки ефективності друку адитивними технологіями є науково-дослідним завданням і може розглядатися як окремий етап процесу проектування виробництва. Запропонована методика ґрунтується на вивченні особливостей спеціальних друкарських пристроїв та відповідних технологій, їхніх переваг і властивостей в конкретних умовах. На основі цієї інформації обрані типові зразки пристроїв, завдяки чому нове рішення проектною задачі дозволило провести порівняльний аналіз типових об'єктів, що підтверджує можливість використання методики для інших проектів.

#### 4.3 Апробація методики на підприємстві

Узагальнюючи переваги та недоліки розробленої аналітичної пропозиції, можна зазначити, що впровадження лінії кондитерських тортів з фото історичних пам'яток Харкова для приїжджих до нашого міста є технологічно обґрунтованою та економічно привабливою.

На всіх цих тортах є присутні фото Харкова. Туристи зможуть не тільки насолодитися величною красою нашого міста, але й увезти солодкий шматочок його краси з собою. Під час реалізації технології були опрацьовані фотографії декількох відомих місць Харкова, з метою виготовлення сувенірних тортів.

Кондитерські вироби зроблені з вафельних коржів, із прошарками солодкої начинки та шоколадної глазури. До складу виробів включені горіхи,

сухофрукти, фруктові добавки. Завершують декор тортів фото пам'яток Харкова. Ці фото нанесені безпосередньо на шар глазури торта кольоровими харчовими барвниками. Термін зберігання вафельних тортів з друкованою поверхнею – до 2 місяців. На відміну від бісквітних тортів, вафельні не треба зберігати в холодильнику, щоб уникнути появи білого нальоту. Тому туристи зможуть довести солодкий сувенір додому, навіть в неймовірно спекотну погоду.

В подальшій перспективі ПАТ «Харківська бісквітна фабрика» зможе розширити цей інвестиційний проект не тільки для туристів нашого міста з пам'ятками Харкова, а й для інших туристів, що відвідають різні туристичні куточки нашої України.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Характеристика науково-дослідного рішення

Метою даного розділу є економічне обґрунтування витрат на проведення науково-дослідної роботи [5] в області оцінювання ефективності пристроїв адитивного друку та відповідних технологій, яке передбачає: розрахунок трудовитрат та заробітної плати працівникам, одноразових витрат, прибутку, оцінку результатів роботи та визначення економічної ефективності НДР.

Реалізація НДР передбачає такі етапи:

- аналіз наявних методів оцінювання пристроїв адитивного друку (3D-принтерів);
- розробка методики оцінювання та визначення критеріїв з метою застосування багатокритеріальної математичної моделі з урахуванням специфіки харчової промисловості;
- апробація методики на прикладі вибору 3D-принтеру (а, відповідно, особливостей технології та застосованих матеріалів) з метою виявлення оптимального в умовах конкретного замовлення на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика»;
- аналіз результатів застосування методики і міри релевантності її використання.

### 5.2 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата

У процесі виконання науково-дослідної роботи був проведений огляд найбільш поширених представників пристроїв лінійки адитивного друку, вивчено стандарти та рекомендації щодо визначення рівня якості продуктів, розроблені рекомендації щодо використання критеріїв оцінювання технологій адитивного друку з урахуванням специфічних факторів безпеки для здоров'я людини, проведений пошук ефективної технології в конкретних

умовах виробництва на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика» за допомогою МАІ.

Умовно науково-дослідну роботу (НДР) можна розділити на три етапи: підготовчий, основний і заключний.

На стадії виконання підготовчого етапу були виконані підбір і аналіз літературних джерел для проведення відповідних до постановки задачі робіт, зокрема порівняльний огляд пристроїв адитивного друку та визначення критеріїв.

На етапі виконання основної частини НДР були виконані такі роботи:

- збір характерних даних описаних пристроїв для проведення порівняльного багатокритеріального аналізу;

- використання методу аналізу ієрархій для оцінки якості та ефективності розглянутих пристроїв та відповідних технологій;

- апробація методики на прикладі вибору 3D-принтеру (а, відповідно, особливостей технології та застосованих матеріалів) з метою виявлення оптимального в умовах конкретного замовлення на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика»;

- аналіз результатів застосування методики і міри релевантності її використання.

У заключній частині проводяться аналіз результатів виконання НДР, складання звіту з НДР, захист звіту.

Найбільш складною й відповідальною частиною під час планування НДР є розрахунок трудомісткості робіт, оскільки саме трудові витрати становлять основну частину вартості науково-дослідних робіт і безпосередньо впливають на терміни виконання.

Дану роботу виконували два фахівця: менеджер проекту та фахівець. Середня зарплата менеджера проекту була визначена в розмірі 30000 грн, фахівця в області адитивного друку – 20000 грн.

Проведемо розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавця робіт.

Середньоденна заробітна плата виконавця робіт ( $Z_{\text{ср.дн.}}$ ) розраховується:

$$Z_{\text{ср.дн.}} = \frac{Z_{\text{ср.міс.}}}{n}, \quad (5.1)$$

де  $Z_{\text{ср.міс.}}$  – середньомісячна зарплата виконавця роботи;

$n$  – число робочих днів у місяці, ( $n=22$ ).

Середньоденна заробітна плата керівника робіт та інженера-метролога відповідно складає:

$$Z_{\text{ср.дн.}} = \frac{30000}{22} = 1364 \text{ (грн)},$$

$$Z_{\text{ср.дн.}} = \frac{20000}{22} = 909 \text{ (грн)}.$$

Для визначення трудовитрат і заробітної плати виконавців робіт було використано розрахунок в MS Project (рис. 5.1).

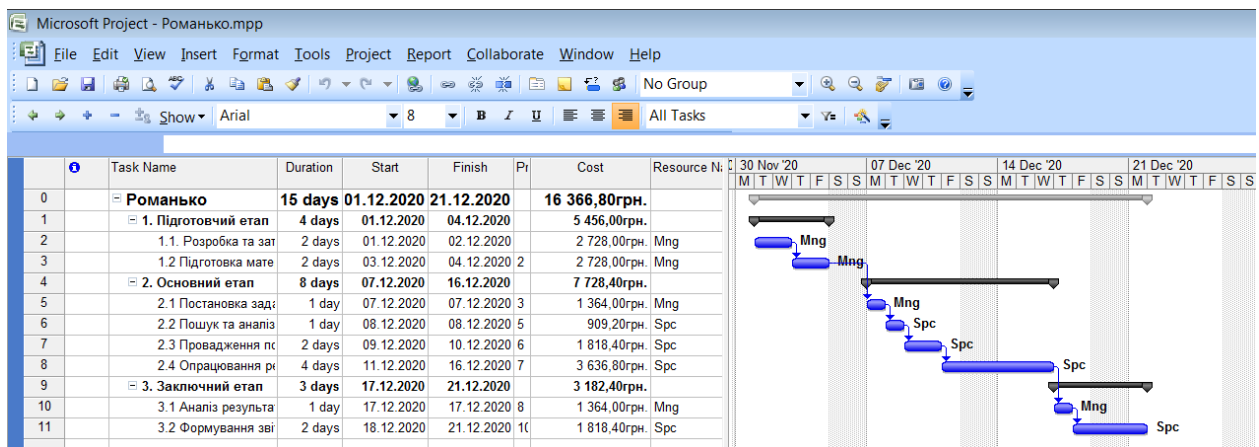


Рисунок 5.1 – Діаграма Ганта та етапи виконання дослідження

Результати розрахунків щодо виконання НДР, перелік і зміст робіт, трудомісткість їх виконання, заробітна плата виконавців робіт наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавця робіт

Перелік робіт	Кількість виконавців	Посада виконавця	Трудоємність робіт, люд.-днів	Середня заробітна плата, грн / годину	Сума заробітної плати, грн.
1. Підготовчий етап					
1.1. Розробка та затвердження ТЗ на НДР	1	менеджер	2	1364	2728
1.2 Підготовка матеріалів та даних для виконання НДР	1	менеджер	2	1364	2728
2. Основний етап					
2.1 Постановка задачі	1	менеджер	1	1364	1364
2.2 Пошук та аналіз параметрів пристроїв	1	фахівець	1	909	909
2.3 Проведення порівняльного аналізу	1	фахівець	2	909	1818
2.4 Опрацювання рекомендацій щодо обраної технології	1	фахівець	4	909	3637
3. Заключний етап					
3.1 Аналіз результатів проведення роботи	1	менеджер	1	1364	1364
3.2 Формування звіту, висновків	1	фахівець	2	909	1818
ВСЬОГО			15		16367

### 5.3 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР

Калькуляція собівартості розраховується відповідно до існуючих нормативних актів України. До складу калькуляції входять такі статті витрат:

- матеріальні витрати;
- витрати на оплату праці;
- єдиний соціальний внесок;
- амортизація основних засобів (вартість машинного часу);
- витрати на спожиту електроенергію;
- інші витрати.

До інших витрат відносяться адміністративні витрати (водопостачання, водовідведення, опалення, освітлення) та вартість послуг зв'язку.

Матеріальні витрати визначаються витратами на матеріали, визначені їх потребою для виконання робіт, і цін, що діють на момент складання калькуляції. Згідно з проведеними розрахунками витрати на оплату праці дорівнюють 16367 грн. Для проведення НДР потрібно 2 пачки паперу як матеріал для друку.

Матеріальні витрати розраховуються за такою формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n Q_j \times C_j, \quad (5.2)$$

де  $M$  – сумарні витрати на матеріали, в тому числі малоцінні предмети, що швидко зношуються (носії, папір, канцелярське приладдя тощо), або на літературу, яка необхідна для проведення роботи, тощо;

$Q_j$  – кількість використаних одиниць  $j$ -го виду матеріалів,  $j=(1..n)$ ;

$C_j$  – ціна одиниці  $j$ -го виду матеріалів.

У даному випадку загальні витрати на матеріали становлять 160 грн.

Єдиний внесок на загальнодержавне соціальне страхування (ЄСВ) – консолідований страховий внесок, збір якого здійснюється в систему загальнообов'язкового державного соціального страхування в обов'язковому порядку і на регулярній основі з метою забезпечення захисту у випадках, передбачених законодавством, прав застрахованих осіб і членів їх сімей на отримання страхових виплат (послуг) за діючими видами загальнообов'язкового державного соціального страхування.

Для об'єкта дослідження ставка єдиного соціального внеску дорівнює 22% від витрат на оплату праці, тобто розмір ЄСВ дорівнює 3600,70 грн.

При виконанні НДР застосовувалось наступне обладнання: 2 комп'ютера вартістю 28000 грн. кожний.

Дане устаткування є власністю організації виконавця, тому доцільно розрахувати суму амортизаційних відрахувань на період виконання НДР.

Амортизація основних засобів розраховується за формулою:

$$AB = \sum_{k=1}^L \frac{BO_k}{TE_k} \times T, \quad (5.3)$$

де  $AB$  – сума амортизаційних відрахувань, нарахованих під час проведення науково-дослідницької роботи;

$BO_k$  – вартість основних засобів  $k$ -го виду;

$TE_k$  – термін експлуатації основних засобів  $k$ -го виду, днів;

$T$  – термін науково-дослідницької роботи, днів;

$L$  – кількість видів обладнання.

Підставивши відомі значення у (5.3), визначимо величину амортизаційних відрахувань. Отже маємо:

$$AB = \frac{28000}{545} \cdot 6 + \frac{28000}{545} \cdot 9 = 770.64 \text{ (грн.)}$$

Витрати на використану обладнанням електроенергію розраховуються за формулою:

$$Z_e = M \cdot t \cdot T_{кВт}, \quad (5.4)$$

де  $M$  – потужність устаткування, тобто кількість енергії, споживаної за одиницю часу (кВт/година);

$t$  – кількість годин використання устаткування за період проведення науково-дослідницької роботи;

$T_{кВт}$  – тариф, тобто вартість використання 1 кВт електроенергії.

Споживна потужність комп'ютера складає 0,7 кВт за годину. Тариф споживачів за першим класом напруги, тобто від 35 кВт та більше, складає 2,4 грн./кВт.годин (без ПДВ). Підставивши значення у (5.4), визначимо величину витрат на спожити електроенергію (табл. 5.2):

Таблиця 5.2 – Кошторис витрат та прибутку на розробку НДР

Витрати на електроенергію	кВт	Сума, грн
Тариф, грн / кВт	0,7	2,40
Комп'ютер 1	33,6	80,64
Комп'ютер 2	50,4	120,96
УСЬОГО		201,60

До інших статей витрат відносяться такі:

- адміністративні витрати: (водопостачання, водовідведення, освітлення, опалення), які прийнято у розмірі 20% від витрат на оплату праці;
- вартість оплати послуг зв'язку.

Вартість оплати послуг зв'язку становитиме: інтернет – із розрахунку 150 грн. на місяць (безлімітний пакет) та телефонні розмови, із розрахунку 80 грн. на місяць (безлімітний пакет); всього 138 грн. за 15 днів виконання НДР. За час виконання НДР витрати на відрядження, інформаційні послуги та маркетингові заходи не мали місця. Результати розрахунку кошторису витрат, тобто одноразових витрат, на виконання НДР «Дослідження можливостей адитивного друку у харчовій промисловості» наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок витрат на розробку НДР

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Заробітна плата	16366,80
2	Єдиний соціальний внесок (22,0 % від п.1)	3600,70
3	Матеріальні витрати	160,00
4	Амортизація основних засобів	770,64
5	Витрати на спожиту електроенергію	201,60
6	Інші витрати, у тому числі:	
6.1	адміністративні витрати	818,34
6.2	вартість послуг зв'язку (інтернет)	80,36
6.3	вартість послуг зв'язку (телефон)	42,86
7	Всього (Вр)	22041,29
8	Прибуток (10% від. п. 7)	2204,13
9	Ціна без ПДВ	24245,42
10	ПДВ (20% від п.9)	4849,08
11	<b>Ціна з урахуванням ПДВ</b>	<b>29094,50</b>

Таким чином, кошторис витрат на виконання даної НДР відбиває сумарні витрати за статтями п.1÷п.6 та складає 22041,29 грн.

#### 5.4 Оцінка результатів науково-дослідної роботи

Результат – це завершальний наслідок послідовності дій, виражений якісно або кількісно. В загальному випадку оцінка результатів НДР – це визначення ефективності отриманих рішень порівняно з сучасним науково-технічним рівнем.

У ході НДР була проведена оцінка пристроїв адитивного друку, вивчено стандарти та рекомендації щодо визначення рівня якості продуктів, розроблені рекомендації щодо використання критеріїв оцінювання

технологій адитивного друку з урахуванням специфічних факторів безпеки для здоров'я людини, проведений пошук ефективної технології в конкретних умовах виробництва на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика». В результаті роботи був обраний принтер Descoplotter з можливістю безпосереднього друку харчовими матеріалами по поверхні торта.

В економічній частині роботи здійснені розрахунки з формування витрат на проведення НДР, які склали 22041,29 грн. Роботу в цілому можна вважати ефективною або такою, що має достатній науковий та технічний рівень.

## ВИСНОВКИ

В дослідженні розглянуті важливі аспекти оцінки та ефективності використання пристроїв адитивного друку в харчовій промисловості на прикладі роботи ПАТ «Харківська бісквітна фабрика». Головне завдання цього дослідження полягало у створенні об'єктивної комплексної методики оцінки ефективності роботи та якості отриманих продуктів в конкретних умовах.

Протягом виконання дослідження:

- проведено аналіз теоретичних основ методології оцінювання ефективності роботи пристроїв адитивного друку харчовими матеріалами та визначення комплексу відповідних критеріїв;

- розроблена методика комплексного оцінювання і вдосконалення ефективності використання певної технології адитивного друку та відповідного обладнання з урахуванням специфіки харчової промисловості;

- проведена апробація методики на прикладі вибору 3D-принтеру (а, відповідно, особливостей технології та застосованих матеріалів) з метою виявлення оптимального в умовах конкретного замовлення на ПАТ «Харківська бісквітна фабрика»;

- розглянуто отримані результати, наведено рекомендації щодо вибору оптимальної друкарської технології в конкретних умовах;

- обґрунтовано економічну доцільність виконання дослідження за даною темою.

Підводячи підсумки дослідження, можна зробити висновки, що запропонована в роботі методика оцінювання і вибору оптимальної технології адитивного друку успішно була застосована на практиці, що дозволяє говорити про ефективність і потенціал її практичного застосування.

Розглянуті в роботі критерії, завдяки яким можна оцінити міру ефективності роботи та якості продукції систем адитивного друку харчовими матеріалами, можуть обчислюватися залежно від типу замовлення та

конкретних умов роботи, проте для кожного з цих типів потрібно дотримання не лише загальних вимог стандартів, але і здатність виділити специфічні вимоги щодо умов та ефективності роботи; перспективи цього дослідження полягають в підтвердженні на практиці міри його ефективності відносно вдосконалення роботи у харчовій промисловості.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Варнавский А.Н., Гадельшин А.Р., Салин Д.С. Исследование влияния показателей печати на качество и соотношение цена/качество результата изготовления изделий на бюджетном 3D-принтере // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 124-130.
2. Гавенко С.Ф. Оцінка якост поліграфічної продукції: навч. посіб. Львів: Афша, 2000. 120 с.
3. Гришин А.С. Новые технологии в индустрии питания – 3D-печать // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2016. №2. С. 36-44.
4. Колочева В.В. Застосування методу аналізу ієрархій для ранжирування бізнес-процесів. URL: <https://moluch.ru/conf/econ/archive/9/196/> (дата звернення: 28.10.2020).
5. Методические рекомендации к выполнению экономической части дипломных проектов, работ для студентов дневной и заочной форм обучения всех специальностей / Л.В. Соколова, О.И. Горбач, С.В. Гришко, Є.В. Диденко, Л.В. Левченко, Г.М. Путятин, В.Г. Харченко. Харків: ХНУРЕ, 2010. 64 с.
6. Миронова Н.А., Дубровин В.І. Огляд методів аналітичної ієрархії // Інтелектуальні системи ухвалення рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. Том 1. Херсон: ХНТУ, 2009. С. 192-194.
7. Міжнародний стандарт ISO/ASTM 52900 Additive manufacturing – General principles – Terminology. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/74514.html> (дата звернення 28.10.2020).
8. Модифікований метод аналізу ієрархій (версія 1, 2) / О.А. Павлов, К.І. Ліщук, О.З. Штанькевич, Г.А. Іванова, О.П. Федотов // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія «Інформатика, управління та обчислювальна техніка». 2009. № 51. С. 42-53.

9. Павлов А.А., Лищук Е.И. Принятие решений на основе метода анализа иерархий // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": Темат. вып.: Системный анализ, управление и информационные технологии. 2007. № 41. С. 69-76.

10. Родионова О.И., Алешков А.В., Синюков В.А. 3D-печать пищевой продукции как инновационная технология // Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права. 2019. №2 (100). С. 119-123.

11. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. Радио и связь, 1993. 314 с.

12. Бізюк А.В., Вовк О.В., Ткаченко В.П. Основи наукових досліджень: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2019. 180 с.