

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Другого (магістерського) рівня вищої освіти

**на тему: “ Розробка інформаційної системи для управління  
виробничим процесом збирання FPV-дронів ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Іт-62  
Спеціальності 126 – „Інформаційні системи та  
технології”

(шифр і назва)

Гошко Маркіян Маркіянович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о. доц. Чухрай Л.В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Шарибура А.О.

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

**УДК 004.9:658.5**

**Гошко М.М.** Розробка інформаційної системи для управління виробничим процесом збирання FPV-дронів. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025, 59 с. текстової частини, 16 таблиць, 3 рисунки, 10 джерел.

У даній кваліфікаційній роботі було розглянуто проблему недостатньої прозорості та контролю якості на етапі серійного виробництва безпілотних авіаційних комплексів (БАК) класу FPV. Розроблено інформаційну систему (ІС) класу MES/MRP, що забезпечує автоматизацію обліку компонентів (BOM), хронометраж праці та багаторівневий QC-контроль. Спроектowana архітектура системи, верифікована на прикладі 10-дюймового дрона, дозволяє мінімізувати брак, спричинений людським фактором, та забезпечує економічну ефективність за рахунок точного розрахунку собівартості.

**ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ, QC-КОНТРОЛЬ.**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Другий (магістерський) рівень вищої освіти  
Спеціальність 126 "Інформаційні системи та технології"

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
д.т.н., проф. А.М. Тригуба  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Гошку Маркіяну Маркіяновичу

1. Тема роботи: Розробка інформаційної системи для управління виробничим процесом збирання FPV-дронів

Керівник роботи Чухрай Любомир Володимирович, к.т.н., в.о. доцент.

Затверджені наказом по університету від 28 лютого 2025 року № 140/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 19.12.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: \_

1. Технічна специфікація виробництва.

2. Організаційно-бізнесові дані.

3. Вимоги до системи та обмеження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: 1. Аналіз стану питання в практиці та теорії. 2. Обґрунтування, вибір та реалізація інструментарію вирішення задачі. 3. Результати вирішення задачі. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Оцінка втрат продукції в виробничих проектах рослинництва. Загальні висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
рисунок, графіки, формули

## 6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Чухрай Л.В., в.о. доцента кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

## 7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	01.05.-30.05.25	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	01.06.-30.06.25	
3.	<i>Виконання третього розділу та формування початкових даних</i>	01.09.-30.09.25	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення отриманих результатів магістерської роботи</i>	01.10.-30.10.25	
6.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	01.11.-30.11.25	
7.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів графічної частини</i>	01.12.-30.12.25	
8.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.12.-12.01.25	

Студент

\_\_\_\_\_ Гошко М.М..  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Чухрай Л.В.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ, ОГЛЯД ВОЛОНТЕРСЬКИХ СИСТЕМ .....	12
1.1. Сучасний стан та виклики виробництва FPV-дронів в Україні.....	12
1.2. Аналіз та опис бізнес-процесу збирання FPV-дронів .....	13
1.2.1. Логічна структура виробничого процесу .....	13
1.2.2. Ідентифікація "вузьких місць" та джерел браку .....	14
1.2.3. Обґрунтування функціоналу ІС на основі аналізу .....	15
1.3. Огляд та порівняльний аналіз існуючих систем.....	15
1.3.1. Огляд існуючих платформ.....	16
1.3.2. Порівняльний аналіз та ідентифікація прогалин.....	16
1.4. Формулювання вимог до проєктування нової інформаційної системи ....	17
1.4.1. Функціональні вимоги (ФВ).....	18
1.4.2. Нефункціональні вимоги (НФВ).....	19
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ: АРХІТЕКТУРА, МОДЕЛЮВАННЯ ДАНИХ ТА ПРОЦЕСІВ .....	21
2.1. Обґрунтування вибору архітектури інформаційної системи .....	21
2.1.1. Вибір архітектурної моделі: трирівнева архітектура.....	21
2.1.2. Обґрунтування вибору технологічного стеку.....	22
2.2. Моделювання функціональних процесів системи (BPMN-діаграми) .....	25
2.2.1. Моделювання процесу: Ініціація Work Order (Менеджер) .....	26
2.2.2. Процес II: Виконання завдання та контроль якості (Збиральник).....	29
2.3. Проєктування бази даних.....	32
2.3.1. Концептуальна модель та обґрунтування ключових сутностей .....	32
2.3.2. Логічна модель (деталізація атрибутів).....	33
2.3.3. Діаграма сутність-зв'язок (ERD) .....	36

2.4. Технічне завдання: Специфікація функціональних та нефункціональних вимог .....	37
<b>РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....</b>	<b>39</b>
3.1. Деталізація функціональних модулів на прикладі 10-дюймового FPV-дрона .....	39
3.1.1. Модуль управління складом та матеріальними ресурсами (MRP).....	39
3.1.2. Модуль багаторівневого контролю якості (QC).....	41
3.2. Прототип інтерфейсу збиральника .....	41
3.2.1. Екран «Мій робочий наряд» (My Work Order) .....	42
3.2.2. Екран «Виконання етапу» (Stage Execution).....	43
3.3. Вимоги до розгортання, інфраструктури та безпеки .....	44
3.4. Інтеграція штучного інтелекту та оптимізація процесів .....	46
3.4.1. Застосування ML для прогнозування та контролю якості (QC) .....	46
3.4.2. AI для аналізу та стандартизації (BOM та ТК).....	47
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>48</b>
4.1. Охорона праці при експлуатації інформаційної системи .....	48
4.1.1. Вимоги до організації робочих місць .....	48
4.1.2. Вимоги електробезпеки та пожежної безпеки.....	48
4.1.3. Режим праці та відпочинку.....	49
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях та захист критичної інформації.....	49
4.2.1. Забезпечення безперервності роботи ІС (НС воєнного часу) .....	49
4.2.2. Захист критичної виробничої інформації .....	50
4.2.3. Дії персоналу в умовах небезпеки .....	50
4.3. Перспективи інтеграції штучного інтелекту (AI) у систему охорони праці та безпеки .....	50
4.3.1. AI-Моніторинг ергономіки та втоми персоналу .....	51
4.3.2. Автоматизація реагування на надзвичайні ситуації.....	51
4.3.3. Підготовка та аудит .....	52

РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ .....	53
5.1. Організаційно-технічні рекомендації щодо впровадження.....	53
5.1.1. Комплексна підготовка виробничих та людських ресурсів .....	53
5.2. Методологія оцінки ефективності (ROI) .....	54
5.2.1. Ключові метрики ефективності (KPI) та очікуваний вплив.....	55
5.2.2. Економічний розрахунок окупності втрат від браку .....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59

## ВСТУП

### Актуальність теми

В умовах повномасштабної війни в Україні виробництво FPV-дронів набуло критичного стратегічного значення. Швидкість, масштабованість і якість збірки безпосередньо впливають на обороноздатність країни. Проте невеликі та середні виробництва часто стикаються з хаотичним управлінням, ручним обліком і високим рівнем залежності від досвіду окремих спеціалістів. Неefективна логістика комплектуючих та відсутність стандартизованого контролю якості (QC) уповільнюють процес, здорожчують його та підвищують відсоток браку.

Розробка інформаційної системи (ІС) для управління цим процесом стає нагальною потребою. Така система забезпечить автоматизацію обліку, стандартизацію робочих процесів та централізований контроль на кожному етапі, що критично важливо для швидкого масштабування та забезпечення стабільної якості продукції.

Мета та завдання дослідження

Мета роботи: Теоретично обґрунтувати, спроектувати та розробити концептуальні моделі інформаційної системи для ефективного управління, планування та контролю якості виробничого процесу збирання FPV-дронів.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз поточного стану, викликів та існуючих рішень для управління виробництвом FPV-дронів.
2. Сформулювати функціональні та нефункціональні вимоги до майбутньої інформаційної системи.
3. Обґрунтувати архітектуру та розробити моделі бізнес-процесів (BPMN) системи управління виробництвом.
4. Створити концептуальну та логічну моделі бази даних (ER-діаграму) для зберігання виробничої інформації.
5. Розробити деталізований проєкт функціональних модулів на прикладі збірки 10-дюймового FPV-дрона.

6. Сформувати організаційно-технічні рекомендації щодо впровадження системи та оптимізації робочого середовища.

Об'єкт та предмет дослідження

- Об'єкт дослідження: Виробничий процес збирання FPV-дронів.
- Предмет дослідження: Методи, моделі, архітектура та технічні рішення інформаційної системи, спрямовані на поліпшення управління, планування, стандартизації та контролю якості цього виробничого процесу.

Практична значущість результатів

Практична значущість роботи полягає у зниженні собівартості та підвищенні швидкості збірки за рахунок уніфікації роботи та зменшення когнітивного навантаження на збиральників. Система мінімізує необхідність частого перемикання між різними моделями дронів та задачами, що, за оцінками, значно скорочує час на збірку і підвищує загальну якість продукції. Крім того, проєкт надає готову архітектуру для автоматизованого контролю складських запасів і своєчасного прогнозування потреб.

## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ, ОГЛЯД ВОЛОНТЕРСЬКИХ СИСТЕМ**

Метою цього розділу є аналіз предметної області — виробництва FPV-дронів в умовах волонтерських та малих серійних підприємств України. Ефективне проектування інформаційної системи (ІС) неможливе без чіткого розуміння сучасних викликів та вузьких місць технологічного процесу, які планується автоматизувати. Це дозволить чітко сформулювати функціональні (ФВ) та нефункціональні (НФВ) вимоги до майбутньої системи.

Проведений аналіз охоплює специфіку логістики комплектуючих, етапи збирання, контроль якості (QC) та облік робочого часу. Паралельно буде розглянуто існуючі волонтерські та комерційні рішення, що застосовуються для управління подібними процесами. Це дозволить виявити прогалини та недоліки наявних інструментів і створити унікальну архітектуру, яка максимально відповідатиме потребам виробництва.

### **1.1. Сучасний стан та виклики виробництва FPV-дронів в Україні**

#### Ключові виклики (проблеми)

Виходячи з практичного досвіду, можна виділити наступні ключові проблеми, які мають вирішуватися проєктованою ІС:

#### 1. Проблема невідповідності та обліку комплектуючих:

- Суть: Часто комплектуючі надходять у різних версіях (наприклад, Flight Controller чи ESC), що вимагає ручної перевірки сумісності. ІС повинна забезпечити чітке ідентифікування та прив'язку до конкретної партії дрона, не допускаючи використання невідповідних деталей.

Вирішення ІС: Модуль управління запасами із системою валідації сумісності (на основі BOM-специфікацій).

#### 2. Низька стандартизація та розпорошеність робочого часу:

- Суть: Збиральники часто перемикаються між різними моделями дронів або задачами через погано побудований менеджмент замовлень. Це

призводить до збільшення часу на адаптацію (розтягування часу збірки) та неможливості точного обліку часу на етапах для розрахунку собівартості.

Вирішення ІС: Модуль планування завдань та маршрутизації, який розподіляє роботу за принципом спеціалізації та забезпечує хронометраж кожного етапу.

3. Неefективний контроль якості та діагностика браку:

- Суть: Проблеми з паянням або компонентами часто виявляються лише на фінальному тестуванні, що вимагає демонтажу та значних витрат часу. Відсутня чітка, покрокова інструкція, через що збиральник "розбирається з новим" замість чіткого виконання.

Вирішення ІС: Модуль контролю якості (QC), який вбудовує електронні чек-листи та інструкції безпосередньо в робочий процес на критичних точках (наприклад, після паяння), вимагаючи від збиральника фіксації результатів.

4. Проблеми з прогнозуванням та поповненням запасів:

- Суть: Невчасне виявлення закінчення комплектуючих або замовлення, що перевищує наявні запаси.

Вирішення ІС: Модуль MRP (Material Requirements Planning), який автоматично порівнює поточні замовлення з наявністю компонентів та генерує запити на поповнення.

Дякую за ці критично важливі деталі! Ваші спостереження щодо розпіновки, неправильного монтажу та недостатнього фінального налаштування є чудовою основою для обґрунтування потреби у стандартизації та чек-листах, які забезпечить ІС.

## **1.2. Аналіз та опис бізнес-процесу збирання FPV-дронів**

### **1.2.1. Логічна структура виробничого процесу**

Процес збирання FPV-дрона є комплексним, послідовним ланцюгом, який поєднує механічні, електронні та програмні роботи. Для цілей проєктування Інформаційної Системи (ІС), загальний цикл доцільно розділити на чотири ключові фази, кожна з яких включає специфічний набір завдань:

Таблиця 1.1 – Ключові фази виробничого процесу

Фаза	Ключові завдання	Точка контролю якості (QC)
I. Механічна збірка та підготовка	Розпакування, збірка рами, встановлення двигунів.	QC-1: Валідація комплектації (BOM).
II. Електронна інтеграція та паяння	Паяння живлення ESC, паяння двигунів, паяння ключових периферійних пристроїв.	QC-2: Перевірка паяння (візуальна, на КЗ).
III. Фінальний монтаж та тестування живлення	Встановлення FC, камери, VTX, приймача, додаткових плат; закручування корпусу.	QC-3: Перевірка на "смокстопері" (Smoke Test).
IV. Програмне налаштування та обліт	Налаштування дрона на столі (Betaflight), фінальний обліт.	QC-4: Фінальна валідація польових характеристик.

### 1.2.2. Ідентифікація "вузьких місць" та джерел браку

Аналіз виробничого циклу, ґрунтуючись на практичному досвіді, дозволяє виявити критичні етапи, де найбільше зростає ризик браку та, відповідно, витрат часу на переробку. Саме на ці етапи має бути спрямована функціональність ІС.

Критичні етапи та джерела браку:

1. Паяння VTX та приймача до FC, Встановлення додаткових плат (Фаза II та III):

- Проблема: Найчастіше трапляється неправильна розпіновка (підключення) компонентів до польотного контролера (FC). Це виникає через різноманіття моделей FC та периферії, відсутність уніфікованих кольорових кодів або змін у версіях обладнання, що вимагає постійного звернення до різних джерел інформації.

- Неправильний монтаж: Збиральники можуть невірно встановлювати компоненти (наприклад, використовуючи стяжки замість 3D-

друкованих кріплень, що є більш надійним). Це знижує вібростійкість та надійність дрона в польоті.

## 2. Налаштування дрона та обліт (Фаза IV):

- Проблема: Недостатня якість фінального налаштування на столі. Через відсутність чітких, стандартизованих гайдів (чек-листів) з налаштування (наприклад, PID, фільтрів, FailSafe) не всі нюанси враховуються. Брак виявляється лише на етапі обліту, що є найдорожчим з точки зору втраченого часу та необхідності демонтажу для корекції.

### 1.2.3. Обґрунтування функціоналу ІС на основі аналізу

Виявлені проблеми чітко формують вимоги до функціональних модулів проектуємої інформаційної системи:

- Модуль інструктування та стандартизації: Необхідна наявність чітких електронних інструкцій та гайдів із візуалізацією розпіновки та правильного монтажу компонентів для кожної конкретної моделі. Це мінімізує помилки, спричинені людським фактором (як-от неправильна розпіновка).

- Модуль контролю якості (QC-модуль): Система має забезпечувати обов'язкові електронні чек-листи (вимога підтвердження) після критичних етапів (паяння, smoke test, фінальне налаштування).

- Модуль планування та часу: Встановлення планового часу (хронометражу) для кожного етапу дозволить менеджерам оптимізувати розподіл завдань (уникнення перемикання збиральників між моделями) та точно розраховувати собівартість (на відміну від ручного обліку, який неможливий через розпорошеність уваги).

### 1.3. Огляд та порівняльний аналіз існуючих систем

Для управління виробництвом FPV-дронів сьогодні використовуються переважно дві групи рішень: системи логістики та обліку, а також платформи для навчання та документування.

### 1.3.1. Огляд існуючих платформ

#### А. Системи логістики та обліку (наприклад, Swarm.army)

Платформи, орієнтовані на логістику, переважно виконують функції складського обліку та закупівель.

- Сильні сторони: Забезпечують управління запасами комплектуючих, відстеження посилок від постачальників, а також списання компонентів зі складу за фактом збірки дрона. Це критично важливо для прозорості фінансового та матеріального обліку.
- Слабкі сторони: Повністю ігнорують внутрішній виробничий процес. Не містять покрокових інструкцій, не фіксують час, витрачений збиральником, і не мають функціоналу для електронного контролю якості.

#### Б. Навчальні та документаційні платформи (наприклад, Social Drone, Victory Drones)

Ці платформи зосереджені на передачі знань та стандартизації технологічного процесу.

- Сильні сторони: Пропонують детальні покрокові інструкції та Bill of Materials (BOM) для різних моделей дронів. Деякі системи містять базові елементи чек-листів для контролю якості (QC), забезпечуючи правильність виконання складних етапів (наприклад, розпіновки).
- Слабкі сторони: Це статичні системи. Вони не інтегровані зі складом (немає автоматичного списання), не керують виробничою чергою, не фіксують фактичний час роботи і не дозволяють керівнику відстежувати прогрес кожного конкретного дрона в реальному часі.

### 1.3.2. Порівняльний аналіз та ідентифікація прогалин

Порівняльний аналіз існуючих рішень виявляє критичні функціональні прогалини, які мають бути заповнені проєктованою інформаційною системою (IS), створюючи її унікальну цінність:

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз існуючих проєктів

Функціональний Блок	Swarm.army	Social/Victor у Drones	Висновок: Недолік
Складський облік (MRP)	Так	Ні	Відсутність єдиної системи обліку та виробничої логіки.
Покрокові інструкції	Ні	Так	Відсутність прямого зв'язку "інструкція-склад-завдання".
Фіксація часу (хронометраж)	Ні	Ні	Неможливість розрахунку собівартості праці.
Управління Завданнями/Чергою	Ні	Ні	Ключова прогалина в організації праці.
Аналіз Браку (QC)	Ні	Частково	Немає автоматичного аналізу причин браку за етапами та виконавцями.

Проведення аналізу та огляду існуючих систем чітко засвідчило, що на ринку відсутнє комплексне ERP-подібне рішення, яке б одночасно інтегрувало логістику (облік компонентів), навчання (інструкції) та управління робочою силою (планування, хронометраж, QC).

Це дозволяє нам сформулювати ключові вимоги до проєктування нашої нової ІС у наступному підрозділі.

#### **1.4. Формулювання вимог до проєктування нової інформаційної системи**

На основі аналізу виробничого процесу (Розділ 1.2) та ідентифікації функціональних прогалин в існуючих рішеннях (Розділ 1.3), сформульовано деталізовані вимоги до проєктуємої інформаційної системи (ІС). Ці вимоги слугують основою для архітектурного та логічного проєктування.

### 1.4.1. Функціональні вимоги (ФВ)

Функціональні вимоги визначають, які конкретні завдання ІС повинна виконувати для автоматизації та оптимізації управління виробництвом FPV-дронів.

#### 1. Управління матеріальними ресурсами (MRP-модуль)

- ФВ 1.1. Система повинна підтримувати централізований складський облік усіх комплектуючих (Flight Controllers, ESC, мотори, рами тощо) з фіксацією їхньої кількості та складу зберігання.

- ФВ 1.2. Автоматична генерація Bill of Materials (BOM) та зіставлення отриманих замовлень із наявними запасами.

- ФВ 1.3. Автоматичне списання комплектуючих зі складу після початку збірки конкретного дрона.

- ФВ 1.4. Прогноз дефіциту: Система повинна генерувати попередження (сповіщення) про необхідність поповнення запасу, якщо кількість компонентів опускається нижче критичного рівня.

#### 2. Управління технологічним процесом та інструктування

- ФВ 2.1. Стандартизація: Система має надавати покрокові, стандартизовані електронні інструкції (технологічні карти) для кожної моделі дрона.

- ФВ 2.2. Візуалізація: Інструкції повинні бути інтегровані в робочий інтерфейс збиральника та містити фотографії або схеми розпайки з чітким маркуванням пінів для запобігання поширеним помилкам (як-от неправильна розпіновка VTX або приймача).

- ФВ 2.3. Доступність інструкцій та навчання: Система повинна забезпечувати постійний доступ збиральників до каталогу всіх стандартизованих інструкцій та технологічних карт (ТК) для цілей самонавчання та консультації, незалежно від того, чи призначено конкретне завдання. При цьому, для виконання завдання має використовуватися ТК, прив'язана до конкретного Work Order (виробничого замовлення).

### 3. Управління завданнями та продуктивністю

- ФВ 3.1. Планування завдань: Менеджер повинен мати можливість створювати чергу завдань (Work Orders) та маршрутизувати їх конкретним збиральникам, мінімізуючи часте перемикання між різними моделями дронів.

- ФВ 3.2. Хронометраж: Система повинна забезпечувати автоматичну або напівавтоматичну фіксацію фактичного часу початку та завершення кожного етапу збірки. Це необхідно для точного розрахунку собівартості праці.

### 4. Контроль якості (QC-модуль) та аналіз браку

- ФВ 4.1. Багаторівневий QC: Система повинна вбудовувати обов'язкові електронні чек-листи після критичних етапів.

- ФВ 4.2. Перевірка збірки: Після завершення паяння, система має вимагати від збиральника підтвердження (і, за можливості, фото-фіксації) візуальної перевірки пайки та результатів тестування через "smoke stopper" (перевірка світіння індикаторів, обертання кулерів).

- ФВ 4.3. Фінальна валідація: Після налаштування, система вимагає підтвердження працездатності всіх систем, включаючи відеосигнал, якість зв'язку з пультом, роботу сервоприводів та правильний напрямок моторів.

- ФВ 4.4. Аналітика браку: Система повинна генерувати звіти, що пов'язують виявлений брак з конкретним етапом, часом та виконавцем, що дозволяє швидко ідентифікувати "вузькі місця" та необхідність додаткового навчання.

#### **1.4.2. Нефункціональні вимоги (НФВ)**

Нефункціональні вимоги визначають якість і умови функціонування ІС, забезпечуючи її надійність та зручність.

Таблиця 1.3 - Нефункціональні вимоги системи

Код	Категорія	Нефункціональна вимога
НФВ 1.1	Продуктивність	Швидкість відповіді системи на ключові операції (сканування, фіксація QC) не повинна перевищувати 2 секунди.
НФВ 2.1	Надійність	Система повинна підтримувати високий рівень доступності (наприклад, 99,5% часу) та мати механізми резервного копіювання даних.
НФВ 3.1	Безпека	Забезпечення рольової моделі доступу (Керівник, Збиральник, Складовик), де кожен користувач має доступ лише до необхідного функціоналу.
НФВ 4.1	Масштабованість	Архітектура ІС має бути побудована таким чином, щоб забезпечити швидке додавання нових моделей дронів, нових етапів збірки та збільшення кількості користувачів.
НФВ 5.1	Сумісність	Система повинна бути доступна через веб-інтерфейс, адаптований для роботи як на стаціонарних ПК, так і на мобільних пристроях (планшетах) для зручності збиральників.

## **РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ: АРХІТЕКТУРА, МОДЕЛЮВАННЯ ДАНИХ ТА ПРОЦЕСІВ**

Після аналізу предметної області та визначення функціональних і нефункціональних вимог, що викладено у Розділі 1, поточний розділ присвячений розробці архітектурних та логічних моделей майбутньої інформаційної системи (ІС). Цей етап є критичним, оскільки він визначає основу, яка забезпечить виконання усіх необхідних функцій, включаючи управління матеріальними ресурсами (MRP), контроль якості (QC) та хронометраж праці.

У цьому розділі буде обґрунтовано вибір трирівневої веб-архітектури, що забезпечує необхідну масштабованість та безпеку, та обрано відповідний технологічний стек. Крім того, буде проведено деталізоване моделювання бізнес-процесів за допомогою нотації BPMN, а також спроектовано концептуальна та логічна моделі бази даних (ERD), які стануть основою для реалізації системи.

### **2.1. Обґрунтування вибору архітектури інформаційної системи**

#### **2.1.1. Вибір архітектурної моделі: трирівнева архітектура**

Для забезпечення високої гнучкості, безпеки та масштабованості обирається трирівнева веб-архітектура (Three-Tier Architecture). Ця модель чітко розділяє систему на три логічні рівні, що дозволяє незалежно оновлювати або масштабувати кожен з них:

1. Рівень представлення (Presentation Tier): Відповідає за взаємодію з користувачем (UI/UX). Тут реалізуються веб-інтерфейси для менеджерів та адаптивні інтерфейси для збиральників на планшетах. Ключова перевага – доступність через будь-який браузер.

2. Рівень бізнес-логіки (Application Tier): Тут виконується вся бізнес-логіка (розрахунок собівартості, валідація QC, маршрутизація завдань,

перевірка BOM). Це запобігає несанкціонованому доступу до даних та забезпечує централізовану обробку правил.

3. Рівень даних (Data Tier): Надійне зберігання всіх транзакційних та облікових даних (склад, Work Orders, історія QC).

Це забезпечує виконання НФВ 3.1 (Безпека), оскільки користувачі не мають прямого доступу до бази даних.

### 2.1.2. Обґрунтування вибору технологічного стеку

Вибір технологічного стеку ґрунтується на принципах відкритого коду (Open Source), що забезпечує економічну ефективність та широку підтримку спільноти, а також на необхідності гарантувати високу продуктивність (НФВ 2.1), надійність (НФВ 1.1) та швидкість розробки. Для реалізації трирівневої архітектури обрано наступний стек, який є індустріальним стандартом для складних корпоративних систем класу MES/MRP.

А. Серверний Рівень (Backend) – Python з Django / Django Rest Framework (DRF)

Вибір Python як основної мови програмування для серверного рівня (Backend) є обґрунтованим завдяки його читабельності, швидкості розробки та потужній екосистемі.

#### 1. Обґрунтування вибору Python

Python відомий своєю простотою синтаксису, що знижує час на розробку та підтримку коду. У контексті MES/MRP-системи, його ефективність є ключовою для реалізації складної бізнес-логіки, пов'язаної з перевіркою BOM, маршрутизацією Work Orders та розрахунками собівартості.

#### 2. Роль фреймворку Django

Django обрано як основний фреймворк завдяки його концепції "Batteries Included" (все включено), яка забезпечує:

- Швидкість прототипування: Наявність вбудованої ORM (Object-Relational Mapping) для роботи з базою даних та автоматичної адміністративної

панелі (Django Admin). Це критично для швидкого управління даними про КОМПОНЕНТИ, КОРИСТУВАЧІ та МОДЕЛІ\_ДРОНІВ.

- Безпека: Вбудовані механізми захисту від типових веб-уразливостей (SQL-ін'єкції, XSS, CSRF), що сприяє виконанню НФВ 3.1 (Безпека).
- Рольова Модель та Логіка MRP: Django ідеально підходить для реалізації складної рольової моделі доступу (Менеджер, Збиральник, Складовик) та логіки модуля MRP (Material Requirements Planning), що є ядром системи.

### 3. Роль Django Rest Framework (DRF)

Для зв'язку з клієнтським рівнем (Frontend) використовується DRF. DRF надає стандартизований, безпечний та високопродуктивний RESTful API, який дозволяє клієнтському застосунку (React.js) ефективно обмінюватися даними з сервером. Це забезпечує надійний обмін даними при фіксації QC-чек-листів та оновленні часу виконання (ФВ 3.2).

#### Б. Презентаційний Рівень (Frontend) – JavaScript з React.js

Для розробки клієнтського застосунку обрано бібліотеку React.js (JavaScript).

##### 1. Обґрунтування вибору React.js

React.js, розроблений компанією Meta, є домінуючою технологією для побудови сучасних веб-інтерфейсів, що гарантує його довготривалу підтримку та доступ до великої спільноти розробників.

##### 2. Архітектура Single Page Application (SPA)

React.js дозволяє створити архітектуру Single Page Application (SPA), де більшість інтерфейсу завантажується лише один раз. Це критично важливо для виконання НФВ 2.1 (Продуктивність), оскільки:

- Збиральники працюють на планшетах: швидкість відгуку системи при переході між кроками Work Order та відкритті QC-чек-листів буде миттєвою.
- Мінімальне перезавантаження сторінки забезпечує безперервність роботи, навіть при нестабільному зв'язку на виробництві.

##### 3. Адаптивність та Спеціалізація Інтерфейсу

React.js спрощує розробку адаптивного інтерфейсу (НФВ 5.1), який коректно відображається як на широкоформатних моніторах менеджерів, так і на 10-дюймових планшетах збиральників. Це дозволяє створити спеціалізовані, інтуїтивно зрозумілі компоненти для:

- Відображення схем розпайки та інструкцій (ФВ 2.2).
- Інтерактивного заповнення багаторівневих QC-чек-листів (ФВ 4.2).

### В. Рівень Даних (Database) – PostgreSQL

Для надійного зберігання облікової інформації обрано реляційну систему управління базами даних PostgreSQL.

#### 1. Обґрунтування вибору PostgreSQL

PostgreSQL є однією з найбільш надійних, функціонально насичених та високопродуктивних систем у своєму класі. Він є відкритим кодом, що відповідає загальній філософії стеку.

#### 2. Підтримка складних реляційних зв'язків

Система управління виробництвом має складну реляційну структуру (зв'язки МОДЕЛІ ↔ КОМПОНЕНТИ ↔ ДРОН ↔ РОБОЧИЙ\_НАРЯД). PostgreSQL забезпечує:

- Транзакційна цілісність (ACID): Гарантує, що операції списання КОМПОНЕНТІВ (ФВ 1.3) або оновлення статусу Work Order є надійними та не призведуть до втрати або некоректності даних.
- Складні запити: Ефективна обробка запитів для аналітичних звітів (ФВ 5.1), що пов'язують час, виконавця та брак.

#### 3. Гнучкість для QC-Даних

PostgreSQL підтримує тип даних JSONB, який дозволяє зберігати гнучкі та неструктуровані дані без втрати продуктивності. Це ідеально підходить для зберігання змінних даних QC-чек-листів (наприклад, різних наборів перевірок для різних моделей дронів), забезпечуючи високу масштабованість (НФВ 4.1) при додаванні нових продуктів.

### Г. Резюме технологічного стеку

Комбінація Python (Django/DRF), React.js та PostgreSQL формує надійний, масштабований та високоефективний стек, який відповідає всім функціональним та нефункціональним вимогам проєктування ІС для управління виробництвом FPV-дронів.

## **2.2. Моделювання функціональних процесів системи (BPMN-діаграми)**

Моделювання бізнес-процесів за допомогою нотації BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation) є обов'язковим для візуалізації логіки роботи ІС та взаємодії між ролями.

### Обґрунтування вибору нотації BPMN

Нотація BPMN 2.0 обрана як основний інструмент моделювання з наступних причин, які є критичними для проєктування інтегрованої виробничої системи:

1. Універсальність та стандартизація (ISO/IEC 19510) BPMN є глобально визнаним стандартом для моделювання бізнес-процесів. Його стандартизація дозволяє будь-якому фахівцю (від аналітика до розробника) однозначно інтерпретувати діаграму. Використання стандарту гарантує, що моделі процесів можуть бути легко передані та зрозумілі між різними командами та етапами розробки.

### 2. Чітке розмежування відповідальності (Pools and Lanes)

Ключова перевага BPMN — можливість використання елементів «Пулів» (Pools) та «Доріжок» (Lanes).

- Пули використовуються для розмежування основних учасників процесу (наприклад, Інформаційна Система, Менеджер, Збиральник).
- Доріжки у межах пулів допомагають визначити конкретні ролі (Складовик, Адміністратор БД).

Це дозволяє точно візуалізувати взаємодію між людськими ролями та автоматизованими функціями системи (як виконується ФВ 2.3 та ФВ 1.3), що є значно складнішим у простіших нотаціях (наприклад, блок-схемах).

### 3. Моделювання складних потоків та умов (Gateways)

BPMN має багатий набір елементів «Шлюзів» (Gateways), які необхідні для моделювання складних рішень у виробничому процесі:

- Виключний шлюз (Exclusive Gateway): Ідеально підходить для моделювання рішення після QC-контролю: «Якщо QC-passed = True, то передати на наступний етап; Інакше – повернути на доопрацювання».
- Паралельний шлюз (Parallel Gateway): Використовується для моделювання одночасних дій, наприклад, коли після фінальної збірки одночасно відбувається фіксація факту собівартості в ІС та пакування дрона.

### 4. Міст до автоматизації

BPMN є не просто інструментом візуалізації, це виконувана нотація. Діаграми, створені в BPMN, можуть бути використані як технічне завдання для впровадження на платформах автоматизації бізнес-процесів (BPMS). Це робить перехід від моделювання до розробки коду більш прямим та менш схильним до помилок.

Висновок: Вибір BPMN гарантує, що спроектовані процеси є однозначними, прозорими для всіх учасників розробки та можуть бути ефективно трансформовані в програмний код, який реалізує логіку управління Work Order, MRP та QC-контролю.

#### 2.2.1. Моделювання процесу: Ініціація Work Order (Менеджер)

Цей процес описує, як керівник використовує ІС для планування, прогнозування запасів та призначення завдань.

Таблиця 2.1 – Моделювання процесу Work Order

№	Роль	Діяльність/Подія	Призначення
1	Менеджер	Отримання Замовлення (Подія "Старт")	Ініціація виробничого циклу.

2	ІС	Запит на перевірку Комплектуючих (ВОМ)	ІС автоматично порівнює замовлення з даними складу (ФВ 1.4).
3	Складовик	Підтвердження наявності запасів	Фіксація в ІС: <i>Запчастини є/немає.</i> Якщо <i>Немає</i> , Менеджер запускає процес закупівлі.
4	Менеджер	Створення Work Order (Виробничого наряду)	Формалізація завдання в ІС, прив'язка до Моделі Дрона та ТК.
5	Менеджер	Маршрутизація та призначення	Призначення Work Order Збиральнику або Відділу (ФВ 3.1).
6	ІС	Сповіщення Виконавця та Складу	Система інформує збиральника та автоматично списує компоненти на виробництво (ФВ 1.3).

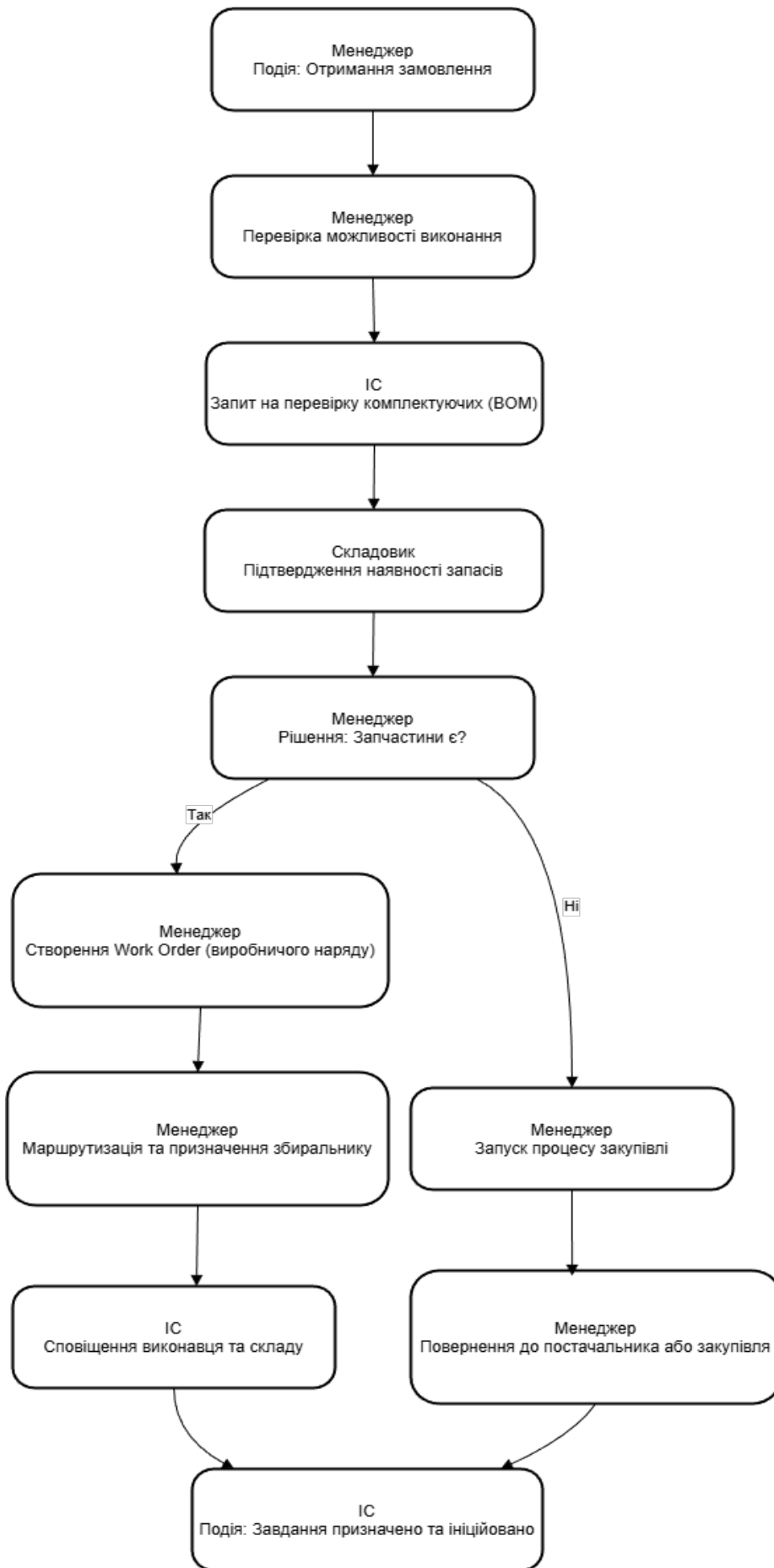


Рис. 1. Діаграма BPMN процесу Work Order

### 2.2.2. Процес II: Виконання завдання та контроль якості (Збиральник)

Цей процес є центральним для забезпечення стандартизації, хронометражу (ФВ 3.2) та запобігання браку через багаторівневий QC (ФВ 4.2). Включено обов'язковий цикл Виправлення (Rework) у разі невдалого контролю.

Таблиця 2.2 – Моделювання процесу: виконання завдання та контроль якості

№	Учасник (Доріжка)	Діяльність / Подія / Шлюз	Роль ІС та Контроль
1.	Збиральник	Подія: Отримано Work Order (Start Event)	ІС фіксує Час_початку.
2.	Збиральник	Перегляд Work Order та Інструкцій (ТК)	Доступ до схем розпайки (ФВ 2.2).
3.	Збиральник	Виконання Етапу Збірки	Фізична робота.
4.	ІС	Запуск Обов'язкового QC-Чек-листа	Система вимагає валідації (наприклад, Smoke Test).
5.	Збиральник	Фіксація Результатів QC	Збиральник підтверджує (введення даних/фото).
6.	ІС	Рішення 1: QC Пройшов Успішно?	Якщо "Так" → перехід до кроку 14.
7.	Збиральник	Якщо "Ні" → Пошук причини та Виправлення проблеми (Rework)	Збиральник самостійно корегує.
8.	Збиральник	Рішення 2: Виправлення Успішне?	Перевірка після виправлення.

9.	ІС	Якщо Виправлення "Так" → Повернення до кроку 4	Повторний QC-контроль.
10.	ІС	Якщо Виправлення "Ні" → Створення Акту про Брак	Фіксація виконавця та етапу для аналітики.
11.	ІС	Генерація Запиту на Заміну	Автоматичний запит до Складу.
12.	Складовик	Видача Компонента на Заміну	Оновлення даних про запаси.
13.	Збиральник	Заміна Дефектного Компонента	Збиральник встановлює нову деталь та повертається до кроку 4.
14.	Збиральник	Завершення Етапу та Передача на наступний крок	ІС фіксує Час_завершення етапу.
15.	ІС	Рішення 3: Чи є Наступний Етап?	Перевірка послідовності.
16.	ІС	Якщо "Так" → Повернення до кроку 2	Цикл продовжується.
17.	ІС	Якщо "Ні" → Подія: Дрон Готовий (End Event)	Фіналізація збірки.

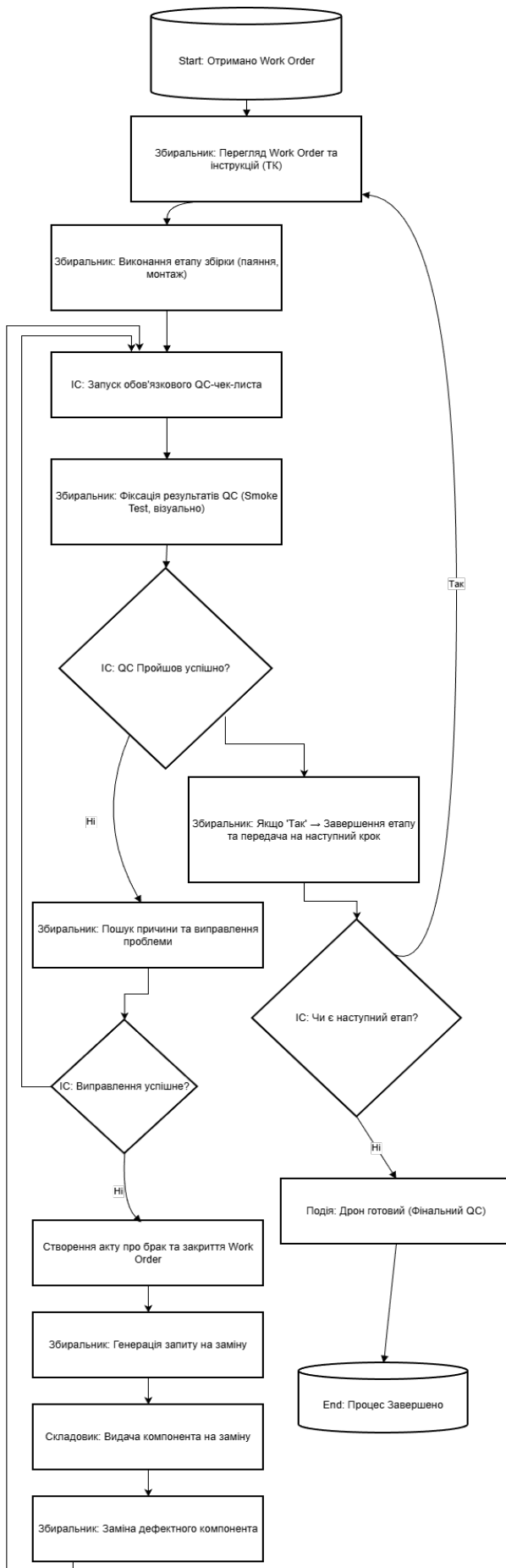


Рис. 2 Діаграма BPMN процесу: виконання завдання та контроль якості

## 2.3. Проектування бази даних

Проектування бази даних (БД) є основою для реалізації інформаційної системи, оскільки вона визначає структуру для зберігання даних про склад, виробництво, персонал та контроль якості. Для забезпечення цілісності даних, підтримки складних облікових завдань (BOM, хронометраж) та масштабованості обрано реляційну модель.

### 2.3.1. Концептуальна модель та обґрунтування ключових сутностей

Концептуальна модель ідентифікує шість основних сутностей, які є центральними об'єктами управління виробничим процесом ІС. Кожна сутність є необхідною для фіксації критично важливої інформації:

#### 1. КОРИСТУВАЧІ (USERS):

- Призначення: Зберігання інформації про персонал, який взаємодіє із системою. Ця сутність підтримує Рольову модель доступу (RBAC), розділяючи права між Менеджерами, Збиральниками та Складовиками.
- Ключові Атрибути: id (PK), role (роль, для контролю доступу), rating\_productivity (рейтинг, для ефективної маршрутизації завдань).

#### 2. МОДЕЛІ ДРОНІВ (MODELS):

- Призначення: Зберігання шаблонної інформації про виріб (який саме дрон виробляється: 7", 10", камікадзе). Ця сутність є батьківською для ЕТАПІВ\_ЗБІРКИ та основою для формування BOM (Bill of Materials).
- Ключові атрибути: id (PK), name, labour\_cost\_plan (планова вартість праці, для розрахунку планової собівартості).

#### 3. КОМПОНЕНТИ (COMPONENTS):

- Призначення: Облік матеріальних ресурсів на складі. Ця сутність є основою для модуля MRP, фіксуючи наявність, місце зберігання та стан (новий/вживаний) кожної деталі.
- Ключові атрибути: id (PK), quantity, storage\_location (Склад\\_місце), state (для контролю якості та списання).

#### 4. ДРОН (DRONES):

- Призначення: Представляє фізичну одиницю виробу, що знаходиться у виробництві. Кожен рядок у цій таблиці — це окремий дрон з унікальним серійним номером та поточним статусом. Ця сутність агрегує фінальну собівартість.
- Ключові атрибути: id (PK), serial\_number, model\_id (FK), status, fact\_cost (фактична собівартість).

#### 5. ЕТАПИ\_ЗБІРКИ (STAGES):

- Призначення: Визначення послідовності та змісту технологічного процесу для кожної МОДЕЛІ. Тут зберігаються посилання на ТК (Технологічні Карти) та Плановий Час виконання.
- Ключові Атрибути: id (PK), model\_id (FK), stage\_name, planned\_time, instruction\_url (посилання на інструкції для збиральника).

#### 6. РОБОЧИЙ\_НАРЯД (WORK\_ORDER):

- Призначення: Оперативне завдання. Це ядро системи, що фіксує виконання конкретного ЕТАПУ конкретним КОРИСТУВАЧЕМ для конкретного ДРОНА. Це місце для збору даних про хронометраж та результати QC.
- Ключові Атрибути: id (PK), drone\_id (FK), stage\_id (FK), time\_start\_fact, time\_end\_fact, qc\_passed (статус контролю якості).

### 2.3.2. Логічна модель (деталізація атрибутів)

Логічна модель перетворює концептуальні сутності на таблиці з чіткими атрибутами (полями), визначаючи первинні (PK) та зовнішні (FK) ключі для встановлення зв'язків.

Таблиця 2.3 – Логічна модель

Сутність	Атрибути (Поля)	Тип Ключа	Призначення
КОРИСТУВАЧІ	id	PK	Унікальний ідентифікатор користувача

	pid		ПІБ користувача
	role		Роль у системі (Менеджер, Збиральник, Складовик)
	rating_productivity		Рейтинг ефективності (для маршрутизації завдань)
МОДЕЛІ_ДРОНІВ	id	РК	Унікальний ідентифікатор моделі (наприклад, "10-дюймовий SkyHold)
	name		Назва моделі.
	labour_cost_plan		Планова вартість праці (для розрахунку планової собівартості).
КОМПОНЕНТИ	id	РК	Ідентифікатор одиниці зберігання.
	name		Назва компонента.
	supplier_sku		Артикул постачальника.
	storage_location		Місце розташування на складі (Склад\_місце).
	quantity		Поточна кількість.
	state		Стан (Новий, Вживаний, Некомплектний).
ДРОН	id	РК	Унікальний ідентифікатор конкретного виробу.
	serial_number		Серійний номер.
	model_id	FK	Посилання на МОДЕЛЬ_ДРОНА.

	status		Поточний статус збірки (На збірці, QC-2, Готовий).
	assembler_id	FK	Посилання на фінального КОРИСТУВАЧА (Збиральника).
	fact_cost		Фактична собівартість (розрахункове поле).
ЕТАПИ_ЗБІРКИ	id	PK	Унікальний ідентифікатор етапу.
	model_id	FK	Посилання на МОДЕЛЬ_ДРОНА.
	stage_name		Назва етапу (Паяння VTX, Налаштування).
	planned_time		Плановий час виконання.
	instruction_url		URL для покрокової ТК зі схемами розпайки.
РОБОЧИЙ_НАРЯД	id	PK	Ідентифікатор завдання на виконання етапу.
	drone_id	FK	Посилання на ДРОН.
	stage_id	FK	Посилання на ЕТАПИ_ЗБІРКИ.
	assembler_id	FK	Посилання на КОРИСТУВАЧА (виконавець поточного етапу).
	time_start_fact		Фактичний час початку (для хронометражу).
	time_end_fact		Фактичний час завершення.
	qc_passed		Статус QC (Пройдено/Не пройдено).

ВОМ_ЕЛЕМЕНТИ	model_id	PK, FK	Складений ключ: Посилання на МОДЕЛЬ.
	component_id	PK, FK	Складений ключ: Посилання на КОМПОНЕНТ.
	quantity_required		Необхідна кількість компонента для моделі.

### 2.3.3. Діаграма сутність-зв'язок (ERD)

Діаграма сутність-зв'язок (Entity-Relationship Diagram, ERD) візуалізує структуру бази даних та зв'язки між сутностями. У проєкті використовується нотація Кроуфута (Crow's Foot Notation).

Ключові зв'язки:

- 1:N (Один до Багатьох): Одна МОДЕЛЬ\_ДРОНА включає багато ЕТАПІВ\_ЗБІРКИ.
- N:M (Багато до Багатьох): Зв'язок між МОДЕЛЬ\_ДРОНА та КОМПОНЕНТ реалізується через проміжну таблицю ВОМ\_ЕЛЕМЕНТИ (специфікація матеріалів).
- 1:N (Один до Багатьох): Один ДРОН має багато РОБОЧИХ\_НАРЯДІВ (по одному на кожен етап збірки).

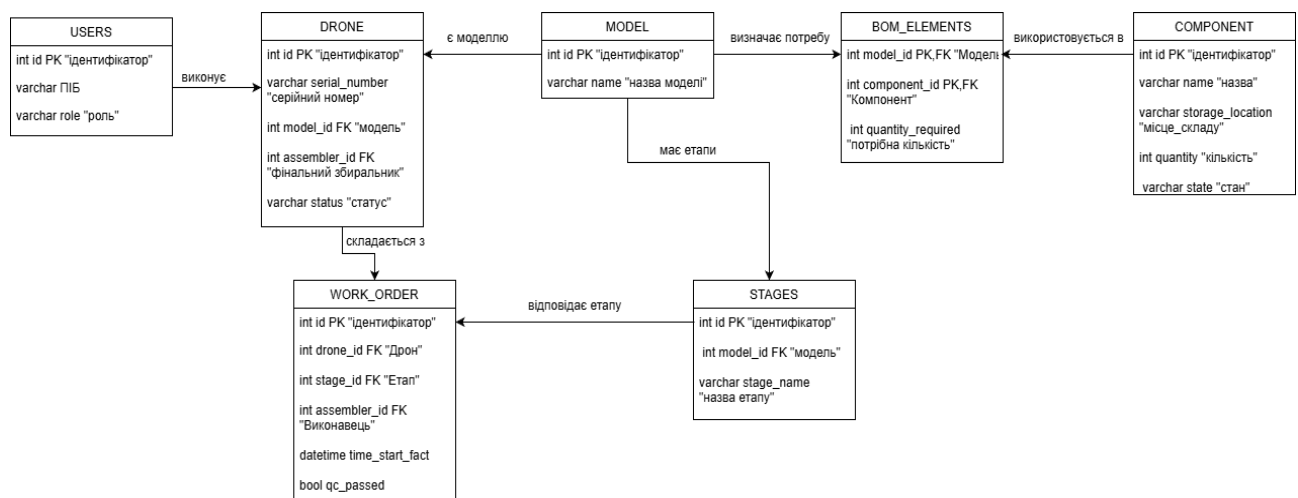


Рис. 3 - Діаграма сутність-зв'язок

## 2.4. Технічне завдання: Специфікація функціональних та нефункціональних вимог

Технічне завдання (ТЗ) є фінальним документом проєктування, який об'єднує всі вимоги (Розділ 1.4) та технологічні рішення (Розділ 2.1) у формалізовану специфікацію для розробки.

Метою є створення комплексної інформаційної системи класу MES (Manufacturing Execution System), орієнтованої на підтримку оперативного управління, планування та контролю якості виробництва FPV-дронів.

Деталізація функціональних і нефункціональних вимог представлена в наступних таблицях.

Таблиця 2.4 - Деталізація функціональних вимог

Код	Категорія	Специфікація та критерії
ФВ 1.1	Склад та MRP	Облік компонентів має включати поле "Стан" (новий/вживаний) та "Склад_місце" для швидкої локалізації.
ФВ 1.3	Списання	Компоненти списуються автоматично при ініціації Work Order, але фактичне використання фіксується при закритті етапів, де ці компоненти необхідні.
ФВ 2.2	Інструктування	ТК повинні включати інтегровані схеми розпайки та візуалізації 3D-монтажу для запобігання помилкам.
ФВ 3.2	Хронометраж	Запуск таймера автоматично при відкритті Work Order збиральником та зупинка при фіксації QC.
ФВ 4.2	QC-Модуль	QC-чек-лист має бути обов'язковим і включати мінімум 5 пунктів фінальної перевірки (відео, зв'язок, мотори, сервоприводи) після налаштування.
ФВ 5.1	Аналітика	Звіти повинні надавати коефіцієнт браку з деталізацією за виконавцем та за етапом (для корекції навчання).

Таблиця 2.5 - Деталізація нефункціональних вимог

Код	Категорія	Специфікація та критерії прийняття
НФВ 2.1	Продуктивність	Максимальний час завантаження сторінки з QC-чек-листом (для збиральника) — 1.5 секунди.
НФВ 3.1	Безпека	Рольова модель: Керівник (повний доступ), Збиральник (доступ лише до призначених Work Orders та каталогу ТК), Складовик (доступ лише до модуля MRP).
НФВ 4.1	Масштабованість	БД повинна підтримувати облік не менше 1000 Work Orders та 100000 одиниць Компонентів без падіння продуктивності.
НФВ 5.1	Сумісність	Підтримка адаптивного відображення для мінімальної роздільної здатності планшета 1024x768.

## РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Попередній розділ заклав теоретичну та архітектурну основу інформаційної системи, визначивши її логічну структуру (ERD) та бізнес-логіку (BPMN). Однак, ефективність будь-якої системи управління виробництвом (MES/MRP) перевіряється її здатністю вирішувати реальні виробничі завдання.

Цей розділ слугує містком між проектуванням і впровадженням, демонструючи практичне застосування спроектованих моделей. Шляхом деталізації конкретного виробничого процесу — збирання 10-дюймового FPV-дрона — ми візуалізуємо, як структуровані дані (BOM) та змодельовані процеси (QC-контроль) інтегруються у кінцевий інтерфейс. Це дозволить верифікувати виконання функціональних вимог у найбільш критичних модулях системи та підтвердити її готовність до впровадження.

### 3.1. Деталізація функціональних модулів на прикладі 10-дюймового FPV-дрона

Цей розділ демонструє практичне застосування спроектованої ІС на конкретному прикладі (10-дюймовий дрон) та розробляє інтерфейси для ключових модулів.

Для верифікації проектування деталізуємо роботу двох критично важливих модулів — BOM/MRP та QC-контролю — на прикладі виробництва 10-дюймового далекобійного FPV-дрона (модель «SkyHold-10»).

#### 3.1.1. Модуль управління складом та матеріальними ресурсами (MRP)

Для моделі «SkyHold-10» ІС має обробляти Специфікацію Матеріалів (Bill of Materials, BOM). Ця BOM фіксується у таблицях МОДЕЛІ\_ДРОНІВ, КОМПОНЕНТИ та BOM\_ЕЛЕМЕНТИ.

Таблиця 3.1 - Приклад BOM для моделі «SkyHold-10»

ID компонента	Назва компонента	Стан (Атрибут state)	Потрібна кількість	Ціна закупівлі (USD)	Загальна вартість (USD)

C-001	Мотор 3115 900KV	Новий	4	10.00	40.00
C-002	Контролер польоту F405	Новий	1	20.00	20.00
C-003	Рама 10- inch Carbon Fiber	Новий	1	20.00	20.00
C-004	Відеоперед авач VTX 2.5W 5.8G	Новий	1	40.00	40.00
C-005	Приймач ELRS 915	Новий	1	8.00	8.00
C-006	Антенa для відеопереда вача 5,8G	Новий	1	4.00	4.00
C-007	Регулятор обертів 60A 6s	Новий	1	20.00	20.00
C-008	Камера сутінкова	Новий	1	25.00	25.00

#### Логіка списання та контролю запасу

1. Створення Work Order: Менеджер створює Work Order для 10-ти одиниць «SkyHold-10».
2. Перевірка ІС: ІС порівнює потреби (40 моторів, 10 FC) з наявністю на складі.
3. Фіксація: Якщо запасів достатньо, ІС резервує необхідну кількість (40 моторів, 10 FC).
4. Списання (ФВ 1.3): При початку збірки (Крок 1 ВРМН) ІС автоматично списує зарезервовані компоненти зі складу, оновлюючи атрибут quantity у таблиці КОМПОНЕНТИ.

### 3.1.2. Модуль багаторівневого контролю якості (QC)

Модуль QC інтегрується з ЕТАПАМИ\_ЗБІРКИ та забезпечує виконання вимог ФВ 4.2 та ФВ 4.3.

Таблиця 3.2 - Етапи збірки та QC-чек-листи для «SkyHold-10»

ID Етапу	Назва Етапу	Плановий час (хв)	Обов'язкова QC-вимога (чек-лист)
E-01	Збірка рами, монтаж моторів та ESC	30	Візуальна перевірка ізоляції та механічного кріплення.
E-02	Паяння FC, VTX, RX, камери	70	QC-1: Smoke Test (Обов'язково!). Візуальний контроль пайки всіх точок.
E-03	Фінальне налаштування	15	QC-2: Система (перевірка функціоналу).

Деталізація фінального QC-2 (чек-лист)

Для етапу E-03 збиральник повинен підтвердити, що всі системи дрона працюють коректно:

1. Відеозв'язок (VTX/Камера): Відеосигнал стабільний, OSD відображається коректно.
2. Радіозв'язок (RX/Пульт): Якість зв'язку RSSI вище 90, мінімальні втрати пакетів.
3. Напрямок моторів: Перевірка обертання пропелерів (CW/CCW) згідно зі схемою.
4. Сервоприводи (якщо є): Перевірка роботи механізму скидання та повороту камери.

### 3.2. Прототип інтерфейсу збиральника

Вибір інтерфейсу збиральника є критичним, оскільки він безпосередньо впливає на швидкість, точність та якість збірки (Фаза ФВ 2.1, 2.2, 2.3). Цей

інтерфейс має бути максимально простим, інтуїтивно зрозумілим і орієнтованим на покрокове виконання.

Ми розробимо прототип інтерфейсу, фокусуючись на етапі E-02: Паяння FC, ESC, VTX, RX, камери для моделі «SkyHold-10».

### 3.2.1. Екран «Мій робочий наряд» (My Work Order)

Це головний екран, де збиральник бачить усі призначені йому завдання (Work Orders) та може почати роботу.

Таблиця 3.3 – Елементи екрану «Мій робочий наряд»

Елемент Інтерфейсу	Призначення
Header	Ім'я Користувача, Поточний час, Статус (наприклад, <i>Олександр Іванов, На роботі</i> ).
Фільтри	Статус: Нові, В роботі, Очікує QC.
Work Order List	Список призначених завдань.

Приклад елемента списку:

Поле	Значення
№ Наряду	WO-20251110-005
Модель	SkyHold-10
Поточний Етап	E-02: Паяння (Очікує виконання)
Витрачений час	00:00 (Ліміт: 90 хв)
Дії	[ПОЧАТИ РОБОТУ]

### 3.2.2. Екран «Виконання етапу» (Stage Execution)

Цей екран активується після натискання [ПОЧАТИ РОБОТУ] та містить інструкції, WOM та чек-лист QC.

А. Верхня панель управління

- Наряд WO-005 / Дрон SN: D-20251110-001
- Етап: E-02: Паяння FC, ESC, VTX, RX, камери
- Таймер етапу: 00:03:15 (Автоматичний запуск після натискання "Почати").
- [ПАУЗА] / [ЗАВЕРШИТИ]

Таблиця 3.4 - Вкладка 1: Інструкція та списання (WOM)

Блок	Зміст	Дія
Інструкція	Крок 1. Припаяти мотори С-001 (4 шт.) до регулятора обертів С-007. Крок 2. З'єднати FC (С-002) та VTX (С-004), RX (С-005), камери (С-008) згідно зі схемою.	Відеоінструкція або детальна схема.
Потрібні компоненти	Перелік компонентів, автоматично списаних зі складу для цього етапу: FC F405 (1 шт.), ESC 60A (1 шт.), VTX 2.5W (1 шт.), RX (1 шт.), камера (1 шт.).	Позначка "Списано" (ФВ 1.3)

В. Вкладка 2: Контроль якості (QC-Checklist)

Збиральник не може завершити етап, доки не виконає і не підтвердить обов'язковий QC-чек-лист. Це реалізує ФВ 4.2 (Контроль якості на етапах) та оновлює атрибут qc\_passed у таблиці WORK\_ORDER.

Таблиця 3.5 - Вкладка 2: Контроль якості

Вимога QC-1 (Smoke Test)	Результат	Коментар (Необов'язково)

1. Перевірка на КЗ: Перед подачею живлення виконано Smoke Test або мультиметром перевірено відсутність короткого замикання на основних лініях живлення (VBAT).	[✓ ВИКОНАНО] / [✗ НЕ ВИКОНАНО]	
2. Якість паяння (візуальний контроль): Усі паяні з'єднання чисті, блискучі, без кульок олова та "сопель" (холодна пайка).	[✓ ВИКОНАНО] / [✗ НЕ ВИКОНАНО]	
3. Ізоляція: Проводи моторів та живлення надійно ізольовані від карбонової рами та інших компонентів.	[✓ ВИКОНАНО] / [✗ НЕ ВИКОНАНО]	

Після успішного заповнення чек-листа (всі позначки ✓ ВИКОНАНО) кнопка [ЗАВЕРШИТИ] стає активною. Натискання цієї кнопки:

1. Фіксує `time_start_fact` (фактичний час завершення) у `WORK_ORDER`.
2. Встановлює `qc_passed = True`.
3. Автоматично створює новий `WORK_ORDER` для наступного етапу E-03 та призначає його (або тому ж, або іншому збиральнику).

### 3.3. Вимоги до розгортання, інфраструктури та безпеки

Цей підрозділ деталізує нефункціональні вимоги, пов'язані з фізичною інфраструктурою, технічним розгортанням та забезпеченням безпеки даних (НФВ 3.1, НФВ 4.1).

Враховуючи обрану трирівневу веб-архітектуру (Розділ 2.1) та потребу у масштабованості, пропонується використання контейнеризації.

Таблиця 3.6 – Інфраструктурні вимоги

Компонент	Вимога	Призначення
-----------	--------	-------------

Серверне розгортання	Контейнеризація за допомогою Docker та Docker Compose	Забезпечує незалежність середовищ та швидке розгортання на будь-якому сервері (НФВ 4.1).
Хостинг	Хмарний або приватний віртуальний сервер (VPS)	Використання мінімум 4 vCPU, 8 GB RAM для стабільної роботи прикладного рівня та БД.
База даних (PostgreSQL)	Виділений (dedicated) інстанс або контейнер	Гарантує стабільну продуктивність та захист даних (НФВ 2.1).
Резервне копіювання	Щоденне автоматичне копіювання БД (backup)	Критично важливе для надійності (НФВ 1.1). Копії зберігаються на віддаленому ресурсі.
Клієнтське обладнання	Стаціонарні ПК для менеджерів; планшети, смартфони (Android/iOS), для збиральників.	Забезпечення сумісності (НФВ 5.1) для зручності роботи на виробництві.

Враховуючи, що система керує даними військового призначення (ВОМ, обсяги виробництва), безпека має найвищий пріоритет.

Таблиця 3.7 - Вимоги до інформаційної безпеки

Сфера безпеки	Вимога	Механізм забезпечення
Аутентифікація	Рольова модель доступу (Role-Based Access Control, RBAC)	Чітке розмежування прав: збиральники можуть лише переглядати свої ВО; менеджери мають повний доступ до аналітики та планування.
Транспортна безпека	Протокол HTTPS/SSL	Весь трафік між браузером та сервером (рівень 1 та 2) має бути зашифрований.
Доступ до БД	Обмежений доступ	До бази даних (рівень 3) дозволено звертатися лише через сервер застосунків (Backend).

Захист ін'єкцій	Від	Вбудовані механізми ORM	Використання ORM (Django) для запобігання SQL-ін'єкціям та XSS-атакам.
Конфіденційність		Мінімізація публічної інформації	Заборона публікації серійних номерів та специфікацій виробів у відкритих джерелах.

### 3.4. Інтеграція штучного інтелекту та оптимізація процесів

Для забезпечення максимальної ефективності та постійного вдосконалення (Continuous Improvement) виробничих процесів, проєктована ІС має бути архітектурно готовою до інтеграції модулів на основі штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML). Застосування AI дозволяє перейти від простого обліку до прогнозування та автоматичної оптимізації процесів.

#### 3.4.1. Застосування ML для прогнозування та контролю якості (QC)

Найбільш значущий вплив ML матиме на модуль контролю якості та управління робочими нарядами (Work Orders).

Прогноз браку (Defect Prediction):

- Використовуючи історичні дані з таблиці РОБОЧИЙ\_НАРЯД (а саме: stage\_id, assembler\_id, time\_start\_fact, qc\_passed), можна навчити класифікаційну модель ML.

Мета: Модель прогнозуватиме ймовірність провалу QC на конкретному етапі (наприклад, E-02: Паяння) для конкретного виконавця, враховуючи час виконання.

- Оптимізація: Якщо прогнозована ймовірність браку перевищує встановлений поріг (наприклад, 8%), ІС може автоматично:

Ініціювати додаткову перевірку (подвійний QC) іншим, більш досвідченим збиральником.  
Сформулювати рекомендацію для Менеджера про необхідність перенавчання конкретного працівника.

Оптимізація розподілу завдань (Smart Work Order Routing):

- На основі даних про ефективність (атрибут `rating_productivity` у таблиці КОРИСТУВАЧІ) та прогнозовану складність ЕТАПУ\_ЗБІРКИ, AI-модуль може автоматично призначати Work Orders.

Мета: Призначення завдань тим збиральникам, які мають найвищу ефективність саме на цьому типі етапу (наприклад, якщо працівник А швидко і якісно паяє, а працівник Б швидко і якісно налаштовує ПЗ). Це мінімізує загальний час виробництва.

### 3.4.2. AI для аналізу та стандартизації (BOM та ТК)

AI може також використовуватися для вдосконалення шаблонів та технологічної документації.

Аналіз кореневих причин браку (RCA):

- Після фіксації браку (коли `qc_passed = False`), система збирає коментарі та тип дефекту. За допомогою обробки природної мови (NLP), ІС може класифікувати ці коментарі.

- Оптимізація: Якщо 80% випадків браку на етапі E-02 пов'язані з "холодним паєм" конкретного типу конденсаторів, ІС може автоматично підняти пріоритет цього пункту в Технологічній Kartі або запропонувати змінити інструкцію (`instruction_url`).

Прогнозування потреби в компонентах (Smart MRP):

- Традиційний MRP працює на основі поточних замовлень. ML-модуль може аналізувати зовнішні фактори (темпи збору коштів, загальний тренд замовлень) та внутрішні (середній час постачання КОМПОНЕНТІВ).

Мета: Прогноз потреб на 30-60 днів вперед, що дозволить Менеджеру мінімізувати дефіцит критичних деталей та знизити логістичні ризики.

Інтеграція цих ML-функцій перетворює спроектовану ІС з простої системи обліку на адаптивний, самооптимізуючий інструмент управління виробництвом.

## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Проектування інформаційної системи (ІС) управління виробництвом FPV-дронів вимагає не лише технічних рішень, але й суворого дотримання норм охорони праці (ОП) та забезпечення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій (НС) та воєнного часу.

### **4.1. Охорона праці при експлуатації інформаційної системи**

Цей підрозділ фокусується на безпеці праці з офісною та комп'ютерною технікою, що використовується для роботи з ІС (менеджери, адміністратори) та на виробничих ділянках (збиральники з планшетами).

#### **4.1.1. Вимоги до організації робочих місць**

Організація робочого місця користувача комп'ютерної техніки має відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98.

- Мікроклімат: Температура повітря на робочому місці повинна підтримуватися в межах 22-24С, відносна вологість – 40-60%.
- Освітлення: Робоче місце має бути обладнане природним та штучним освітленням. Для роботи з дисплеями рекомендується комбіноване освітлення. Яскравість екрана та контраст мають бути встановлені відповідно до рівня освітленості приміщення для зниження втоми очей.
- Ергономіка: Використання ергономічних крісел, які забезпечують підтримку спини. Монітори (або планшети) повинні розташовуватися на відстані 600–700 мм від очей користувача. Висота робочої поверхні має дозволяти працювати з прямою поставою та розслабленими плечима.

#### **4.1.2. Вимоги електробезпеки та пожежної безпеки**

- Електробезпека: Усі комп'ютери та периферійні пристрої мають бути заземлені. Заборонено використовувати несправні електроприлади та самостійно ремонтувати або підключати обладнання. Усі кабелі та дроти мають бути акуратно укладені для запобігання падінню та пошкодженню ізоляції.

- Пожежна безпека: Приміщення обладнуються первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотні або порошкові вогнегасники, які не пошкоджують електроніку). Персонал проходить інструктаж щодо дій у разі виникнення пожежі та місць евакуації.

#### **4.1.3. Режим праці та відпочинку**

Для запобігання професійним захворюванням (синдром сухого ока, тунельний синдром, сколіоз) необхідно дотримуватися регламентованих перерв:

- Після кожної години роботи за комп'ютером або планшетом встановлюється перерва тривалістю 10–15 хвилин з виконанням фізичних вправ для очей, шиї та кистей рук.

## **4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях та захист критичної інформації**

Оскільки інформаційна система керує виробництвом продукції військового призначення, захист її даних та забезпечення безперервності роботи в умовах НС (особливо воєнних дій) є пріоритетним.

### **4.2.1. Забезпечення безперервності роботи ІС (НС воєнного часу)**

Система повинна відповідати вимогам до надійності (НФВ 1.1) навіть при локальних пошкодженнях інфраструктури.

- Резервування даних (Backup): критичні дані (БД PostgreSQL) мають щоденно резервуватися на віддалені, географічно розділені сховища, які фізично не пов'язані з основним виробничим майданчиком.

- Географічний розподіл (DR, Disaster Recovery): рекомендується підтримувати резервний (DR) сервер у безпечному регіоні або хмарному середовищі, здатний перейти навантаження протягом 4-8 годин після відмови основного сервера.

- Автономність: при втраті зовнішнього інтернет-з'єднання система має функціонувати в локальній мережі виробництва (можливість перегляду Work Orders та фіксації QC), із подальшою синхронізацією даних при відновленні зв'язку.

#### **4.2.2. Захист критичної виробничої інформації**

Інформаційна система містить комерційну таємницю (BOM, собівартість) та критичні дані про обсяги виробництва.

- Контроль доступу (RBAC): Суворе дотримання рольової моделі доступу (НФВ 3.1). Доступ до BOM та аналітики про брак надається лише менеджерам та адміністратору. Збиральники мають доступ лише до власних Work Orders та загальнодоступних ТК.

- Шифрування (Encryption): Використання HTTPS/SSL для захисту даних у транзиті та, за необхідності, шифрування найбільш критичних таблиць БД (BOM, специфікація цін) на рівні сховища.

- Фізичний Захист: Серверне обладнання (якщо воно розміщене локально) повинно знаходитися у захищеному, вогнетривкому приміщенні з обмеженим доступом.

#### **4.2.3. Дії персоналу в умовах небезпеки**

Кожен працівник, що користується ІС, повинен мати чіткий протокол дій під час повітряної тривоги чи інших НС.

1. Припинення роботи: негайно припинити всі роботи, особливо ті, що пов'язані з небезпечними процесами (наприклад, паяння).
2. Збереження даних: Якщо дозволяє час, оператор повинен зберегти дані у системі (наприклад, зафіксувати поточний стан QC-чек-листа) та вийти з облікового запису.
3. Евакуація: Чітко дотримуватися плану евакуації до найближчого сховища (бомбосховища). Заборонено використовувати ліфти та затримуватися для збору особистих речей.

#### **4.3. Перспективи інтеграції штучного інтелекту (AI) у систему охорони праці та безпеки**

Застосування технологій AI та машинного навчання (ML) дозволяє перейти від реактивних заходів безпеки (фіксація інциденту) до превентивного управління ризиками та автоматизованого реагування на надзвичайні ситуації.

Проектована ІС, завдяки централізованому збору даних та модульній архітектурі, готова до інтеграції наступних AI-рішень:

#### **4.3.1. AI-Моніторинг ергономіки та втоми персоналу**

Використовуючи комп'ютерний зір (Computer Vision) та аналіз даних із системи хронометражу, ІС може підвищити ефективність заходів ОП:

Моніторинг робочих поз (ергономіка): На робочих місцях, обладнаних камерами (що мають бути попередньо узгоджені), AI може аналізувати позу збиральника. Якщо система фіксує тривале порушення ергономічних норм (наприклад, сильне нахилення над робочим столом протягом довгого часу) або ігнорування регламентованих перерв, вона може:

- Генерувати автоматичне нагадування на інтерфейсі Збиральника про необхідність зробити перерву або скоригувати позу.

- Фіксувати порушення, пов'язані з режимом праці та відпочинку, у профілі користувача для подальшого аналізу керівником.

Прогнозування втоми: Аналізуючи фактичний час роботи, зафіксований у РОБОЧИЙ\_НАРЯД, AI може порівнювати його з плановим часом та іншими показниками продуктивності. Якщо продуктивність працівника різко падає, або час виконання суттєво перевищує норму, ІС може прогнозувати критичну втому.

- Оптимізація: У такому випадку ІС може автоматично блокувати призначення наступного WORK\_ORDER і вимагати від працівника обов'язкового відпочинку або переходу на менш відповідальну роботу.

#### **4.3.2. Автоматизація реагування на надзвичайні ситуації**

В умовах воєнного часу AI може значно прискорити та убезпечити дії персоналу, використовуючи інтеграцію з зовнішніми джерелами даних.

Інтеграція Сигналів Тривоги: ІС може бути інтегрована із системою оповіщення про повітряну тривогу. При отриманні офіційного сигналу:

- Автоматичне збереження даних: Система повинна негайно ініціювати збереження поточного стану РОБОЧОГО\_НАРЯДУ (WO) та вийти з

профілю користувача. Це гарантує, що критичні дані про стан збірки та QC не будуть втрачені під час евакуації.

- Генерація звіту про стан: Створюється швидкий звіт для менеджера, що фіксує, який дрон залишився на якому етапі та з яким QC-статусом, що дозволить точно відновити процес після відбою тривоги.

Моніторинг Складу та Ризиків Пожежі: Використовуючи датчики температури та диму, AI-модуль може аналізувати дані зі складських приміщень (де зберігаються КОМПОНЕНТИ, включаючи літєві батареї).

- Превентивне оповіщення: Якщо фіксується незвичне підвищення температури або інші аномалії, AI може ініціювати раннє попередження, до спрацьовування традиційної пожежної сигналізації, що критично важливо для запобігання втраті цінних матеріалів.

#### **4.3.3. Підготовка та аудит**

AI-Аудит норм ОП: Система, використовуючи NLP, може аналізувати звіти про інциденти та порушення (якщо такі фіксуються в ІС). Це дозволить виявляти систематичні порушення конкретних норм ДСанПіН 3.3.2.007-98 та автоматично планувати цільові інструктажі для груп ризику, що перетворює процес ОП із формального на динамічний та адаптивний.

Інтеграція AI в цей розділ демонструє, що проєктована ІС є не лише інструментом для управління виробництвом, але й частиною комплексної системи безпеки та захисту персоналу.

## РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ

Цей розділ узагальнює очікуваний економічний та організаційний ефект від впровадження спроектованої інформаційної системи (ІС), а також надає практичні рекомендації для забезпечення її успішної інтеграції у виробничий процес. Якість і надійність програмного забезпечення має бути підкріплена адекватною організаційною підготовкою та чіткими метриками оцінки.

### 5.1. Організаційно-технічні рекомендації щодо впровадження

Успіх впровадження ІС залежить не лише від якості розробленої архітектури та коду, але й від готовності персоналу та стандартизації існуючих бізнес-процесів. Комплексний підхід до впровадження мінімізує опір змінам та забезпечує швидке досягнення очікуваного ефекту.

#### 5.1.1. Комплексна підготовка виробничих та людських ресурсів

Таблиця 5.1 - Пропозиції щодо підготовки виробничих та людських ресурсів

Сфера	Рекомендація	Детальне обґрунтування
Управління процесами (процесний рівень)	Стандартизація технологічних карт (ТК)	Це є необхідною передумовою для модуля ВРМН (Розділ 2.2). Перед запуском ІС усі ТК, що описують послідовність етапів збірки, мають бути оцифровані та стандартизовані. Критично важливим є встановлення планового часу (planned_time) для кожного етапу (ЕТАПИ\_ЗБІРКИ), що слугуватиме базою для хронометражу та подальшого аналізу продуктивності.

Навчання персоналу (організаційний рівень)	Цільове навчання за ролями (Role-Based Training)	Навчання має бути диференційованим. Менеджери фокусуються на аналітиці, плануванні (MRP) та інтерпретації звітів. Збиральники проходять практичне навчання роботи з QC-чек-листами та інструкціями на планшетних пристроях, а також протоколами дій при помилці чи браку.
Експлуатація (технічний рівень)	Впровадження QR/Штрих-кодів	Рекомендується маркувати фізичні об'єкти (готові ДРОНИ, КОМПОНЕНТИ на упаковці) унікальними кодами. Це мінімізує помилки ручного введення даних, прискорює операції Складовика та Збиральника (ідентифікація Work Order, списання) та забезпечує миттєвий зв'язок між фізичним об'єктом та його цифровим двійником у БД.
Аналітика та калібрування	Проведення пілотного проєкту (Pilot Implementation)	Перед повномасштабним запуском необхідно провести пілотне впровадження на обмеженій кількості (наприклад, 20%) МОДЕЛЕЙ та працівників. Це дозволить зібрати первинні фактичні дані (time_start_fact, time_end_fact) для калібрування планового часу та тонкого налаштування алгоритмів MRP.

## 5.2. Методологія оцінки ефективності (ROI)

Впровадження ІС є стратегічною інвестицією, яка повинна забезпечити позитивний показник окупності інвестицій (ROI). Оцінка ефективності базується на якісних (організаційних) та кількісних (економічних) показниках, що відображають виконання ключових функціональних вимог (ФВ).

### **5.2.1. Ключові метрики ефективності (KPI) та очікуваний вплив**

Очікується позитивний вплив на наступні чотири групи виробничих показників:

#### **1. Зниження часу виробництва (Lead Time)**

- Механізм: Впровадження обов'язкового хронометражу (ФВ 3.2) та надання чітких покрокових інструкцій (ФВ 2.2) безпосередньо на робоче місце збиральника.

- Очікуваний ефект: Зниження фактичного часу виконання Work Order в середньому на 10-15%. Це досягається завдяки зменшенню непродуктивних витрат часу на пошук інформації, ідентифікацію деталей та усунення простоїв.

#### **2. Зменшення рівня браку (Defect Rate)**

- Механізм: Інтеграція обов'язкового багаторівневого QC-контролю (ФВ 4.2) з циклом виправлення (Rework) на ранніх етапах. Система фіксує помилки тоді, коли їхня вартість виправлення є мінімальною.

- Очікуваний ефект: Зниження кількості бракованих виробів, що доходять до фінального тестування, на 15-20%. Цей показник є найбільш критичним, оскільки знижує прямі матеріальні втрати.

#### **3. Підвищення точності обліку та запаси (Inventory Accuracy)**

- Механізм: Автоматизоване списання компонентів (ФВ 1.3) за фактом початку виконання Work Order та постійний облік стану (**state**) компонентів.

- Очікуваний Ефект: Мінімізація розбіжностей у складському обліку. Точний облік запобігає як надлишковому закупівель (заморожування коштів), так і дефіциту критичних компонентів, що може спричинити зупинку виробництва.

#### **4. Оптимізація праці та підвищення продуктивності**

- Механізм: Модуль аналітики (ФВ 5.1) надає персоналізовані звіти, які пов'язують конкретного виконавця (`assembler_id`), час виконання та рівень браку.

- Очікуваний ефект: Створення прозорої системи оцінки дозволяє ідентифікувати та мотивувати найбільш ефективних збиральників, а також фокусно навчати тих, чії показники нижчі за планові, підвищуючи загальну продуктивність команди.

### 5.2.2. Економічний розрахунок окупності втрат від браку

Найпростішим та найбільш прямим показником економічної ефективності є скорочення прямих втрат від браку.

#### А. Вихідні дані (гіпотетичні)

Таблиця 5.2 - Дані з виробництва дронів

Параметр	Позначення	Значення	Джерело
Обсяг виробництва	$V_{міс}$	500 одиниць/місяць	Дані підприємства
Середня собівартість дрона	$C_{дрон}$	200 USD	Розділ 3.1
Поточний рівень браку	$R_{брак, поточ}$	5%	Дані підприємства
Очікуване зниження браку	$\Delta R$	15%	Прогнозний ефект від QC-контролю

#### Б. Розрахунок поточних втрат

Поточні місячні втрати, спричинені браком:

$$Втрати_{поточні} = V_{міс} \times R_{брак, поточ} \times C_{дрон}$$

$$Втрати_{поточні} = 500шт \times 0.05\% \times 200 = 5000$$

#### В. Розрахунок Втрат після Впровадження

Очікуваний рівень браку після впровадження ІС:

$$R_{брак, новий} = R_{брак, поточ} \times (1 - \Delta R) = 0.05 \times 0.85 = 0.0425 \text{ (або 4.25\%)}$$

Очікувані місячні втрати з ІС:

$$Втрати_{IC} = 500шт \times 0.0425 \times 200 = 4250$$

Г. Очікувана місячна економія

Місячна економія, отримана лише від зниження браку:

$$Економія_{міс} = Втрати_{поточ} - Втрати_{IC} = 5000 - 4250 = 750$$

Г. Розрахунок окупності (ROI)

Якщо прийняти гіпотетичну вартість розробки та впровадження ІС на рівні \$15 000 USD (включаючи хостинг та навчання), термін окупності (Payback Period) складе:

$$Термін окупності = \frac{Вартість впровадження}{Місячна економія} = \frac{15000}{750} = 20 \text{ місяців}$$

Висновок: Навіть при консервативній оцінці, інвестиція в ІС окупається менш ніж за два роки лише за рахунок зниження прямих втрат від браку, не враховуючи економію від оптимізації праці, скорочення часу збірки та підвищення точності складського обліку. Це підтверджує економічну доцільність реалізації проєкту.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У рамках виконаної магістерської роботи була успішно досягнута основна мета — спроектовано інформаційну систему (ІС) для управління виробничим процесом збирання FPV-дронів. Шляхом застосування системного аналізу та моделювання, була розроблена трирівнева архітектура на основі технологій Python/Django, React.js та PostgreSQL, що забезпечує високу надійність та масштабованість. Ключові бізнес-процеси (MRP та QC) були детально змодельовані за допомогою нотації BPMN 2.0, включаючи логіку циклу виправлення браку (Rework).

Розроблена логічна модель даних (ERD) дозволяє здійснювати автоматичне списання компонентів (BOM) та фіксувати хронометраж праці, що є основою для точного розрахунку фактичної собівартості. Функціонал системи було верифіковано на прикладі 10-дюймового FPV-дрона, де прототип інтерфейсу збиральника підтвердив можливість примусового контролю якості на кожному етапі. Економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження ІС, оскільки очікуване зниження рівня браку на 15-20% забезпечує позитивний показник окупності інвестицій. Таким чином, розроблена система є цілісним та інноваційним рішенням, готовим до реалізації, і повністю відповідає усім висунутим функціональним та нефункціональним вимогам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. OMG. Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0.2. Object Management Group, 2013. Посилання: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF>
2. Sommerville, I. Software Engineering. 10th Edition. Pearson Education, 2016.
3. Whitten, J. L., Bentley, L. D., & Dittman, K. C. Systems Analysis and Design Methods. 7th Edition. McGraw-Hill Education, 2007.
4. Смоквина В. В. Моделювання бізнес-процесів: навчальний посібник. К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2018.
5. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. International Organization for Standardization, 2011.
6. National Institute of Standards and Technology (NIST). Guide to Enterprise Architecture (NIST SP 800-167). 2019.
7. Wiesner, S., et al. Modern Manufacturing Execution System (MES) Design and Implementation. Springer International Publishing, 2019.
8. PostgreSQL Documentation. The PostgreSQL Global Development Group. Посилання: <https://www.postgresql.org/docs/>
9. Official Django Documentation. Django Software Foundation. Посилання: <https://docs.djangoproject.com/>
10. React Documentation. Meta Platforms, Inc. Посилання: <https://react.dev/>