Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно–інтегрованих технологій та систем
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення онлайн–системи управління виробничим графіком підприємства на основі замовлень
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання, групи АКТСІу–23–1
Анастасія ПРИЛІПКО
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно–інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Ірина СЕЗОНОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____ _____ Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Я, Приліпко Анастасія Віталіївна, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовувала штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на віповідне джерело.

" 10 " червня 2026 р.  А. В. Приліпко

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно–інтегрованих технологій та систем

Кафедра Комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно–інтегровані технології
(код і повна назва)

Тип програми освітньо - професійна

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
«__20__» __травня__ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Приліпко Анастасії Віталіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення онлайн–системи управління виробничим графіком підприємства на основі замовлень
затверджена наказом університету від 20.05.2026 р. № 410 Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 17.06.2026р.
3.Вихідні дані до роботи Інтелектуальний модуль для онлайн–системи управління виробничим графіком підприємства на основі бази даних замовлень. Програмний інструментарій: SQL, VStudio, C++
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
4.1 Вступ
4.2 Аналіз предметної області
4.3 Розроблення структури бази даних замовлень виробничого підприємства
4.4 Розроблення моделі управління виробничим графіком підприємства на основі бази даних замовлень
4.4 Вибір та обґрунтування програмних засобів для розробки програмного продукту
4.6 Програмна реалізація підсистеми управління. Опис керівництва користувача.
4.7 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Графічний матеріал у вигляді презентації (10 с.)

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	20.04 – 24.04.2026	виконано
2	Опрацювання літератури за темою	25.04 –01.05.2026	виконано
3	Розроблення моделі онлайн–системи управління графіком роботи підприємства	02.05 –10.05.2026	виконано
4	Вибір та обґрунтування програмного забезпечення	11.05 –13.05.2026	виконано
5	Розроблення програмного продукту	14.05 –16.05.2026	виконано
6	Тестування та опис програмного продукту	17.05 –31.05.2026	виконано
7	Висновки та перелік джерел посилань	01.06 –03.06.2026	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	04.06 –12.06.2026	виконано
9			
10			
11			

Дата видачі завдання 20.04.2026 р.

Здобувач _____ Анастасії ПРИЛІПКО
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ професор Ірина СЕЗОНОВА
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 89 с., 14 табл., 26 рис., 4 дод., 31 джерела.

ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО, АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ЗАМОВЛЕННЯ, ПЛАНУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА

Основним джерелом планування виробництва сьогодні є замовлення на виготовлення продукції, які потрібно не тільки виконувати з використання всіх можливостей автоматизації, але й аналізувати для планування, звітності та вироблення стратегії розвитку виробництва. Тому розроблення інформаційної системи планування виробництва, яка враховує як внутрішні так і зовнішні зв’язки підприємства є актуальною.

Мета роботи – підвищення ефективності управління виробництвом шляхом розроблення онлайн-системи формування виробничого графіка на основі замовлень.

Об’єкт дослідження – процес оперативно-календарного планування виробництва на підприємстві.

Предмет дослідження – методи автоматизованого формування та коригування виробничого графіка на основі замовлень.

В роботі розроблено алгоритми автоматизації планування виробництва на базі обраної методології виробничого планування, створено проєкт бази даних замовлень для реалізації автоматизованої системи.

ABSTRACT

Explanatory note: 89 p., 14 tabl., 26 fig., 4 adj., 31 sources.

MANUFACTURING COMPANY, AUTOMATED CONTROL, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, ORDERS, PRODUCTION PLANNING

The primary basis for production planning today is production orders, which must not only be fulfilled by making full use of automation capabilities, but also analysed for the purposes of planning, reporting and developing a production development strategy. It is therefore essential to develop a production planning information system that takes into account both the internal and external relationships of the enterprise.

The purpose of this work is to improve the efficiency of production management by developing an online system for generating production schedules based on orders.

The object of the study is the process of operational and scheduling planning of production at the enterprise.

The subject of the study is methods for the automated generation and adjustment of production schedules based on orders.

The work develops algorithms for the automation of production planning based on the selected production planning methodology and creates a draft order database for the implementation of the automated system.

ЗМІСТ

Перелік скорочень……..... 9
Вступ ……..…….. 6
1 Аналіз сучасного стану питання та обґрунтування технічного завдання…… 13
1.1 Аналіз існуючих підходів до процесу планування виробництва ….. 14
1.2 Автоматизовані системи управління виробництвом ……..…. 17
1.3 Автоматизовані системи управління виробництвом на основі бази даних замовлень…… 17
1.4 Вибір підходу до розробки онлайн–системи управління і постановка завдання…..……..…….. 23
1.5 Узагальнена структура онлайн–системи обробки замовлень та планування виробництва …….…..…..…… 28
1.6 Формалізація задачі планування виробництва на основі замовлень 33
2 Проєктування бази даних замовлень…….. 35
2.1 Структура бази даних замовлень…….. 35
2.2 Створення та заповнення таблиць бази даних…….. 45
3 Проєкт системи управління виробничим графіком підприємства на основі замовлень…… 52
3.1 Модель системи управління виробничим графіком підприємства на основі замовлень…….. 52
3.2 Архітектура проєкту…… 54
3.3 Керівництво користувача…… 56
4 Охорона праці…….. 64
Висновки. ……..……..…… 66
Перелік джерел посилання…….. …… 67
Додаток А…… 73
Додаток Б…… 76

Додаток В…….. 80
Додаток Г Демонстраційний матеріал ……. 88

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУ – автоматизовані системи управління;

БД – база даних;

ПЗ – програмне забезпечення;

СУБД – система управління базами даних;

AP&S – Advanced Planning and Scheduling (методологія вдосконалення, планування і складання розкладів);

APS – Advanced Planning System (інформаційна система вдосконалення планування);

ERD – Entity-Relationship Diagram (візуальна модель «сутність–зв'язок»;

ERP – Enterprise-Resource Planning (інформаційна система управління виробництвом);

FK – Foreign Key (зовнішній ключ);

MES – Manufacturing Execution System (інформаційна система оперативного управління виробництвом);

MRP – Manufacturing Resource Planning (стандарт управління підприємством);

PCB – Printed Circuit Board (друкована плата);

PDM – Product Data Management (інформаційна система управління даними про виріб);

PK – Primary Key (первинний ключ);

PK/DS – Production Planning and Detailed Scheduling (виробниче та точне планування);

SAP – Systems, Applications and Products in Data Processing (назва компанії–розробника ПЗ);

SQL – Structured Query Language (структурована мова запитів до базі даних);

UI – User Interface (інтерфейс користувача);

WIP – Work In Progress (незавершені завдання);

WPF – Windows Presentation Foundation (система для побудови клієнтських додатків Windows).

ВСТУП

Створення систем управління виробництвом на підприємствах з використанням інформаційних технологій і методів моделювання, що враховують оптимальне використання виробничих, матеріальних, трудових та інформаційних ресурсів, є надзвичайно трудомістким процесом. Він вимагає вирішення цілого ряду принципово нових комплексів задач, які віддзеркалюють різноманіття процесів як у самих системах підприємств, так й їх зв'язок із зовнішнім середовищем. Визначення можливостей підприємства як на укрупненому етапі планування виробництва, так й на оперативному дозволяє конкретизувати обсяги виробництва, прогнозувати випуск і проєктування конкурентоспроможної продукції.

Основним джерелом планування виробництва сьогодні є замовлення на виготовлення продукції, які потрібно не тільки виконувати з використання всіх можливостей автоматизації, але й аналізувати для планування, звітності та вироблення стратегії розвитку виробництва. Тому розроблення інформаційної системи планування виробництва, яка враховує як внутрішні так і зовнішні зв’язки підприємства є актуальною.

Мета роботи – підвищення ефективності управління виробництвом шляхом розроблення онлайн-системи формування виробничого графіка на основі замовлень.

Об’єкт дослідження – процес оперативно-календарного планування виробництва на підприємстві.

Предмет дослідження – методи автоматизованого формування та коригування виробничого графіка на основі замовлень.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв’язати наступні задачі:

– провести порівняльний аналіз існуючих підходів до автоматизації процесу виробничого планування;

– розробити архітектуру онлайн–системи і бази даних, призначеної для зберігання вхідної інформації про замовлення та результати їх виконання;

– розробити алгоритми автоматизації планування виробництва (на рівні укрупненого і оперативного планування);

– розробити засоби візуалізації результатів планування, що надають інформацію для прийняття рішень про запуск виробів у виробництво і видачу виробничих завдань;

– створити програмний продукт для розробленої підсистеми;

– оформити кваліфікаційну роботу згідно з вимогами [1], ДСТУ 3008:2015 [2,3] та методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» [4].

Тема кваліфікаційної роботи відповідає Цілям сталого розвитку України, зокрема, Цілі 8. Гідна праця та економічне зростання. Рішення завдань кваліфікаційної роботи сприяє підвищенню ефективності виробництва на засадах сталого розвитку та розвитку високотехнологічних конкурентних виробництв, що забезпечує виконання п. 8.2.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз існуючих підходів до процесу планування виробництва

Аналіз сучасних підходів до організації управління матеріальними потоками у виробничих системах дав змогу виокремити їх у кілька груп за основними класифікаційними ознаками:

– за способом управління матеріальними потоками: системи, побудовані на принципах «витягування» та «виштовхування» матеріальних ресурсів у межах виробничого процесу;

– за кількістю стадій планування: одноетапне планування та багатоступеневе (з використанням укрупнених планів виробництва);

– за методом розміщення операцій і деталей у виробничому графіку: пряме планування та зворотне планування;

– за рівнем урахування обмежувальних факторів: планування за умов обмежених або необмежених ресурсів [5].

У межах виробничої діяльності управління матеріальними потоками може реалізовуватися за різними принципами. Найбільш поширеними є дві концептуально відмінні моделі: системи «виштовхувального» типу або push–системи, системи «витягувального» типу або pull–системи.

Системи «виштовхувального» типу або push–система – це організація, за якої рух матеріального потоку ґрунтується на принципі передавання ресурсів від попередньої виробничої ланки до наступної. Для кожної ділянки виробництва централізовано формуються індивідуальні плани, резервуються матеріали та створюються міжопераційні заділи, що забезпечує безперервність процесу.

Системи «витягувального» типу – моделі, у яких ініціатором руху матеріального потоку є наступна виробнича ланка. Вона «витягує» з попередньої ланки необхідні ресурси відповідно до реальної потреби, що дозволяє підвищити

гнучкість виробництва та скоротити обсяг проміжних запасів у ланцюгу постачань.

Дані типи систем управління матеріальними потоками знаходять широке застосування на підприємствах різних галузей та функціонують у різних економічних умовах – ринковій, централізовано керованій і перехідній економіці. Обидва підходи спрямовані на задоволення потреб наступної виробничої ланки шляхом забезпечення своєчасних, якісних і кількісно достатніх поставок від попередньої.

Основна відмінність між цими системами полягає у способі управління рухом потоків, насамперед у ступені централізації планування міжланцюгових поставок. «Виштовхувальні» системи характеризуються централізованим плануванням, коли розподіл ресурсів і графіки поставок визначаються адміністративно. «Витягувальні системи», навпаки, базуються на децентралізованому управлінні, де ініціатива надходження матеріалів виходить від споживача ресурсу – наступної виробничої ланки.

Ще однією ключовою відмінністю є підхід до визначення ритму виробництва, який формує динаміку всього матеріального потоку. Це зумовлено різною орієнтацією систем на характер споживчого попиту. «Виштовхувальні» системи орієнтуються переважно на стабільний попит, що дозволяє застосовувати постійний ритм виготовлення продукції протягом тривалого періоду. «Витягувальні» системи, навпаки, працюють в умовах змінного попиту та передбачають коротші планові цикли (зазвичай від одного до трьох місяців). У таких системах оперативне управління здійснюється на значно меншому горизонті планування, що підвищує гнучкість виробництва і швидкість реагування на зміни потреб споживача.

«Виштовхувальна» система управління матеріальними потоками – це така організація виробничого процесу, за якої переміщення матеріальних ресурсів здійснюється від попередньої операції до наступної згідно з попередньо розробленим і жорстко регламентованим графіком поставок. У цьому випадку

матеріальні ресурси ніби «виштовхуються» з однієї виробничої ланки до іншої, незалежно від поточного стану наступної операції [5].

Для кожної технологічної операції встановлюється точний час її завершення відповідно до загального розкладу виробництва. Отриманий напівфабрикат або готовий продукт передається далі за технологічним ланцюгом і утворює запас незавершеного виробництва на вході наступної ділянки. Таким чином, робочі місця можуть отримувати ресурси навіть тоді, коли вони ще зайняті виконанням інших завдань або очікують на попередню операцію.

Подібна організація руху матеріальних потоків часто призводить до нерівномірного завантаження обладнання, виникнення простоїв та накопичення значних обсягів незавершеного виробництва.

Схематична структура «виштовхувальної» системи наведена на рис. 1.1.

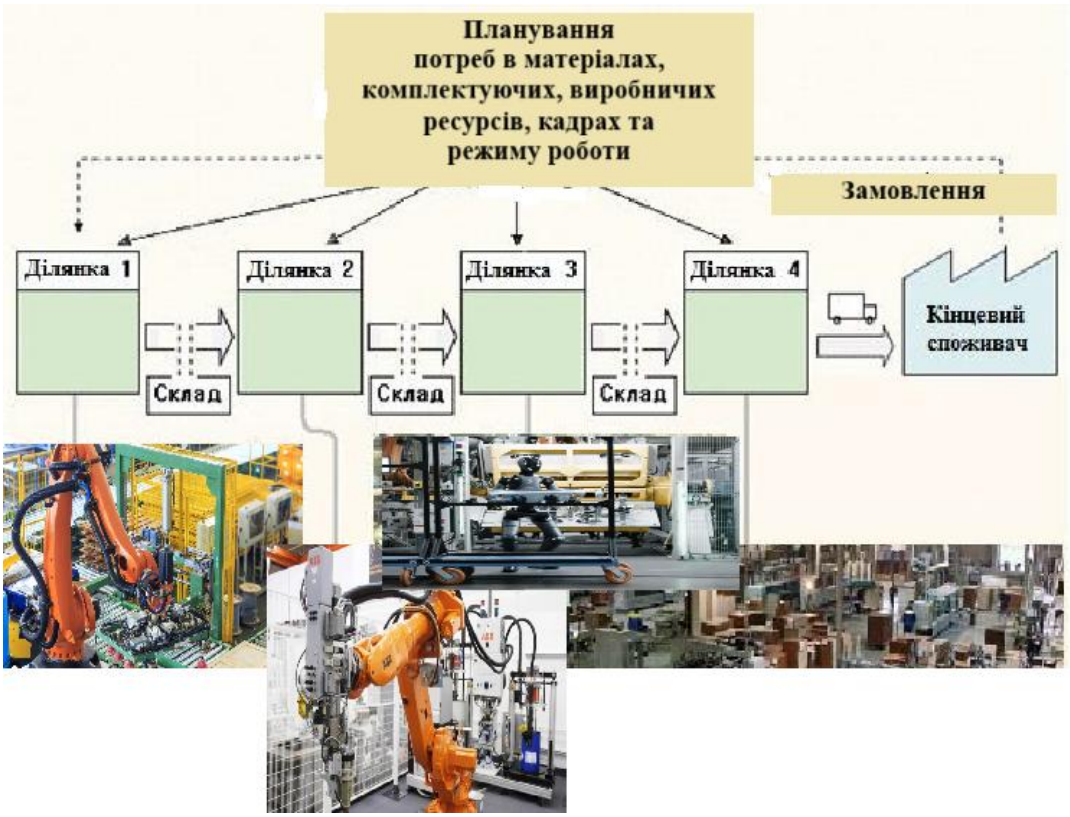


Рисунок 1.1 – Схема «виштовхувальної» системи виробництва

«Виштовхуючи» система орієнтована, в основному, на відносно постійний попит протягом досить тривалого проміжку часу.

Зважаючи на великі обсяги обчислень можливість використання виштовхуючих систем управління виробництвом з'явилася завдяки комп'ютеризації, початку масового використання обчислювальної техніки.

Недоліком «виштовхуючих» систем є те, що при виникненні змін, наприклад, попиту або поставок, плани повинні оперативно перераховуватися, що різко збільшує трудомісткість планової роботи.

«Витягувальна» система управління матеріальними потоками може функціонувати як у рамках централізованого, так і децентралізованого планування (рис. 1.2).

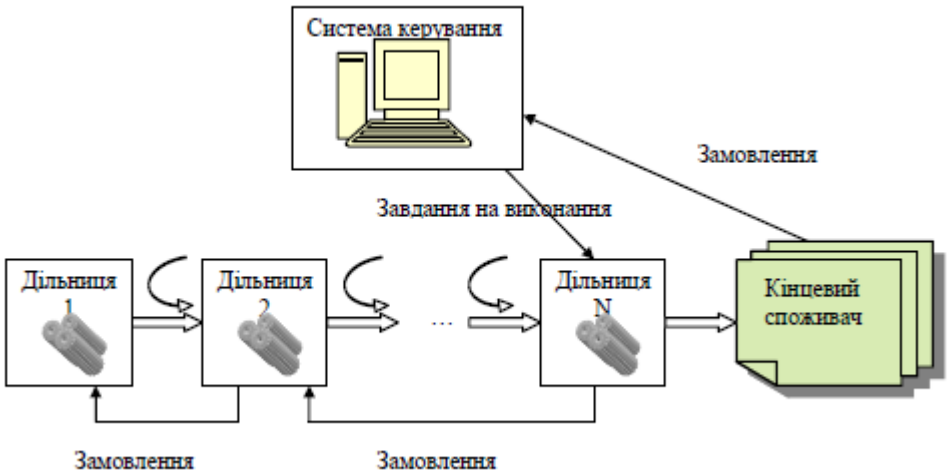


Рисунок 1.2 – Структура «витягаючої» системи керування виробництвом [6]

У разі централізованого планування кожний підрозділ підприємства отримує конкретні виробничі завдання на визначений плановий період і зобов’язаний звітувати про результати їх виконання перед центральними плановими органами. Така схема забезпечує контроль над виконанням плану, але знижує гнучкість у реагуванні на оперативні зміни попиту.

Децентралізоване планування у «витягувальних» системах передбачає формування укрупнених планів на середньострокові періоди (від одного до

трьох місяців) і розподіл ресурсів між усіма етапами та процесами виробництва відповідно до прогнозованого попиту. У режимі реального часу центральний орган управління контролює переважно процес випуску готової продукції, коригуючи графік складання кінцевих виробів залежно від фактичних потреб споживачів.

Для визначення обсягів середніх оборотних заділів у таких системах зазвичай використовується плановий період від одного до трьох місяців. При цьому оперативне управління здійснюється на значно коротших інтервалах – від кількох годин до однієї зміни, що забезпечує високу адаптивність виробництва.

Перевагою «витягувального» підходу є можливість організації випуску широкої номенклатури продукції на основі модульних компонентів, що дозволяє ефективно задовольняти різноманітний і мінливий попит споживачів. Водночас основним недоліком є потреба у наявності запасів деталей на кожному етапі виробництва, що може стати проблематичним у разі великої кількості варіантів комплектуючих. У таких умовах використання подібної системи може бути економічно недоцільним.

Оптимізація процесів планування є основою ефективної діяльності сучасного підприємства. Вона спрямована на підвищення продуктивності праці, зниження собівартості виготовленої продукції, раціональне використання наявних ресурсів і, як наслідок, – підвищення рівня рентабельності виробництва.

Процес виробничого планування передбачає врахування значної кількості взаємопов’язаних факторів, тому оптимізація цього процесу є однією з найбільш трудомістких і відповідальних ланок системи виробничого менеджменту. У зв’язку з цим сучасне виробництво неможливо уявити без інформаційної підтримки процесів планування, що забезпечується спеціалізованими програмними засобами та автоматизованими системами управління.

На більшості вітчизняних підприємств розробкою оперативних планів виробництва займаються планово-диспетчерські відділи або відповідні служби підприємства. Використовуючи багаторічний практичний досвід, фахівці цих підрозділів застосовують набір правил і методів, які дозволяють формувати

прийнятні виробничі плани та календарні графіки виконання замовлень. Проте в більшості випадків такі правила не мають чіткої наукової бази чи математичного обґрунтування – вони є результатом накопичених експертних знань конкретних спеціалістів.

На окремих підприємствах процес планування має ще менш формалізований характер: попередній виробничий розклад не складається, а на початок зміни до цеху надходить лише укрупнене завдання, що містить перелік виробів і їхню кількість. У таких умовах розподіл виробничих завдань між робочими місцями та прийняття рішень щодо запуску операцій здійснюються безпосередньо диспетчером упродовж робочої зміни, що знижує прогнозованість і контрольованість виробничого процесу.

1.2 Автоматизовані системи управління виробництвом

На сьогодні існують потужні інформаційні системи класу ERP, у складі яких передбачено модулі для виробничого планування.

Системи управління ресурсами підприємства (ERP) – це комплексні програмні рішення, призначені для автоматизації ключових бізнес-процесів, зокрема планування, виробництва, збуту та маркетингу. ERP-системи набули широкого поширення в 1990-х роках XX століття [7].

Оскільки такі системи охоплюють широкий спектр управлінських функцій, впровадження лише модуля планування потребує інтеграції всіх компонентів ERP-рішення, що, у свою чергу, вимагає значних фінансових витрат.

Запровадження повноцінної ERP-системи може бути доцільним для підприємств, які не мають власної корпоративної інформаційної інфраструктури, за умови, що її алгоритми планування відповідають специфіці виробництва. Однак існує ризик, що вбудовані механізми системи не врахують особливостей конкретного підприємства, а адаптація таких масштабних рішень потребуватиме значних інвестицій.

Серед недоліків ERP-систем у контексті виробничого планування варто відзначити їх орієнтованість на транзакційні процеси – об'єднання рутинних операцій у єдині бізнес-процеси замість гнучкої системи підтримки прийняття рішень, необхідної при плануванні. Для цього завдання потрібні системи, що забезпечують динамічне моделювання сценаріїв і багатокритеріальний вибір оптимальних рішень [8,9].

Більш спеціалізованим напрямом є APS-системи (Advanced Planning and Scheduling), призначені безпосередньо для розв'язання завдань виробничого планування та побудови розкладів. Прикладом такого програмного продукту є frePPLe – сучасна відкрита система, що інтегрується з безкоштовними ERP-рішеннями. В її алгоритмах використано евристичний підхід без формування головного виробничого плану, що робить її ефективною для малих і середніх підприємств складального типу, але менш придатною для машинобудівного виробництва з великою кількістю вкладених компонентів [10].

Ефективність APS-систем особливо проявляється у випадках появи термінових замовлень, коли підприємство вже має сформований виробничий графік. Такі системи допомагають оцінити доцільність прийняття нового замовлення, запобігаючи зривам строків і фінансовим втратам.

Серед провідних розробників APS-рішень – компанії SAP AG, Oracle, Manhattan Associates, i2 Technologies, IBS, RedPrairie, Infor та JDA Software. В Україні такі системи зазвичай використовують великі промислові підприємства, орієнтовані на цифровізацію ланцюгів постачання.

APS-модулі, інтегровані з провідними ERP-системами (SAP, Oracle), дозволяють розв'язувати широкий спектр завдань планування (SAP PP/DS, Oracle Production & Distribution Planning), проте відзначаються високою вартістю та складністю впровадження.

Ще одним напрямом розвитку є MES-системи (Manufacturing Execution Systems), які поєднують планові та фактичні дані про виконання виробничого графіка, забезпечуючи можливість оперативного перепланування. MES-рішення

враховують десятки критеріїв оптимізації, що дозволяє гнучко формувати виробничі розклади відповідно до реальної ситуації.

Під час побудови оперативних планів у таких системах застосовується методика обчислюваних пріоритетів: черговість обробки деталей може змінюватися в режимі реального часу завдяки динамічному коригуванню розкладу.

MES-рівень управління можна реалізувати за принципом «витягуючої» системи, у якій предмети праці передаються на наступну операцію за необхідності, тобто лише тоді, коли попередня операція завершена та є потреба у виконанні наступної (рис. 1.3).

Такі системи ґрунтуються на концепції «витягування» деталей, коли наступна операція ініціює запит до попередньої. Виробниче планування при цьому базується на обсязі запланованого випуску кінцевої продукції до кінця планового періоду.

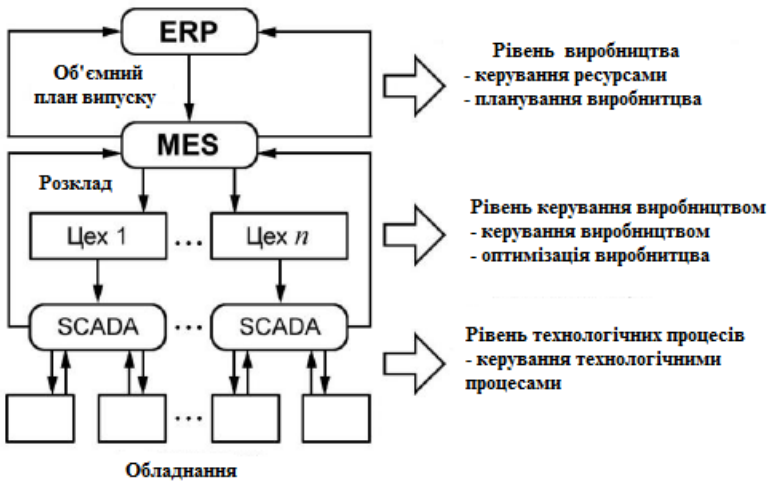


Рисунок 1.3 – Рівні автоматизованих систем керування виробництвом [10]

Аналіз push– та pull–систем виробництва дозволяє зробити наступні висновки.

Виштовхування (push) – це система виробництва, яка працює на основі прогнозування попиту. У ній сировина «вштовхується» у виробництво згідно з

графіком. Витягування (pull) – це система, де кожна робоча ділянка виконує свої функції залежно від стану складу та поточного попиту. Система виштовхування використовує для роботи інформацію про зовнішнє середовище, система витягування – про внутрішнє. Однак на складські запаси також впливають і зовнішні фактори [10].

Витягування, яке залежить від попиту в даний момент, можна порівняти з ліфтом. Він запускається при натисканні кнопки, навіть якщо всередині тільки один пасажир. Виштовхування ж подібне до ескалатора. Він працює незалежно від того, чи йде хтось по рухомій стрічці.

Витягування – це спроба прислухатися до замовника продукції і виробляти те, що потрібно йому, а не те, що вже вироблено. Сучасна система виробництва повинна працювати як супермаркет, де полиці заповнюються товарами, які обирають споживачі.

Однак не тільки бажання замовника формують виробничу систему у витягувальній системі. Всередині підприємства встановлюються особливі відносини: виробнича ділянка стає внутрішнім замовником для попереднього підрозділу в потоці і внутрішнім постачальником для наступного. Кількість процесів регулюється потребою наступної ділянки.

У виштовхувальній системі кожна ділянка управляється «центром», де контролюють обсяги завдань і терміни виконання. Виробничі ділянки існують ніби окремо один від одного. На ділянці не турбуються, що буде з виробами, які відправлять на наступну ділянку.

Основна перевага витягування полягає в контролі незавершеного виробництва (WIP, work in-progress). Система виштовхування перетворює матеріали на продукцію незалежно від запасів WIP.

У теорії це повинно призвести до того, що при виштовхуванні запаси на складах будуть постійно зростати. На практиці так не відбудеться, тому що обсяги матеріалів на складах контролюються. Якщо їх занадто багато, то виробничий план буде змінюватися. Тому основна система у виштовхуванні MRP є гібридом push- і pull-систем.

Завдяки низькому рівню WIP додається і гнучкість – процеси і завдання можна підлаштовувати, поки вони ще не почалися. Це неоціненно, якщо на виробництві відбуваються збої. Також забезпечується більш стабільний і низький час циклу в порівнянні з виштовхуванням. Тому поліпшується і обслуговування замовників.

1.3 Автоматизовані системи управління графіком виробництва на основі бази даних замовлень

Автоматизовані системи управління (АСУ) графіком виробництва, що базуються на базі даних замовлень, використовують принципи AP&S (Advanced Planning and Scheduling – методологія планування і складання розкладів) та MES (Manufacturing Execution Systems – системи управління виробництвом). Вони в режимі реального часу аналізують базу замовлень (вхідні дані від клієнтів), наявність ресурсів та завантаження обладнання для створення оптимального графіка.

Програмні комплекси AP&S будують деталізований похвилинний графік роботи обладнання.

Прикладом такої системи є Preactor APS фірми Siemens , яка використовує передову математику для обчислення графіків виробництва, враховуючи обмеження (персонал, матеріали). Може працювати окремо або інтегруватися з ERP [11].

Програмне забезпечення Preactor APS дозволяє автоматично:

– здійснювати планування матеріалів, а потім план виробництва для виробничих потужностей нижчого рівня;

– формулювання обмежень на основі замовлень. Планування створюється на основі доступності ресурсів, додаткових обмежень та матеріалів, необхідних для замовлення;

– реалізувати спеціальні правила, щоб забезпечити ефективне завантаження виробничих потужностей нижчого рівня та наявність сировини

відповідно до бізнес-правил. Розподіл матеріалів визначається на основі системних фільтрів та ранжування даних;

– реалізувати оптимізацію графіку роботи. Додаткові правила (які враховують планові та позапланові обмеження) дозволяють мінімізувати час переходу від одного графіку до іншого;

– реалізувати візуалізацію процесу складання графіки запасів у часі.

– забезпечує інтерактивність складання графіку. Після створення початкового основного графіка виробництва (MPS) дані можна відображати у вигляді графіків профілю запасів та графіків використання потужності. MPS можна змінити, просто клацнувши та перетягуючи точку на графіках запасів або потужностей, і виробництво певного елемента можна переміщати з одного періоду планування на інший. Будь-які зміни відображаються у всіх зв'язаних віконцях графіка та сітки [12].

Також прикладами систем AP&S є:

– модуль APS (Оперативне планування виробництва) української компанії IT-Enterprise. Ця система створює операційні плани для кожного робочого центру, синхронізуючи замовлення з фактичною наявністю матеріалів [13];

– CBT APS. Це розробка CENTER OF BUSINESS-TECHNOLOGIES (CBT), Україна та представляє собою інструмент для швидкого складання планів виробництва, що балансує між терміновими замовленнями і максимальною ефективністю виробництва [14];

– APS-Підприємство. Це система для комплексного планування, яка базується на єдиній інформаційній моделі та використовує Oracle для роботи з базами даних [15].

APS-Підприємство – ПЗ для комплексної підготовки виробництва, планування, управління та контролю з функцією безпаперового виробництва. Основний принцип платформи – побудова єдиної інформаційної моделі виробництва. Система дозволяє організувати паралельну роботу виробничих, планово-економічних, конструкторських та технологічних підрозділів підприємства у єдиному інформаційному просторі. APS-Підприємство є

мережевим програмним продуктом та використовує клієнт-серверну технологію доступу до баз даних промислового стандарту Oracle. Налаштування робочих місць та розподіл прав доступу користувачів конфігуруються з урахуванням комплексної системи безпеки (рис. 1.3).

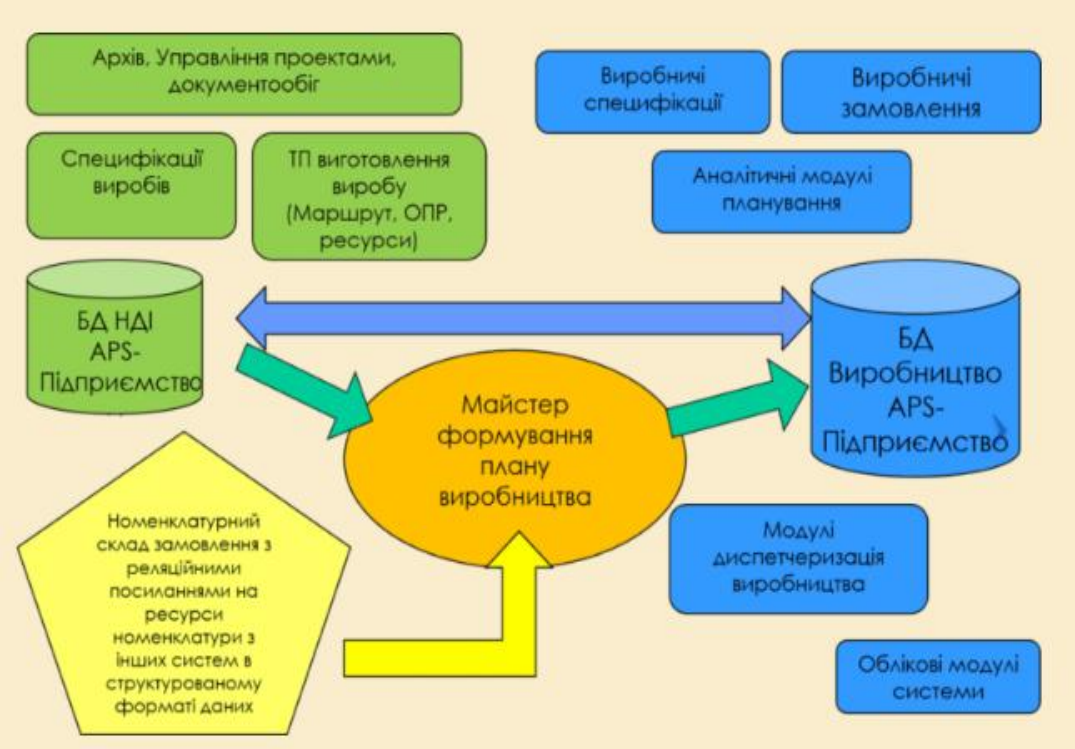


Рисунок 1.3 – Взаємозв’язки APS–системи підприємства з інформаційними та управлінськими модулями [15]

Найчастіше модулі планування APS є частиною загальної системи управління виробництвом, наприклад, ERP.

ERP-системи з модулями виробничого планування, які автоматично формують графік на основі замовлень покупців:

– BAS ERP (Business Automation Software) – це комплексна система нового покоління для автоматизації середніх та великих підприємств, що працює на платформі BAF (Business Automation Framework). Вона автоматизує весь життєвий цикл замовлення: від прийняття до виробництва, резервує матеріали, формує виробничі замовлення та створює графіки на довільний період [15];

– SAP S/4HANA Manufacturing (PP/DS). Це модуль планування виробництва та детального планування Production Planning and Detailed Scheduling (PP/DS), який дозволяє швидко перепланувати виробництво при змінах, спираючись на дані про замовлення в режимі реального часу [16].

1.4 Вибір підходу до розробки онлайн–системи управління і постановка завдання

Серед розглянутих підходів до планування виробництва був обраний найбільш поширений підхід MRP, який в більшій мірі відповідає особливостям дискретного серійного приладобудівного виробництва та дозволяє централізовано планувати запуск-випуск виробів з врахуванням часу на виготовлення деталей та комплектуючих одиниць, які входять до їх складу [17].

Однак, для усунення негативних сторін обраного підходу, передбачається в розроблюваних алгоритмах планування доповнити його урахуванням аналізу бази даних замовлень та існуючі потужності виробництва. Таким чином, обраний підхід дозволить будувати реальний виробничий план, який спирається на реальну інформацію про замовлення та виробничі потужності, що значно заощадить час планування за рахунок відсутності необхідності перебудовувати свідомо нереалістичний графік.

З метою прискорення процесу планування виробництва прийнято рішення використовувати підхід планування в дві стадії: укрупнення планування (побудова основного плану виробництва, який містить очікувані дати початку і закінчення виготовлення продукції) і деталізоване планування (побудова детального графіка завантаження виробничого обладнання технологічними операціями, що базується на даних, представлених результатом розрахунку основного плану).

Також прийнято рішення про додавання універсальності в підході до розташування плану на графіку шляхом надання можливості вибору напрямки планування: прямого або зворотного.

Після того, як визначені підходи до автоматизації, можна приступати до постановки задачі у вигляді вимог до функціонування інформаційної системи.

Особливістю розробляється інформаційної системи є те, що вхідні дані для планування надходять безпосередньо з бази даних замовлень. Наступною вимогою до програми є можливість формування виробничих завдань на виробничі ділянки.

Програма повинна створювати виробничий план з можливістю настройки горизонту планування (в днях) для укрупненого і детального планування, після досягнення якого програма повинна припинити розрахунок плану і надати результат.

Детальне планування має здійснюватися на підставі укрупненого. При плануванні повинна враховуватися завантаження устаткування, і в разі нестачі вільних потужностей програма повинна переносити виконання технологічної операції на більш дальній період. По можливості програма повинна інформувати про виниклі проблеми на етапі розрахунку виробничого плану (наприклад, про вузькі місця або про відсутність частини даних) [18].

Оскільки кількість інформації, яка обробляється в результаті планування виробництва може мати великий об’єм, важливо забезпечити наявність засобів візуалізації результатів планування у вигляді двох основних інструментів: табличного представлення або діаграми.

Одним з основних результатів планування виробництва є завдання для видачі робітникам (змінно-добове завдання). Тому до інформаційної системи ставиться вимога щодо надання можливості виводити список технологічних операцій по співробітнику або по робочому центру (а також по всіх робочих центрам та співробітникам) для виконання в заданий день. Завдяки даному функціоналом, за допомогою інформаційної системи користувач зможе видати в роботу завдання виробничому персоналу на черговий день.

Таким чином, було відібрано підходи, які використовуються при автоматизації планування виробництва і поставлено завдання по розробці інформаційної системи виробничого планування [19].

1.5 Узагальнена структура онлайн–системи обробки замовлень та планування виробництва

Компонентами розроблюваної онлайн–системи, крім бази даних замовлень, є модуль розрахунку виробничого плану, а також призначений для користувача інтерфейс, в якому користувач має можливість зробити перевірку БД, налаштування параметрів планування і відобразити діаграми і табличні звіти (рис. 1.4).

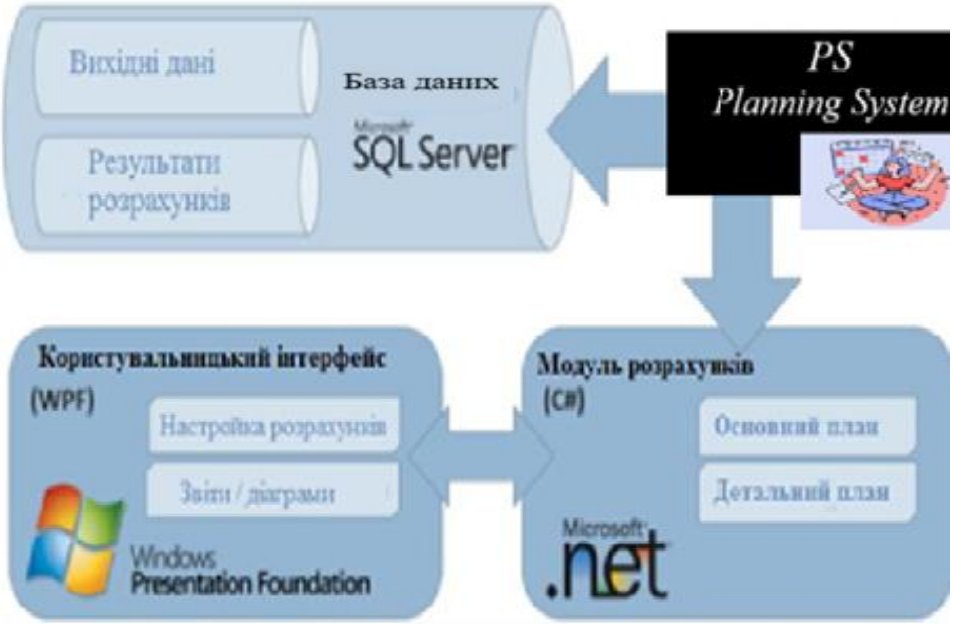


Рисунок 1.4 – Узагальнена архітектура онлайн–системи обробки замовлень і планування виробництва

Архітектура автоматизованої системи планування виробництва складається з бази даних замовлень, системи управління базами даних (СУБД), модуля планування та інтерфейсу користувача. Вона включає шари для збору, обробки, аналізу даних та представлення результатів у зручному для користувача вигляді.

Архітектура такої системи в узагальненому вигляді представлена на рис. 1.4.

База даних замовлень – це ядро системи, яке зберігає всю інформацію про замовлення (клієнт, продукт, терміни, кількість, статус). Зазвичай це реляційна база даних, де інформація організована в таблиці (наприклад, таблиці замовлень, клієнтів, товарів). Структура бази даних розробляється шляхом визначення необхідної інформації, її впорядкування по таблицях та встановлення зв'язків між ними.

Система управління базами даних (СУБД) – це програмний комплекс, що забезпечує взаємодію між користувачем та базою даних. Вона відповідає за зберігання, пошук, оновлення та видалення даних. Наприклад, SQL Server, MySQL, PostgreSQL.

Модуль планування – це основний розрахунковий модуль, який виконує обчислення та аналіз для створення виробничих планів.

Він отримує дані з бази даних замовлень і на їх основі формує:

– плани виробництва (що, коли і в якій кількості виробляти);

– плани закупівель (необхідні матеріали і комплектуючі);

– розклади для обладнання та персоналу.

Користувацький інтерфейс дозволяє взаємодіяти з системою та включає:

– форми для введення та редагування даних замовлень;

– звіти для відображення виробничих планів, залишків матеріалів тощо;

– графіки: для візуалізації виробничих розкладів.

Розглянемо архітектуру автоматизованої системи планування виробництва на основі бази даних замовлень зазвичай як багаторівневу модель, яка складається з таких ключових компонентів та рівнів: рівень даних, рівень бізнес-логіки та рівень користувацького інтерфейсу. Вона побудована на взаємодії між модулями, що забезпечують збір, обробку та аналіз інформації для ефективного управління виробничим процесом.

Рівень даних (база даних замовлень) зберігає всю необхідну інформацію для планування. Вона містить:

– дані про замовлення: ідентифікатор, дата, статус замовлення;

– клієнтську інформацію;

– перелік і кількість виробів у замовленні;

– вимоги до термінів та специфікацій.

На цьому ж рівні зберігаються довідники та виробничі дані:

– номенклатура: опис продукції, що виготовляється, її характеристики;

– маршрутні карти (технологічні процеси): послідовність виробничих операцій для кожного продукту;

– ресурси: інформація про обладнання, верстати, трудові ресурси, їх доступність та продуктивність;

– матеріали та сировина: перелік необхідних матеріалів, їхні запаси та постачальники;

– склади: дані про поточні запаси сировини, напівфабрикатів та готової продукції.

Рівень бізнес-логіки відповідає за обробку даних, автоматичне планування та оптимізацію виробничих процесів. Він складається з декількох модулів:

– модуль управління замовленнями;

– модуль планування виробництва;

– модуль управління ресурсами;

– модуль управління запасами;

– модуль моніторингу та контролю.

Модуль управління замовленнями здійснює наступні функції:

– обробка вхідних замовлень;

– перевірка їхньої можливості виконання (наявність ресурсів, матеріалів);

– створення плану виробництва на основі замовлень.

Модуль планування виробництва:

– формує виробничий план, враховуючи наявний попит і виробничі обмеження;

– використовує алгоритми для визначення оптимальної послідовності операцій і завантаження обладнання;

– автоматично створює завдання для виробничих ділянок.

Модуль управління ресурсами:

– відстежує доступність обладнання, персоналу, матеріалів;

– розподіляє ресурси між виробничими завданнями згідно з планом.

Модуль управління запасами:

– контролює залишки матеріалів та готової продукції;

– автоматично формує заявки на закупівлю сировини за певними правилами.

Модуль моніторингу та контролю:

– збирає дані з виробничого цеху (наприклад, через MES-системи або датчики) про хід виконання завдань;

– порівнює фактичний стан з плановим;

– генерує сповіщення про відхилення або проблеми.

Рівень користувацького інтерфейсу забезпечує взаємодію користувачів (менеджерів, технологів, працівників) із системою через:

– інтерфейс управління (дашборди для візуалізації виробничого плану, стану виконання замовлень та завантаження обладнання);

– інструменти для ручного коригування плану, якщо це необхідно.

– звіти (генерація звітів про ефективність, використання ресурсів, виконання замовлень);

– аналітичні інструменти для прийняття стратегічних рішень.

Мобільний доступ до системи забезпечується для працівників цеху (наприклад, для відстеження виконання завдань).

На рисунку 1.5 відображено узагальнений алгоритм взаємодії компонентів системи планування виробництва на основі аналізу замовлень.



Рисунок 1.5 – Узагальнений алгоритм взаємодії компонентів системи планування виробництва

Взаємодія компонентів здійснюється наступним чином:

– надходження замовлення – клієнтська інформація та дані про замовлення надходять до бази даних;

– аналіз даних – модуль бізнес-логіки зчитує нове замовлення та аналізує його вимоги, а також перевіряє доступність матеріалів і ресурсів у базі даних;

– формування плану – на основі маршрутних карт і наявних ресурсів модуль планування створює оптимальний виробничий план;

– видача завдань – система відправляє завдання на виконання в цех, де працівники використовують інтерфейс для відстеження та фіксації виконання;

– моніторинг – модуль моніторингу постійно збирає дані про процес виконання і порівнює їх з планом, вносячи корективи за потреби;

– звітування – на основі накопичених даних система генерує звіти для менеджменту.

1.6 Формалізація задачі планування виробництва на основі замовлень

У сучасних умовах функціонування виробничих підприємств особливого значення набуває задача ефективного планування виробництва, орієнтованого на виконання замовлень споживачів. Такий підхід дозволяє мінімізувати витрати, скоротити запаси та підвищити рівень обслуговування клієнтів.

Задача планування виробництва на основі замовлень полягає у визначенні оптимального плану випуску продукції з урахуванням наявних ресурсів, технологічних обмежень та строків виконання замовлень.

Основними вхідними даними задачі є:

– множина замовлень;

– характеристики продукції;

– виробничі ресурси;

– технологічні маршрути;

– часові обмеження.

Вихідним результатом є виробничий план, що визначає:

– обсяги виробництва;

– послідовність виконання операцій;

– розподіл ресурсів у часі.

Формалізація множин та параметрів задається наступним чином:

– $O = \{1,2,\dots,n\}$ – множина замовлень;

– $P = \{1,2,\dots,m\}$ – множина типів продукції;

– $R = \{1,2,\dots,k\}$ – множина ресурсів (обладнання, персонал);

– $T = \{1,2,\dots,H\}$ – дискретний часовий горизонт планування.

Параметри задачі:

– d_i – обсяг продукції у замовленні i;

– p_i – тип продукції для замовлення i;

– τ_{ir} – час обробки замовлення іна ресурсі r;

– C_r – доступний фонд часу ресурсу r;

– D_i – термін виконання замовлення i;

– c_i – штраф за прострочення замовлення.

Введемо змінні:

– $x_{it} \in \{0,1\}$ – змінна, що дорівнює 1, якщо замовлення iобробляється у момент часу t, і 0 — інакше;

– y_i – момент завершення виконання замовлення i;

– $z_i \geq 0$ – запізнення виконання замовлення i.

Математична модель.

Цільова функція спрямована на мінімізацію сумарних витрат від запізнення:

$$\sum_{i \in O} c_i \, z_i \rightarrow \min \tag{1.1}$$

Обмеження:

– виконання кожного замовлення у повному обсязі:

$$\sum_{t \in T} x_{it} = d_i, \ \forall i \in O; \tag{1.2}$$

– обмеження ресурсів:

$$\sum_{i \in O} \tau_{ir} \, x_{it} \leq C_r, \ \forall r \in R, \, t \in T; \tag{1.3}$$

– визначення часу завершення:

$$y_i \geq t \cdot x_{it}, \ \forall i \in O, \, t \in T; \tag{1.4}$$

– обчислення запізнення:

$$z_i \geq y_i - D_i,\ z_i \geq 0,\ \forall i \in O; \quad (1.5)$$

– обмеження змінних: $x_{it} \in \{0,1\}$.

При побудові моделі прийнято такі припущення:

– виробничі ресурси мають обмежену, але відому пропускну здатність;

– кожне замовлення є неподільним або виконується дискретними частинами;

– технологічні маршрути задані та не змінюються;

– відсутні випадкові збурення (детермінована модель).

Модель може бути розширена шляхом врахування:

– пріоритетів замовлень;

– багатостадійного виробництва;

– переналагодження обладнання;

– стохастичних факторів.

2 ПРОЄКТУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ СИСТЕМИ

2.1 Структура бази даних замовлень

Система управління виробництвом на основі бази даних замовлень повинна охоплювати весь цикл: від отримання замовлення до завершення виробництва та відвантаження готової продукції.

Для забезпечення зберігання та обробки інформації в онлайн-системі управління виробничим графіком підприємства розроблено реляційну базу даних, яка складається з декількох взаємопов'язаних таблиць. Структура бази даних забезпечує облік клієнтів, замовлень, технічних характеристик продукції, виробничих операцій, обладнання, персоналу та подій системи.

Таблиця Clients призначена для зберігання довідкової інформації про клієнтів підприємства. У ній містяться відомості про компанію-замовника, контактну особу, контактні дані та адресу доставки готової продукції. Кожному клієнту відповідає унікальний ідентифікатор client_id.

Таблиця Orders містить інформацію про виробничі замовлення. Для кожного замовлення зберігаються номер замовлення, дата створення, планова дата завершення, поточний статус, пріоритет виконання та загальна вартість. Таблиця пов'язана з таблицею Clients через поле client_id, що дозволяє визначити замовника кожного виробу.

Таблиця Product_Specs використовується для зберігання технічних характеристик продукції, що виготовляється в межах замовлення. У таблиці містяться найменування виробу, номер креслення, матеріал виготовлення, габаритні розміри, маса, кількість виробів та додаткові технічні вимоги. Кожен запис пов'язаний із конкретним замовленням через поле order_id.

Таблиця Production_Stages є довідником технологічних операцій механоскладального виробництва. Для кожного етапу визначаються його назва, опис, орієнтовна тривалість виконання, необхідний тип обладнання та

кваліфікація персоналу. Також задається послідовність виконання етапів у технологічному процесі.

Прикладами етапів є підготовка виробництва, заготівельні роботи, механічна обробка, термічна обробка, складання виробу, випробування та контроль якості.

Таблиця Order_Stages призначена для зберігання інформації про фактичне виконання технологічних етапів для конкретних замовлень. Вона є проміжною таблицею між Orders та Production_Stages. У таблиці фіксуються планові та фактичні дати початку і завершення робіт, поточний стан виконання етапу, призначене обладнання та відповідальний працівник.

Саме ця таблиця є основою для формування виробничого графіка та контролю виконання замовлень.

Таблиця Machines містить інформацію про виробниче обладнання підприємства. Для кожної одиниці обладнання зберігаються його назва, тип, поточний стан, місце розташування та дата останнього технічного обслуговування. Дані таблиці використовуються під час автоматичного планування виробничих операцій.

Таблиця Operators містить відомості про працівників підприємства, які беруть участь у виробничому процесі. Для кожного користувача зберігаються прізвище, ім'я, посада, логін, хеш пароля та роль у системі. Дані таблиці використовуються для авторизації користувачів та призначення виконавців виробничих операцій.

Таблиця Logs призначена для ведення журналу подій системи. У ній зберігається інформація про дії користувачів та автоматичні події, пов'язані із замовленнями. До журналу можуть заноситися відомості про створення замовлення, зміну статусу виробничого етапу, призначення обладнання або працівника, а також інші події, важливі для контролю та аудиту роботи системи.

Таким чином, запропонована структура бази даних забезпечує комплексне управління виробничими процесами підприємства, автоматизує планування

виробничого графіка, контроль виконання замовлень та ефективне використання виробничих ресурсів.

Опишемо окремо кожну таблицю із списком усіх полів.

Для механоскладального виробництва таблиця Production_Stages повинна відображати реальні етапи виготовлення деталей та складання виробів. Тоді система управління графіком виробництва буде універсальною (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Таблиця Production_Stages (Етапи виробництва)

Поле	Тип даних	Опис
stage_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Ідентифікатор етапу
stage_name	VARCHAR(100)	Назва етапу
description	TEXT	Опис операції
estimated_duration_hours	INT	Орієнтовна тривалість
sequence_number	INT	Порядковий номер виконання

Приклад заповнення таблиці Production_Stages (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Заповнення полів таблиці Production_Stages

stage_id	stage_name	description	estimated_ duration_hours	sequence_nu mber
1	2	3	4	5
1	Підготовка виробництва	Аналіз документації, підготовка матеріалів та оснащення	4	1
2	Заготівельні роботи	Різання, рубання, розкрій заготовок	8	2
3	Механічна обробка	Токарні, фрезерні, свердлильні операції	16	3

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
4	Термічна обробка	Гартування, відпуск, нормалізація	8	4
5	Шліфування та доведення	Досягнення необхідної точності та шорсткості	6	5
6	Контроль деталей	Вимірювання та перевірка якості	2	6
7	Комплектування вузлів	Підготовка деталей до складання	4	7
8	Складання виробу	Монтаж вузлів та агрегатів	12	8
9	Регулювання та налаштування	Налаштування механізмів	4	9
10	Випробування	Функціональні та навантажувальні випробування	6	10
11	Фарбування та маркування	Нанесення покриттів і маркування	4	11
12	Фінальний контроль якості	Приймальний контроль готового виробу	2	12
13	Пакування та відвантаження	Підготовка до передачі замовнику	2	13

Таблиця Production_Stages призначена для зберігання довідкової інформації про технологічні етапи виробничого процесу підприємства. Для кожного етапу визначаються його назва, опис, орієнтовна тривалість виконання, порядок проходження в технологічному маршруті, необхідний тип обладнання та кваліфікація персоналу.

Дані таблиці використовуються підсистемою планування для автоматичного формування виробничого графіка, розподілу виробничих ресурсів і контролю виконання замовлень. Під час створення нового замовлення система формує перелік виробничих операцій на основі записів цієї таблиці та створює відповідні записи в таблиці Order_Stages, де відображається фактичний хід виконання кожного етапу.

Використання окремої таблиці Production_Stages забезпечує централізоване керування технологічними маршрутами, спрощує модифікацію

виробничих процесів та підвищує гнучкість інформаційної системи при адаптації до нових видів продукції.

Таблиця Product_Specs (Технічні характеристики виробу) відображає технічні параметри виробу, який виготовляється за замовленням (талб.2.3).

Таблиця 2.3 – Таблиця Product_Specs (Технічні характеристики виробу)

Поле	Тип даних	Опис
product_spec_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Ідентифікатор запису
order_id	INT FK	Посилання на замовлення
product_name	VARCHAR(150)	Назва виробу
drawing_number	VARCHAR(50)	Номер креслення
material	VARCHAR(100)	Основний матеріал
dimensions	VARCHAR(100)	Габаритні розміри
weight_kg	DECIMAL(8,2)	Маса виробу
quantity	INT	Кількість виробів
complexity_level	ENUM('Low','Medium','High')	Рівень складності
technical_requirements	TEXT	Особливі вимоги
notes	TEXT	Примітки

Таблиця Product_Specs призначена для зберігання технічних характеристик виробів, що виготовляються в межах виробничих замовлень. Вона містить інформацію про найменування виробу, номер конструкторської документації, матеріал виготовлення, габаритні розміри, масу, кількість одиниць продукції та особливі технічні вимоги.

Дані таблиці використовуються підсистемою планування виробництва для визначення необхідних виробничих операцій, розрахунку трудомісткості робіт, вибору обладнання та формування виробничого графіка. Зв'язок таблиці з таблицею Orders забезпечує можливість зберігання індивідуальних характеристик для кожного замовлення та подальшого контролю процесу виготовлення продукції. Приклад заповнення полів таблиці наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Приклад заповнення полів таблиці Product_Specs

product_name	drawing_number	material	quantity
Редуктор приводу	RD-01-2026	Сталь 45	20
Вал приводний	VL-15-2026	Сталь 40Х	50
Корпус насоса	КР-11-2026	Чавун СЧ20	10

Таблиця Clients призначена для зберігання інформації про замовників підприємства. Вона містить контактні дані клієнтів та використовується під час реєстрації нових замовлень (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Таблиця Clients (Замовники)

Поле	Тип даних	Опис
client_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор клієнта
company_name	VARCHAR(255)	Назва підприємства-замовника
contact_person	VARCHAR(150)	Контактна особа
phone	VARCHAR(20)	Номер телефону
email	VARCHAR(100)	Адреса електронної пошти
delivery_address	TEXT	Адреса доставки продукції
created_at	DATETIME	Дата створення запису

Таблиця Orders використовується для зберігання інформації про виробничі замовлення та контролю їхнього виконання (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Таблиця Orders (Інформація про замовлення)

Поле	Тип даних	Опис
order_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор замовлення
client_id	INT FK	Посилання на клієнта
order_number	VARCHAR(50)	Номер замовлення
created_date	DATE	Дата створення
due_date	DATE	Планова дата завершення
total_cost	DECIMAL(12,2)	Вартість замовлення
priority	ENUM	Пріоритет виконання
status	ENUM	Поточний стан замовлення
notes	TEXT	Додаткові примітки

Таблиця Product_Specs містить технічні характеристики продукції, яка виготовляється в межах конкретного замовлення (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Таблиця Product_Specs

Поле	Тип даних	Опис
1	2	3
product_spec_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор специфікації
order_id	INT FK	Посилання на замовлення
product_name	VARCHAR(150)	Найменування виробу
drawing_number	VARCHAR(50)	Номер креслення
material	VARCHAR(100)	Основний матеріал
dimensions	VARCHAR(100)	Габаритні розміри виробу

Продовження таблиці 2.7

1	2	3
weight_kg	DECIMAL(8,2)	Маса виробу
quantity	INT	Кількість виробів
complexity_level	ENUM	Рівень складності виготовлення
technical_requirements	TEXT	Технічні вимоги
notes	TEXT	Додаткова інформація

Таблиця Production_Stages є довідником технологічних операцій механоскладального виробництва (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Таблиця Production_Stages

Поле	Тип даних	Опис
stage_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор етапу
stage_name	VARCHAR(100)	Назва технологічного етапу
description	TEXT	Опис виробничої операції
estimated_duration_hours	INT	Орієнтовна тривалість виконання
sequence_number	INT	Порядковий номер етапу
required_machine_type	VARCHAR(100)	Тип необхідного обладнання
required_skill	VARCHAR(100)	Необхідна кваліфікація працівника
is_active	BOOLEAN	Ознака використання етапу

Таблиця Order_Stages призначена для зберігання інформації про виконання окремих технологічних етапів для кожного замовлення (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 – Таблиця Order_Stages

Поле	Тип даних	Опис
order_stage_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор запису
order_id	INT FK	Посилання на замовлення
stage_id	INT FK	Посилання на етап виробництва
machine_id	INT FK	Призначене обладнання
operator_id	INT FK	Відповідальний працівник
planned_start	DATETIME	Плановий початок
planned_finish	DATETIME	Планове завершення
actual_start	DATETIME	Фактичний початок
actual_finish	DATETIME	Фактичне завершення
status	ENUM	Стан виконання
completion_percent	INT	Відсоток завершення

Таблиця Machines містить інформацію про виробниче обладнання підприємства (табл. 2.10).

Таблиця 2.10 – Таблиця Machines (Обладнання)

Поле	Тип даних	Опис
machine_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор обладнання
machine_name	VARCHAR(100)	Назва обладнання
machine_type	VARCHAR(100)	Тип обладнання
status	ENUM	Поточний стан
location	VARCHAR(100)	Місце розташування
last_maintenance	DATE	Дата останнього технічного обслуговування

Таблиця Operators містить інформацію про користувачів системи та виробничий персонал (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Таблиця Operators (Оператори)

Поле	Тип даних	Опис
operator_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор працівника
first_name	VARCHAR(100)	Ім'я
last_name	VARCHAR(100)	Прізвище
position	VARCHAR(100)	Посада
login	VARCHAR(50)	Логін користувача
password_hash	VARCHAR(255)	Хеш пароля
role	ENUM	Роль у системі
phone	VARCHAR(20)	Телефон
email	VARCHAR(100)	Електронна пошта

Таблиця Logs використовується для ведення журналу подій системи та аудиту дій користувачів (табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Таблиця Logs (Журнал подій)

Поле	Тип даних	Опис
log_id	INT PK AUTO_INCREMENT	Унікальний ідентифікатор події
order_id	INT FK	Замовлення, до якого відноситься подія
operator_id	INT FK	Користувач, який виконав дію
event_time	DATETIME	Дата та час події
event_type	VARCHAR(100)	Тип події
description	TEXT	Детальний опис події

Для зберігання даних інформаційної системи використовується реляційна база даних ManufacturingSchedulerDB, яка реалізована на платформі Microsoft SQL Server.

Зв’язки між таблицями відображає ER-діаграма бази даних (рис.2.1).

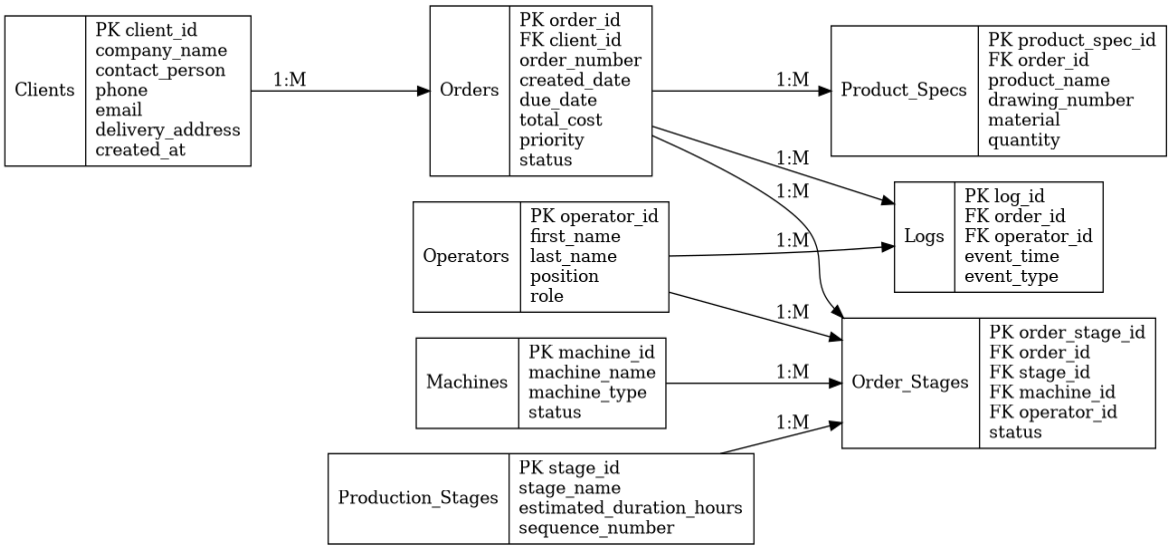


Рисунок 2.1 – ER-діаграма бази даних онлайн-системи управління виробничим графіком підприємства

Діаграма містить усі основні таблиці проєкту: Clients, Orders, Product_Specs, Production_Stages, Order_Stages, Machines, Operators та Logs. Зв’язки між таблицями здійснюються за різними схемами, наприклад:

1. «Один до багатьох» (1:M). Один клієнт може зробити багато замовлень.
2. «Багато до багатьох» (M:N): Один виріб може бути в декількох замовленнях, і одне замовлення може містити багато виробів. Для таких зв'язків зазвичай створюється проміжна таблиця.

2.2 Створення та заповнення таблиць бази даних

Для створення описаної бази даних розроблено SQL–скрипти для кожної таблиці. Також для користувача системи розроблено один скрипт для створення всієї бази даних (додаток А).

Таблиця Clients (Клієнти) зберігає довідкову інформацію про компанії-замовники, контактних осіб та адреси доставки (рис. 2.2).

	client_id	company_name	contact_person	phone	email	delivery_address	created_at
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.2 – Незаповнена таблиця Clients (Клієнти)

Таблиця Orders (Замовлення) містить інформацію про кожне замовлення, його стан, дату створення, термін виконання та загальну вартість. Зв’язана з таблицею Clients (через client_id) і Product_Specs (через order_id) (рис. 2.3).

	order_id	client_id	order_number	created_date	due_date	total_cost	priority	status	notes
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.3 – Таблиця Order (Замовлення)

Таблиця Product_Specs містить інформацію про найменування виробу, номер конструкторської документації, матеріал виготовлення, габаритні розміри, масу, кількість одиниць продукції та особливі технічні вимоги (рис. 2.4).

	product_spec_id	order_id	product_name	drawing_numb...	material	dimensions	weight_kg	quantity	complexity_level	technical_requi...	notes
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.4 – Таблиця Product_Specs

Таблиця Production_Stages (Етапи виробництва) описує типові технологічні етапи виробництва з орієнтовною тривалістю виконання (рис. 2.5).

	stage_id	stage_name	description	default_duratio...	sequence_no	is_active
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.5 – Таблиця Production_Stages (Етапи виробництва)

Таблиця Order_Stages (Виконання етапів замовлення) є проміжною таблицею для зв’язку Orders і Production_Stages. Фіксує, коли розпочато та завершено конкретний етап, а також його поточний статус. Може бути доповнена полями machine_id і operator_id для фіксації виконавця та обладнання (рис. 2.6).

	order_stage_id	order_id	stage_id	status	planned_start	planned_end	actual_start	actual_end	machine_id	operator_id	comment
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

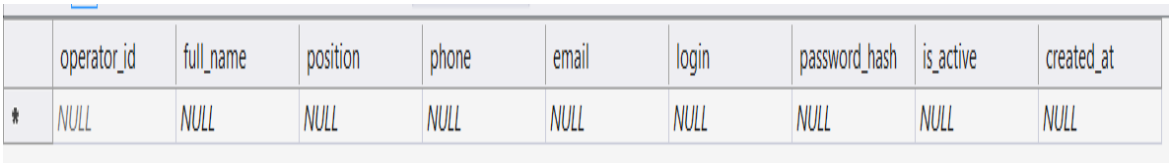
Рисунок 2.6 – Таблиця Order_Stages (Виконання етапів замовлення)

Таблиця Machines (Обладнання) містить інформацію про верстати, їхній тип, поточний стан і дату останнього технічного обслуговування (рис. 2.7).

	machine_id	machine_name	machine_type	status	location	last_maintenan...
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.7 – Таблиця Machines (Обладнання)

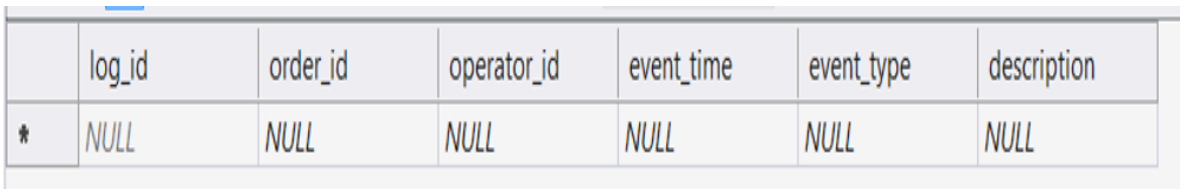
Таблиця Operators (Оператори/ працівники) описує персонал, який залучений до виробничих процесів. Має поля для ідентифікації, посади та даних авторизації (логін, хеш пароля) (рис. 2.8).



	operator_id	full_name	position	phone	email	login	password_hash	is_active	created_at
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.8 – Таблиця Operators (Оператори/ працівники)

Таблиця Logs (Журнал подій) зберігає інформацію про події в системі: автоматичні та користувацькі дії, пов’язані з конкретними замовленнями (рис. 2.9).



	log_id	order_id	operator_id	event_time	event_type	description
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.9 – Таблиця Logs (Журнал подій)

Таблиця Order_Stages – це основна таблиця виробничого графіка.

Початкове наповнення Production_Stages для тестування системи здійснюється за допомогою скрипта:

```
INSERT INTO Production_Stages
(   stage_name,
    description,
    estimated_duration_hours,
    sequence_number,
    required_machine_type,
    required_skill
)
VALUES
(
    N'Підготовка виробництва',
    N'Підготовка документації та матеріалів',
    4,
```

```
    1,
    N'Робоча станція технолога',
    N'Технолог'
),
(
    N'Заготівельні роботи',
    N'Розкрій та підготовка заготовок',
    8,
    2,
    N'Лазерний комплекс',
    N'Оператор'
),
(
    N'Механічна обробка',
    N'Токарні та фрезерні операції',
    16,
    3,
    N'Верстат ЧПК',
    N'Оператор ЧПК'
),
(
    N'Термічна обробка',
    N'Гартування та відпуск',
    8,
    4,
    N'Термічна піч',
    N'Терміст'
),
(
    N'Контроль деталей',
```

```
    N'Перевірка геометричних параметрів',
    2,
    5,
    N'Вимірювальний стенд',
    N'Контролер ВТК'
),
(
    N'Складання виробу',
    N'Монтаж вузлів та деталей',
    12,
    6,
    N'Складальна дільниця',
    N'Складальник'
),
(
    N'Випробування',
    N'Перевірка працездатності виробу',
    6,
    7,
    N'Випробувальний стенд',
    N'Інженер-випробувач'
),
(
    N'Фінальний контроль якості',
    N'Приймальний контроль готової продукції',
    2,
    8,
    N'Контрольно-вимірювальний комплекс',
    N'Контролер ВТК'
),
```

```
(
    N'Пакування та відвантаження',
    N'Підготовка продукції до передачі замовнику',
    2,
    9,
    N'Пакувальна дільниця',
    N'Комірник'
);
```

Після виконання вищеописаного скрипта таблиця Production_Stages має наступний вигляд (рис. 2.10):

stage_id	stage_name	description	estimated_dur...	sequence_num...	required_machine_type	required_skill	is_active
19	Підготовка виробництва	Підготовка документації та матеріалів	4	1	Робоча станція технолога	Технолог	True
20	Заготівельні роботи	Розкрій та підготовка заготовок	8	2	Лазерний комплекс	Оператор	True
21	Механічна обробка	Токарні та фрезерні операції	16	3	Верстат ЧПК	Оператор ЧПК	True
22	Термічна обробка	Гартування та відпуск	8	4	Термічна піч	Терміст	True
23	Контроль деталей	Перевірка геометричних параметрів	2	5	Вимірювальний стенд	Контролер ВТК	True
24	Складання виробу	Монтаж вузлів та деталей	12	6	Складальна дільниця	Складальник	True
25	Випробування	Перевірка працездатності виробу	6	7	Випробувальний стенд	Інженер-випр...	True
26	Фінальний контроль як...	Приймальний контроль готової продукції	2	8	Контрольно-вимірюваль...	Контролер ВТК	True
27	Пакування та відвантаж...	Підготовка продукції до передачі замовнику	2	9	Пакувальна дільниця	Комірник	True
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 2.10 – Заповнена таблиця Production_Stages

Створення програмного продукту будемо здійснювати на прикладі механоскладального виробництва.

База даних створена в VS, призначена для зберігання інформації про клієнтів, замовлення, етапи виробництва, обладнання, персонал та журнал подій системи (рис. 2.11).

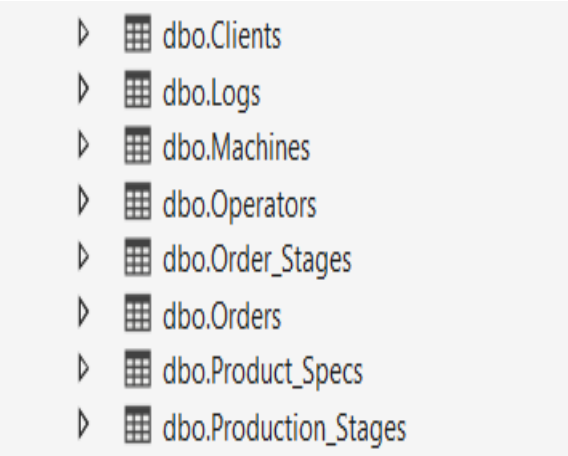


Рисунок 2.11 – База даних ManufacturingSchedulerDB в VS із набором таблиць

3 ПРОЄКТ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМ ГРАФІКОМ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ ЗАМОВЛЕНЬ

3.1 Модель системи управління виробничим графіком підприємства на основі замовлень

Архітектура системи управління виробничим графіком підприємства на основі замовлень представлена на рис. 3.1

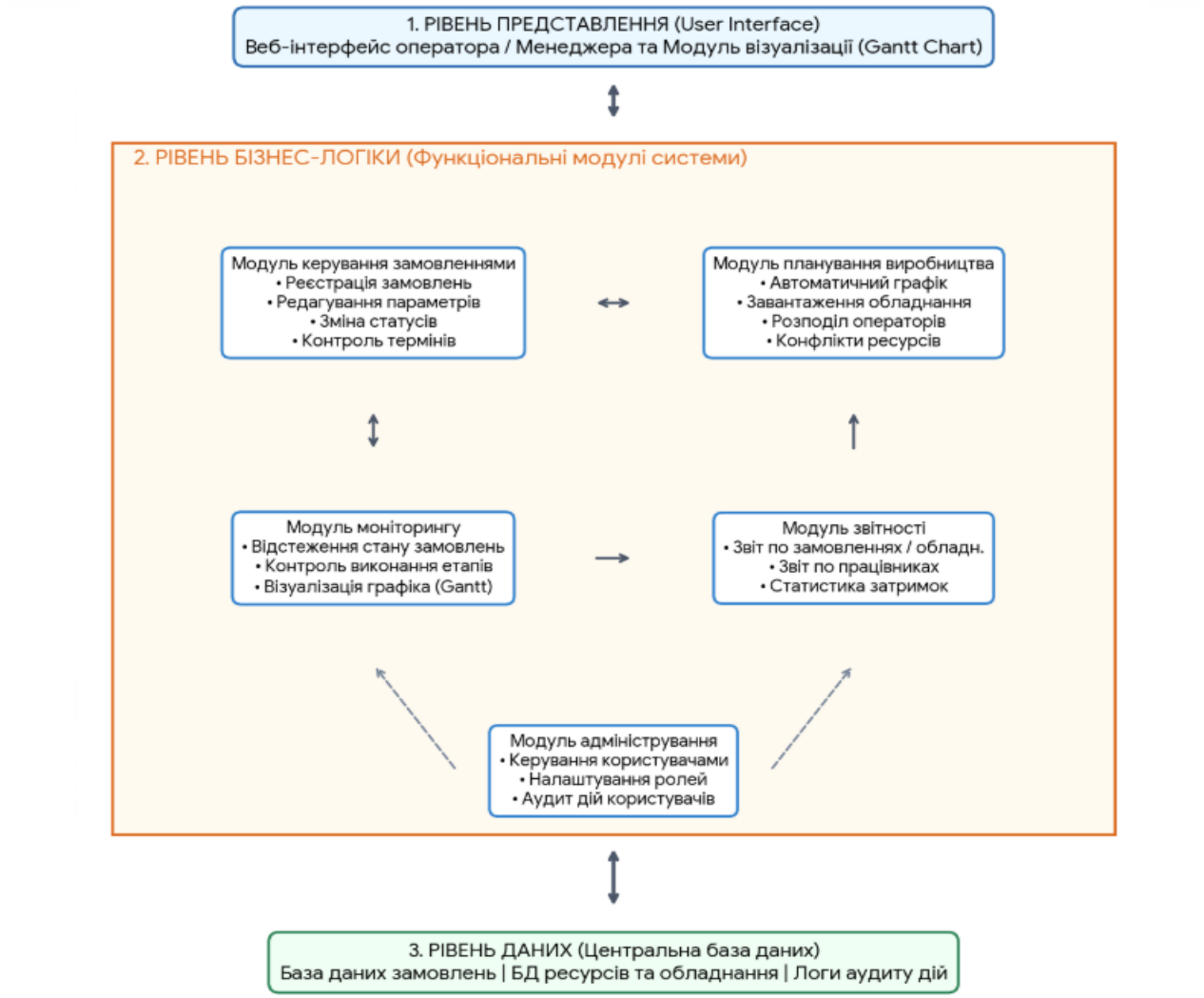


Рисунок 3.1 – Архітектура системи управління виробничим графіком підприємства на основі замовлень

Проєкт системи має трирівневу архітектуру (Three-Tier Architecture), яка розділяє програму на три незалежні шари.

Перший рівень – це рівень представлення (UI), верхній шар, через який користувач (менеджер або оператор) взаємодіє з системою. Він відповідає за відображення веб-інтерфейсу та візуалізацію виробничих графіків (Gantt Chart) (рис. 3.2).

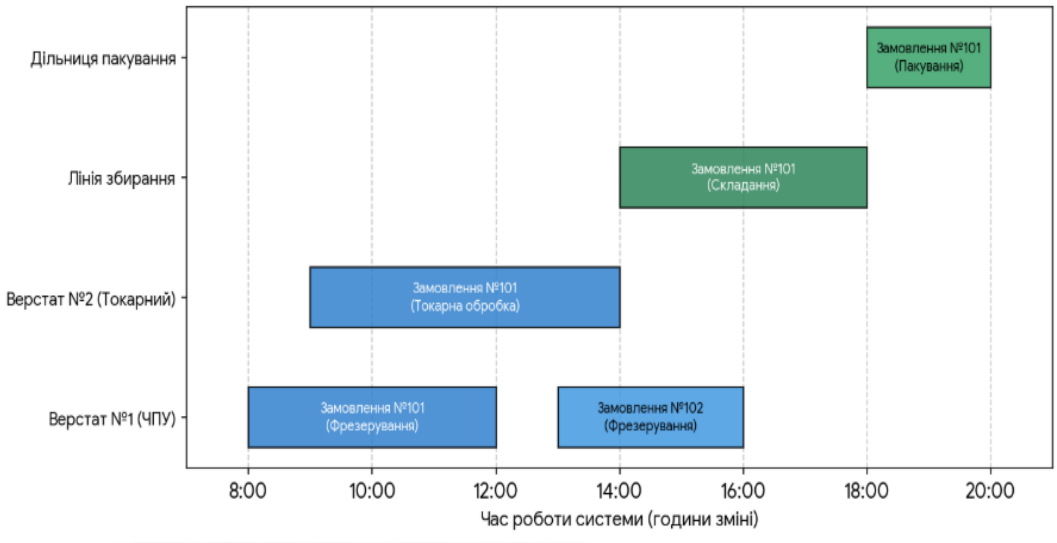


Рисунок 3.2 – Приклад візуалізації графіка Gantt Chart виконання замовлень

Діаграма складається з двох основних осей:

– вертикальна вісь (Y): список ресурсів (обладнання, верстати) або замовлень;

– горизонтальна вісь (X): шкала часу (години, дні, зміни).

Кожне завдання відображається у вигляді горизонтального стовпчика (смуги). Довжина цього стовпчика показує, скільки часу триватиме виробничий етап, а його початок і кінець – точний час старту та завершення робіт.

Рівень бізнес-логіки (Logic) – це ядро системи, де зосереджені всі 5 модулів:

– модуль замовлень реєструє та контролює терміни;

– модуль планування автоматично створює графіки та розподіляє ресурси;

– модуль моніторингу стежить за етапами виконання;

– модуль звітності збирає статистику та формує звіти;

– модуль адміністрування розмежовує ролі та веде аудит.

Рівень даних (Database) – це нижній шар, що забезпечує надійне збереження, зміну та зчитування всієї інформації (дані про замовлення, обладнання, персонал та логіку дій).

3.2 Архітектура проєкту

Проєкт складається із п’яти функціональних модулів.

Перший модуль – це модуль керування замовленнями, функціонал якого наступний:

– реєстрація замовлень;

– редагування параметрів;

– зміна статусів замовлень;

– контроль термінів.

Другий модуль – це модуль планування виробництва, який здійснює:

– автоматичне формування виробничого графіка;

– розрахунок завантаження обладнання;

– розподіл операторів;

– виявлення конфліктів ресурсів.

Третій модуль – модуль моніторингу, який здійснює:

– відстеження поточного стану замовлень;

– контроль виконання етапів;

– візуалізацію виробничого графіка (Gantt Chart).

Четвертий модуль звітності налаштований на автоматичне створення звітів:

– по замовленнях;

– по обладнанню;

– по працівниках;

– статистику затримок.

Модуль адміністрування здійснює:

– керування користувачами;

– налаштування ролей;

– аудит дій користувачів.

Файлова архітектура проєкту відображена на рис. 3.3. Назва проєкту – ManufacturingScheduler.

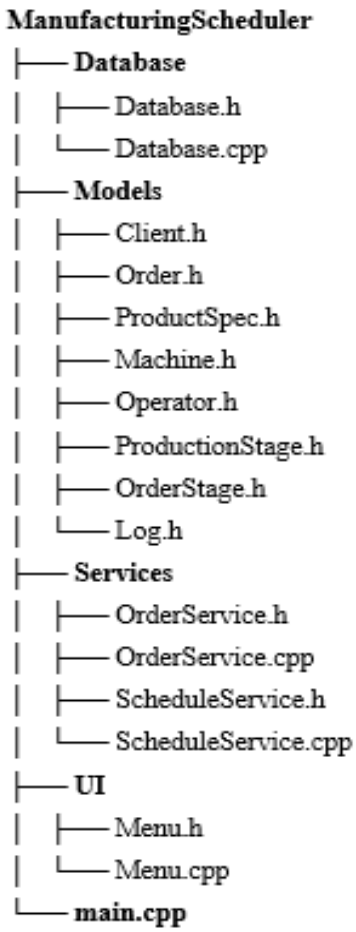


Рисунок 3.3 – Архітектура та файли проєкту ManufacturingScheduler

Файлова архітектура відповідає розробленій моделі проєкту, розробленій базі даних та завданням, які виконує представлене ПЗ.

3.3 Керівництво користувача

Процес формування плану виробництва здійснюється у декілька послідовних етапів.

Програмний модуль, реалізований мовою C++, виконує функції автоматизованого диспетчера виробництва.

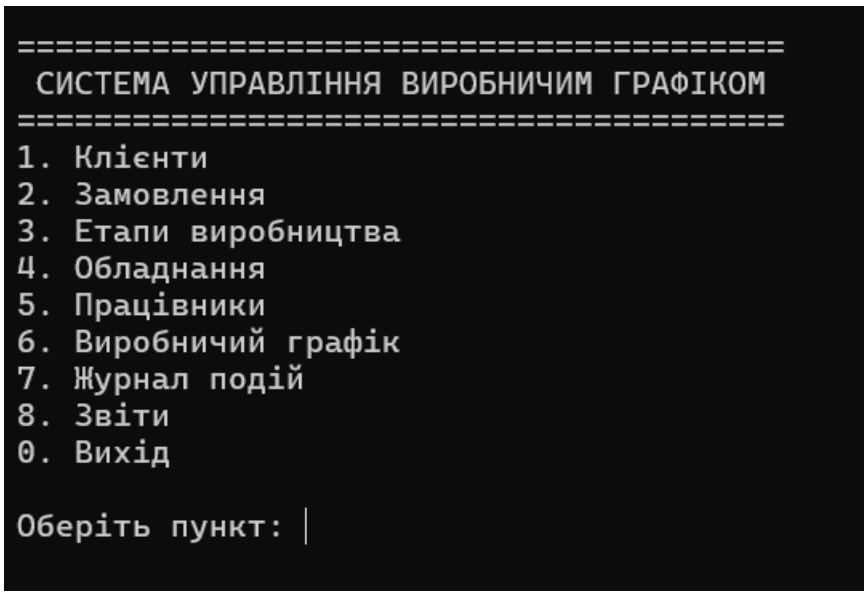


Рисунок 3.4 – Головне меню системи ManufacturingScheduler

Для тестування системи заповнюємо всі таблиці. Можна для цього використовувати скрипти, які надані в Додатку Г.

Заповнена таблиця Clients відображена на рис. 3.5.

	client_id	company_name	contact_person	phone	email	delivery_address	created_at
1	1	MetalTech LLC	Ivan Petrenko	+380501112233	metal@tech.com	Kharkiv	2026-06-14 01:05:10.307
2	2	AgroLine Ltd	Oleh Shevchenko	+380671234567	info@agro.com	Kyiv	2026-06-14 01:05:10.307
3	3	BuildPro	Andrii Koval	+380931112244	build@pro.ua	Lviv	2026-06-14 01:05:10.307
4	4	TOV MetalTech	Ivan Petrenko	+380501112233	metaltech@company.com	Kharkiv, Ukraine	2026-06-14 01:10:55.990
5	5	AgroLine LLC	Oleh Shevchenko	+380671234567	info@agroline.ua	Kyiv, Ukraine	2026-06-14 01:10:55.990
6	6	BuildPro Systems	Andrii Koval	+380931112244	contact@buildpro.com	Lviv, Ukraine	2026-06-14 01:10:55.990
7	7	AutoParts Group	Maria Bondar	+380501998877	sales@autoparts.ua	Dnipro, Ukraine	2026-06-14 01:10:55.990
8	8	EnergyTech Solutions	Dmytro Kryvyi	+380671445566	office@energytech.ua	Odesa, Ukraine	2026-06-14 01:10:55.990

Рисунок 3.5 – Таблиця Clients із тестовими даними

	order_id	client_id	order_number	created_date	due_date	total_cost	priority	status	notes
1	1	1	ORD-1001	2026-06-01	2026-06-10	15000.00	High	Created	Gearbox production
2	2	1	ORD-1002	2026-06-02	2026-06-12	18000.00	Medium	In Progress	Shaft batch
3	3	2	ORD-2001	2026-06-03	2026-06-15	22000.00	High	Created	Agricultural components
4	4	3	ORD-3001	2026-06-04	2026-06-20	12000.00	Low	Created	Structural parts
5	5	4	ORD-4001	2026-06-05	2026-06-18	30000.00	High	In Progress	Automotive parts

Рисунок 3.6 – Таблиця Orders з тестовими даними

Після заповнення Clients і Orders фактично з'являється реальна база виробничих даних.

Перевірити зв'язок між таблицями можна за допомогою скрипта:

```
SELECT
    o.order_id,
    c.company_name,
    o.order_number,
    o.status,
    o.total_cost
FROM Orders o
JOIN Clients c
    ON o.client_id = c.client_id;
```

Результатом буде таблиця, в якій зберігаються всі замовлення разом із назвами компаній, їх статусом та ціною (табл.3.1).

Таблиця 3.1 – Таблиця для перевірки замовлень

order_id	company_name	order_number	status	total_cost
1	TOV MetalTech	ORD-1001	Created	15000.00
2	TOV MetalTech	ORD-1002	In Progress	18000.00
3	AgroLine LLC	ORD-2001	Created	22000.00
4	BuildPro Systems	ORD-3001	Created	12000.00
5	AutoParts Group	ORD-4001	In Progress	30000.00

Заповнюємо таблицю Product_Specs, яка відображає всі актуальні замовлення із назвами виробів, її кількістю (рис.3.7). По цій таблиці можна відстежити той факт, що одне замовлення може містити декілька найменувань продукції та один замовник може зробити декілька замовлень.

	product_spec_id	order_number	product_name	material	quantity
1	2	ORD-1001	Gearbox Housing	Steel	10
2	3	ORD-1002	Agro Shaft	Steel	20
3	4	ORD-2001	Frame Bracket	Aluminum	50
4	5	ORD-1001	Gearbox Housing	Steel	10
5	6	ORD-1002	Drive Shaft	Steel	20
6	7	ORD-2001	Plough Bracket	Steel	50
7	8	ORD-3001	Construction Joint	Steel	30
8	9	ORD-4001	Engine Mount	Aluminum	100

Рисунок 3.7 – Таблиця Product_Specs з тестовими даними

Таблиця Machines відображає наявні ресурси виробництва, які задіяні для виготовлення продукції. Заповнена таблиця Machines відображена на рис. 3.8.

	machine_id	machine_name	machine_type	status	location	last_maintenance
1	1	CNC Lathe CTX-310	CNC Lathe	Available	Workshop A	2026-05-15
2	2	CNC Milling DMU-50	CNC Milling	Available	Workshop A	2026-05-20
3	3	Laser Cutter LC-5000	Laser Cutting	Available	Workshop B	2026-05-10
4	4	Welding Station WS-01	Welding	Busy	Workshop C	2026-04-30
5	5	Grinding Machine GM-200	Grinding	Available	Workshop A	2026-05-25

Рисунок 3.8 – Таблиця Machines з тестовими даними

Для тестування системи заповнимо таблицю Operators для п’яти працівників (рис. 3.9). Для прикладу в таблиці Operators відображені працівники з різними статусами в системі. Також відображені їх посади, прізвища та імена, логіни та паролі, телефони та e-mail.

Скрипт для перевірки таблиці Operators:

```
SELECT *
```

```
FROM Operators
ORDER BY operator_id;
```

operator_id	first_name	last_name	position	login	password_hash	role	phone	email
1	Іван	Петренко	CNC Operator	ipetrenko	123456	Operator	+380501111111	ivan.petrenko@factory.ua
2	Олена	Коваль	Milling Operator	okoval	123456	Operator	+380502222222	olena.koval@factory.ua
3	Андрій	Шевченко	Welder	ashevchenko	123456	Operator	+380503333333	andriy.shevchenko@fac...
4	Марина	Бондар	Production Planner	mbondar	123456	Manager	+380504444444	marina.bondar@factory...
5	Сергій	Ткаченко	Quality Engineer	stkachenko	123456	Engineer	+380505555555	sergiy.tkachenko@facto...

Рисунок 3.9 – Таблиця Operators з тестовими даними

Запит, який показує зв'язок між клієнтами, замовленнями та продукцією, можна зробити за допомогою скрипта:

```
SELECT
    c.company_name,
    o.order_number,
    o.status,
    o.priority,
    ps.product_name,
    ps.material,
    ps.quantity,
    ps.complexity_level
FROM Clients c
INNER JOIN Orders o
    ON c.client_id = o.client_id
INNER JOIN Product_Specs ps
    ON o.order_id = ps.order_id
ORDER BY
    c.company_name,
    o.order_number;
```

Тепер база даних має все необхідне для побудови виробничого графіку.

Її стан на момент часу, коли здійснюється планування відображено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Стан таблиць бази даних перед формуванням головної таблиці Product_Specs

Таблиця	Кількість записів
Clients	5
Orders	5
Product_Specs	є
Machines	5
Operators	5
Production_Stages	9

Замовлення проходять дев’ять етапів (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Схема технологічних етапів виробництва

Фактично реалізована бізнес–логіка системи, де головною таблицею є Order_Stages (Етапи виконання замовлення). Потік даних в системі та взаємозв’язок таблиць відображено на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Схема взаємозв’язку таблиць та потік даних в системі

Результатом роботи системи є таблиця Order_Stages, фрагмент якої відображено на рисунку 3.12.

ManufacturingSchedulerDB

	order_stage_id	order_number	stage_name	machine_name	operator_name	planned_start	planned_finish	status	completion_percent
1	1	ORD-1001	Підготовка виробництва	CNC Lathe CTX-310	Марина Бондар	2026-07-01 08:00:00.000	2026-07-01 10:00:00.000	Completed	100
2	2	ORD-1001	Заготівельні роботи	Laser Cutter LC-50...	Іван Петренко	2026-07-01 10:00:00.000	2026-07-01 14:00:00.000	Completed	100
3	3	ORD-1001	Механічна обробка	CNC Milling DMU-...	Олена Коваль	2026-07-02 08:00:00.000	2026-07-02 16:00:00.000	Completed	100
4	4	ORD-1001	Термічна обробка	CNC Lathe CTX-310	Іван Петренко	2026-07-03 08:00:00.000	2026-07-03 12:00:00.000	Completed	100
5	5	ORD-1001	Контроль деталей	CNC Milling DMU-...	Сергій Ткаченко	2026-07-03 13:00:00.000	2026-07-03 15:00:00.000	Completed	100
6	6	ORD-1001	Складання виробу	Welding Station W...	Андрій Шевче...	2026-07-04 08:00:00.000	2026-07-04 14:00:00.000	In Progre...	75
7	7	ORD-1001	Випробування	Grinding Machine ...	Сергій Ткаченко	2026-07-05 08:00:00.000	2026-07-05 10:00:00.000	Planned	0
8	8	ORD-1001	Фінальний контроль як...	Grinding Machine ...	Сергій Ткаченко	2026-07-05 10:00:00.000	2026-07-05 12:00:00.000	Planned	0
9	9	ORD-1001	Пакування та відванта...	CNC Lathe CTX-310	Марина Бондар	2026-07-06 08:00:00.000	2026-07-06 10:00:00.000	Planned	0
10	10	ORD-1002	Підготовка виробництва	CNC Lathe CTX-310	Марина Бондар	2026-07-07 08:00:00.000	2026-07-07 10:00:00.000	Completed	100
11	11	ORD-1002	Заготівельні роботи	Laser Cutter LC-50...	Іван Петренко	2026-07-07 10:00:00.000	2026-07-07 14:00:00.000	Completed	100
12	12	ORD-1002	Механічна обробка	CNC Milling DMU-...	Олена Коваль	2026-07-08 08:00:00.000	2026-07-08 16:00:00.000	In Progre...	50
13	13	ORD-1002	Термічна обробка	CNC Lathe CTX-310	Іван Петренко	2026-07-09 08:00:00.000	2026-07-09 12:00:00.000	Planned	0
14	14	ORD-1002	Контроль деталей	CNC Milling DMU-...	Сергій Ткаченко	2026-07-09 13:00:00.000	2026-07-09 15:00:00.000	Planned	0
15	15	ORD-1002	Складання виробу	Welding Station W...	Андрій Шевче...	2026-07-10 08:00:00.000	2026-07-10 14:00:00.000	Planned	0
16	16	ORD-1002	Випробування	Grinding Machine ...	Сергій Ткаченко	2026-07-11 08:00:00.000	2026-07-11 10:00:00.000	Planned	0
17	17	ORD-1002	Фінальний контроль як...	Grinding Machine ...	Сергій Ткаченко	2026-07-11 10:00:00.000	2026-07-11 12:00:00.000	Planned	0
18	18	ORD-1002	Пакування та відванта...	CNC Lathe CTX-310	Марина Бондар	2026-07-12 08:00:00.000	2026-07-12 10:00:00.000	Planned	0
19	19	ORD-2001	Підготовка виробництва	CNC Lathe CTX-310	Марина Бондар	2026-07-13 08:00:00.000	2026-07-13 10:00:00.000	Completed	100
20	20	ORD-2001	Заготівельні роботи	Laser Cutter LC-50...	Іван Петренко	2026-07-13 10:00:00.000	2026-07-13 14:00:00.000	Completed	100
21	21	ORD-2001	Механічна обробка	CNC Milling DMU-...	Олена Коваль	2026-07-14 08:00:00.000	2026-07-14 16:00:00.000	Completed	100
22	22	ORD-2001	Термічна обробка	CNC Lathe CTX-310	Іван Петренко	2026-07-15 08:00:00.000	2026-07-15 12:00:00.000	Completed	100
23	23	ORD-2001	Контроль деталей	CNC Milling DMU-...	Сергій Ткаченко	2026-07-15 13:00:00.000	2026-07-15 15:00:00.000	In Progre...	70
24	24	ORD-2001	Складання виробу	Welding Station W...	Андрій Шевче...	2026-07-16 08:00:00.000	2026-07-16 14:00:00.000	Planned	0
25	25	ORD-2001	Випробування	Grinding Machine ...	Сергій Ткаченко	2026-07-17 08:00:00.000	2026-07-17 10:00:00.000	Planned	0

Рисунок 3.12 – Фрагмент таблиці планування виконання замовлень

Оператор може відобразити цей графік на консолі за допомогою меню (рис. 3.13).

```
--- ВИРОБНИЧИЙ ГРАФІК ---

ORD-1001 | Підготовка виробництва | CNC Lathe CTX-310 | Марина Бондар | Completed | 100%
ORD-1001 | Заготівельні роботи | Laser Cutter LC-5000 | Іван Петренко | Completed | 100%
ORD-1001 | Механічна обробка | CNC Milling DMU-50 | Олена Коваль | Completed | 100%
ORD-1001 | Термічна обробка | CNC Lathe CTX-310 | Іван Петренко | Completed | 100%
ORD-1001 | Контроль деталей | CNC Milling DMU-50 | Сергій Ткаченко | Completed | 100%
ORD-1001 | Складання виробу | Welding Station WS-01 | Андрій Шевченко | In Progress | 75%
ORD-1001 | Випробування | Grinding Machine GM-200 | Сергій Ткаченко | Planned | 0%
ORD-1001 | Фінальний контроль якості | Grinding Machine GM-200 | Сергій Ткаченко | Planned | 0%
ORD-1001 | Пакування та відвантаження | CNC Lathe CTX-310 | Марина Бондар | Planned | 0%
ORD-1002 | Підготовка виробництва | CNC Lathe CTX-310 | Марина Бондар | Completed | 100%
ORD-1002 | Заготівельні роботи | Laser Cutter LC-5000 | Іван Петренко | Completed | 100%
ORD-1002 | Механічна обробка | CNC Milling DMU-50 | Олена Коваль | In Progress | 50%
ORD-1002 | Термічна обробка | CNC Lathe CTX-310 | Іван Петренко | Planned | 0%
ORD-1002 | Контроль деталей | CNC Milling DMU-50 | Сергій Ткаченко | Planned | 0%
ORD-1002 | Складання виробу | Welding Station WS-01 | Андрій Шевченко | Planned | 0%
ORD-1002 | Випробування | Grinding Machine GM-200 | Сергій Ткаченко | Planned | 0%
ORD-1002 | Фінальний контроль якості | Grinding Machine GM-200 | Сергій Ткаченко | Planned | 0%
ORD-1002 | Пакування та відвантаження | CNC Lathe CTX-310 | Марина Бондар | Planned | 0%
ORD-2001 | Підготовка виробництва | CNC Lathe CTX-310 | Марина Бондар | Completed | 100%
ORD-2001 | Заготівельні роботи | Laser Cutter LC-5000 | Іван Петренко | Completed | 100%
ORD-2001 | Механічна обробка | CNC Milling DMU-50 | Олена Коваль | Completed | 100%
ORD-2001 | Термічна обробка | CNC Lathe CTX-310 | Іван Петренко | Completed | 100%
ORD-2001 | Контроль деталей | CNC Milling DMU-50 | Сергій Ткаченко | In Progress | 70%
ORD-2001 | Складання виробу | Welding Station WS-01 | Андрій Шевченко | Planned | 0%
ORD-2001 | Випробування | Grinding Machine GM-200 | Сергій Ткаченко | Planned | 0%
ORD-2001 | Фінальний контроль якості | Grinding Machine GM-200 | Сергій Ткаченко | Planned | 0%
ORD-2001 | Пакування та відвантаження | CNC Lathe CTX-310 | Марина Бондар | Planned | 0%
```

Рисунок 3.13 – Вигляд плану виробництва в консолі

Виробничий графік як спрощена діаграма Ганта.

Для побудови консольної діаграми Ганта додамо в проєкт функцію

```
std::wstring buildBar(int percent)
{
   const int width = 10;
   int filled = (percent * width) / 100;
   std::wstring bar;
   for (int i = 0; i < width; i++)
   {
      bar += (i < filled) ? L'#' : L'-';
   }
   return bar;
}
```

Додавання цієї функції в проєкт дозволило виводити план виробництва на консоль у вигляді діаграми Ганта (рис. 3.14)

```
--- ВИРОБНИЧИЙ ГРАФІК ---

ORD-1001 | Підготовка виробництва | [----------] 100% | Completed
ORD-1001 | Заготівельні роботи | [##########] 100% | Completed
ORD-1001 | Механічна обробка | [##########] 100% | Completed
ORD-1001 | Термічна обробка | [##########] 100% | Completed
ORD-1001 | Контроль деталей | [##########] 100% | Completed
ORD-1001 | Складання виробу | [##########] 75% | In Progress
ORD-1001 | Випробування | [#######---] 0% | Planned
ORD-1001 | Фінальний контроль якості | [----------] 0% | Planned
ORD-1001 | Пакування та відвантаження | [----------] 0% | Planned
ORD-1002 | Підготовка виробництва | [----------] 100% | Completed
ORD-1002 | Заготівельні роботи | [##########] 100% | Completed
ORD-1002 | Механічна обробка | [##########] 50% | In Progress
ORD-1002 | Термічна обробка | [#####-----] 0% | Planned
ORD-1002 | Контроль деталей | [----------] 0% | Planned
ORD-1002 | Складання виробу | [----------] 0% | Planned
ORD-1002 | Випробування | [----------] 0% | Planned
ORD-1002 | Фінальний контроль якості | [----------] 0% | Planned
ORD-1002 | Пакування та відвантаження | [----------] 0% | Planned
ORD-2001 | Підготовка виробництва | [----------] 100% | Completed
ORD-2001 | Заготівельні роботи | [##########] 100% | Completed
ORD-2001 | Механічна обробка | [##########] 100% | Completed
ORD-2001 | Термічна обробка | [##########] 100% | Completed
ORD-2001 | Контроль деталей | [##########] 70% | In Progress
ORD-2001 | Складання виробу | [#######---] 0% | Planned
ORD-2001 | Випробування | [----------] 0% | Planned
```

Рисунок 3.14 – Консольний вигляд виробничого плану як діаграма Ганта

Логіка планування полягає в наступному.

Програма автоматично:

– відбирає активні замовлення;

– сортує їх за: пріоритетом (важливіші – раніше), терміном виконання, складністю;

– оцінює складність замовлення;

– збільшує тривалість операцій для складніших замовлень;

– резервує обладнання, щоб уникнути накладання операцій у часі.

Тобто це інтелектуальне календарно-ресурсне планування, а не просто список.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних, реабілітаційних та інших заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності [29].

Коефіцієнт умов праці характеризує відповідність фактичних умов праці нормативним. Не всі матеріально-виробничі елементи умов праці визначаються кількісною оцінкою. Тому при розрахунку коефіцієнта умов праці необхідно брати ті з них, які можна виразити певною числовою величиною і для яких є нормативне значення. Такими елементами можуть бути освітленість, температура, вогкість, шум, вібрація тощо [30].

Коефіцієнт умов праці K визначається як середньо геометрична величина показників, які характеризують умови праці, за такою формулою

$$K = \sqrt[n]{a_1 a_2 \cdots a_n}, \quad (4.1)$$

де $a_1, a_2, \ldots, a_n$ – індекс відхилення фактичних елементів умов праці від нормативних за відповідними показниками;

n – кількість показників, які характеризують елементи умов праці, за якими проводилися виміри [29].

Охорона праці включає в себе такі аспекти як:

– законодавчі заходи;

– організаційно-технічні заходи;

– санітарно-гігієнічні заходи;

– лікувально-профілактичні заходи;

– навчання та інструктажі [30].

Охорона праці в інтелектуальному керуванні енергозабезпеченням включає в себе використання автоматизованих систем і програмного

забезпечення для оптимізації процесів на виробництві. Охорона праці в цьому контексті має особливе значення, оскільки пов'язана з безпекою роботи людей і обладнання.

Основними аспектами, які потрібно враховувати при роботі з даною системою, є:

– використання сенсорів та аварійних вимикачів в виробничих приміщеннях забезпечує безпеку під час роботи автоматизованої системи та знижує фізичні навантаження на працівників, підвищуючи загальний рівень безпеки;

– забезпечення працівників переносними пристроями та іншими інноваційними засобами, що дають змогу відстежувати фізичний стан у реальному часі. Це дозволить запобігти перевтоми та інших ризиків для здоров'я працівників, а також провести аналіз даних, за допомогою яких можливо вчасно виявляти потенційні проблеми;

– використання роботизованих підйомників, транспортних засобів, конвеєрних стрічок та інших автоматизованих рішень задля оптимізації процесів на виробництві, що дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників і підвищує ефективність роботи;

– використовування онлайн-платформ, інтерактивних інструментів, таких як віртуальна реальність, задля навчання працівників безпеки при роботі з новими технологіями, дозволяє зменшити ризики травмування працівників та отримання знань про безпечні практики та процедури в будь-який зручний час при навчанні;

– використовування інтелектуальних систем керування будівлями, що автоматично регулюють умови праці, такі як освітлення, температура та вентиляція, дозволяють забезпечити комфортні умови для працівників та запобігти небезпечним умовам праці;

– використання великих даних та аналітики задля аналізу інцидентів, трендів і впровадження нових технологій, що дає змогу прогнозувати можливі ризики та розробляти превентивні заходи для їх запобігання.

ВИСНОВКИ

Під час написання кваліфікаційної роботи на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки було проведено комплексний аналіз наукових, навчально-методичних розробок кафедри, а також інших джерел за темою роботи, розроблено теоретичну та виконано практичну частину, присвячену розробленню автоматизованої системи управління виробничим планом на основі бази даних замовлень.

Розвиток ощадливого виробництва вимагає прогнозування попиту на продукцію підприємства, який постійно змінюється. Pull-система для виробництва – це спосіб налаштувати промислового підприємства під індивідуальні замовлення. Завдяки аналізу замовлень кінцевих споживачів за достатньо тривалий період можливо ефективно організувати планування ощадливого виробництва.

В кваліфікаційній роботі розроблено алгоритми автоматизації планування виробництва на базі обраної методології виробничого планування, створено проєкт бази даних замовлень для реалізації автоматизованої системи.

Розроблено програмну підсистему для автоматичного планування виробництва, яка містить елементи штучного інтелекту. Розроблено керівництво користувача для розробленого програмного продукту.

Окремі питання кваліфікаційної роботи апробовані на Міжнародній науково–практичній конференції та опубліковані у вигляді тез [28].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 05 лютого 2025 р. № 44. – URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/2025/polozhennia_z_akademichnoi_dobrochesnosti.pdf (дата звернення: 09.04.2026).

2. Стандарт вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» для другого (магістерського) рівня вищої освіти, затверджений наказом МОН України No 1022 від 10.08.2020р. «Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології для другого (магістерського) рівня вищої освіти» Режим доступу: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/08/10/151-avtomatizatsiya-ta-kit-magistr.pdf

3. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Чинний від 2017 – 07 – 01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 26 с.

4. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш.Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2024. 57 с.

5. Невлюдов І. Ш. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в інтелектуальному виробництві : підручник / І. Ш. Невлюдов. - Кривий Ріг : Чернявський Д. О., 2024. – 388 с. : іл. Режим доступу на ресурсі бібліотеки ХНУРЕ https://openarchive.nure.ua/handle/document/27408

6. Kul’ga K. S. Automated management of manufacturing orders. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2016. Vol. 45, No. 9. P. 879–884. Springer. DOI: 10.3103/S1068798X16090112 (date of access: 08.04.2026).

7. Lucht T. Approaching automation of production planning and control. Leibniz University Hannover, 2021. URL: https://repo.uni-hannover.de/bitstream/123456789/11210/3/Lucht%202021%20-%20Approaching%20Automation%20of%20Production%20Planning%20and%20Control.pdf (date of access: 08.04.2026).

8. Волошин К. П. Інформаційна система планування механоскладального виробництва / Волошин Костянтин Петрович. – Київ, 2018. – 116 с. https://ela.kpi.ua/items/400828b0-fddf-4e46-8e17-10da2f833c12 (date of access: 08.04.2026).

9. Полішко Т. В., Шульга А. В., Лотиш Р. Б. Методологічні підходи щодо управління виробничими запасами. Сучасні технології та перспективи розвитку виробництва. 2010. URL: https://stp.ust.edu.ua/article/download/8881/7693/13283 (дата звернення: 09.04.2026).

10. Кавецький В. В. Сучасні системи управління плануванням та організації виробництва. Економічні науки: збірник. 2021. Вип. 12. С. 96–104. URL: https://www.economy.nayka.com.ua/pdf/12_2021/96.pdf (дата звернення: 09.04.2026).

11. FrePPLe 2.2. Technical guide. 2016. URL: https://frepple.com/docs/2.2/technical-guide/index.html (date of access: 08.10.2025).

12. SIEMENS. Preactor advanced planning and scheduling. URL: https://www.siemens.com/en-us/technology/preactor-aps (дата звернення: 09.05.2026).

13. Оперативне планування виробництвом APS. URL: https://www.it.ua/products/manufacturing/advanced-planning-and-scheduling-aps (дата звернення: 09.05.2026).

14. CBT SCM Advanced Planning and Scheduling. URL: https://www.cbt.ua/product/cbt-advanced-planning-and-scheduling/ (дата звернення: 09.05.2026).

15. BAS ERP. URL: https://wecode.ua/product/bas-erp/(дата звернення: 09.05.2026).

16. Пуховський Є. С. Проєктування автоматизованої системи управління гнучким виробництвом. Технічна інженерія. 2022. № 1(89). С. 38–44. DOI: 10.26642/ten-2022-1(89)-38-44 (дата звернення: 09.04.2026).

17. Дьомін Д. О., Пензєв П. С. Автоматизовані системи управління: навч. посібник. Харків : ТОВ «Технологічний центр груп», 2024. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua (дата звернення: 09.04.2026).

18. Іванина Д. О. Веб система управління замовленнями для підприємства з виробництва металу. Київ : НУБіП України, 2025. URL: https://dglib.nubip.edu.ua/items/3db453b1-d508-4894-b98b-ac0b71396540 (дата звернення: 09.04.2026).

19. Пеняк Ю. С., Калиниченко О. А. Моделі та методи управління виробничими запасами на підприємстві. Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління. 2024. Вип. 15. URL: https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-15-09-01 (дата звернення: 09.04.2026).

20. Волошин К. П. Інформаційна система планування механоскладального виробництва (магістерська дисертація). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. URL: https://ela.kpi.ua/items/400828b0-fddf-4e46-8e17-10da2f833c12 (дата звернення: 09.04.2026).

21. Іванина Д. О. Веб система управління замовленнями для підприємства з виробництва металу (бакалаврська робота). Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2025. URL: https://dglib.nubip.edu.ua/items/3db453b1-d508-4894-b98b-ac0b71396540 (дата звернення: 09.04.2026).

22. Zhuchenko A. I., Osipa L. V., Chieropkin E. S. Design database for an automated control system of typical wastewater treatment processes. International

Journal of Engineering and Manufacturing. 2017. Vol. 7, No. 4. P. 36–50. DOI: 10.5815/ijem.2017.04.04 (date of access: 08.04.2026).

23. Liu L., Yang Q., Zhu Z. Research and development of manufacturing management system. Academic Journal of Science and Technology. 2023.Vol. 5, No. 1. P. 282–291.URL:https://www.researchgate.net/publication/370220529_Research_and_Development_of_Manufacturing_Management_System (date of access: 08.04.2026).

24. Missbauer H. Order release in production planning and control systems. International Journal of Production Research. 2022. Vol. 60, No. 2. P. 482–499. DOI: 10.1080/00207543.2021.1994165 (date of access: 08.04.2026).

25. Freitas N., Oliveira P. Data management in industry: concepts, systematic review, and future trends. Journal of Intelligent Manufacturing. 2025. Vol. 36, No. 4. P. 1458–1472. DOI: 10.1007/s10845-025-02570-z (date of access: 08.04.2026).

26. Holopainen M., Virtanen J. Enhancing the order-to-delivery process with real-time performance measurement based on digital visualization. Production Planning & Control. 2023. Vol. 34, No. 12. P. 1172–1185. DOI: 10.1080/21693277.2023.2217237 (date of access: 08.04.2026).

27. Гнучкі комп‘ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: Підручник [Текст] / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко.- Житомир: ЖДТУ, 2005.- 680 с.: 362 іл.

28. Сезонова І.К., Приліпко А.В., Євтушенко В.І. Інтеграція автоматизованих систем керування виробництвом з системами цивільної безпеки. Modern Science, Economy and Digital Innovation: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. Bucharest, Romania. June 10-12, 2026. 79-81. URL: https://isu-conference.com/en/archive/modern-science-economy-and-digital-innovation-10-06-26/

29. Про охорону праці. Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII [Електроний ресурс]/ – Режим доступу: www / URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#.

30. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету / ХНУРЕ [Електронний ресурс] / – Режим доступу: www / URL: https://catalogue.nure.ua/document=218933.