



# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет	<u>Автоматики і комп'ютеризованих технологій</u>
Кафедра	<u>Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки</u>
Рівень вищої освіти	<u>другий (магістерський)</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Тип програми	<u>освітньо-професійна</u>
Освітня програма	<u>Комп'ютеризовані та робототехнічні системи</u> (код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Івченкову Богдану Анатолійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи для аналізу та оптимізації робочого часу інженерії роботів

Затверджена наказом по університету від 8 листопада 2021 р. № 1698 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 28.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Розроблений метод оптимізації управління процесом виробництва, концептуальна модель даних для зберігання отриманої від аналітичної підсистеми інформації, аналітична підсистема, програма мовою C#.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1. Вступ

4.2. Аналіз предметної області

4.3. Розробка методу оптимізації управління процесом виробництва

4.4. Моделювання процесу оптимізації завантаження робочих місць на підприємстві з виробництва роботів

4.5. Програмна реалізація розробленого методу

4.6. Експериментальні дослідження

4.7. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – 14с. формату А4.

---

---

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	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	04.10.2021 р.	Вик.
2	Аналіз предметної області	07.10.2021 р.	Вик.
3	Розробка теоретичного методу оптимізації роботи підприємства	02.11.2021 р.	Вик.
4	Моделювання процесу оптимізації	15.11.2021 р.	Вик.
5	Програмна реалізація розробленого методу	27.11.2021р.	Вик.
6	Оформлення пояснювальної записки	03.12.2021 р.	Вик.
7	Подання роботи до ЕК	14.12.2021р.	Вик.

Дата видачі завдання 04.09.2021 р.

Студент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Івченков Б. А.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Проф. Цимбал О. М.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 35 рис., 18 джерел за переліком посилань.

### ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ВИРОБНИЦТВО РОБОТОТЕХНІКИ

Об'єкт дослідження – виробничі процеси у сфері інженерії роботів.

Предмет дослідження – автоматизоване виробництво засобів робототехніки.

Мета магістерської роботи – вдосконалення методу оптимізації робочого часу у сфері виробництва засобів роботехніки та розробка програмного засобу для оцінки ефективності технологічного процесу на виробництві.

В магістерській роботі було проведено аналіз особливостей контролю якості продукції на автоматизованих виробництвах, а також сучасних методів планування на виробничому підприємстві.

Крім того, у роботі наведені підходи до оптимізації управління промисловим підприємством.

Практична значимість роботи відобразилася у розробці методів оптимізації управління процесом виробництва, а також програмного засобу для оптимізації завантаження робочих місць на підприємстві з виробництва роботів.

## **ABSTRACT**

Explanatory note: 73 pp., 35 fig., 14 sources in the list of references.

### **OPTIMIZATION OF INDUSTRIAL ENTERPRISE MANAGEMENT, EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESS, PRODUCTION OF ROBOTICS**

The object of research is production processes in the field of robot engineering.

The subject of research is automated production of robotics.

The purpose of the master's thesis is to improve the method of optimizing working time in the field of production of robotics and the development of software to assess the effectiveness of the technological process in production.

In the master's thesis there is an analysis of features of quality control of production at automated manufactures, also, modern methods of planning at the industrial enterprise was carried out. In addition, the paper presents approaches to optimizing the management of an industrial enterprise.

The practical significance of the work was reflected in the development of methods for optimizing the management of the production process, as well as software to optimize the load of jobs at the enterprise for the production of robots.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів .....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз предметної області .....	11
1.1 Аналіз особливостей контролю якості продукції на автоматизованих виробництвах.....	11
1.2 Аналіз сучасних методів планування на виробничому підприємстві ...	16
1.3 Сучасні підходи до рішення завдань оптимального управління промисловим підприємством .....	25
1.4 Висновки за першим розділом.....	34
2 Розробка методу оптимізації управління процесом виробництва.....	35
2.1 Постановка задачі оптимізації виробничих процесів.....	35
2.2 Розробка алгоритму оптимізації завантаження обладнання .....	37
2.3 Висновки за другим розділом .....	46
3 Моделювання процесу оптимізації завантаження робочих місць на підприємстві з виробництва робітів .....	47
3.1 Розробка концептуальної моделі .....	47
3.2 Модернізація розробленої структури бази даних.....	52
3.3 Висновки по третьому розділу роботи.....	54
4 Програмна реалізація розробленого методу .....	55
4.1 Розробка програмного засобу для оптимізації завантаження робочих місць на підприємстві з виробництва робітів .....	55
4.2 Висновки по четвертому розділу роботи .....	65
5 Експериментальні дослідження.....	67

5.1 Планування експерименту .....	67
5.2 Проведення експерименту .....	67
5.3 Забезпечення техніки безпеки при роботі над науково-дослідними проектами .....	73
5.4 Висновки по п'ятому розділу роботи.....	77
Висновки.....	78
Перелік джерел посилань .....	81
Додаток А Текст програми .....	83
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	98

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БД – база даних;

ГАВ – гнучке автоматизоване виробництво;

РМ – робоче місце;

ПК – персональний комп'ютер;

CRM – Система управління взаємовідносинами з клієнтами;

HR – Human resources, або людські ресурси;

KPI – ключові показники ефективності;

MES – Manufacturing Execution Systems;

OEE – Overall Equipment Effectiveness;

POT – Plant Operating Time;

PSD – Planned Shut Down;

PPT – Planned Production Time.

## ВСТУП

Специфіка роботизованих виробництв полягає в тому, що помилки і збої в технологічних процесах відбуваються не з вини оператора. Контроль якості роботи устаткування в цьому випадку може здійснюватися шляхом зіставлення з модельною виробничою системою (тобто системою віртуального виробництва).

Імітуючи процеси реальної системи, ми можемо визначити причини помилок. Крім того, імітаційні моделі дозволяють протестувати нові концепції виробництва і погоджувати один з одним усі підсистеми на етапі проектування виробництва. Можна також віртуально оптимізувати і модернізувати існуючі складні виробництва, наприклад, щоб перевірити перехід до нового продукту. Такі системи дозволяють оптимізувати процес обслуговування устаткування, враховуючи стан і особливості реальної системи.

Оскільки процеси у великих системах характеризуються значним числом стохастичних параметрів, необхідно вирішувати питання про адекватність початкової інформації, а також про методи її обліку і аналізу. В цьому випадку найбільш ефективним на сьогодні являється застосування система підтримки і прийняття рішень.

Таким чином, актуальністю досліджень є необхідність вдосконалення виробничих систем і підвищення ефективності функціонування промислових об'єктів з метою досягнення високих кінцевих результатів діяльності на основі раціонального використання виробничих ресурсів [13].

Об'єктом дослідження є – виробничі процеси у сфері інженерії роботів.

Предмет дослідження – автоматизоване виробництво засобів робототехніки.

Мета кваліфікаційної роботи – вдосконалення методу оптимізації робочого часу у сфері виробництво засобів роботехніки та розробка програмного засобу для оцінки ефективності технологічного процесу на виробництві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити особливості контролю якості продукції на автоматизованих виробництвах;
- проаналізувати сучасні методи планування на виробничому підприємстві;
- обрати підходи до рішення завдань оптимального управління промисловим підприємством;
- розробити метод оптимізації управління процесом виробництва;
- розробити програму для оцінки ефективності технологічного процесу на виробництві;
- оформити магістерську кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015, а також з методичними вказівками з розробки й оформлення магістерської кваліфікаційної роботи другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1 Аналіз особливостей контролю якості продукції на автоматизованих виробництвах

Для кількісної оцінки ефективності технологічного процесу на виробництві використовують показник загальної ефективності устаткування (англ. Overall Equipment Effectiveness - OEE) [4, 5]. Це поширена система аналізу загальної ефективності роботи устаткування, призначена для контролю і підвищення ефективності виробництва і заснована на вимірі і обробці конкретних виробничих показників. Інструментарій OEE широко використовується як ключові показники ефективності (КРІ), що у поєднанні з технологіями бережливого виробництва дозволяє підприємству швидше добитися успіху. Хоча метод OEE-аналізу застосовується вже давно, проте численні дослідження в цій області присвячені оцінці адекватності застосування стандартної його модифікації.

OEE окремої одиниці виробничого устаткування при багатопродуктовому випуску визначається по формулі:

$$OEE = K_{\text{ч}} \times K_{\text{пр}} \times K_{\text{як}} = \frac{\Phi_{\text{ч}} - \text{Пр}}{\Phi_{\text{ч}}} \times \frac{\sum_i [T_i \times B_i]}{\Phi_{\text{ч}} - \text{Пр}} \times \frac{\sum_i [T_i \times (B_i - B_i)]}{\sum_i [T_i \times B_i]}, \quad (1.1)$$

де:  $K_{\text{ч}}$  – коефіцієнт часу (готовності, доступності);

$K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт продуктивності;

$K_{\text{як}}$  – коефіцієнт якості;

$\Phi_{\text{ч}}$  – фонд часу роботи устаткування (тривалість зміни, іноді приймають 24 години в добу);

Пр – простої, у тому числі і планові (обіди, регламентовані перерви, планово-запобіжні ремонти, наладка і так далі);

$i$  – кількість продуктів, вироблених на цій одиниці устаткування;

$T_i$  – такт випуску  $i$ -го продукту;

$V_i$  – усього виготовлено  $i$ -го продукту впродовж  $\Phi\text{ч}$ ;

$B_i$  – кількість браку  $i$ -го продукту, виготовленого впродовж  $\Phi\text{ч}$ ;

$(\Phi\text{ч} - \text{Пр})$  – час, наявний для випуску продукції на цій одиниці устаткування;

$\Sigma_i [T_i \times V_i]$  – час, витрачений на виробництво продукції;

$\Sigma_i [T_i \times (V_i - B_i)]$  – час, витрачений на виробництво придатної продукції.

Цей показник максимально повно показує стан устаткування і дає уявлення не лише про темп випуску продукції, але і про втрати викликаними неполадками в роботі устаткування або низьким рівнем якості продукції, оскільки чинники ОЕЕ включають три критерії ефективності: доступність (Availability, A), продуктивність (Performance, P), якість (Quality, Q).

Різниця між загальним часом роботи підприємства (Plant Operating Time, POT) і часом планових зупинок (Planned Shut Down, PSD) – планований виробничий час (Planned Production Time, PPT) :  $PPT = POT - PSD$ .

За допомогою ОЕЕ аналізуються втрати часу з метою їх зменшення або усунення. При цьому враховують три основні категорії втрат: втрати на зупинки (Down Time Loss, DTL), втрати в швидкості (Speed Loss, SL) і втрати в якості (Quality Loss, QL). За допомогою критерію доступності аналізується втрати на зупинки (DTL), що включають будь-які позапланові зупинки, у тому числі, внаслідок поломок і відмов устаткування, через дефіцит сировини або відсутності місця для складування. Час переходів також входить в ОЕЕ –аналіз, оскільки воно є однією з форм простоїв, які неможливо усунути, але, у більшості випадків, можна скоротити. Для обліку втрат в швидкості (SL) застосовують критерій продуктивності. При цьому враховують усі чинники, що викликають зниження робочої швидкості устаткування в порівнянні з максимально можливою, такі як знос машин, використання неякісних матеріалів, неправильне подання, неефективні дії оператора.

Критерій якості враховує втрати в якості (QL), які включають виробництво невідповідної стандартам продукції. При цьому робочий час, що залишився після обліку втрат в якості, називається чистим продуктивним часом.

У разі роботизованих виробництв ефективність роботи устаткування значною мірою залежить від якості його обслуговування, яке впливає на показники доступності, продуктивності і якості кінцевого продукту. Як правило, для забезпечення ефективності використання устаткування розробляють систему підтримки його працездатності (обслуговування і ремонту). Періодичність обслуговування визначається залежно від характеристик самого устаткування і призначається виробником. Для виключення раптових відмов існують методи прогнозування і підвищення надійності.

Оскільки існують різні категорії втрат, то для контролю стану устаткування необхідно передбачити методи їх контролю. Коригування системи обслуговування устаткування повинне виконуватися відповідно до критеріїв ефективності його роботи. При цьому метод комплексної багатовимірної оцінки показників ефективності дозволить підвищити ефективність управління виробничою системою, підвищити її стійкість, понизити позапланові простої.

Специфіка роботизованих виробництв полягає в тому, що помилки і збої в технологічних процесах відбуваються не з вини оператора. Контроль якості роботи устаткування в цьому випадку може здійснюватися шляхом зіставлення з модельною виробничою системою (тобто системою віртуального виробництва). Імітуючи процеси реальної системи, ми можемо визначити причини помилок. Крім того, імітаційні моделі дозволяють протестувати нові концепції виробництва і погоджувати один з одним усі підсистеми на етапі проектування виробництва. Можна також віртуально оптимізувати і модернізувати існуючі складні виробництва, наприклад, щоб перевірити перехід до нового продукту. Такі системи дозволяють оптимізувати процес обслуговування устаткування, враховуючи стан і особливості реальної системи.

Оскільки процеси у великих системах характеризуються значним числом стохастичних параметрів, необхідно вирішувати питання про адекватність початкової інформації, а також про методи її обліку і аналізу. В цьому випадку найбільш ефективним на сьогодні являється застосування системи підтримки рішень (СППР) [6] (Рисунок 1.1).

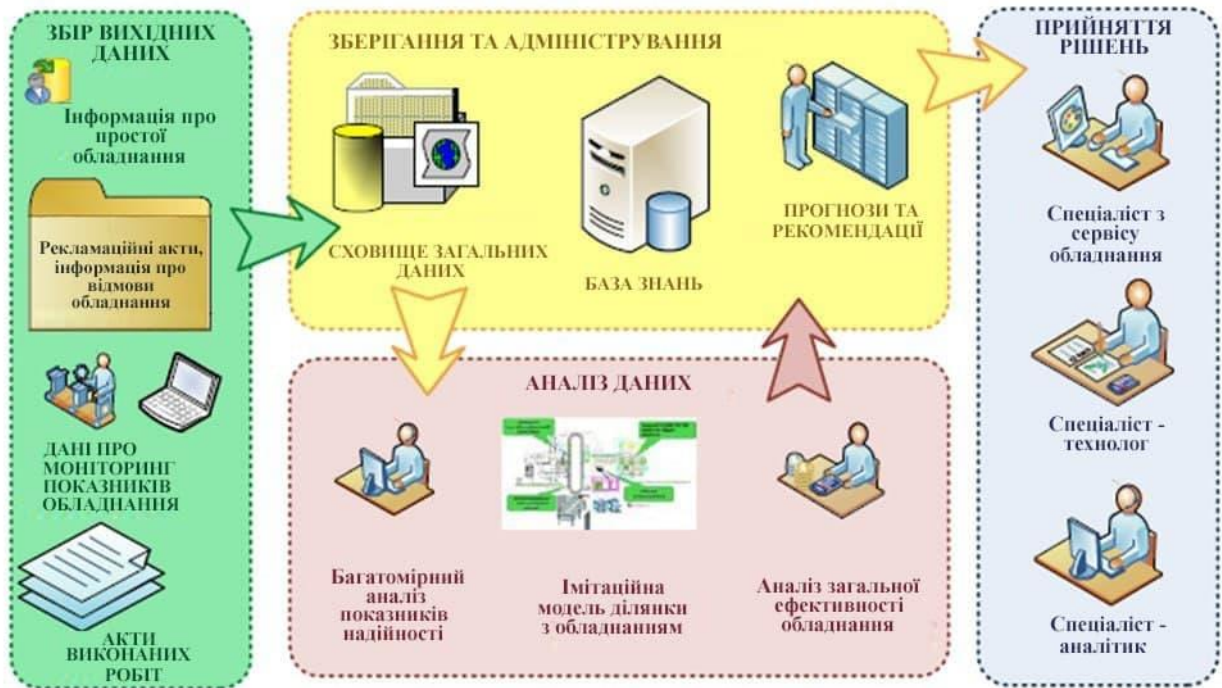


Рисунок 1.1 – Концептуальна схема СППР

При цьому необхідно враховувати, що гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ) функціонує на основі безлюдної технології, тому робота усіх виробничих компонентів координується як єдина ціла багаторівнева система управління.

Для забезпечення ефективності виробництва, процеси мають бути скоординовані і синхронізовані один з одним. Саме для цих цілей створюються системи управління виробничими процесами (Manufacturing Execution Systems, MES). Зв'язок з MES дозволяє виконувати збір актуальних виробничих даних і повертати їх в PDM-систему.

Як правило, для збору інформації про роботу виробничого устаткування застосовують модулі моніторингу технологічних процесів, які включають пакет збору, оцінки і візуалізацію даних, що відносяться до конкретного верстата [7].

Імітаційна модель використовується як інтелектуальне ядро СППР. Для побудови імітаційної моделі використовувалося середовище моделювання Plant Simulation, в якій передбачена можливість застосування візуального проектування. Перевагою побудови моделі в Plant Simulation є можливість використання стандартної або розширеної бібліотеки об'єктів, кожен з яких вже має вбудовану логіку, набір параметрів і діалоговий інтерфейс, що дозволяє для деяких типів систем максимально спростити процес побудови моделей, виключивши необхідність якого-небудь програмування. Plant Simulation дає можливість проектувальникові створити призначений для користувача обробник на вбудованій мові програмування SimTalk, який реалізує складнішу логіку поведінки для кожного нестандартного об'єкту і події в моделі (початок операції, кінець операції, підхід до датчика на конвеєрі та ін.) [8].

Приклад реалізації запропонованої методики в процесі розробки СППР для автоматизованого підприємства показано на рисунку 1.2.

Для оптимізації виробничих процесів розробляється різна документація, яка потім інтегрується для спільного використання у виробничій системі.

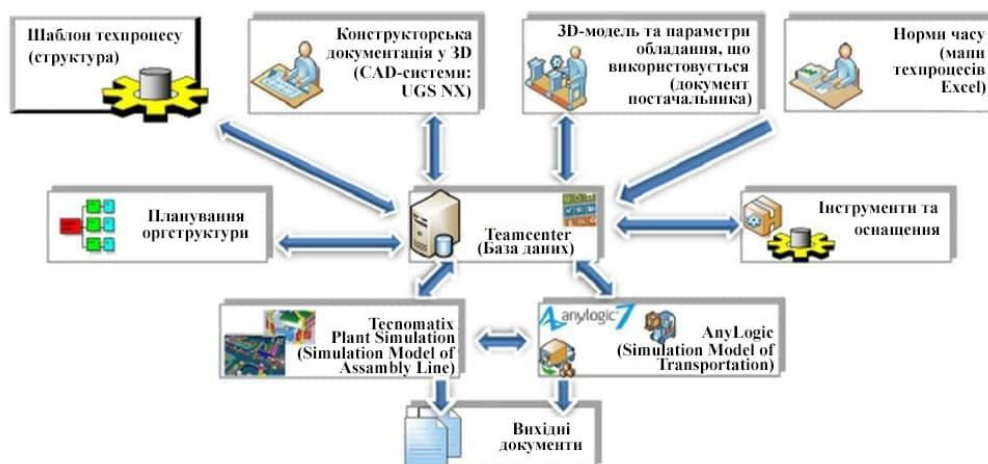


Рисунок 1.2 – Схема взаємодії модулів

Оскільки моделювання процесів виконується паралельно, але самі процеси пов'язані, то передбачений обмін інформацією для оперативного їх коригування. Наприклад, оптимізація роботи конвеєра з метою скорочення затримок виконується по двох напрямках:

- вирівнювання операцій на позиціях конвеєра;
- оперативне управління постачаннями комплектуючих на позиції.

Оптимізація роботи технологічного транспорту полягає в забезпеченні необхідними комплектуючими позиції конвеєра при мінімальних витратах (кількості навантажувачів і часу роботи).

## 1.2 Аналіз сучасних методів планування на виробничому підприємстві

Підприємство як система складається з керованої і керуючої підсистем, з'єднаних між собою каналами передачі інформації (рис. 1.3). Як керовану підсистему підприємство можна розглядати, як сукупність виробничих процесів, реалізація яких забезпечує виготовлення продукції або надання послуг. Ця обставина вимагає поділу керованої системи на підсистеми відповідно до характеру процесів, що протікають на підприємстві [3]:

- підготовки виробництва і освоєння нової продукції;
- виробничих процесів;
- виробничої інфраструктури;
- забезпечення якості продукції;
- матеріально-технічного постачання;
- збуту і реалізації продукції.

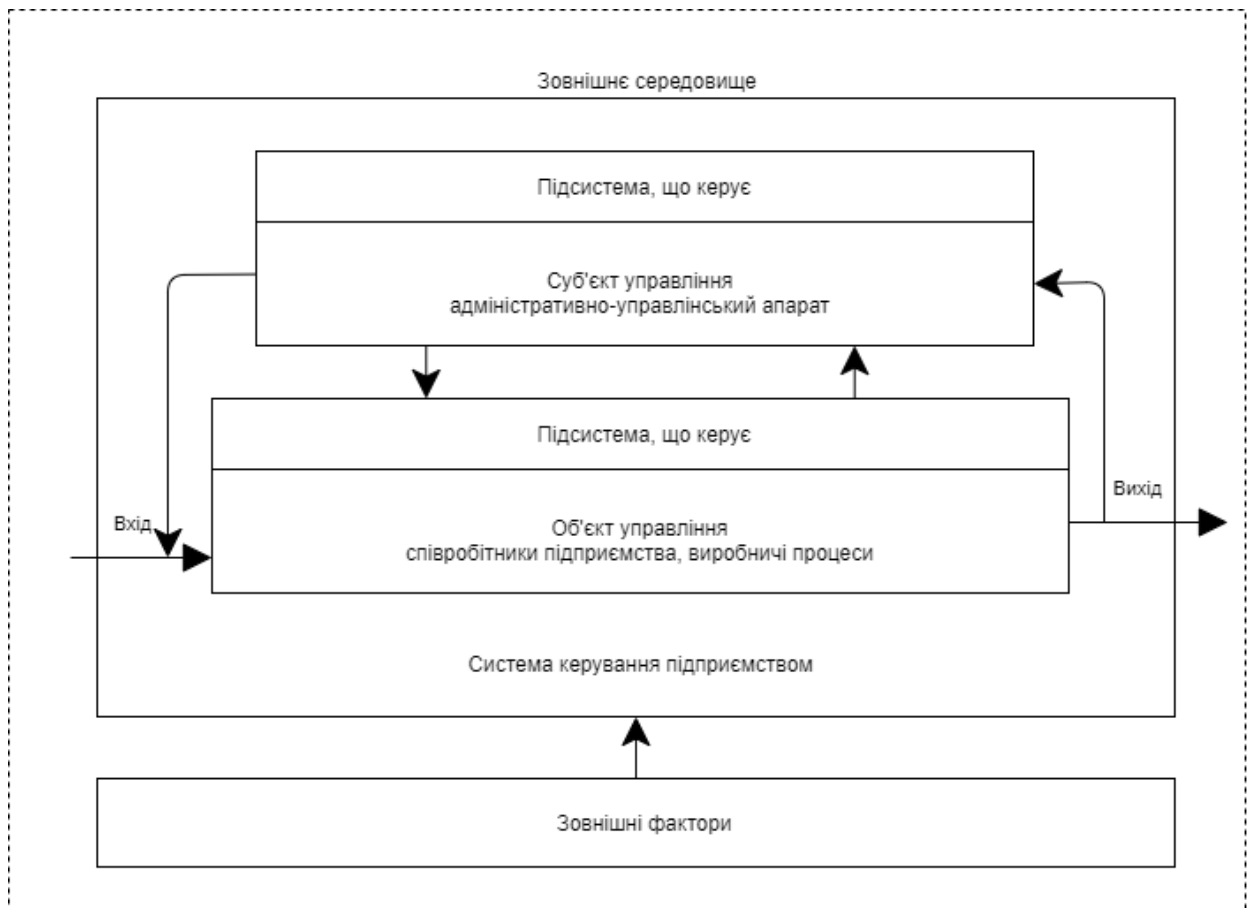


Рисунок 1.3 – Схема керування підприємством

Керуюча підсистема являє собою сукупність взаємопов'язаних методів управління, що реалізуються людьми за допомогою технічних засобів, що забезпечують ефективне функціонування виробництва.

Функцію управління (менеджменту) можна розбити на п'ять основних складових: планування, організація, мотивація, контроль, облік, реалізація яких здійснюється циклічно.

Підприємство має ряд рис, які характеризують його як систему. До них відносяться відкритий характер підприємства по відношенню до зовнішнього середовища, його комплексність, динамізм, саморегулювання [9].

Підприємство необхідно розглядати як відкриту систему, яка тісно взаємодіє із зовнішнім середовищем. Для підприємства зовнішнім середовищем є: економіка країни і світу в цілому, інші підприємства і організації, органи управління, зарубіжні фірми, учбові заклади, споживачі продукції і послуг,

постачальники сировини, матеріалів і так далі – усі ті частини зовнішнього для підприємства світу, які з ним взаємодіють і пов'язані з ним договірними стосунками або обміном ресурсами, продукцією і інформацією.

Підприємству як системі властива і комплексність, яка визначається складністю його цілей і завдань, а також високе розмаїття процесів виробництва і управління, що відбуваються на підприємстві. Підприємство являє собою динамічну систему, що володіє здатністю змінюватися, розвиватися, переходити з одного якісного стану в інший з метою досягнення певних цілей, залишаючись системою.

Нарешті, підприємство – це саморегульована система, яка може пристосуватися, в певних межах, як до внутрішніх, так і до зовнішніх дій і обумовлень. Підприємство як система має властивість цілісності. Іншими словами, підприємство в цілому – це щось більше, ніж сума її складників. Щоб усі елементи і підсистеми виробничої системи воз'єдналися в єдине ціле, в комплексну систему, її необхідно організувати, тобто спроектувати, побудувати і забезпечити функціонування інтегрованої системи підприємства [9].

Об'єктом управління є соціально-економічна система. Вона створюється з сукупності елементів: людей, устаткування, матеріальних, фінансових і інформаційних ресурсів та ін. Суб'єктом управління підприємством виступає адміністративно-управлінський персонал, який за допомогою взаємозв'язаних методів управління забезпечує ефективну діяльність підприємства.

Об'єктом управління на підприємстві є також його діяльність, під якою розуміється виконання функцій підприємства: господарською, соціальною, економічною. Предметом управління виступають ресурси підприємства і склад продукції, що випускається. Управління ресурсами передбачає встановлення рівнів витрати, напрями і терміни використання на виробництво того або іншого кінцевого продукту, режим споживання і так далі. При цьому повинне забезпечуватися оптимальне значення вибраної цільової функції (наприклад, максимум об'єму продажів, прибули, мінімум витрат і так далі).

Центральним пунктом теорії управління є процес ухвалення рішень. Наука управління спрямована на підвищення ефективності організації шляхом збільшення здатності керівників до ухвалення обґрунтованих об'єктивних рішень в ситуаціях великої складності за допомогою математичних моделей і кількісних методів. Моделі в цьому випадку виступають як засоби для досягнення ефективного управління шляхом обліку максимально можливої кількості чинників, що роблять вплив на об'єкт управління.

Таким чином, промислове підприємство, як об'єкт управління, має властивості відкритості по відношенню до зовнішнього середовища, комплексності, динамізму, саморегулювання. Це характеризує підприємство як відкриту складну систему.

Зупинимо увагу на проблемі оптимального планування як основного складового системи управління промисловим підприємством.

Планування діяльності підприємства полягає в обробці інформації по обґрунтуванню майбутніх дій і визначенню найкращих способів досягнення намічених підприємством цілей [7-9].

Спланувати діяльність підприємства – означає визначити основні напрями і пропорції розвитку виробництва з урахуванням наявних матеріальних, трудових, потужностних і інформаційних ресурсів на основі як найповнішого виявлення потрібних ринком видів товарів, обсягів їх виробництва і термінів продажів.

Існує два підходи до розуміння суті планування: широкий і вузький. У широкому розумінні планування полягає в прийнятті комплексу рішень (управлінь), що відносяться до майбутніх подій. Такі рішення можуть бути пов'язані з постановкою цілей і завдань розвитку підприємства, виробленням стратегії, розподілом і перерозподілом ресурсів, визначенням стандартів поведінки підприємства в майбутньому періоді.

У вузькому розумінні планування зводиться до складання спеціальних документів – планів, що визначають конкретні дії підприємства із здійснення

прийнятих рішень. Ці два підходи є двома сторонами технології планування - вироблення майбутніх управлінь і розробка конкретних планів по їх реалізації.

За допомогою планування забезпечується необхідна рівновага між виробництвом і споживанням продукції, рівнем ринкового попиту на товари і об'ємом їх пропозиції підприємством на макроекономічному рівні.

На рівні підприємства планування покликане забезпечити випуск високоякісної продукції в необхідних кількостях і номенклатурі на основі ефективного і раціонального використання ресурсів, а також взаємозв'язку діяльності окремих структурних підрозділів.

Головною метою планування є забезпечення ефективного функціонування і розвитку підприємства. Реалізація цієї мети припускає рішення наступних завдань :

- передбачення вірогідних ринкових тенденцій і коригування виробничої програми підприємства, що відповідає їм;
- дослідження вимог споживачів і формування програми, орієнтованої на їх запити;
- забезпечення випуску продукції більш високої якості;
- безперервне підвищення ефективності виробництва на основі подальшої спеціалізації і кооперації;
- виявлення і мобілізація внутрішніх ресурсів виробництва;
- застосування найбільш економічних технологій і устаткування;
- узгодження дій з постачальниками, споживачами, посередниками підприємства і спрямованість цих дій на досягнення взаємовигідних результатів.

Планування діяльності підприємства повинне здійснюватися згідно з наступними принципами:

- конкретності і вимірності планів, тимчасовій орієнтації, гнучкості, безперервності;
- комплексності, несуперечності і обов'язковості виконання.

Використання планування, передових методів розробки і контролю виконання плану – основний шлях розвитку сучасного виробничого менеджменту. Таким чином, план – цей цільовий опис послідовно пов'язаних дій і подій, в якому від початкового етапу і до кінця планового періоду характеризується обов'язковий якісний і кількісний стан планованого об'єкту. Цілі і завдання плану на усіх етапах його виконання ув'язуються з ресурсами, необхідними для отримання заданого результату. За допомогою зворотного зв'язку (ведення обліку і звітності, інформаційні сигнали і потоки в ієрархії управління від низу до верху) ведеться контроль виконання плану, а при необхідності в нього вносяться корективи.

Технологія планування включає:

- визначення і обґрунтування основної мети і витікаючих з неї завдань підприємства (стадія перед планових розробок);
- оформлення поставленого завдання, встановлення конкретних показників і завдань для виконавців;
- деталізацію завдання по видах і об'ємах робіт, конкретних виконавцях, у тому числі по робочих місцях і термінах виконання;
- детальні розрахунки витрат і отримуваних результатів по етапах і на увесь період планування;
- організацію і контроль виконання плану (актуалізація).

Для розробки плану фахівцям з планування потрібно відповідну інформацію.

Окрім прогнозних і маркетингових даних, тобто в основному зовнішній інформації, в органи планування поступає великий об'єм внутрішньої інформації [9]:

- наявність і структура виробничих потужностей, потенційні можливості переналадки устаткування на випуск нових виробів;
- кадри, їх чисельність і професійний склад;
- фінанси (у тому числі власні і позикові засоби);

- наявність і потреба в обігових коштах (включаючи запаси);
- міра готовності і структура нових науково-технічних розробок та ін.

У результаті, для здійснення ефективного планування діяльності промислового підприємства необхідно оптимальним чином співвідносити вимоги зовнішньою і внутрішньою по відношенню до об'єкту управління – підприємства – середовища. Це обумовлює необхідність застосування системного підходу до рішення поставленої задачі.

Складання плану діяльності підприємства розпочинається з підготовки проекту окремих його частин :

- плану виробництва і збуту продукції;
- плану матеріально-технічного постачання;
- плану по персоналу;
- інвестиційного плану;
- фінансового плану.

План виробництва і реалізації (збуту) продукції є основою, на якій розробляються усі інші частини загального плану підприємства і його підрозділів. Це найвідповідальніший і трудомісткий розділ плану діяльності підприємства. Перш ніж приступити конкретно до розробки цього розділу, потрібно чітко з'ясувати - яку продукцію слід виготовляти і скільки, хто і за якою ціною її купуватиме.

На рисунку 1.4 показано принцип виконання задачі планування на виробничому підприємстві.

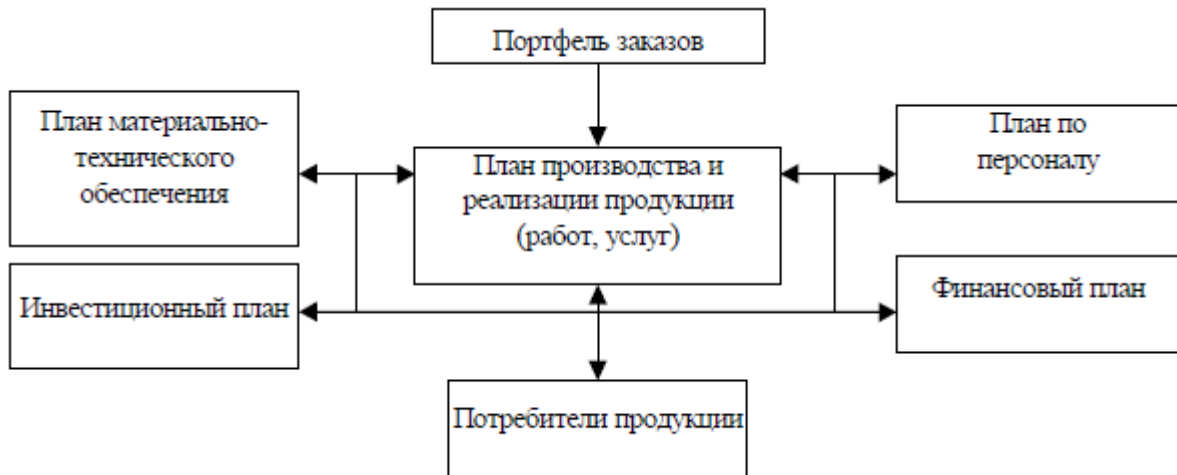


Рисунок 1.4 – Принцип виконання задачі планування на виробничому підприємстві

Таким чином, ключовим для розвитку промислового підприємства являється формування обґрунтованого і оптимального по досягненню цілей підприємства плану виробництва і реалізації (збуту) продукції. У нім знаходять відображення різноманітна внутрішня і зовнішня по відношенню до об'єкту управління (підприємству) інформація.

На основі даних прогнозу і маркетингових досліджень функціональні відділи підприємства (інженерні, економічні, кадрові) приступають до розробки окремих по їх призначенню частин плану підприємства. Тривалість періоду, на який розробляються довгострокові плани, для різних підприємств не однакова. Вона визначається:

- життєвим циклом виробу;
- масштабом виробництва на підприємстві;
- динамікою кон'юнктури ринку, на якому діє підприємство;
- державною політикою, у тому числі наявністю державних програм у сфері діяльності підприємства;
- іншими чинниками зовнішнього і внутрішнього середовища.

Залежно від змісту, цілей і завдань можна виділити наступні форми планування залежно від тривалості планового періоду [36]:

- довгострокове (перспективне);
- середньострокове;
- поточне планування.

Форми планування залежно від змісту планових рішень наступні:

- стратегічне;
- тактичне;
- оперативно-календарне.

Суть стратегічного планування полягає в розробці і ухваленні перспективних рішень (у формі прогнозів, проектів програм і планів), реалізація яких забезпечить ефективність функціонування підприємства в довгостроковій перспективі, його швидку адаптацію до умов зовнішнього середовища, що змінюються. В процесі стратегічного планування приймаються рішення про те, як розширити свій бізнес, які зусилля слід робити для задоволення ринкового попиту, на яких ринках краще діяти, яку продукцію випускати і так далі

Тактичне планування [9] припускає складання середньострокових планів, в яких конкретизуються стратегія розвитку підприємства, методи і форми її реалізації. Результатом тактичного планування є план економічного і соціального розвитку підприємства, що є комплексною програмою виробничої, господарської і соціальної діяльності підприємства на відповідний період.

Оперативно-календарне планування включає складання короткострокових планів, в яких міститься детальна розробка інструментів дії на виробничий процес. На етапі оперативного планування встановлюються поточні виробничі завдання окремим цехам, ділянкам і робочим місцям, здійснюються різноманітні організаційно-управлінські дії для коригування процесу виробництва та ін.

Система довгострокового планування припускає оцінку майбутніх періодів шляхом екстраполяції тенденцій росту показників, що склалися. При такому підході передбачається, що в майбутньому темпи поліпшення результатів роботи підприємства будуть аналогічні середнім, що склалися.

Система стратегічного планування припускає оцінку майбутніх періодів шляхом аналізу перспектив розвитку підприємства, ризиків, шансів, які можуть змінити тенденції, що склалися, вживані в довгостроковому плануванні. Основні складові стратегічного планування - аналіз конкурентів і визначення складу продукції.

### 1.3 Сучасні підходи до рішення завдань оптимального управління промисловим підприємством

#### 1.3.1 Постановка завдання оптимального управління промисловим підприємством

Отже, об'єктом управління виступає промислове підприємство, що має до моменту початку горизонту планування певні ресурси (виробничі потужності, запаси сировини, матеріалів, персонал), виробляє певний набір продукції.

Метою оптимального управління цим об'єктом виступає знаходження такого складу і обсягів випуску продукції за відповідними цінами на вказаному горизонті планування, щоб вибраний критерій оптимальності досягав свого максимального значення. Функції попиту на продукцію підприємства вважатимуться заданими.

Крім того, повинні враховуватися наявні ресурси усього підприємства і необхідність інвестицій на їх збільшення при можливому рості обсягів виробництва.

Таким чином, вимагається оптимально з точки зору підприємства співвідносити вимоги зовнішнього середовища по складу, об'ємам і цінам на продукцію і технологічні можливості підприємства на деякому середньостроковому горизонті планування.

Серед усього комплексу завдань, рамки якого були змальовані вище, можна виділити наступні основні підзадачі:

- визначення оптимальної ціни і об'ємів продажів продукції усього підприємства на деякому горизонті планування, виходячи з вимог зовнішнього середовища;
- розподіл ресурсів підприємства на виробництво визначуваного набору продукції так, щоб досягався оптимум цільової функції;
- формування оптимального, з точки зору вибраної цільової функції, портфеля інвестиційних проектів підприємства на середньострокову перспективу.

### 1.3.2 Метод ціноутворення на основі собівартості

Методика "собівартість плюс прибуток" – полягає в нарахуванні певного відсотка прибутку на собівартість товару. При розрахунку ціни за цією методикою треба враховувати не лише пряму собівартість товару, але і витрати по його реалізації. Собівартість одиниці продукції  $i$ -го виду ( $UTC_i$ ) розраховується по формулі

$$UTC_i = \frac{TC_i}{Q_i}, \quad (1.2)$$

де  $TC_i$  – валові витрати на виробництво і реалізацію товару  $i$ -го виду.

Якщо заданий відсоток прибутку на собівартість  $i$ -го виду продукції  $MUP_i$ , тоді розрахункова базова ціна на одиницю товару  $i$ -го виду  $P_i$  буде визначена таким чином:

$$P_i = UTC_i + UTC_i \frac{MUP_i}{100}. \quad (1.3)$$

Перевага методу полягає в тому, що забезпечується повне покриття усіх видів витрат, і фірма отримує планований прибуток. Недоліком слід вважати ігнорування обліку функції попиту, тобто вимог зовнішнього по відношенню до

підприємства середовища, в слідство чого втрачається чутливість до споживачів продукції і конкурентів.

Методика аналізу контрольної точки. Валовий дохід від реалізації і-го виду товару  $TR_i$  визначається по формулі

$$TR_i = PM_i Q_i, \quad (1.4)$$

де  $PM_i$  – ринкова ціна і-го виду товару.

Прибуток (чи збиток) від реалізації і -го виду товару  $R_i$  рівний

$$R_i = TR_i - TC_i. \quad (1.5)$$

Обсяг виробництва  $Q_i$ , при якому підприємство не має ні прибули, ні збитків (контрольна точка), визначається по формулі

$$Q_i = \frac{TFC_i}{(PM_i - UVC_i)}. \quad (1.6)$$

Далі розглядається співвідношення між об'ємами  $Q_i$  і  $Q_{i\max}$ :

– якщо  $Q_i \leq Q_{i\max}$ , то розрахункова ціна  $P_i = PM_i$ ;

– якщо  $Q_i > Q_{i\max}$ , то фірма, враховуючи свою цінову політику, вибирає один з наступних варіантів:

а) відмовляється від виробництва і-го товару;

б) проводить товар і-го виду зі збитками в надії понизити собівартість товару в майбутньому і отримати врешті-решт прибуток;

в) встановлює ціну на товар вище за ринкову, тобто  $P_i > PM_i$ .

У цьому методі основою визначення ціни товару є його собівартість і задана ринкова ціна. Умовою застосування підходу є стабільність собівартості в

часі або її невелика зміна. Для заданого об'єму продажів і ціни визначається: чи буде підприємство мати прибуток при цій ціні або терпіти збитки. До недоліків цього методу можна віднести те, що рівень беззбитковості розраховується для кожного товару підприємства окремо. При цьому не враховується можливість схожості складових собівартості товарів підприємства в цілому і необхідність визначення оптимального складу продукції, що випускається, для підприємства в цілому з урахуванням вимог ринку на деякому проміжку часу. Управлінське рішення в даному випадку полягає лише в наступному: чи проводити цей продукт в цьому об'ємі за цією ціною або ні. В той час, як оптимальним для підприємства може бути деякий об'єм продажів  $Q_i \leq Q_{i\max}$  з урахуванням усього складу продукції і технологічних можливостей підприємства.

### 1.3.3 Встановлення ціни на основі прибутку

Методика максимізації прибутку в умовах конкуренції. Суть цього методу полягає в тому, що підприємство намагається максимізувати свої прибутки або мінімізувати збитки, пристосовувавши обсяг виробництва шляхом змін у величині змінних витрат. Розглянемо два підходи для досягнення поставленої мети.

Принцип зіставлення валового доходу з валовими витратами. У основі цього принципу лежать два основні моменти. По-перше, фірма повинна вирішити, чи буде вона проводити цей товар. Проводити його слід, якщо фірма може отримати або прибуток, або збиток, який менше, ніж постійні витрати. По-друге, треба вирішити, який об'єм товару слід провести. Цей обсяг виробництва повинен або максимізувати прибуток, або мінімізувати збитки.

У цій методиці використовуються формули (1.4) і (1.5). Далі слід провести такий об'єм продукції  $Q_i$ , при якому максимізувався прибуток  $R_i$ , тобто:  $R_i(Q_i) \rightarrow \max$ .

Аналітичне визначення оптимального обсягу виробництва виглядає таким чином

$$R_i(Q_i) = PM_i Q_i - (TFC_i + UVC_i Q_i^Y). \quad (1.7)$$

Прирівняємо приватну похідну по  $Q_i$  до нуля:

$$\begin{aligned} \frac{dR_i(Q_i)}{dQ_i} &= 0, \\ PM_i - UVC_i Y Q_i^{Y-1} &= 0. \end{aligned} \quad (1.8)$$

де  $Y$  – коефіцієнт зміни змінних витрат.

Величина валових змінних витрат міняється залежно від зміни обсягів виробництва. Приріст суми змінних витрат, пов'язаний зі збільшенням обсягу виробництва на одну одиницю, не є постійним. Передбачається, що змінні витрати збільшуються наростаючим темпом. Це пояснюється тим, що фіксовані постійні ресурси, а в процесі росту виробництва збільшуються змінні ресурси. Таким чином, гранична продуктивність падає і, отже, змінні витрати збільшуються наростаючим темпом. "Для розрахунку змінних витрат пропонується застосувати формулу, причому за результатами статистичного аналізу встановлено, що коефіцієнт зміни змінних витрат ( $Y$ ) обмежується інтервалом  $1 < Y < 1,5$ " [26, с. 159]. При  $Y = 1$  змінні витрати ростуть лінійно:

$$TVC_i = UVC_i Q_i^Y, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1.9)$$

де  $TVC_i$  – змінні витрати на виробництво продукції  $i$ -го виду.

З (1.8) отримуємо оптимальний обсяг виробництва товару  $i$ -го виду:

$$Q_i^{\text{opt}} = \left( \frac{PM_i}{UVC_i Y} \right)^{\frac{1}{Y-1}}. \quad (1.10)$$

Після цього порівнюється об'єм  $Q_i$  з максимально можливим обсягом виробництва  $Q_{i\max}$ :

– якщо  $Q_i < Q_{i\max}$ , то базова ціна  $P_i = P_{Mi}$ ;

– якщо  $Q_i > Q_{i\max}$ , тоді, якщо існує обсяг виробництва  $Q_i$ , при якому:

1)  $R_i(Q_i) \geq 0$ , то  $P_i = P_{Mi}$ ;

2)  $R_i(Q_i) < 0$ , то можливі два варіанти:

а) відмова від виробництва  $i$ -го товару;

б) встановлення  $P_i > P_{Mi}$ .

Відмінність цієї методики в тому, що тут визначається оптимальний об'єм продажів при заданій ціні. Потім він також порівнюється з максимальним "ринковим" об'ємом продажів. Недолік цієї методики – не враховується увесь можливий склад продукції підприємства в сукупності з його технологічними можливостями.

Принцип зіставлення граничного доходу з граничними витратами. Будь-яку одиницю продукції, граничний доход від якої перевищує її граничні витрати, слід проводити. Тобто, підприємство максимізує прибутки або мінімізуватиме збитки, проводячи об'єм продукції, що відповідає точці, де граничний доход дорівнює граничним витратам.

Граничні витрати на виробництво додаткової одиниці  $i$ -го виду продукції  $MC_i$  визначається як

$$MC_i = \frac{\Delta TC_i}{\Delta Q_i}. \quad (1.11)$$

Граничний доход від реалізації додаткової одиниці  $i$ -го виду продукції  $MR_i$  рівний

$$MR_i = \frac{\Delta TR_i}{\Delta Q_i}. \quad (1.12)$$

Підприємство повинне провести такий об'єм продукції  $Q_i$ , при якому

$$|MR_i - MC_i| \rightarrow \min.$$

При цьому ж об'ємі підприємство максимізувало свій прибуток  $R_i$

$$R_i(Q_i) \rightarrow \max.$$

Ця умова максимізації прибутку виходить з того припущення, що зі збільшенням об'ємів продажів продукції на деяку величину  $\Delta$  додатковий дохід від цього збільшення знижуватиметься з наростаючим темпом залежно від масштабів росту об'ємів продажів.

Після цього порівнюється  $Q_i$  об'єм з максимально можливим обсягом виробництва:

- якщо  $Q_i < Q_{i\max}$ , то базова ціна  $P_i = P_{Mi}$ ;
- якщо  $Q_i > Q_{i\max}$ , тоді, якщо існує обсяг виробництва  $Q_i$ , при якому:
  - 1)  $R_i(Q_i) \geq 0$ , то  $P_i = P_{Mi}$ ;
  - 2)  $R_i(Q_i) < 0$ , то можливі два варіанти:
    - а) відмова від виробництва  $i$ -го товару;
    - б) встановлення ціни  $P_i$  вище за ринкову ціну  $P_{Mi}$ .

Цей підхід також дозволяє визначити, скільки підприємству треба провести продукції при заданому рівні ціни, отримуючи при цьому максимальний прибуток. Недолік цього методу – абстрагованість від конкретного підприємства, що можливо виробляє більше за один вид продукції. Крім того, представляється досить складним технічно точно визначити граничне значення доходу і витрат від додаткового росту об'ємів продажів продукції.

Метод рентабельності продажів. При використанні цього методу встановлюється така ціна, яка забезпечує цільовий прибуток на основі

рентабельності продажів. Метод рекомендується для підприємств з широкою номенклатурою вироблюваної продукції, а також для торгових фірм. Рівень цільової рентабельності продажів від реалізації і-го виду товару  $TRC_i$  визначається по формулі:

$$TRC_i = \frac{TR_i - TC_i}{TR_i} 100 \%. \quad (1.13)$$

Розрахункова базова ціна буде рівна

$$P_i = \frac{TC_i}{Q_i \left( 1 - \frac{TRC_i}{100} \right)}. \quad (1.14)$$

Цей метод є варіацією попереднього. У нім рівень цільової рентабельності задається не абсолютним  $TR_i$ , а відносним  $TRC_i$  (%) значенням прибутковості, що є зручним при великій номенклатурі продукції, що випускається. Відповідно достоїнства і недоліки цієї методики аналогічні попередній методиці.

Метод цільової рентабельності інвестицій. Випуск продукції повинен забезпечувати цільову рентабельність на певний розмір інвестицій. При розрахунку собівартості товару треба враховувати сплату відсотків за кредит. Цей метод враховує платність фінансових ресурсів, необхідних для виробництва і реалізації товару. Підприємство, вибираючи рівень рентабельності інвестицій, може досягти бажаного прибутку. Послідовність розрахунку базової ціни і -го товару наступна,

$$AVC_i = \frac{TVC_i}{Q_{i \max}}, \quad (1.15)$$

де  $AVC_i$  – середні змінні витрати на виробництво і реалізацію і -го товару.

$$AFC_i = \frac{TFC_i}{Q_{i\max}}, \quad (1.16)$$

де  $AFC_i$  – середні постійні витрати на виробництво і реалізацію одиниці  $i$ -го товару.

Розрахункова базова ціна  $i$ -го товару  $P_i$  за цією методикою ціноутворення буде рівна

$$P_i = AVC_i + AFC_i + \frac{I_i}{Q_{i\max}} \frac{TRI_i}{100}, \quad (1.17)$$

де  $I_i$  – сума інвестицій на виробництво і реалізацію  $i$ -го товару;

$TRI_i$  – рівень цільової рентабельності інвестицій (%) для  $i$ -го товару.

Для досягнення бажаного рівня прибутку зіставляються валовий (граничний) доход і валові (граничні) витрати. Цільовий прибуток може бути визначений або шляхом її прямого розрахунку, або шляхом її максимізації. Пряме визначення цільового прибутку може бути виражене рентабельністю продажів або рентабельністю інвестицій.

В даному випадку вже враховується необхідність пошуку оптимального об'єму продажів при заданому рівні цін. Вводиться умова обліку можливих інвестицій для виробництва деякого об'єму продажів  $Q_{i\max}$ . Проте, кожен товар підприємства як і раніше розглядається окремо, а не комплексно. Таким чином, не враховуються технологічні можливості підприємства, тобто його можливі сильні сторони по відношенню до конкурентів.

Рівень рентабельності інвестицій враховується окремо від умови максимізації прибутку. Проте, виходячи з методики бізнес-планування подальший операційний прибуток від конкретного продукту (групи) повинен компенсувати початкові інвестиції, що забезпечують це виробництво з потрібною інвестором нормою прибутковості (дисконту). Для цього

застосовується дисконтування грошових виплат і надходжень від проекту виробництва продукції.

У разі використання методу, заснованого на граничних витратах, також стає проблематичним точно визначити оптимальний обсяг виробництва для декількох продуктів.

#### 1.4 Висновки за першим розділом

В результаті виконання першого розділу кваліфікаційної роботи виконано аналіз особливостей контролю якості продукції на автоматизованих виробництвах. Показано, специфіка роботизованих виробництв полягає в тому, що помилки і збої в технологічних процесах відбуваються не з вини оператора. На таких виробництвах контроль якості роботи устаткування в цьому випадку може здійснюватися шляхом зіставлення з модельною виробничою системою (тобто системою віртуального виробництва).

Проведено аналіз сучасних методів планування на виробничому підприємстві та розглянуто підприємство як система складається з керованої і керуючої підсистем, з'єднаних між собою каналами передачі інформації.

Показані сучасні підходи до рішення завдань оптимального управління промисловим підприємством. Виконана постановка завдання оптимального управління промисловим підприємством та проаналізовані різні методи ціноутворення. Надані їх переваги та недоліки.

На основі розглянутих методів управління виробництвом необхідно вдосконалити метод оптимізації управління процесом виробництва.

## 2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА

### 2.1 Постановка задачі оптимізації виробничих процесів

Оптимізаційне завдання – це математичне завдання, яке полягає в знаходженні оптимального (максимального або мінімального) значення цільової функції. Тому процес моделювання розпочинається з формування цілей. Для виробничого підприємства основною метою виробничо-економічної діяльності є своєчасне виконання замовлень на номенклатуру продукції, що відповідає спеціалізації підприємства, що випускається.

Приведення діяльності підприємства у відповідність із заздалегідь обумовленою закономірністю досягнення мети є процесом управління. Управління виробничою діяльністю підприємства включає обробку інформації, прийняття на її основі управлінських рішень, організацію їх виконання і контроль за ходом процесів. Вхідною інформацією є подетальний план, що формується в результаті рішення завдань оперативно-календарного планування, є фактично метою управління виробництвом [11-13, 14].

Вибір складу завдань управління, їх моделювання полягає в досягненні поставленої перед підприємством мети – забезпечення обробки деталей в номенклатурі, кількості і термінах, заданим збіркою (у подетальному плані), раціональне використання устаткування підприємства.

У комплекс завдань (з), що вирішуються на фазі моделювання планування виробництва, входять наступні:

- визначення оптимальних розмірів партій оброблюваних виробів (може бути місячною, кварталною, річною та ін.);
- розрахунок, аналіз і перерозподіл завантаження устаткування.

Розрахунок трудомісткості ( $T$ ) і завантаження робочих місць ( $ZPM_{ij}$ ) ведуться диференційовано за кожним робочим місцем ( $PM$ ), відповідно з

прийнятою на етапі технологічного проектування спеціалізацією. Перерозподіл завантаження по взаємозамінних РМ (тимчасова зміна спеціалізації РМ), проводиться виходячи з розрахованої трудомісткості обробки груп деталей на конкретний місяць  $ZPM_{ij} = f(ZO_{ij}, T_{ij})$ ;

– моделювання виробничого процесу (ТП<sub>ij</sub>) завантаження РМ, виходячи зі змінності роботи кожного РМ;

– облік, контроль, аналіз і регулювання виробничого процесу, виходячи з сформованих завдань на робочі місця ( $ZO_{ij}$ ).

$$z = \{z_{ij}\},$$

$$z = \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j n_{ij} + T + ZPM_{ij} + TP_{ij} + ZO_{ij}. \quad (2.1)$$

Завданнями контролю і регулювання виробничого процесу обробки деталей є:

- збір інформації ( $J_{ij}$ ) про фактичне виконання змінного завдання;
- контроль ( $K_{ij}$ ) і облік ( $Ч_{ij}$ ) фактичного виконання змінних завдань кожним робочим місцем і ділянкою;
- міжопераційний облік руху деталі по робочих місцях:

$$\{ZO_{ij}, K_{ij}, Z_{ij}\} \mapsto MV_{ij}; \quad (2.2)$$

- формування змінних завдань на кожне РМ

$$MV_{ij} \mapsto ZO_{ij}; \quad (2.3)$$

– розрахунок показників роботи виробництва і робітників за попередній день і наростаючим підсумком на початок місяця по виробництву в цілому і по кожному робітникові [14].

Після завершення кожного планового періоду розраховуються підсумкові показники виконання планів виробництва кожним робочим місцем і ділянкою.

Завдання завантаження устаткування є дуже важливим, оскільки раціональне використання потужностей дозволяє понизити собівартість продукції, а значить встановити конкурентоздатну вартість. Тому рішення задачі розрахунку, аналізу і перерозподілу завантаження устаткування для виробничого підприємства з дрібносерійним типом виробництва розглянемо детально.

Результати оцінки напруженості сформованого плану розкривають картину очікуваного завантаження робочих місць по видах робіт і робітників по професіях, що дає основи для ухвалення відповідних рішень.

Відмітні особливості дрібносерійного виробництва: відсутність пропорційності операційних трудомісток по видах робіт, нестабільність номенклатури і обсягів її виробництва по місяцях приводять до того, що при повному завантаженні устаткування по одних видах робіт устаткування по інших видах робіт може бути істотно недовантаженими. Причому завантаження устаткування по місяцях не залишається постійним, може істотно змінюватися.

## 2.2 Розробка алгоритму оптимізації завантаження обладнання

Завдання розрахунку завантаження обладнання ( $ZO_{ij}$ ) ставиться як мінімізація напруженості плану виробництва ( $P_{ij}$ ) і максимізація завантаження робочих місць ( $PM_{ij}$ ):

$$3O_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} f(P_{ij}) \rightarrow \min \\ f(PM_{ij}) \rightarrow \max \end{array} \right\}. \quad (2.4)$$

Розрахунки завантаження устаткування (3O<sub>ij</sub>) набраними портфелем замовлень можуть вестися на будь-який заданий період часу (рік, місяць, тиждень і ін.), В розрізі основних видів робіт в цілому по підприємству, по цехам, по виробничим ділянкам або конкретно по кожному робочому місцю. Графік завантаження устаткування наведено на рис. 2.1 [14].

№ операції	Найменування операції	Норма часу (t <sub>шт</sub> ), хв	Такт потоку (r <sub>шт</sub> ), хв/шт.	Кількість робочих місць		№ робочих місць	Завантаження робочих місць		Порядок обслуг. робочих місць	Графік роботи обладнання за період обороту лінії, що дорівнює одній зміні (480 хв), та рух оборотних задільів								Програма випуска д.ст. за F <sub>шт</sub> =T <sub>шт</sub> =480 хв
				розраховане (C <sub>р</sub> )	прийняте (C <sub>пр</sub> )		у %	у хв		60	120	180	240	300	360	420	480	
1	Розмігна	3,1	1,6	1,94	2	1	100	480	1									155
						2	94	451	2									145
2	Токарна	3,0	1,6	1,88	2	3	100	480	3									160
						4	88	422	4									140
						5	100	480	5									150
						6	100	480	6									150
3	Фрезерна	3,2	1,6	2,00	2	7	100	480	7									160
						8	88	422	8									140
4	Сверд-лильна	3,0	1,6	1,88	2	7	100	480	7									160
						8	88	422	8									140
Разом		12,3	1,6	7,70	8	8	77,2											

Рисунок 2.1 – Графік завантаження обладнання

За результатами аналізу плани виробництва можуть бути скоректовані з подальшим перерахунком завантаження устаткування таким чином:

– у разі недовантаження устаткування по усіх видах робіт може бути збільшене внутрішнє замовлення, змінені терміни виконання окремих замовлень або їх комплектуючих (перенесення частини робіт з подальших планових періодів) або прийняті інші дії;

– у разі перевантаження устаткування по певних видах робіт на виробничих ділянках цехів можливий перерозподіл завантаження шляхом перерозподілу номенклатури між виробничими ділянками;

– у разі перевантаження устаткування по окремих видах робіт по усіх цехах можуть бути змінені об'єми або терміни виробництва окремих видів продукції (за узгодженням із замовниками); частина робіт може бути передана підприємствам-партнерам на виробництво по кооперації або ін.

Після кожної корекції плану по даній деталі перераховується завантаження по усіх видах робіт, оскільки зміна плану виробництва деталі впливає на зміну завантаження робочого місця (РМ).

Розрахунки завантаження устаткування (кожного конкретного робочого місця) і перерозподіл робіт по взаємозамінних робітниках місцям ведуться аналогічно. Усі зміни, що проводяться, по зняттю перевантаження робочих місць і по перерозподілу робіт по взаємозамінних робітниках місцям носять тимчасовий характер - тільки на планований місяць [14].

Трудомісткість запуску ТЗ або місяця Т<sub>м</sub> визначається по формулі для кожного робочого місця

$$T = \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^d t_{ij} \cdot n_{ij} + t_{ннj} \right] / K_{внj} + t_{нрj}, \quad (2.5)$$

де  $t_{ij}$  – норма часу на  $j$ -у операцію  $i$ -ої деталі (мін);

$n_{ij}$  – розмір партії запуску  $i$ -х деталей на  $j$ -ої операції (шт);

$d$  – кількість найменувань деталей в групі (шт);

$m$  – кількість деталей в запуску(шт);

$t_{ннj}$  – витрати часу на під наладку (мін);

$t_{нрj}$  – витрати часу на наладку (мін);

$K_{внj}$  – коефіцієнт виконання норм на цьому робітнику місці.

Коефіцієнт завантаження кожного робочого місця  $KЗ$  визначається по формулі

$$KЗ = \frac{T}{\Phi}, \quad (2.6)$$

де  $\Phi$  – фонд часу, визначуваний як

$$\Phi = T_{см} \cdot K_{см} \cdot K_{рд} \cdot K_{орг}; \quad (2.7)$$

де  $T_{см}$  – тривалість зміни (година);

$K_{см}$  – кількість змін;

$K_{рд}$  – кількість робочих днів в запуску (місяці);

$K_{орг}$  – коефіцієнт організаційних втрат, що враховує простої устаткування при організаційно-технічному обслуговуванні і дрібних ремонтах.

На рисунку 2.2 показано розроблений алгоритм оптимізації завантаження робочих місць виробничими операціями.

Для перерозподілу завантаження визначаються робочі місця, які мають  $KЗ > 1$ , і вишукується можливість передачі частини партій деталей на взаємозамінні робочі місця. Перерозподіл починається з робочого місця, що має найбільший коефіцієнт завантаження. Коли за цим робочим місцем обраний варіант рішення, то береться наступне робоче місце, що є перенавантаженим і процедура повторюється до тих пір, поки не будуть розглянуті всі перенавантажені робочі місця.

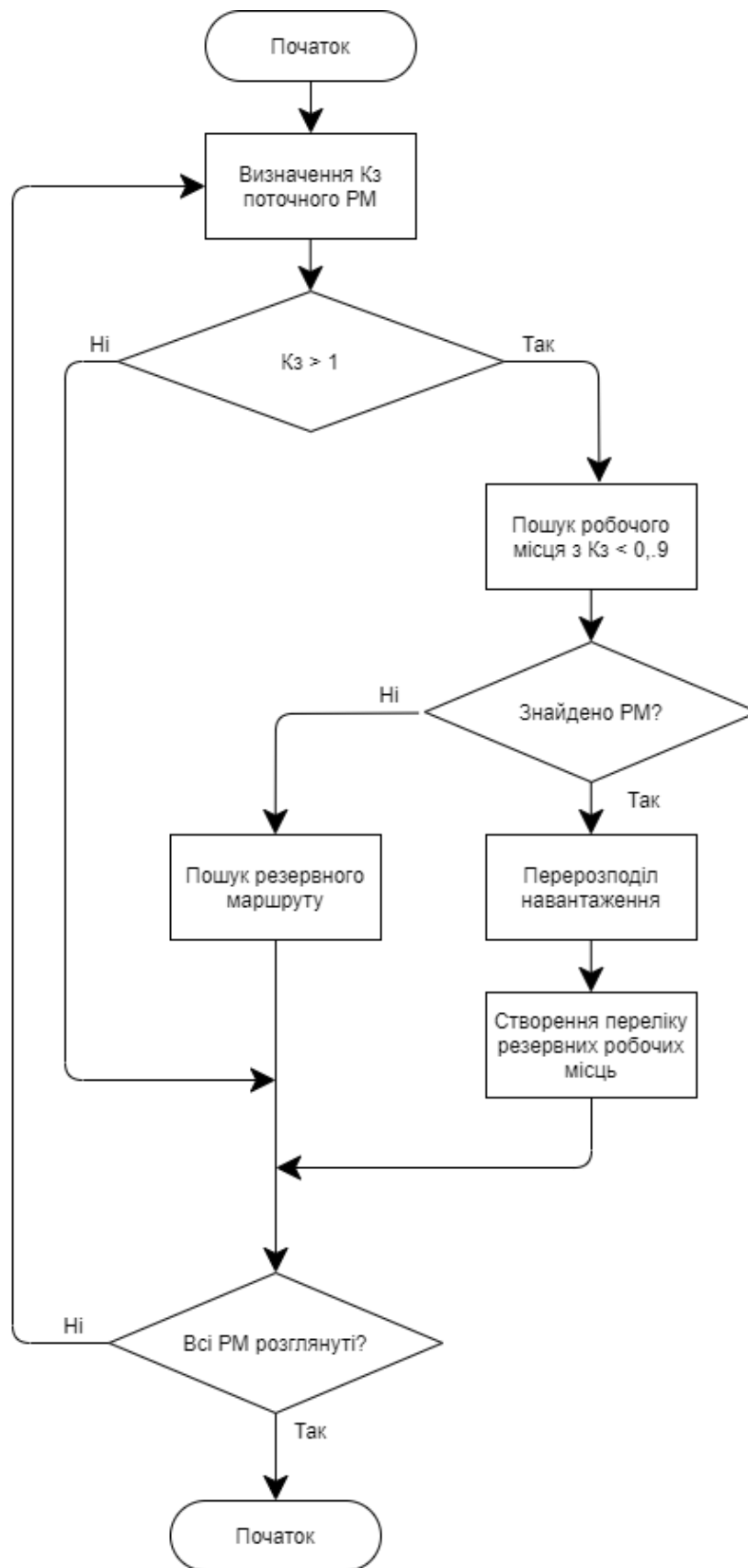


Рисунок 2.2 – Алгоритм оптимізації завантаження робочих місць виробничими операціями

Спочатку аналізується коефіцієнт завантаження запуску  $K_{зз}$  і якщо  $K_{зз} \leq 1$ , то завантаження цього робочого місця залишають без зміни, а при  $K_{зз} > 1$ , перевіряється коефіцієнт завантаження місяці  $K_{зм}$ . При  $K_{зм} \leq 1$  завантаження цього робочого місця залишають без зміни, а при  $K_{зм} > 1$  необхідно перерозподілити частину завантаження на взаємозамінні робочі місця. Для цього потрібно вибрати робоче місце з мінімальним значенням  $K_{зм}$ . Якщо  $K_{зм} \geq 0,9$ , то розглядається можливість розвантаження шляхом обробки частини партій за резервною технологією, для чого проводиться відбір деталей, що мають резервні технологічні маршрути.

Обирається резервне робоче місце з мінімальним значенням  $K_{ЗМр}$ . При  $K_{ЗМр} < 1$  на резервне робоче місце можна передати частину партій з переобтяженого. Якщо  $K_{ЗМр} \geq 0,9$ , то передача частини роботи на резервні операції недоцільна.

Якщо на взаємозамінному робітнику місці  $З_{мв} < 0,9$ , тобто резерв більше 10%, то для переобтяженого робочого місця визначається коефіцієнт перевищення завантаження  $K_n$  по формулі [14]:

$$K_n = K_{ЗМ} - 1 \quad (2.8)$$

і трудомісткість, що відповідає йому

$$T_n = \Phi_m \cdot K_n \quad (2.9)$$

Для розвантаження даного робочого місця підбирається партія, що має трудомісткість  $T_{n1}$ , близьку до трудомісткості  $T_n$  і що задовольняє умові

$$T_{n1} \geq T_n \quad (2.10)$$

З цією метою для кожної партії розраховується різниця трудомісткості

$$\Delta T = T_{n1} - T_{nl} \quad (2.11)$$

З партій, що мають позитивне значення  $\Delta T$ , формується «масив позитивних різниць» і з нього вибирається партія  $\min$ , що має  $\{\Delta T\}$ , яка передається на взаємозамінне робоче місце. Якщо немає партії з трудомісткістю  $T_{n1} \geq T_n$ , то підбирається партія з трудомісткістю близькою до  $T_n$ , але що не перевищує її, тобто  $T_{n1} \leq T_n$ . За умови  $T_{n1} < 0,9T_n$  зняття однієї партії не дозволить розвантажити робоче місце і в цьому випадку необхідно проаналізувати можливість передачі на взаємозамінне місце двох партій.

Для цього визначається сумарна трудомісткість кожної пари партій  $\Delta T_c$ , і вибирається пара партій, що має сумарну трудомісткість  $T_c$ , близьку до трудомісткості  $T_n$  за умови  $T_c \geq T_n$ .

Для кожної пари партій розраховується різниця  $\Delta T_c$  по формулі

$$\Delta T_c = T_c - T_n \quad (2.12)$$

формується «масив позитивних різниць»  $\Delta T_c$  (аналогічно різниці  $T$ ), з якого вибирається для передачі на взаємозамінне робоче місце пара партій, що має  $\min \{\Delta T_c\}$  (ТСН).

Якщо немає партій з трудомісткістю  $T_c \geq T_n$ , то обирається пара партій з трудомісткістю  $T_c < T_n$  з «масиву негативних різниць»  $\Delta T_c$  и знаходиться  $\min \{|\Delta T_c|\}$  (ТСН).

Коли визначена партія (чи декілька партій) для розвантаження аналізованого робочого місця, для взаємозамінного робочого місця розраховується коефіцієнт недовантаження  $K_n = 1 - K_{3mv}$ , і трудомісткість  $T_n$  (резерв часу), що відповідає йому

$$T_H = \Phi_M \times K_H. \quad (2.13)$$

Далі проводиться порівняння трудомісткості партій (чи пари партій), що передається на взаємозамінне робоче місце  $T_{CH}$ , і резерву часу за ним  $T_H$ .

Якщо  $T_H \geq T_{CH}$ , то на взаємозамінному робочому місці можна обробляти додаткову партію (чи пару партій) з трудомісткістю  $T_{CH}$ . В цьому випадку проводиться коригування трудомісткості робочого місця  $T_{MB} = T_{MB} + T_{CH}$ , і коефіцієнта його завантаження

$$K'_{3MB} = \frac{T_{MB}}{T_M} \quad (2.14)$$

і коригування цих же показників для аналізованого робочого місця (переобтяженого) відповідно

$$T_M' = T_M - T_{CH}$$

та

$$K'_{3M} = \frac{T_M'}{\Phi_M}$$

Якщо  $T_H < T_{CH}$ , то  $T_{CH}$  перевищує  $T_H$  не більше, ніж на 10 %, тобто  $T_{CH} \leq 1,1T_H$ , то ця трудомісткість так само може бути передана на взаємозамінне робоче місце, і в цьому випадку проводиться коригування коефіцієнтів завантаження на переобтяженому і взаємозамінному робочих місцях.

За умови  $T_{CH} > 1,1 T_H$  не можна завантажити аналізоване робоче місце, не викликавши у свою чергу перевантаження взаємозамінного. У такому разі ще раз розглядається можливість використання резервного маршруту. З цією метою вибирається резервне робоче місце з мінімальним коефіцієнтом завантаження

КЗМр за умови  $KЗМр < 0,9$  і розраховується відповідний резерв часу - трудомісткість ТНр по формулі (2.13).

З масивів «позитивних або негативних різниць»  $\Delta T$  (чи  $\Delta T_c$ ) вибирається партія (чи пара партій), що має мінімальне значення  $\Delta T = \min \{|\Delta T|\}$  (чи  $\Delta T_c = \min \{|\Delta T_c|\}$ ).

Для цієї партії (пари партій) розраховується трудомісткість обробки на резервному робітнику місці ТР по формулі

$$T_P = \frac{\sum_{i=1}^d t_{i'j} \cdot n_{ij} + t_{n'nj}}{K_{BH'j}} + t_{np'j} \quad (2.15)$$

де  $t_{i'j}$  – норма часу на резервну  $j'$ -у операцію (мін);

$t_{n'j}$  – час підналадки на резервному  $j'$ -му робітнику місці (мін);

$t_{np'j}$  – час наладки на резервному  $j'$ -му робітнику місці (мін);

$K_{BH'j}$  – коефіцієнт переробки норм на резервному  $j'$ -му робітнику місці.

За умови  $TНр \geq T_P$  розвантаження можливе і у такому разі проводиться коригування трудомісткості резервного робочого місця  $T_{MP'j}$ , коефіцієнта його завантаження  $KЗМ'p$  по формулах

$$T_{MP'j} = T_{MPj} + T_{Pj}, \quad (2.16)$$

$$KЗ'_{MPj} = \frac{T_{MP'j}}{\Phi_M} \quad (2.17)$$

і коригування цих же показників для аналізованого (переобтяженого робочого місця) відповідно  $T_M'$  і  $KЗ'_{mr}$  по формулах (2.16) і (2.17).

Якщо  $T_{Нр} < T_r$ , то робиться висновок про неможливість розвантаження цього робочого місця. На цьому цикл аналізу і перерозподілу завантаження одного робочого місця закінчується і усі процедури повторюються для наступного робітника місця з  $KЗМ > 1$  [14].

### 2.3 Висновки за другим розділом

В результаті виконання другого розділу кваліфікаційної роботи запропоновано метод оптимізації управління виробничими процесами. Проведено аналіз графіку завантаження обладнання та розглянута методика оптимізації завантаження робочих місць. Розроблено алгоритм пошуку оптимального рішення для рівномірного завантаження обладнання та надано його опис.

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ НА ПІДПРИЄМСТВІ З ВИРОБНИЦТВА РОБОТІВ

#### 3.1 Розробка концептуальної моделі

Для автоматизації процесу перерозподілу навантаження та оптимізації часу виконання операцій була розроблена автоматизована програмна система.

На рисунку 3.1 показано концептуальна модель даних для зберігання отриманої від аналітичної підсистеми інформації про стан технологічного процесу.

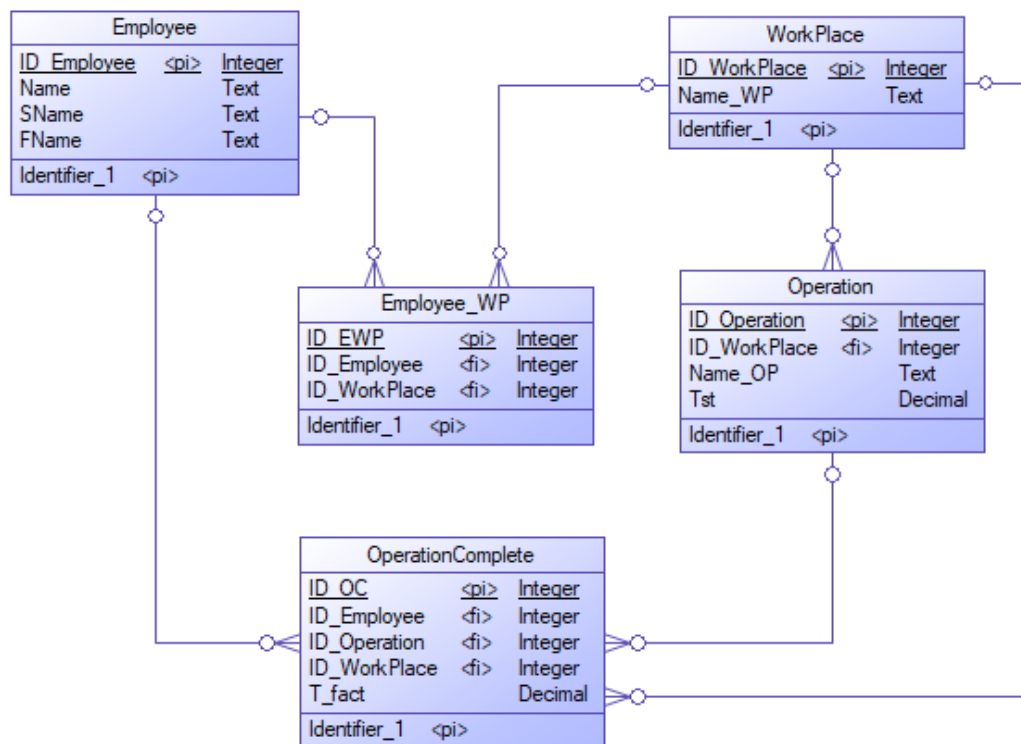


Рисунок 3.1 – Концептуальна модель даних для зберігання отриманої від аналітичної підсистеми інформації про стан технологічного процесу

Реляційна база даних є сукупністю елементів даних, організованих у вигляді набору формально описаних таблиць, з яких дані можуть бути доступними або повторно зібрані багатьма різними способами без необхідності

реорганізації таблиць бази даних. Кожна сутність представлена відповідним відношенням. Наприклад, сутність Працівник представлена у вигляді відношення Employee, як показано на рисунку 3.2.

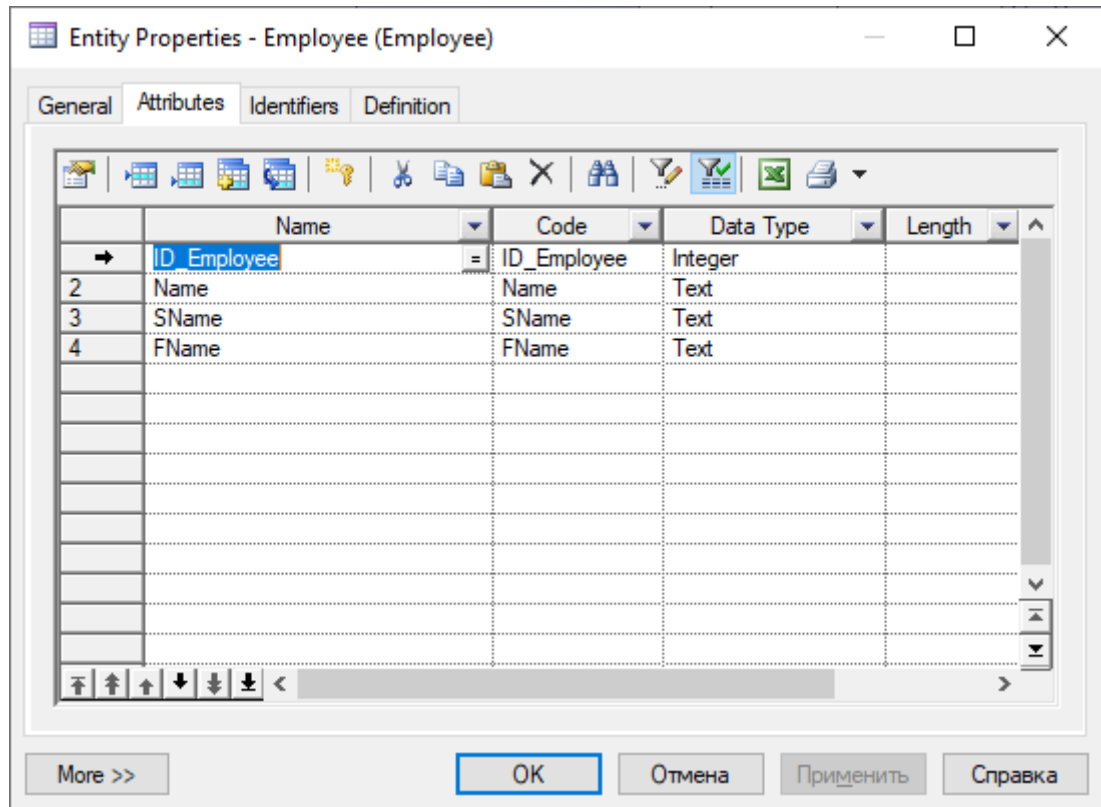


Рисунок 3.2 – Відношення Employee

Кожен працівник описується трьома полями:

- ім'я;
- прізвище;
- по батькові.

На таблицю Employee посилаються дві інші таблиці: Employee\_W та OperationComplete.

Відношення Employee\_WP реалізує модель закріплення працівника за робочим місцем. Робоче місце закріплюється за конкретним працівником але працівник у відповідності до наряду на роботу може виконувати операції на





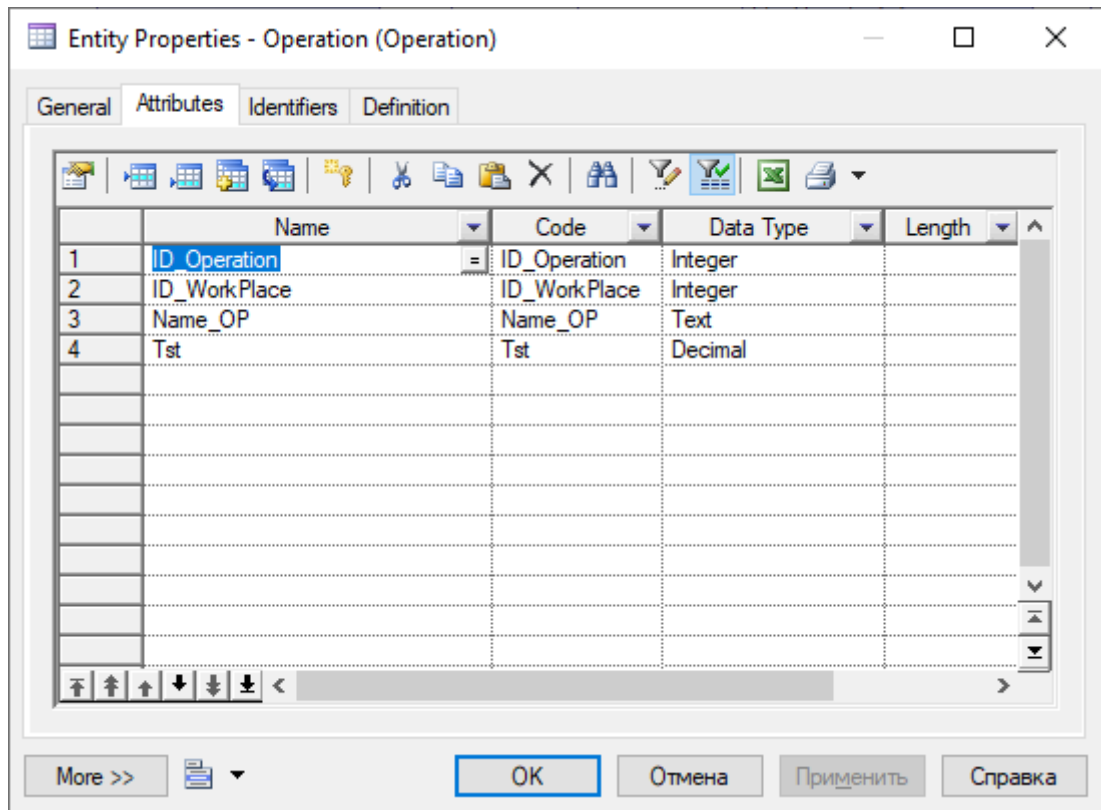


Рисунок 3.5 – Структура таблиці WorkPlace

Для відмітки фактичного часу виконання операції та прив'язки до конкретного працівника, була створена таблиця OperationComplete.

Таблиця OperationComplete має такі поля:

- ID\_Employee – посилання на таблицю з даними про працівників;
- ID\_Operation – посилання на таблицю з описом операцій;
- ID\_WorkPlace – посилання на таблицю з описом робочих місць;
- T\_fact – поле для зберігання фактичного часу виконання операції.

Структура таблиці OperationComplete показана на рисунку 3.6.

	Name	Code	Data Type	Length
1	ID_OC	ID_OC	Integer	
2	ID_Employee	ID_Employee	Integer	
3	ID_Operation	ID_Operation	Integer	
4	ID_WorkPlace	ID_WorkPlace	Integer	
5	T_fact	T_fact	Decimal	

Рисунок 3.6 – Структура таблиці OperationComplete

### 3.2 Модернізація розробленої структури бази даних

В результаті аналіз розробленої концептуальної моделі даних та плануванні експериментальних досліджень була виконана модернізація структури бази даних за рахунок додавання нових таблиць Operation\_WP та Plan. Перша таблиця призначена для побудови матриці суміжності технологічних операцій та робочих місць, на яких вони можуть бути виконані. Друга таблиця призначена для зберігання згенерованого плану виробництва для виконання процедури оптимізації завантаження робочих місць.

На рисунку 3.7 показана структура таблиці Operation\_WP, а на рисунку 3.8 – структура таблиці Plan.

The screenshot shows the 'Entity Properties - Operation\_WP (Operation\_WP)' dialog box. The 'Attributes' tab is selected. The table below lists the attributes of the entity:

	Name	Code	Data Type	Length
1	ID_OWP	ID_OWP	Integer	
2	ID_Operation	ID_Operation	Integer	
3	ID_WorkPlace	ID_WorkPlace	Integer	

Buttons at the bottom: More >>, OK, Отмена, Применить, Справка.

Рисунок 3.7 – Структура таблиці Operation\_WP

The screenshot shows the 'Entity Properties - Plan (Plan)' dialog box. The 'Attributes' tab is selected. The table below lists the attributes of the entity:

	Name	Code	Data Type	Length
1	ID_OWP	ID_OWP	Integer	
2	ID_Operation	ID_Operation	Integer	
3	ID_WorkPlace	ID_WorkPlace	Integer	
4	Tst	Tst	Decimal	

Buttons at the bottom: More >>, OK, Отмена, Применить, Справка.

Рисунок 3.8 – Структура таблиці Plan

На рисунку 3.9 показана модернізована концептуальна модель даних.

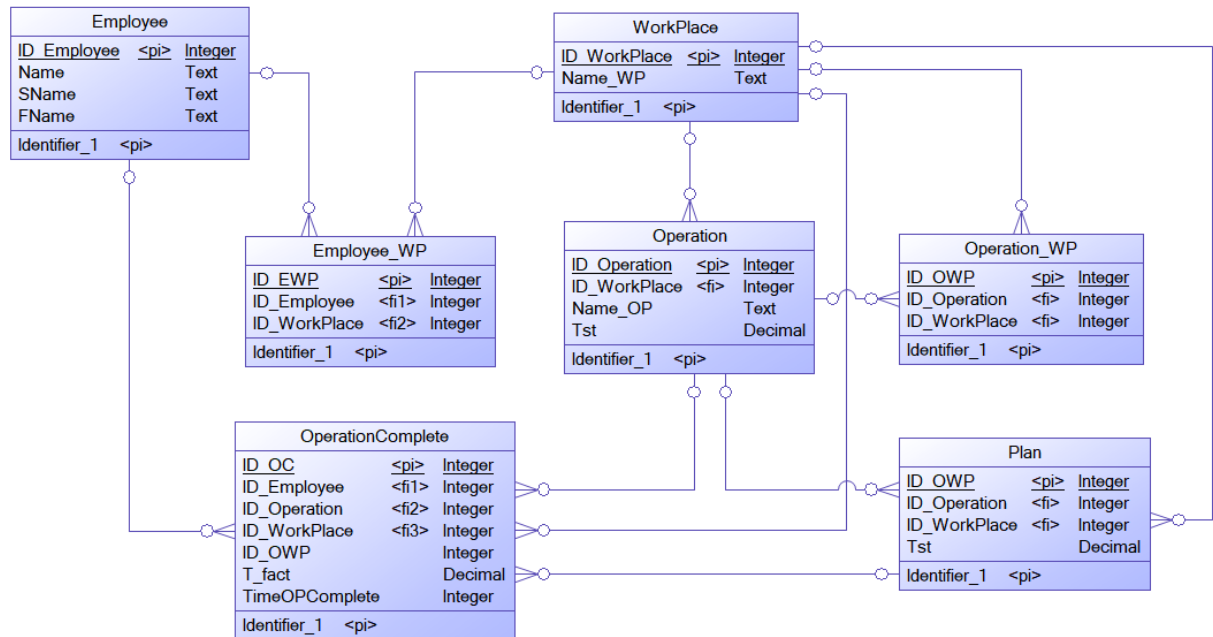


Рисунок 3.9 – Модернізована концептуальна модель даних

### 3.3 Висновки по третьому розділу роботи

В результаті виконання третього розділу магістерської кваліфікаційної роботи розроблена концептуальна модель даних для зберігання отриманої від аналітичної підсистеми інформації про стан технологічного процесу. Кожна сутність представлена відповідним відношенням. Всього реалізовано п'ять сутностей: працівник, робоче місце, технологічна операція, результати вимірювань та допоміжна таблиця для реалізації зв'язку багато-до-багатьох між сутностями працівник і робоче місце.

В результаті аналіз розробленої концептуальної моделі даних та плануванні експериментальних досліджень була виконана модернізація структури бази даних у вигляді фізичних моделей даних.

## 4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ

### 4.1 Розробка програмного засобу для оптимізації завантаження робочих місць на підприємстві з виробництва роботів

Програма написана мовою програмування C# із застосуванням допоміжних бібліотек для роботи з базою даних. В якості бази даних використовується СУБД SQLite.

SQLite є однією з найбільш використовуваних систем управління базами даних. Головною перевагою SQLite є те, що для бази даних не потрібно сервера.

База даних являє собою звичайний локальний файл, який ми можемо переміщати разом з головним файлом програми. Крім того, для запитів до бази даних ми можемо використовувати стандартні вирази мови SQL, які так само з деякими змінами можуть застосовуватися і в інших СУБД як Oracle, MS SQL Server, MySQL, Postgres і т.д.

Ще однією перевагою є широке поширення SQLite – область застосування охоплює безліч платформ і технологій: WPF, Windows Forms, UWP, Xamarin, Android, iOS і т.д.

Для використання розробленої структури бази даних необхідно встановити необхідні бібліотеки для роботи з цією базою даних. Перш за все для роботи SQLite в C# необхідно встановити через Nuget пакет Microsoft.Data.Sqlite.

На рисунку 4.1 показано приклад додавання пакетів до нашої програми.

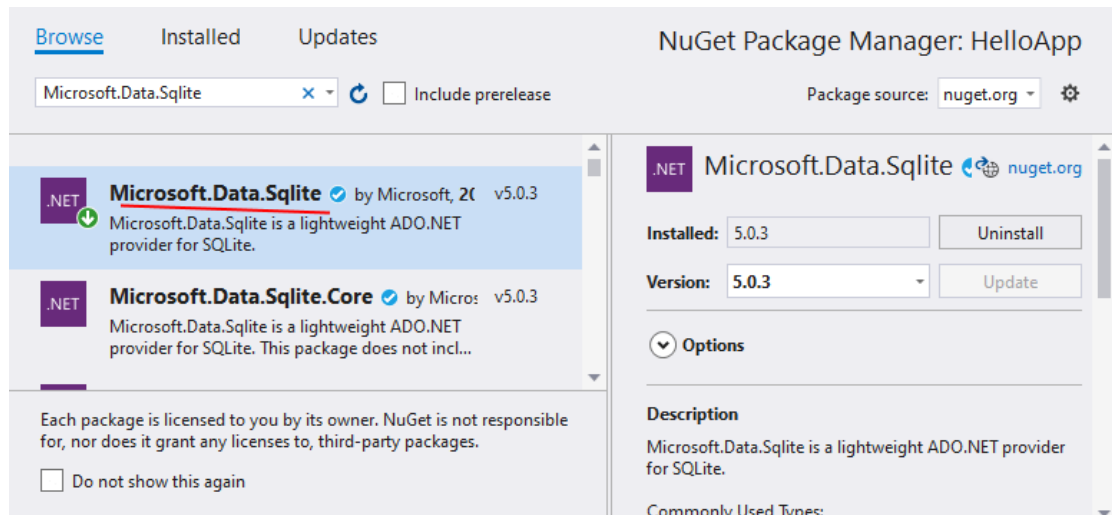


Рисунок 4.1 – Встановлення пакетів Microsoft.Data.Sqlite

Для підключення до бази даних можна скористатись візуальним інструментом VisualStudio для створення dataset. На рисунку 4.2 показано приклад обирання постачальника даних SQLite.

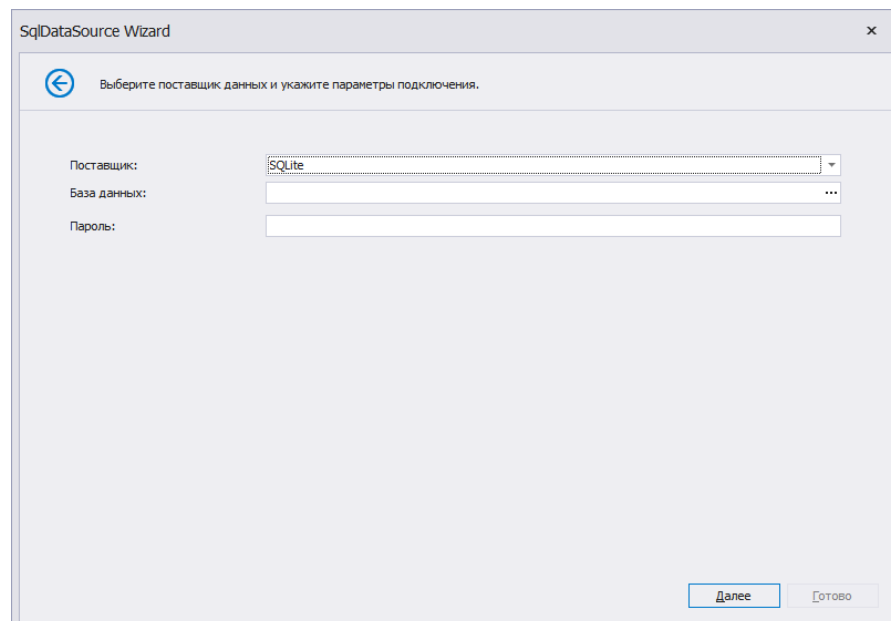


Рисунок 4.2 – Обирання постачальника даних SQLite

Наступним кроком необхідно створити строку підключення та обрати тип взаємодії з БД (за допомогою командної строки або SQL запиту). На рисунку 4.3 показано послідовність виконання зазначених дій.

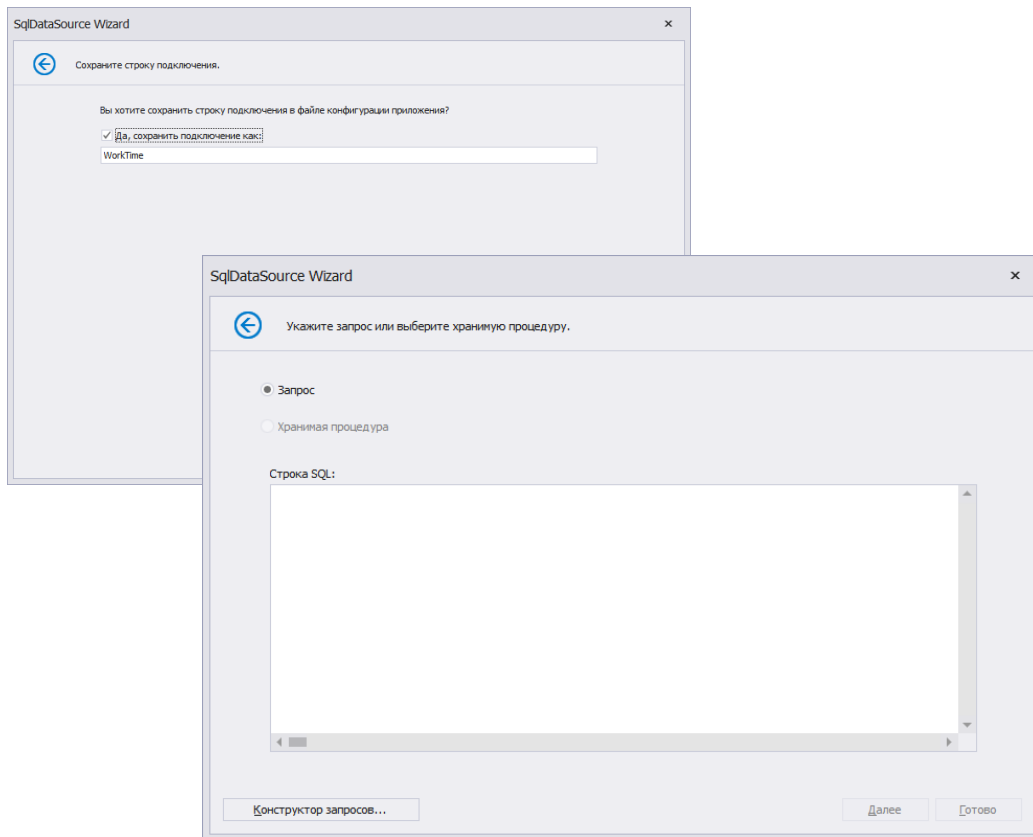


Рисунок 4.3 – Створення строки підключення до БД

Після обирання типу взаємодії з базою даних пропонується обрати таблицю, або таблиці для побудови запиту. На рисунку 4.4 показано приклад обирання в якості вихідної таблиці сутності Employee, в якій зберігаються дані про співробітників підприємства із виготовлення робототехнічних засобів.

В результаті даної процедури було створено простий запит для відображення всіх наявних строк для виведення на екран в вигляді таблиці:

```
Select * from Employee;
```

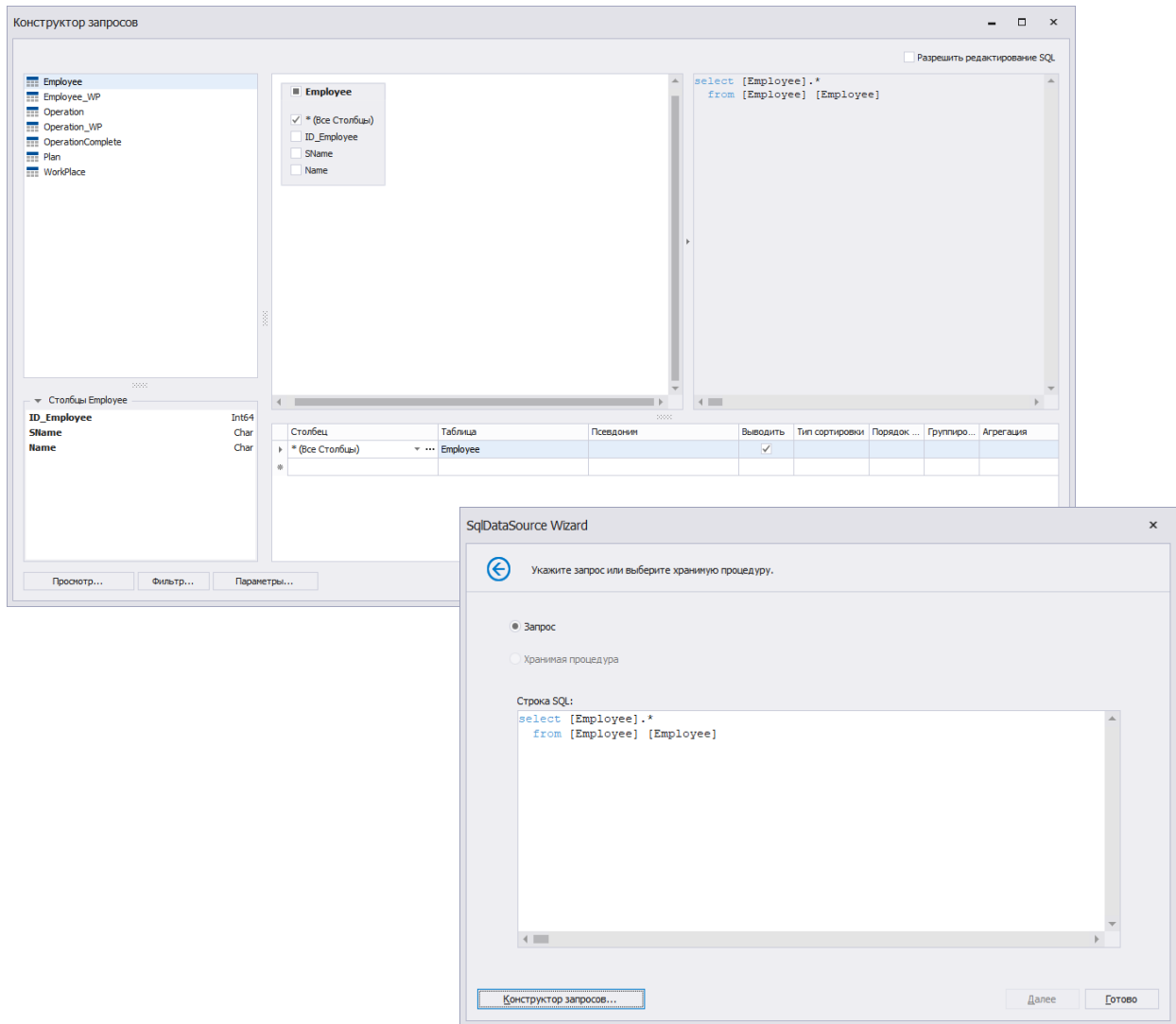


Рисунок 4.4 – Створення запиту до бази даних

Для використання можливостей СУБД напряму із програмного коду в програмі додано три строки для вказання шляху розміщення бази даних. Приклад посилання на базу даних показано на рисунку 4.5.

```
public static String ProjetFileName = "WorkTime.db";
public static String mPath = AppDomain.CurrentDomain.BaseDirectory;
public static String mDBPath = mPath + ProjetFileName;
```

Рисунок 4.5 – Приклад посилання на базу даних

Для доступу до сутностей бази даних необхідно створити відповідні моделі даних у вигляді класів. На рисунку 4.6 показано приклад таких класів.

```

Ссылка: 5
public class WorkPlaceMembers
{
    Ссылка: 0
    public string ID_WorkPlace { get; set; }
    Ссылка: 5
    public string Name_WP { get; set; }
}

Ссылка: 5
public class Operation_WP_Members
{
    Ссылка: 0
    public string ID_OWP { get; set; }
    Ссылка: 3
    public string ID_Operation { get; set; }
    Ссылка: 2
    public string ID_WorkPlace { get; set; }
}

Ссылка: 8
public class OperationMembers
{
    Ссылка: 0
    public string ID_Operation { get; set; }
    Ссылка: 0
    public string ID_WorkPlace { get; set; }
    Ссылка: 8
    public string Name_OP { get; set; }
    Ссылка: 0
    public string Tst { get; set; }
}

```

Рисунок 4.6 – Моделі даних у вигляді класів

Всі необхідні дані заносяться до бази даних на етапі проектування перед початком експерименту за допомогою програми редагування даних. Оперативні дані заносяться до бази безпосередньо при виконанні експерименту за допомогою розробленої програми.

Графічний інтерфейс програмного засобу показано на рисунку 4.7. Програмний засіб має основне поле для виведення результатів експерименту, та бокове поле, де розміщуються кнопки управління. Також перед початком експерименту можна задати бажаний коефіцієнт завантаженості робочого місця до якого буде виконуватись оптимізація.

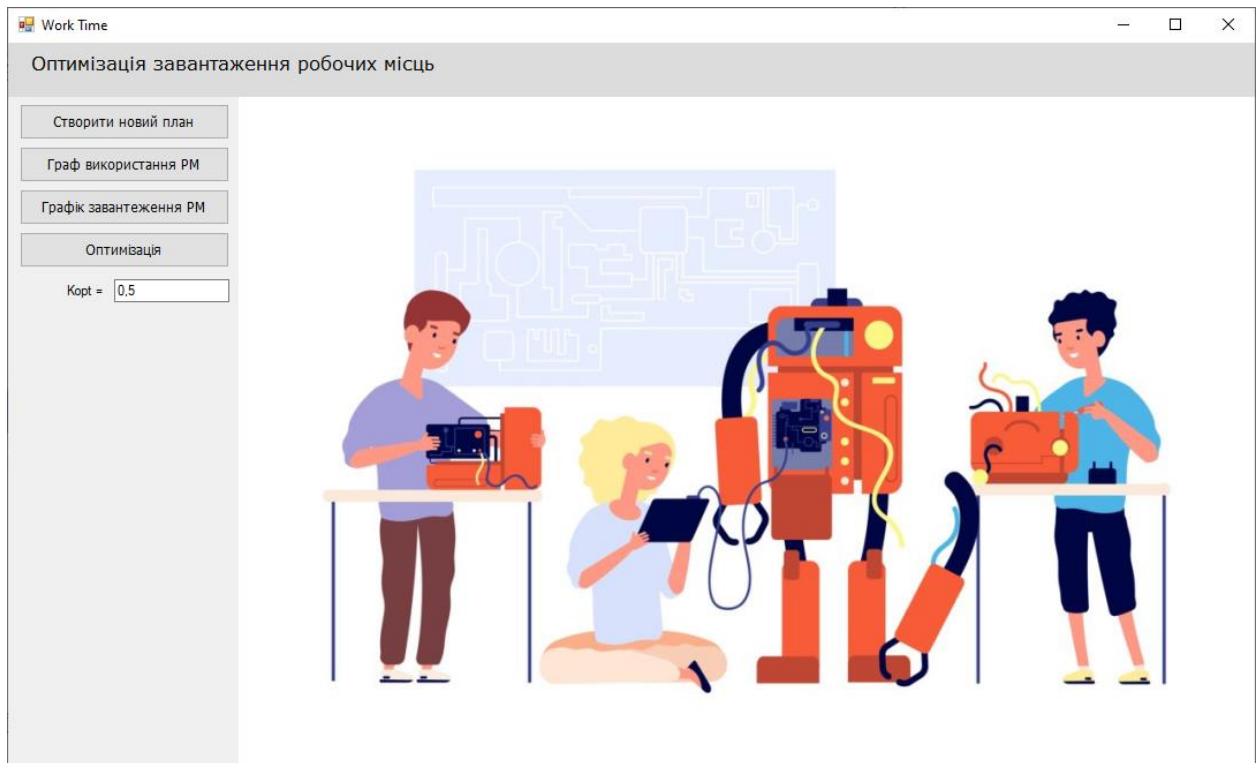


Рисунок 4.7 – Графічний інтерфейс програмного засобу

За допомогою кнопки Створити новий план викликається метод заповнення таблиці Operation\_WP (рисунок 4.8)

```

int maxOperation = 8;
int maxWP = 5;
var rand = new Random();
string sql = "";
//Заповнення таблиці суміжності операцій та робочих місць

sql = String.Format("Delete from Operation_WP;");
DataBase.Exec_SQL(sql);

for (int i = 1; i < maxOperation + 1; i++)
{
    int[] WP_List = new int[] { 0, 0, 0, 0, 0 };
    int k = 0;

    for (int w = 1; w < maxWP + 1; w++)
    {
        int WP = rand.Next(1, maxWP + 1);
        if (!WP_List.Contains(WP))
        {
            WP_List[k] = WP;
            k++;
            sql = String.Format("Insert Into Operation_WP (ID_Operation, ID_WorkPlace) values ('{0}', '{1}');", i, WP);
            DataBase.Exec_SQL(sql);
        }
    }
}

```

Рисунок 4.8 – Заповнення таблиці суміжності операцій та робочих місць

В даній таблиці зберігаються дані про можливість виконання операції на тому чи іншому робочому місці. Для експерименту даний список заповнюється випадковим методом для створення непередбаченої ситуації для розрахунку.

Після заповнення списку суміжності викликається метод створення плану виробництва. Приклад даної функції показано на рисунку 4.9.

```

sql = String.Format("Delete from Plan;");
DataBase.Exec_SQL(sql);
for (int i = 0; i < 100; i++)
{
    bool isOP = false;
    int OP_rnd = rand.Next(1, 9);

    String sql_OP = String.Format("Select * from Operation_WP where ID_Operation = '{0}';", OP_rnd);
    List<System.Object> OP_List = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("WorkTime.Operation_WP_Members", sql_OP);
    int WP = rand.Next(1, maxWP + 1);
    int maxOP = OP_List.Count;
    int numOP = rand.Next(0, maxOP);
    int OP = Int16.Parse((OP_List[numOP] as Operation_WP_Members).ID_Operation);

    int T_Start = rand.Next(0, 48);
    string sql_T = String.Format("select * from Plan where ID_Workplace = '{0}' and T_Start = '{1}';", WP, T_Start);
    List<System.Object> Time_List = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("WorkTime.PlanMembers", sql_T);

    if (Time_List.Count == 0)
    {
        sql = String.Format("Insert Into Plan (ID_Operation, ID_WorkPlace, T_Start, Tst) " +
            "values ('{0}', '{1}', '{2}', '{3}');", OP, WP, T_Start, 10);
        DataBase.Exec_SQL(sql);
    }
}

```

Рисунок 4.9 – Приклад функції створення плану виробництва

В процесі заповнення плану випадковим методом обирається операція, далі таким же чином обирається робоче місце. Для обраної пари назначається час початку і закінчення виконання операції. При цьому перевіряється, чи не є в таблиці вже заплановані операції на цей же час на обраному робочому місці. Якщо є, то обирається наступна випадкова послідовність.

Після закінчення формування плану робочої зміни можна запустити процедуру виведення на екран графу використання робочих місць для візуальної оцінки завантаженості виробничих ресурсів.

Для побудови графу використання робочих місць використовується функція Button2\_Click. Приклад даної функції показано на рисунку 4.10.

```

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    tablessControl1.SelectedTab = tabPage1;
    Application.DoEvents();

    Point_list.Clear();
    string sql_OP = String.Format("select * from Operation order by ID_Operation");
    List<System.Object> OP_List = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("WorkTime.OperationMembers", sql_OP);
    label1.Text = (OP_List[0] as OperationMembers).Name_OP;
    label2.Text = (OP_List[1] as OperationMembers).Name_OP;
    label3.Text = (OP_List[2] as OperationMembers).Name_OP;
    label4.Text = (OP_List[3] as OperationMembers).Name_OP;
    label5.Text = (OP_List[4] as OperationMembers).Name_OP;
    label6.Text = (OP_List[5] as OperationMembers).Name_OP;
    label7.Text = (OP_List[6] as OperationMembers).Name_OP;
    label8.Text = (OP_List[7] as OperationMembers).Name_OP;

    string sql_WP = String.Format("select * from WorkPlace order by ID_WorkPlace");
    List<System.Object> WP_List = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("WorkTime.WorkPlaceMembers", sql_WP);
    label9.Text = (WP_List[0] as WorkPlaceMembers).Name_WP;
    label10.Text = (WP_List[1] as WorkPlaceMembers).Name_WP;
    label11.Text = (WP_List[2] as WorkPlaceMembers).Name_WP;
    label12.Text = (WP_List[3] as WorkPlaceMembers).Name_WP;
    label13.Text = (WP_List[4] as WorkPlaceMembers).Name_WP;

    string sql_OWP = String.Format("select * from Operation_WP");
    List<System.Object> OWP_List = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("WorkTime.Operation_WP_Members", sql_OWP);
    foreach (System.Object ob in OWP_List)
    {
        string ID_OP = (ob as Operation_WP_Members).ID_Operation;
        string ID_WP = (ob as Operation_WP_Members).ID_WorkPlace;

        Point point_1 = GetCenterOP(ID_OP);
        Point point_2 = GetCenterWP(ID_WP);

        if (point_1.X < point_2.X) Point_list.Add(new PointWP(point_1, point_2));
        else Point_list.Add(new PointWP(point_1, point_2));
    }
    myPanel1.Refresh();
}

```

Рисунок 4.10 – Приклад функції побудови графу використання робочих місць

Отримані дані виводяться в спеціальні поля на екранній формі. Приклад побудови екранної форми показано на рисунку 4.11. В даному прикладі підготовлені поля для 8-ох функцій та 6-ти робочих місцях.

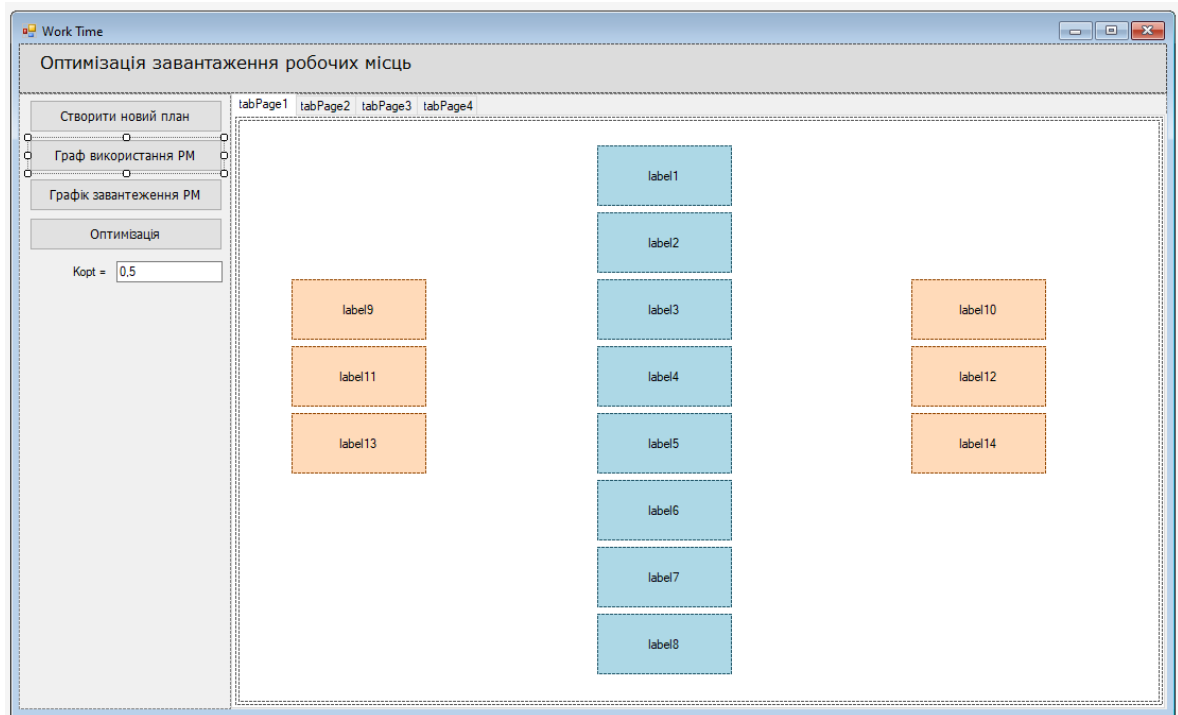


Рисунок 4.11 – Спеціальні поля на екранній формі для відображення графу використання робочих місць

Для побудови графіку завантаженості робочих місць використовується наступний шаблон (рисунок 4.12).

Робоче місце №0					
Робоче місце №1					
Робоче місце №2					
Робоче місце №3					
Робоче місце №4					

Рисунок 4.12 – Шаблон для побудови графіку завантаженості робочих місць

На рисунку можна бачити вісім комірок для кожної операції. Кожна комірка відповідає конкретній годині робочої зміни від 1 до 8 (робоча зміна – 8 годин).

Для побудови даного графіка використовується наступна функція (рисунок 4.13).

```

Pen blackPen = new Pen(Color.Black, 1);
Pen bluePen = new Pen(Color.Blue, 10);
Pen redPen = new Pen(Color.Red, 2);
Pen orangePen = new Pen(Color.Orange, 10);

//draw grid
int start_x_grid = 300;
int start_y_grid = 50;
for (int i = 0; i < 9; i++)
{
    Point point_grid_1 = new Point(start_x_grid + i * 50, start_y_grid);
    Point point_grid_2 = new Point(start_x_grid + i * 50, start_y_grid + 400);
    e.Graphics.DrawLine(blackPen, point_grid_1, point_grid_2);
}

for (int i = 0; i < 6; i++)
{
    Point point_grid_1 = new Point(start_x_grid - 200, start_y_grid + i * 80);
    Point point_grid_2 = new Point(start_x_grid + 400, start_y_grid + i * 80);
    e.Graphics.DrawLine(blackPen, point_grid_1, point_grid_2);
}

Point point_start_1 = new Point(start_x_grid - 200, start_y_grid);
Point point_start_2 = new Point(start_x_grid - 200, start_y_grid + 400);
e.Graphics.DrawLine(blackPen, point_start_1, point_start_2);

Font drawFont = new Font("Arial", 16);
SolidBrush drawBrush = new SolidBrush(Color.Black);
StringFormat drawFormat = new StringFormat();

for (int i = 0; i < 5; i++)
{
    String drawString = String.Format("Побоче місце №{0}", i);
    e.Graphics.DrawString(drawString, drawFont, drawBrush, start_x_grid - 190, start_y_grid + 30 + i * 80, drawFormat);
}

```

Рисунок 4.13 – функція для побудови графіка завантаженості робочих місць

Після отримання інформації про завантаженість робочих місць викликається оптимізаційна функція. Приклад даної функції показано на рисунку 4.14.

Функція виконується для кожного робочого місця та перевіряється можливість оптимізації його на кожній годині робочої зміни.

```

for (int i = 0; i < 5; i++)
{
    for (int j = 0; j < 8; j++)
    {
        int try_count = 0;
        while ((experiment[i, j] > (6 * Kopt)) && (try_count < 1))
        {
            //get list zamena

            int Tmin = j * 6;
            int Tmax = j * 6 + 6;

            //Находим операции, которые выполняются на данном рабочем месте
            string sql_OWP = String.Format("select * from Plan where ID_WorkPlace = '{0}' and T_Start BETWEEN '{1}' AND '{2}'", i + 1, Tmin, Tmax);
            List<System.Object> OWP_List = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("WorkTime.PlanMembers", sql_OWP);
            foreach (System.Object ob in OWP_List)
            {
                int minIndex = -1;
                int min = 100;

                string ID_OP = (ob as PlanMembers).ID_Operation;
                string ID_WP = (ob as PlanMembers).ID_WorkPlace;

                //поиск рабочих мест, где может быть выполнена текущая операция
                string sql_WP = String.Format("select * from Operation_WP where ID_Operation = '{0}'", ID_OP);
                List<System.Object> WP_List = (List<System.Object>)DataBase.LoadList("WorkTime.Operation_WP_Members", sql_WP);
                foreach (System.Object item in WP_List)
                {
                    string ID_OP_F = (item as Operation_WP_Members).ID_Operation;
                    string ID_WP_F = (item as Operation_WP_Members).ID_WorkPlace;

                    //Если номера мест совпадают, то продолжить поиск
                    if (ID_WP_F == (i + 1).ToString()) continue;

                    int Te = experiment[Int16.Parse(ID_WP_F) - 1, j];
                    if (Te < (6 * Kopt))
                    {
                        if (Te < min)
                        {
                            min = Te;
                            minIndex = Int16.Parse(ID_WP_F) - 1;
                        }
                    }
                }
            }
            if (minIndex > -1)
            {
                int temp = experiment[i, j];
                experiment[i, j]--;
                experiment[minIndex, j]++;
            }

            if (experiment[i, j] < (6 * Kopt)) break;
        }
        try_count++;
    }
}

```

Рисунок 4.14 – Приклад функції оптимізації завантаженості робочих місць

Для оптимізації використовується формула 2.5 та алгоритм 2.2. В якості прототипу форми для графічного інтерфейсу обрано рисунок 2.1.

## 4.2 Висновки по четвертому розділу роботи

В результаті виконання четвертого розділу кваліфікаційної роботи розроблена програмна реалізація запропонованого методу оптимізації завантаження робочих місць у сфері виробництва роботів.

Програма написана мовою програмування C# із застосуванням допоміжних бібліотек для роботи з базою даних. В якості бази даних використовується СУБД SQLite. Всі необхідні дані заносяться до бази даних на етапі проектування перед початком експерименту за допомогою програми редагування даних. Оперативні дані заносяться до бази безпосередньо при виконанні експерименту за допомогою розробленої програми.

Розроблені функції:

- створення плану виробництва;
- побудови графу використання робочих місць;
- побудови графіку завантаженості робочих місць;
- оптимізації завантаженості робочих місць.

## 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 5.1 Планування експерименту

Експериментальні дослідження направлені на перевірку працездатності запропонованого методу оптимізації завантаження робочих місць в інженерії робіт.

Умови експерименту наступні:

- випадковим методом формуються заявки на виконання операцій;
- випадковим методом генерується час виконання операції в межах робочої зміни (крок дискретизації часу початку виконання операції – 10 хвилин);
- з використанням запропонованого методу відбувається розподілення заявок між доступними робочими місцями;
- така ж сама процедура виконується без використання методу оптимізації завантаження робочих місць;
- наприкінці експерименту проводиться оцінка ефективності оптимізації робочих місць, при цьому порівнюється ступень та рівномірність завантаження суміжних робочих місць.

### 5.2 Проведення експерименту

Перед проведенням експерименту за допомогою засобу редагування бази даних SQLite SQLite Expert заповнюються таблиці WorkPlace та Operation. В першу таблицю заносяться назви робочих місця для виконання технологічних операцій. Приклад заповнення таблиці робочих місць показано на рисунку 5.1.

The screenshot shows a database application window with a table containing 5 records. The table has columns: RecNo, ID\_WorkPlace, and Name\_WP. The first record is highlighted in blue.

RecNo	ID_WorkPlace	Name_WP
1	5	Робоче місце 5
2	4	Робоче місце 4
3	3	Робоче місце 3
4	2	Робоче місце 2
5	1	Робоче місце 1

Рисунок 5.1 – Приклад заповнення таблиці робочих місць

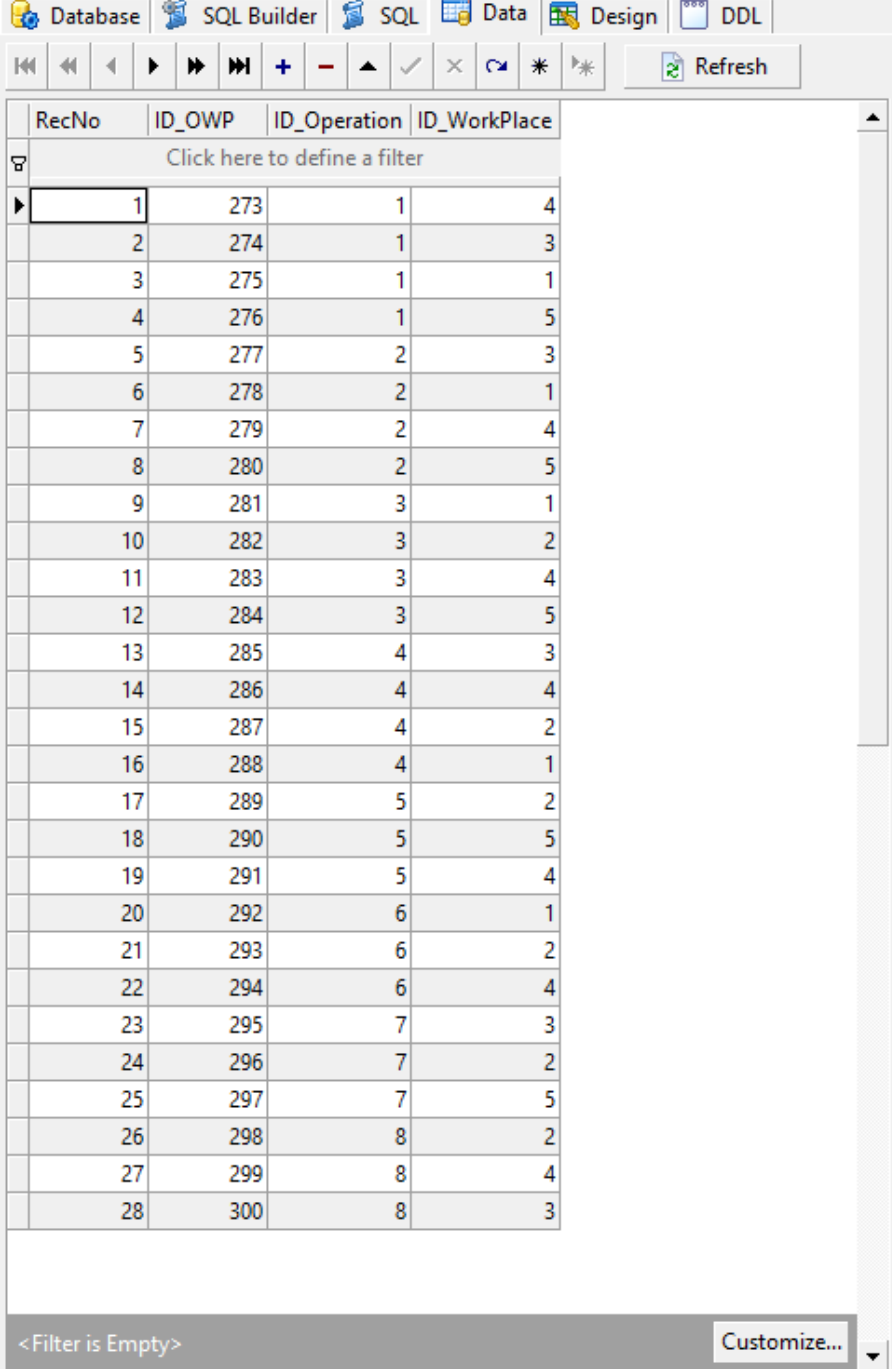
Приклад заповнення таблиці Operation показано на рисунку 5.2.

The screenshot shows a database application window with a table containing 8 records. The table has columns: RecNo, ID\_Operation, ID\_WorkPlace, Name\_OP, and Tst. The first record is highlighted in blue.

RecNo	ID_Operation	ID_WorkPlace	Name_OP	Tst
1	8	4	Фарбування	10
2	1	5	Збирання шасі мобільного робота	10
3	2	3	Встановлення двигунів	10
4	3	2	Встановлення модуля керування	10
5	4	3	Збирання модуля датчиків	10
6	5	2	Монтаж кабельної системи	10
7	6	4	Встановлення корпусних деталей	10
8	7	1	Настроювання роботи основних вузлів	10

Рисунок 5.2 – Приклад заповнення таблиці Operation

Після заповнення довідників даних запустимо процедуру генерації випадкових даних для побудови списку використання робочих місць. Результат роботи даної функції показано на рисунку 5.3.



RecNo	ID_OWP	ID_Operation	ID_WorkPlace
1	273	1	4
2	274	1	3
3	275	1	1
4	276	1	5
5	277	2	3
6	278	2	1
7	279	2	4
8	280	2	5
9	281	3	1
10	282	3	2
11	283	3	4
12	284	3	5
13	285	4	3
14	286	4	4
15	287	4	2
16	288	4	1
17	289	5	2
18	290	5	5
19	291	5	4
20	292	6	1
21	293	6	2
22	294	6	4
23	295	7	3
24	296	7	2
25	297	7	5
26	298	8	2
27	299	8	4
28	300	8	3

Рисунок 5.3 – Результат побудови списку використання робочих місць

За допомогою розроблено функції побудови графу використання робочих місць виконаємо візуальний аналіз завантаженості виробничих ресурсів. На рисунку 5.4 показано графу використання робочих місць.

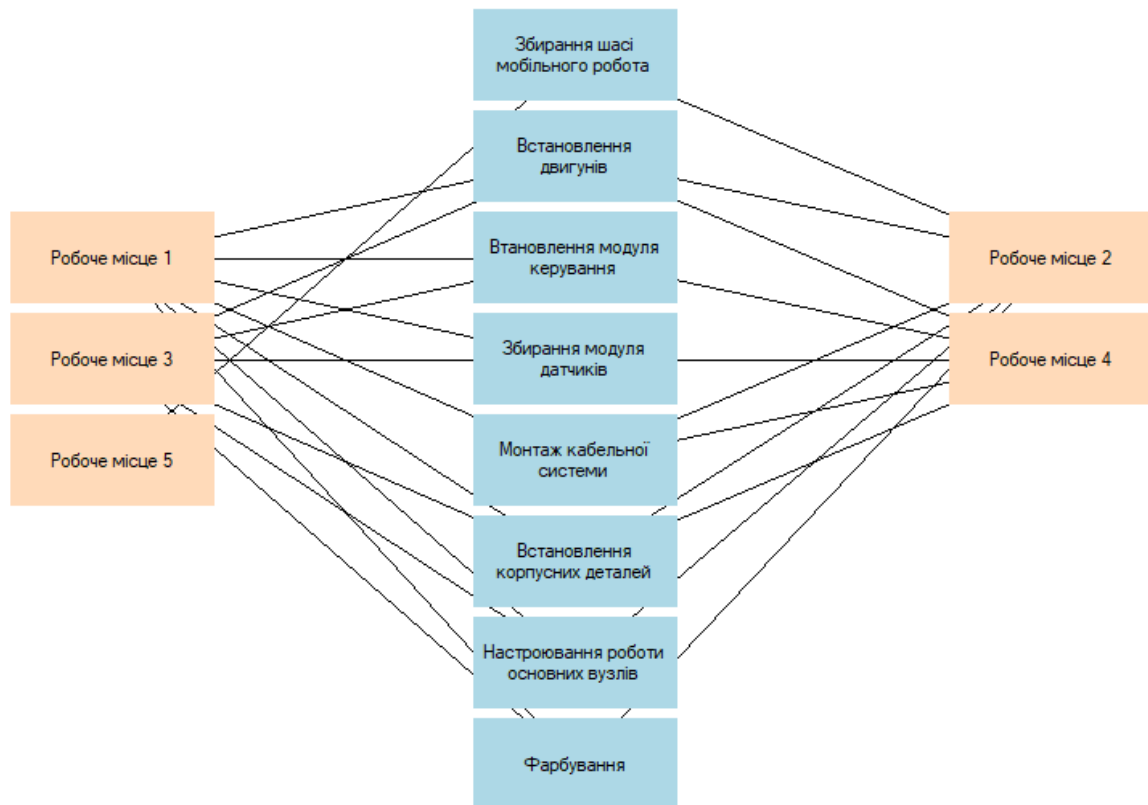


Рисунок 5.4 – Графу використання робочих місць

З наведеного рисунку для даного експерименту можна бачити, що деякі операції, наприклад, «Збирання шасі мобільного робота», можуть виконуватись лише на двох робочих місцях виробничої ділянки. Такі операції потенційно небезпечні для оптимізації, тому що при значно попиті на них в плані виробництва у програми не буде можливості для переміщення заявок на інші місця.

Задача ускладнюється завдяки тому, робочі місця можуть використовуватись для виконання різних операцій. Таким чином, неможливо заздалегідь передбачити порядок розподілу операцій за робочими місцями.

Єдиним можливим шляхом є використання запропонованого методу оптимізації завантаження робочих місць.

Виконаємо аналіз завантаженості робочих місць за допомогою відповідної функції. Результат її роботи показано на рисунку 5.5.

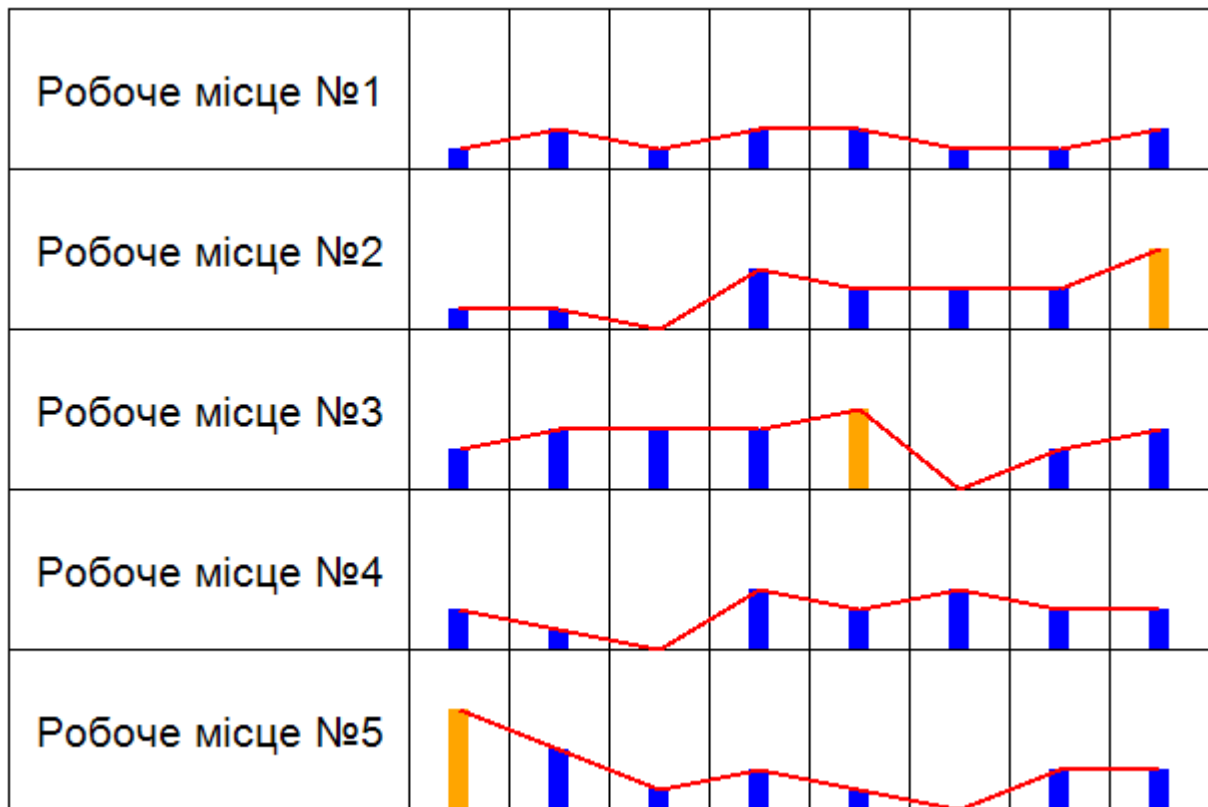


Рисунок 5.5 – Результат виконання аналізу завантаженості робочих місць

З наведеного рисунку можна бачити графічне представлення використання кожного робочого місця по годинам робочої зміни. Висота стовпчика прямо пропорційна завантаженості.

Помаранчеві стовпчики показують проблемні ділянки в плані виробничого процесу. Наприклад, на даному рисунку для робочого місця №5 на першому часі робочої зміни завантаженість перевищує задане значення  $K_{opt} = 0,5$  відсотків від виробничих можливостей. Так само, потрібно оптимізувати завантаженість робочого місця №3 на 5-й годині роботи та робочого місця №2 на 8-й.

Виконаємо оптимізацію завантаженості робочих місць за допомогою розробленого методу. Результат його роботи показано на рисунку 5.6.

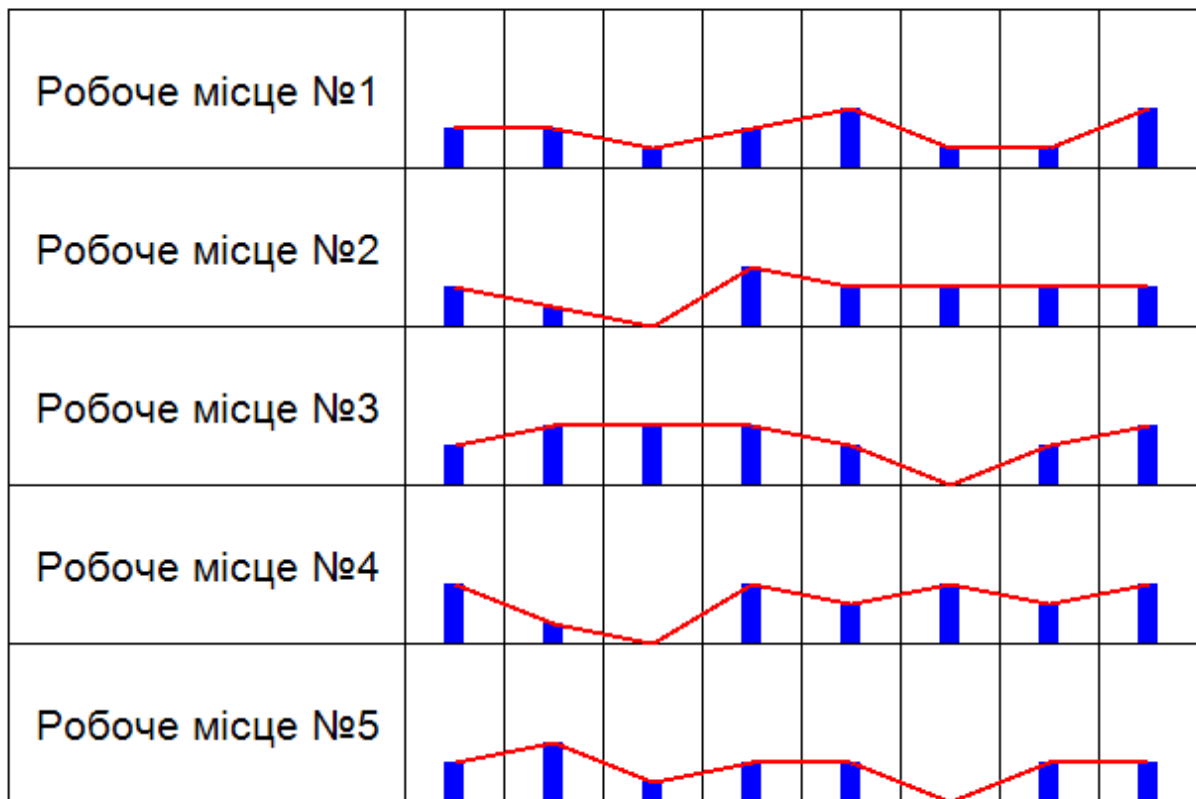


Рисунок 5.6 – Результат роботи розробленого методу оптимізації завантаженості робочих місць

З наведеного рисунку можна бачити, що проблемні ділянки плану робіт були оптимізовані. Також можна бачити, що деякі місця мають значно низький коефіцієнт завантаження. Така обставина полягає в тому, що не всі робочі місця взаємозамінні та в результаті припущення на початку експерименту (випадковий метод побудови плану виробництва) на деякі з них попадають заявки на унікальні операції, які перенести не має змоги.

Таким чином, можна зробити висновок, що запропонований метод працездатний та може використовуватись на виробництві для оптимізації робочого часу.

В результаті аналізу роботи розробленого методу також виявлено можливість для подальшої його модернізації. Наприклад, можна додати функцію «вирівнювання» навантаження на робочі місця за рахунок рівномірного переміщення заявок між суміжними об'єктами виробництва.

### 5.3 Забезпечення техніки безпеки при роботі над науково-дослідними проектами

#### 5.3.1 Промислова безпека в лабораторії

За електробезпеки приміщення лабораторії відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки, так як в даному приміщенні відсутні умови, що створюють небезпеку. До цих умов відносяться: підвищена вологість, наявність струмопровідного пилю, струмопровідної підлоги, висока температура, можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі мають з'єднання з землею з одного боку і металевих корпусів електроприладів з іншого, наявність хімічно активного середовища.

З метою уникнення ризику ураження людини електричним струмом проектом передбачається використання таких технічних засобів захисту:

- необхідно проводити контроль ізоляції відповідно до вимог ПУЕ-2011. Контроль проводити між нульовим і фазним провідниками і між фазами. Опір ізоляції не менше 500 кОм на фазу. Контроль проводити не рідше 1 разу на рік при відключеному електроживленні;

- використовується електрична мережа з заземленою нейтраллю напругою до 1000В, то згідно ГОСТ 12.1.030-81 всі металеві конструкції і частини обладнання, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку, були занулені.

### 5.3.2 Виробнича санітарія в лабораторії

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 в приміщенні встановлені наступні метеорологічні параметри:

а) для холодного періоду:

- 1) температура повітря від 22 до 24 ° С;
- 2) вологість повітря від 40 до 60%;
- 3) швидкість руху повітря оптимальна 0,1 м / с;

б) для теплого періоду року:

- 1) температура повітря від 23 до 25 ° С;
- 2) вологість повітря від 40 до 60%;
- 3) швидкість руху повітря оптимальна 0,1 м / с;

Для освітлення робочих місць в приміщенні використовується як природне бічне освітлення, так і штучне освітлення. Штучне освітлення в лабораторії повинно бути 300-500 Лк. Природне освітлення при комбінованому освітленні забезпечує КПО менше 1,2%, згідно з ДБН В.25-28-2006.

Так як домінуючим фактором є підвищений рівень шуму в приміщенні, то проведемо розрахунок шумозаглушення для приведення цього фактору в норму.

У приміщенні стіни і стеля оштукатурені і покриті олійною фарбою. Площа вікон 8м<sup>2</sup>, підлога паркетна. Передбачається використовувати в якості звукобічної облицювання напилена Sonaspreu, коефіцієнт звукопоглинання ( $\alpha$ ) якого дорівнює 1 на частоті 1000 Гц. Обробці піддаються стіни і стеля. Загальний рівень шуму ( $L_{об}$ ) в приміщенні одно 56 дБА, що не відповідає вимогам НПАОП 0.00-1.28-10, ДСН 3.3.6.037-99.

Розрахуємо середній коефіцієнт поглинання акустично необробленого приміщення:

$$\alpha'_s = \frac{K}{K + S} \quad (5.1)$$

де  $K$  – постійна приміщення;

Значення  $k$  визначається з графіка для середньо геометричних частот в залежності від об'єму приміщення  $V$ ,  $m^3$  рекомендується проводити акустичну обробку приміщення, якщо величина коефіцієнта звукопоглинання на частоті 1000 Гц акустично необробленого приміщення не перевищує 0,25.

$$K = 20.$$

$S$  – сумарна площа огорожувальних поверхонь.

$$S = 2 \cdot 4 \cdot 8 + 2 \cdot 8 \cdot 3,5 + 2 \cdot 4 \cdot 3,5 = 148 \text{ м}^2 \quad (5.2)$$

Тоді середній коефіцієнт поглинання дорівнює:

$$\alpha'_s = \frac{20}{20 + 148} = 0,12$$

Розрахуємо коефіцієнт звукопоглинання акустично обробленого приміщення:

$$\alpha_s = \frac{1}{S} \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i, \quad (5.3)$$

де  $S$  – сумарна площа огорожувальних поверхонь;

$\alpha_i$  – коефіцієнт звукопоглинання ізоляційного матеріалу (на 1000 Гц);

$S_i$  – площа оброблюваних поверхонь.

$$S_i = S_{\text{об.}} - S_{\text{окон}} - S_{\text{двері}}$$

$$S_i = 148 - 8 - 6 = 134$$

$$\alpha_s = \frac{1}{148} \cdot 134 = 0,9$$

Обчислимо акустичний ефект від застосування звукоізолюючих матеріалів:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{\alpha_s}{\alpha_s} \quad (5.4)$$

тоді:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{0,9}{0,12} = 7,5 \text{ дБ}$$

Розрахуємо кількість децибел, на яке зменшився рівень шуму:

$$L = L_{об} - \Delta L \quad (5.5)$$

$$L = 56 - 7,5 = 48,5 \text{ дБ}$$

Після застосування звукопоглинальних матеріалів рівень шуму знизився до допустимих норм в 50 дБ.

### 5.3.3 Пожежна безпека лабораторії

Категорія пожежної та вибухонебезпечної лабораторії – В (по НАПБ Б.03.002-2007). Наукова лабораторія відноситься до 1-го ступеня вогнестійкості (по ДБН В.1.1.7-2002). Крім того, в приміщеннях НЛ слід встановлювати порошкові вогнегасники, такі як ВВК-1, 4. На дане приміщення необхідно 2 вогнегасника ВВК-2. (НАПБ.03.001-2204. Типові норми належності вогнегасників.)

Причинами пожежі в НЛ можуть бути коротке замикання електропроводки, несправність електрообладнання, руйнування ізоляції провідників, порушення правил пожежної безпеки, а також підвищена температура всередині приміщення.

Пожежна безпека в приміщенні забезпечується відповідно до ДБН В.2.5-56-2010 системою запобігання пожежі, протипожежного захисту та організаційно-технічними заходами.

Згідно ДБН В.2.5.-13-98 в приміщенні встановлено точковий димовий пожежний сповіщувач, який контролює площу до 86 м<sup>2</sup>.

Організаційні заходи:

- проводиться інструктаж персоналу з пожежної безпеки;
- розроблено заходи щодо дій адміністрації в разі виникнення пожежі;
- на видному місці поміщена схема евакуації при пожежі.

#### 5.4 Висновки по п'ятому розділу роботи

В результаті виконання п'ятого розділу кваліфікаційної роботи виконано планування експерименту, описані умови проведення експерименту, описано порядок проведення експерименту.

За допомогою розроблено функції побудови графу використання робочих місць виконаємо візуальний аналіз завантаженості виробничих ресурсів.

Виконано програмний аналіз завантаженості робочих місць за допомогою відповідної функції. Виконано оптимізацію завантаженості робочих місць за допомогою розробленого методу. Проведено аналіз отриманих даних та надано пропозиції щодо подальшої модернізації запропонованого методу оптимізації завантаженості робочих місць.

Розглянуті питання безпеки в лабораторії під час роботи над науково-дослідними проектами.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання першого розділу кваліфікаційної роботи виконано аналіз особливостей контролю якості продукції на автоматизованих виробництвах. Показано, специфіка роботизованих виробництв полягає в тому, що помилки і збої в технологічних процесах відбуваються не з вини оператора. На таких виробництвах контроль якості роботи устаткування в цьому випадку може здійснюватися шляхом зіставлення з модельною виробничою системою (тобто системою віртуального виробництва).

Проведено аналіз сучасних методів планування на виробничому підприємстві та розглянуто підприємство як система складається з керованої і керуючої підсистем, з'єднаних між собою каналами передачі інформації.

Показані сучасні підходи до рішення завдань оптимального управління промисловим підприємством. Виконана постановка завдання оптимального управління промисловим підприємством та проаналізовані різні методи ціноутворення. Надані їх переваги та недоліки.

На основі розглянутих методів управління виробництвом необхідно вдосконалити метод оптимізації управління процесом виробництва.

В результаті виконання другого розділу кваліфікаційної роботи запропоновано метод оптимізації управління виробничими процесами. Проведено аналіз графіку завантаження обладнання та розглянута методика оптимізації завантаження робочих місць. Розроблено алгоритм пошуку оптимального рішення для рівномірного завантаження обладнання та надано його опис.

В результаті виконання третього розділу магістерської кваліфікаційної роботи розроблена концептуальна модель даних для зберігання отриманої від аналітичної підсистеми інформації про стан технологічного процесу. Кожна сутність представлена відповідним відношенням. Всього реалізовано п'ять сутностей: працівник, робоче місце, технологічна операція, результати

вимірювань та допоміжна таблиця для реалізації зв'язку багато-до-багатьох між сутностями працівник і робоче місце.

В результаті аналіз розробленої концептуальної моделі даних та плануванні експериментальних досліджень була виконана модернізація структури бази даних. Концептуальна модель реалізована у вигляді фізичних моделей даних що показано у відповідних структурах таблиць бази даних.

В результаті виконання четвертого розділу кваліфікаційної роботи розроблена програмна реалізація запропонованого методу оптимізації завантаження робочих місць у сфері виробництва роботів.

Програма написана мовою програмування C# із застосуванням допоміжних бібліотек для роботи з базою даних. В якості бази даних використовується СУБД SQLite. Всі необхідні дані заносяться до бази даних на етапі проектування перед початком експерименту за допомогою програми редагування даних. Оперативні дані заносяться до бази безпосередньо при виконанні експерименту за допомогою розробленої програми.

Розроблені функції:

- створення плану виробництва;
- побудови графу використання робочих місць;
- побудови графіку завантаженості робочих місць;
- оптимізації завантаженості робочих місць.

В результаті виконання п'ятого розділу кваліфікаційної роботи виконано планування експерименту, описані умови проведення експерименту, описано порядок проведення експерименту.

За допомогою розроблено функції побудови графу використання робочих місць виконаємо візуальний аналіз завантаженості виробничих ресурсів.

Виконано програмний аналіз завантаженості робочих місць за допомогою відповідної функції. Виконано оптимізацію завантаженості робочих місць за допомогою розробленого методу. Проведено аналіз отриманих даних та надано

пропозиції щодо подальшої модернізації запропонованого методу оптимізації завантаженості робочих місць.

Таким чином, можна зробити висновок, що запропонований метод працездатний та може використовуватись на виробництві для оптимізації робочого часу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008–2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Документація. – Введ. 2015-06-22. - К.: Держстандарт України, 2015. - 31 с.
2. Методичні вказівки з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 50 с.
3. Балашов А.И. Производственный менеджмент (организация производства) на предприятии. – СПб.: Питер, 2009. – 160 с.
4. Fowler M. MicroservicePrerequisites [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://martinfowler.com/bliki/MicroservicePrerequisites.html>. – 20.10.2020 р.
5. Теорія проектного менеджменту [Електронний ресурс] – Електрон. текстові дані. – Режим доступу : <http://koryukivka-rada.gov.ua/korysna-informatsiya/proektnyj-menedzhment/teoriya-proektnogo-menedzhmentu/> – 1.06.2021.
6. Система підтримки рішень [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Система\\_підтримки\\_рішень](https://uk.wikipedia.org/wiki/Система_підтримки_рішень) – 21.10.2021 р.
7. Варналій З. С. Бізнес-планування підприємницької діяльності : навч. посіб. / З. С. Варналій, Т. Г. Васильців, Р. Л. Лупак, Р. Р. Білик. Чернівці : Технодрук, 2019. 264 с.
8. Лаврів Л. А. Планування діяльності організації : навч. посіб. / Л. А. Лаврів. – Тернопіль : Крок, 2015. – 320 с..

9. Matveeva E.A., Simagina S.G. (2019). Model analysis and optimization of operating rates of enterprises with small-series production type. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, [online] 2(6). Available at: <https://resources.today/PDF/16ECOR219.pdf>
10. Erel E, Sabuncuoglu I, Sekerci H (2005) Stochastic assembly line balancing using beam search. *Int J Prod Res* 43(7):1411–1426.
11. Florian M., Kemper J., Sihm W., Hellingrath B. Concept of transport-oriented scheduling for reduction of inbound logistics traffic in the automotive industries – 2011. Vol. 4, Issue 3, pp. 252-257.
12. Gendreau M., Potvin J. Tabu Search // *Handbook of Metaheuristics: International Series in Operations Research & Management Science*. – 2010. Vol. 146 – pp. 41-59.
13. L. Yilmaz, W. K. V. Chan, I. Moon, T. M. K. Roeder, C. Macal, and M. D. Rossetti, eds. Simulation model to control risk levels on process equipment through metrology in semiconductor manufacturing - 2015. – pp. 2941-2952.
14. PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database [Електронний ресурс] – Електрон. текстові дані. – Режим доступу : <https://www.postgresql.org/> – 21.09.2021.
15. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-394> – дата звернення 02.11.2021.
16. Цимбал О.М., Бронніков А.І. Системи адаптації роботів і технологія OpenCV: Навчальний посібник – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 148 с.
17. I. Nevliudov, O. Tsymbal, A. Andrusevitch, V. Gopejenko. *Intelligent Decision-Making Support for Flexible Integrated manufacturing* – Riga: ISMA, 2020. – 390 p.
18. Nevlyudov I., Tsymbal O., Bronnikov A. Intelligent means in the system of managing a manufacturing agent / *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2018. № 1 (3). – С. 33-47.