

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра системного аналізу та управління
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

Студентки _____ Вітюк Анни Олексіївни

академічної групи _____ 124-21-2

спеціальності _____ 124 Системний аналіз

на тему: «Розробка економіко-математичної моделі оптимізації розподілу трудових ресурсів»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	Інституційною	
кваліфікаційної роботи	<i>доц. Одновол М.М.</i>			
розділів:				
Інформаційно-аналітичний	<i>доц. Одновол М.М.</i>			
Спеціальний розділ	<i>доц. Одновол М.М.</i>			
Рецензент	<i>доц. Логвін В.М.</i>			
Нормоконтролер	<i>доц. Хом'як Т.В.</i>			

Дніпро
2025

завідувач кафедри

Системного аналізу та управління

(повна назва)

_____ к.т.н., доц. Желдак Т.А.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студентки Вітюк А.О. академічної групи 124- 21-2

спеціальності: 124 Системний аналіз

на тему «Розробка економіко-математичної моделі оптимізації розподілу
трудових ресурсів»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка»

від 05.05.2025 р. №336-с

Розділ	Зміст	Терміни виконання
1. Інформаційно-аналітичний розділ	<i>Проаналізувати організаційно-економічні характеристики та структуру підприємства. Провести аналіз собівартості та класифікацію витрат у виробництві.</i>	10.03.2025 – 01.05.2025
2. Спеціальний розділ	<i>Виконати змістовну постановку задачі, побудувати математичну оптимізаційну модель. Обґрунтувати вибір методу розв'язання задачі оптимізації та відповідного програмного забезпечення. Розрахувати економічний ефект від впровадження запропонованого методу</i>	01.04.2025 – 10.06.2025

Завдання видано _____

(підпис)

доц. Одновол М.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі: 06.03.2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: 20.06.2025 р.

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Вітюк А.О.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 57 стор., 11 рис., 7 табл., 2 додатки, 17 джерел.

Об'єкт дослідження: процес розподілу працівників по робочих місцях при виконанні покрівельних робіт.

Предмет розробки: математична модель та програмне забезпечення розв'язання задачі оптимізації розподілу працівників.

Мета бакалаврської роботи: розробити економіко-математичну модель оптимізації розподілу трудових ресурсів на ТОВ «Stroy-Ukraine».

В інформаційно-аналітичному розділі проаналізовані організаційно-економічні характеристики та структура підприємства. Проведено аналіз собівартості та класифікацію витрат у виробництві. Розглянуті сучасні методи та засоби планування виробничих потужностей.

У спеціальному розділі запропоновані змістовна постановка задачі та математична оптимізаційна модель. Обґрунтовано вибір методу розв'язання задачі оптимізації та відповідного програмного забезпечення. Розраховано економічний ефект від впровадження запропонованого методу.

Практична цінність отриманих в роботі результатів полягає у отриманні програмної реалізації математичної моделі оптимізації розподілу персоналу при виконанні комплексу робіт, а також методу її розв'язання.

Розроблена модель може використовуватися як на ТОВ «Stroy-Ukraine», так і на інших будівельних та ремонтних підприємствах з метою здешевлення покрівельних робіт.

Ключові слова: ПЛАНУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, РОЗКЛАД, БРИГАДА, ВИТРАТИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПОКРІВЕЛЬНІ РОБОТИ, ПРОГРАМА, ЗМІНА.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 57 pages, 11 figures, 7 tables, 2 appendices, 17 sources.

Object of research: the process of distributing workers to workplaces when performing roofing work.

Subject of development: mathematical model and software for solving the problem of optimizing the distribution of workers.

Purpose of bachelor's thesis: to develop an economic and mathematical model for optimizing the distribution of labor resources at LLC "Stroy-Ukraine"

In the information and analytical section, organizational and economic characteristics and structure of the enterprise are analyzed. An analysis of the cost price and classification of costs in production are carried out. Modern methods and means of planning production capacities are considered.

In a special section, a meaningful statement of the problem and a mathematical optimization model are proposed. The choice of the method for solving the optimization problem and the corresponding software is justified. The economic effect of implementing the proposed method is calculated.

The *practical value* of the results obtained in the work lies in obtaining a software implementation of a mathematical model for optimizing personnel distribution when performing a complex of works, as well as a method for solving it.

The developed model can be used both at LLC "Stroy-Ukraine" and at other construction and repair enterprises in order to reduce the cost of roofing works.

Keywords: PLANNING, OPTIMIZATION, SCHEDULE, CREW, COSTS, EFFICIENCY, ROOFING WORKS, PROGRAM, SHIFT.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1. Організаційно-економічна характеристика та структура підприємства	8
1.2 Собівартість і класифікація витрат у виробництві	15
1.3 Планування завдань.....	16
1.4. Представлення розкладів	24
1.5 Математичний апарат розв'язання задач календарного планування	30
1.6 Висновки до розділу	37
2. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	39
2.1 Змістовна постановка проблеми.....	39
2.2 Математична модель	39
2.3 Інформаційна модель	42
2.4 Економічна ефективність.....	50
2.5 Висновки до розділу.....	52
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ	58

ВСТУП

При плануванні виробничих процесів часто виникає необхідність вирішення завдань планування, що полягають у визначенні послідовності виконання різних робіт. З математичної точки зору задачі планування складні для вирішення через складність формалізації різних технологічних вимог. Прикладами математичних моделей, що вирішують задачу планування, є задачі однієї і двох машин, що полягають у визначенні послідовності обробки деталей на одній або двох машинах. Для більшої кількості машин досі немає точного рішення.

Що стосується завдань розподілу робочого персоналу по робочих місцях (завдання доручення), то тут успішно використовуються як точні методи (метод розгалужень і меж, методи дискретного програмування), так і евристичні методи, тобто способи, що формалізують процес мислення людини при складанні календарного плану.

У даній кваліфікаційній роботі розглядається проблема планування покрівельних робіт промислових будівель і споруд зі зварними покрівельними матеріалами силами великої кількості робітників. Показано, що така задача, пов'язана з класом завдань призначення, може бути зведена до схеми нелінійного булевого програмування.

Об'єктом дослідження є процес розподілу працівників по робочих місцях при виконанні покрівельних робіт.

Предмет розробки: математична модель та програмне забезпечення розв'язання задачі оптимізації розподілу працівників.

Мета бакалаврської роботи: розробити економіко-математичну модель оптимізації розподілу трудових ресурсів на ТОВ «Stroy-Ukraine».

Для досягнення поставленої мети дослідження в роботі поставлені та вирішені наступні завдання:

- проаналізувати організаційно-економічні характеристики та структуру підприємства;

- провести аналіз собівартості та класифікацію витрат у виробництві;
- розглянути сучасні методи та засоби планування виробничих потужностей;
- запропонувати змістовну постановку задачі та сформулювати математичну оптимізаційну модель;
- обґрунтувати вибір методу розв'язання задачі оптимізації та відповідного програмного забезпечення;
- розрахувати економічний ефект від впровадження запропонованого методу.

Практична цінність отриманих в роботі результатів має полягати у отриманні програмної реалізації математичної моделі оптимізації розподілу персоналу при виконанні комплексу робіт, а також методу її розв'язання. Розроблена інформаційна система має забезпечувати вирішення задачі призначення в автоматичному режимі.

1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Організаційно-економічна характеристика та структура підприємства

ТОВ «Stroy-Ukraine» — це сучасна будівельна компанія, що спеціалізується на монтажі покрівель «під ключ» у місті Дніпро та по всій Дніпропетровській області. Компанія активно працює на ринку понад 10 років, надаючи повний комплекс послуг у сфері покрівельних робіт: від виїзду фахівця на об'єкт до здачі готової покрівлі із супровідною документацією та гарантією.

Основні напрямки діяльності компанії включають:

- монтаж фальцевих, металочерепичних та бітумних покрівель;
- демонтаж старих покрівельних конструкцій;
- утеплення дахів і пароізоляція;
- встановлення водостічних систем;
- індивідуальне проектування складних дахових форм.

Ключовими перевагами підприємства є:

- використання сертифікованих матеріалів (RUUKKI, ІКО, Katepal тощо);
- офіційне укладання договорів з клієнтами з фіксацією обсягів, строків і гарантійних зобов'язань;
- власна логістика та постачання матеріалів;
- високий рівень технічної підготовки монтажних бригад.

Організаційна структура підприємства охоплює:

- Проектно-кошторисний відділ, який здійснює заміри, складає технічні завдання та кошториси;
- Монтажні бригади, у складі яких працюють покрівельники, підсобні працівники та стропальники;
- Відділ постачання, який забезпечує безперерйну закупівлю і доставку матеріалів;

- Маркетинговий відділ, що займається просуванням послуг компанії та залученням нових клієнтів;
- Відділ контролю якості, відповідальний за технічний нагляд і приймання об'єктів;
- Адміністративна служба, яка забезпечує загальне управління, ведення документації, кадрову політику.

Монтажні роботи виконуються кількома бригадами, які спеціалізуються на різних видах покрівельних покриттів. Кожна бригада включає:

- 3–4 покрівельників;
- 1–2 помічників;
- 1 стропальника (за потреби);
- бригадира, який відповідає за організацію робіт і взаємодію з технаглядом замовника.

Фінансово-економічні показники компанії демонструють стабільне зростання. У 2023 році компанія виконала понад 150 об'єктів загальною площею понад 85 000 м² покрівельних робіт. За оцінками, обсяг реалізації послуг перевищив 40 млн грн.

Завдяки системному підходу до організації робіт, використанню якісних матеріалів, оптимізації процесів і ефективному управлінню трудовими ресурсами, ТОВ «Stroy-Ukraine» займає лідируючі позиції у своєму сегменті на ринку будівельних послуг Дніпра.

На даний момент компанія має три будівельні майданчики, складський майданчик та майданчик транспортного об'єкта. Координація робіт, ліцензування робіт, перевірка та навчання з техніки безпеки і пожежної безпеки персоналу здійснюється через службу головного інженера. Реклама робіт, участь в тендерах здійснюється через відділ маркетингу.

Секція №1 – виконує роботи з ремонту м'якої покрівлі рулонними покрівельними матеріалами на потужностях Замовника. На ділянці працюють три будівельні бригади на чолі з виконробами. Очолює ділянку керівник дільниці. До складу кожної команди входять:

- 4 покрівельники-ізолятори,
- 2 підсобних робітника,
- 1 стропник, для підйому покрівельного матеріалу на дах.

В обов'язки керівника сайту входить: Укладення договору на виконання робіт з Замовником; підготовка кошторисної документації; узгодження ціни, обсягу та термінів виконання робіт; відповідальність за якість роботи; контроль за дотриманням вимог безпеки та пожежної безпеки під час виконання робіт на об'єктах; після закінчення робіт підписання акту виконаних робіт з Замовником; відстеження як авансової оплати за роботу Замовником, так і остаточного розрахунку згідно з актами виконаних робіт.

В обов'язки виконроба входить: організація роботи на об'єкті; отримання всіх дозвільних документів для початку робіт; постійний інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки для працівників; ведення табеля обліку робочого часу; оформлення актів про допуск до роботи; контроль якості роботи; облік витрати будівельних матеріалів.

Склад робіт по ремонту м'якої покрівлі покрівельними рулонними зварними матеріалами:

1. Демонтаж старої покрівлі з покрівельних матеріалів,
2. влаштування цементної вирівнюючої стяжки,
3. нанесення бітумної мастики на цементну стяжку,
4. Облаштування підкладкового шару з зварного матеріалу
5. Облаштування верхнього шару зварюваного матеріалу
6. облаштування абатментів із зварних матеріалів.

Секція №2 – виконує роботи з монтажу металочерепиці на об'єктах Замовника. На ділянці працюють дві будівельні бригади на чолі з виконробами.

Очолює ділянку майстер ділянки. До складу кожної команди входять:

- 3 покрівельники-ізолятори,
- 3 підсобних робітника,
- 1 стропник, для підйому покрівельного матеріалу на дах.

В обов'язки виконроба дільниці входить: узгодження ціни, обсягу і термінів виконання робіт; складання карти розкрою листів металочерепиці по площинах покрівлі; розрахунок кількості дерев'яного каркаса для пристрою обрешітки; відповідальність за якість роботи; контроль за дотриманням вимог безпеки та пожежної безпеки під час виконання робіт на об'єктах; після закінчення робіт підписання акту виконаних робіт з Замовником; відстеження як авансової оплати за роботу Замовником, так і остаточного розрахунку згідно з актами виконаних робіт.

В обов'язки виконроба входить: організація роботи на об'єкті; постійний інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки для працівників; ведення таблиця обліку робочого часу; оформлення актів про допуск до роботи; контроль якості роботи; облік витрати будівельних матеріалів.

Склад робіт по влаштуванню металочерепиці:

1. Демонтаж старого покрівельного покриття,
2. решетування з дерев'яних брусків з вирівнюванням площин покрівлі,
3. розкрій заготовок з металочерепиці за технологічною схемою,
4. покрівля з металочерепиці,
5. монтаж упакованих виробів з металочерепиці,
6. Влаштування водозливної системи.

Дільниця №3 – виконує роботи по влаштуванню кислотостійких підлог в промислових будівлях і спорудах. На ділянці працюють дві будівельні бригади на чолі з виконробами. Дільницю очолює майстер дільниці. До складу кожної команди входять:

- 4 плиточника,
- 2 підсобних робітника.

В обов'язки виконроба дільниці входить: визначення обсягу робіт по влаштуванню кислотостійких підлог; узгодження з Замовником технології виконання робіт, а також використовуваних матеріалів; підготовка кошторисної документації; узгодження ціни і термінів виконання робіт; відповідальність за якість роботи; контроль за дотриманням вимог безпеки та пожежної безпеки під

час виконання робіт на об'єктах; після закінчення робіт підписання акту виконаних робіт з Замовником; відстеження як авансової оплати за роботу Замовником, так і остаточного розрахунку згідно з актами виконаних робіт.

В обов'язки виконроба входить: організація роботи на об'єкті; постійний інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки для працівників; ведення таблиця обліку робочого часу; контроль якості роботи; облік витрати будівельних матеріалів.

Склад робіт по влаштуванню кислотостійких підлог:

1. демонтаж старих тумб з кислотостійкої плитки за допомогою перфораторів і відбійних молотків,
2. очищення приміщення від будівельного сміття,
3. установка маяків для пристрою ухилу підлоги,
4. влаштування цементної вирівняної стяжки,
5. монтаж гідроізоляційного шару,
6. кислотостійка плиткова підлога,
7. монтаж водозабірної каналізації.

Майданчик для зберігання – виконує роботи з розвантаження (навантаження) та зберігання будівельних матеріалів, відвантаження матеріалів на об'єкти Замовника за запитом керівників дільниці. Персонал зберігального майданчика включає в себе:

- 2 навантажувачі,
- 1 завідувач складського господарства.

Ділянка транспортного господарства – виконує роботи з доставки будівельних матеріалів на об'єкти Замовника за запитом керівників об'єкта. На сайті представлені:

- 2 водії,
- 1 експедитор,
- 1 механік.

Відділ маркетингу – займається пошуком нових договорів на ремонтні роботи, вивчає ринок покрівельних матеріалів і подає замовлення на доставку матеріалів з заводу виробника в складську зону. До складу відділу входять:

- 2 фахівці з маркетингу.

У 2023 році балансовий прибуток підприємства досяг 954 тисяч гривень, що в 2 рази більше, ніж у 2022 році (477 тис. грн)

Вартість основних засобів підприємства станом на 1 січня 2025 року становила 1 086 тис.грн. Амортизація основних засобів - 45,34 відсотка.

Дебіторська заборгованість підприємства станом на 01.01.2025 р. - 255 тис.грн., кредиторська заборгованість - 281 тис.грн.

Показники, що характеризують фінансовий стан ТОВ «Stroy-Ukraine, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Показники фінансового стану Stroy-Ukraine

Найменування індикаторів	Стандарт	Станом на 01.01.2023 р.	Станом на 01.01.2024 р.
Коефіцієнт автономності	більше 0,50	0,650	0,595
Коефіцієнт маневреності власного капіталу	-	0,225	0,103
Відношення власних оборотних коштів до загальної суми оборотних коштів	-	0,291	0,237
Коефіцієнт абсолютної ліквідності	0,25-0,5	0,003	0,007
Коефіцієнт поточної ліквідності	Більше 1	0,354	0,333
Коефіцієнт покриття	2-2,25	0,964	0,808

Коефіцієнт автономності, який дорівнює частці власних джерел коштів у загальному балансі та характеризує фінансову незалежність підприємства від зовнішніх джерел фінансування, знизився у 2024 році порівняно з 2023. Це пов'язано із загальним збільшенням частки позикових коштів. Величина коефіцієнта знаходиться в межах норми, тобто фінансування за рахунок залучених коштів здійснюється в допустимих межах.

Коефіцієнт абсолютної ліквідності показує, яку частку короткострокових боргових зобов'язань можуть покрити грошові кошти та їх еквіваленти у вигляді ринкових цінних паперів та депозитів, тобто майже абсолютно ліквідних активів.

Значення нормативу абсолютної ліквідності свідчить про те, що станом на 1 січня 2023р. компанія могла негайно погасити 0,03 відсотка своїх короткострокових зобов'язань. Станом на 1.01.2024 року значення коефіцієнта абсолютної ліквідності – 0,07 відсотка, значно нижче рекомендованого, що свідчить про те, що в даний час компанія може покрити лише незначну частину своїх короткострокових боргових зобов'язань за рахунок практично абсолютно ліквідних активів

Коефіцієнт поточної ліквідності розраховується як частка від ділення оборотного капіталу на короткострокові зобов'язання і показує, чи достатньо у компанії коштів, які можуть бути використані для погашення короткострокових зобов'язань. Згідно з міжнародною практикою, значення коефіцієнта ліквідності повинні знаходитися в діапазоні від одного до двох. Нижня межа пов'язана з тим, що оборотних коштів повинно бути як мінімум достатньо для погашення короткострокових зобов'язань, інакше компанія опиниться під загрозою банкрутства. Перевищення оборотних активів над короткостроковими зобов'язаннями більш ніж удвічі також небажано, оскільки може свідчити про нераціональну структуру активів.

Коефіцієнт маневреності дорівнює відношенню власних оборотних коштів компанії до загальної вартості джерел власних коштів.

Значно зросло співвідношення маневреності власних оборотних коштів, відношення власних оборотних коштів до загальної суми оборотних коштів за рік, що пов'язано зі збільшенням загальної суми балансу частки запасів і витрат, грошових коштів, дебіторської заборгованості, при зменшенні кредиторської заборгованості підприємства. Негативне значення коефіцієнтів свідчить про вкрай низьку маневреність власних оборотних коштів, значне перевищення позикових оборотних коштів над власними.

Коефіцієнт покриття свідчить, що станом на 1.01.2023 р. на кожну грошову одиницю короткострокових зобов'язань припадало 0,964 грошової одиниці оборотних коштів, а станом на 1 січня 2024 року. - 0,808. Зниження нормативу протягом року обумовлено як зменшенням частки оборотних коштів підприємства, так і збільшенням частки його кредиторської заборгованості.

Абсолютне значення коефіцієнтів фінансового стану (крім коефіцієнта автономності) не досягає нормативного рівня. Таким чином, виконання нормативного значення коефіцієнтів становить: коефіцієнт абсолютної ліквідності - 3,2 відсотка, коефіцієнт загальної ліквідності - 24,6 відсотка, коефіцієнт покриття - 40,4 відсотка.

Таким чином, з точки зору фінансової стійкості та платоспроможності результати діяльності ТОВ «Stroy-Ukraine не можуть бути оцінені як задовільні в цілому.

1.2 Собівартість і класифікація витрат у виробництві

Вартість ремонту покрівель як зварними матеріалами, так і монтажу покрівель з металочерепиці визначається наступними факторами:

- ціна за один квадратний метр покрівлі;
- вартість матеріалів з урахуванням транспортування до пристрою вищевказаних робіт;
- заробітна плата працівників;
- накладні витрати, пов'язані з відрядженням будівельних бригад на об'єкти Замовника (витрати на проїзд та проживання);
- витрати на утримання адміністративного апарату (заробітна плата інженерів, маркетингові служби, складське господарство, транспортне господарство);
- накладні витрати пов'язані з орендою офісних приміщень, складських приміщень, послуг зв'язку.

Прибуток підприємства визначається за такою формулою:

$$P = P_{дог} - P_{мат} - K - N, \quad (1.1)$$

де P -прибуток; $P_{дог}$ - ціна договору, $P_{мат}$ - вартість матеріалів, K - накладні витрати, пов'язані з організацією роботи, N - податки, в тому числі податки на заробітну плату робітникам і інженерам, податки на прибуток, отриманий на роботі, податок на додану вартість.

Накладні витрати, пов'язані з організацією роботи (зокрема, витрати на проїзд і проживання будівельних бригад), безпосередньо залежать від продуктивності праці:

$$K = (P_{ком} + P_{прож})Tm, \quad (1.2)$$

де $P_{ком}$ - витрати на відрядження, на одного працівника, які становлять 40 грн/день; $P_{прож}$ - витрати на проживання одного працівника, які становлять 40-100 грн/день; T - загальний час роботи; m - Кількість робітників.

1.3 Планування завдань

З розширенням сучасного виробництва, з ростом обсягів виробництва і прискоренням темпів технічного прогресу, з розвитком спеціалізації і кооперації виробництва все більше ускладнюються методи координації роботи всіх виробничих дільниць і сервісних відділів на підприємстві, управління підприємством стає все більш трудомістким і комплексним. Не випадково в останні роки на зміну традиційному мистецтву управління на підприємстві прийшли методи наукової організації праці, математичні методи теорії оптимальних рішень, сучасні методи і прийоми обробки планової та економічної інформації.

У даній роботі зроблена спроба розглянути питання вирішення проблеми планування та управління на підприємстві з єдиної позиції застосування математики та обчислювальної техніки.

Злагоджена робота всіх цехів підприємства не може бути організована інакше, як за єдиним планом роботи всього заводу.

Будь-яка цілеспрямована діяльність людини і суспільства вимагає наявності більш-менш детального плану. Правильно складений план роботи підприємства, пов'язаний у всіх розділах, заснований на надійних технологічних нормативах, об'єктивно враховують наявні потужності підприємства, досягнутий рівень організації виробництва і при цьому ставлять посильні завдання для робітників і службовців, для всього виробничого колективу, є запорукою успішного, прибуткового функціонування всього підприємства в цілому.

План підприємства містить як елементи прогнозування виробничої діяльності підприємства, так і директивне завдання планування, яке визначає пошук нових форм організації праці, раціоналізацію технології та організації виробництва, удосконалення методів і структури управління виробництвом. **моделювання** виробничого процесу, а сам план як стандарт або, мовою математики, як модель, за якою на підприємстві реалізується виробничий процес. Управління підприємством протягом планового періоду будується відповідно до плану; Залежно від відхилення фактичних виробничих показників від планових на підприємстві здійснюються певні контрольні дії – проводяться організаційні та технологічні заходи, запускаються у виробництво нові вироби, переглядаються завдання по цехах і дільницях, проводяться виробничі наради і т.д.

У процесі розробки плану підприємство вирішує найрізноманітніші завдання - технічні, економічні, організаційні, адміністративні, соціальні. План стає матеріальною силою тільки тоді, коли він підтримується економічно правильною системою заробітної плати, матеріального стимулювання, фіксованою ціною на продукцію фірми, порядком економічної відповідальності підприємств-постачальників за своєчасну поставку і т. Д., Коли приймаються і неухильно виконуються різні управлінські рішення і положення, спрямовані на виконання плану, і, нарешті, коли план доведений до відома безпосередніх

виконавців і прийнятий ними І як не просто виробництво, а як «політичне завдання».

Підприємство є не тільки ланкою загального процесу суспільного виробництва і споживання, а й осередком соціальної організації суспільства. До завдань соціалістичного підприємства входить не тільки виробництво певної продукції в певній кількості, з певними властивостями і до певного часу, не тільки надання певних грошових відрахувань державі за рахунок перевищення доходів від реалізації продукції над витратами в процесі виробництва, а й створення певних умов життя і праці для працівників підприємства та їх сімей. Ці завдання підприємства сильно взаємозалежні і в певній мірі суперечливі, хоча при соціалістичному способі виробництва характер протиріч між економічними, виробничими і соціальними завданнями підприємства значно згладжується.

Складання плану на підприємстві починається з розгляду варіантів плану випуску готової продукції з приблизною оцінкою попиту, виробничих можливостей підприємства, постачальників, а також можливостей проведення різних організаційних і технічних заходів. Варіанти, які спочатку очікуються для досягнення орієнтирів, викладених в економічній політиці, відображених у цілях політики, приймаються для подальшого більш точного та глибокого аналізу. Підбір цих варіантів здійснюється відповідно до розроблених на підприємстві критеріїв оцінки плану з урахуванням як соціальних, так і економічних завдань.

Такий точний і глибокий аналіз вимагає, перш за все, правильної організації інформаційної служби на підприємстві, цей аналіз не може бути проведений без всебічного і об'єктивного обліку витрат на виробництво. В даний час особливо погана ситуація щодо витрат на оплату праці на підприємствах. Система оплати праці, яка до недавнього часу містила елементи стримування середнього рівня заробітної плати робітника, вже зжила себе не тільки з позицій економіки виробництва. Така система не сприяла виявленню реальних витрат праці на виробництві і коригуванню норм трудомісткості, надійність яких є однією з головних умов розвитку реальних виробничих завдань.

Не буде перебільшенням сказати, що успіх у розвитку виробництва на сучасному етапі багато в чому залежить від інформаційної служби. Інформація, за образним висловом одного іноземного фахівця, все більше визнається одним з найважливіших (поряд з матеріальним і трудовим) ресурсів на підприємстві, і цей ресурс, як і інші, необхідно правильно отримувати, переробляти і направляти до споживача.

Аналіз можливих варіантів планових рішень полягає у визначенні термінів виходу готової продукції, у виявленні ступеня завантаження обладнання, використання трудових ресурсів, у виявленні вузьких місць на підприємстві в можливій реалізації даної планової задачі з метою розробки заходів щодо усунення виявлених диспропорцій і т.д.

Такий більш глибокий аналіз варіантів запланованих завдань дає можливість відкинути деякі з неприйнятних варіантів і залишити для подальшого вивчення варіанти, прийнятні з позицій цих попередніх етапів аналізу.

Решта можливих варіантів, з яких слід остаточно вибрати план роботи компанії, потребують ще більш точних і глибоких оцінок. По суті, аналіз кожного такого варіанту виробничого плану зводиться до побудови відповідного цьому варіанту виробничого плану. Попередньо намічені для розглянутого варіанту плани організаційних і технічних заходів деталізуються, і на основі цих планів, а також оцінок планів ремонтів, поставок обладнання і т. П. Будується прогноз динаміки виконання даного виробничого плану і його техніко-економічних показників.

На затвердження зазвичай приймаються найбільш задовільні з точки зору техніко-економічних показників виробничі плани.

Звичайно, описана схема розробки виробничих планів на підприємстві відображає в більшій мірі поточні можливості у вирішенні подібного роду завдань, ніж реально спостережувану картину. Проте, в даний час принципових труднощів в тому, щоб втілити цю можливість в реальність, немає - в цьому

зацікавлені як кожне підприємство, так і вся національна економіка країни в цілому.

На жаль, у зв'язку з відомою трудомісткістю складання календарних планів на підприємствах в даний час отримали широке поширення тільки методи балансового планування, що зв'язують обсяги виробництва, матеріально-технічне забезпечення, виробничі потужності, витрати на матеріальні і трудові витрати, чисельність виробничих робітників, фонд оплати праці і т. Д., Як правило, тільки в загальному кількісному вираженні. У часі плани часто не пов'язані між собою. Останнє часто призводить до порушення нормального ходу виробничого процесу, а разом з тим і до того, що фактичні показники виконання даного виробничого плану сильно відрізняються від початкових запланованих обрисів.

Основним засобом координації, зв'язування в часі планів виробничих ділянок і підрозділів, що обслуговують ці ділянки, є виробниче планування. В результаті планування графік можна розглядати як своєрідну динамічну модель виробництва, еталон, що визначає характер оперативного управління рухом продукції в процесі виробництва.

Кінцевою метою побудови графіка виробництва на підприємстві, що дає можливість використовувати його як еталон в оперативному управлінні виробництвом, є вказівка термінів виконання окремих планових робіт, операцій для кожної бригади, оператора, робочого місця. Показуючи, які роботи і коли будуть виконуватися на кожному робочому місці, графіки дозволяють заздалегідь підготувати робоче місце до виконання цих робіт. Наявність графіка виробництва також полегшує завдання служб поставок необхідної сировини і напівфабрикатів, так як заздалегідь стає відомо, до якого моменту часу і в якій кількості їх потрібно доставити для кожної виробничої ділянки, для кожного робочого місця.

Однак установка термінів виконання окремих операцій - далеко не основне завдання планування. З незліченних графіків виконання заданої виробничої

програми необхідно вибрати графік, який найбільш відповідає даній конкретній виробничій ситуації, поставленим виробничим завданням.

Питання про вибір критерію, за яким можна було б судити про те, задовільний чи ні даний графік, і навіть чи є він найкращим (критерій оптимальності), далеко не останнє питання, і вирішується воно в кожному конкретному випадку конкретно. Іноді необхідно домогтися максимального завантаження виробничих потужностей, іноді необхідно виготовити цю продукцію в найкоротші терміни, іноді необхідно побудувати графік, згідно з яким можна було б випускати продукцію з найменшими витратами вже в зазначені терміни. Неможливо вказати такий критерій оптимальності, якому слід віддати перевагу раз і назавжди - цей критерій буде змінюватися від секції до ділянки в залежності від виробничих умов і обставин, і ця варіативність відображає всю багатогранність виробничої діяльності, місце в соціально-економічній організації суспільства кожного підприємства, цеху, дільниці.

Таким чином, при побудові виробничих графіків необхідно розглядати можливі варіанти з різних точок зору. Це ще більше підкреслює «моделюючий» характер планування.

Навіть просто в якості прогнозу ходу виробничого процесу графік дає чітку картину можливого використання обладнання і трудових ресурсів, вказує, де може виникнути «вузьке місце» і, отже, де необхідно вжити заходів щодо вирівнювання потужностей окремих ділянок, зміни їх пропускну здатності і продуктивності. Календарний графік, наочно показує весь хід виробничого процесу, дозволяє заздалегідь передбачити можливі збої на виробництві і своєчасно вжити заходів щодо їх усунення. Сама по собі така можливість прогнозування є надзвичайно ефективним інструментом в руках хорошого керівника.

Робота підприємства за графіком також пов'язана з організацією економічного та ефективного обліку, більш чіткою організацією робіт з технологічного проектування та розрахунком достовірних нормативів. Робота за графіком створює передумови для більш точного визначення розмірів страхових

запасів матеріалів, деталей, напівфабрикатів, інструменту, для підтримки запасів незавершеного виробництва на необхідному рівні. Найшвидше зростають проміжні запаси, незавершене виробництво, а разом з ними, як правило, шторми, недобори, дефекти там, де не робляться більш-менш точні прогнози динаміки виробництва в часі.

У той же час сучасні математичні методи і особливо високошвидкісна комп'ютерна техніка дозволяють в даний час поставити питання про вирішення завдань оптимального планування на підприємствах, т. Е. Визначення найбільш вигідних графіків в заданих умовах і з заданих позицій. Іншими словами, стає можливим вирішення завдань моделювання, прогнозування ходу виробничого процесу, найбільш доцільно організованих в напрямку досягнення деяких найбільш оптимально підібраних економічних показників.

Спроби організувати роботу підприємств за графіком робляться вже давно, методика побудови найбільш обґрунтованих календарних графіків постійно розвивається. Однак ті, кому доводилося стикатися зі складанням графіків роботи навіть для невеликих ділянок у своїй роботі, знають, що це вкрай трудомісткий і громіздкий процес, що вимагає надмірно великих витрат робочого часу кваліфікованих працівників. Необхідність отримання результатів в стислі терміни призводить, в кращому випадку, до того, що загальна задача по організації злагодженої роботи всього підприємства ділиться на окремі частини, графіки складаються тільки для окремих ділянок ізолювано, без необхідної координації всієї роботи підприємства в цілому. Також слід зазначити, що реальні умови роботи (постійне вдосконалення техніки, перевиконання планів на окремих ділянках, порушення планів поставок, непередбачений вихід з ладу обладнання і т. Д.) Призводять до того, що складений графік необхідно регулярно переглядати. Цей перегляд знову ж таки пов'язаний з великими витратами часу, з відволіканням основного інженерно-технічного персоналу і співробітників адміністративного апарату від завдань безперервного управління виробничими ділянками.

Сучасні ПК дозволяють не тільки позбавити людину від самої трудомісткої роботи по складанню календарних планів, але і розглянути масу можливих варіантів планів, достатніх для прийняття зважених рішень в прийнятний час.

Задачі планування складають клас комбінаторних задач повного впорядкування в часі різних дискретних процесів, сукупності робіт, які попередньо частково впорядковані за технологією їх виконання, т. Е. Технологічними маршрутами.

Хоча комбінаторні задачі в цілому надзвичайно складні для вирішення, клас задач планування, як буде показано нижче, дозволяє використовувати ряд ефективних підходів, які були розроблені останнім часом, включаючи природно очевидні схеми моделювання.

Необхідно, однак, заздалегідь попередити, що ні комп'ютери, ні математичні методи не позбавляють нас від необхідності завжди творчо підходити до складання календарних планів. Як і в будь-якому машинному вирішенні проблем планування виробництва, до можливості вирішення проблем планування слід ставитися як до зручного інструменту, що звільняє нас від самої трудомісткої роботи. Однак машинне рішення не виключає необхідності аналізу отриманого розчину, відпрацювання планових завдань з робітниками, майстрами, технологами. Це тим більше актуально на сучасному етапі, коли математичні моделі задач планування ще виглядають досить схематично і робляться перші (і тепер не малоефективні) кроки по впровадженню математичних методів в планування виробничих робіт.

Слід зазначити, що не тільки трудомісткість складання графіка не сприяє широкому впровадженню календарного планування на підприємствах. Цьому перешкоджають і системи планування та оцінки роботи цехів за загальними показниками обсягу, які не спрямовують ділянки на виконання конкретних виробничих завдань. Сьогодні майстерня, як правило, орієнтована на виконання таких робіт, які дають їй певну суму трудовитрат в нормо-годинні години, і щоб цей фонд витрат на оплату праці не був перевищений. Досягнення цих цілей, як правило, відсуваючи на другий план конкретні виробничі завдання цеху в

масштабах всього підприємства, часто буває досить для отримання права на різного роду матеріальні та соціальні стимули. Цьому сприяє ще й непередбачене впровадження в цехах методологічно розпливчастих систем самофінансування.

Незважаючи на те, що при такому характері управління виробництвом всередині цеху, здавалося б, ситуація з «дефіцитом» повинна загостритися і що в кінцевому підсумку таке управління, на перший погляд, повинно стати не вигідним для цеху, це не так. Компанія в цілому змушена реагувати на цю ситуацію збільшенням запасів і розтягуванням виробничого циклу, щоб гарантувати себе від збоїв. В результаті стабілізується ситуація на рівні запасів і прийнятному як для цеху, так і для підприємства рівні «дефіциту». Що стосується інформаційної сторони питання, то в такій ситуації, очевидно, характер управління досить простий, тим більше, що до недавнього часу він не впливав на оцінку діяльності компанії і був допустимий як з економічної, так і з адміністративної сторони.

Крім того, цех не зацікавлений працювати за графіком ще й тому, що при оптимальному або близькому до оптимального графіку, як показує досвід, інтенсивність роботи кожного працівника і цеху в цілому різко зростає, при цьому працівник знає, що в умовах стримування середнього рівня заробітної плати це відразу ж призведе лише до зниження цін.

1.4 Представлення розкладів

Почнемо розгляд питань побудови математичної моделі задач планування з аналізу форм представлення графіків роботи виробничих цехів і дільниць, тобто з тієї інформації, яку необхідно отримати в кінці вирішення задачі — при виході з ПК. Такий аналіз дає можливість більш точно сформулювати саму проблему, так як він робить більш зрозумілим невідоме і з'являється можливість представити вимоги до отримання вихідної інформації, необхідної для

вирішення проблеми, описати умови і обмеження, що визначають процес вирішення проблеми.

Заздалегідь слід зазначити, що завдання планування ми розглядаємо в традиційному складі, відштовхуючись від технологічних маршрутів і стандартів; Можна уявити собі і таке формулювання, яке хоча б частково вирішило проблеми технологічного проектування і стандартизації або, принаймні, використало варіанти технологічних маршрутів, а не задану трасу раз і назавжди.

Такі спроби ускладнити формулювання завдань планування видаються нам передчасними. Звичайно, як буде видно далі, існують об'єктивні можливості розгляду варіантів технологічних маршрутів при вирішенні завдань планування, особливо в схемах послідовного рішення. Однак труднощі вирішення завдань планування на сучасних комп'ютерах все ще настільки великі, що такі алгоритми не можуть бути рекомендовані для широкого використання. Це стане можливим тоді, коли кіберіндустрія надасть нам більш швидкі обчислювальні системи, які можна буде орендувати для такого роду завдань, і то тільки в тому випадку, якщо у підприємств будуть невеликі машини, які можуть вирішувати найпростіші завдання і організовувати великі обсяги інформації. При вирішенні завдань автоматизації технологічного проектування і нормативних розрахунків також виникають деякі труднощі.

Тому при вирішенні завдань планування необхідно обмежитися таким формулюванням, яке дозволило, по-перше, отримати ефективні результати в необхідній для виробництва формі, а, по-друге, не вимагало б великих зусиль для підготовки вихідних даних, необхідних для вирішення поставленого завдання.

У зв'язку з останньою вимогою на перших кроках необхідно обмежитися даними, які є в даний час на підприємствах - оперативними нормативами, коефіцієнтами обробки норм, лінійними (в сенсі суворої послідовності послідовності операцій) технологічними маршрутами і т. Д.

Технологічна прив'язка операцій до обладнання також буде вважатися даною, хоча б в тому сенсі, що для кожної операції вказується заздалегідь

визначена група взаємозамінного обладнання. Така фіксація груп змінного обладнання, як правило, не представляє складності.

Зміни в технологічній прив'язці, як і в технологічній трасі, можуть бути внесені після первинного вирішення завдання по складанню графіка і аналізу результатів. Спочатку робота по внесенню таких змін, імовірно, буде дуже трудомісткою, але пізніше, вже на етапі технологічного проектування, можна буде (завдяки більш точному розумінню динаміки і характеру завантаження обладнання на підприємстві) приймати більш обґрунтовані технологічні рішення, які будуть набагато менше коригуватися в результаті вирішення проблеми складання календарних планів.

Подальше розширення постановки проблеми - це, як то кажуть, справа техніки; Рішення цієї проблеми практично полягає в розробці алгоритмів і методів машинної генерації вихідних даних, що беруть участь у вирішенні сформульованої нами задачі планування.

Існує багато різних способів візуалізації графіків виробничих дільниць. Найбільшого поширення набули графічні методи, запропоновані Г.Л. Гантом. Зразок такого графіка представлений на рис. 1.1.

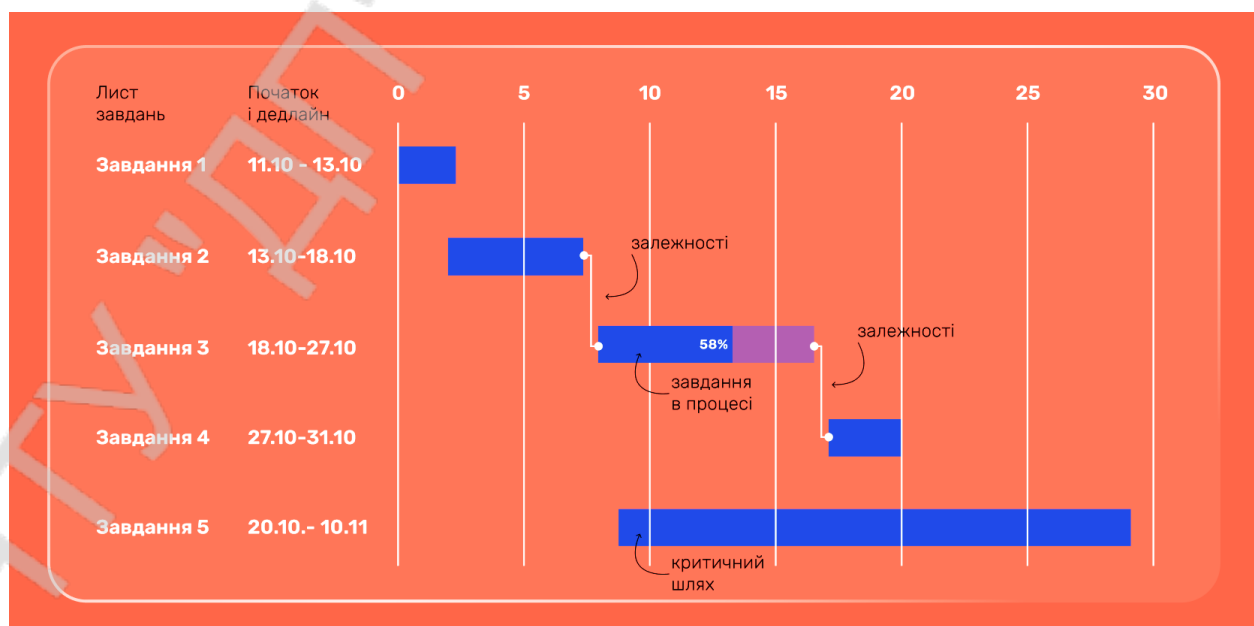


Рисунок 1.1 – Приклад діаграми Ганта

Кожна операція на малюнку представлена відрізком, рівним за довжиною тривалості операції в обраній шкалі часу.

Початок і кінець операції позначаються позначками «Г» і «Г» відповідно. Під відрізком зазвичай записуються основні характеристики операції, в нашому випадку номер деталі і номер операції. Також прийнято записувати розміри партії деталей, для великих площ корисно також вказувати номери робочих місць, де виконуються попередні і наступні операції цієї деталі.

На рис. 1.1 показаний так званий графік роботи ділянки, з якого видно завантаженість кожного робочого місця по змінах. Для правильної підготовки ділянки до роботи, для організації чіткої диспетчерської служби корисно також вибрати з цього загального графіка графіки руху окремих деталей у виробничому процесі, як це робиться, наприклад, на рис. 1.2. Іноді доцільно виділяти графіки позмінної роботи, це створює певні зручності для роботи змінного майстра, майстрів-регулювальників.

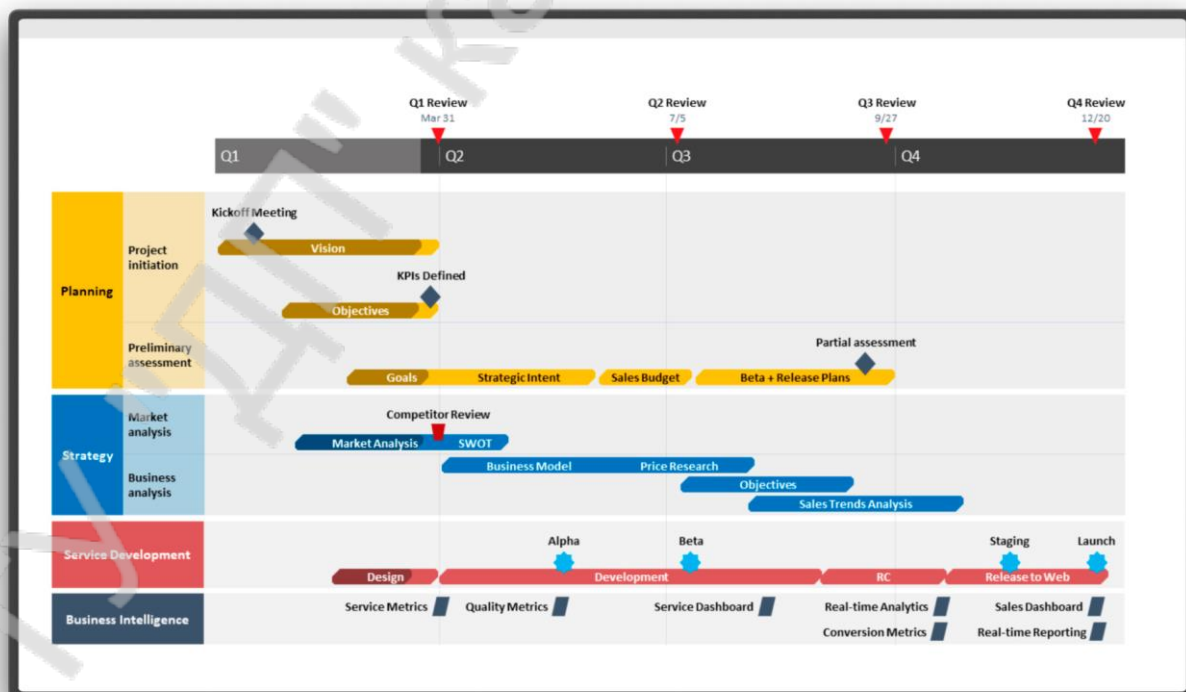


Рисунок 1.2 – Графік Ганта з призначеними виконавцями

Для виробничо-економічного аналізу діяльності діляниць особливо зручно представляти у вигляді графіків Ганта хід фактичного виконання виробничого завдання із зазначенням відхилень від графіка і символічним позначенням причин відхилень (нестача матеріалу, несвоєчасна поставка інструментів, відсутність інструкцій, технологічних карт, раціоналізація технології, збільшення темпів виконання робіт і т.д.).

Зазвичай такого роду графіки малюються на щільному папері. Однак є багато способів спростити ці роботи. Розроблено методи відображення графіків на спеціальних світлових дошках. Використовуються спеціальні підставки, для яких заздалегідь готуються картонні прямокутники всілякої довжини і різних кольорів. Цим картонкам відповідають відрізки, які відображають час виконання операції на графіку. Різні деталі, хоча б ті, за якими потрібно особливо наглядати, підбираються з картоном різних кольорів.

В останні роки широке поширення отримали спеціальні форми представлення як самих «технологічних маршрутів», так і календарних планів у вигляді так званих стрілкових діаграм або мережевих графіків. Такі форми представлення найчастіше використовуються при розробці календарних планів (а також системи управління виконанням цих планів) в разі комплексних розробок, виконання окремих замовлень особливої важливості, проектування унікальних об'єктів в стислі терміни і т.д.

Таблиця 1.2

Таблиця черговості операцій

Робота i	Робота, якій передуює робота i	Тривалість роботи
1	2	3
1	3	5
2	4	2
3	5	4
4	5	1
5	8	4
6	7	3
7	8	2

Стрілкові діаграми наочно показують послідовність виконання робіт в проекті або замовленні. Наприклад, якщо є певна таблиця черговості робіт в проекті (табл. 1.2), що включає в себе як перелік заходів, які необхідно виконати в даному проекті, так і інформацію про те, які заходи повинні безпосередньо передувати цій роботі (тобто роботи, які не можуть бути розпочаті до завершення роботи або, принаймні, не почнуть), то на основі цієї таблиці можна легко побудувати мережевий графік виконання даного проекту.

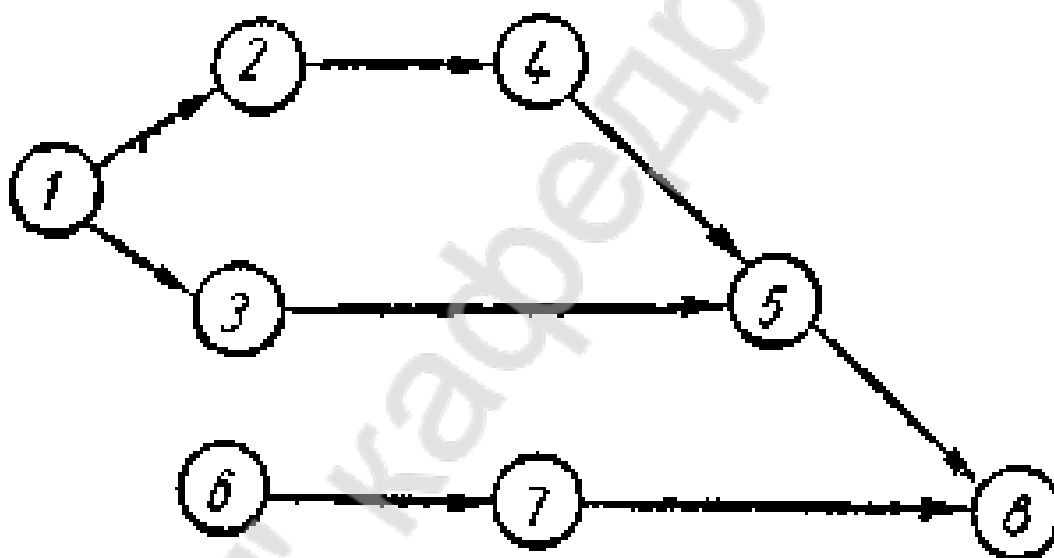


Рисунок 1.3 – Графік технологічної траси (приклад)

Зауважимо, що якщо ми позначимо кожну роботу кружечком і з'єднаємо кожну роботу стрілками, як показано на рис. 1.3, з тими, що безпосередньо їй передують, то отримаємо певне геометричне представлення послідовності роботи. Такі стрілкові діаграми, що складаються з кіл — *вершин*, а стрілок — *орієнтованих дуг*, в математиці прийнято називати графіками *Графік технологічного маршруту*.

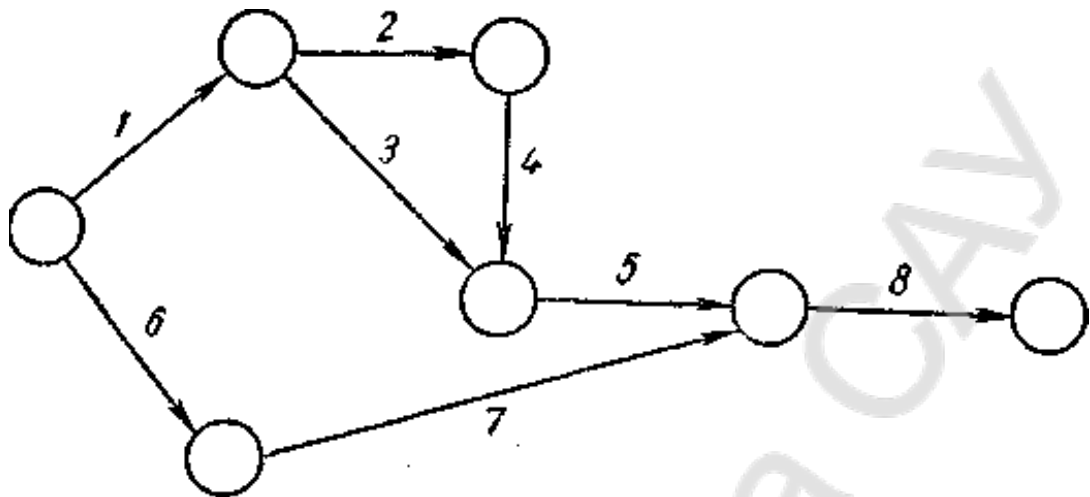


Рисунок 1.4 – Мережевий графік виконання робіт (приклад)

Надалі ми будемо використовувати стрілкову діаграму для представлення послідовності робіт частіше у вигляді графіка технологічної траси, ніж у вигляді мережевої діаграми. У мережевому графіку роботи позначаються стрілками, а характер послідовності їх виконання визначається вершинами графа — *подіями*. Подія використовується для відділення робіт — стрілок, що входять у вершину, що відповідає події, від робіт, яким передують ці роботи — стрілок, що виходять з вершини. На рис.1.4 показаний мережевий графік виконання робіт, що відповідає графіку технологічної траси рис. 1.3. Хоча широко поширений метод представлення графіка виконання робіт у вигляді мережевої діаграми, форма представлення графіка у вигляді графіка технологічної траси здається нам більш природною.

У мережевих схемах для кожної роботи на початку стрілки може бути вказано час початку роботи, в кінці стрілки - кінець роботи, а під стрілкою - код та інші характеристики виконавця роботи.

1.5 Математичний апарат для розв'язування задач на планування

Наведена вище математична формулювання загальних проблем планування наочно показує, що з точки зору математики ці задачі являють собою

особливий клас, можливо, зовсім незнайомий або до недавнього часу незнайомий читачеві. У цих задачах ми, по суті, маємо справу зі складними алгебраїчними структурами, дискретними процесами оптимізації, далекими від тих безперервних процесів і функцій, які до недавнього часу в основному вивчалися математикою.

Вже перші спроби математичного вирішення задач календарного планування показали, що для таких завдань потрібна "нова математика" і що задачі такого роду, швидше за все, в найближчому майбутньому змінять зміст самої математики.

Точні методи, хоча б принципово вирішують загальні проблеми планування, були отримані лише недавно. Однак, як ми побачимо далі, саме ці методи, хоча і представляють значний інтерес для побудови загальної теорії оптимальних рішень, в даний час можуть принести мало практичної користі в управлінні виробництвом, настільки великі обсяги розрахунків для вирішення більш-менш реальних завдань планування виробництва цими методами. Тільки в найпростіших випадках відносно легко з упевненістю отримати точне рішення проблеми.

Поряд з розробкою точних методів удосконалюються різні методи і підходи до наближеного вирішення завдань планування. Цей напрямок на даний момент є практично найбільш продуктивним. Найбільшої уваги вона заслуговує з точки зору загальної теорії вирішення завдань планування, а також корисна для вдосконалення обчислювальних схем для точного вирішення завдань. Зокрема, різні ефективні евристичні методи пошуку рішень, близьких до оптимального, як правило, можуть використовуватися в процесі проектування точного рішення задачі. Аналогічним чином, більш глибоке розуміння процесу проектування точного рішення проблеми може запропонувати ефективні методи пошуку рішень, близьких до оптимальних.

Крім того, у вирішенні проблем планування ефективні різні методи моделювання, в тому числі засновані на використанні статистичних тестових схем - методи Монте-Карло. Хоча в даний час не існує розробленої прийнятної

теорії таких методів, їх практична ефективність свідчить про можливість побудови подібних теорій.

Математичні методи розв'язання задач календарного планування розробляються в рамках математичної теорії розкладів, яка бурхливо розвивається в останні роки.

В даний час не можна зупинитися на якомусь одному класі методів вирішення завдань планування. Для деяких завдань надзвичайно ефективними є методи динамічного програмування або їх подальшого розвитку - методи послідовного проектування, аналізу та вибору варіантів, інші проблеми можуть бути вирішені методами моделювання; Деякі проблеми можуть бути успішно вирішені вже класичними методами лінійного програмування.

Спроби вирішити якийсь новий клас задач за допомогою вже відомих методів цілком закономірні, тому не дивно, що багато дослідників намагаються вирішити задачі планування за допомогою широко відомих і поширених методів лінійного програмування. Схеми лінійного програмування зводять до скорочення багатьох завдань, які безпосередньо пов'язані з оперативним плануванням, таких як проблеми із завантаженням обладнання, проблеми з розподілом замовлень і т.д.

Як відомо, лінійне програмування охоплює сукупність методів розв'язання задач мінімізації (максимізації) лінійних функцій при лінійних обмеженнях на невідомі рівняння або нерівності. Досить добре розвинений математичний апарат для розв'язування задач лінійного програмування. В останні роки були запропоновані методи вирішення завдань так званого лінійного цілочисельного програмування, коли, крім усього іншого, потрібно, щоб невідомі люди приймали тільки цілі значення. Ці успіхи в лінійному програмуванні призвели до численних спроб вирішення проблем планування за допомогою лінійного програмування.

Такі спроби, звичайно, призвели до необхідності дещо перебудувати математичну постановку завдань планування. Зокрема, один з творців теорії

лінійного програмування Дж. Данциг запропонував наступну постановку проблеми планування.

З практичних міркувань іноді можна вказати деякі можливі варіанти графіків обробки по кожній частині - побудувати кілька таких варіантів ізольовано (цей процес, звичайно, можна автоматизувати). Потім з цих варіантів шукають найбільш підходящу «суміш», аналогічно пошуку кращої дієти в «дієтичних завданнях», або визначають найкращу суміш інгредієнтів для виробництва високоякісного бензину.

Данциг ілюструє цю ідею наступним прикладом.

Припустимо, є дві частини d_1 і d_2 , кожна з яких має по дві операції. Час обробки кожної операції один, маршрути деталей наступні:

$$k_{11} = 1,$$

$$k_{12} = 2,$$

$$k_{21} = 1,$$

$$k_{22} = 2.$$

Іншими словами, перша операція деталі $d1$ обробляється на першій робочій станції $R1$, друга операція деталі $d1$ і перша операція деталі $d2$ обробляються на $R2$, а друга операція $d2$ обробляється на $R3$.

Данциг розглянув шість (можливих) ізольованих варіантів обробки першої і другої частин, акцентуючи увагу на роботі в чотири послідовних періоду, кожен з яких дорівнює одиниці часу.

При цьому першу деталь можна обробити одним з наступних способів:

$$G_1(1): t_{11} = 0, \quad t_{12} = 1,$$

$$G_2(1): t_{11} = 0, \quad t_{12} = 2,$$

$$G_3(1): t_{11} = 0, \quad t_{12} = 3,$$

$$G_4(1): t_{11} = 0, \quad t_{12} = 2,$$

$$G_5(1): t_{11} = 0, \quad t_{12} = 3,$$

$$G_6(1): t_{11} = 0, \quad t_{12} = 3.$$

Познайомимо з невідомим x_{ij} ($i = 1, 2; \quad j = 1, 2, \dots, 6$):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо деталь } i \text{ обробляється на місці } j \\ 0 \text{ в решті випадків} \end{cases}$$

Тоді, очевидно, за наше завдання

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1, \quad I = 1, 2.$$

Для кожного PK робочого місця для кожного з чотирьох розглянутих періодів (нагадаємо, що кожен період дорівнює одному) необхідно виконати коефіцієнт, еквівалентний вимозі про те, що дві операції не можуть виконуватися одночасно на робочому місці

$$\sum_{(i,j) \in L_k} x_{ij} \leq 1,$$

де $L_k = \{(i, j) : t_{ij} = t, k_{ij} = k\}$, t - початок менструації.

Для розглянутого прикладу ці умови можна записати в стандартному вигляді (табл. 1.3). В якості критерію оптимальності була обрана лінійна функція, яка дорівнює нулю, якщо в 4-му періоді не виконується робота.

Таблиця 1.3

Умови для виконання завдання

k	Періоди	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	
1	1	1	1	1										≤ 1
	2				1	1								≤ 1
	3						1							≤ 1
2	1							1	1	1				≤ 1
	2	1									1	1		≤ 1
	3		1		1								1	≤ 1
	4			1		1	1							
3	2							1						≤ 1
	3								1		1			≤ 1
	4									1		1	1	≤ 1
		1	1	1	1	1	1							1
								1	1	1	1	1	1	1
				1		1	1			1		1	1	Хв

Вже в цій формулі закономірно виникає необхідність отримання цілого розв'язку. Різні дослідники вказували шляхи зведення до проблем цілочисельного лінійного програмування і більш загальних проблем планування. Однак у всіх цих схем є загальний недолік: таке скорочення призводить до проблем лінійного програмування дуже великого обсягу, що вже можна побачити на прикладі Данцига. На прикладі Данцига проста схема перерахування всіх можливих варіантів виявляється більш ефективною схемою рішення в порівнянні з методами лінійного програмування. Відомо також, що в даний час ми ще не маємо більш-менш прийнятних методів вирішення завдань цілочисельного лінійного програмування. Таким чином, попутно не було отримано примітних методів вирішення проблем планування, хоча було продемонстровано рішення окремих прикладів.

Така ситуація, на наш погляд, не випадкова. Насильницьке "втискання" яскраво виражених комбінаторних дискретних задач в схеми лінійного програмування викликає збільшення обсягу задач, що, звичайно, не може вплинути на час їх вирішення. Вже в моделі Данцига для впевненості в отриманні оптимального (або близького до оптимального) рішення слід вводити до розгляду досить велику кількість ізольованих графіків кожної деталі, що також призводить до збільшення розмірності задачі. Скорочення числа можливих варіантів графіків не дозволяє сподіватися на оптимальне рішення.

Методи лінійного програмування, які по суті оперують тільки властивістю адитивності (продукт, час, вартість), слабо застосовні до проблем теорії графіків; Лінійні моделі недостатньо чітко відображають динаміку виробничих процесів, а штучні методи обліку в рамках лінійних моделей деяких динамічних властивостей досліджуваного об'єкта призводять до невиправданого збільшення розмірності проблеми, що, природно, не дозволяє вирішити ці завдання досить швидко і точно.

Цілком закономірно намагатися застосовувати методи динамічного програмування до вирішення завдань планування, тим більше, що на цьому

шляху можна розробити надзвичайно ефективні схеми вирішення деяких найпростіших завдань (вони описані в наступному розділі).

Ще більш перспективними виявилися розроблені останнім часом загальні схеми послідовного проектування, аналізу та відсіювання варіантів, які беруть свій початок з обчислювальних схем динамічного програмування, але не вимагають реалізації принципу оптимальності.

Методи послідовної побудови, аналізу та відсіювання варіантів ґрунтуються на тій же ідеї поетапної побудови рішення, що і в динамічному програмуванні. Якщо в такій послідовній побудові на основі одних властивостей рішення можна ввести поняття "домінування" одних варіантів над іншими на основі порівняння окремих частин варіантів, то можна побудувати просту схему знаходження оптимального рішення на основі *використання правила відсіювання варіантів* – тих, для яких є «домінуючі» варіанти.

Ця загальна ідея вирішення окремих класів задач оптимізації разом з деякими її модифікаціями викладена далі у зв'язку з проблемами планування.

Моделювання є найбільш універсальним засобом вирішення оптимізаційних завдань.

Поняття методів моделювання включає в себе не тільки вміння моделювати досліджуваний процес, але і можливість реалізації деяких принципів управління цим процесом, в тому числі і тих, які реалізуються на практиці, як правило, «вручну».

Застосування таких підходів до планування завдань приводить нас до можливості використання деяких правил переваги при побудові графіків .

В останні роки широке поширення отримали методи моделювання з використанням статистичних тестів - методи Монте-Карло. Використання методів Монте-Карло в задачах на планування призводить до так званих *рандомізованих правил переваги*.

Обидва ці підходи докладно розглядаються в даній книзі. Вони призводять до побудови дуже ефективних методів вирішення проблем планування.

Як ми вже відзначали, практичне вирішення проблем з плануванням можливо тільки за допомогою ПК. Тільки ПК надає можливість реалізації методів вирішення розглянутих в цій книзі завдань планування, і немає підстав сподіватися на те, що ця ситуація коли-небудь зміниться.

При цьому не слід думати, що виконання завдань з планування на ПК під силу тільки математикам. В даний час процес все більшої адаптації ПК до споживача йде швидкими темпами, і ПК, призначені для вирішення планувальних і економічних завдань, будуть пред'являти до своїх користувачів набагато менші вимоги, ніж сьогоденні ПК до наукових розрахунків.

Цей процес багато в чому пов'язаний з розробкою спеціальних універсальних алгоритмічних мов і засобів автоматизації програмування. Як відомо, програмування можна розглядати як процес запису алгоритму вирішення задачі в спеціальні символи, що відображають операції машини, які можуть бути реалізовані даним ПК. Прагнення позбутися від необхідності орієнтуватися на конкретну машину при записі алгоритму призвело до створення деяких спеціальних алгоритмічних мов, дуже простих і зручних для практичного використання і доступних для вивчення. Уміння програмувати об'єктивно перестає бути привілеєм математика і поступово входить в коло обов'язкових знань кожної грамотної людини.

1.6 Висновки до розділу

У даній кваліфікаційній роботі розглядається проблема планування покрівельних робіт промислових будівель і споруд зі зварними покрівельними матеріалами силами великої кількості робітників. Показано, що така задача, пов'язана з класом завдань призначення, може бути зведена до схеми нелінійного булевого програмування.

Об'єктом дослідження обрано процес розподілу працівників по робочих місцях при виконанні покрівельних робіт.

Предметом розробки є математична модель та програмне забезпечення розв'язання задачі оптимізації розподілу працівників.

Мета бакалаврської роботи: розробити економіко-математичну модель оптимізації розподілу трудових ресурсів на ТОВ «Stroy-Ukraine».

Для досягнення поставленої мети дослідження в роботі поставлені наступні завдання:

- проаналізувати організаційно-економічні характеристики та структуру підприємства;
- провести аналіз собівартості та класифікацію витрат у виробництві;
- розглянути сучасні методи та засоби планування виробничих потужностей;
- запропонувати змістовну постановку задачі та сформулювати математичну оптимізаційну модель;
- обґрунтувати вибір методу розв'язання задачі оптимізації та відповідного програмного забезпечення;
- розрахувати економічний ефект від впровадження запропонованого методу.

2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Змістовна постановка проблеми

У даній роботі розглядається проблема планування ремонтно-будівельних робіт, а саме розподілу робітників по робочих місцях при проведенні робіт по ремонту м'якої покрівлі покрівельними рулонними зварними матеріалами:

Ремонт м'якої покрівлі проходить в шість етапів (напрямки робіт):

1. очищення старих покрівельних матеріалів,
2. влаштування цементної вирівнюючої стяжки,
3. нанесення бітумної мастики на цементну стяжку,
4. Облаштування підкладкового шару з зварного матеріалу
5. Облаштування верхнього шару зварюваного матеріалу
6. облаштування абатментів із зварних матеріалів.

На одному об'єкті працює шість осіб. Перші чотири етапи виконуються по черзі, 5-й і 6-й етапи можуть бути пройдені одночасно, за умови, що 5-й етап буде пройдений швидше, ніж 6-й. На кожен етап роботи потрібно дві людини. Всі працівники взаємозамінні, але можуть виконувати роботу з різною продуктивністю. Так як роботи ведуться в основному на території заводів, то на роботи на будівлях цехів виділяється мало часу.

Тому необхідно розподілити робітників по робочих місцях так, щоб загальний час ремонту був мінімальним.

2.2 Математична модель

Введемо такі позначення:

I – номер черги роботи,

j – номер працівника (порядковий номер),

T - час виконання всіх робіт,

V – обсяг робіт,

P - продуктивність праці при виконанні обсягу робіт V ,

n – кількість робочих зон $n = 6$,

m – кількість робітників $m = 6$,

$t_i, i = \overline{1, n}$ - час, витрачений на i місце проведення робіт,

x_{ij} є булевою змінною, значення якої виглядає наступним чином:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t\text{-й працівник виконує роботу } i\text{-го етапу,} \\ 0, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases}$$

Загальний час, витрачений на ремонт, складається з суми часу виконання робіт з першого по четвертий етап і часу роботи на 6-й етап, так як роботи на 5-му етапі повинні проводитися паралельно з роботами на 6-му етапі, а їх тривалість не повинна перевищувати тривалість роботи на 6-му етапі, тобто,

$$t_5 \leq t_6. \quad (2.1)$$

Таким чином, час, витрачений на всі роботи:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_6. \quad (2.2)$$

Час, витрачений на кожен з етапів:

$$t_i = \frac{v_i}{p_i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2.3)$$

Підставляючи вираз для t_i з формули (2.3) у формулу (2.2), отримаємо:

$$T = \sum_{i=1}^4 \frac{v_i}{p_i} + \frac{v_6}{p_6}, \quad (2.4)$$

де p_i - продуктивність праці на i -му етапі. Вона залежить від кількості і кваліфікації працівників, що працюють на ньому:

$$p_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij}, \quad (2.5)$$

де p_{ij} - продуктивність праці j -го робітника на i -ому етапі; x_{ij} є булевою змінною, значення якої виглядає наступним чином:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t\text{-й працівник виконує роботу } i\text{-го етапу,} \\ 0, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases} \quad (2.6)$$

В якості критерію оптимізації виберемо мінімізацію витрат часу на всі роботи:

$$T \rightarrow \min \quad (2.7)$$

Тоді з (2.4), (2.5) і (2.7) отримаємо:

$$T = \frac{v_1}{\sum_{j=1}^m p_{1j} x_{1j}} + \frac{v_2}{\sum_{j=1}^m p_{2j} x_{2j}} + \frac{v_3}{\sum_{j=1}^m p_{3j} x_{3j}} + \frac{v_4}{\sum_{j=1}^m p_{4j} x_{4j}} + \frac{v_6}{\sum_{j=1}^m p_{6j} x_{6j}}. \quad (2.8)$$

За шуканими змінними x_{ij} , $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$ ми вводимо наступні обмеження.

1) На кожному робочому місці повинні працювати по два працівники:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 2, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2.9)$$

2) Кожен працівник повинен працювати хоча б в одному з перших чотирьох етапів:

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} \geq 1, \quad j = \overline{1, m}. \quad (2.10)$$

3) Кожен працівник може працювати не більше ніж на одному (п'ятому або шостому) етапі:

$$\sum_{i=5}^6 x_{ij} \leq 1, \quad j = \overline{1, m}. \quad (2.11)$$

Додавши (2.1), (2.3) і (2.5) отримаємо:

$$\frac{v_5}{\sum_{j=1}^m p_{5j} x_{5j}} \leq \frac{v_6}{\sum_{j=1}^m p_{6j} x_{6j}} \quad (2.12)$$

Задача (2.4) – (2.12) є нелінійною проблемою булевого програмування. З огляду літератури, представленого в першому розділі, впливає, що найбільш підходящим методом для вирішення цієї проблеми є метод послідовного аналізу варіантів, розроблений фахівцями Інституту кібернетики НАН України. У надбудові «Пошук рішень» MS Excel запрограмований алгоритм методу гілок та меж, який можна розглядати як окремий випадок методу послідовного аналізу випадків. Тому наведені нижче розрахунки проводяться за допомогою надбудови «Пошук рішення» MS Excel.

2.3 Інформаційна модель

Для вирішення задачі оптимізації була створена програма в середовищі MS Excel. Ця програма має 12 аркушів:

- Заставку,
- Головне меню,
- Персонал,
- Обсяг робіт,
- Продуктивність,
- розподіл працівників,
- Обмеження1,
- Обмеження2,
- Обмеження3,
- Обмеження4,
- Розрахунок,
- Результат.

Щоб почати працювати з програмою, необхідно запустити файл «Оптимізація.xls». З'являється аркуш «Заставка», на якому представлена тема пояснення щодо сутності завдань, які виконуються, а також запрошення щодо початку роботи з програмою.

Коли ви натиснете на кнопку «Увійти», перейдете в розділ «Головне меню», в якому міститься головне меню програми (рис. 2.1). На кожному аркуші є кнопка «Повернутися в головне меню», яка відкриває Головне меню.

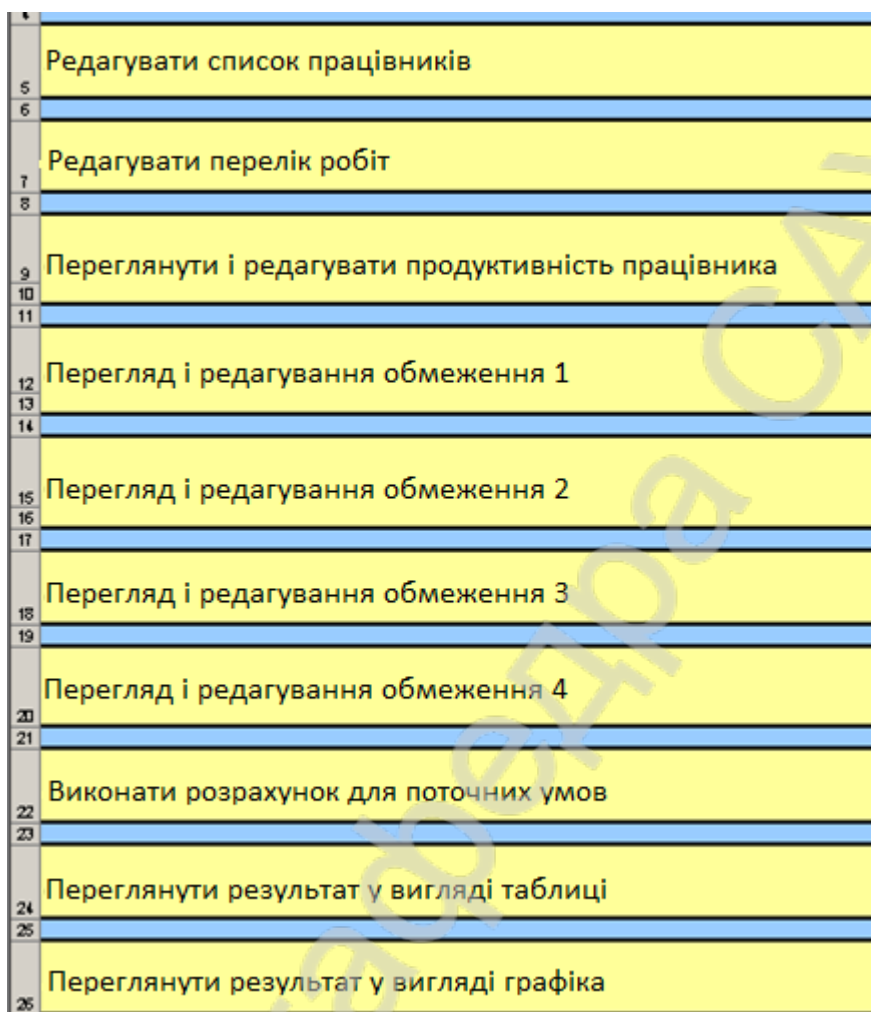


Рисунок 2.1 – Головне меню програми

Натиснувши на кнопку «Співробітники», ми перейдемо на лист «Співробітники». У ньому наводяться відомості про працівників, а саме повне найменування та порядковий номер, як представлено в таблиці 2.1. Ця інформація повинна бути введена відповідно до ваших даних.

Таблиця 2.1

Персонал

ПІБ працівників	№ з/п
Сидоров В. І.	1
Петренко А. М.	2
Макушкін Р. Л.	3
Тимощук В. А.	4
Іванов Ю. П.	5
Васюткін Н. А.	6

Коли натискаємо на кнопку «Обсяг робіт», ми переходимо на лист «Обсяг робіт». На якому потрібно встановити обсяг робіт по кожному розділу (табл. 2.2)

Таблиця 2.2

Обсяг робіт

Об'єм, м ²	№ етапу
1000	1
1100	2
1100	3
900	4
1200	5
1400	6

1 секція – демонтаж старої покрівлі з покрівельних матеріалів,

2 етап – влаштування цементної вирівнюючої стяжки,

3 етап – нанесення бітумної мастики на цементну стяжку,

4-й етап – монтаж підкладкового шару зі зварного матеріалу,

5 етап – монтаж верхнього шару зі зварного матеріалу,

6-й розділ – облаштування абатментів із зварних матеріалів.

Коли натискаємо на кнопку «Продуктивність», переходимо на лист «Продуктивність». На якому необхідно встановити продуктивність за день для кожного працівника на кожній ділянці, як вона представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Продуктивність праці

Номер етапу	1	2	3	4	5	6
Номери робітників						
1	80	30	15	0	80	30
2	54	16	85	12	54	16
3	25	85	27	95	25	85
4	0	40	50	55	0	40
5	55	38	26	26	55	38
6	51	25	54	40	51	25

Коли натискаємо на кнопку «Розподіл», переходимо на лист «Розподіл працівників». З нього видно, який працівник працює на кожній з ділянок (табл. 2.4)

Таблиця 2.4.

Розподіл працівників

Номер етапу		1	2	3	4	5	6
№ працівника	1	1	0	0	0	1	0
	2	0	0	1	0	1	0
	3	0	1	0	1	0	1
	4	0	1	0	1	0	1
	5	1	0	0	0	0	0
	6	0	0	1	0	0	0

У цій таблиці показаний оптимальний варіант розподілу працівників по ділянках. Для того щоб отримати оптимальне рішення, потрібно через головне меню перейти на лист «Розрахунок», натиснувши кнопку «Розрахунки».

На аркуші «Розрахунок» представлена математична модель оптимізації розподілу трудових ресурсів (2.4) – (2.13), описана в розділі 2.2. У даній моделі використовується надбудова «Пошук рішень» MS Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	№ участка	1	2	3	4	5	6	Объем работ	1000	1100	1100	900	1200	1400	
2	№ п.п. рабочих							Производительность							
3	1	1	0	0	0	1	0	80	30	15	0	80	30		
4	2	0	0	1	0	1	0	54	16	85	12	54	16		
5	3	0	1	0	1	0	1	25	85	27	95	25	85		
6	4	0	1	0	1	0	1	0	40	50	55	0	40		
7	5	1	0	0	0	0	0	55	38	26	26	55	38		
8	6	0	0	1	0	0	0	51	25	54	40	51	25		
9															
10															
11															
12	№ работы(производительность)														
13	1	135													
14	2	125													
15	3	139													
16	4	150													
17	5	134													
18	6	125													
19															
20															
21	Общее время затраченное на ремонт			41,3211											
22															
23	x11+x12+x13+x14+x15+x16=	2	2												
24	x21+x22+x23+x24+x25+x26=	2	2												
25	x31+x32+x33+x34+x35+x36=	2	2												
26	x41+x42+x43+x44+x45+x46=	2	2												
27	x51+x52+x53+x54+x55+x56=	2	2												
28	x61+x62+x63+x64+x65+x66=	2	2												
29															
30															
31	x11+x21+x31+x41=	1	>=1												
32	x12+x22+x32+x42=	1	>=1												
33	x13+x23+x33+x43=	2	>=1												
34	x14+x24+x34+x44=	2	>=1												
35	x15+x25+x35+x45=	1	>=1												
36	x16+x26+x36+x46=	1	>=1												
37															
38															
39	x51+x61=	1	<=1												
40	x52+x62=	1	<=1												
41	x53+x63=	1	<=1												
42	x54+x64=	1	<=1												
43	x55+x65=	0	<=1												
44	x56+x66=	0	<=1												
45															
46		9	<	11,2											

Рисунок 2.2 – Лист Розрахунок програми оптимізації

Для запуску надбудови «Пошук рішень» у MS Excel у головному меню MS Excel необхідно вибрати розділ «Дані» де в свою чергу знайти кнопку «Пошук рішення». Тепер, щоб почати розрахунок, потрібно натиснути на кнопку «Розрахунок». Розрахунок буде проводитися відповідно до заданих лімітів.

У даній моделі є чотири блоки обмежень. Щоб переглянути, відредагувати або оновити обмеження №1, необхідно натиснути на кнопку «Обмеження 1» у головному меню. Автоматичний перехід на лист «Обмеження1» (рис. 2.3), на цьому аркуші представлено наступне обмеження:

На кожному робочому місці повинні працювати по два працівники:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 2, \quad i = \overline{1, n}.$$

Стовпець D містить значення, які повинні бути отримані в стовпці C, щоб задовольнити це обмеження. У стовпці C представлені значення, які виходять після обчислень.

	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6		$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}=\$	2	2	
7		$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}=\$	2	2	
8		$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}=\$	2	2	
9		$x_{41}+x_{42}+x_{43}+x_{44}+x_{45}+x_{46}=\$	2	2	
10		$x_{51}+x_{52}+x_{53}+x_{54}+x_{55}+x_{56}=\$	2	2	
11		$x_{61}+x_{62}+x_{63}+x_{64}+x_{65}+x_{66}=\$	2	2	
12					
13					
14					

Рисунок 2.3 – Перше обмеження оптимізаційної задачі.

Для перегляду, зміни або введення обмеження №2 необхідно натиснути на кнопку «Обмеження 2» у головному меню. Автоматично переходимо на лист «Обмеження2» (рис. 2.4), на цьому аркуші представлено наступне обмеження:

Кожен працівник повинен працювати хоча б в одному з перших чотирьох напрямків:

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} \geq 1, \quad j = \overline{1, m}.$$

Стовпець E містить значення, які необхідно отримати в стовпці D, щоб задовольнити це обмеження. У стовпці D представлені значення, які виходять після проведених обчислень.

	A	C	D	E	F
1					
2					
3					
4					
5		$x_{11}+x_{21}+x_{31}+x_{41}=\$		1	≥ 1
6		$x_{12}+x_{22}+x_{32}+x_{42}=\$		1	≥ 1
7		$x_{13}+x_{23}+x_{33}+x_{43}=\$		2	≥ 1
8		$x_{14}+x_{24}+x_{34}+x_{44}=\$		2	≥ 1
9		$x_{15}+x_{25}+x_{35}+x_{45}=\$		1	≥ 1
10		$x_{16}+x_{26}+x_{36}+x_{46}=\$		1	≥ 1
11					
12					

Рисунок 2.4 – Друге обмеження оптимізаційної задачі

Щоб переглянути обмеження №3, натисніть на кнопку «Обмеження 3» у головному меню. Автоматично переходимо на лист «Обмеження3» (рис. 2.5), на цьому аркуші представлено наступне обмеження:

Кожен працівник може працювати не більше ніж в одній (п'ятій або шостій) дільниці:

$$\sum_{i=5}^6 x_{ij} \leq 1, \quad j = \overline{1, m}.$$

Стовпець E містить значення, які необхідно отримати в стовпці D, щоб задовольнити це обмеження. У стовпці D представлені значення, які виходять після проведених обчислень.

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7			$x_{51}+x_{61}=\$		1	≤ 1
8			$x_{52}+x_{62}=\$		1	≤ 1
9			$x_{53}+x_{63}=\$		1	≤ 1
10			$x_{54}+x_{64}=\$		1	≤ 1
11			$x_{55}+x_{65}=\$		0	≤ 1
12			$x_{56}+x_{66}=\$		0	≤ 1
13						
14						

Рисунок 2.5 – Третє обмеження оптимізаційної задачі

Для перегляду обмеження №4 натисніть на кнопку «Обмеження 4» у головному меню. Автоматично переходимо на лист «Обмеження4» (рис. 2.6), на цьому аркуші представлено наступне обмеження:

Етапи 5 і 6 можуть бути пройдені одночасно, за умови, що 5 етап буде завершено швидше, ніж етап 6

$$\frac{v_5}{\sum_{j=1}^m p_{5j} x_{5j}} \leq \frac{v_6}{\sum_{j=1}^m p_{6j} x_{6j}}$$

У клітинці C7 відображається час, витрачений на 5-й відрізок. Осередок E7 являє собою час, витрачений на 6-й розділ.

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7			8.955224	<	11.2	
8						
9						
10						
11						
12						

Рисунок 2.6 – Четверте обмеження оптимізаційної задачі

Щоб переглянути кінцевий результат у графічному вигляді, потрібно натиснути на кнопку «Результат» у головному меню. Автоматично відкриється лист «Результат» (рис. 2.7), в якому представлений графік роботи робітників на ділянках. На цьому аркуші також відображається час, витрачений на проведення ремонтних робіт на кожному з об'єктів, і загальний час, необхідний для виконання робіт з ремонту м'якої покрівлі рулонними покрівельними матеріалами на об'єктах Замовника.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4												
5												
6		№ ділянки	1	2	3	4	5	6				
7												
8		Сидоров В. И.	-	-	-	-	-	-				
9		Петренко А. Н.	-	-	-	-	-	-				
10		Макушкин Р. Л.	-	-	-	-	-	-				
11		Тимощук В. А.	-	-	-	-	-	-				
12		Иванов Ю. П.	-	-	-	-	-	-				
13		Васюткин Н. А.	-	-	-	-	-	-				
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												

-	Працює
-	Не працює

Час виконання робіт на ділянці 1	7,4 змін
Час виконання робіт на ділянці 2	8,8 змін
Час виконання робіт на ділянці 3	7,9 змін
Час виконання робіт на ділянці 4	6,0 змін
Час виконання робіт на ділянці 5	9,0 змін
Час виконання робіт на ділянці 6	11,2 змін
Загальний час виконання всіх робіт	41,3 змін

Головне меню

Рисунок 2.7 – Результат розв’язання оптимізаційної задачі.

2.4 Економічна ефективність

Проаналізувавши прибуток ТОВ «Stroy-Ukraine до впровадження моделі оптимізації розподілу трудових ресурсів, отримаємо наступне:

Прибуток підприємства визначається за такою формулою:

$$P = P_{\text{дог}} - P_{\text{мат}} - K - N \quad , \quad (2.13)$$

де P -прибуток, $P_{\text{дог}}$ - ціна договору, $P_{\text{мат}}$ - вартість матеріалів, K - накладні витрати, пов'язані з організацією роботи, N - податки, в тому числі податки на заробітну плату робітникам і інженерам, податки на прибуток, отриманий на роботі, податок на додану вартість.

Накладні витрати, пов'язані з організацією роботи (зокрема, витрати на проїзд і проживання будівельних бригад), безпосередньо залежать від продуктивності праці:

$$K = (P_{\text{ком}} + P_{\text{прож}})Tm, \quad (2.14)$$

де $P_{\text{ком}}$ - витрати на відрядження, на одного працівника, які становлять 400 грн/день; $P_{\text{прож}}$ - витрати на проживання одного працівника, які становлять близько 1000 грн/день; T - загальний час роботи, m - кількість робітників

Взявши за основу таблицю 2.2, де вказаний обсяг робіт, зазначений у договорі, отримуємо:

Об'єм покрівлі, м ²	№ ділянки
1000	1
1100	2
1100	3
900	4
1200	5
1400	6

Підставляючи формулу (2.14) в формулу (2.13), отримаємо:

$$P = P_{\text{дог}} - P_{\text{мат}} - (P_{\text{ком}} + P_{\text{прож}})Tm - N$$

$$P_{\text{дог}} = 2\,080\,000 \text{ грн} - \text{ціна договору на виконання робіт}$$

$$P_{\text{мат}} = 650\,000 \text{ грн} - \text{ціна матеріалу}$$

$$N = 80\,000 - \text{податки}$$

$T = 50$ зміни (або робочі дні), час, за який бригада з шести працівників мала виконувати ремонтні роботи за попереднім планом;

$$P = 2\,080\,000 - 650\,000 - (400 + 1000) * 50 * 6 - 80\,000 = 930\,000 \text{ грн}$$

$$P = 930\,000 \text{ грн} - \text{прибуток за старими умовами виконання робіт.}$$

Після впровадження моделі оптимізації отримуємо:

$$T = 42 \text{ зміни, звідси впливає:}$$

$$P = 2\,080\,000 - 650\,000 - (400 + 1000) * 42 * 6 - 80\,000 = 997\,200 \text{ грн}$$

Витрати, пов'язані з організацією роботи, скоротилися на 16%. Внаслідок цього прибуток від виконання типового замовлення зріс на 67 200 грн, тобто на 7,23%.

2.5 Висновки до розділу

В спеціальному розділі кваліфікаційної роботи розроблено математичну модель оптимального планування розподілу працівників на робочих місцях по відношенню до планування покрівельних робіт. Модель являє собою нелінійну булеву задачу програмування, в якій цільова функція є мінімумом загального часу, витраченого на роботу. При цьому враховуються конкретні технологічні вимоги.

Розроблена модель, в силу своєї загальності, може використовуватися для різних ремонтно-будівельних робіт: роботи по влаштуванню металеві покрівлі; роботи по влаштуванню кислотостійких підлог в промислових будівлях і спорудах і подібних.

Розроблена математична модель була застосована до розв'язання типової задачі призначення персоналу в компанії НВП ТОВ «Stroy-Ukraine». Розрахунки показали, що за рахунок оптимізації призначення працівників стало можливо:

- скоротити розрахунковий час виконання заданого обсягу робіт з 50 діб до 41,3 доби – тобто на 17,4%;
- зменшити витрати на виконання всього обсягу робіт на 16% за рахунок зменшення часу виконання всіх робіт;
- підвищити ефективність діяльності шляхом збільшення прибутку від виконання типового замовлення на 67 200 грн, тобто на 7,32%.

Основним джерелом підвищення ефективності є врахування спеціалізації та кваліфікації робітників при виконанні ними різних операцій.

Розроблено інформаційну систему, що забезпечує вирішення задачі про призначення персоналу за видами робіт. Її застосування дозволяє не лише

отримати оптимальні терміни виконання робіт на кожній з ділянок, а й візуалізувати результати розрахунку у вигляді часових графіків роботи по кожному виконавцю.

НТУ "ДГ" кафедра САУ

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі розглядається проблема планування покрівельних робіт промислових будівель і споруд зі зварними покрівельними матеріалами силами великої кількості робітників.

Об'єктом дослідження обрано процес розподілу працівників по робочих місцях при виконанні покрівельних робіт.

Предметом розробки є математична модель та програмне забезпечення розв'язання задачі оптимізації розподілу працівників.

Мета бакалаврської роботи: розробити економіко-математичну модель оптимізації розподілу трудових ресурсів на ТОВ «Stroy-Ukraine».

Проаналізовано технологічну схему проведення ремонтних робіт на покрівлях промислових будівель і споруд зі зварними покрівельними матеріалами. На основі проведеного аналізу сформульовано змістовне формулювання мети щодо проведення ремонтних покрівельних робіт.

Розроблено математичну модель оптимального планування розподілу працівників на робочих місцях по відношенню до планування покрівельних робіт. Модель являє собою нелінійну булеву задачу програмування, в якій цільова функція є мінімумом загального часу, витраченого на роботу. При цьому враховуються конкретні технологічні вимоги.

Розроблена модель, в силу своєї загальності, може використовуватися для різних ремонтно-будівельних робіт: роботи по влаштуванню металевої покрівлі; роботи по влаштуванню кислотостійких підлог в промислових будівлях і спорудах і подібних.

Розроблена математична модель була застосована до розв'язання типової задачі призначення персоналу в компанії ТОВ «Stroy-Ukraine». Розрахунки показали, що за рахунок оптимізації призначення працівників стало можливо:

- скоротити розрахунковий час виконання заданого обсягу робіт з 50 діб до 41,3 доби – тобто на 17,4%;

- зменшити витрати на виконання всього обсягу робіт на 16% за рахунок зменшення часу виконання всіх робіт;
- підвищити ефективність діяльності шляхом збільшення прибутку від виконання типового замовлення на 67 200 грн, тобто на 7, 32%.

Основним джерелом підвищення ефективності є врахування спеціалізації та кваліфікації робітників при виконанні ними різних операцій.

Розроблено інформаційну систему, що забезпечує вирішення задачі про призначення персоналу за видами робіт. Її застосування дозволяє не лише отримати оптимальні терміни виконання робіт на кожній з ділянок, а й візуалізувати результати розрахунку у вигляді часових графіків роботи по кожному виконавцю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмичов, А. І. (2020). *Планування та управління проектами. Моделювання засобами MS Excel: практикум*. Київ: Ліра-К. 180 с.
2. Михайлов, Н. О. (2024). Методи високоефективного планування проєктів: традиційні підходи та машинне навчання. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (4), 186–192. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.4.18>
3. Гладка, М. В., & Шевченко, К. І. (2015). Мережеві методи планування в управлінні проектами. У *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами* (с. 166–167). Київ: НУХТ.
4. Мірошник, М. А., & Толстолузький, Є. Д. (2023). Модель мережевого планування із застосуванням методів мультипаралельної обробки інформації. У *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ–2023)* (с. 75–76). Харків: Контраст.
5. Necoara, I., Nedelcu, V., & Dumitrache, I. (2013). Parallel and distributed optimization methods for estimation and control in networks. *arXiv preprint arXiv:1302.3103*. [Посилання](#)
6. Zhang, G. (2009). A scientific understanding of network designing. *arXiv preprint arXiv:0911.2075*. [Посилання](#)
7. Сайко, В. Г. (2015). *Основи мережевого планування широкосмугових мереж бездротового зв'язку*. Київ: ДУІКТ.
8. Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2005). The network analysis of urban streets: A primal approach. *arXiv preprint physics/0506009*. [Посилання](#)
9. Albert, R., & Barabási, A.-L. (2001). Statistical mechanics of complex networks. *arXiv preprint cond-mat/0106096*. [Посилання](#)
10. Ус, С. А., & Коряшкіна, Л. С. (2018). Моделі й методи прийняття рішень.
11. Кваліфікаційна робота бакалавра [Електронний ресурс] : методичні рекомендації для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми

«Системний аналіз» зі спеціальності 124 Системний аналіз / уклад.: Т.А. Желдак, Т.В. Хом'як, А.В. Малієнко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 32 с.

12. Желдак, Т. А., Коряшкіна, Л. С., & Ус, С. А. (2020). Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень.

