

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування
та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

МЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ АВТОМОБІЛІВ

ДРПМ.2019/106.01.11.00

Галузь знань 11 Математика та статистика

Спеціальність 113 Прикладна математика

Виконав:

студент 2 магістерського курсу, групи ПМм-19-1



Підпис

О.В. Драпатий

Керівник канд.техн.наук, доцент.



Підпис

І.В. Драч

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТМІТ, д-р.техн.наук., доцент



Підпис

С.К. Підченко

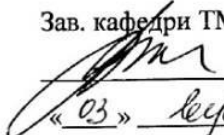
02 травня 2020 р.

Хмельницький 2020

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 Факультет: ПРОГРАМУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ
 Кафедра: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
 Освітній рівень: МАГІСТР
 Галузь знань: 11 МАТЕМАТИКА ТА СТАТИСТИКА
 Спеціальність: 113 ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА
 Освітня програма: ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ТМІТ

 Підченко С.К.
 «03» вересня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)**

Драпатову Олександрю Васильовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Мережева модель організації ремонту автомобілів

Керівник проекту (роботи) Драч Ілона Володимирівна, к.т.н доцент
 Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.09.2020 р. № 118

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.12.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Наукові джерела з питань математичного моделювання технологічних процесів автопідприємств; планові та звітні дані, а також чинні на підприємстві виробничі інструкції, положення, нормативи, зібрані під час проходження науково-дослідної практики на підприємстві СТОА «ЛІДЛ» (м. Хмельницький).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Виконати аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для ефективної організації технологічних процесів автопідприємств; узагальнити існуючі положення розробки мережевих моделей для оптимального функціонування підприємства автосервісу; побудувати і проаналізувати математичні моделі обслуговування й ремонту рухомого складу, евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки на пости обслуговування за мережевими графіками; розглянути мережеву векторну версію задачі про заміну обладнання із застосуванням методів динамічного програмування та розробити план оновлення обладнання для здійснення ремонту та ТО автомобілів; розробити практичні рекомендації для оптимальної організації роботи СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень).

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			



7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження теми науковим керівником	01.09.2020 – 02.09.2020	Виконано
2	Аналіз основних етапів і проблем розробки математичних моделей технологічних процесів автопідприємств	03.09.2020 – 08.09.2020	Виконано
3	Розробка 1 розділу написання ДРМ	09.09.2020 – 20.09.2020	Виконано
4	Вивчення теоретичних основ математичного мережевого моделювання організації ремонту автомобілів	21.09.2020 – 27.09.2020	Виконано
5	Розробка 2 розділу написання ДРМ	28.09.2020 – 7.10.2020	Виконано
6	Побудова і аналіз мережевих моделей основних технологічних процесів автопідприємства. Розробка практичних рекомендацій для оптимальної організації технологічних процесів ремонту і ТО для СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького.	08.10.2020 – 13.10.2020	Виконано
7	Розробка 3 розділу написання ДРМ	14.10.2020 – 05.11.2020	Виконано
8	Написання вступу, висновків, формування переліку джерел посилання та додатків	06.11.2020 – 08.11.2020	Виконано
9	Попередній захист дипломної роботи	09.11.2020 – 10.11.2020	Виконано
10	Подача роботи на: кафедру, антиплагіат, рецензування, нормоконтроль	12.11.2020 – 3.12.2020	Виконано
11	Захист дипломної роботи	4.12.2020 – 15.12.2020	Виконано

Студент

Керівник проекту (роботи)


 Підпис

 Підпис

О.В. Драпатий

І. В. Драч

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: Мережева модель організації ремонту автомобілів.

Автор роботи: Драпатий Олександр Васильович.

Керівник роботи: Драч Ілона Володимирівна.

Загальний обсяг роботи: 87 сторінок, 1 додаток, 28 посилань

МЕРЕЖЕВЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МЕТОДИ МЕРЕЖЕВОГО ПЛАНУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ (МПУ), МЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ, ПРОЦЕСИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ (ТО), РЕМОНТУ ТА ЕВАКУАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ; ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА МЕРЕЖИВИМИ МОДЕЛЯМИ

Описано процеси технічного обслуговування і ремонту автомобілів методами мережевого планування підприємства і надано рекомендації щодо оптимізації роботи СТОА.

ANNOTATION

Thesis topic: Network model of car repair organization.

Author of the work: Oleksandr Drapaty.

Mentor: Iлона Drach.

Total volume of work: 87 pages, 1 appendices, 28 references.

NETWORK SIMULATION, METHODS OF NETWORK PLANNING AND MANAGEMENT, NETWORK MODEL, MAINTENANCE PROCESSES, REPAIR AND EVACUATION OF THE CAR; OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ACCORDING TO LACE MODELS

Describes the processes of maintenance and repair of cars by methods of network planning of the enterprise and provides recommendations for optimizing the operation of the car maintenance station

02 грудня 2020р.
Дата/Date


Підпис/Signature

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Сучасний стан питання технологічного розрахунку підприємств автомобільного сервісу	11
1.1 Сучасні тенденції розвитку підприємств автосервісу	12
1.2 Методи мережевого планування в задачах автомобільного транспорту	13
1.3 Основні етапи розвитку мережевого планування й керування	15
1.4 Постановка задачі та завдань дослідження. Розробка гіпотези дослідження	19
2 Теоретичні основи математичного мережевого моделювання організації ремонту автомобілів	22
2.1 Основні елементи мережевих графіків	22
2.2 Правила побудови мережевих графіків	25
2.3 Процес побудови мережевих графіків	27
2.4 Упорядкування мережевого графіка	28
2.5 Розрахунок параметрів мережевої моделі	30
2.5.1 Розрахунок тривалості повного шляху	31
2.5.2 Розрахунок часу настання подій	31
2.5.3 Розрахунок часу виконання робіт	34
2.6 Аналіз й оптимізація мережевих моделей	36
2.7 Динамічне програмування в задачах мережевого планування	40
3 Оптимізація процесів технічного обслуговування й ремонту рухомого складу за мережевими моделями	43
3.1 Мережевий графік основних робіт ремонту автомобіля категорії М1	44
3.2 Мережева модель виконання робіт ТО-1 для автомобіля категорії М1	52

3.2.1	Технологічний процес перевірки технічного стану транспортних засобів	52
3.2.2	Мережевий графік виконання робіт ТО-1 для автомобіля категорії М1	55
3.2.3	Розрахунки параметрів мережевого графіка технологічного процесу ТО-1 автомобіля категорії М1	55
3.3	Мережева модель евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки на пости обслуговування	66
3.3.1	Визначення переліку робіт у складі мережевого графіка	66
3.3.2	Побудова мережевого графіка плану евакуації автомобіля категорії М1	68
3.3.3	Розрахунки за мережевим графіком плану евакуації автомобіля категорії М1	69
3.4	Задача про заміну обладнання (мережева векторна версія)	72
3.4.1	Постановка задачі	72
3.4.2	Побудова математичної моделі	73
3.4.3	Послідовність розв'язання задачі	76
	Висновки	82
	Перелік джерел посилання	84
	Додаток А	87

ВСТУП

Методи мережевого аналізу та мережевого управління застосовні для розробки нових продуктів і технологій як в традиційних галузях, для яких типові лише покрокові інновації, так і для нових, які швидко розвиваються: мережеве планування є важливим інструментом для мобілізації ресурсів і для більш ефективного використання наявних ресурсів [1].

У практичному плані застосування мережевого підходу в логістиці дає можливість використовувати графічні методи планування в поєднанні з елементами імовірнісних моделей розподілу тривалостей окремих етапів робіт.

Система мережевого планування і управління (СМПУ) - сукупність науково обґрунтованих положень організації і управління виробництвом, що базується на моделюванні процесу за допомогою мережевого графіка на базі застосування теорії графів, теорії ймовірностей і комп'ютерних технологій [2].

Система МПУ дозволяє формувати план реалізації складного комплексу робіт, визначати і мобілізувати резерви часу, попереджати можливі зриви в ході робіт, здійснювати оперативне коригування планів.

Особливістю методів МПУ є не тільки моделювання всього комплексу робіт, але і виявлення тих ділянок, від яких найбільшою мірою залежить виконання всього комплексу робіт у встановлені терміни. Цей метод враховує все різноманіття зв'язків між окремими роботами, дозволяє оцінити вплив відхилення від плану на подальший хід роботи і сприяє оптимізації процесу управління всім ходом робіт [3].

Оптимізація мережевого графіка є процесом поліпшення організації виконання комплексу робіт з урахуванням терміну його виконання. Теоретично кінцевим результатом оптимізації мережевого графіка є скорочення тривалості критичного шляху, вирівнювання коефіцієнтів напруженості робіт, раціональне використання наявного ресурсного потенціалу [4].

Актуальність теми цієї роботи обумовлена необхідністю грамотного керування підприємством автосервісу шляхом застосування мережевих моделей.

Методи мережевого моделювання в організації технологічних процесів підприємств автосервісу дозволяють вирішувати велике коло завдань, пов'язаних з оптимізацією перерозподілу різноманітних ресурсів: часових (використання резервів часу, некритичних шляхів), матеріальних, трудових, фінансових (перерозподіл частин сировини і матеріалів, потужностей і устаткування, виконавців, грошових коштів з некритичних шляхів на роботи критичного шляху); зниження трудомісткості робіт критичного шляху за рахунок передачі частини робіт на інші шляхи, що мають резерви часу; виконання трудомістких робіт критичного шляху паралельно; перегляд і зміна складу робіт і структури всієї мережі.

Метою дослідження є розробка і аналіз мережевих моделей технологічних процесів підприємства автосервісу і визначення оптимальної організації процесів технічного обслуговування, ремонту автомобілів, їх евакуації з місця ДТП або поломки на пости обслуговування та надати рекомендації щодо оптимізації роботи СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- виконати аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для ефективно організації технологічних процесів автопідприємств; узагальнити існуючі положення розробки мережевих моделей для оптимального функціонування підприємства автосервісу.

- побудувати і проаналізувати математичні моделі обслуговування й ремонту рухомого складу, евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки на пости обслуговування за мережевими графіками.

- розглянути мережеву векторну версію задачі про заміну обладнання із застосуванням методів динамічного програмування та розробити план оновлення обладнання для здійснення ремонту та ТО автомобілів.

- розробити практичні рекомендації для оптимальної організації роботи

СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького.

Об'єктом дослідження є структура технологічних процесів підприємства автосервісу, характерною рисою якої має стати максимально можлива ефективність функціонування автопідприємства.

Предметом дослідження є комплексне мережеве моделювання.

Гіпотеза дослідження.

На продуктивність підприємства автосервісу мають вплив багато економічних, технологічних і людських чинників. Тому задача дослідження полягає в тому, щоб із всіх можливих варіантів організації виробництва (а саме, технологічних операцій ремонту і ТО автомобілів) обрати ту виробничу модель, яка б з одного боку задовольняла інтереси підприємства і споживача, а з другого – при наявності лімітованих ресурсів давала б максимальний ефект.

Розв'язання цієї задачі можливе з використанням методів мережевого моделювання.

Науково-практична новизна отриманих результатів полягає у розробленні технологічних процесів перевірки технічного стану та ремонту автомобілів категорії М1 з використанням методів математичного моделювання і в оцінці чисельності посту технічного контролю за показниками діяльності СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького.

Практичне значення одержаних результатів роботи становить запропонована методика технологічного розрахунку посту перевірки технічного стану автомобіля СТОА.

Основна частина складається з трьох розділів.

У першому розділі проаналізовані основні підходи при дослідженні задач технологічного розрахунку підприємств автомобільного сервісу, які показали, що на сучасному етапі суттєво зростає значення математичного моделювання в організації технологічних процесів автопідприємств. Це обумовлено тим, що воно дозволяє виключити невизначеність, визначити фактори обмеження та їх динаміку, розрахувати необхідні витрати на досягнення поставлених цілей. У

розділі наведені постановка задачі та завдань дослідження, гіпотези дослідження.

Другий розділ присвячений теоретичним основам математичного мережевого моделювання організації ремонту автомобілів. У розділі висвітлені такі питання: основні елементи мережевих графіків, правила побудови мережевих графіків, процес побудови, упорядкування й аналізу мережевих графіків, а також оптимізація мережевих моделей.

У третьому розділі побудовано і проаналізовано мережевий графік основних робіт ремонту автомобіля категорії М1, мережеву модель виконання робіт ТО-1 для автомобіля категорії М1, мережеву модель евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки на пости обслуговування. Для розробки моделей використано дані підприємства СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького. Розроблено практичні рекомендації для оптимальної організації технологічних процесів ремонту і технічного огляду для цього підприємства.

Публікації та апробація результатів дослідження.

За темою роботи опубліковано статтю (Додаток А) –

Драпатий О.В., Драч І.В. Методи мережевого моделювання. Сучасні напрямки // Актуальні проблеми комп'ютерних наук. Збірник наукових праць за матеріалами XII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, 2020, Т.1. – 102-112.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ПІДПРИЄМСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО СЕРВІСУ

Розвиток транспорту як в Україні так і в усьому світі призвів до нових підходів не лише в питаннях технічного обслуговування і ремонту автомобілів, а й до появи ряду підприємств автомобільного сервісу, які надають специфічні послуги. На сьогоднішній день в Україні акредитовано більше 500 випробувальних лабораторій, які здійснюють діяльність пов'язану з обов'язковим технічним контролем транспортних засобів. В більшості випадків під час створення підприємств такого типу керівництво або виходить із наявних будівель та приміщень, або здійснює будівництво на власний розсуд, без будь-яких розрахунків, технологічних проектів. У зв'язку з цим в подальшій діяльності підприємства виникає ряд проблем, пов'язаних із технологічними процесами перевірки технічного стану транспортних засобів [5]:

- а) відсутність можливості організації потокового методу перевірки;
- б) процес перевірки технічного стану далекий від оптимального;
- в) нерациональне розташування робочих постів;
- г) відсутність можливості розширення сфери діяльності (типів, модифікацій, категорій транспортних засобів).

Окрім того актуальність зазначеного питання зумовлена з одного боку законодавством України [6], де регламентується термін проведення перевірки технічного стану транспортних засобів, з другого боку – необхідністю оцінки спроможності підприємства проводити випробування заявленої кількості автомобілів зі сторони Національного агентства з акредитації України [7, 8]. Такі заходи призводять до необхідності оптимізації роботи підприємства автосервісу, з тим, щоб здійснювати перевірку технічного стану максимально можливої кількості транспортних засобів. Для того, щоб підприємство мало можливість ефективно використовувати свою виробничо-технічну базу, необхідно на етапі проектування враховувати особливості технологічних

процесів, які там виконуватимуться, а також враховувати перспективи подальшого розвитку підприємства.

1.1 Сучасні тенденції розвитку підприємств автосервісу

У сучасній Україні з'являється відносно новий вид обслуговуючих підприємств автомобільного транспорту – лінії інструментального контролю (діагностична лабораторія, пункт технічного контролю) [9]. Поява таких підприємств пов'язана із реорганізацією системи державного технічного огляду та системи сертифікації автомобілів. Місце цих підприємств у структурі підприємств автомобільного транспорту наведено на рисунку 1.1 [10].

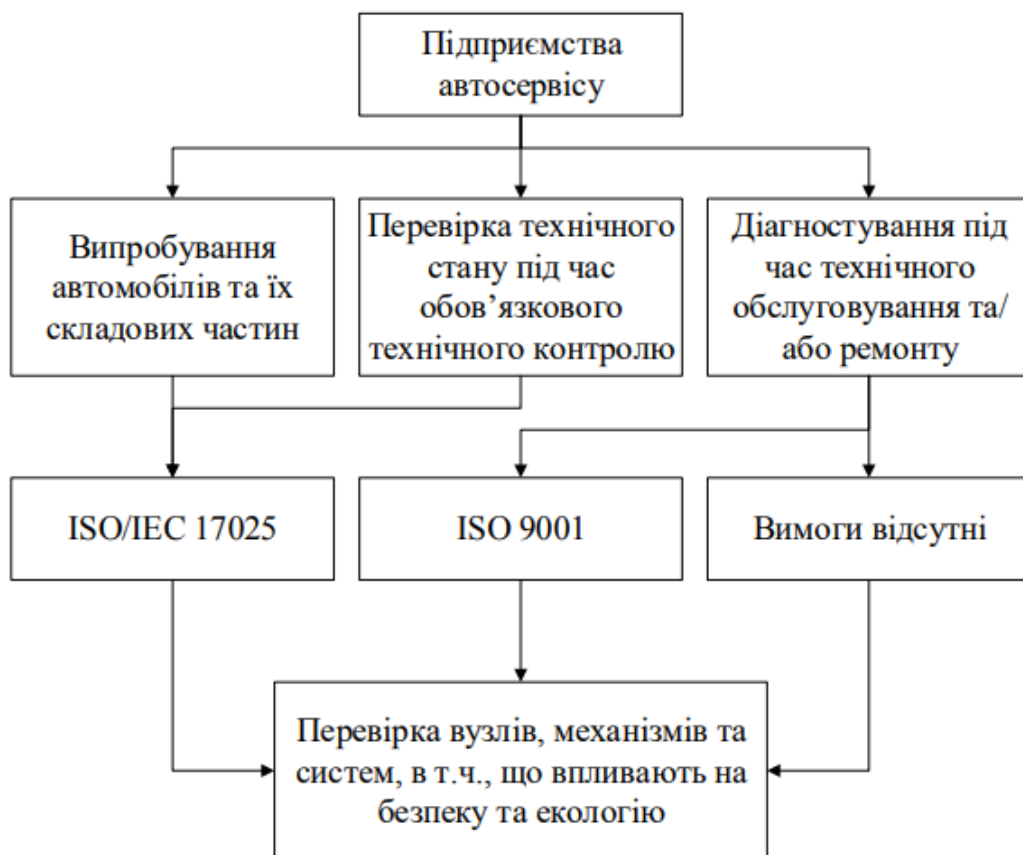


Рисунок 1.1 – Послуги, які надають підприємства автосервісу [10]

Основним завданням ліній інструментального контролю є надання послуг по перевірці технічного стану транспортних засобів для різноманітних цілей (рисунок 1.1).

Надання підприємствами послуг, за рис. 1.1, переважно здійснюється у відокремленому приміщенні, а виробничий персонал виділяється у окремий структурний підрозділ. Як зазначалося вище, на різних етапах функціонування підприємства є потреба оцінювати показники його діяльності, такі як: пропускна спроможність, ефективність роботи персоналу, ефективність використання ресурсів, і т.п. Одним з методів оцінки діяльності підприємства з технічної точки зору є здійснення технологічного розрахунку [11].

В процесі управління, організації та планування роботи транспортних засобів дуже часто виникають задачі оптимізаційного характеру, тобто коли з безлічі варіантів використання наявних ресурсів, транспортно-технологічних схем та іншого необхідно вибрати кращий варіант. Ці задачі, як правило, виражають прагнення досягти максимуму або мінімуму деякого, раніше вибраного показника якості процесу (роботи), а вони виникають через обмеженість наявних ресурсів.

У зв'язку з цим, оптимальний план міститься серед планів, що задовольняють обмеження, які накладаються ресурсами на параметри управління. Все це потребує знань та вмінь в галузі оптимального управління та планування.

1.2 Методи мережевого планування в задачах автомобільного транспорту

Мережеве планування (*network planning*) – метод наукового планування та управління виробничими процесами при виконанні великих обсягів робіт [12].

Система мережевого планування і управління (СМПУ) - сукупність науково обґрунтованих положень організації і управління виробництвом, що

базується на моделюванні процесу за допомогою сітьового графіка на базі застосування теорії графів, теорії ймовірностей і комп'ютерних технологій.

Спочатку розробка СМПУ викликала необхідність обґрунтованого прогнозування терміну великих бізнес-проектів, однак по мірі розвитку цих систем і комп'ютерних технологій вони стали застосовуватися для вирішення значно більш широкого кола завдань. Будучи ефективним засобом планування і управління, мережеві методи разом з тим відрізняються простотою і доступністю, що в чималому ступені сприяло їх швидкого освоєння на практиці. В даний час можливе застосування СМПУ як у формі одноразового використання сітьових методів і моделей, так і у формі постійно діючої системи МПУ як складової частини більш складних систем управління. У цьому випадку методи МПУ поєднуються із застосуванням ряду економіко-математичних методів, в першу чергу таких, в яких використання мережевих моделей особливо показово і результативно (теорія масового обслуговування).

Методи мережевого планування знаходять широкого застосування в багатьох галузях народного господарства, зокрема, й на автомобільному транспорті. На автомобільному транспорті методами мережевого планування описуються процеси технічного обслуговування і ремонту автомобілів, перевізні та будівельні процеси і т.д.

Мережеве планування має ряд переваг [13]:

- а) забезпечує наочність технологічної послідовності робіт;
- б) дозволяє скласти оперативні та поточні плани, а також прогнозувати складні процеси;
- в) дозволяє виявити приховані ресурси часу і матеріальних засобів при виконанні виробничих процесів.

Особливістю методів МПУ є не тільки моделювання всього комплексу робіт, але і виявлення тих ділянок, від яких найбільшою мірою залежить виконання всього виробничого процесу у встановлені терміни. Цей метод враховує все різноманіття зв'язків між окремими роботами, дозволяє оцінити

вплив відхилення від плану на подальший хід роботи і сприяє оптимізації процесу управління всім ходом робіт.

Початковими даними для мережевого планування (моделювання) того чи іншого виробничого процесу є перелік і тривалість виконання операцій відповідного виробничого процесу.

Основним елементом системи МПУ є мережева модель, яка відображає з будь-яким ступенем деталізації план виконання певного комплексу взаємопов'язаних робіт, що задається в специфічній формі мережі, наочне зображення якої представляє собою мережевий графік [12].

Мережевим графіком називається наочне зображення послідовності і взаємної логічному зв'язку всіх робіт, виконуваних у процесі розробки і одержуваних при цьому результатів, аж до досягнення кінцевої мети. При складанні мережевого графіка використовуються такі вихідні матеріали: завдання на проектування, проектно-конструкторська документація, проекти виробництва робіт, діючі технологічні процеси, графіки поставок ресурсів, обладнання, документація. Мережеве планування супроводжується побудовою робочих таблиць і мережевих графіків [14].

1.3 Основні етапи розвитку мережевого планування й керування

Методики мережевого планування були розроблені наприкінці 50-х років у США. В 1956 р. М. Уолкер працівник фірми «Дюпон», досліджуючи можливості більш ефективного використання обчислювальної машини Univac, що належала його фірмі, об'єднав свої зусилля з Д. Келлі із групи планування капітального будівництва фірми «Ремінгтон Ренд». Вони спробували використовувати ЕОМ для складання планів-графіків великих комплексів робіт з модернізації заводів фірми «Дюпон». У результаті був створений раціональний і простий метод опису проекту з використанням ЕОМ. Спочатку він був названий методом Уолкера-Келлі, а пізніше одержав назву методу критичного шляху - МКШ (або СРМ — Critical Path Method) [15].

Паралельно й незалежно у військово-морських силах США був створений метод аналізу й оцінки програм PERT (Program Evaluation and Review Technique). Цей метод був розроблений корпорацією «Локхід» і консалтинговою фірмою «Буз, Аллен енд Гамільтон» для реалізації проекту розробки ракетної системи «Поларіс», що поєднує близько 3800 основних підрядників складається з 60 тис. операцій. Використання методу PERT дозволило керівництву програми точно знати, що потрібно робити в кожний момент часу й хто саме повинен це робити, а також імовірність своєчасного завершення окремих операцій. Управління програмою виявилось настільки успішним, що проект удалося завершити на два роки раніше запланованого терміну. Завдяки такому успішному початку цей метод управління незабаром став використовуватися для планування проектів у всіх збройних силах США. Методика відмінно себе зарекомендувала при координації робіт, виконуваних різними підрядниками в рамках великих проектів щодо розробки нових видів озброєння [16].

Великі промислові корпорації почали застосування подібної методики керування практично одночасно з військовими для розробки нових видів продукції й модернізації виробництва. Широкого застосування методика планування робіт на основі СМПК одержала в будівництві. Наприклад, для керування проектом спорудження гідроелектростанції на ріці Черчіль у Ньюфаундленді (півострів Лабрадор). Вартість проекту склала 950 млн. доларів. Гідроелектростанція будувалася з 1967 по 1976 р. Цей проект включав більше 100 будівельних контрактів, причому вартість деяких з них досягала 76 млн. доларів. В 1974 році хід робіт проекту випереджав розклад на 18 місяців і укладався в планову оцінку витрат. Замовником проекту була корпорація Churchill Falls Labrador Corp., яка для розробки проекту й керування будівництвом найняла фірму Acres Canadian Betchel [16].

По суті, значний вигащ за часом утворювався від застосування точних математичних методів у керуванні складними комплексами робіт, що стало можливим завдяки розвитку обчислювальної техніки. Однак перші ЕОМ були

вартісні й доступні тільки великим організаціям. Таким чином, історично перші проекти були грандіозними за масштабами робіт, кількістю виконавців і капіталовкладеннями в державні програми.

Спочатку, великі компанії здійснювали розробку програмного забезпечення для підтримки власних проектів, але незабаром перші системи керування проектами з'явилися й на ринку програмного забезпечення.

Первинні системи розроблялися для потужних великих комп'ютерів і мереж міні-ЕОМ [16].

Основними показниками систем цього класу були їхня висока потужність і, у той самий час, здатність досить детально описувати проекти, використовуючи складні методи мережевого планування. Ці системи були орієнтовані на високопрофесійних менеджерів, керуючих розробкою найбільших проектів, добре знайомих з алгоритмами мережевого планування й специфічною термінологією. Як правило, розробка проекту й консультації щодо керування проектом здійснювалися спеціальними консалтинговими фірмами.

Етап найбільш бурхливого розвитку систем для керувань проектами почався з появою персональних комп'ютерів, коли комп'ютер став робочим інструментом для широкого кола керівників. Значне розширення кола користувачів управлінських систем породило потребу створення систем для керування проектами нового типу, одним з найважливіших показників таких систем була простота використання. Управлінські системи нового покоління розроблялися як засіб керування проектом, зрозумілим будь-якому менеджеру, який не вимагає спеціальної підготовки і забезпечує швидке включення у роботу. Time Line належить саме до цього класу систем. Розроблювачі нових версій систем цього класу, намагаючись зберегти зовнішню простоту систем, незмінно розширювали їхні функціональні можливості й потужність, і при цьому зберігали низькі ціни, що робили системи доступними фірмам практично будь-якого рівня [16].

На сьогодні зложилися глибокі традиції використання систем керування проектами в багатьох галузях життєдіяльності. Причому, основну частку серед планованих проектів становлять невеликі за розмірами проекти. Наприклад, дослідження, проведені щотижневиком Infoworld, показали, що п'ятдесяти відсоткам користувачів у США потрібні системи, які дозволяють підтримувати плани складені із 500-1000 робіт, і тільки 28 відсотків користувачів розробляють розклади, що містять більш 1000 робіт. Що стосується ресурсів, то 38 відсоткам користувачів доводиться управляти 50-100 видами ресурсів у рамках проекту, і тільки 28 відсоткам користувачів потрібно контролювати більш ніж 100 видів ресурсів. У результаті досліджень були визначені також середні розміри розкладів проектів: для малих проектів - 81 робота й 14 видів ресурсів, для середніх — 417 робіт і 47 видів ресурсів, для великих проектів — 1198 робіт і 165 видів ресурсів. Ці дані можуть служити відправною точкою для менеджера, що обмірковує корисність переходу на проектну форму керування діяльністю власної організації. Як бачимо, застосування системи керування проектами на практиці може бути ефективним і для дуже невеликих проектів [15].

Природно, що з розширенням кола користувачів систем проектного менеджменту відбувається розширення методів і прийомів їх використання. Західні галузеві журнали регулярно публікують статті, присвячені системам керування проектами, які містять поради користувачам таких систем і аналіз використання методик мережевого планування для розв'язання завдань у різних сферах управління.

В Україні роботи з мережевого управління почалися в 60-х роках. Тоді методи МПУ знайшли застосування в будівництві й наукових розробках. Надалі мережеві методи стали широко застосовуватися й в інших галузях народного господарства [13].

1.4 Постановка задачі та завдань дослідження. Розробка гіпотези дослідження

У зв'язку з розвитком спеціалізованих ремонтних підприємств стає важливим поліпшувати планування й керування ремонтним виробництвом.

Для цього доцільно використовувати мережеві графіки, які є основою мережевого планування й керування, що дозволяє аналізувати технологічні процеси автосервісних підприємств; визначати і мобілізувати резерви часу, матеріальних, фінансових, інформаційних, трудових ресурсів; здійснювати реалізацію принципу "точно за термінами" з прогнозуванням та попередженням можливих зривів в ході реалізації робіт; підвищувати ефективність менеджменту при чіткому розподілі відповідальності між керівниками різних рівнів та виконавцями.

На різних етапах функціонування підприємства є потреба оцінювати показники його діяльності, такі як: пропускна спроможність, ефективність роботи персоналу, ефективність використання ресурсів, і т.п. Одним із основних показників ефективного функціонування автосервісу є продуктивність. Продуктивність показує, який відсоток часу присутності технік зайнятий роботою. Залежно від підприємства "продуктивний час" розраховується двома способами: збір даних про продуктивний час; збір даних про непродуктивний час. Основними чинниками, що мають вплив на продуктивність автосервісного підприємства, є: завантаження станції технічного обслуговування; сучасна та гнучка система обліку робочого часу; угода про терміни виконання робіт; хороша організація виробництва; управління термінами готовності; професійний розрахунок виробничих потужностей; наявність запасних деталей; рівень кваліфікації персоналу [17].

Це дослідження присвячене аналізу і моделюванню організації виробництва підприємства автосервісу та визначенню оптимальної організації процесів технічного обслуговування, ремонту автомобілів, їх евакуації з місця ДТП або поломки на пости обслуговування.

Гіпотеза дослідження.

На продуктивність підприємства автосервісу мають вплив багато економічних, технологічних і людських чинників. Тому задача дослідження полягає в тому, щоб із всіх можливих варіантів організації виробництва (а саме, технологічних операцій ремонту і ТО автомобілів) обрати ту виробничу модель, яка б з одного боку задовольняла інтереси підприємства і споживача, а з другого – при наявності лімітованих ресурсів давала б максимальний ефект.

Розв'язання цієї задачі можливе з використанням методів мережевого моделювання. Критерієм оптимізації при цьому є витрати часу на проведення технологічних операцій, які необхідно мінімізувати.

Вихідні дані для здійснення моделювання надані експертами підприємства СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького та визначені на основі аналізу літературних джерел [18, 22]:

а) Установлено:

- 1) тривалість ремонту (ТО) вузлів й агрегатів автомобіля;
- 2) перелік робіт, виконуваних під час ремонту (ТО) агрегату по всіх вузлах;
- 3) тривалість робіт і чисельність ремонтного персоналу;
- 4) дані про технологію й організації робіт.

б) Перелік робіт по окремих вузлах, виконуваних під час ремонту (ТО), узгоджені з відповідальними виконавцями СТОА.

У переліку по кожній роботі вказується:

- 1) тривалість роботи при заданій чисельності працюючих;
- 2) роботи, що передують даній роботі й наступні за нею;
- 3) роботи, які можна виконувати паралельно.

в) Назви робіт внесено в перелік у порядку їх виконання. При складанні переліку робіт враховано, що концентрація ресурсів призводить до зменшення термінів виконання роботи, при наявності малих ресурсів термін виконання роботи збільшується.

г) Тривалість робіт є основним параметром, який уводиться в мережеву модель. Вона встановлюється залежно від умов роботи: фронту робіт, наявності робітників, рівня механізації робіт, можливості роботи у дві-три зміни і т.д. При визначенні можливого забезпечення ресурсами кожної роботи і оцінки її тривалості (t_{i-j} , де i - початкова, j - кінцева подія роботи) використано галузеві норми часу на ремонтні роботи (ТО), а також місцеві норми (місцевий досвід) проведення робіт.

д) Для вузлів, що мають на етапі планування невизначеність в оцінці обсягу ремонтних робіт (ТО) (обсяг ремонту уточнюється після проведення необхідних передремонтних випробувань і розбирання вузла), визначення розрахункової тривалості ремонту проводилось імовірнісним методом з використанням трьох часових оцінок: мінімальної (t_{\min}), найбільш імовірної ($t_{\text{нв}}$) і максимальної (t_{\max}). Мінімальна оцінка часу заснована на припущенні найбільш сприятливих умов виконання робіт. Найбільш імовірна оцінка виходить із припущення про умови, найбільш типові для провадження робіт на даному вузлі. Максимальна оцінка відповідає припущенню про найбільш несприятливий хід виконання роботи.

е) Очікувана тривалість роботи, яка ухвалюється при розрахунках мережевої моделі, обчислюється за емпіричною формулою [20]:

$$t_{i-j} = \frac{t_{\min} + 4t_{\text{нв}} + t_{\max}}{6}.$$

Залежно від тривалості виконання ремонту (ТО) час, необхідний для виконання тієї або іншої роботи, обчислювався в робочих годинах.

Обрана одиниця часу ухвалена загальною для всієї програми робіт.

є) Після визначення переліку й обсягів робіт по окремих вузлах складалась комплексна мережева модель ремонту (ТО).

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО МЕРЕЖЕВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ АВТОМОБІЛІВ

2.1 Основні елементи мережевих графіків

Основним елементом системи мережевого планування і управління (СМПУ) є мережева модель, яка відображає з будь-яким ступенем деталізації план виконання певного комплексу взаємопов'язаних робіт, що задається в специфічній формі мережі, наочне зображення якої є мережевим графіком [23].

Мережевим графіком називається наочне зображення послідовності та взаємного логічного зв'язку всіх робіт, виконуваних у процесі розробки, і одержуваних при цьому результатів, аж до досягнення кінцевої мети.

Розрізняють системи МПУ з детермінованими та ймовірнісними моделями. Усім моделям властиві загальні принципи:

- для кожного об'єкта складаються мережеві графіки - умовні економіко-математичні моделі, що відображають весь хід виконання робіт від початку до завершення;

- терміни проведення робіт за окремими етапами визначаються виходячи з кінцевого терміну;

- при складанні мережевого графіка використовуються такі вихідні дані: завдання на проектування, проектно-конструкторська документація, проекти виробництва робіт, діючі технологічні процеси, графіки поставок ресурсів, обладнання, виробнича документація [24].

При побудові мережевих графіків використовують два логічних поняття (елементи) – робота і подія. У мережевому плануванні термін «робота» визначає сукупність прийомів і дій, необхідних для виконання конкретного завдання або досягнення певної мети.

Термін «подія» означає певний результат виконання роботи (або робіт).

На мережевому графіку події зображують кружечками, а роботи - орієнтованими стрілками.

Частковий приклад мережевого графіка наведено на рис. 2.1.

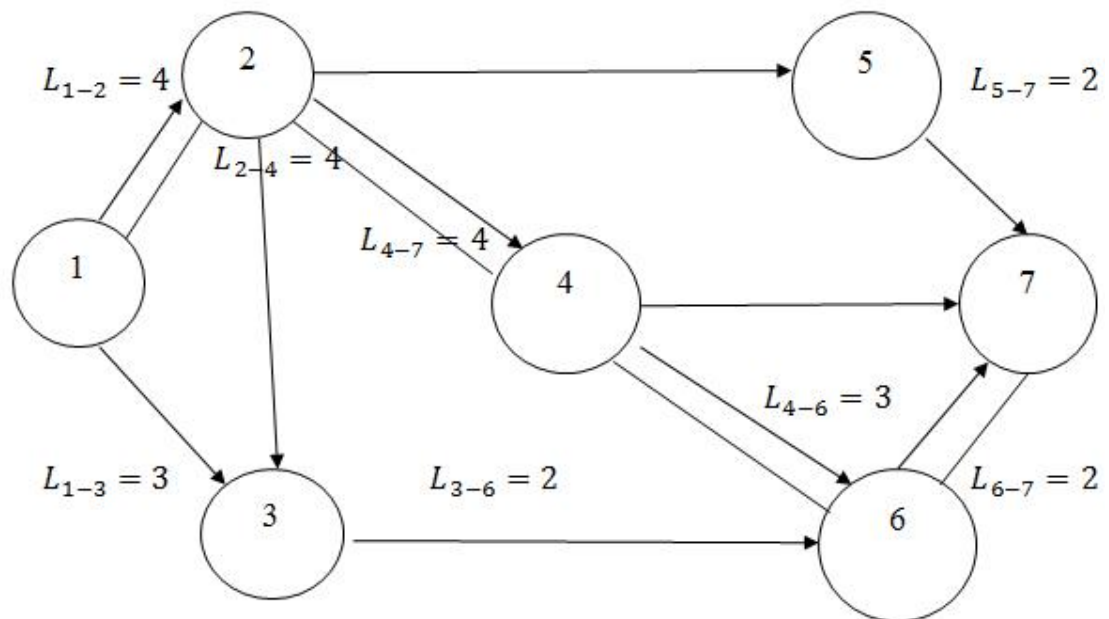


Рисунок 2.1 – Частковий приклад мережевого графіка

Кожній події присвоюється певний номер (зазвичай цифрою), тобто 1, 2, 3 і т.д. (пронумеровані кружечки – це події). Кожна робота, яка зображена на мережевому графіку стрілкою, об'єднує тільки дві події, тому прийнято роботу на мережевому графіку позначати номерами попередньої (і- ої) і наступної (j-ої) подій, тобто 1 - 2, 2 - 5, 5 - 7 і т.д. – це роботи.

Тривалість роботи проставляється над стрілками, тобто $L_{1-2}=4$, $L_{2-5}=5$ і т.д. - тривалість робіт.

Мережевий графік є послідовністю робіт і подій, що відображають їх технологічний взаємозв'язок.

На мережевому графіку виділяють дві події: початкову (1) (вихідну) і кінцеву (7) (завершальну). Всі інші події називаються проміжними.

Початкова подія відображає початок виконання всього комплексу робіт і не має попередньої події. Завершальна подія відображає кінцеву мету всього комплексу робіт і не має подальшої події.

Термін «робота» включає три поняття [4]:

а) «фактична робота» - тобто трудовий процес, що призводить до досягнення певних результатів і потребує витрат часу і ресурсів;

б) «очікування» - технологічна перерва в роботі, не вимагає витрат праці, але вимагає витрат часу (висихання фарби, затверднення цементу і т.д.);

в) «залежність» (фіктивна робота) - логічний зв'язок між подіями, що не вимагає витрат часу і ресурсів, але показує, що можливість початку однієї роботи залежить від результатів іншої.

На мережевих графіках фактичну роботу і очікування зображують суцільними стрілками, а залежності - пунктирними.

Мережевий графік будують в масштабі або без масштабу. В останньому випадку обов'язково над стрілками проставляють тривалість роботи в одиницях часу. Будь-яка послідовність робіт від однієї події до іншої (будь-якої) називається шляхом і позначається L (2 - 5 - 7), тобто кожен шлях позначають буквою L і номерами подій через які він проходить.

Довжина будь-якого шляху визначається сумарною тривалістю складових його робіт.

Повний шлях - це шлях від вихідної до завершальної події.

У мережевому графіку, як правило, є кілька повних шляхів з різною тривалістю.

Так, для нашого прикладу маємо п'ять повних шляхів, довжина яких:

$$L_1(1 - 2 - 5 - 7) = 4 + 5 + 1 = 10;$$

$$L_2(1 - 2 - 4 - 7) = 4 + 3 + 3 = 10;$$

$$L_3(1 - 2 - 4 - 6 - 7) = 4 + 3 + 3 + 2 = 12;$$

$$L_4(1 - 2 - 3 - 6 - 7) = 4 + 1 + 2 + 2 = 9;$$

$$L_5(1 - 3 - 6 - 7) = 4 + 2 + 2 = 8.$$

Повний шлях, що має максимальну тривалість, називають критичним шляхом.

Роботи, що лежать на критичному шляху називаються критичними роботами.

Для нашого прикладу: $L_{кр}(1 - 2 - 4 - 6 - 7) = 12$ одиниць часу. Для більшої наочності його виділяють подвійними або жирними лініями. Критичний шлях ($L_{кр}$) визначає загальну тривалість виконання всього комплексу робіт.

Повні шляхи, тривалість яких менша за $L_{кр}$, називаються некритичними. У них є резерв часу, в межах якого час виконання робіт може бути збільшено, що не призводить до збільшення загальної тривалості настання завершального події.

2.2 Правила побудови мережевих графіків

При побудові мережевих графіків необхідно враховувати наступні правила [12]:

а) між двома подіями на графіку може знаходитися тільки одна робота (рис. 2.2);

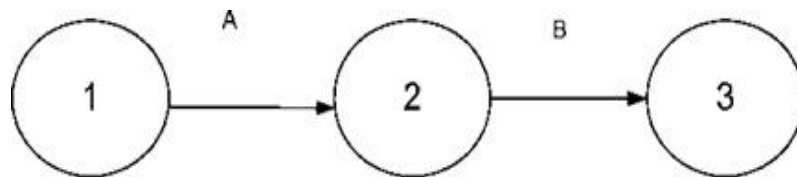


Рисунок 2.2 – Між двома подіями може знаходитися тільки одна робота

б) якщо одна подія служить початком декількох робіт, які за-закінчуються також в одній події, то необхідно ввести фіктивні роботи і додаткові події зі своїми номерами (рис. 2.3);

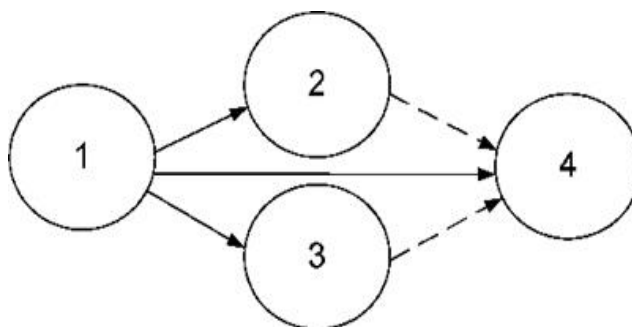


Рисунок 2.3 – Уведення фіктивних робіт і додаткових подій

в) всі події, крім завершальної, повинні мати наступну роботу. Наявність «глухих кутів» у мережі вказує на помилку. Так само в мережі не повинно бути подій, в які не входять жодна робота (виняток становить вихідна подія);

г) у мережевому графіку не повинно бути замкнутих контурів, тобто шляхів, які починаються і закінчуються в одній і тій самій події (рис. 2.4);

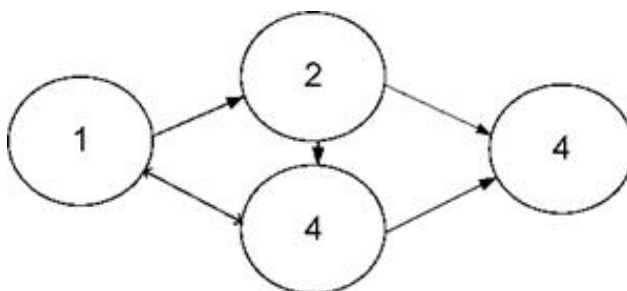


Рисунок 2.4 – Схема без замкнутих контурів

д) при побудові мережевих графіків слід уникати взаємного перетину стрілок (рис. 2.5):

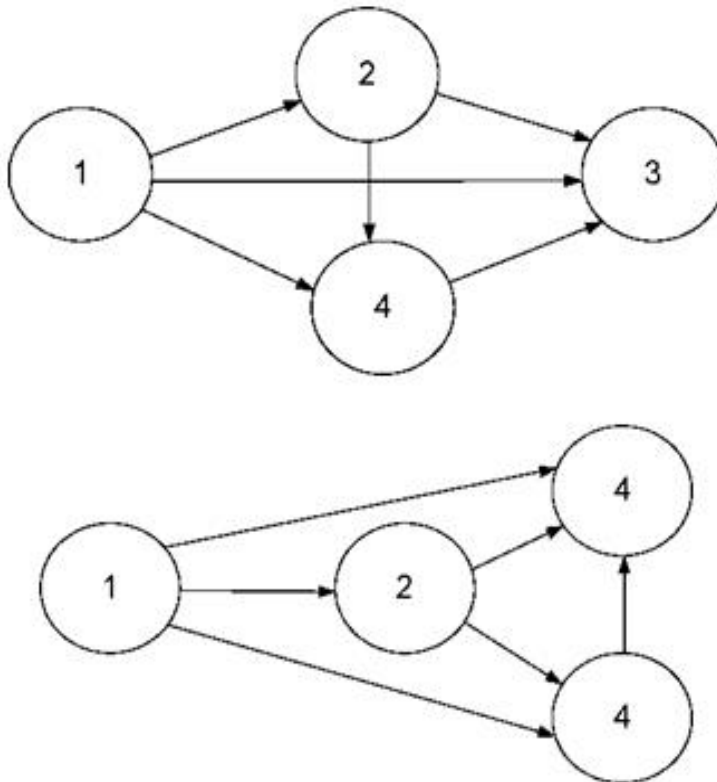


Рисунок 2.5 – Схема уникнення взаємного перетину стрілок

2.3 Процес побудови мережєвих графіків

Процес мережевого планування і управління (МПУ) включає в себе чотири взаємопов'язаних етапи [23]:

- а) опис комплексу робіт, визначення їх тривалості та послідовності;
- б) побудова мережевого графіка;
- в) розрахунок і аналіз параметрів мережного графіка;
- г) оптимізація мережевого графіка, контроль і оперативне управління ходом виконання комплексу робіт.

При побудові мережевого графіка використані такі основні правила [25]:

- а) події позначають кружечками, всередині ставиться номер події (виділяються початкова, кінцева і проміжні події);
- б) події з'єднуються орієнтованої стрілкою, яка спрямована від попередньої події до подальшої (стрілка показує на мережевому графіку наступну роботу);
- в) будь-які дві події можуть бути з'єднані не більше ніж однією стрілкою;
- г) у початкову подію не входить жодна стрілка;
- д) з кінцевої події не виходить жодна стрілка;
- е) події мережевого графіка нумеруються так, щоб для кожної роботи номер початкової події був менший за номер кінцевої;
- є) кожна роботу кодуємо двома цифрами. Перша цифра означає початок роботи та відповідає номеру попередньої події;
- ж) тривалість роботи проставляється над стрілками;
- з) частина робіт виконується послідовно (6 - 7), (7 - 8), (8 - 9) і т.д. Це означає, що початок наступної роботи залежить від закінчення попередньої;
- и) роботи (10 - 11), (10 - 13) можуть починатися в один і той самий момент часу з настанням події 10. Ці роботи не залежать у часі одна від одної і можуть виконуватися паралельно;
- і) фіктивні роботи (1 - 3), (3 - 6) і т.д. встановлюють логічний взаємозв'язок і тривалість їх дорівнює 0;

к) весь комплекс робіт завершується, як тільки закінчиться робота (14 - 15) і здійсниться подія 15.

Складання мережного графіка цим вважається закінченим.

При розробці мережових графіків необхідно враховувати наступні умови [12]:

а) жодна подія не може відбутися доти, поки не будуть завершені всі роботи, що входять в неї;

б) жодна робота, що виходить з даної події, не може початися доти, поки задана подія не відбудеться.

На мережевому графіку видається критичний шлях для подальшої його мінімізації. Для чого визначають час початку і закінчення кожної операції, час настання кожної події, а також встановлюють можливість зміни цих параметрів з метою оптимізації мережевої моделі.

2.4 Упорядкування мережевого графіка

Припустимо, що при складанні деякого проекту виділено 12 подій: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 і 24 поєднуючі їх роботи: (0, 1), (0, 2), (0, 3), (1, 2), (1, 4), (1, 5), (2, 3), (2, 5), (2, 7), (3, 6), (3, 7), (3, 10), (4, 8), (5, 8), (5, 7), (6, 10), (7, 6), (7, 8), (7, 9), (7, 10), (8, 9), (9, 11), (10, 9), (10, 11).

Складаємо вихідний мережевий графік 1 (рисунок 2.6).

Упорядкування мережевого графіка полягає в такому розташуванні подій і робіт, при якому для будь-якої роботи передуюча їй подія розташована лівіше й має менший номер у порівнянні із завершальною цю роботу подією. Інакше кажучи, в упорядкованому мережевому графіку всі роботи-стрілки спрямовані з ліва на право: від подій з меншими номерами до подій з більшими номерами [23].

Розіб'ємо вихідний мережевий графік на кілька вертикальних шарів (обводимо їх пунктирними лініями й позначаємо римськими цифрами). Помістивши у I шарі початкову подію 0, подумки викреслимо із графіка цю

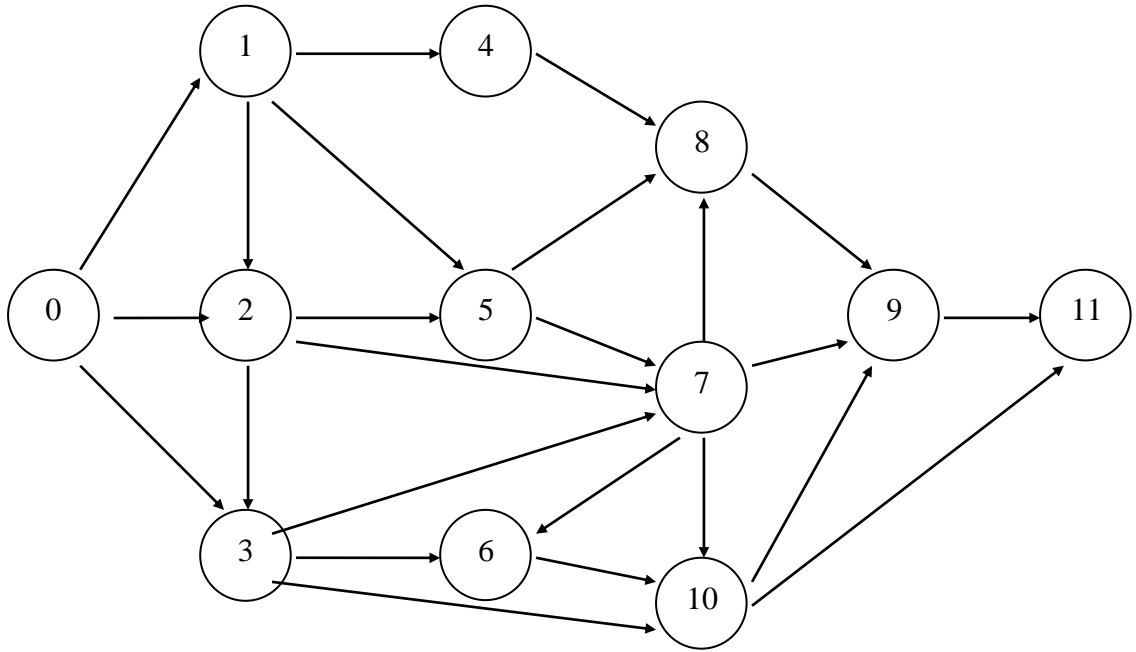


Рисунок 2.6 - Мережевий графік 1: неупорядкований мережевий графік

подію й усі вихідні з неї роботи-стрілки. Тоді без вхідних стрілок залишиться подія 1, що утворює II шар. Викресливши подумки подію 1 і всі вихідні з неї роботи, побачимо, що без вхідних стрілок залишаються події 4 і 2, які утворюють III шар. Продовжуючи цей процес, одержимо мережевий графік 2 (рисунок 2.7).

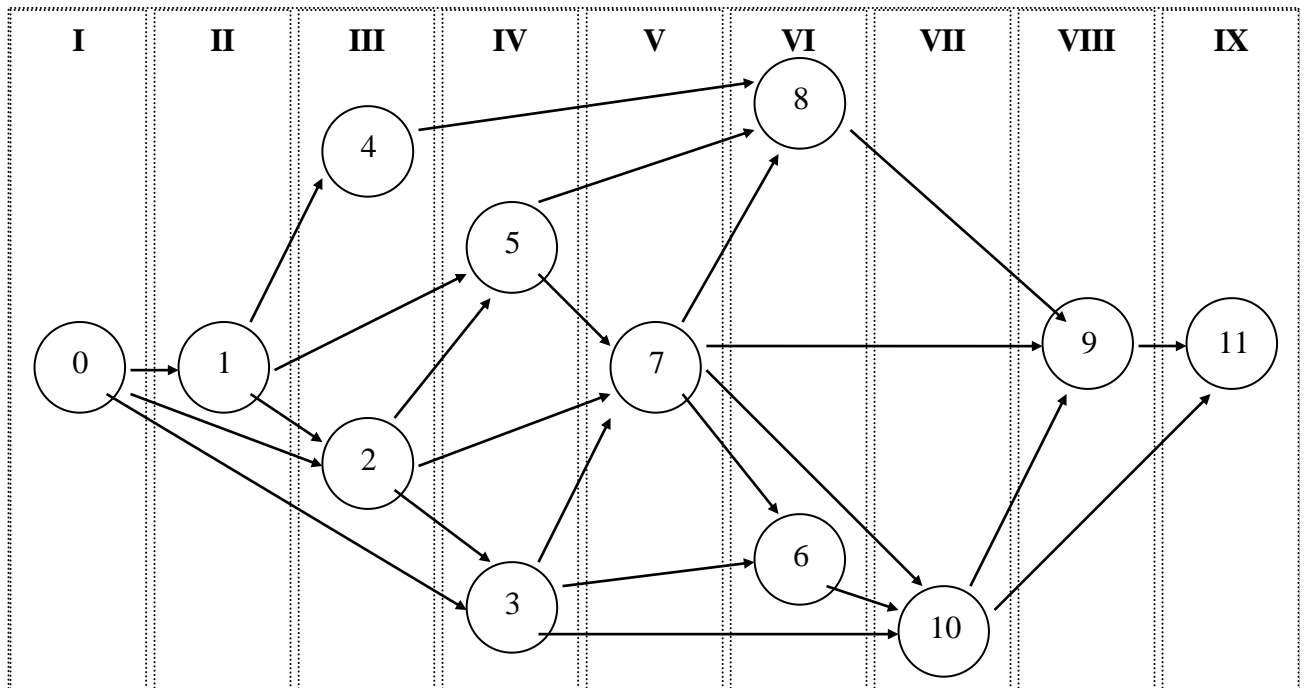


Рисунок 2.7 - Мережевий графік 2: упорядкування мережевого графіка за допомогою шарів

Тепер бачимо, що первинна нумерація подій не зовсім правильна.

Змінимо нумерацію подій відповідно до їх розташування на графіку й одержимо впорядкований мережевий графік 3 (рисунок 2.8). Слід відмітити, що нумерація подій, розташованих в одному вертикальному шарі, принципового значення не має, тому нумерація того самого мережевого графіка може бути неоднозначною.

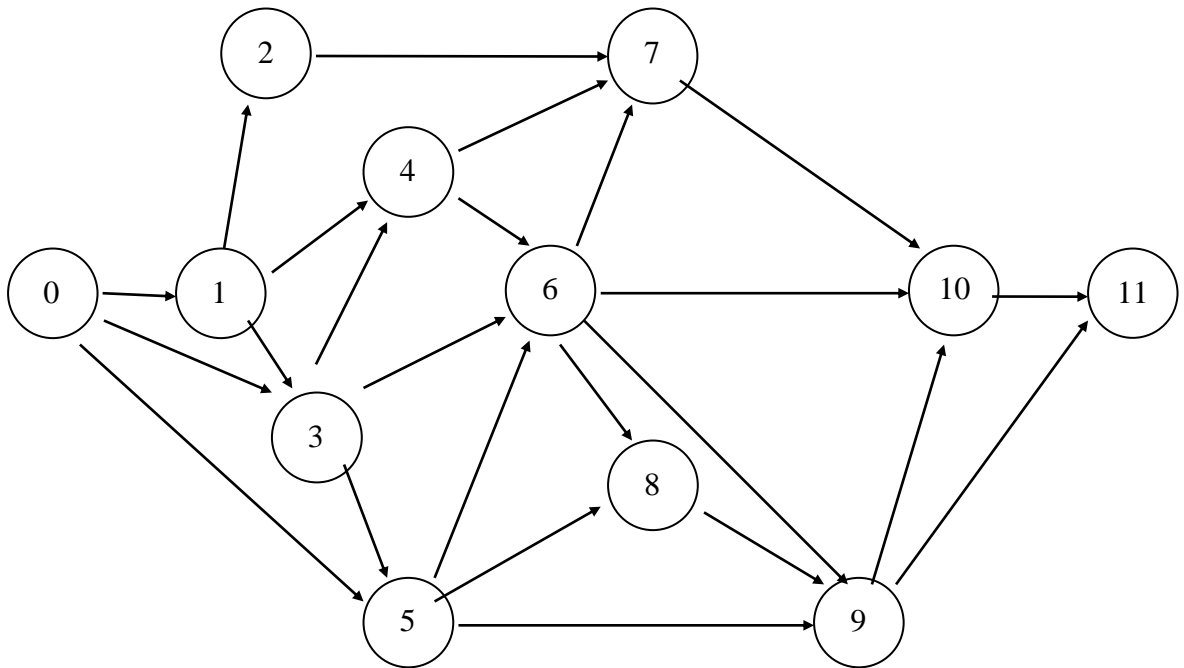


Рисунок 2.8 - Мережевий графік 3: упорядкований мережевий графік

2.5 Розрахунок параметрів мережевої моделі

Розрахунок параметрів мережевої моделі проводиться для повних шляхів, подій і робіт [12].

При розрахунках визначають наступні параметри:

1) для повних шляхів мережного графіка:

- $t(L_i)$ - тривалість будь-якого повного шляху;
- $t(L_{кр})$ - тривалість критичного шляху;
- $R(L_i)$ - повний резерв часу шляху.

2) для подій:

- $T_1^{(p)}$, $T_1^{(n)}$ - ранній і пізній терміни здійснення події;

- R_i - резерв часу події.

3) для робіт:

- $t_{ij}^{(p1)}$, $t_{ij}^{(p3)}$ - ранній термін початку та закінчення робіт;

- $t_{ij}^{(m1)}$, $t_{ij}^{(m3)}$ - пізній термін початку та закінчення робіт;

- $r_{ij}^{(n)}$, $r_{ij}^{(b)}$ - повний і вільний резерв часу роботи.

При розрахунку цих параметрів використовують графічний і табличний методи.

2.5.1 Розрахунок тривалості повного шляху

1) розрахунок тривалості будь-якого повного шляху здійснюється за формулою [12]:

$$t(L_i) = \sum^{L_i} t_{ij} ; \quad (2.1)$$

2) $t(L_n) = \max \sum^{L_i} t_{ij}$ – довжина критичного шляху (у нашому випадку це шлях 1);

3) повний резерв часу шляху [12]:

$$R(L_i) = t(L_{кр}) - t(L_i) ; \quad (2.2)$$

Збільшення сумарної тривалості всіх робіт, що лежать на шляху L_i , на величину $R(L_i)$ не збільшує час настання завершальної операції.

2.5.2 Розрахунок часу настання подій

При графічному методі запис розрахункових параметрів здійснюється безпосередньо на мережевому графіку.

Для цього кожен вузол мережевого графіка ділимо на чотири частини (сектори), в цих секторах записуються такі дані:

- верхній - призначений для запису номера події - i ;
- правий - для запису раннього терміну звершення події - T^p_i ;
- лівий – для запису пізнього терміну здійснення події - T^p_i ;
- нижній – для запису резерву часу події - R_i .

Найбільш ранній термін надходження i -ої події в мережі T^p_i , де $i = 1, 2, \dots, n$; i - одна з подій мережі.

T^p_i - мінімально необхідний час між настанням початкової та даної події.

Для початкової події $T^p_i = 0$ - найбільш ранній термін дорівнює 0. При розрахунку T^p_i послідовно переходять від початкової події до події більш віддаленої від неї. Тоді для будь-якої іншої події j цей показник визначається за формулою [12]:

$$T_j^p = \max[T_i^p + t_{ij}], \quad (2.3)$$

де T^p_i - найбільш ранній термін появи події i , що передуює події j ;

t_{ij} - тривалість роботи ($i - j$).

Для кінцевої події мережного графіка найбільш ранній термін надходження її дорівнює тривалості критичного шляху і називається критичним часом мережевого графіка.

Найбільш пізній термін настання події в мережі T^p_i .

Цей показник розраховуємо від кінця мережевого графіка до початку, тобто в напрямку, зворотному щодо визначення найбільш раннього терміну настання подій. Для кінцевої події (k) робимо припущення, що найбільш ранній термін його настання дорівнює найбільш пізнього терміну, тобто [12]:

$$T_k^p = T_k^n. \quad (2.4)$$

Для критичного шляху також вірна рівність:

$$T_{кр}^p = T_{кр}^n. \quad (2.5)$$

Тоді для початкової – $T^p_1=0$.

Для інших подій мережевого графіка T^p_i визначається за формулою [12]:

$$T^p_i = \min[T^p_j - t_{ij}] , \quad (2.6)$$

де T^p_j - найбільш пізній термін настання подальшої події j ;

t_{ij} - тривалість роботи (і- j).

Цей показник визначає найбільш допустимий час настання події, який не потребує збільшення часу на здійснення всього комплексу робіт.

Допустимий термін настання події – T^d_i :

$$T^p_j \leq T^d_j \leq T^n_j . \quad (2.7)$$

Ця нерівність показує, що допустимий термін настання події повинен знаходитися в діапазоні зміни від найбільш раннього терміну настання до найбільш пізнього терміну настання цієї події.

Для критичних подій маємо:

$$T^p_{крс} = T^d_{крс} = T^n_{крс} . \quad (2.8)$$

Резерв часу подій R_i . Розрахувавши ранні та пізні терміни настання кожної події, можна визначити резерви часу подій за формулою [12]:

$$R_i = T^p_i - T^n_i .$$

Резерви часу всіх критичних подій дорівнюють 0:

$$R_{кр} = 0.$$

2.5.3 Розрахунок часу виконання робіт

Розрахунок часу виконання робіт проводять після того, як визначені T_i^p і T_i^n для всіх подій [12]:

а) ранній термін початку робіт ($t_{ij}^{p.n.}$) дорівнює ранньому терміну настання події, з якої впливає дана робота (рис. 2.9), тобто:

$$t_{ij}^{p.n.} = T_i^p \quad (2.9)$$

Якщо цю оцінку виразити через характеристики робіт, то можемо записати:

$$t_{jk}^{p.n.} = t_{ij}^{p.n.} + t_{ij} \quad (2.10)$$

де t_{ij} - попередня робота;

t_{jk} - подальша робота.

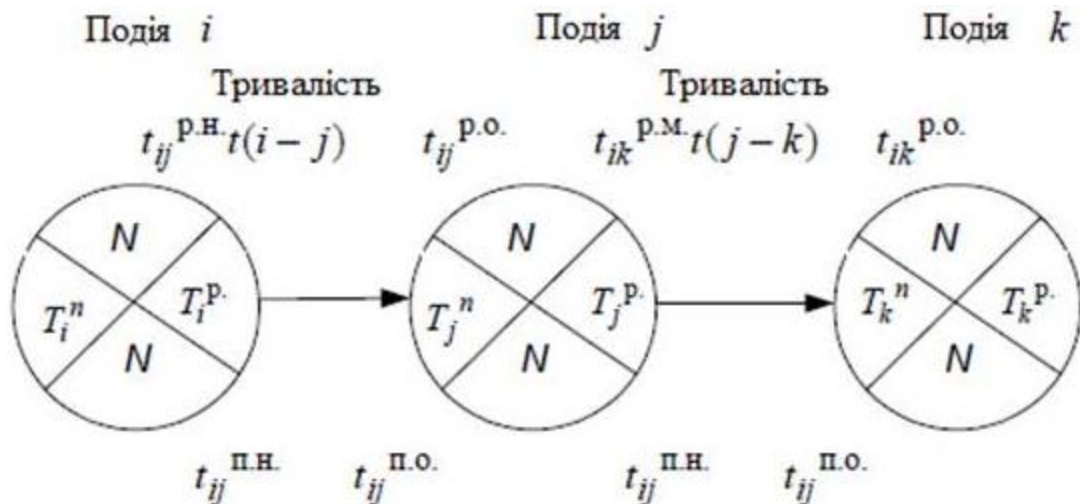


Рисунок 2.9 – Фрагмент мережевого графіка

б) ранній термін закінчення роботи визначається шляхом додавання до раннього терміну початку роботи тривалості самої роботи:

$$t_{ij}^{p.o} = T_i^p + t_{ij} \quad \text{або} \quad t_{ij}^{p.o} = t_{ij}^{p.n} + t_{ij}. \quad (2.11)$$

в) пізній термін закінчення роботи дорівнює пізньому терміну настання подальшої події:

$$t_{ij}^{n.o} = T_i^n \quad \text{або} \quad t_{ij}^{n.o} = t_{jk}^{n.o} - t_{ij}. \quad (2.12)$$

г) пізній термін початку роботи знаходимо шляхом віднімання тривалості роботи від пізнього терміну настання подальшої події, тобто:

$$t_{ij}^{n.n} = T_j^n - t_{ij} \quad \text{або} \quad t_{ij}^{n.n} = t_{ij}^{n.o} - t_{ij}. \quad (2.13)$$

д) повний резерв часу роботи показує час, на який можна перенести початок даної роботи (або збільшити її тривалість), не змінюючи при цьому довжини критичного шляху, і визначається за формулами:

$$r_{ij}^n = T_{ij}^{n.n} - t_{ij}^{p.n} \quad \text{або} \quad r_{ij}^n = T_j^n - T_i^p - t_{ij}. \quad (2.14)$$

Для всіх робіт, що лежать на критичному шляху:

$$r_{кріj}^n = 0. \quad (2.15)$$

е) вільний резерв часу роботи - частина повного резерву часу роботи, яка зберігається у неї за умови, що початкова подія роботи виконається в найпізніший термін, а кінцева - в найранній термін, і визначається за формулами:

$$r_{ij}^{св} = r_{ij}^n - R_i - R_j \quad \text{або} \quad r_{ij}^{св} = T_i^p - T_i^n - t_{ij}. \quad (2.16)$$

2.6 Аналіз й оптимізація мережевих моделей

Після того як побудовано вихідний мережевий графік і розраховані основні параметри мережевої моделі, необхідно дати оцінку отриманим результатам. Якщо критичний шлях більший за встановлений термін, запропонований керівництвом, то необхідно здійснити оптимізацію за часом.

Оптимізація мережевого графіка за часом полягає в скороченні критичного шляху й проводиться в наступному порядку [24]:

а) вивчаються можливості заміни послідовно виконаних робіт паралельними там, де це допускається технологією, з метою скорочення тривалості робіт;

б) скорочуються терміни виконання комплексу робіт за рахунок залучення додаткових ресурсів, а також застосування технологічних умов виробництва комплексу робіт. Якщо вихідний варіант мережевого графіка має тривалість критичного шляху, що відповідає директивному терміну, або не перевищує цей термін, то він вважається оптимальним і може бути рекомендований до впровадження й виконання.

Оптимізація мережі за ресурсами.

Оптимізація мережевого графіка за часом без врахування обмежень по ресурсах припускає, що потреби в ресурсах може бути задоволені в необхідний термін. Однак такий підхід до розробки мережевих графіків не виключає розв'язання задачі найбільш раціонального розподілу ресурсів, тому після оптимізації мережної моделі за критерієм "часу" проводиться її оптимізація за ресурсами.

Оптимізація мережевої моделі досить важливий етап у розробці мережевих графіків розкриває основну ідею МПУ. Він полягає в приведенні мережевого графіка у відповідність із заданими термінами й можливостями організації, що розробляє проект.

Оптимізація мережевого графіка залежно від повноти розв'язуваних завдань може бути умовно розділена на часткову й комплексну. Видами

часткової оптимізації мережевого графіка є: мінімізація часу виконання комплексу робіт при заданій його вартості; мінімізація вартості комплексу робіт при заданому часі виконання проекту. Комплексна оптимізація знаходження оптимального співвідношення величин вартості й термінів виконання проекту залежно від конкретних цілей, що ставляться при його реалізації.

Спочатку розглянемо аналіз і оптимізацію календарних мереж, у яких задані тільки оцінки тривалості робіт [23].

Аналіз мережевого графіка починається з аналізу топології мережі, що включає контроль побудови мережевого графіка, установлення доцільності вибору робіт, ступеня їх розчленовування.

Потім проводяться класифікація й угруповання робіт з величин резервів. Слід зазначити, що величина повного резерву часу далеко не завжди може досить точно характеризувати, наскільки напруженим є виконання тієї або іншої роботи некритичного шляху. Усе залежить від того, на яку послідовність робіт поширюється обчислений резерв, яка тривалість цієї послідовності.

Визначити ступінь труднощів виконання в строк кожної групи робіт некритичного шляху можна за допомогою коефіцієнта напруженості робіт.

Коефіцієнтом напруженості роботи називається відношення тривалості незбіжних, але пов'язаних між тими самими подіями, відрізків шляху, одним з яких є шлях максимальної тривалості, що проходить через задану роботу, а іншим - критичний шлях.

Цей коефіцієнт може змінюватися в межах від 0 (для робіт, у яких відрізки максимального зі шляхів, що не збігаються із критичним шляхом, складаються з фіктивних робіт нульової тривалості) до 1 (для робіт критичного шляху).

Звернемо увагу на те, що більший повний резерв однієї роботи (у порівнянні з іншою) не обов'язково свідчить про менший ступінь напруженості її виконання. Це пояснюється різною питомою вагою повних резервів робіт у

тривалості відрізків максимальних шляхів, що не збігаються із критичним шляхом.

Обчислені коефіцієнти напруженості дозволяють додатково класифікувати роботи щодо зон [25]:

критична $K > 0,8$,

підкритична $0,6 < K < 0,8$,

резервна $K < 0,6$.

Оптимізація мережевого графіка є процесом поліпшення організації виконання комплексу робіт з урахуванням терміну його виконання. Оптимізація проводиться з метою скорочення довжини критичного шляху, вирівнювання коефіцієнтів напруженості робіт, раціонального використання ресурсів.

У першу чергу ухвалюються заходи щодо скорочення тривалості робіт, що перебувають на критичному шляху. Це досягається [25]:

а) перерозподілом усіх видів ресурсів, як часових (використання резервів часу некритичних шляхів), так і трудових, матеріальних, енергетичних, при цьому перерозподіл ресурсів повинен йти, як правило, із зон, менш напружених, у зони, що поєднують найбільш напружені роботи. Наприклад, можна збільшити змінність робіт на «вузьких» ділянках будівництва. Цей захід найбільш ефективний, оскільки дозволяє добитися потрібного результату при тих самих провідних машинах, тільки збільшивши чисельність робітників.

б) скороченням трудомісткості критичних робіт за рахунок передачі частини робіт на інші шляхи, що мають резерви часу;

в) переглядом топології мережі, зміною складу робіт і структури мережі;

г) забезпечити проведення паралельних (сполучених) робіт;

д) розділити широкий фронт робіт на більш дрібні ділянки;

е) зменшити тривалість програми можна шляхом зміни застосовуваної технології.

Проводячи коректування графіка треба мати на увазі, що робітників насичують ресурсами до певної межі (щоб кожний робітник був забезпечений

достатнім фронтом робіт і мав можливість дотримувати правила техніки безпеки).

У процесі скорочення тривалості робіт критичний шлях може змінитися, і надалі процес оптимізації буде спрямований на скорочення тривалості робіт нового критичного шляху й так буде продовжуватися до одержання задовільного результату. В ідеалі довжина кожного з повних шляхів може стати рівною довжині критичного шляху або принаймні шляху критичної зони. Тоді всі роботи будуть вестися з рівною напругою, а строк завершення проекту суттєво скоротиться.

Самий очевидний варіант часткової оптимізації мережевого графіка з урахуванням вартості припускає використання резервів часу робіт. Тривалість кожної роботи, що має резерв часу, збільшують доти, поки не буде вичерпаний цей резерв або поки не буде досягнуто верхнє значення тривалості. Тривалість кожної роботи доцільно збільшувати на величину такого резерву, щоб не змінити ранні строки настання всіх подій мережі, тобто на величину вільного резерву часу.

На практиці при спробах ефективного поліпшення складеного плану неминучим є введення додатково до оцінок термінів фактора вартості робіт. Проект може зажадати прискорення його виконання, що, природно, відіб'ється на вартості: вона збільшиться. Тому необхідно визначити оптимальне співвідношення між вартістю проекту й тривалістю його виконання.

При використанні методу «час–вартість» припускають, що зменшення тривалості роботи пропорційна зростанню її вартості. Зростання вартості при зменшенні часу називається витратами на прискорення.

Досить ефективним є використання методу статистичного моделювання, заснованого на багаторазових послідовних змінах тривалості робіт (у заданих межах) і «програванні» на комп'ютері різних варіантів сіткового графіка з розрахунками всіх його часових параметрів і коефіцієнтів напруженості робіт.

Наприклад, можна обрати в якості первісного плану, що має мінімальні значення тривалості робіт і, відповідно, максимальну вартість проекту. А потім

послідовно збільшувати тривалість виконання комплексу робіт шляхом збільшення тривалості робіт, розташованих на некритичних, а потім і на критичному (критичних) шляху до задовільного значення вартості проекту. Відповідно, можна обрати за вихідний план, що має максимальну тривалість робіт, а потім послідовно зменшувати їх тривалість до прийняттого значення тривалості проекту.

Процес «програвання» триває доти, поки не буде отриманий прийнятний варіант плану або поки не буде встановлено, що всі наявні можливості поліпшення плану вичерпані й поставлені перед розроблювачем проекту умови нездійсненні.

У цей час на практиці мережу спочатку коректують за часом, тобто приводять її на заданий термін закінчення будівництва. Потім приступають до коректування графіка за критерієм розподілу ресурсів, починаючи із трудових ресурсів.

Слід зауважити, що при лінійній залежності вартості робіт від їх тривалості задача побудови оптимального мережевого графіка може бути сформульована як задача лінійного програмування, у якій необхідно мінімізувати вартість виконання проекту при обмеженнях, по-перше, тривалості кожної роботи у встановлених межах, а, по-друге, тривалості будь-якого повного шляху мережевого графіка не більше встановленого терміну виконання проекту.

2.7 Динамічне програмування в задачах мережевого планування

Динамічне програмування - метод оптимізації, пристосований до операцій, в яких процес прийняття рішень може бути розділений на окремі етапи (кроки) [24]. В основі методу лежить принцип оптимальності, сформульований Р.Беллманом. Оптимальне управління характеризується такими властивостями, що незалежно від початкового стану на будь-якому

кроці управління і наступне управління повинно обиратися оптимальним відносно стану, до якого прийде система в кінці цього кроку.

Метод, побудований на використанні принципу оптимальності, дозволяє встановити співвідношення між екстремальними значеннями цільової функції в задачах, що характеризуються різною тривалістю процесу і різними початковими станами. При цьому необхідно враховувати наслідки реалізації знайденого оптимального рішення і для наступних рішень. Такий підхід обумовлений розробкою оптимальної стратегії. Процес прийняття рішення в цьому випадку є багатокроковим [14].

При цьому, якщо в задачах лінійного програмування залежності між критеріальною функцією та змінними обов'язково лінійні, то в завданнях динамічного програмування ці залежності можуть мати й нелінійний характер.

Динамічне програмування застосовується в основному для вирішення задач двох класів: планування діяльності економічної системи (підприємств) з урахуванням зміни продукції, що виготовляється в часі відповідно до зміни потреби; перерозподілу ресурсів за різними напрямками в часі.

Найбільш доцільно динамічне програмування застосувати для вирішення таких практичних задач, в яких пошук оптимального рішення вимагає поетапного підходу; наприклад, визначення часу заміни устаткування з урахуванням витрат на експлуатацію устаткування, на придбання нового, первісної вартості даного устаткування, вартості отриманої на ньому продукції.

Побудова моделі динамічного програмування зводиться до таких основних моментів [14]:

- а) обирають спосіб ділення процесу на кроки: 1, 2, ..., k, ... n;
- б) вводять параметри стану $\xi_k = (\xi_k^{(1)}; \xi_k^{(2)}; \dots; \xi_k^{(s)})$ та змінні управління $v_k = (v_k^{(1)}; v_k^{(2)}; \dots; v_k^{(s)})$ на кожному році процесу;
- в) записують рівняння стану: $\xi_k = F(\xi_{k-1}; v_k)$;
- г) вводять показники ефективності на k-му кроці $f(\xi_{k-1}; v_k)$, і сумарний показник - цільову функцію: $Z = \sum_{k=1}^n f(\xi_{k-1}; v_k)$;

д) уводять для розгляду умовні максимуми $Z_k^*(\xi_{k-1})$ показника ефективності від k -го кроку (включно) до кінця процесу та умовні оптимальні управління на k -му кроці $v_k^*(\xi_{k-1})$;

е) згідно з обмеженнями задачі визначають для кожного кроку множину D_n допустимих управлінь на цьому кроці;

є) записують основні для розрахунків функціональні рівняння Беллмана:

$$Z_k^*(\xi_{k-1}) = \max_{v_n \in D_n} \{f(\xi_{k-1}; v_k) + Z_k^*(\xi_k)\}$$

та

$$Z_n^*(\xi_{n-1}) = \max_{v_n \in D_n} \{f_n(\xi_{n-1}; v_n)\}.$$

Незважаючи на одноманітність у загальній побудові моделі динамічного програмування, що наведена вище, схема розрахунків видозмінюється залежно від розмірності задачі, характеру моделі (дискретна чи неперервна), виду функцій та інших характеристик моделі.

Умови, яким має відповідати задача оптимізації, щоб її можна було описати моделлю динамічного програмування, такі [14]:

а) задача може інтерпретуватись як n -кроковий процес управління, а показник ефективності процесу може бути представлений в адитивній формі, тобто як сума показників ефективності на кожному кроці.

б) структура задачі інваріантна відносно числа кроків n , тобто повинна бути визначена для будь-якого n і не залежати від цього числа.

в) на кожному кроці стан системи визначається скінченним числом ξ параметрів стану та управляється скінченним числом v змінних управління, причому v і ξ не залежать від кількості кроків n .

г) вибір управління на k -му кроці не впливає на попередні кроки, а стан на початку цього кроку є функцією лише попереднього стану і обраного на ньому управління (умова відсутності післядії).

Зазначимо також, що виконання вказаних умов іноді є очевидним, а іноді досягається після відповідних перетворень.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗА МЕРЕЖЕВИМИ МОДЕЛЯМИ

Як правило, у процесі експлуатації транспортних засобів необхідно здійснювати технічне обслуговування та ремонт.

Порядок проведення технічного обслуговування (далі - ТО) та ремонтів дорожніх транспортних засобів (далі - ТЗ) регламентується Положенням № 102 [27].

Пунктом 1.3 цього Положення визначено, зокрема:

- ТО - це операції з підтримання працездатності або справності автомобіля під час його експлуатації, зберігання і транспортування;

- поточний ремонт - роботи, які виконуються для забезпечення або відновлення працездатності ТЗ, у процесі яких відбувається зміна та/або оновлення окремих зношених частин;

- капітальний ремонт - ремонт, який виконується для відновлення справності та повного або близько до повного відновлення ресурсу виробу із заміною чи відновленням будь-яких частин, у тому числі базових.

Метою ТО і ремонту є підтримування ТЗ у технічно справному стані та належному зовнішньому вигляді, забезпечення надійності, економічності, безпеки руху та екологічної безпеки (п. 1.2 розділу 1 Положення № 102).

Система технічного обслуговування та ремонту техніки - сукупність взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту та виконавців, які потрібні для підтримування і відновлення якості виробів, що входять у цю систему.

Технічний стан - сукупність схильних до зміни в процесі виробництва чи експлуатації якостей виробу, яка характеризується в певний момент часу ознаками, встановленими технічною документацією на цей виріб.

Справний стан (справність) - стан виробу, який відповідає усім вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Роботоздатний стан (роботоздатність) - стан виробу, в якому значення усіх параметрів, які характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Залежно від обсягу робіт, періодичності та працездатності їх виконання, технічне обслуговування розподіляється на такі види:

- контрольний огляд перед виїздом із парку (КО);
- контрольний огляд в дорозі;
- щоденне технічне обслуговування (ЩТО) (проводиться щоденно після заїзду в парк);
- технічне обслуговування № 1 (ТО-1);
- технічне обслуговування № 2 (ТО-2);
- сезонне технічне обслуговування (СО) проводиться навесні і восени при переході на літній та зимовий періоди експлуатації.

Для вирішення задачі оптимізації технологічних процесів технічного обслуговування й ремонту транспортного засобу застосуємо метод мережевого планування. Критерієм оптимізації при цьому є витрати часу на проведення перевірки технічного стану і ремонту автомобіля, які необхідно мінімізувати.

3.1 Мережевий графік основних робіт ремонту автомобіля категорії М1

Категорія М1 - Транспортні засоби, використовувані для перевезення пасажирів, що й мають, крім місця водія, не більш восьми місць для сидіння - легкові автомобілі [28].

Принципи побудови мережевих графіків розглянемо на основі переліку основних робіт ремонту автомобіля [28] і часу їх виконання (табл. 3.1.)

У таблиці 3.1 зазначено, що виконання робіт a_3 , a_4 і a_5 може початися тільки після закінчення роботи a_2 ; роботи a_6 - після закінчення a_3 і т.д.

Встановлення черговості та повного переліку робіт дуже важливе питання при складанні вихідних даних для мережевої моделі та досліджуваного процесу.

Використовуючи дані таблиці 3.1, можна побудувати мережевий графік (рис. 3.1), де роботи зображені векторами (стрілками), а події, що полягають у закінченні робіт і можливості почати нові роботи, - кружечками.

Таблиця 3.1 – Перелік робіт ремонту автомобіля і час їх виконання

№ з/п	Види робіт	Умовне позначення виду роботи	Вид попередньої роботи	Тривалість робіт, год
1	Підготовка автомобіля до ремонту і встановлення його на місце розборки	a_1	-	2
2	Розборка автомобіля на основні вузли	a_2	a_1	8
3	Розборка і дефектування деталей двигуна	a_3	a_2	6
4	Розборка і дефектування деталей трансмісії	a_4	a_2	6
5	Розборка і дефектування деталей рульового керування і ходової частини	a_5	a_2	4
6	Комплектування деталей двигуна	a_6	a_3	4
7	Комплектування деталей трансмісії	a_7	a_4	4
8	Комплектування деталей ходової частини і рульового керування	a_8	a_5	3
9	Збирання і випробування двигуна	a_9	a_6	12
10	Збирання і випробування ходової частини і рульового керування	a_{10}	a_8	10
11	Збирання і випробування трансмісії	a_{11}	a_7	14
12	Збирання автомобіля з вузлів і обкатка	a_{12}	a_9, a_{10}, a_{11}	34
13	Фарбування	a_{13}	a_{12}	2
14	Приймання автомобіля з ремонту	a_{14}	a_{13}	0,5

Щоб відобразити на графіку залежність безпосередньо не пов'язаних між собою робіт, вводиться фіктивна робота, що має нульові витрати часу для її виконання. Вона наноситься на графік пунктирною лінією і потрібна лише для того, щоб зобразити на мережі необхідну почерговість робіт. Наприклад, на рис. 3.1 подія 11 (початок роботи a_{12}) можлива лише тоді, коли будуть виконані роботи a_9 і a_{10} , зв'язані через фіктивні роботи (9 - 11) і (10 - 11).

Частина робіт виконується послідовно (2 - 3), (3 - 6), (6 - 9) і т. д. Це означає, що початок кожної наступної роботи залежить від закінчення попередньої.

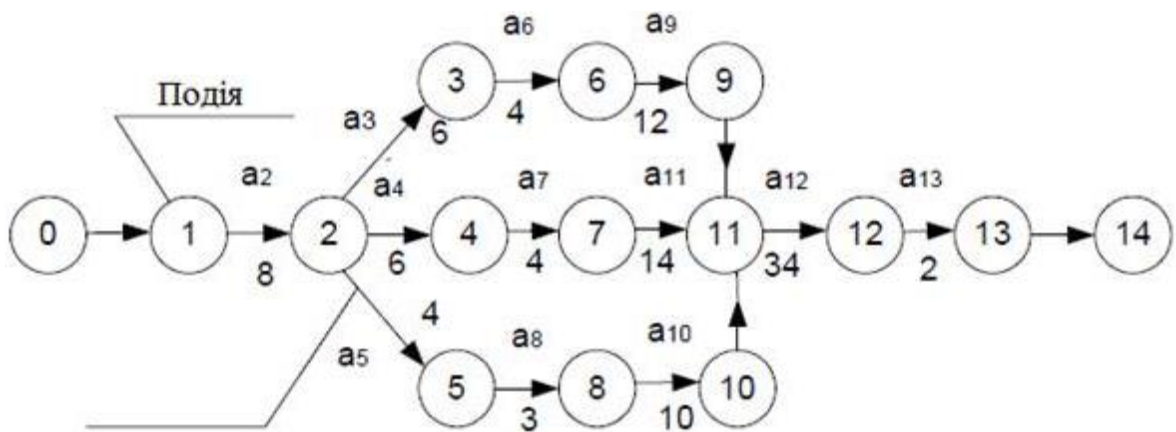


Рисунок 3.1 – Спрощений мережевий графік ремонту автомобіля

Роботи (2 - 3), (2 - 4), (2 - 5) можуть починатися в один і той самий момент часу з настанням події 2. Ці роботи не залежить у часі одна від одної і можуть виконуватися паралельно. Фіктивні роботи (9 - 11), (10 - 11) встановлюють логічний взаємозв'язок, і тривалість їх дорівнює 0.

Після побудови мережевого графіка проводиться розрахунок параметрів моделі: тривалість критичного шляху, терміни настання подій і час виконання робіт.

Критичний шлях (critical path) – це послідовність технологічно взаємопов'язаних робіт від початкової до кінцевої подій, що має максимальну тривалість.

Знайдемо критичний шлях для розглядуваного прикладу, визначивши, час виконання робіт по кожній з трьох віток:

верхня ($a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_6 \rightarrow a_9 \rightarrow a_{12} \rightarrow a_{13} \rightarrow a_{14}$)

$$T_{\text{в}} = 2 + 8 + 6 + 4 + 12 + 34 + 2 + 0,5 = 68,5 \text{ (год.)};$$

середня ($a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_4 \rightarrow a_7 \rightarrow a_{11} \rightarrow a_{12} \rightarrow a_{13} \rightarrow a_{14}$)

$$T_{\text{с}} = 2 + 8 + 6 + 4 + 14 + 34 + 2 + 0,5 = 70,5 \text{ (год.)};$$

нижня ($a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_5 \rightarrow a_8 \rightarrow a_{10} \rightarrow a_{12} \rightarrow a_{13} \rightarrow a_{14}$)

$$T_{\text{н}} = 2 + 8 + 4 + 3 + 10 + 34 + 2 + 0,5 = 63,5 \text{ (год.)}.$$

Найбільший час виконання робіт ми отримали на середній гілці графіка, цей шлях і є критичним:

$$T_{\text{кр}} = T_{\text{с}} = 70,5 \text{ (год.)}$$

Роботам, що містяться на критичному шляху, приділяється особлива увага, оскільки всяка затримка у виконанні будь-якої з цих робіт призводить до зриву закінчення всього комплексу робіт.

Розрахунок термінів настання подій ведеться в такій послідовності.

Спочатку визначається найбільш ранній термін настання j -ої події в мережі $T_p(j)$, де $j = 1, 2, \dots, n$; j - одна з подій мережі. Для початкової події найбільш ранній термін дорівнює 0, тобто $T_p(1) = 0$. Для будь-якої іншої події цей показник визначається за формулою (2.3):

$$T_p(j) = \max[T_p(i) + t_{ij}],$$

де $T_p(i)$ - найбільш ранній термін настання події i , що передує j , t_{ij} - тривалість роботи ($i - j$) (рис. 3.2.).



Рисунок 3.2 – Елементи мережевого графіка

Для кінцевої події мережевого графіка найбільш ранній термін її настання дорівнює тривалості критичного шляху.

Найбільш пізній термін настання події в мережі $T_n(i)$ визначається за формулою (2.6):

$$T_n(i) = \min[T_n(j) - t_{ij}],$$

де $T_n(j)$ - найбільш пізній термін настання події j ; t_{ij} - тривалість роботи $i - j$.

Цей показник розраховується від кінця мережевого графіка до початку, тобто в напрямку, зворотному визначенню найбільш раннього терміну настання подій. Для кінцевої події k робиться припущення, що найбільш ранній термін її настання дорівнює найбільш пізньому терміну, тобто $T_p(k) = T_n(k)$. Для критичних подій мережевого графіка $T_p(i) = T_n(i)$. Для початкової події $T_n(1) = 0$.

Допустимий термін настання події $T_a(j)T_p(j) \leq T_a(j) \leq T_n(j)$.

Ця нерівність показує, що допустимий термін настання події повинен знаходитися в діапазоні від найбільш раннього терміну настання до найбільш пізнього допустимого терміну настання даної події. Для критичних подій виконується умова:

$$T_p(i) = T_a(i) = T_n(i). \quad (3.1)$$

Результати розрахунків термінів настання подій для мережевого графіка, поданого на рис. 3.1, наведено в табл. 3.2.

У рамках мережевого графіка кожна робота характеризується чотирма часовими параметрами:

- ранній початок роботи - $t_{ij}^{p,n}$ визначається як тривалість шляху найбільшої довжини від початкової події до попередньої події даної роботи. Ранній початок будь-якої подальшої роботи (j-k) дорівнює сумі значень раннього початку і тривалості роботи (i-j), попередньої для даної роботи (рис. 3.3):

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків термінів настання подій для мережевого графіка

№ з/п	Подія	Термін настання	
		найбільш ранній, $T_p(i)$	найбільш пізній, $T_n(i)$
0	Автомобіль поставлений на ремонт	0	0*
1	Початок розбирання автомобіля на вузли	2	2*
2	Початок розбирання вузлів автомобіля	10	10*
3	Заключне розбирання і дефектування деталей двигуна	16	18
4	Заключне розбирання і дефектування деталей трансмісії	16	16*
5	Заключне розбирання і дефектування ходової частини і рульового керування	14	21
6	Початок збирання двигуна	20	22
7	Початок збирання трансмісії	20	20*
8	Початок збирання ходової частини і рульового керування	17	24
9	Заключне збирання і випробування двигуна	32	34
10	Заключне збирання ходової частини і рульового керування	27	34
11	Заключне збирання трансмісії і початок збирання автомобіля з вузлів	34	34*
12	Заключне збирання автомобіля	68	68*
13	Заключне фарбування автомобіля	70	70*
14	Автомобіль прийнятий з ремонту	70,5	70,5*

* Події, що лежать на критичному шляху.

$$t_{kj}^{p.H} = t_{ij}^{p.H} + t_{ij}. \quad (3.2)$$

Ранній початок робіт, що виходять з першої події, дорівнює нулю. Якщо даній роботі передують дві і більше робіт, то її ранній початок дорівнює максимальному значенню сум раннього початку і тривалості попередньої роботи $t_{kj}^{p.H} = \max[t_{ij}^{p.H} + t_{ij}]$.

Ранній початок роботи j-k дорівнює найбільш ранньому терміну настання попередньої події j, тобто $t_{jk}^{p.H} = T_p(j)$;

- раннє закінчення роботи $t_{ij}^{p.o}$ визначається як сума раннього початку роботи і її тривалості $t_{ij}^{p.o} = t_{ij}^{p.H} + t_{ij}$;

- пізній початок робіт $t_{ij}^{n.o}$ є найпізнішим терміном початку роботи, який не викликає затримки виконання всього комплексу в цілому.

Пізніший початок роботи розраховується в зворотному порядку, від кінця мережевого графіка до початку, і визначається як різниця між тривалістю критичного шляху від кінцевого стану графа до попередньої події даної роботи;

- пізнє закінчення роботи $t_{ij}^{n.o}$ дорівнює часу закінчення роботи, якщо вона була розпочата в пізній термін, і тому визначається як сума, пізнього початку і її тривалості $t_{ij}^{n.o} = t_{ij}^{n.H} + t_{ij}$.

Якщо відоме пізнє закінчення наступної роботи, то для даної роботи значення пізнього закінчення визначиться наступним чином:

$$t_{ij}^{n.o} = t_{jk}^{n.o} - t_{jk}. \quad (3.3)$$

Пізнє закінчення роботи $t_{ij}^{n.o}$ мережевого графіка завжди дорівнює найбільш пізньому терміну настання подальшої події $T_n(j)$, тобто:

$$t_{ij}^{п.о} = T_n(J).$$

Результати розрахунків часових параметрів робіт зведені в табл. 3.3.

З таблиці 3.3 випливає, що значення критичного шляху визначається за максимальною величиною їх ранніх закінчень робіт $t_{ij}^{п.о}$ і дорівнює 70,5.

Пізнє закінчення роботи (13 - 14), що завершується подією 14, дорівнює максимальному значенню їх ранніх закінчень робіт і також визначає тривалість критичного шляху.

Роботи, у яких ранні початки і закінчення відповідно рівні пізнім початкам і закінченням, лежать на критичному шляху і не мають запасів часу. Для побудованого графіка до цих робіт належать (0 - 1), (1 - 2), (2 - 4), (4 - 7), (7 - 11), (11 - 12), (12 - 13), (13 - 14).

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків часових параметрів робіт

Кількість робіт, які передують заданій роботі	Код роботи	Тривалість роботи, год	Початок роботи		Закінчення роботи		Запас часу повний
			раніше	пізніше	раніше	пізніше	
			$t_{ij}^{р.н}$	$t_{ij}^{п.н}$	$t_{ij}^{р.о}$	$t_{ij}^{п.о}$	
0	0-1	2	0	0	2	2	0
1	1-2	8	2	2	10	10	0
1	2-3	6	10	12	16	18	2
1	2-4	6	10	10	16	16	0
1	2-5	4	10	12	14	21	7
1	3-6	4	16	18	20	22	2
1	4-7	4	16	16	20	20	0
1	5-8	3	14	21	17	24	7
1	6-9	12	20	22	32	34	2
1	7-11	14	20	20	34	34	0
1	8-10	10	17	24	27	34	7
1	9-11	0	32	34	32	34	2
1	10-11	0	27	34	27	34	7
	11-12	34	34	34	68	68	0
1	12-13	2	68	68	70	70	0
1	13-14	0,5	70	70	70,5	70,5	0

Повний (загальний) запас часу r_{ij}^n , що є часом, на який можна перенести початок робіт (i-j) або, навпаки, збільшити їх тривалість без зміни загального терміну виконання комплексу робіт, визначається за формулою $r_{ij}^n = t_{ij}^{п.н} - t_{ij}^{р.н}$.

3.2 Мережева модель виконання робіт ТО-1 для автомобіля категорії М1

3.2.1 Технологічний процес перевірки технічного стану транспортних засобів

Перевірка технічного стану транспортних засобів здійснюється відповідно до вимог ДСТУ 3619:2010 [7]. Рекомендований порядок (типову послідовність) операцій технічного контролю наведено у [6]. Відповідно до «Вимог до перевірки конструкції та технічного стану колісного транспортного засобу, методів такої перевірки» типова послідовність основних операцій технічного контролю виглядає наступним чином:

- попередження власника про необхідність заправлення ТЗ паливом згідно з вимогами виробника;
- контроль за можливим витоком газів у ТЗ, що має газобалонне обладнання, поза виробничим приміщенням;
- попередній контроль витоків експлуатаційних рідин – під нерухомим ТЗ до початку його першого переміщення установлюють спеціальний екран;
- зовнішній огляд нерухомого ТЗ з прогрітим двигуном, а також нейтралізаторами газових викидів, якщо такі є в конструкції;
- ідентифікація ТЗ;
- перевірка і відрегулювання у разі потреби рівня тиску в пневматичних шинах; – перевірка зовнішніх світлових приладів;
- стендова перевірка гальмових систем;
- огляд складників ТЗ на оглядовій канаві, естакаді або підйомачі;

– контроль за рівнем забруднювальних речовин і димністю спалин або діагностування за допомогою OBD;

– практичне опробування систем і складників ТЗ у русі.

Наведена послідовність є далекою від оптимальної, оскільки не враховує місця виконання робіт, усіх можливих перевірок, а також послідовності або обсягу перевірок систем, вузлів, агрегатів. ДСТУ 3619:2010 [7] передбачає проведення ідентифікації транспортного засобу, а також перевірку: зовнішніх світлових приладів; рульового керування; шин та коліс; гальмівних систем; склоочисників та склоомивачів вітрового скла; двигуна та його систем; газобалонного обладнання; інших елементів конструкції (пасів безпеки, спідометра, сидінь, внутрішнього планування автобусів, зчіпних пристроїв, електропроводів, наявності вогнегасників, аптечок, знаку аварійної зупинки).

З метою оптимізації технологічного процесу на початковому етапі визначено місце проведення робіт відносно автомобіля та їх черговість, що наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Місце проведення робіт по перевірці технічного стану автомобіля

Найменування робіт	Місце виконання робіт відносно автомобіля		
	ззовні	знизу	всередині
Ідентифікація	+	-	+
Перевірка зовнішніх світлових приладів	+	-	+
Перевірка рульового керування	-	+	+
Перевірка шин та коліс	+	+	-
Перевірка гальмівних систем	+	+	+
Перевірка склоочисників та склоомивачів вітрового скла	+	-	+
Перевірка двигуна та його систем	+	+	+
Перевірка газобалонного обладнання	+	-	+
Перевірка інших елементів конструкції	+	±	+
Примітка: «+» - роботи виконуються; «-» - роботи не виконуються; «±» - роботи виконуються залежно від конструкції автомобіля.			

Оскільки переважна більшість робіт вимагає одночасне керування автомобілем та проведення замірів, то мінімальна кількість працівників дорівнює 2.

Відповідно до п. 2 [6], якщо ТЗ має технічний стан, що не відповідає вимогам, слід забезпечити максимально можливий обсяг перевірки, виходячи з умов дотримання правил безпеки життєдіяльності виконавця та непогіршення технічного стану ТЗ під час перевірки. Однак необхідно враховувати, що існує ряд невідповідностей технічного стану, які мають вплив на подальші результати замірів (наприклад: негерметичність гальмівної системи призведе до недостовірних результатів замірів гальмівних сил і т.п.), то перш за все необхідно здійснити ідентифікації складових транспортного засобу та перевірку за параметрами цілісності, герметичності, наявності і т.п. Після цього можна здійснювати інструментальний контроль технічного стану транспортного засобу. Для вирішення задачі оптимізації технологічного процесу перевірки технічного стану транспортного засобу варто застосувати метод мережевого планування [23]. Критерієм оптимізації при цьому є витрати часу на проведення перевірки технічного стану, які необхідно мінімізувати.

Перше технічне обслуговування (ТО-1) полягає в зовнішньому технічному огляді всього автомобіля та виконанні у встановленому обсязі контрольних-діагностичних, кріпильних, мастильних, електротехнічних і заправних робіт з перевіркою роботи двигуна, рульового управління, гальм та інших механізмів [28].

Технічне обслуговування ТО-1 для автомобілів визначаються пробігом автомобіля, що встановлюється залежно від категорії і умов експлуатації.

Роботи по технічному обслуговуванню виконуються на універсальному посту працівниками різних спеціальностей.

3.2.2 Мережевий графік виконання робіт ТО-1 для автомобіля категорії М1

Складемо мережевий графік виконання робіт ТО-1 для автомобіля категорії М1. Основним показником ефективності технологічного процесу виконання робіт ТО є його трудомісткість [19].

На збільшення трудомісткості виконання робіт може впливати досить значна кількість факторів: кваліфікація персоналу, застосовуване устаткування, технологічний процес і т.п. Оскільки в даній роботі розглядається питання технологічного розрахунку та, відповідно подальшого проектування (реконструкції) ліній ТО (зокрема, інструментального контролю), то доцільно розглянути технологічний процес перевірки технічного стану автомобіля, оскільки він має вплив на подальше планування людського ресурсу підприємства.

Складемо таблицю регламентних робіт технічного обслуговування ТО-1 (таблиця 3.5).

Далі будуємо мережевий графік (рис. 3.3).

Під час побудови мережевого графіка враховано, що повинні бути виконані усі роботи.

На графіку, наведеному на рисунку 3.3, роботи з трудомісткістю 0 (з нульовими витратами часу на їх виконання) є фіктивними, вони лише встановлюють логічний взаємозв'язок подій процесу.

3.2.3 Розрахунки параметрів мережевого графіка технологічного процесу ТО-1 автомобіля категорії М1

Виконаємо розрахунки параметрів мережевого графіка й зведемо результати розрахунків у табл. 3.6.

Таблиця 3.5 – Перелік регламентних робіт технічного обслуговування ТО-1 автомобіля категорії М1

№ з/п	Вид робіт	Код робіт	Трудомісткість, люд.-хв.
1	Відкрити капот	1	0,8
2	Перевірити стан і герметичність системи охолодження	2	1,5
3	Перевірити стан і герметичність системи змащування	3	1,5
4	Перевірити стан і натяг ремня приводу водяного насоса, вентилятора, генератора і відрегулювати натяг	4	2,0
5	Перевірити стан, кріплення приймальної труби глушника	5	2,0
6	Перевірити стан, кріплення додаткового глушника, основного глушника з вихлопною трубою в зборі і закріпити	6	2,5
7	Перевірити кріплення додаткового глушника, основного глушника в зборі до кузова і закріпити	7	2,5
8	Перевірити стан, герметичність приладів, паливо провідників системи живлення і паливного баку	8	4,0
9	Перевірити і відрегулювати роботу двигуна на мінімально стійку частоту обертання колінчастого вала	9	1,8
10	Перевірити дію урухомників (приводів) керування карбюратором, роботу дросельної і повітряної заслонок	10	1,5
11	Зняти кришку бензонасоса, фільтри паливного насоса і карбюратора, очистити від відкладань порожнини кришки і фільтри	11	3,0
12	Перевірити роботу блоку керування, мікроперемикача, системи керування електромагнітного перемикача холостого ходу (ЕПХХ)	12	2,0
13	Перевірити роботу електромагнітного клапана системи (ЕПХХ)	13	2,0
14	Перевірити герметичність запорного клапана карбюратора і усунути несправності	14	2,0
15	Зняти карбюратор, промити, продути його деталі, при необхідності відрегулювати рівень палива в поплавковій камері і поставити на місце	15	5,0

Продовження таблиці 3.5

№ з/п	Вид робіт	Код робіт	Трудомісткість, люд.-хв.	
16	Відрегулювати натяг ланцюга урухомника (привода) газорозподільчого механізму	16	1,5	
17	Перевірити і при необхідності відрегулювати теплові зазори в урухомнику клапанів	17	12,0	
18	Перевірити стан і герметичність урухомника виключення зчеплення	18	0,5	
19	Перевірити повний і вільний хід педалі зчеплення	19	в салоні	0,5
			знизу	1,0
20	Промити систему гідроурухомника зчеплення, залити нову рідину і видалити повітря з системи	20	в салоні	24,0
			знизу	6,0
21	Перевірити стан, кріплення і герметичність коробки передач	21	0,8	
22	Перевірити стан, кріплення карданного валу, фланця карданного вала до фланця ведучої шестерні головної передачі заднього моста	22	1,5	
23	Перевірити стан і герметичність заднього моста	23	0,8	
24	Перевірити стан передньої підвіски	24	1,0	
25	Перевірити стан, кріплення стійок стабілізатора, подушок передньої підвіски	25	3,5	
26	Перевірити стан, герметичність, кріплення амортизаторів передньої підвіски	26	1,5	
27	Перевірити стан захисних чохлах шарових опор передньої підвіски і наконечників рульових тяг	27	1,0	
28	Перевірити кріплення верхніх і нижніх ричагів передньої підвіски до поворотних кулаків	28	2,8	
29	Перевірити кріплення передньої підвіски до передньої балки, для чого відвернути контргайки осей	29	4,5	
30	Перевірити кріплення верхніх ричагів до передньої балки	30	2,5	
31	Перевірити кут розвала коліс, сходження коліс, кут повороту внутрішнього колеса	31	20,0	
32	Перевірити стан, кріплення пружин задньої підвіски до картера заднього моста	32	1,5	
33	Перевірити стан, герметичність і кріплення амортизаторів задньої підвіски	33	1,5	

Продовження таблиці 3.5

№ з/п	Вид робіт	Код робіт	Трудомісткість, люд.-хв.	
34	Перевірити кріплення передніх коліс, їх стан, тиск повітря в шинах, при необхідності довести до норми	34	4,0	
35	Перевірити кріплення задніх коліс, їх стан, тиск повітря в шинах, при необхідності довести до норми	35	4,0	
36	Перевірити стан, тиск повітря в шині резервного колеса, при необхідності довести до норми	36	1,0	
37	Перевірити осьовий зазор і підшипниках ступіць передніх коліс і відрегулювати	37	9,0	
38	Виконати динамічне балансування коліс і змінити їх місцями відповідно до схеми перестановки коліс	38	11,0	
39	Перевірити кріплення кермової колонки до панелі приладів	39	0,5	
40	Перевірити стан і кріплення кермового механізму до лонжерона, при необхідності закріпити	40	1,0	
41	Перевірити стан, кріплення сошки рульового керування, при необхідності закріпити	41	0,5	
42	Перевірити стан, кріплення маятникового важеля, його кронштейна й усунути зазор у шарнірах або втулках	42	1,0	
43	Перевірити стан, кріплення кермових тяг, захисних чохла шарнірів	43	3,0	
44	Перевірити вільний хід кермового колеса й при необхідності відрегулювати	44	1,0	
45	Перевірити стан, герметичність гідравлічного приводу робочої гальмової системи, головного циліндра, вакуумного підсилювача, сигналізатора, регулятора тиску, колісних циліндрів	45	в кабіні	2,5
			в моторному відсіку	1,5
46	Перевірити положення гальмової педалі й відрегулювати	46	1,0	
47	Перевірити стан, тросів, тяг привода стояночного гальма, дію привода стояночного гальма	47	1,5	
48	Перевірити стан гальмових барабанів, дисків, колодок передніх і накладок задніх колісних гальм, при необхідності замінити	48	24,5	

Продовження таблиці 3.5

№ з/п	Вид робіт	Код робіт	Трудомісткість, люд.-хв.	
49	Промити систему гідроприводу гальм, залити нову гальмову рідину й вилучити повітря із системи	49	63,0	
50	Перевірити ефективність дії гальм передніх коліс	50	5,0	
51	Перевірити ефективність дії гальм задніх коліс	51	5,0	
52	Перевірити стан, кріплення фар, показчиків поворотів, задніх ліхтарів, ліхтаря освітлення номерного знаку	52	3,0	
53	Перевірити роботу склоочисника, склоомивача і фараочисника	53	в кабіні	1,0
			попереду	0,5
54	Перевірити стан, роботу контрольно-вимірювальних приладів, дію вимикача запалювання	54	1,0	
55	Перевірити стан, дію вимикача зовнішнього освітлення, перемикача показчика поворотів і світла фар, вимикача аварійної сигналізації, вимикача сигналу гальмування, вимикача контрольної лампи системи гальм	55	в кабіні	3,0
			Зверху	0,5
56	Перевірити рівень електроліту в акумуляторній батареї, долити дистильовану воду й прочистити вентиляційні отвори	56	3,5	
57	Очистити поверхню акумуляторної батареї від пилу, бруду й електроліту, очистити, змастити, перевірити кріплення наконечників проводів до вивідних штирів батареї	57	2,5	
58	Перевірити стан кузова, дверей, оперення, облицювання радіатора, капота, номерних знаків, кришки багажника, переднього й заднього бамперів, скла	58	2,0	
59	Перевірити кріплення, дію замка кришки багажника, відрегулювати правильність фіксації замка	59	1,0	
60	Перевірити кріплення й дію капота, замка капота, при необхідності відрегулювати його привод	60	1,0	
61	Перевірити кріплення й дію приводів замків дверей і механізмів переміщення скла	61	1,5	
62	Перевірити стан, кріплення оббивки салону, сидінь, спинок, панелі приладів, протисонячних козирків, поручнів, підлокітників, дзеркал заднього виду, працездатність ременів безпеки	62	3,5	

Продовження таблиці 3.5

63	Замінити фільтруючий елемент фільтра очищення масла й масло в картері двигуна	63	14,0
64	Перевірити рівень рідини в системі охолодження, при необхідності довести до норми	64	1,0
65	Перевірити рівень масла в картері коробки передач, при необхідності довести до норми	65	2,0
66	Перевірити рівень масла в картері заднього мосту, при необхідності долити	66	2,0
67	Перевірити рівень рідини в бачку гідравлічного приводу зчеплення, при необхідності долити	67	1,0
68	Очистити вентиляційні отвори в пробках наповнювального бачка головного циліндра зчеплення	68	0,5
69	Замінити фільтруючий елемент повітряочисника	69	2,0
70	Перевірити рівень рідини в бачку омивача вітрового скла й при необхідності долити	70	0,5
71	Перевірити рівень рідини в бачку омивача розсіювачів фар і при необхідності долити	71	0,5
72	Прочистити сапуни на коробці передач і редуктора заднього мосту	72	1,0
	Разом	72	305,0

У таблиці 3.6 подано розрахунок трудомісткості усіх повних шляхів L_i , $i = 1, \dots, 6$, який здійснюється за формулою (2.1).

Збільшення сумарної трудомісткості всіх робіт, що лежать на шляху L_i , на величину резерву $R(L_i)$ не збільшує час настання завершальної операції.

Найбільшу трудомісткість виконання робіт ми отримали на другому повному шляху, цей шлях i є критичним:

$$T_{кр} = 143,1 \text{ (люд. – хв.)}$$

Роботам, що містяться на критичному шляху, необхідно приділити особливу увагу, оскільки всяка затримка у виконанні будь-якої з цих робіт призводить до зриву закінчення всього комплексу робіт.

Таблиця 3.6 - Розрахунки параметрів сіткового графіка й визначення критичного шляху

№ з/п	Позначення	Довжина шляху, люд. – хв.	Резерв, люд. – хв.
1	0-1-19, 1-20, 1-45, 1-48-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-67-68-69-70-71-50-51	102,8	40,3
2	0-1-2-3-4-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-34-35-36-37-38-39-44-45, 2-46-49-50-51	143,1	0
3	0-1-5-6-7-8-19, 2-20, 2-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-40-41-42-43-47-66-72-50-51	76,7	66,4
4	0-1-19, 1-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-34-35-36-37-38-39-44-45, 2-46-49-50-51	65,2	77,9
5	0-1-19, 1-20, 1-20, 2-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-40-41-42-43-47-66-72-50-51	83,2	59,9
6	0-1-19, 1-2,1-20, 1-45, 1-45, 2-46-49-50-51	101,8	41,3

Резерви часу всіх критичних подій дорівнюють 0: $R_{\text{ікр}} = 0$.

Роботи, 2, 19, 5 можуть починатися в один і той самий момент часу після настання подій 1. Ці роботи не залежить у часі ні одна від одної і можуть виконуватися паралельно.

Роботи першої (верхньої вітки) виконуються ззовні автомобіля, другої – всередині, третьої – знизу автомобіля.

Таким чином на основі мережевого графіка встановлено найбільш оптимальну послідовність виконання робіт, яку наведено на рисунку 3.3.

Результати розрахунків часових параметрів мережевого графіка подано в таблиці 3.7.

Для кінцевої події мережевого графіка трудомісткість дорівнює тривалості критичного шляху (143,1 люд. – хв.) і називається критичною трудомісткістю мережевого графіка.

Найбільша трудомісткість настання події в мережі $\Gamma^{\text{п}}$ визначає найбільш допустимі витрати часу і людських ресурсів настання події, які не потребують збільшення часу і ресурсів на здійснення всього комплексу робіт.

Таблиця 3.7 - Розрахунки часових параметрів мережевого графіка

№ з/п	Код робіт	Тривалість робіт, люд. – хв.	Початок роботи		Закінчення роботи		Повний запас часу $R_{ij} = t^{п.п.}_{ij} - t^{р.п.}_{ij}$
			Найбільш ранній	Найбільш пізній	Найбільш раннє	Найбільш пізнє	
			$t^{р.п.}_{ij} = T^{р.}_{i}$	$t^{п.п.}_{ij} = T^{п.}_{j} - t_{ij}$	$t^{р.з.}_{ij} = T^{р.}_{i} + t_{ij}$	$t^{п.з.}_{ij} = T^{п.}_{j}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0-1	0,8	0	0	0,8	0,8	0
2	1-2	1,5	0,8	0,8	2,3	2,3	0
3	2-3	1,5	2,3	2,3	3,8	3,8	0
4	3-4	2	3,8	3,8	5,8	5,8	0
5	4-9	1,8	5,8	5,8	7,6	7,6	0
6	9-10	1,5	7,6	7,6	9,1	9,1	0
7	10-11	3,0	9,1	9,1	12,1	12,1	0
8	11-12	2,0	12,1	12,1	14,1	14,1	0
9	12-13	2,0	14,1	14,1	16,1	16,1	0
10	13-14	2,0	16,1	16,1	18,1	18,1	0
11	14-15	5,0	18,1	18,1	23,1	23,1	0
12	15-16	1,5	23,1	23,1	24,6	24,6	0
13	16-17	12,0	24,6	24,6	36,6	36,6	0
14	17-18	0,5	36,6	36,6	37,1	37,1	0
15	18-34	4,0	37,1	37,1	41,1	41,1	0
16	34-35	4,0	41,1	41,1	45,1	45,1	0
17	35-36	1,0	45,1	45,1	46,1	46,1	0
18	36-37	9,0	46,1	46,1	55,1	55,1	0
19	37-38	11,0	55,1	55,1	66,1	66,1	0
20	38-39	0,5	66,1	66,1	66,6	66,6	0
21	39-44	1,0	66,6	66,6	67,6	67,6	0
22	44-45,2	1,5	67,6	67,6	69,1	69,1	0
23	45,2-46	1,0	69,1	69,1	70,1	70,1	0
24	46-49	63,0	70,1	70,1	133,1	133,1	0
25	49-50	5,0	133,1	133,1	138,1	138,1	0
26	50-51	5,0	138,1	138,1	143,1	143,1	0
27	1-5	2,0	0,8	67,2	2,8	68,2	66,4
28	5-6	2,5	2,8	69,2	5,3	71,7	66,4
29	6-7	2,5	5,3	71,7	7,8	74,2	66,4
30	7-8	4,0	7,8	74,2	11,8	78,2	66,4
31	8-19,2	1,0	11,8	78,2	12,8	79,2	66,4
32	19,2-20,2	6,0	12,8	79,2	18,8	85,2	66,4
33	20,2-21	0,8	18,8	85,2	19,6	86,0	66,4
34	21-22	1,5	19,6	86,0	21,1	87,5	66,4
35	22-23	0,8	21,1	87,5	21,9	88,3	66,4
36	23-24	1,0	21,9	88,3	22,9	89,3	66,4

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8
37	24-25	3,5	22,9	89,3	26,4	92,8	66,4
38	25-26	1,5	26,4	92,8	27,9	94,3	66,4
39	26-27	1,0	27,9	94,3	28,9	95,3	66,4
40	27-28	2,8	28,9	95,3	31,7	98,1	66,4
41	28-29	4,5	31,7	98,1	36,2	102,6	66,4
42	29-30	2,5	36,2	102,6	38,7	105,1	66,4
43	30-31	20,0	38,7	105,1	58,7	125,1	66,4
44	31-32	1,5	58,7	125,1	60,2	126,6	66,4
45	32-33	1,5	60,2	126,6	61,7	128,1	66,4
46	33-40	1,0	61,7	128,1	62,7	129,1	66,4
47	40-41	0,5	62,7	129,1	63,2	129,6	66,4
48	41-42	1,0	63,2	129,6	64,2	130,6	66,4
49	42-43	3,0	64,2	130,6	67,2	133,6	66,4
50	43-47	1,5	67,2	133,6	68,7	135,1	66,4
51	47-66	2,0	68,7	135,1	70,7	137,1	66,4
52	66-72	1,0	70,7	137,1	71,7	138,1	66,4
53	72-50	0	71,7	138,1	71,7	138,1	66,4
54	1-19,1	0,5	0,8	41,1	1,3	41,6	40,3
55	19,1-20,1	24,0	1,3	41,6	25,3	65,6	40,3
56	20,1-45,1	2,5	25,3	65,6	27,8	68,1	40,3
57	45,1-48	24,5	27,8	68,1	52,3	92,6	40,3
58	48-52	3,0	52,3	92,6	55,3	95,6	40,3
59	52-53	1,5	55,3	95,6	56,8	97,1	40,3
60	53-54	1,0	56,8	97,1	57,8	98,1	40,3
61	54-55	3,5	57,8	98,1	61,3	101,6	40,3
62	55-56	3,5	61,3	101,6	64,8	105,1	40,3
63	56-57	2,5	64,8	105,1	67,3	107,6	40,3
64	57-58	2,0	67,3	107,6	69,3	109,6	40,3
65	58-59	1,0	69,3	109,6	70,3	110,6	40,3
66	59-60	1,0	70,3	110,6	71,3	111,6	40,3
67	60-61	1,5	71,3	111,6	72,8	113,1	40,3
68	61-62	3,5	72,8	113,1	76,3	116,6	40,3
69	62-63	14,0	76,3	116,6	90,3	130,6	40,3
70	63-64	1,0	90,3	130,6	91,3	131,6	40,3
71	64-65	2,0	91,3	131,6	93,3	133,6	40,3
72	65-67	1,0	93,3	133,6	94,3	134,6	40,3
73	67-68	0,5	94,3	134,6	94,8	135,1	40,3
74	68-69	2,0	94,8	135,1	96,8	137,1	40,3
75	69-70	0,5	96,8	137,1	97,3	137,6	40,3
76	70-71	0,5	97,3	137,6	97,8	138,1	40,3
77	71-50	0	97,8	138,1	97,8	138,1	40,3

Повний резерв трудомісткості роботи показує трудомісткість, на яку можна змінити виконання даної роботи (або збільшити її тривалість, або/і ресурси), не змінюючи при цьому довжини критичного шляху, і визначається за формулами (2.14).

Для всіх робіт, що лежать на критичному шляху, повний резерв трудомісткості дорівнює нулю.

Варто зауважити, що для ефективного застосування запропонованого технологічного процесу на лінії ТО повинно працювати 3 особи.

Послідовність операцій по перевірці технічного стану автомобіля, їх розподіл по постах, а також кількість залучених працівників наведено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Розподіл операцій по перевірці технічного стану автомобіля, їх розподіл по постах та працівниках

№ поста	Найменування робіт	Кількість працівників	Середній час виконання робіт, хв	Трудомісткість, люд. – хв.
I	Приймання автомобіля	2	14,9	29,8
	Ідентифікація та перевірка автомобіля ззовні			
	Ідентифікація та перевірка автомобіля знизу			
II	Перевірка рульового керування	2	17,9	35,8
	Перевірка шин та коліс			
III	Перевірка зовнішніх світлових приладів	3	9,9	29,8
	Перевірка гальмівних систем			
	Перевірка склоочисників та склоомивачів вітрового скла			
IV	Перевірка двигуна та його систем	3	15,9	47,7
	Перевірка газобалонного обладнання			
	Перевірка інших елементів конструкції			

Таким чином лінія ТО повинна бути обладнана чотирма робочими постами, в цьому випадку можна організувати потоковий метод перевірки, однак складність полягає у нерівномірності поступання однотипних транспортних засобів.

Для оптимальної організації роботи один працівник, який постійно не задіяний у процесі перевірки здійснює оформлення результатів перевірки технічного стану, прийом та видачу транспортних засобів.

В даному випадку розподіл обов'язків персоналу підприємства, яке обладнане однією лінією ТО матиме наступний вигляд:

- керівник – 1 (загальне управління процесом, планування робіт, затвердження протоколів);
- керівник з якості – 1 (ведення системи управління підприємства, перевірка протоколів, приймання автомобілів на випробування);
- інженер з ТО – 2 (проведення перевірки технічного стану транспортних засобів);
- інженер з ТО – 1 (оформлення протоколів перевірки, проведення перевірки технічного стану транспортних засобів).

З метою оцінки ефективності запропонованого технологічного процесу перевірки технічного стану транспортних засобів в реальних умовах роботи його було впроваджено на підприємстві СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького області. В результаті роботи встановлено зменшення затрат часу на проведення перевірки в межах 12...15 %.

3.3 Мережева модель евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки на пости обслуговування

3.3.1 Визначення переліку робіт у складі мережевого графіка

СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького запроваджує нову послугу – евакуація автомобіля з місця ДТП або поломки на свої пости обслуговування.

Для вирішення задачі оптимізації технологічного процесу евакуації легкового автомобіля автомобільним евакуатором варто застосувати метод мережевого планування [23].

Критерієм оптимізації при цьому є витрати часу на проведення евакуації, які необхідно мінімізувати.

Установлення почерговості й повного переліку робіт – дуже важливе питання при складанні вихідних даних для мережевої моделі досліджуваного процесу. Ці дані отримані на основі експертного опитування майстрів СТОА «ЛІДЛ».

Тривалість робіт визначено, за результатами хронометражу випробувальної лабораторії Дочірнього підприємства “Автоскладальний завод № 1” публічного акціонерного товариства “Автомобільна компанія ”Богдан Моторс” [10].

У таблиці 3.9 наведено кодування робіт та затрати часу на їх виконання.

Таблиця 3.9 – Перелік робіт у складі мережевого графіка

№ з/п	Найменування робіт	Код робіт	Тривалість, хв.
1	Отримання заявки на евакуацію автомобіля від клієнтури	1 - 2	7
2	Визначення кореспондуючих точок і відстаней між ними	2 - 3	3
3	Визначення обсягів робіт при евакуації	2 - 4	4
4	Вибір рухомого складу для здійснення перевезення	4 - 5	2
5	Фіктивна робота (залежність)	5 - 6	0
6	Розробка раціональних маршрутів перевезень	6 - 7	1,5
7	Розрахунок потрібного парку рухомого складу	7 - 8	2
8	Складання маршрутних відомостей (розрядки)	8 - 9	4
9	Виписка шляхових листів	9 - 10	3
10	Доставка евакуйованого автомобіля	10 - 11	8
11	Контроль за роботою рухомого складу на лінії	10 - 13	8
12	Приймання авто-транспортної документації	11 - 12	1,5
13	Обробка авто-транспортної документації	12 - 14	2
14	Складання диспетчерського звіту	14 - 15	2

3.3.2 Побудова мережевого графіка плану евакуації автомобіля категорії М1

При цьому користуємося основними правилами побудови мережевих графіків, що зазначені в розділі 2, а також враховуємо, що взаємопов'язані роботи виконуються послідовно, незалежні роботи виконуються як послідовно, так і паралельно.

Будуємо мережевий графік плану евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки (рис. 3.4.).

На графіку, наведеному на рисунку 3.4 роботи, позначені пунктирними стрілками, є фіктивними, тому час їх виконання дорівнює 0.

Роботи 3, 4 і 11, 13 можуть починатися в один і той самий момент часу після настання подій 2 та 10, відповідно.

Ці роботи не залежить у часі одна від одної і можуть виконуватися паралельно.

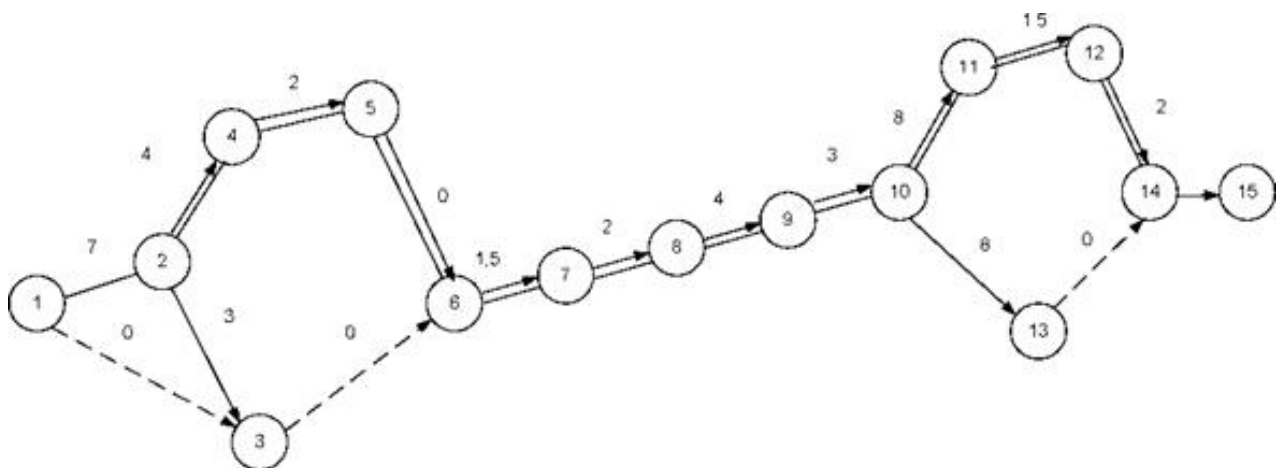


Рисунок 3.4. Мережевий графік плану евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки

За мережевим графіком плану евакуації автомобілів категорії М1 з місця ДТП або поломки визначено критичний час виконання робіт, який відповідає

такій послідовності подій: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 і становить 48,0 хв.

3.3.3 Розрахунки за мережевим графіком плану евакуації автомобіля категорії М1

Після побудови мережевого графіка проводяться розрахунки параметрів моделі: тривалість критичного шляху, термінів настання подій і часу виконання робіт:

- розрахунок тривалості будь-якого повного шляху здійснюється за формулою:

$$t(L_i) = \sum_{L_i} t_{ij}. \quad (3.4)$$

Розрахунок зведемо таблицю 3.10;

Таблиця 3.10 – Розрахунок тривалості повного шляху

№ з/п	Шлях, L_i	Тривалість шляху, $t(L_i)$	Резерв, $R(L_i)$	Примітка
1	1 - 2 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 14 - 15	$7 + 4 + 2 + 0 + 1,5 + 2 + 4 + 3 + 8 + 1,5 + 2 + 2 = 37$	0	Критичний шлях
2	1 - 2 - 4 - 5 - 6 - 2 - 8 - 9 - 10 - 13 - 14 - 15	$7 + 4 + 2 + 0 + 1,5 + 2 + 4 + 3 + 8 + 0 + 2 = 33,5$	3,5	
3	1 - 2 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 14 - 15	$+ 3 + 0 + 1,5 + 2 + 4 + 3 + 1,5 + 2 + 2 = 34$	3,0	
4	1 - 2 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 13 - 14 - 15	$+ 3 + 0 + 1,5 + 2 + 4 + 3 + 0 + 2 = 30,5$	4,5	
5	1 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 14 - 15	$0 + 0 + 1,5 + 2 + 4 + 3 + 8 + 1,5 + 2 + 2 = 24$	13,0	
6	1 - 3 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 13 - 14 - 15	$0 + 0 + 1,5 + 2 + 4 + 3 + 8 + 0 + 2 = 20,5$	16,5	

- $t(L_h) = \max \sum_{L_i} t_{ij}$ – довжина критичного шляху (у нашому випадку це шлях 1);

- повний резерв часу шляху

$$R(L_i) = t(L_{кр}) - t(L_i). \quad (3.5)$$

Збільшення сумарної тривалості всіх робіт, що лежать на шляху L_i , на величину $R(L_i)$ не збільшує час настання завершальної операції.

Розрахунок часу настання подій

Розрахунки термінів настання подій проводимо в такій послідовності:

- спочатку визначаємо найбільш ранній термін настання j -ї події в мережі $T_p(j)$ (цей показник розраховується від початку мережевого графіка до його кінця);

- далі визначаємо найбільш пізній термін настання події в мережі $T_n(i)$ (цей показник розраховується від кінця мережевого графіка до початку);

- визначаємо допустимий термін настання події $T_a(j)$ за нерівністю $T_p(j) \leq T_a(j) \leq T_n(j)$.

Ця нерівність показує, що допустимий термін настання події повинен перебувати в діапазоні змін від найбільш раннього терміну настання до найбільш пізнього допустимого терміну настання цієї події.

Для критичних подій $T_p(i) = T_a(i) = T_n(i)$.

Відповідно до методики наведеній у розділі 2 здійснено розрахунок термінів настання подій для мережевого графіка, результати якого наведено у таблиці 3.11.

Таким чином, на основі мережевого графіка встановлено найбільш оптимальну послідовність виконання робіт, яку наведено на рисунку 3.5.

Загальна тривалість робіт становить 37,0 хв.

Отже, повний запас часу становить 3,5 хв. при виконанні робіт Доставка евакуйованого автомобіля - Обробка авто-транспортної документації.

Повний запас часу є часом, на який можна перенести початок робіт (Доставка евакуйованого автомобіля - Обробка авто-транспортної документації) або, навпаки, збільшити їх тривалість без зміни загального терміну виконання комплексу робіт.

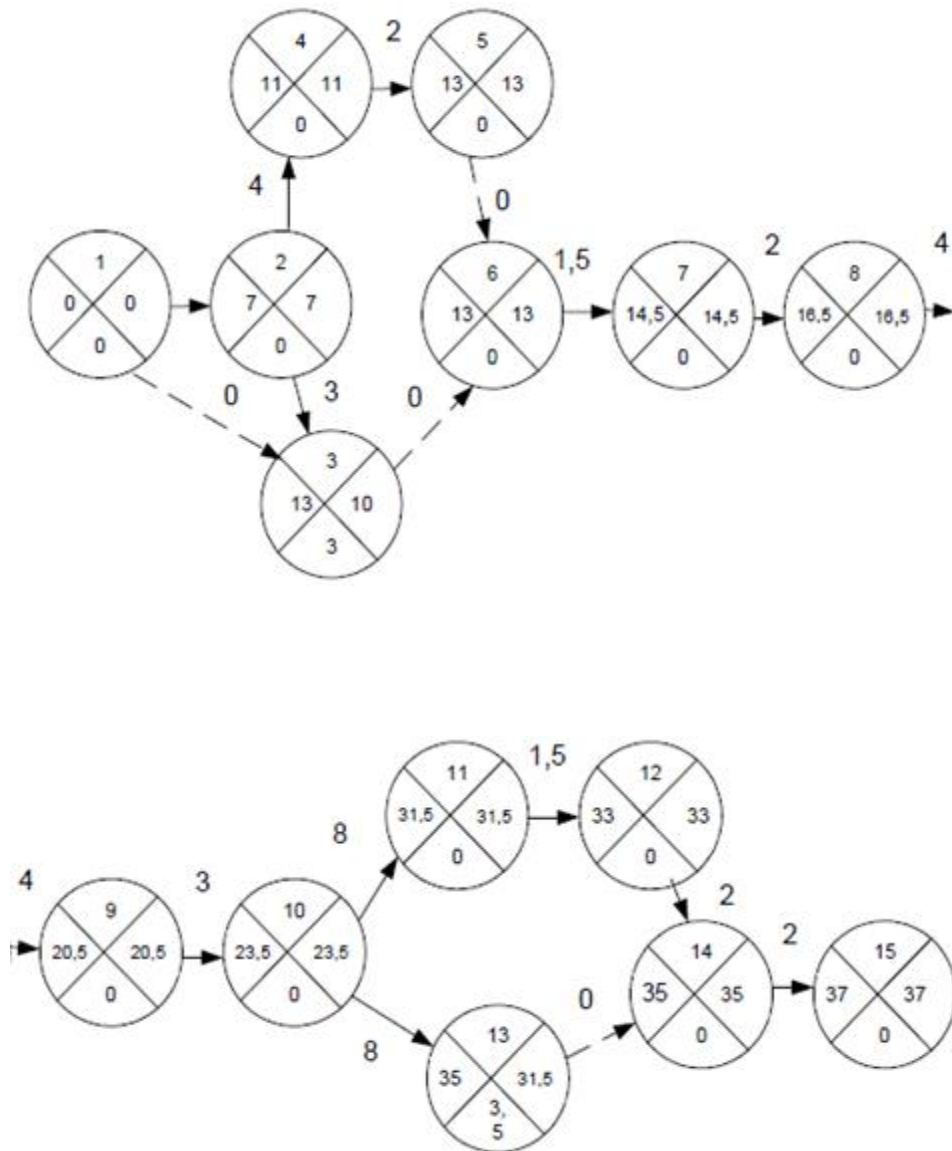


Рисунок 3.5 – Оптимальний мережевий графік із зазначенням часу настання подій

Таблиця 3.11 – Таблиця розрахунку часових характеристик мережевого графіка

№ з/п	Код роботи	Тривалість робіт	Початок робіт		Закінчення робіт		Запас часу повний
			раніше	пізніше	раніше	пізніше	
1	1 - 2	7	0	0	7	7	0
2	2 - 3	3	7	10	10	13	3
3	2 - 4	4	7	7	11	11	0
4	4 - 5	2	11	11	13	13	0
5	5 - 6	0	13	13	13	13	0
6	6 - 7	1,5	13	13	14,5	14,5	0
7	7 - 8	2	14,5	14,5	16,5	16,5	0
8	8 - 9	4	16,5	16,5	20,5	20,5	0
9	9 - 10	3	20,5	20,5	23,5	23,5	0
10	10 - 11	8	23,5	23,5	31,5	31,5	0
11	10 - 13	8	23,5	27	31,5	35	3,5
12	11 - 12	1,5	31,5	31,5	33	33	0
13	12 - 14	2	33	33	35	35	0
14	14 - 15	2	35	35	32,0	37	0

3.4 Задача про заміну обладнання (мережева векторна версія)

3.4.1 Постановка задачі

СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького формує план оновлення обладнання для здійснення ремонту та ТО автомобілів.

Однією з проблем, з якою доводиться стикатися при організації роботи підприємства сервісу автомобільного транспорту, є заміна старого обладнання (верстатів, агрегатів, машин) і технічних автомобілів на нові.

Старе обладнання має фізичний і моральний знос, в результаті чого зростають виробничі витрати проведення ремонтних робіт і ТО на старому обладнанні, збільшуються витрати на його ремонт та обслуговування, а разом з тим знижуються його продуктивність і ліквідна вартість.

Настає момент, коли старе обладнання більш вигідно продати (замінити новим), ніж експлуатувати ціною великих витрат.

Оптимальна стратегія (optimal strategy) заміни обладнання полягає у визначенні оптимальних термінів заміни. Критеріями оптимальності при визначенні строків заміни можуть служити або прибуток від експлуатації, який слід максимізувати, або сумарні витрати на експлуатацію протягом розглядуваного проміжку часу, які підлягають мінімізації.

Домовимося вважати, що рішення про заміну обладнання приймається періодично на початку кожного проміжку (року), на які розбитий плановий період.

Основними функціональними характеристиками обладнання є:

t вік обладнання ($t = 0, 1, 2, 3, \dots, n$), де $t = 0$ - використання нового обладнання, $t = 1$ - використання обладнання віку одного року і т.д.;

$f(t)$ - виручка за ремонтні послуги і ТО, одержана за рік при використанні обладнання віку t ;

$r(t)$ - експлуатаційні витрати за рік на обладнання віку t ;

$\varphi(t)$ - залишкова вартість обладнання віку t ;

P - ціна нового обладнання;

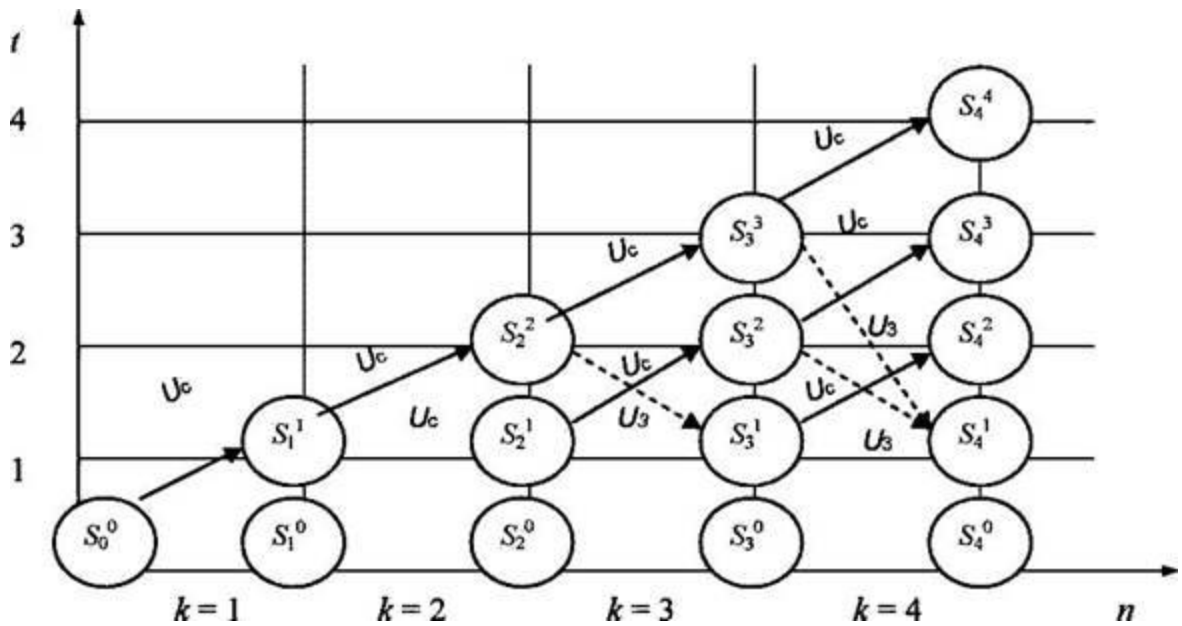
t_0 - початковий вік обладнання;

n - тривалість планового періоду (кількість років у періоді планування).

Схема можливих станів обладнання має вигляд (рис. 3.6).

3.4.2 Побудова математичної моделі

Поставлену задачу можна розглядати як задачу динамічного програмування, в якій в якості системи S виступає устаткування (обладнання) [14]. Стан цієї системи визначається фактичним часом користування обладнання (його віку) t , тобто описується єдиним параметром t .



U^c - збереження і тривалість використання обладнання;

U^z - заміна обладнання новим; S_k^t - стан обладнання, що відповідає віку t

Рисунок 3.6 –Схема можливих станів обладнання

Алгоритм розв'язання задачі методом ДП реалізується у два етапи.

Перший етап. При русі від початку n -го року до початку 1-го року для кожного допустимого стану обладнання знаходимо умовне оптимальне управління (рішення) – $u(t)$.

Другий етап. При русі від початку 1-го року до початку n -го року з умовних оптимальних розв'язків складається оптимальний план заміни обладнання – $u^*(t)$.

Розглянемо n -кроковий процес (рис. 3.6), вважаючи k -м кроком номер k -го року від початку експлуатації ($k = 1, 2, 3, \dots, n$). Рівняння на k -му кроці вибирається з двох можливих розв'язків: u^c - зберегти і продовжити використання старого обладнання або u^z - замінити обладнання на нове.

Стан S_{k-1} системи на початку k -го кроку характеризується параметром t - вік обладнання, який може набувати значення $0, 1, 2, \dots, k - 1$, тобто $t \leq k - 1$.

Якщо до початку k -го кроку система перебуває в стані S_{k-1} і вік її дорівнює t рокам ($S_{k-1} = t$), то під впливом рівняння U^c наприкінці k -го кроку вона перейде в стан S_k з віком обладнання $t + 1$ ($S_k = t + 1$) (рис. 3.6), тобто вік обладнання збільшиться на один рік. Під впливом рівняння U^s , прийнятого на k -му кроці, система перейде в стан з віком обладнання, що дорівнює одному року. Заміну здійснили на початку k -го кроку ($S_k = 1$).

Визначимо прибуток на k -му кроці (показник ефективності k -го кроку), що відповідає кожному з альтернативних управлінь U^c і U^s .

Вибираючи на k -му кроці управління i , ми зможемо отримати виручку у розмірі $f(t)$ на старому обладнанні, що зажадає витрат $r(t)$, тому прибуток дорівнюватиме $f(t) - r(t)$. Позначимо його через:

$$W_k^c = f(t) - r(t). \quad (3.6)$$

При управлінні U^s отримаємо дохід $\varphi(t)$ від продажу старого обладнання (ліквідну вартість) та $f(0)$ – виручку від здійснення робіт на новому обладнанні, витративши при цьому P гривень на придбання нового обладнання і $r(0)$ - на обслуговування нового обладнання. У цьому випадку прибуток складе:

$$W_k^s = \varphi(t) + f(0) - P - r(0). \quad (3.7)$$

Так як на останньому етапі процесу планування ми можемо діяти без врахування попередніх етапів і вважати, що оптимальне управління на останньому етапі має забезпечити максимальний дохід за останній рік, то функціональне рівняння, що дає можливі розв'язки, буде наступним:

$$W_n^*(t) = \max \begin{cases} f(t) - r(t) & \text{при } U_n = U^c \\ \varphi(t) + f(0) - P - r(0) & \text{при } U_n = U^s \end{cases}. \quad (3.8)$$

Порівнявши ці дві величини для всіх можливих $i < n$ отримаємо значення $W_n^*(t)$ і відповідне значення оптимального управління $U_n^*(t)$.

Припустимо, що для всіх значень t і S_k - станів системи максимальний прибуток, отриманий за $n - k$ кроків з $(k + 1)$ -го по n -й включно. Тому основні рекурентні співвідношення можна записати у вигляді:

$$W_n^*(t) = \max \begin{cases} f(t) - r(t) + W_{k+1}^*(t + 1) & \text{при } U_n = U^c \\ \varphi(t) + f(0) - P - r(0) + W_{k+1}^*(1) & \text{при } U_n = U^s \end{cases} . \quad (3.9)$$

У рівнянні (3.9) величина $W_{k+1}^*(1)$ - умовний максимальний прибуток, отриманий за $n - k$ кроків, якщо до початку $(k + 1)$ -го кроку системи знаходились в стані S_k і $t = 1$ (вік обладнання становив 1 рік).

3.4.3 Послідовність розв'язання задачі

Складемо план заміни обладнання протягом п'яти років, при якому загальний прибуток за даний період часу є максимальним, якщо витрати, пов'язані з придбанням і обслуговуванням нового обладнання складають 40 тис. грн. Залежність продуктивності обладнання від часу його використання, а також залежність витрат на утримання та ремонт обладнання при різному часі його використання наведені в табл. 3.12 (початкові дані надані підприємством).

Таблиця 3.12 – Залежність продуктивності обладнання від часу його використання, витрат на утримання та ремонт обладнання при різному часі його використання

Час, протягом якого використовується обладнання, роки	0	1	2	3	4	5
Річна виручка $f(t)$ у вартісному враженні, тис. грн.	80	75	65	60	60	55
Експлуатаційні витрати, $r(t)$, тис. грн.	20	25	30	35	45	55

Знаходження розв'язку вихідної задачі починаємо з визначення умовного оптимального управління (розв'язку) для останнього 5-го року і знаходимо множину допустимих станів обладнання до початку заданого року.

Так як в початковий момент є нове обладнання ($t^{(1)} = 0$), то вік обладнання до початку 5-го року може складати 1, 2, 3, 4 роки. Тому допустимі стани системи на даний період часу такі: $t_1^{(5)} = 1$; $t_2^{(5)} = 2$, $t_3^{(5)} = 3$, $t_4^{(5)} = 4$. Для кожного з цих станів знайдемо умовний оптимальний розв'язок і відповідне значення функції $W_5(t^{(5)})$.

Використовуючи рівняння (3.8) і співвідношення $W_6(t^{(k+1)}) = 0$ (оскільки розглядається останній рік розрахункового періоду), отримаємо:

$$W_5(t^{(5)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} f(t^{(5)}) - r(t^{(5)}) \\ f(t^{(5)} = 0) - r(t^{(5)} = 0) - p. \end{array} \right. \quad (3.10)$$

Підставляючи тепер в формулу (3.10) замість $t^{(5)}$ його значення, яке дорівнює 1, і приймаючи до уваги данні таблиці 3.12, знаходимо:

$$W_5(t_1^{(5)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} f(t^{(5)} = 1) - r(t^{(5)} = 1), \\ f(t^{(5)} = 0) - r(t^{(5)} = 0) - P. \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 75 - 25, \\ 80 - 20 - 40. \end{array} \right\} = 50, \quad U = U^c.$$

Отже, умовне оптимальне рішення в даному випадку – зберегти обладнання.

Проведемо аналогічні розрахунки для інших допустимих станів обладнання до початку 5-го року. Результати зводимо в табл. 3.13.

$$W_5(t_2^{(5)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} 65 - 30 \\ 80 - 20 - 40 \end{array} \right\} = 35 \quad U = U^c;$$

$$W_5(t_3^{(5)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} 65 - 35 \\ 80 - 20 - 40 \end{array} \right. = 25 \quad U = U^c ;$$

$$W_5(t_4^{(5)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} 60 - 45 \\ 80 - 20 - 40 \end{array} \right. = 35 \quad U = U^3 .$$

Таблиця 3.13 – Результати розрахунків

Вік обладнання $t^{(5)}$, рік	Значення функції $W_5(t^{(5)})$, тис. грн.	Умовне оптимальне рішення, U
1	50	U^c
2	5	U^c
3	25	U^c
4	20	U^3

Розглянемо тепер можливі стани обладнання до початку 4-го року. Очевидно, що допустимими станами є $t_1^{(4)} = 1, t_2^{(4)} = 2, t_3^{(4)} = 3$. Для кожного з них визначаємо умовне оптимальне рішення і відповідне значення функції $W_4(t^{(4)})$. Для цього використовуємо рівняння (3.9) і дані табл. 3.12, 3.13. Так, зокрема, для $t_1^{(4)}$ маємо:

$$W_4(t_1^{(4)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} f(t^{(4)} = 1) - r(t^{(4)} = 1) + W_5(t^{(5)} = 2), \\ f(t^{(4)} = 0) - r(t^{(4)} = 0) - P + W_5(t^{(5)} = 1). \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 75 - 25 + 35, \\ 80 - 20 - 40 + 50. \end{array} \right\} = 85, \quad U = U^c.$$

Отже, умовним оптимальним рішенням в даному випадку є зберегти обладнання.

Проведемо аналогічні обчислення для інших допустимих станів обладнання до початку 4-го року.

$$W_4(t_2^{(4)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} 65 - 30 + 25 \\ 80 - 20 - 40 + 50 \end{array} \right. = 70 \quad U = U^3 ;$$

$$W_4(t_3^{(4)}) = \max \left\{ \begin{array}{l} 65 - 35 + 20 \\ 80 - 20 - 40 + 50 \end{array} \right. = 70 \quad U = U^3.$$

Отримані результати розрахунків занесемо в табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Результати розрахунків

Вік обладнання $t^{(4)}$, рік	Значення функції $W_4(t^{(4)})$, тис. грн.	Умовне оптимальне рішення, U
1	85	U^c
2	70	U^c
3	70	U^3

Визначаємо тепер умовне оптимальне рішення для кожного із допустимих станів обладнання до початку 3-го року. Очевидно, що такими станами є $t_1^{(3)} = 1$, $t_2^{(3)} = 2$. У відповідності з рівнянням (3.9) і табл. 3.12, 3.14 маємо:

$$\begin{aligned} W_3(t_1^{(3)}) &= \max \left\{ \begin{array}{l} f(t^{(3)} = 1) - r(t^{(3)} = 1) + W_4(t^{(4)} = 2), \\ f(t^{(3)} = 0) - r(t^{(4)} = 0) - P + W_4(t^{(4)} = 1). \end{array} \right\} = \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 75 - 25 + 70, \\ 80 - 20 - 40 + 85. \end{array} \right\} = 120, \quad U = U^c; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_3(t_2^{(3)}) &= \max \left\{ \begin{array}{l} f(t^{(3)} = 2) - r(t^{(3)} = 2) + W_4(t^{(4)} = 3), \\ f(t^{(3)} = 0) - r(t^{(4)} = 0) - P + W_4(t^{(4)} = 1). \end{array} \right\} = \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 65 - 30 + 70, \\ 80 - 20 - 40 + 85. \end{array} \right\} = 105, \quad U = U^c (U^3). \end{aligned}$$

З останнього виразу видно, що якщо до початку 3-го року вік обладнання становить 2 роки, то незалежно від того, чи буде прийнято рішення U^c або U^3 ,

величина прибутку виявиться однією і тією ж самою. Це означає, що в якості умовного оптимального рішення можна взяти будь-яке, наприклад U^c . Отримані значення для $W_3(t_1^{(3)})$ і відповідні умовні оптимальні рішення записуємо в табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Отримані значення для $W_3(t_1^{(3)})$ і відповідні рішення

Вік обладнання $t^{(3)}$, рік	Значення функції $W_3(t^{(3)})$, тис. грн.	Умовне оптимальне рішення, U
1	120	U^c
2	105	U^c

Нарешті, розглянемо допустимі стани обладнання до початку 2-го року. Очевидно, що на даний момент часу вік обладнання може становити тільки один рік. У відповідності з рівнянням (3.9) маємо (табл. 3.16):

$$\begin{aligned}
 W_2(t_1^{(2)}) &= \max \left\{ \begin{array}{l} f(t^{(2)}=1) - r(t^{(2)}=1) + W_3(t^{(3)}=2), \\ f(t^{(2)}=0) - r(t^{(2)}=0) - P + W_3(t^{(3)}=1). \end{array} \right\} = \\
 &= \max \left\{ \begin{array}{l} 75 - 25 + 105, \\ 80 - 20 - 40 + 120. \end{array} \right\} = 155, \quad U = U^c.
 \end{aligned}$$

Таблиця 3.16 – Результати розрахунків

Вік обладнання, $t^{(2)}$, рік	Значення функції $W_2(t^{(2)})$, тис. грн.	Умовне оптимальне рішення, U
1	155	U^c

У початковий момент встановлено нове обладнання ($t_1^{(1)} = 0$). Проблеми вибору між збереженням і заміною обладнання не існує, тому

обладнання слід зберегти. Умовним оптимальним рішенням є U^c , і значення функції:

$$W_1(t_1^{(1)}) = f(t_1^{(1)} = 0) - r(t_1^{(1)} = 0) + W_2(r^{(1)} = 1) = 80 - 20 + 155 = 215.$$

В результаті реалізації другого етапу обчислювального процесу, що полягає в проходженні всіх розглянутих кроків з початку першого до початку п'ятого року, максимальний прибуток підприємства може дорівнювати 215 тис. грн., що відповідає оптимальному плану заміни устаткування.

Для 1-го року рішення єдине - треба зберегти устаткування. Значить, вік обладнання до початку 2-го року дорівнює одному року, та обладнання (згідно табл. 3.16) треба зберегти. Реалізація такого рішення призводить до того, що вік обладнання до початку 3-го року стає рівним двом рокам, та обладнання (згідно табл. 3.15) треба зберігати, тобто його вік до початку 4-го року стає рівним трьом рокам, та обладнання (згідно табл. 3.14) треба замінювати. Після заміни обладнання його вік до початку 5-го року складе один рік. Як видно з табл. 3.13, при такому віці устаткування його міняти не слід. Отже, отримали оптимальний план заміни обладнання для підприємства СТОА «ЛІДЛ» (рис. 3.7).

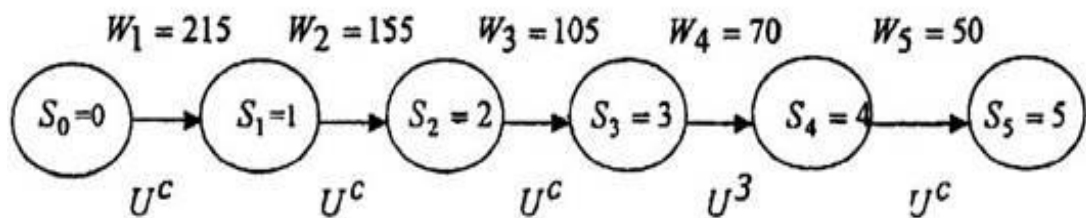


Рисунок 3.7 – Оптимальний план заміни обладнання

ВИСНОВКИ

1) За результатами аналізу сучасного стану тенденцій розвитку підприємств автосервісу встановлено інтенсивний розвиток підприємств, які здійснюють перевірку технічного стану транспортних засобів та їх ремонту, що призводить до необхідності здійснення технологічного розрахунку їх виробничо-технічної бази.

2) Уточнено методику застосування математичного моделювання технологічних процесів для підприємств, які здійснюють перевірку технічного стану транспортних засобів та їх ремонт (СТОА).

Перевагами застосування мережевих моделей є:

- мережеві графіки дають чітке уявлення про загальний обсяг робіт комплексу;
- забезпечують наочність технологічної послідовності робіт;
- мережеві моделі забезпечують розподіл коштів і робочої сили, що створює умови для найкращого використання ресурсів;
- дозволяють здійснювати поточне планування виконання робіт; прогнозувати складні процеси, виявляти «вузькі місця» виробництва;
- скоротити втрати часу при виконанні всього комплексу робіт;
- вибрати оптимальний варіант виконання робіт.

3) Побудовано і проаналізовано математичні моделі обслуговування й ремонту рухомого складу, евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки на пости обслуговування за мережевими графіками, розглянуто мережеву векторну версію задачі про заміну обладнання із застосуванням методів динамічного програмування.

4) На основі розглянутих моделей розроблено практичні рекомендації для оптимальної організації роботи СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького:

- здійснено оптимізацію технологічного процесу перевірки технічного стану транспортних засобів та їх ремонту, в результаті якої затрати часу на перевірку одного автомобіля категорії М1 можливо зменшити на 12...15 %;

- для підприємства СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького на основі мережевого планування розроблено методику оптимізації технологічного процесу евакуації легкового автомобіля з місця ДТП або поломки на власні пости обслуговування автомобільним евакуатором;

- запропоновано план оновлення обладнання для здійснення ремонту та ТО автомобілів.

Отже, можна стверджувати, що методи мережевого планування й керування забезпечують керівників і виконавців на всіх ділянках роботи обґрунтованою інформацією, яка є необхідною їм для прийняття рішень щодо планування, організації й керування. А при використанні обчислювальної техніки СМПУ є вже не просто одним із методів планування, а автоматизованим методом керування виробничим процесом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сетевое планирование при ремонте машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/setevoe-planirovanie-pri-remonte-mashin>
2. Куприяшкин А. Г. Основы моделирования систем : учеб. пособие / А. Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск : НИИ, 2015. – 135 с.
3. Плут М.Н., Чихачев А.В., Губская О.А. Метод сетевого планирования и управления как основа организации технического обслуживания техники связи // Научные итоги 2017 года: достижения, проекты, гипотезы: сб. материалов VII ежегодной международной научно-практической конференции. 2017. : Из-во: ООО «Центр развития научного сотрудничества (Новосибирск).
4. Карасёв А.И., Кремер Н.Ш., Савельева Т.И. Математические методы и модели в планировании. — М.: Экономика, 1987.
5. Кабикенов С.Ж., Интыков Т.С., Аскарров Б.Ш., Жаркенов Н.Б., Балабекова К.Г. Методика оптимизации рабочих постов предприятия сервисного обслуживания автомобилей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8-1. – С. 17-20; URL: <https://www.applied-research.ru/ru/article/view?id=5629>.
6. Постанова КМУ № 137 від 30.01.2012 «Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу» (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 485 від 23.09.2014)
7. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання: ДСТУ 3649:2010. - [Чинний від 2011-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 56 с. – (Національний стандарт України).
8. Наказ Міністерства інфраструктури України № 710 від 26.11.2012 «Про затвердження Вимог до перевірки конструкції та технічного стану колісного транспортного засобу, методів такої перевірки»

9. Лисеенко В.И. Государственный технический осмотр транспортных средств: современные проблемы и пути их решения // Вестник ННГУ. 2018. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennyy-tehnicheskiy-osmotrtransportnyh-sredstv-sovremennye-problemy-i-puti-ih-resheniya>.

10. Діагност – ХНАДУ. Наукова робота Вдосконалення методики технологічного розрахунку підприємств автосервісу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.khadi.kharkov.ua › ЕРТЗ › Diagnost_0_2019.

11. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учебник для студентов специальности «Техническая эксплуатация автомобилей» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / М.М.Болбас [и др.]; под ред. М.М.Болбаса. – Минск: Адукацыя и выхование, 2004. – 528 с.

12. Коновалов С. И. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта: учеб. пособие / С. И. Коновалов, С. А. Максимов, В. В. Савин ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос ун-та, 2006. – 244 с. – ISBN 5-89368-668-3.

13. Біліченко В. В. Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту. Навчальний посібник / Біліченко В. В., Кужель В. П. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 163 с.

14. Соколов А.В., Токарев В.В. Методы оптимальных решений. В 2-х томах. Т.1. Общие положения. Математическое программирование. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2011. – 564 с.

15. Управление проектами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.project.narod.ru.

16. Введение в проектный менеджмент [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hr-portal.ru/article/vvedenie-v-proektnyi-menedzhment>.

17. Марков О.Д. Станции технического обслуживания автомобилей. – К: Кондор, 2008. – 536 с.

18. Види і періодичність технічного обслуговування автомобіля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.stotrans.com.ua › article

19. Ощепков П.П., Храпова М.Ю. Модель расчёта трудоёмкости работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей // Интернет-журнал

«Науковедение» Том 8, №3 (2016) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/60TVN316.pdf>.

20. Лянденбургский В.В., Рыбакова Л.А., Судьев В.В. Анализ снижения трудоемкости динамичной системы технического обслуживания автомобилей // Интернет-журнал «Науковедение» 2014. № 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/25TVN614.pdf>.

21. Сергеева А. Г., Полуэктов М. В. Анализ методов технологического расчета предприятий автосервиса // Молодой ученый. — 2017. — №23. — С. 157-159. — URL <https://moluch.ru/archive/157/44128/>.

22. В. Н. Шиловский Зарубежный опыт технического сервиса машин и оборудования // Resour. Technol. 2001. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnyy-opyt-tehnicheskogo-servisa-mashini-oborudovaniya>.

23. Сетевое моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studopedia.org/10-113692.html>.

24. Кравченя И.Н. Математическое моделирование. Линейное и нелинейное программирование, сетевое планирование и управление / И.Н. Кравченя, Е.Л. Бурдук, Т.В. Алымова / Учебно-методическое пособие / МО Республики Беларусь, БГУТ. Гомель, 2014. 112 с.

25. Бедняк М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / М.Н. Бедняк. – Киев: Вища школа, 1983. – 131 с.

26. Правдина Н.В. Сетевое планирование и оценка проектных затрат: учебное пособие для практических занятий / Н.В. Правдина – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 38 с.

27. Про затвердження "Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту" [Електронний ресурс]. – Режим доступа: zakon.rada.gov.ua > .

28. Техническое обслуживание и ремонт автотранспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294816/4294816535.htm>.

ДОДАТОК А

Драпатий О.В., Драч І.В. Методи мережевого моделювання. Сучасні напрямки // Актуальні проблеми комп'ютерних наук. Збірник наукових праць за матеріалами XII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, 2020, Т.1. – С. 102 – 112.

УДК 004.4

Драпатий О. В., Драч І. В.

Хмельницький національний університет

МЕТОДИ МЕРЕЖЕВОГО МОДЕЛЮВАННЯ. СУЧАСНІ НАПРЯМКИ

Висвітлено основні підходи застосування систем мережевого планування й керування (МПК), які можуть застосовуватися для оперативного керування виконаннями робіт у всіх галузях виробничої діяльності людини. Особливо великого значення рідні системи МПК набувають при виконанні складних завдань, що містять велику кількість виробничих операцій, вимагають взаємного врегулювання діяльності великого колективу людей, а найчастіше й декількох колективів, які на основі кооперації виконують одну загальну роботу.

The article highlights the main approaches to the application of network planning and management systems that can be used for the operational management of the production of work in all branches of human production. Various systems of network planning and management systems acquire especially great importance when performing complex tasks containing a large number of production operations, requiring the mutual coordination of the activities of a large team of people, and often several teams, on the basis of cooperation, perform one common work.

Мережеве планування це метод керування, який ґрунтується на використанні математичного апарату теорії графів і системного підходу для відображення й алгоритмізації комплексів взаємозалежних робіт, дій або заходів для досягнення чітко поставленої мети [1].

Мережеве планування дозволяє визначити, по-перше, які роботи або операції із числа багатьох складових проекту є "критичними" за своїм впливом на загальну календарну тривалість проекту й, по-друге, яким чином побудувати найкращий план проведення всіх робіт з даного проекту для того, щоб витримати задані терміни при мінімальних витратах.

Мережеве планування ґрунтується на методі критичного шляху МКШ (СРМ – Critical Path Method) і методи оцінки й перегляду планів (PERT – Program Evaluation and Review Technique), розроблених практично одночасно й незалежно [2].

Методи мережевого планування застосовуються для оптимізації планування й керування складними розгалуженими комплексами робіт, що вимагають участі великої кількості виконавців і витрат обмежених ресурсів.

Основна мета мережевого планування - скорочення до мінімуму тривалості проекту [3].

102

АПЖН-2020 №

Актуальні проблеми когнітивних наук

Завдання мережевого планування полягає в тому, щоб графічно, наочно й системно відобразити й оптимізувати послідовність і взаємозалежність робіт, дій або заходів, що забезпечують своєчасне й планомірне досягнення кінцевих цілей. Для відображення й алгоритмізації тих або інших дій або ситуацій використовуються економіко-математичні моделі, які прийнято називати мережними моделями, найпростіші з них - мережеві графіки. За допомогою мережної моделі керівник робіт або операції має можливість системно й масштабно уявляти весь хід робіт або оперативних заходів, управляти процесом їх здійснення, а також маневрувати ресурсами [3].

Важлива особливість МПК (мережевого планування й керування) полягає в системному підході до питань організації керування, згідно з яким колективні виконавці, що беруть участь у комплексі робіт і об'єднані спільністю поставлених перед ними завдань, незважаючи на різну відому підпорядкованість, розглядаються як ланки єдиної складної організаційної системи.

Використання методів мережевого планування сприяє скороченню термінів створення нових об'єктів на 15-20%, забезпеченню раціонального використання трудових ресурсів і техніки [4].

В основі мережевого планування лежить побудова мережних діаграм. Мережна діаграма (мережа, граф мережі, Pert-Діаграма) — графічне відображення робіт проекту й залежностей між ними. У МПУ під терміном "мережа" розуміється повний комплекс робіт і віх проекту із установленими між ними залежностями [5].

При створенні мережевого графіка в основі побудови мережі лежать поняття "робота", "подія" і "шлях".

Виділяють два типи мережних діаграм – мережна модель типу "вершина-робота" і "вершина-подія" або "дути-роботи".

Мережні діаграми першого типу відображають мережну модель у графічному вигляді як множину вершин, що відповідають певним роботам, зв'язаних лініями, що є взаємозв'язками між роботами. Цей тип діаграм називають діаграмою передування-слідування. Він є найпоширенішим представленням мережі [6] (рис. 1)

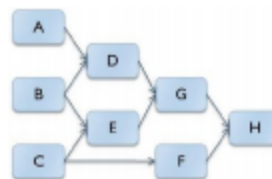


Рисунок 1 – Фрагмент мережі типу "вершина-робота"
(метод «операції у вузлах» (Precedence Diagramming Method))

Інший тип мережної діаграми - мережа типу "вершина-подія", на практиці використовується рідше. При даному підході робота подається у вигляді лінії між двома подіями (вузлами графа), які, у свою чергу, відображають початок і кінець розглядуваної роботи. Pert-Діаграми є прикладами цього типу діаграм [6] (рис. 2).

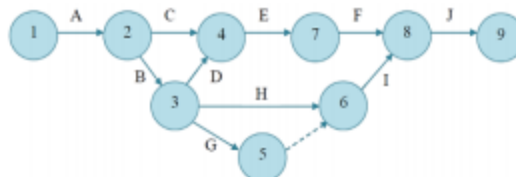


Рисунок 2 – Фрагмент мережі типу "вершина-подія" (метод «операції на дугах» (Arrow Diagramming Method))

Проаналізуємо сучасні методи і моделі мережевого моделювання.

Моделі, у яких взаємна послідовність і тривалості робіт задані однозначно, називаються детермінованими мережними моделями. До найбільш популярних детермінованих моделей належить метод побудови діаграм Ганта й метод критичного шляху (СРМ).

Якщо тривалість деяких робіт заздалегідь не можна задати однозначно або якщо можуть виникнути ситуації, при яких змінюється заздалегідь запланована послідовність виконання завдань проекту, наприклад, існує залежність від погодних умов, ненадійних постачальників або результатів наукових експериментів, детерміновані моделі неадекватні. Найчастіше такі ситуації виникають при плануванні будівельних, сільськогосподарських або науково-дослідних робіт. У цьому випадку використовуються ймовірнісні моделі, які поділяються на два типи:

- неальтернативні – якщо зафіксована послідовність виконання робіт, а тривалість усіх або деяких робіт характеризується функціями розподілу ймовірності;
- альтернативні – тривалості всіх або деяких робіт і зв'язків між роботами носять ймовірнісний характер.

До найпоширеніших методів ймовірнісного мережевого планування належать:

- метод оцінки й перегляду планів (PERT);
- метод імітаційного моделювання або метод Монте-Карло;
- метод графічної оцінки й аналізу програм (GERT).

Одним з найпоширеніших способів наочного подання виробничого процесу або проекту в часі є лінійний або стрічковий календарний графік – діаграма Ганта [6].

Діаграма Ганта – горизонтальна лінійна діаграма, на якій завдання проекту подаються протяжними в часі відрізками, що характеризуються датами початку й закінчення, затримками й, можливо, іншими часовими параметрами.

Діаграма Ганта є графіком, у якому процес представлений у двох видах. У лівій частині проект представлений у вигляді списку завдань (робіт, операцій) проекту в табличному вигляді із вказівкою назви завдання й тривалості її виконання, а часто й робіт, що передують тому або іншому завданню. У правій частині кожне завдання проекту, а точніше тривалість його виконання, відображається графічно, зазначив у вигляді відрізка певної довжини з урахуванням логіки виконання завдань проекту [3] (рис. 3).

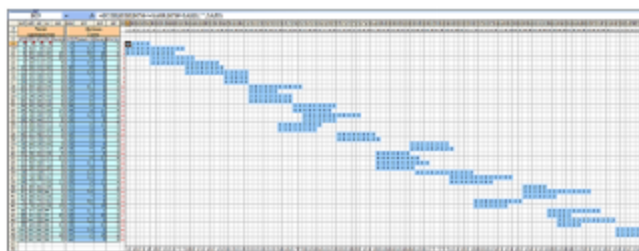


Рисунок 3 – Діаграма Ганта

У верхній, правій частині діаграми Ганта розташовується шкала часу. Довжина відрізка і його розташування на шкалі часу визначають час початку й закінчення кожного завдання. Крім того, взаємне розташування відрізків завдань покаже, чи впливають завдання одне на одне або відбувається їх паралельне виконання.

Найбільше широко діаграма Ганта використовувалась в будівництві. У якості розкладу робіт графік Ганта цілком придатний, але коли виникає необхідність зміни структури робіт, доводиться всі роботи переглядати заново, враховуючи все різноманіття можливих технологічних зв'язків між ними. Чим складніше роботи, тем складніше використовувати графік Ганта. Проте навіть після появи мережних моделей графік Ганта продовжує використовуватися як засіб представлення часових аспектів робіт на кінцевих стадіях календарного планування, коли тривалість проекту оптимізована за допомогою мережних моделей. Графік Ганта може також використовуватися для елементарного контролю робіт. Він використовується для відбиття поточного стану проекту (статусу проекту) з поглядом дотримання термінів.

Циклограма є лінійною діаграмою тривалості робіт, яка відображає роботи у вигляді похилої лінії у двовірній системі координат, одна вісь якої зображує час, а інша - обсяги або структуру виконуваних робіт [7].

Циклограми активно використовувалися до 80-х років XX століття в основному в будівельній галузі, особливо при організації потокового будівництва. Існують циклограми ритмічного й неритмічного потоку. Рівноритмічним потоком називають такий потік, у якому всі складові потоки мають єдиний ритм, тобто однакову тривалість виконання робіт на всіх захватках [7] (рис. 4).

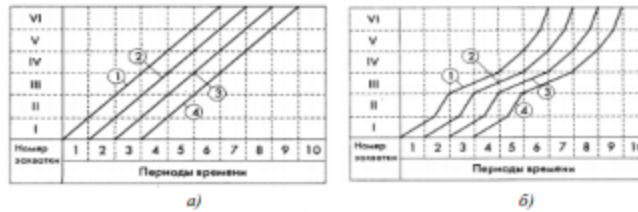


Рисунок 4 – Циклограми:
а) рівноритмічного й б) неритмічного потоку

Ці моделі прості у виконанні й наочно показують хід роботи. Однак вони не можуть відбити складності модельованого процесу - форма моделі вступає в протиріччя з її змістом. Основними недоліками також є:

- відсутність наочно позначених взаємозв'язків між окремими роботами;
- негнучкість, жорсткість структури лінійного графіка, складність його коректування при зміні умов;
- неможливість чіткого розмежування відповідальності керівників різних рівнів;
- складність варіантного пророблення й обмежена можливість прогнозування ходу робіт.

Сьогодні циклограми практично не використовуються в управлінській практиці як через недоліки так і через неактуальність потокового будівництва.

Метод критичного шляху (СРМ) дозволяє розрахувати можливі календарні графіки виконання комплексу робіт на основі описаної логічної структури мережі й оцінок тривалості виконання кожної роботи, визначити критичний шлях для проекту в цілому [5].

В основі методу лежить визначення найбільш тривалої послідовності завдань від початку проекту до його закінчення з обліком їх взаємозв'язку. Завдання, які містяться на критичному шляху (критичні завдання), мають нульові резерви часу виконання й у випадку зміни їх тривалості змінюються терміни всього проекту. У зв'язку із цим при виконанні проекту критичні завдання вимагають

106

ДІТКН-2020

більш ретельного контролю, зокрема, своєчасного виявлення проблем і ризиків, що впливають на терміни їх виконання й, отже, на терміни виконання проекту в цілому. У процесі виконання проекту критичний шлях проекту може змінюватися, оскільки при зміні тривалості завдань деякі з них можуть виявитися на критичному шляху.

Метод критичного шляху виходить із того, що тривалість операцій можна оцінити з досить високим ступенем точності й визначеності.

Основною перевагою методу критичного шляху є можливість маніпулювання термінами виконання завдань, що не лежать на критичному шляху.

Календарне планування за СРМ вимагає певних вхідних даних. Після їх уведення проводиться процедура прямого й зворотного проходу по мережі й обчислюється вихідна інформація.

Для розрахунків календарного графіка за СРМ використовуються такі вхідні дані:

- набір робіт;
- залежності між роботами;
- оцінки тривалості кожної роботи;
- календар робочого часу проекту (у найбільш загальному випадку можливе завдання визначення власного календаря для кожної роботи);
- календарі ресурсів;
- обмеження на терміни початку й закінчення окремих робіт або етапів;
- календарна дата початку проекту.

Прямі розрахунки - визначення мінімально можливого часу реалізації проекту (починається з робіт, які не мають попередніх робіт). У ході прямого проходу по мережі визначається ES (ранній початок), EF (раннє закінчення) кожної роботи [3] (рис.5). Ранні початки й ранні закінчення робіт визначаються послідовно від вихідної події мережі до завершальної.

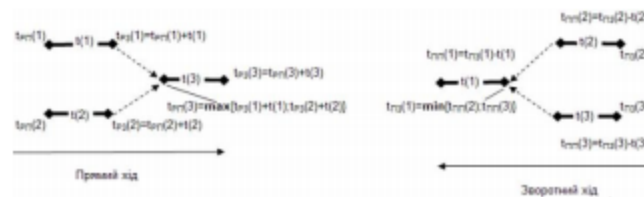


Рисунок 5 – Приклад процедури прямого й зворотного проходу по мережі

Використовуються формули:

$$ES_i = 0; EF = ES + Dur; \text{ (де } Dur \text{ - тривалість);}$$

$$ES_i = EF_{i-1}, \text{ за умови що операція } (i) \text{ не є операцією злиття;}$$

$$\text{при злитті - } ES_i = \max(EF_{i-1}).$$

Зворотні розрахунки – визначаються LS (пізній початок), LF (пізні закінчення) і R (резерв). Пізні початки й пізні закінчення визначаються у зворотному порядку – від завершальної події графіка до початкової. Використовуються формули:

$$EF_i = LF_j; LS_i = LF_j - Dur;$$

$$LF_{i-1} = LS_i, \text{ за умови, що } (i-1) \text{ не є операцією дроблення;}$$

$$\text{при дробленні - } LF_{i-1} = \min(LS_j).$$

При правильних розрахунках повинна виконуватися умова :

$$ES_0 = LS_0; LF - EF = R = LS - ES$$

Таким чином, критичний шлях – це послідовність операцій, що не мають резерву.

Аналіз за методом критичного шляху є ефективним методом оцінки:

- завдань, які необхідно розв'язати;
- можливості паралельного виконання робіт;
- найменшого часу виконання проекту;
- виробничих ресурсів, необхідних для виконання проекту;
- послідовності виконання робіт, включаючи складання графіків і визначення тривалості виконання робіт;
- черговість розв'язку завдань;
- найбільш ефективного способу скорочення тривалості виконання проекту у випадку його терміновості.

Ефективність аналізу за СРМ може вплинути на результат проекту, буде він успішним або невдалим. Також аналіз може бути дуже корисний для оцінки важливості проблем, з якими можна зіштовхнутися в ході впровадження проекту.

Метод Монте-Карло (методи Монте-Карло, ММК) - загальна назва групи чисельних методів, заснованих на одержанні великої кількості реалізацій стохастичного (випадкового) процесу, який формується таким чином, щоб його імовірнісні характеристики збігалися з аналогічними величинами розв'язуваного завдання [8].

Суть даного методу полягає в тому, що результат випробування залежить від значення деякої випадкової величини, розподіленої за заданим законом. Тому результат кожного окремого випробування також носить випадковий характер. Провівши серію випробувань, одержують множини часткових значень спостережуваної характеристики (вибірку). Отримані статистичні дані обробляються й представляються у вигляді чисельних оцінок величини (характеристик системи), які цікавлять дослідника.

Важливою особливістю даного методу є те, що його реалізація практично неможлива без використання комп'ютера.

Метод Монте-Карло має дві особливості [8]:

- 1) проста структура обчислювального алгоритму;
- 2) похибка обчислень, як правило, пропорційна D/N , де D - деяка стала, N - число випробувань. Для того, щоб зменшити похибку в 10 разів (інакше кажучи,

108

ДЛЖН-2020

щоб одержати у відповіді ще один правильний десятковий знак), потрібно збільшити N (тобто обсяг вибірки) в 100 разів.

Добитися високої точності таким шляхом неможливо. Тому зазвичай говорять, що метод Монте-Карло особливо ефективний при розв'язуванні тих завдань, у яких результат потрібний з невеликою точністю (5-10%). Спосіб застосування методу Монте-Карло досить простий: щоб одержати штучну випадкову вибірку із сукупності величин, описувану деякою функцією розподілу ймовірностей:

- 1) задаються межі зміни часу реалізації кожної операції;
- 2) задаються конкретні терміни реалізації для кожної операції за допомогою датчика випадкових чисел;
- 3) розраховуються критичний шлях і час реалізації всього проекту;
- 4) здійснюється перехід на операцію 2).

Результатами застосування методу Монте-Карло є:

- гістограма, яка показує розподіл ймовірності часу реалізації проекту (рис. 6);
- індекс критичності.

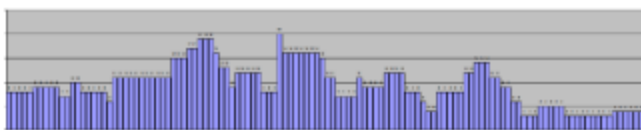


Рисунок 6 – Гістограма методу Монте-Карло

Метод оцінки й перегляду планів (PERT) є різновидом аналізу за методом критичного шляху з більш критичною оцінкою тривалості кожного етапу проекту. При використанні цього методу необхідно оцінити найменшу можливу тривалість виконання кожної роботи, найбільш імовірну тривалість і найбільшу тривалість на той випадок, якщо тривалість виконання цієї роботи буде більше очікуваною. Метод PERT допускає невизначеність тривалості операцій і аналізує вплив цієї невизначеності на тривалість робіт проекту в цілому [3].

Цей метод використовується, коли для операції складно задати й визначити точну тривалість.

Особливість методу PERT полягає в можливості обліку ймовірнісного характеру тривалостей усіх або деяких робіт при розрахунках параметрів часу на мережній моделі. Він дозволяє визначати ймовірності закінчення проекту в задані періоди часу й до заданих термінів.

Замість однієї детермінованої величини тривалості для робіт проекту

задаються (як правило, експертним шляхом) три оцінки тривалості:

- оптимістична (робота не може бути виконана швидше, чим за t_0);
- песимістична (робота не може бути виконана повільніше, чим за t_2);

- найбільш імовірна t_c

Потім імовірнісна мережна модель перетворюється в детерміновану шляхом заміни трьох оцінок тривалостей кожної з робіт однією величиною, яку називають очікуваною тривалістю t_{oc} , яка розраховується як арифметичне (середньозважене) трьох експертних оцінок тривалостей розглядуваної роботи.

Критичний шлях визначається на підставі значень розрахованих t_{oc} для кожної операції, їх середніх квадратичних відхилень та середнього квадратичного відхилення часу реалізації всього проекту.

Метод графічних оцінок і аналізу (GERT) застосовується в тих випадках організації робіт, коли наступні завдання можуть починатися після завершення тільки деякого числа з попередніх завдань, причому не всі завдання, представлені на мережній моделі, повинні бути виконані для завершення проекту [3].

Основою застосувань методу GERT становить використання альтернативних мереж, які називають у термінах цього методу Gert-мережами.

По суті Gert-мережі дозволяють більш адекватно задавати складні процеси виробництва в тих випадках, коли важко або неможливо (за об'єктивних причин) однозначно визначити які саме роботи й у якій послідовності повинні бути виконані для досягнення наміченого результату (тобто існує багатоваріантність реалізації проекту).

Слід зазначити, що "ручні" розрахунки Gert-мереж, які моделюють реальні процеси, надзвичайно складні, однак програмне забезпечення для обчислення мережних моделей такого типу в цей час, на жаль, не поширене.

Існують додаткові методи розрахунків мережевого графіка:

- метод діагональної таблиці (або матричний) ведеться з орієнтацією на події, а не на роботи;
- секторний метод (припускає зображення мережевого графіка зі збільшенням кружками, розділеними на шість (чотири) секторів, які надалі можуть розбиватися на під сектори: у верхньому центральному секторі ставиться номер події, у нижньому - календарна дата початку робіт; у два верхні бічні сектори вносяться ранні початки й закінчення робіт, а у два нижні бічні - відповідно пізні початки й закінчення робіт. Ліворуч прийнято записувати закінчення робіт, що входять у розглядувану подію, праворуч - початок робіт, що виходять із цієї події).

В умовах сучасності відбувається розширення методів і прийомів використання мережних моделей.

Висновок

У сучасному математичному моделюванні мережеве планування розширює межі застосувань. Методи мережевого планування можуть широко й успішно застосовуватися для оптимізації планування й керування складними розгалуженими комплексами робіт, які вимагають участі великої кількості виконавців і витрат обмежених ресурсів.

Методики мережевого планування були розроблені наприкінці 50-х років у США. У СРСР початок досліджень із мережевого планування належать до 1961 року. Тоді методи мережевого планування знайшли застосування в будівництві й наукових розробках.

Слід зазначити, що мережеве планування є методом керування, який ґрунтується на використанні математичного апарату теорії графів і системного підходу для відображення й алгоритмізації комплексів взаємозалежних робіт, дій або заходів для досягнення чітко поставленої мети; головною метою мережевого планування є скорочення до мінімуму тривалості проекту.

Сучасне моделювання виділяє такі методи мережевого планування:

- діаграма Ганта є горизонтальною лінійною діаграмою, на якій завдання проекту представляються протяжними в часі відрізками, що характеризуються датами початку й закінчення, затримками й, можливо, іншими часовими параметрами;
- метод критичного шляху дозволяє розрахувати можливі календарні графіки виконання комплексу робіт на основі описаної логічної структури мережі й оцінок тривалості виконання кожної роботи, визначити критичний шлях для проекту в цілому;
- метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) полягає в розгляді мережі як імовірнісної моделі, на якій оцінки тривалостей окремих робіт можуть набувати будь-яких значень, що лежать у крайніх (мінімум і максимум) зазначених експертами межах, і навіть виходити за ці межі в тому ступені, у якому це допускають закони теорії ймовірностей;
- метод PERT - метод мережевого аналізу, використовуваний для визначення тривалості програми при наявності невизначеності в оцінці тривалостей індивідуальних операцій. PERT заснований на методі критичного шляху, тривалість операцій у якому розраховується як зважена середня оптимістичного, песимістичного й очікуваного прогнозів. PERT розраховує стандартне відхилення дати завершення від тривалості критичного шляху;
- метод графічної оцінки й аналізу (GERT) застосовується в тих випадках організації робіт, коли наступні завдання можуть починатися після завершення тільки деякої кількості з попередніх завдань, причому не всі завдання, представлені на мережній моделі, повинні бути виконані для завершення проекту.

У цей час відбувається розширення методів і прийомів використання мережних методів.

Мережні моделі дозволяють:

- чітко представити структуру комплексу робіт, виявити з будь-яким ступенем деталізації їх етапи й взаємозв'язок;
- скласти обґрунтований план виконання комплексу робіт, більш ефективно за заданим критерієм використовувати ресурси;
- проводити різноманітний аналіз різних розв'язків з метою поліпшення плану;

- використовувати для обробки великих масивів інформації комп'ютерні й комп'ютерні системи.

Перелік посилань

1. Куприяшкин А. Г. Основы моделирования систем : учеб. пособие / А. Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск : НИИ, 2015. – 135 с.
2. Заболотский В.П. Математические модели в управлении / В.П. Заболотский, А.А. Оводенко, А.Г. Степанов: Учеб. пособие/ СПбГУАП. СПб., 2011, 196с.
3. Кудряцев Е.М. Microsoft Project. Методы сетевого планирования и управления проектом. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 240 с.
4. Плут М.Н., Чихачев А.В., Губская О.А. Метод сетевого планирования и управления как основа организации технического обслуживания техники связи // Научные итоги 2017 года: достижения, проекты, гипотезы: сб. материалов VII ежегодной международной научно-практической конференции. 2017. : Из-во: ООО «Центр развития научного сотрудничества (Новосибирск).
5. Сетевое планирование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inventech.ru/lib/glossary/netplan/>
6. Кравченко И.Н. Математическое моделирование. Линейное и нелинейное программирование, сетевое планирование и управление / И.Н. Кравченко, Е.Л. Бурдук, Т.В. Альмова / Учебно-методическое пособие / МО Республики Беларусь, БГУТ. Гомель, 2014. 112 с
7. Карасёв А.И., Кремер Н.Ш., Савельева Т.И. Математические методы и модели в планировании. — М.: Экономика, 1987.
8. Вероятностное планирование строительства объектов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://prosvet.su/ar>

Завідувачу кафедри ТМІТ
д-р.техн.наук Підченку С.К.

Драпатого Олександр Васильович
ПІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 2 курсу, групи ПМм-19-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів(Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2020

дата

Драпатого Олександр
підпис

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 25%

ID: 80967 Название: Мережева модель організації ремонту автомобілів Добавлено в БД: 2020-11-23 Авторы: Драпатий Олександр Васильович Руководители: Драч Ілона Володимирівна Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	130155	880	5797 (4%)	55 (6%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы



Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:
1005412753

Дата проверки:
09.12.2020 14:46:30 EET

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
09.12.2020 15:18:08 EET

ID пользователя:
100005657

Название файла: Драпатий_ПМм-19-1

Количество страниц: 81 Количество слов: 14110 Количество символов: 101694 Размер файла: 1.27 MB ID файла: 1005704568

730 слов помечены как "исключенные" и не учитываются в подсчете слов

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

12.6%

Совпадения

Наибольшее совпадение: 6.57% с Интернет-источником (https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/avto6_bilichenko_mo..)

12.1% Источники из Интернета 388

Страница 83

0.95% Источники из Библиотеки 39

Страница 84

0.2% Цитат

Цитаты 1

Страница 85

Не найдено ни одной ссылки

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 78

Подозрительное форматирование 14 страниц

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Мережева модель організації ремонту автомобілів

Автор: Драпатий Олександр Васильович

Спеціальність: 113 – прикладна математика

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Драч Ілона Володимирівна, к.т.н доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	+
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) співпадіння з джерелом:


https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/avto6_bilichenko_modelyuvtehproces_avtotransportu/p7.html
розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;


2) усі ці запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;

3) усі інші джерела запозичення мають відсоток співпадіння менший 1%.

10.12.2020

Дата


Підпис Підченко С.К.


Підпис Драч І. В.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Дипломник _____ студент групи ПМм-19-1 Драпатий О. В. _____

Тема Мережева модель організації ремонту автомобілів _____Спеціальність 113 – Прикладна математика

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень 0 ; кількість сторінок записки 86

1. Короткий зміст ДР та прийнятих рішень Представлена робота присвячена актуальній темі аналізу мережних моделей технологічних процесів підприємства автосервісу і визначення оптимальної організації процесів технічного обслуговування, ремонту автомобілів, їх евакуації з місця ДТП або поломки на пости обслуговування. Складається з наступних розділів: вступ, сучасний стан питання технологічного розрахунку підприємств автомобільного сервісу, теоретичні основи математичного мережевого моделювання організації ремонту автомобілів, оптимізація процесів технічного обслуговування й ремонту рухомого складу за мережевими моделями, висновки, додатки.

2. Висновок про відповідність ДР поставленому завданню Магістерська кваліфікаційна робота виконана у відповідності з завданням

3. Характеристика виконання кожного розділу роботи, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовані основні підходи при дослідженні задач технологічного розрахунку підприємств автомобільного сервісу, які показали, що на сучасному етапі суттєво зростає значення математичного моделювання в організації технологічних процесів автотранспорту. Другий розділ присвячений теоретичним основам математичного мережевого моделювання організації ремонту автомобілів. У третьому розділі побудовано і проаналізовано мережевий графік основних робіт ремонту автомобіля категорії М1, мережеву модель виконання робіт ТО-1 для автомобіля категорії М1, мережеву модель евакуації автомобіля з місця ДТП або поломки на пости обслуговування. Розроблено практичні рекомендації для оптимальної організації технологічних процесів ремонту і технічного огляду для підприємства СТОА «ЛІДЛ».

4. Позитивні сторони роботи До позитивних сторін роботи слід віднести актуальність даного напрямлення дослідження, деталізацію аналізу усіх розглянутих стратегій вирішення проблеми та поглиблене опрацювання всіх аспектів реалізації з практичним використанням запропонованого рішення. Розроблено практичні рекомендації для оптимальної організації технологічних процесів ремонту і технічного огляду для реального підприємства міста Хмельницького.

5. Негативні сторони роботи До негативних сторін роботи слід віднести недоліки по оформленню представленою матеріалу, що були виправлені.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи Дані матеріали роботи є структурованими у чіткій та логічній формі та відображають послідовність виконання поставлених завдань. І хоча й в них було знайдено декілька стилістичних та орфографічних помилок, вони були пізніше усунені. Пояснювальна записка оформлена у відповідності із чинними нормами.

7. Відгук про роботу в цілому Загалом, зміст представленої роботи в повній мірі розкриває обрану тему. Дослідження, проведені в матеріалах є достатньо аргументованими. Прослідковуються високі теоретичні та практичні рівні у даному виконанні. Результати роботи можуть бути використані конкретним підприємством для оптимальної організації технологічних процесів ремонту і технічного огляду

8. Інші зауваження


9. Оцінка дипломної роботи Робота заслуговує оцінки «добре», а її автор – присвоєння кваліфікації «магістра» з прикладної математики.

РЕЦЕНЗЕНТ (прізвище, ім'я, по-батькові, посада, місце роботи) Кисіль Тетяна Миколаївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування ХНУ

“ 9 ”

12

2020 р.


(підпис)