

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра „Будівельні, колійні та
вантажно-розвантажувальні машини”**

А.В. Погребняк, А.В. Євтушенко, З.І. Кудіна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(у прикладах)

з дисципліни

***"ОСНОВИ ДІАГНОСТУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ТА
КОЛІЙНИХ МАШИН"***

Розділ 2

**Аналіз, планування та управління процесом ремонту
технічних систем**

Харків – 2011

**Погребняк А.В., Євтушенко А.В., Кудіна З.І. Конспект лекцій
з дисципліни «Основи діагностування будівельних та колійних**

машин. Розд. 2 Аналіз, планування та управління процесом ремонту технічних систем. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 27 с.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри БКВРМ 7 грудня 2009 р., протокол № 4.

Даний конспект лекцій продовжує цикл лекцій, присвячених питанням контролю та діагностики складних систем. Розглядаються моменти, пов'язані з побудовою мережних графіків технологічного процесу, досліджуються моделі технологічного процесу та розраховуються його параметри.

Рекомендується для студентів спеціальності 7.090214 "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і устаткування" усіх форм навчання, слухачам ІППК та ІТР, які зайняті проектуванням, виготовленням, випробуванням та експлуатацією техніки.

Іл. 5, табл. 6, бібліогр.: 7 назв.

Рецензент

проф. Е.В. Коновалов

А.В. Погребняк, А.В. Євтушенко, З.І. Кудіна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(у прикладах)

з дисципліни "Основи діагностування будівельних та колійних машин"

Розділ 2 "Аналіз, планування та управління процесом ремонту технічних систем"

Відповідальний за випуск Кудіна З.І.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 23.12.09 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,0. Тираж 150. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра «Будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні
машини»**

А.В. Погребняк., А.В. Євтушенко., З.І Кудіна

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
(у прикладах)**

**з дисципліни "Основи діагностування будівельних та колійних
машин"**

**Розділ 2 "Аналіз, планування та управління процесом ремонту
технічних систем"**

Харків 2011

Погребняк А.В., Євтушенко А.В., Кудіна З.І. Конспект лекцій з дисципліни «Основи діагностування будівельних та колійних машин. Розд. 2 Аналіз, планування та управління процесом ремонту технічних систем. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. –29 с.

Конспект лекцій розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри БКВРМ 7 грудня 2009 р., протокол № 4.

Даний конспект лекцій продовжує цикл лекцій, присвячених питанням контролю та діагностики складних систем. Розглядаються моменти, пов'язані з побудовою мережних графіків технологічного процесу, досліджуються моделі технологічного процесу та розраховуються його параметри.

Рекомендується для студентів спеціальності 7.090214 "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і устаткування" усіх форм навчання, слухачам ІППК та ІТР, які зайняті проектуванням, виготовленням, випробуванням та експлуатацією техніки.

Іл. 5, табл. 6, бібліогр.: 7 назв.

Рецензент

проф. Е.В. Коновалов

ЗМІСТ

	ВСТУП	4
1	ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕМОНТУ	5
2	ТИПОВІ СТРУКТУРНІ СХЕМИ РЕМОНТУ ВИРОБІВ ТЕХНІКИ	6
3	ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЄЛЕМЕНТИ МЕРЕЖНОГО ГРАФІКА	11
4	АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО МЕРЕЖНОГО ГРАФІКА (приклад 1)	13
5	МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РЕМОНТУ	14
5.1	Обґрунтовування структури системи ремонту (приклад 2)	14
5.2	Розподіл сил і засобів при ремонті (приклад 3)	16
5.3	Модель проведення ремонтних робіт	18
6	ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ	20
6.1	Приклад 1 (до розділу 4). Побудова мережного графіка і визначення довжини критичного шляху	20
6.2	Приклад 2 (до розділу 5.1). Оцінка ефективності систем ремонту	22
6.3	Приклад 3 (до розділу 5.2). Розподіл бригад	23
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	27

ВСТУП

Даний конспект лекцій продовжує цикл лекцій, присвячених питанням контролю та діагностики складних систем, і призначений для студентів спеціальності 7.090214 усіх форм навчання.

У 2 частині, яка присвячена питанням управління процесом ремонту технічних систем, розглядаються моменти, що пов'язані з побудовою мережних графіків технологічного процесу ремонту, досліджуються моделі технологічного процесу та розраховуються його параметри.

В основних підрозділах наводяться типові розв'язання задач:

- з обґрунтуванням структури системи ремонту;
- побудова мережного графіка;
- розподіл сил та засобів під час ремонту.

Ці приклади можна використати при розв'язанні задач з визначення процесу ремонту систем в процесі експлуатації на практичних заняттях з даної дисципліни.

Цей конспект лекцій може бути корисним інженерно-технічним робітникам, які зайняті проектуванням, виготовленням, випробуванням та експлуатацією техніки, викладачам та ІТР, які підвищують кваліфікацію.

В конспекті лекцій використовується ряд математичних символів.

Таблиця математичних символів

Символ (TeX)	Символ (Unicode)	Назва	Значення
		Вимова	
		Розділ математики	
\rightarrow	\rightarrow	Функція	$f: X \rightarrow Y$ означає функцію f з областю визначення X та областю прибуття Y
		"Ізв"	
		Скрізь	
\vee	\vee	Диз'юнкція	$A \vee B$ істинно, коли хоча б одна із умов A і B істинна
		"або"	
		Математична логіка	
$\{, \}$	$\{, \}$	Множина елементів	$\{a, b, c\}$ означає множину, елементами якої є a , b та c
		"Множина..."	
		Теорія множин	
\in \notin	\in \notin	Приналежність/неприналежність до множин	$a \in S$ означає " a є елементом множини S " $a \notin S$ означає " a не є елементом множини S »
		"належить", "із", "не належить»	
		Теорія множин	

1 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТОВУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕМОНТУ

Доцільність ремонту технічних систем витікає, як правило, з того, що для відновлення їх якостей через нерівномірний знос, а також випадковий характер відмов і пошкоджень елементів потрібне відновлення або заміна лише частини вузлів і елементів. Внаслідок цього матеріальні витрати на виконання ремонту, як правило, менше, ніж при виготовленні нових систем.

Вартість ремонту технічної системи визначається вартістю постійних робіт, яка не залежить від фактичного технічного стану системи (розбирання, складання, випробування після ремонту та ін.), і вартістю змінних робіт, обсяг яких залежить від стану складових частин системи. В процесі експлуатації системи число її складових частин, ресурс яких вже вичерпаний, зростає. Тому число таких складових частин, що підлягають ремонту або заміні при ремонті, менше, ніж їх число при наступних ремонтах. Тому вартість змінних робіт зростає з кожним ремонтом. Вартість же нових систем з часом знижується у зв'язку з вдосконаленням технології виробництва, підвищенням продуктивності праці і іншими факторами. На рисунку 1 наведені типові криві, які характеризують залежність вартості ремонту системи і вартості їх виготовлення від часу.

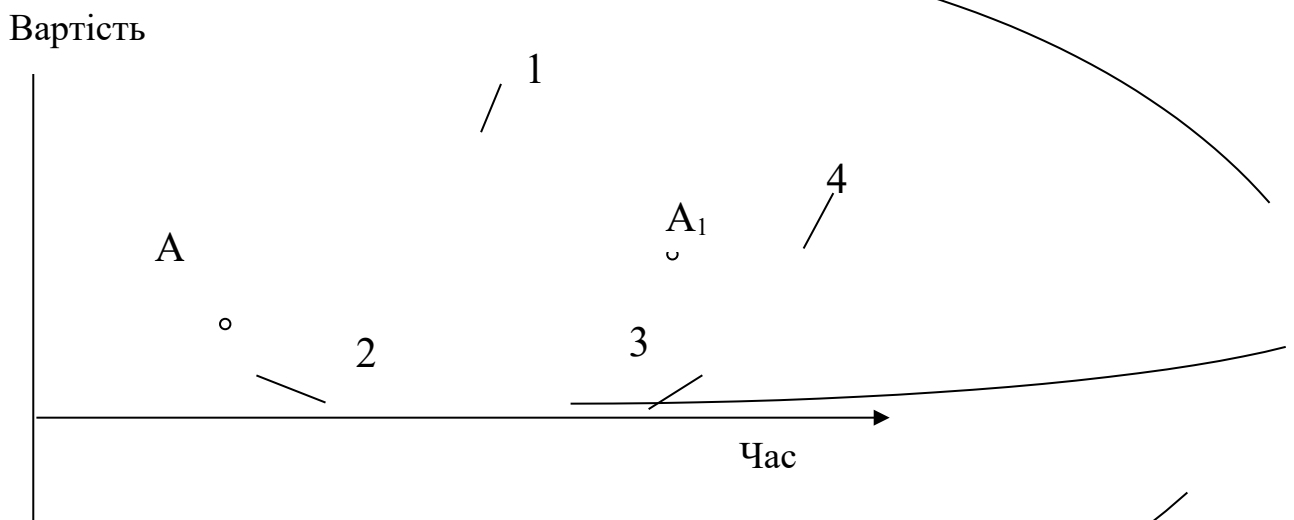


Рисунок 1 – Залежність вартості виготовлення і ремонту від часу експлуатації

На рисунку 1 видно, що криві 1 (вартості ремонту) і 2 (вартості виготовлення нової системи) перетнуться в точці А, в якій вартість ремонту і вартість нового виробу рівні між собою. Отже, економічно доцільно проводити ремонт системи тільки до цього моменту.

Вдосконаленням технологічного процесу ремонту, підвищенням продуктивності праці, упровадженням досягнень науково-технічного прогресу в практику ремонту можна істотно знизити вартість ремонту системи (крива 4). Крім того, можна уповільнити інтенсивність зниження вартості нової системи шляхом інтенсивної експлуатації, зменшуючи таким чином моральний знос (крива 3). При цьому крива 4 перетнеться в кривій 3 в точці А1. Тому число економічно вигідних ремонтів збільшується, а оскільки воно визначає термін служби системи, то це приведе до зменшення витрат на експлуатацію і ремонт системи в цілому.

Таким чином, для економічного обґрунтування доцільності ремонту необхідно мати залежність вартості ремонту і вартості виготовлення нової техніки у функції від тривалості експлуатації [1, 2].

2 ТИПОВІ СТРУКТУРНІ СХЕМИ РЕМОНТУ ВИРОБІВ ТЕХНІКИ

Ремонт виробів проводиться як на місцях їх експлуатації (поточний ремонт, який, як правило, є неплановим), так і в умовах спеціальних організацій – на ремонтних підприємствах (РП).

Ремонт виробів на ремонтних підприємствах має стабільну організацію, він в основному плановий і грає істотну роль в забезпеченні показників надійності виробів.

Технологічний процес ремонту виробів у РП визначається перш за все стратегією ремонту, тобто сукупністю правил управління технічним станом виробу в процесі ремонту. В РП застосовуються дві основні стратегії ремонту: **за напрацюванням і за технічним станом**, причому більш поширена стратегія ремонту за напрацюванням.

Під стратегією ремонту за напрацюванням розуміється стратегія, згідно з якою обсяг розбирання виробу і дефектація його

складових частин призначаються єдиними для парку однотипних виробів залежно від напрацювання з початку експлуатації і після капітального або середнього ремонту, а перелік операцій відновлення визначається з урахуванням результатів дефектації складових частин виробу.

Фізичним обґрунтуванням доцільності проведення такого періодичного за часом ремонту є погіршення з часом основних параметрів, що визначають працездатність технічної системи (старіння, зношування і т.п.).

Застосування **стратегії ремонту за напрацюванням** означає, що виріб, який надходить у ремонт, незалежно від його фактичного технічного стану, піддається розбиранню в обсязі, передбаченому наперед заданим переліком обов'язкових робіт. Аналогічно (незалежно від технічного стану) проводиться і дефектація (діагностика). Залежно від обсягу ремонту, глибини розбирання і ступеня відновлення ресурсу за напрацюванням розрізняють два *основні види ремонту* – капітальний і середній, хоча чіткої межі між обсягами середнього і капітального ремонту не існує.

Технологічні процеси середнього і капітального ремонтів у зв'язку з різноманіттям конструктивного виконання виробів техніки відрізняються специфічними особливостями, але у них є і загальна типова послідовність основних операцій (рисунок 2).

Ремонт, який проводиться за вищенаведеною технологією, застосовують не тільки через зношування виробів, але і через відсутність надійних методів контролю їх технічного стану без повного розбирання. У міру підвищення надійності виробів, вдосконалення методів контролю і аналізу діагностичної інформації необхідність в розбиранні виробів для перевірки їх технічного стану поступово зменшиться.

Підвищення загального технічного рівня конструювання виробів, вдосконалення технології їх виготовлення, застосування нової, більш надійної елементної бази і матеріалів, засобів діагностування, що забезпечують виявлення відмов і несправностей без розбирання виробу, значне розширення можливостей вбудованих систем контролю, великий запас різного виду ресурсів – це основа для переходу на систему ремонту за **технічним станом**, що приводить до скорочення обсягу ремонту і збільшення продуктивності РП [3].



Рисунок 2 – Схема технологічного процесу, відповідного стратегії ремонту по напрацюванням (середній і капітальний ремонт)

При стратегії **ремонт за технічним станом (РТС)** перелік операцій з розбирання і відновлення працездатності визначається за наслідками *діагностики виробу у момент початку ремонту*.

На відміну від стратегії ремонту за напрацюванням (середнього і капітального ремонтів) перелік обов'язкових робіт при РТС містить тільки вказівки за обсягом діагностики і деякими допоміжними роботами, що забезпечують його проведення.

Обсяг, власне ремонту (розбирання, відновлення, контролю і регулювання, випробування) **повністю** залежить від результатів отриманої при діагностиці оцінки технічного стану виробу, що надійшов у ремонт.

Ремонт за технічним станом заснований на тому, що в даному конкретному пристрої проводяться тільки ті роботи, які необхідні для підтримки його післяремонтної надійності на заданому рівні, і не робиться нічого зайвого. Ремонтні роботи, не обумовлені фактичним станом системи, особливо розбирально-складальні і регулювальні, можуть погіршити технічний стан виробів (за рахунок зношування і старіння, що природно відбувається, за рахунок дефектів, які вносяться виконавцями при ремонті, і т.п.).

Схема побудови типового технологічного процесу, відповідного стратегії РТС, наведена на рисунку 3.

Перевірка по блоках при РТС не передбачена, проте при необхідності вона може застосовуватися для пошуку місця відмови і регулювань блоків, для яких проведення цих операцій у складі виробу затруднено.

Проведення післяремонтних технологічних випробувань при РТС, як правило, не передбачається. Єдиним видом випробувань, що рекомендується, є *припрацювання, яке проводиться у випадку, якщо у виробі довелося виконувати ремонтні роботи, що охоплюють практично весь об'єкт*.

Аналіз проведення ремонту з технічного стану будівельних, підйомно-транспортних і колійних машин показав, що його впровадження дозволяє зменшити приблизно на 30–40 % працевтрати на ремонт деяких пристроїв без зниження рівня післяремонтної надійності. Це досягається за рахунок того, що стратегія РТС дозволяє відмовитися від ремонту частини пристроїв (які надійшли в ремонт у хорошому стані), які при середньому і капітальному ремонті вимагали обов'язкового розбирання,

регулювання, складання, а отже, і подальшого настроювання і випробувань, тобто виконання зайвих робіт. Крім того, виключається ряд перевірок і інших робіт, які необґрунтовано закладалися в первинну технологію ремонту. Такі операції в подальшому не впливали на показники безвідмовності, але вимагали додаткових працевтрат, що приводило до зниження економічності ремонту, а іноді і до зниження експлуатаційних властивостей об'єктів внаслідок помилок персоналу.

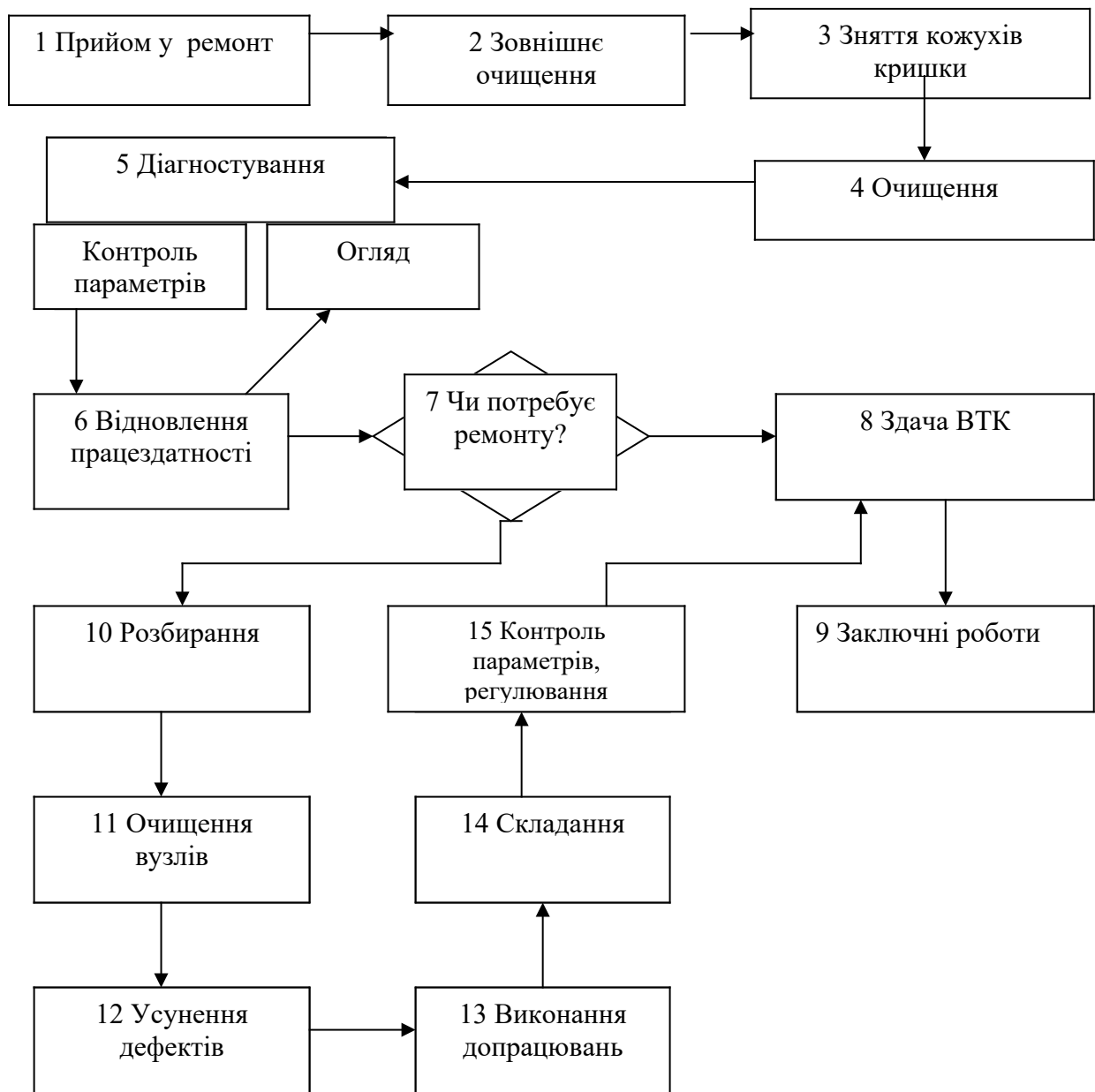


Рисунок 3 – Схема технологічного процесу, відповідного стратегії ремонту з технічного стану

3 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ЕЛЕМЕНТИ МЕРЕЖНОГО ГРАФІКА

Основу системи мережного планування і управління складає мережна модель (мережний графік) – графічне зображення технологічного процесу ремонту як сукупності певних подій і робіт, що знаходяться в логічному і часовому зв'язках. На мережному графіку події прийнято позначати кружками, а роботи – стрілками. Стосовно технологічного процесу ремонту технічних систем на основі початкових даних і ретельного вивчення технології ремонту доцільно скласти перелік основних подій.

Перелік основних подій включає всі значні події *технологічного процесу ремонту (ТПР)*, які розташовані в суворій послідовності. Під подією розуміється підсумок якоїсь діяльності, результат виконання попередньої роботи (операції). Подія не є процесом, не має тривалості і не супроводиться витратами часу і засобів. Подія означає підсумок виконання одних робіт і в той же час початок яких-небудь інших. Подія повинна бути сформульована точно, конкретно і ясно. Розрізняють *початкову і кінцеву події, вихідні і завершальні*.

Розглянемо випадок, коли вихідною подією може бути "виріб надійшов у цех № 1" або "монтаж виробу в цеху № 3 закінчений".

Завершальна подія, яка є кінцевою метою комплексу робіт, може бути сформульована так: "виріб представниками експлуатуючих організацій прийнятий". Початкова і завершальна події визначають межі аналізованого ТПР. Між ними розташовуються проміжні події, число яких залежить від ступеня деталізації планованої мережі.

Повний перелік подій, які розташовані в суворій послідовності, звичайно подають у вигляді таблиці 1, яка наведена нижче.

Таблиця 1 - Повний перелік подій

Номер події		Найменування події
порядковий	попередній	

Для переходу від однієї події до іншої необхідно виконати певну дію або роботу. Робота (операція ремонту) – це трудовий процес, дія, для виконання якої потрібні витрати часу і ресурсів. Кожна робота починається і закінчується подією. Одна і та сама подія може бути початком або результатом декількох робіт. Отже, для складання мережного графіка необхідно з'ясувати і точно сформулювати, які роботи передують кожній події і слідує за ним. Для цього використовується опис технологічного процесу ремонту об'єкта. Крім того, кожна робота оцінюється у часі.

Розрізняють *детерміновані і стохастичні мережні графіки (СГ)*.

Детерміновані СГ характеризуються тим, що тривалість кожної роботи точно відома. Для **стохастичних СГ** тривалість робіт описується за допомогою функцій розподілу часу виконання роботи.

При кресленні мережі події у вигляді кружків її розташовують на аркуші паперу з дотриманням технологічної послідовності. Потім сполучають події стрілками, одержуючи таким чином мережний графік. Довжина стрілок не має значення, але послідовність з'єднання кружків стрілками, їх взаємне розташування повинні давати повне уявлення про виконувани роботи.

При викреслюванні мережі необхідно дотримуватися загальних правил побудови мережних графіків: на графіку не повинне бути «тупикових подій» і робіт, замкнених контурів (петель), всі стрілки повинні бути по можливості направлені зліва направо, між двома подіями може бути проведена тільки одна стрілка. Кожна подія в мережі повинна мати свій номер. При нумерації мережі дуже важливо дотримуватися правила: дана подія не може наставати до тих пір, поки не настали події з меншими номерами, а стрілки, які позначають роботи в мережному графіку, повинні йти від подій з меншими номерами до подій з великими номерами.

Побудовою логічної мережної моделі закінчується початковий етап аналізу мережного графіка.

4 АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО МЕРЕЖНОГО ГРАФІКА (приклад 1)

Мережний графік дозволяє встановити, від яких операцій і в якому ступені залежить досягнення кінцевої мети.

Дослідження моделі технологічного процесу ремонту у вигляді СГ і розрахунок його параметрів дозволяють визначити роботи на критичному напрямку і провести коректування технологічного процесу з метою скорочення витрат часу на ремонтний цикл.

Для опису математичної моделі ТПР введемо позначення: T_{pi} – ранній термін настання події, i ; T_{ni} – пізній термін настання події, i ; t_{ij} – час операції (ij); i – номер попередньої події; j – номер наступної події; $R_n(i, j)$ – повний резерв часу операції (ij); $R_c(i, j)$ – вільний резерв часу операції (ij); R_i – резерв часу події i ; $t_p(ij)$ – ранній термін закінчення операції (i, j); $t_n(ij)$ – пізній термін початку операції (ij).

Алгоритм розрахунку мережного графіка з детермінованим часом виконання операцій включає такі основні етапи:

- розрахунок ранніх термінів закінчення операцій $t_p(ij) = T_{pi} + t_{ij}$;
- розрахунок ранніх термінів настання подій $T_{pj} = \max_{\{i\}} \{t_p(ij)\}$;
- розрахунок пізніх термінів початку операцій $t_n(ij) = T_{nj} - t_{ij}$;
- розрахунок пізніх термінів настання подій $T_{ni} = \min \{t_n(ij)\}$;
- розрахунок резервного часу події $R_i = T_{ni} - T_{pi}$;
- розрахунок повного резерву операції $R_n(ij)$, тобто максимального часу, на який можна збільшити тривалість роботи (ij), не змінюючи раннього терміну настання завершальної події;
- розрахунок вільного резерву $R_c(ij)$, тобто максимального часу, на який можна відкласти початок або збільшити тривалість роботи (ij) за умови, що всі події мережі настають у свої ранні терміни;
- визначення критичного шляху, тобто закінченої послідовності робіт, тривалість якої має максимальне значення.

Критичний шлях на мережному графіку – це шлях з нульовим повним резервом. Будь-яка операція, що має нульовий резерв часу, є критичною по відношенню до терміну завершення процесу в цілому.

Відсутність резервів на операціях критичного шляху означає те, що невиконання терміну закінчення для будь-якої з цих операцій приведе до невиконання в строк ремонту в цілому. Тому саме операції (етапи) ремонту на критичному шляху вимагають їх безумовного виконання, негайного втручання при загрозі їх зриву.

Приклад розрахунку і побудови мережного графіка поданий у розділі 6 даного конспекту лекцій.

5 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РЕМОНТУ

Система ремонту відноситься до класу великих систем, і внаслідок цього її аналіз пов'язаний з побудовою моделей, що відображають різні аспекти її функціонування (організаційні, структурні, технологічні та ін.). Це різноманіття викликає необхідність використання різних математичних моделей. До найпоширеніших відносяться моделі *теорії масового обслуговування (ТМО)*, математичного програмування, статистичного моделювання та ін.

Моделі ТМО використовують для визначення ефективності структури ремонтної мережі. Вони дозволяють вирішувати задачі розподілу сил і засобів при ремонті і обґрунтування необхідності проведення ремонтних робіт заданого обсягу.

Найбільший облік різноманіття сторін системи ремонту забезпечує **метод статистичного моделювання**. Він дозволяє порівнювати різні структури ремонтної мережі, виявляти і оцінювати вплив різних чинників на показники ефективності системи ремонту, але вимагає необхідних початкових даних і побудови неформальних моделей.

5.1 Обґрунтування структури системи ремонту (приклад 2)

При ремонті технічних систем типовою є наступна ситуація. Є декілька робочих місць (ремонтних бригад, ремонтних груп), на які у випадкові моменти часу надходять для ремонту системи, які створюють вхідний потік вимог, що відмовили. Якщо робоче місце вільне, то ремонт починається негайно. Якщо всі робочі місця

зайняті, то об'єкт, що відмовив, чекає необмежено довго звільнення місця для ремонту. Після ремонту технічний стан об'єкта вважається новим.

Якщо відомі характеристики вхідного потоку вимог, продуктивність кожного робочого місця і їх число, то необхідно визначити вихідні показники такої системи ремонту (відсоток справних об'єктів, середнє число систем, які чекають на ремонт, вірогідність того, що не ремонтуватиметься жодна система, тобто що система ремонту простоє і т.п.) залежно від можливої її структури. Загальна методика розв'язання таких задач полягає в наступному. Задається простір станів системи, оцінюються інтенсивність вхідного потоку і інтенсивність обслуговування. Для вибраних станів складається система диференціальних рівнянь, яка розв'язується. Її розв'язання визначає характеристики системи ремонту як в перехідному режимі, так і в стаціонарному режимі. Найбільш часто розв'язання знаходиться для стаціонарного режиму.

Нехай в ремонтній системі є n незалежних робочих місць, призначених для ремонту m технічних систем. Вхідний потік є пуасонівським з інтенсивністю λ , інтенсивність обслуговування на одному робочому місці μ . Позначимо через k поточне значення числа систем, які відмовили.

Для даної системи ремонту справедлива така система диференціальних рівнянь щодо вірогідності стану $p_k(t)$ [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_0'(t) = - m \lambda p_0(t) + \mu p_1(t); \\ p_k'(t) = - [(m - k)\lambda + k\mu] p_k(t) + (m - k + 1)\lambda p_{k-1}(t) + (k + 1)\mu p_{k+1}(t), 0 < k < n; \\ p_k'(t) = - [(m - k)\lambda + n\mu] p_k(t) + (m - k + 1)\lambda p_{k-1}(t) + n\mu p_{k+1}(t), n \leq k \leq m; \\ p_m'(t) = - \lambda p_{m-1}(t) + n\mu p_m(t). \end{array} \right. \quad (1)$$

Для стаціонарного випадку ($t \rightarrow \infty$) система (1) перетвориться в систему рівнянь алгебри, розв'язання якої забезпечує отримання шуканих показників.

Для даної системи частка справних систем

$$k_{\mu} = 1 - M / m, \quad (2)$$

де M – середнє число об'єктів, які знаходяться на ремонті,

$$M = M_{\text{ож}} + \sum_{k=1}^n \alpha^k m! p_0 / k! (m-k)! . \quad (3)$$

Середнє число об'єктів, які очікують ремонту,

$$M_{\text{ож}} = \sum_{k=n+1}^m (k-n) m! \alpha^k p_0 / n^{k-n} n! (m-k)! . \quad (4)$$

Вірогідність простою системи ремонту

$$p_0 = \left[\sum_{k=0}^n m! \alpha^k / k! (m-k)! + \sum_{k=n+1}^m m! \alpha^k / n^{k-n} n! (m-k)! \right]^{-1}, \quad \alpha = \lambda / \mu. \quad (5)$$

Наведена модель є найпростішою типовою моделлю [4]. Складніші моделі (в яких накладені обмеження на довжину черги, вказані пріоритети обслуговування, вхідні потоки не є пуасонівськими та ін. [4]) дозволяють точніше описати реальну обстановку організації ремонту. Вибір відповідної моделі проводиться після аналізу конкретної фізичної ситуації, що складається в системі ремонту.

5.2 Розподіл сил і засобів при ремонті (приклад 3)

При організації ремонту характерною задачею є задача розподілу наявних сил при заданому загальному обсязі ремонту (наприклад, ремонт парку автомашин на автобазі, парення будівельних і дорожніх машин, парення колійних машин і т.п.).

Є ремонтний орган, що складається з m бригад (робочих місць). Передбачається, що бригади за своїми ремонтними можливостями однакові. Необхідно виконати ремонт n об'єктів, відмінних за значущими (наприклад, за доходом, який одержує ремонтний орган за виконання роботи). Позначимо виграш від виконання ремонту (дохід) j -го об'єкта c_j . Для усіх n об'єктів значення доходу задаються сукупністю $\{c_j, j = 1, n\}$. Внаслідок того, що всі об'єкти різні, ремонт кожного з них характеризуватимемо вірогідністю успішного виконання ремонту p_j для будь-якої бригади. Задача розподілу

зводиться до того, щоб визначити, скільки бригад необхідно поставити на кожний об'єкт, щоб ремонтний орган отримав найбільший дохід.

Якщо виділити на ремонт j -го об'єкта k_j бригад, то вірогідність успішного ремонту визначається за формулою

$$P_j = 1 - (1 - p_j)^{k_j}, \quad (6)$$

а дохід

$$\varphi_j(k_j) = c_j [1 - (1 - p_j)^{k_j}]. \quad (7)$$

Тоді задача зводиться до вибору такого розподілу до $\{k_j, j = 1, n\}$, щоб сумарний дохід був би максимальним

$$F(k) = \sum_{j=1}^n c_j [1 - (1 - p_j)^{k_j}] \quad (8)$$

В задачі існують такі обмеження:

- усі k_j – цілі, позитивні числа, $k_j \geq 0$;

- $\sum_{j=1}^n k_j = m$, тобто при будь-якому розподілі сумарне число

виділених для ремонту бригад повинне бути рівне наявній їх кількості.

Сформульована задача є нелінійною цілочисельною задачею математичного програмування, яка полягає в такому виборі набору $\{k_j\}$, щоб цільова функція $F(k)$ була би максимальна при виконанні обмежень. Метод її розв'язання ітераційний. Він зводиться до такого:

- задається початковий вектор $k^{(0)} = \{0..0\}$;

- на кожному кроці оцінюється приріст функції F_k , який виходить від додавання одиниці (однієї бригади) до кожного з компонентів початкового вектора;

- вибирається той компонент j_0 , приріст якого дає найбільший приріст цільовій функції F_k .

Формалізований алгоритм містить такі операції:

- вводиться початковий вектор $k^{(0)} = \{0..0\}$;
- на першому кроці ітерації визначається компонент j_0 ($j_0 \in 1, n$), що підлягає поліпшенню, з умови

$$\Delta\varphi_{j_0}(0) = \varphi_{j_0}(1) - \varphi_{j_0}(0) = \max_{j=1, n} \{\varphi_j(1) - \varphi_j(0)\}. \quad (9)$$

Для $s + 1$ ітерації визначається компонент j_0 ($j_0 \in 1, n$) з умови

$$\Delta\varphi_{j_0}(k^{(s)}_{j_0}) = \varphi_{j_0}(k^{(s)}_{j_0} + 1) - \varphi_{j_0}(k^{(s)}_{j_0}) = \max_{j=1, n} \{\varphi_j(k^{(s)}_j + 1) - \varphi_j(k^{(s)}_j)\}. \quad (10)$$

Для цільової функції (8)

$$\Delta\varphi_{j_0}(k^{(s)}_{j_0}) = \max_j \{c_j [1 - (1 - p_j)^{k_j + 1}] - c_j [1 - (1 - p_j)^{k_j}]\} = \max_{j=1, n} \{c_j (1 - p_k)^{k_j} p_j\}. \quad (11)$$

Алгоритм зручний для використання із застосуванням ЕОМ.

5.3 Модель проведення ремонтних робіт

Розподіл ремонту на поточний, середній і капітальний умовний, оскільки відсутня чітка кількісна ознака, що дозволяє відділити один вид ремонту від іншого. В ході експлуатації важко відрізнити поточний ремонт від заходів щодо попередження відмов (особливо для складних систем), оскільки наявність функціональної надмірності не приводить до явної відмови, а викликає лише певне зниження якостей функціонування. Крім того, для сучасних технічних пристроїв часто зміна технічного стану здійснюється заміною на новий *функціонального елемента (ФЕ)*, що відмовив, або ФЕ з характеристиками, які погіршилися. Ці обставини не дозволяють чітко відділити етап експлуатації технічної системи від її ремонту і примушують розглядати моделі управління технічним станом, придатні як для попередження відмов, так і для їх усунення. Одна з таких моделей – керовані марковські процеси [5, 6]. При

формуванні моделі управління технічним станом доцільно *враховувати реальні експлуатаційні чинники: обмежену достовірність контролю, неповне відновлення, обмеження на допустиме значення вірогідності відмови.*

Облік достовірності контролю

Помилки, які допущені при контролі, приводять до збільшення витрат в системі ремонту. Це обумовлено необхідністю отримання додаткової інформації при повторних перевірках, ліквідацією збитку при пропусках відмов, зайвими роботами з попередження відмов, коли в цьому немає необхідності, і т.п. Задача полягає в отриманні значень мінімальних витрат при відновленні, необхідних для забезпечення однієї години безвідмовної роботи системи. Чисельне рішення сформульованої задачі можна отримати, використовуючи стандартний алгоритм лінійного програмування [3, с. 266].

Облік неповного відновлення

При відновленні працездатності систем можлива ситуація, коли значення параметра після відновлення відрізняється від первинного, тобто відновлення є неповним. Неповне відновлення характеризується *функцією якості відновлення (ФЯВ)*, під якою розуміють розподіл значень параметрів по полю допуску після відновлення. Цей розподіл задає вірогідність перебування значення параметра в заданій частині області працездатності. Після відновлення воно визначається за даними ремонту або моделюванням.

Допустимий рівень відмови

При проведенні технічного обслуговування і ремонту систем іноді виникає задача задоволення вимоги, що полягає в тому, щоб вірогідність відмови системи після відновлення не перевищувала деякого рівня на заданому інтервалі часу. Задача визначення правила проведення відновних робіт зводиться до розв'язання задачі лінійного програмування: мінімізувати значення цільової функції при обмеженнях [3, с. 270].

6 ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

6.1 Приклад 1 (до розділу 4). Побудова мережного графіка і визначення довжини критичного шляху

Початкові дані:

нехай є виріб, що складається з агрегату А, приладу В і блоку С. Ремонт здійснюється на підставі стратегії за ресурсом. Необхідно побудувати мережний графік технологічного циклу і розрахувати довжину критичного шляху. Перелік подій поданий у таблиці 2.

Вважатимемо, що задані тривалості кожної операції, їх трудомісткість і необхідне число виконавців (таблиця 3).

На підставі даних таблиць 2 і 3 будується мережний графік (рисунок 4). Критичний шлях, позначений подвійними стрілками, проходить через події 1, 2, 3, 5, 9, 10, 12 і рівний 5,8 днів.

Таблиця 2 – Перелік подій технологічного процесу

Номер події		Найменування події
порядковий	попередній	
1	1	Виріб надійшов у цех
2	1	Виріб прийнятий в ремонт
3	2	Виріб розібраний
4	3	Агрегат А продефектований
5	3	Прилад В продефектований
6	3	Блок С продефектований
7	4	Агрегат А відновлений
8	7	Агрегат А випробуваний
9	5	Прилад В відновлений
10	9	Прилад В випробуваний
11	6	Блок С випробуваний
12	8, 10, 11	А, В, С здані ВТК
М=12		

Таблиця 3 – Початкові дані для розрахунку мережного графіка

Шифр робіт	Короткий зміст	Трудо- місткість люд.год	Число виконавці в	Трива- лість, дн
1	Приймання виробу в ремонт	20	4	0,5
2	Розбирання виробу	30	3	1
3	Дефектація агрегату А	10	1	1
4	Дефектація приладу В	8	1	0,8

5	Дефектація блоку С	15	1	1,5
6	Відновлення агрегату А	20	2	1
7	Відновлення приладу В	30	2	1,5
8	Випробування блоку С	20	1	2
9	Випробування агрегату А	10	1	1
10	Випробування приладу В	15	1	1,5
11	Здача ВТК агрегату А	5	1	0,5
12	Здача ВТК приладу В	5	1	0,5
13	Здача ВТК блоку С	5	1	0,5
N= 13				

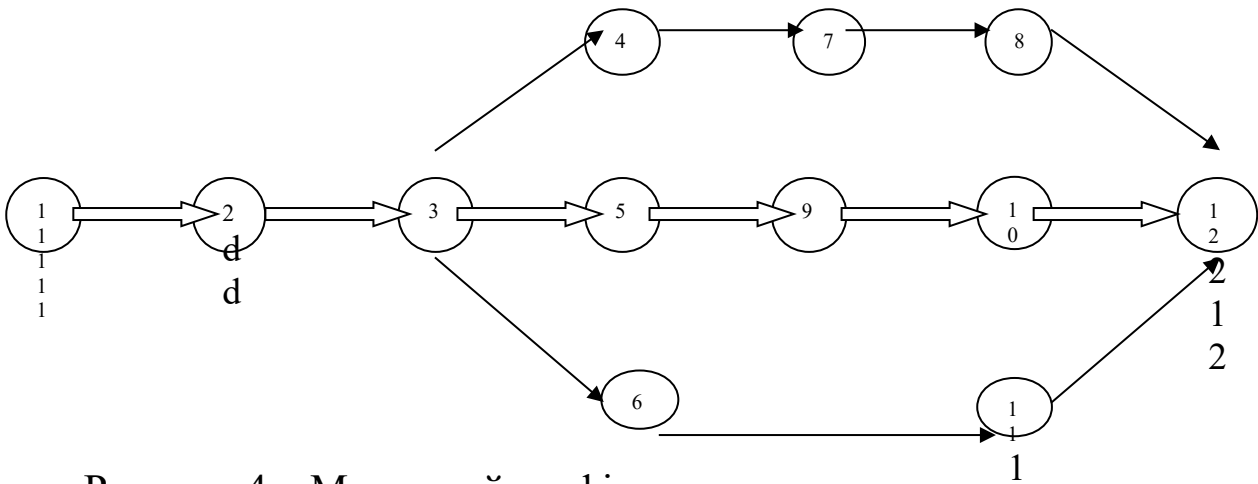
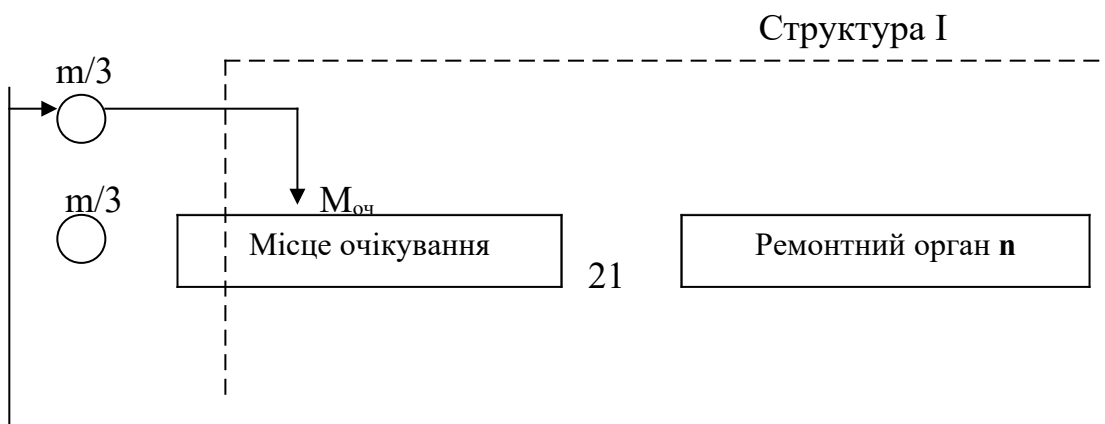


Рисунок 4 – Мережний графік

6.2 Приклад 2 (до розділу 5.1). Оцінка ефективності систем ремонту

Початкові дані:

є дві структури системи ремонту: I і II (рисунок 5). В обох структурах вхідний потік однаковий і визначається трьома джерелами об'єктів, що відмовили, в кожному з яких знаходиться $m/3$ об'єктів.



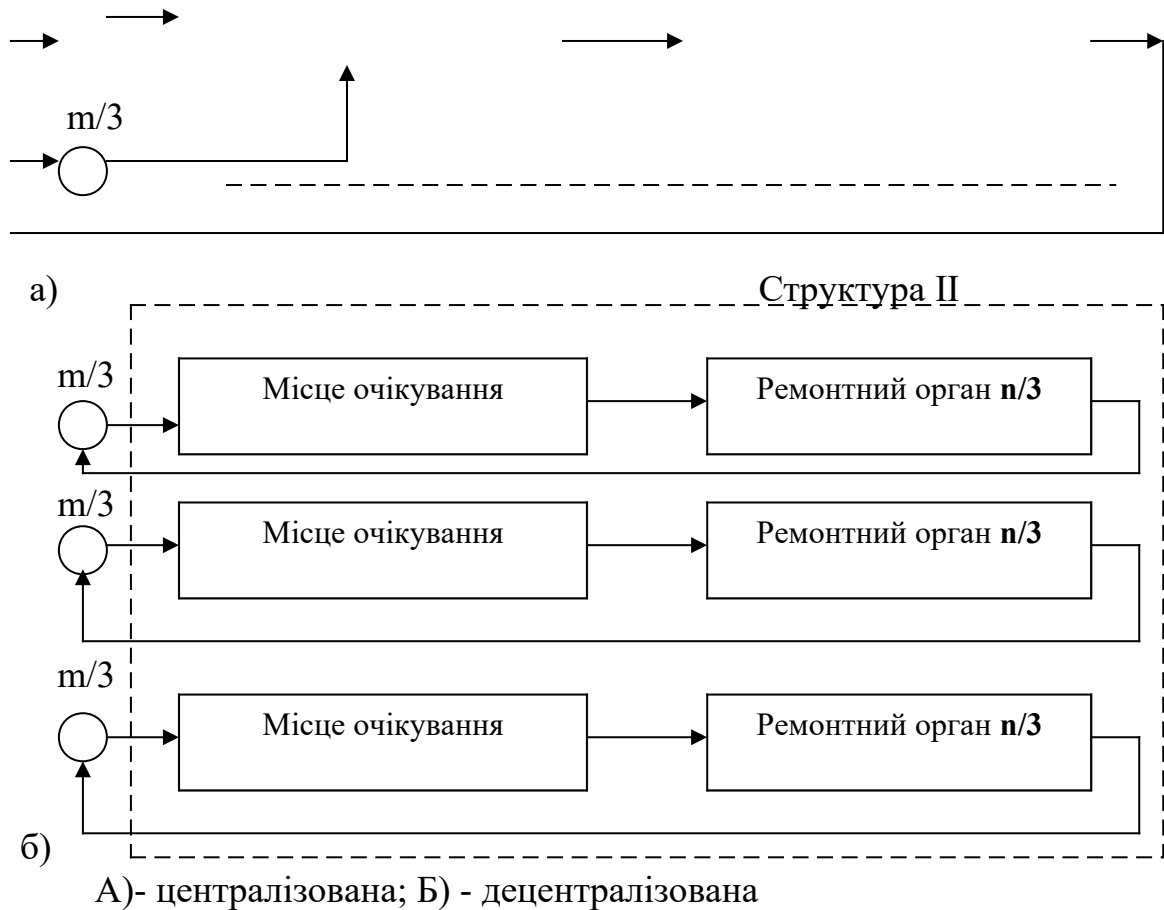


Рисунок 5 – Структура ремонтного органу

У структурі I є одне місце очікування ремонту і один ремонтний орган, що містить n робочих місць. У міру звільнення робочого місця об'єкт, що очікує ремонту, починає відновлюватися.

У структурі II для кожного джерела об'єктів, що відмовили, є своє місце очікування і власний ремонтний орган, який містить $n/3$ робочих місць. Необхідно оцінити, яка з цих систем ефективна за такими показниками, як k_n , M , p_o , при значеннях $n = 6$, $m = 40$.

За формулами (2)÷(5) визначаємо необхідні показники. Результати розрахунків подано в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків показників ремонтного органу

Структура	Показник		
	p_o	M	k_n
I	0,22	1,11	0,97

II	0,33	1,21	0,91
----	------	------	------

З таблиці 4 виходить, що організація ремонту за структурою I є більш доцільною, оскільки вона забезпечує більш високу частку справних систем і менше простоює.

6.3 Приклад 3 (до розділу 5.2). Розподіл бригад

Початкові дані:

в ремонтному органі є п'ять бригад ($m = 5$), ремонтується три зразки техніки ($n = 3$), для яких

$$c = \{c_1 = 2; c_2 = 4; c_3 = 3\};$$

$$p = \{p_1 = 0,8; p_2 = 0,8; p_3 = 0,9\}.$$

Знайти розподіл бригад.

1 Вводимо нульовий набір:

$$k_0^{(0)} = \{k_1^{(0)}, k_2^{(0)}, k_3^{(0)}\} = \{0, 0, 0\}.$$

2 Перша ітерація:

$$\Delta\varphi_1(0) = c_1 p_1 = 1,6;$$

$$\Delta\varphi_2(0) = c_2 p_2 = 3,2;$$

$$\Delta\varphi_3(0) = c_3 p_3 = 2,7;$$

$$\Delta\varphi_{j_0}(k_{j_0}^{(0)}) = \max \{1,6; 3,2; 2,7\} = 3,2 \rightarrow j_0 = 2;$$

$$k^{(1)} = \{k_1^{(1)}; k_2^{(1)}; k_3^{(1)}\} = \{0, 1, 0\}.$$

3 Друга ітерація:

$$\Delta\varphi_1(0) = c_1p_1 = 1,6;$$

$$\Delta\varphi_2(1) = c_2p_2(1 - p_2) = 0,64;$$

$$\Delta\varphi_3(0) = c_3p_3 = 2,7;$$

$$\Delta\varphi_{j_0}(k_{j_0}^{(1)}) = \max \{1,6; 0,64; 2,7\} = 2,7 \rightarrow j_0 = 3;$$

$$k^{(2)} = \{0, 1, 1\}.$$

4 Третя ітерація:

$$\Delta\varphi_1(0) = c_1p_1 = 1,6;$$

$$\Delta\varphi_2(1) = c_2p_2(1 - p_2) = 0,64;$$

$$\Delta\varphi_3(1) = c_3p_3(1 - p_3) = 0,27;$$

$$\Delta\varphi_{j_0}(k_{j_0}^{(2)}) = \max \{1,6; 0,64; 0,27\} = 1,6 \rightarrow j_0 = 1;$$

$$k^{(3)} = \{1, 1, 1\}.$$

5 Четверта ітерація:

$$\Delta\varphi_1(1) = c_1p_1(1 - p_1) = 0,32;$$

$$\Delta\varphi_2(1) = c_2p_2(1 - p_2) = 0,64;$$

$$\Delta\varphi_3(1) = c_3p_3(1 - p_3) = 0,27;$$

$$\Delta\varphi_{j_0}(k_{j_0}^{(3)}) = \max \{0,32; 0,64; 0,27\} = 0,64 \rightarrow j_0 = 2;$$

$$k^{(4)} = \{1, 2, 1\}.$$

6 П'ята ітерація:

$$\Delta\varphi_1(1) = c_1 p_1 (1 - p_1) = 0,32;$$

$$\Delta\varphi_2(2) = c_2 p_2 (1 - p_2)^2 = 0,128;$$

$$\Delta\varphi_3(1) = c_3 p_3 (1 - p_3) = 0,27;$$

$$\Delta\varphi_{j_0}(k_{j_0}^{(4)}) = \max \{0,32; 0,128; 0,27\} = 0,32 \rightarrow j_0 = 1;$$

$$k^{(5)} = \{2, 2, 1\}.$$

Таким чином, на перший і другий об'єкти слід направити по дві бригади, на третій – одну.

При цьому функція виграшу

$$F(k) = c_1 (1 - (1 - p_1)^2) + c_2 (1 - (1 - p_2)^2) + c_3 (1 - (1 - p_3)) = 8,46 \text{ ум.од.}$$

Для даного прикладу можна визначити розподіл бригад і прямим перебором (таблиця 5).

Таблиця 5 – Результати розв'язання задачі розподілу бригад

Розподіл	Функція виграшу
500	1,99936
005	2,99997
050	3,99872
410	5,1968
401	4,6968
014	6,1997
041	6,6936
104	4,5997
140	5,5936
320	5,824
302	4,954

032	6,938
023	6,816
230	5,888
203	4,917
221	8,46
212	8,09
122	8,41
113	7,797
131	8,268
311	7,884

Примітка. Оптимальним є розподілення **221**, що збігається з результатом розрахунку за ітераційним алгоритмом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Ицкович А.А., Смирнов И.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
- 2 Павловский Н.И., Петров К.В. Ремонт вспомогательных силовых установок самолетов. - М.: Машиностроение, 1985. – 197 с.
- 3 Надежность и эффективность в технике: Справочник. 10 т. / Ред. В.С. Авдуевский (пред.). – М.: Машиностроение, 1990.
- 4 Т.8: Эксплуатация и ремонт / Под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. – 320 с.
- 5 Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.
- 6 Каштанов В.А. Оптимальные задачи технического обслуживания. – М.: Знание, 1981. – С. 71.
- 7 Каштанов В.А. Полумарковские модели процесса технического обслуживания. – М.: Знание. 1987. – С. 94.
- 8 Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решений.

– М.: Наука, 1977. – 175 с.

