



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ОРГАНІЗАЦІЯ СЕРВІСУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Навчальний посібник

Харків 2024

УДК 629.4.08(075)

О-64

*Рекомендовано вченою радою Українського державного університету
залізничного транспорту як навчальний посібник
(витяг з протоколу № 9 від 27 листопада 2024 р.)*

Рецензенти:

професори О. М. Горобченко (ДУІТ),
М. І. Капіца (УДУНТ)

Авторський колектив:

В. Г. Пузир, О. С. Крашенінін, Д. С. Жалкін, С. В. Михалків

Організація сервісу рухомого складу: Навч. посібник /
О 64 В. Г. Пузир, О. С. Крашенінін, Д. С. Жалкін та ін. — Харків:
УкрДУЗТ, 2024. — 139 с., рис. 24, табл. 5.
ISBN

Розглянуто сервісну систему ТО і ПР локомотивів, її структуру управління, організацію внутрішньовиробничого планування, причини виникнення понадциклових робіт. Наведено організацію процесу управління сервісним ТО і ПР, організацію прогнозного та оперативного планування, визначення оптимальної кількості сервісних центрів, модель управління сервісним ТО і ПР локомотивів. Визначено вплив від впровадження цифровізації, яка дає змогу підвищувати мотивацію персоналу ефективно працювати з АСУ з дотриманням технологічної послідовності дій і логічного контролю технологічного процесу. Розглянуто проблеми з впровадженням інформаційних технологій організації процесів ТО і ПР локомотивів.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти спеціальності 273 «Залізничний транспорт», ОПП «Локомотиви та локомотивне господарство», «Високошвидкісний рухомий склад» (другий освітній рівень «магістр»), які вивчають курс «Організація сервісу рухомого складу».

Навчальний посібник також буде корисним для здобувачів вищої освіти інших навчальних закладів, слухачів курсів підвищення кваліфікації, а також фахівців, спеціальність яких пов'язана з експлуатацією і технічним обслуговуванням локомотивів.

УДК 629.4.08(075)

© Пузир В. Г., Крашенінін О. С., Жалкін Д. С.,
Михалків С. В., 2024

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2024.

ISBN

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	5
Вступ	6
РОЗДІЛ 1	8
1.1. Визначення четвертої промислової революції та її складових	8
1.1.1. Технічне обслуговування та ремонт в Індустрії 4.0	15
1.1.2. Різновид стратегій технічного обслуговування і ремонту	17
1.2. Сервісне ТО і ПР локомотивів	24
1.2.1. Показники сервісного ТО і ПР локомотивів	28
1.2.2. Візуалізація управління технологічним процесом	32
1.2.3. Структура управління сервісним ТО і ПР локомотивів	35
РОЗДІЛ 2	39
2.1. Організація процесу внутрішньовиробничого планування	39
2.2. Організація управління трудовими й виробничими ресурсами	46
2.2.1. Метод Кіплінга	50
2.2.2. Реалізація методу Кіплінга	51
РОЗДІЛ 3	58
3.1. Організація процесу управління сервісним ТО і ПР	58
3.1.1. Організація планування	60
3.1.2. Визначення оптимальної кількості сервісних центрів	63
3.1.3. Моніторинг технічного стану вузлів локомотивів	67
3.2. Архітектура управління сервісним ТО і ПР локомотивів	75
РОЗДІЛ 4	85
4.1. Вплив інформаційних технологій на ефективність сервісного обслуговування локомотивів	85
4.1.1. Структура АСУ життєвого циклу локомотивів	88
4.1.2. Технологічна послідовність дій при роботі з АСУ	94

4.1.3. Автоматизація формування звітів	98
4.2. Імплементація моделі управління виробничими процесами ремонту локомотивів	99
4.2.1. Вимоги з функціоналу депо при впровадженні сервісу локомотивів	114
4.2.2. Проблеми з упровадженням інформаційних технологій організації процесів ТО і ПР	116
Запитання для підготовки до модульного контролю	119
Бібліографічний список	124
Додаток 1. Визначення необхідної кількості сервісних центрів	128

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АПК	—	апаратно-програмний комплекс
АРМ	—	автоматизоване робоче місце
АСТД	—	автоматизована система технічного діагностування
АСУЗТ	—	автоматизована система управління залізничного транспорту
ДК	—	діагностична карта
КМБ	—	колісно-моторний блок
КТГ	—	коефіцієнт технічної готовності
МПВ	—	матеріали повторного використання
МСУ	—	мікропроцесорні системи управління
НР	—	позаплановий ремонт
ПЗ	—	програмне забезпечення
ПУР	—	підтримка ухвалення рішення
СЦ	—	сервісний центр
ТМЦ	—	товарно-матеріальна цінність
ТО і ПР	—	технічне обслуговування і поточний ремонт
ТО і Р	—	технічне обслуговування і ремонт
ERP	—	планування ресурсів підприємства
HMI	—	людино-машинний інтерфейс
MES	—	система управління виробничими процесами
PID	—	пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання
PLC	—	програмований логічний контролер
SCADA	—	диспетчерське управління і збір даних

ВСТУП

Створення конкурентного середовища в локомотивному господарстві є запорукою переходу на вищий рівень якості, що стимулює зниження собівартості перевезень і створення засад розвитку інших галузей економіки.

Одним із шляхом оновлення тягового рухомого складу українських залізниць є закупівля локомотивів закордонного виробництва разом з інфраструктурою їхнього сервісного обслуговування, до складу якої входить технічна і технологічна інформація, можливість управляти виробничими процесами для впливу на фірми-виробники локомотивів для вдосконалення наявних серій і створення нових зразків техніки.

Упровадження сервісного обслуговування локомотивів мотивовано ринковими підходами до організації виробництва, що полягає в сплаті за відсутність ремонтів, а не об'єм ремонтів. Вирішення завдань із сервісу локомотивів потребує реалізації наукових підходів до організації роботи локомотивних депо, розроблення перспективних технологічних процесів ТО і ПР, методів управління й мотивації, модернізації локомотивів попередніх поколінь.

Деякі передові закордонні технології потребуватимуть адаптації до вітчизняних реалій. Також слід зважати на вплив високої початкової вартості, високої вартості життєвого циклу, особливих вимог до експлуатації на ефективність експлуатації закордонної техніки.

У першому розділі посібника наведено опис традиційного підходу до проведення ТО і ПР локомотивів і його недоліків; принцип «управління життєвим циклом», який потребує зміни підходу до організації ТО і ПР для підвищення ефективності експлуатації локомотивів. Зазначено цілі, яких можна досягнути завдяки переходу на сервісну систему ТО і ПР

локомотивів. Наведено засоби візуалізації процесами управління в локомотивних депо.

У другому розділі посібника розглянуто організацію внутрішньовиробничого планування, зокрема сформульовано умови стійкості процесів упродовж ТО і ПР локомотивів. Подано особливості трудових і матеріальних ресурсів, а також ресурсів, що лімітують — запасні частини, матеріали повторного використання тощо. Розглянуто метод для виявлення причин виникнення понадциклових робіт із подальшим вживанням корегувальних засобів.

У третьому розділі посібника наведено організацію процесу управління сервісним ТО і ПР локомотивів, зокрема організацію прогнозного та оперативного планування, специфіку приймання локомотива в ремонт. Розглянуто інформаційно-динамічну модель управління сервісним ТО і ПР локомотивів.

У четвертому розділі посібника визначено вплив від цифровізації, яка дає змогу підвищувати мотивацію слюсарів, майстрів ефективно працювати з АСУ з дотриманням технологічної послідовності дій і логічного контролю технологічного процесу. Наведено вимоги і структуру АСУ «Мережевий графік», визначено потребу у формуванні в ній діагностичної карти. Розглянуто проблеми з упровадженням інформаційних технологій організації процесів ТО і ПР локомотивів.

Наприкінці навчального посібника наведено запитання для підготовки до модульного контролю і бібліографічний список.

РОЗДІЛ 1

1.1. Визначення четвертої промислової революції та її складових

Нинішній стан промисловості характеризується періодом великих технологічних зрушень, який називається Індустрія 4.0. Цей етап базований на можливості збору та аналізу даних різного обладнання, у результаті чого підвищується ефективність, гнучкість, якість і швидкість процесів при зниженні витрат. Ця промислова революція змінює різні аспекти промисловості, впливаючи на глобальну економіку, структуру ланцюгів постачань і людей, які можуть бути як клієнтами, так і робочою силою [1].

Одним із аспектів виробництва, який зазнає сильного впливу з боку Індустрії 4.0, є технічне обслуговування, основна мета якого полягає в забезпеченні скорочення незапланованого часу простою внаслідок несподіваних відмов, що є основною загрозою ефективності виробництва. Традиційно підхід до обслуговування був статичним, заснований на тому, що обладнання ставало несправним і надходило в ремонт, або на підставі попереднього досвіду оцінювали життєвий цикл виробу та ймовірність появи відмови і примусово виводили обладнання з експлуатації та робили відповідні заходи з обслуговування або ремонту (розбирання вузлів і за умови наявних пошкоджень заміна відповідних деталей). Однак із настанням ери Індустрії 4.0 і новими можливостями з накопичень великих об'ємів даних виникають нові можливості з реалізації технічного обслуговування. Зокрема з'являється можливість для операторів стежити за фактичним технічним станом і прогнозувати технічний стан у майбутньому, забезпечуючи вищу якість і безпеку.

Індустрію 4.0 часто називають четвертою промисловою революцією. Термін промислова революція вказує на період великих технологічних змін,

які провокують важливі й незворотні зміни не тільки в промислових додатках, але і всьому суспільстві (рис. 1.1).

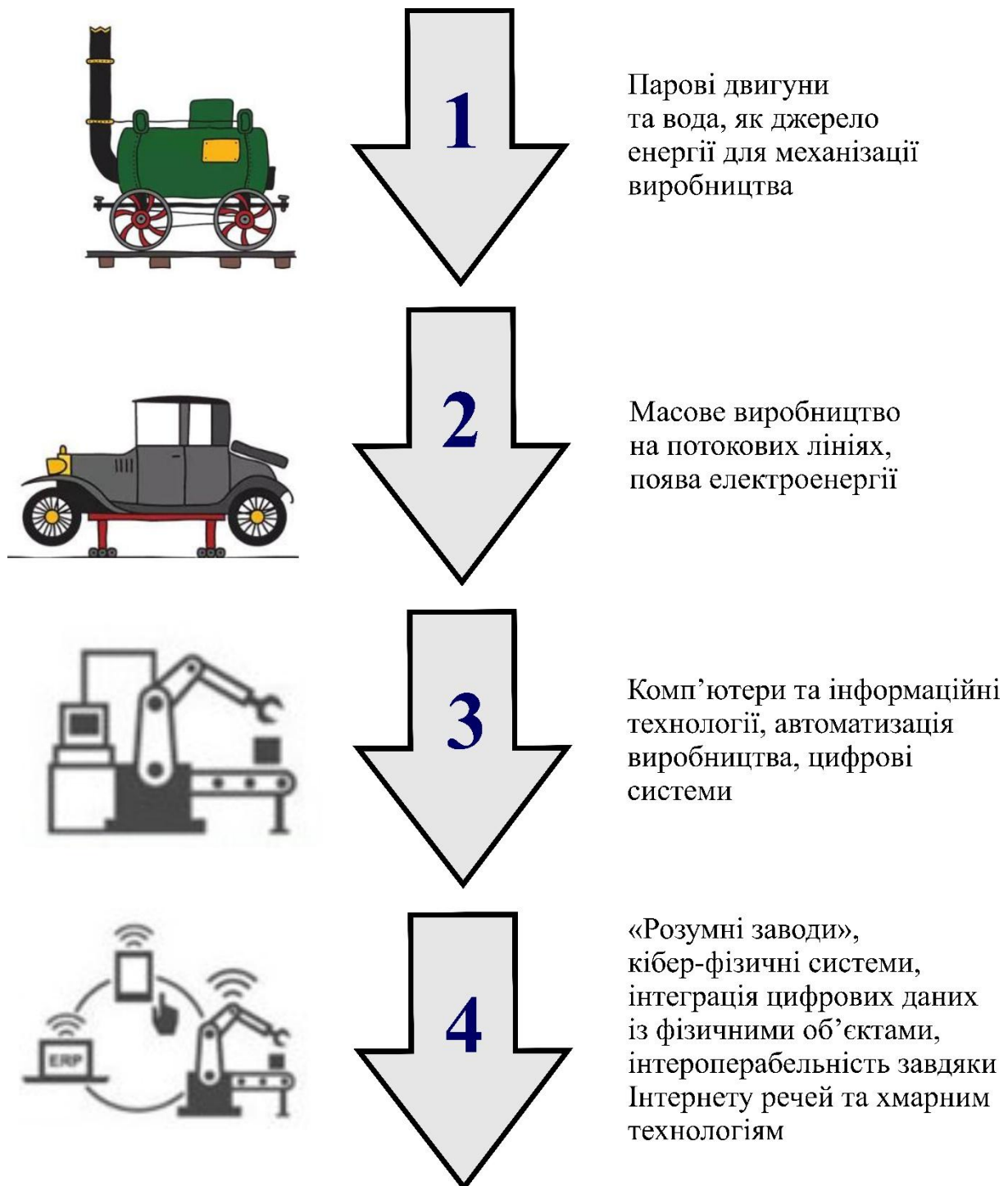


Рис. 1.1. Промислові революції у новій і новітній історії людства

Перша промислова революція сталася в Великій Британії наприкінці XXVIII століття (1760-1840 роки). Головною її властивістю було впровадження парових двигунів, у яких джерелом енергії була вода. Ці зміни були впроваджені спершу в агросектор, а потім текстильну промисловість, забезпечивши її стрімке зростання завдяки відходу від ручної праці.

Друга промислова революція трапилася між 1870 і 1914 роками з впровадженням масового виробництва, яке асоціювалось із потоковою лінією. Цей прогрес відбувся завдяки електрифікації заводів і упровадженням телеграфу та залізниці.

Другий повоєнний період (1950-1970 роки) характеризувався початком *третьої промислової революції*, також відомої як «Цифрова революція» або «Інформаційна ера». Ця революція стала наслідком значного розвитку комп'ютерів та інформаційних технологій, які спричинили перехід від аналогових і механічних систем до цифрових.

Офіційно *четверта промислова революція*, або Індустрія 4.0, розпочалась у 2011 році й триває дотепер – значне удосконалення технології автоматизації, у якій машини здатні працювати незалежно та/або разом із людьми, маючи змогу збирати й аналізувати дані з подальшими рекомендаційними висновками. Ця зміна уможливорює створення нового промислового поля з гнучкою орієнтацією на клієнта, у якому масове виробництво досягає нового рівня.

Четверта промислова революція упроваджує промисловість і виробничий сектор з цифровізацією завдяки встановленню датчиків на всі вузли та агрегати, забезпечуючи інтеграцію цифрових даних і фізичних об'єктів, які зможуть докорінно трансформувати всі промислові галузі.

Індустрія 4.0 описує майбутній сценарій промислового виробництва: нові рівні контролю, організації та перетворення всіх етапів виробництва і життєвого циклу продукції, що призводить до підвищення продуктивності та гнучкості через три види ефективної інтеграції (*горизонтальну, вертикальну та інтеграцію повного циклу*).

Горизонтальна інтеграція означає одночасне співробітництво та конкуренцію між організаціями, які задіяні в ланцюзі постачання і мають схожі характеристики, для підвищення ефективності виробничої системи. Отже, ця інтеграція стосується зв'язку між складовими компанії, такими як виробництво та матеріали, економічна та фінансова діяльність.

Вертикальна інтеграція покликана втілити ідею досягнення ієрархічних підсистем, як інформаційних, так і фізичних, на виробничій лінії для того, щоб створити гнучку і легку виробничу систему для подальшої конфігурації. У цьому випадку здійснюється інтеграція сигналів від датчиків із різним рівнем автоматизації на заводах або в цілій промисловій галузі, створюючи засади для появи розумних машин, здатних автоматично підлаштовуватися під випуск різних типів продукції. Вертикальну інтеграцію можна вивчати за так званою пірамідою автоматизації (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Піраміда автоматизації

Інтеграція повного циклу є останнім видом і відповідає за інтеграцію всієї продуктово-центричної діяльності, зокрема аналіз вимог клієнтів,

дизайн і розроблення виробів, зняття їх з ужитку та переробки, втілюючи принцип управління життєвим циклом виробів.

Існує дев'ять основних ознак, які характеризують Індустрію 4.0 [2]:

1. *Кібер-фізична система*, створена на підставі значних досягнень у сфері обчислень за останні роки, – це система, у якій фізичний об'єкт пов'язаний із його віртуальною моделлю за допомогою датчиків, даючи їм змогу збирати, обробляти дані та ініціювати відповідні дії. Кібер-фізичні системи є основою для створення Інтернету речей. Кібер-фізичні системи можна охарактеризувати так:

- комплексність/гетерогенність, що полягає в поєднанні численних систем різної природи;

- інтероперабельність – компоненти здатні з'єднуватися, комунікувати та управляти один одним;

- сервісна орієнтація, тобто здатність до забезпечення своєчасного обслуговування та дотримання високої доступності до різних об'єктів;

- модульність, що полягає в здатності кібер-фізичних систем гнучко змінювати конфігурацію відповідно до змін вимог клієнтів і характеристик виробів;

- віртуалізація та система реального часу – дані з датчика, отримані в реальному часі, використовують для з'єднання фізичної системи з віртуальними моделями;

- висока обчислювальна спроможність;

- кооперація, зосереджена на виконанні об'єктами різних завдань із метою оптимізації їхньої продуктивності;

- динамічна реконфігурованість – здатність до зміни структур, функціональних можливостей і відповідних меж для адаптації до ринку та промислових середовищ.

2. *Інтернет речей* – розширене з'єднання між системами, сервісами й виробами для збільшення потоку інформації у виробничому процесі, аналіз даних і ухвалення рішень децентралізовано, покращуючи час відгуку.

3. *Інтернет послуг.* Заснований на Інтернеті речей та ідей, компанії забезпечують велику кількість послуг через інтернет, задовольняючи розлогі потреби клієнтів гнучким способом; вебсервіси, які нині функціонують окремо, у перспективі будуть об'єднані в унікальну мережу, забезпечуючи переваги для учасників ринку.

4. *Великі дані та аналітика.* Наявність датчиків і взаємозв'язок між системами створює велику кількість даних, яку не можна обробити традиційними методами. Упродовж останніх років розробляють аналітичні методи обробки цих даних, які започатковують напрям технології великих даних зі здатністю швидко та ефективно опрацьовувати дані, об'єм яких постійно зростає. Зазвичай великі дані описують чотири показниками, так званими 4V:

- об'ємом;
- різноманітністю, яка полягає у використанні різних джерел для отримання даних;
- швидкістю, від якої залежить генерація та аналіз даних;
- значущістю, що полягає у важливості отриманої інформації.

5. *Доповнена реальність.* Вона полягає у здатності збагачувати людське сприйняття додатковою інформацією, зазвичай надавану цифровими пристроями. Щодо промислового виробництва, то доповнену реальність можна використовувати як інструмент підтримки в обслуговуванні, який дає змогу прогнозувати та корегувати періодичність втручань, зменшує помилки, економить час і фінанси.

6. *Автономні роботи.* Досягнення в різних сферах у майбутньому дадуть змогу роботам автономно взаємодіяти між собою і співпрацювати з операторами-людьми, забезпечуючи підвищення ефективності виробничих процесів із меншою вартістю.

7. *Адитивне виробництво* – залучення методів розумного виробництва для створення об'єктів завдяки послідовному нанесенню шарів матеріалу

(3D-друкування). Таке виробництво і нові матеріали потребують інтеграції інформаційних технологій упродовж усіх етапів створення продукту.

8. *Хмарні обчислення*. Хмарне сховище зберігає дані в онлайн-архівах замість окремих стаціонарних пристроїв, підвищуючи доступність до інформації, витрачаючи для цього менше ресурсів. Останнім часом цю технологію почали застосовувати не тільки до окремих даних, але й програмного забезпечення, що дає змогу здійснювати онлайн-обчислення.

9. *Моделювання* – остання ознака Індустрії 4.0. Моделювання полягає у віртуальному відтворенні процесів, що протікають в об'єктах, із метою прогнозування їхньої поведінки та відгуків. Моделювання може залучати дані реального часу й штучний інтелект і досягати здатності автономно регулювати процеси, що протікають. Це дає змогу здійснювати оптимізацію процесів, які генерують як окремі машини, так і цілі заводи, знижуючи вартість і підвищуючи якість виробництва.

На рис. 1.3 наведені всі розглянуті ознаки Індустрії 4.0, які пов'язані між собою сильними зв'язками, що ускладнює їх розгляд як окремих ознак.

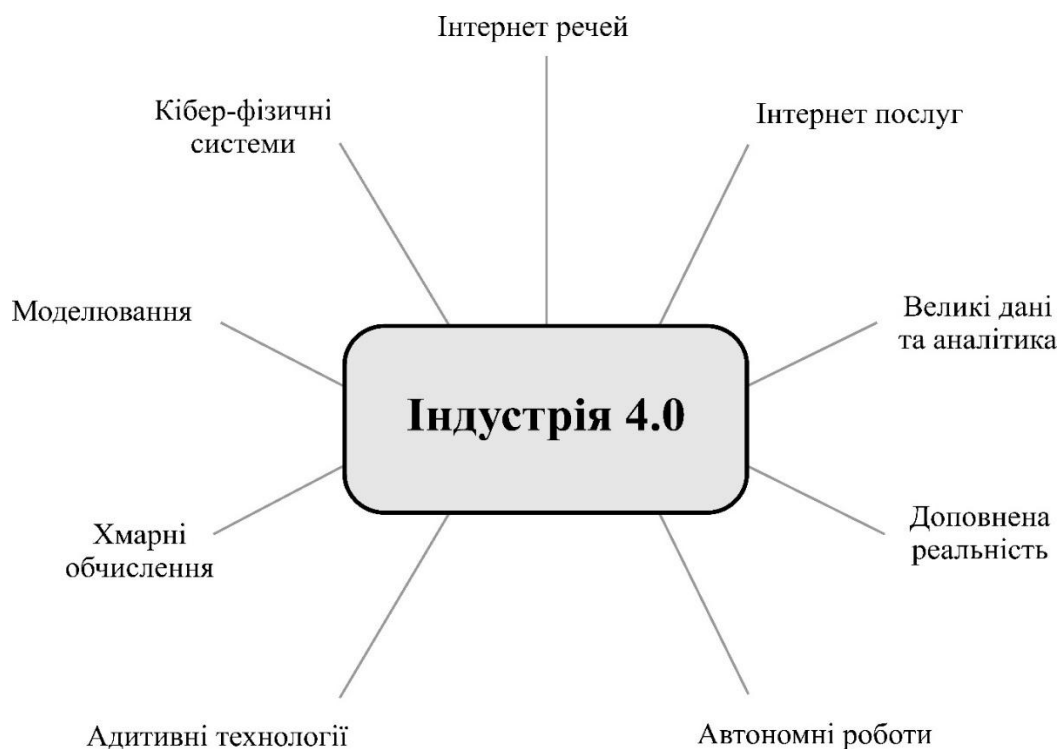


Рис. 1.3. Характеристики Індустрії 4.0

1.1.1. Технічне обслуговування та ремонт в Індустрії 4.0

Одним із аспектів виробництва, який зазнав великого впливу Індустрії 4.0, є технічне обслуговування та ремонт, у яких змінився підхід до організації та виконання ремонтних процедур.

У процесі ТО і Р є три основні зміни [1]:

— упровадження моніторингу технічного стану в режимі реального часу. Кібер-фізичні системи дають змогу зберігати дані з датчиків у хмарі та відображувати їх, роблячи цю інформацію доступною для всіх під'єднаних пристроїв. Це забезпечує кращий доступ до даних не лише операторів, а і додатково з'являється в експертів ширшого кола;

— залучення технології великих даних для оцінювання отриманої інформації, що дасть змогу аналізувати специфічні випадки, на які надані висновки різними операторами з протиріччями; автоматично планувати ТО і Р, коли відповідні параметри обладнання досягають порогових рівнів, вище за які трапляється відмова. З'являється можливість установлювати певні правила, за якими оператори матимуть змогу отримувати миттєве сповіщення про позапланову зупинку обладнання. Отже, за таких умов ремонти можна провадити лише за необхідності, час простою обладнання скорочується;

— спосіб сповіщення операторів про технічний стан обладнання, зокрема коли встановлена потреба в проведенні ТО і Р, ремонтна бригада прямує до обладнання після генерації цифрового квитка на їхніх цифрових пристроях (смартфонах або планшетах) завдяки концепції Інтернету послуг. Наявність такого квитка – це не тільки миттєве отримання необхідної інформації про потребу в проведенні обслуговування або ремонту, але й інформація завдяки унікальному інтерфейсу про весь необхідний перелік робіт, який слід виконати. Це дасть змогу полегшити організацію та логістику відповідних процесів.

Індустрія 4.0 для компаній і суспільства має три переваги (рис. 1.4):

— оптимізація процесів стає можливою завдяки створенню розумних заводів, які складаються із сотень розумних пристроїв, що взаємодіють між собою і визначають ключову перевагу Індустрії 4.0. З упровадженням підвищується ефективність і точність, збільшується виробництво, зменшується вплив людського фактора. Онлайн-моніторинг обладнання дає змогу запровадити прогнозне ТО і Р, підвищити безпеку обслуговування, що призведе до економії коштів і підвищення прибутків компаній;

— індивідуалізація виробів. Інтеграція всіх процесів, які стосуються створення продукції, разом із модульністю систем призводять до кращої індивідуалізації у виробництві. З концепцією Інтернету послуг можна скоротити відстань між компаніями та клієнтами, впроваджуючи пряму комунікацію для прискорення виробництва і термінів доставлення;

— інтенсифікація досліджень. Індустрія 4.0 спровокувала експоненціальне зростання технологічних змін та інновацій за останні 20 років. Цей процес прискорює науковий розвиток у відповідних секторах, сприяючи впровадженню ефективних методик у сферу освіти для набуття нових навичок, затребуваних цим рівнем промисловості.

Переваги:

- *оптимізація*
- *індивідуалізація виробів*
- *інтенсифікація досліджень*

Виклики:

- *безпека*
- *потреба в капітальних вкладеннях*
- *робочі місця*
- *приватність*

Рис. 1.4. Переваги й виклики Індустрії 4.0

Індустрія 4.0 визначає такі виклики, які слід долати в майбутньому:

1) безпека. Хмарні технології, які зберігають і обчислюють дані онлайн, також створюють безпекові ризики. Прогалини в кібербезпеці останніми роками лише збільшуються, завдаючи шкоди не лише виробничому обладнанню, але інколи і корпоративній бізнес-моделі, спричиняючи втрати фінансів і репутації. Отже, дослідження в цьому напрямі є необхідними;

2) капітал. Незважаючи на численні переваги, впровадження технологій зі створення розумних заводів потребує великих інвестицій. Для ухвалення такого рішення потрібен ретельний аналіз, оскільки є ризик для менших виробництв стати неконкурентоспроможними;

3) робочі місця. Автоматизація виробництва та відповідні пристрої, імовірно, призведуть до великих змін щодо зайнятості робочої сили. З одного боку, стануть затребувані нові професійні навички, з іншого боку, різні категорії працівників будуть усунуті з цього процесу;

4) приватність. Упродовж останніх років зростало занепокоєння щодо сфери приватності цифрових даних. Однак це не завжди стосується клієнтів і виробничників, які потребують цих даних для розуміння ринку. Цей виклик напевно вплине на взаємини між виробником і кінцевим споживачем.

1.1.2. Різновид стратегій технічного обслуговування і ремонту

За стандартом UNI EN 13306 [3], ТО і Р визначають як комбінацію всіх технічних, адміністративних та управлінських дій упродовж життєвого циклу виробу з метою його збереження або відновлення до стану, у якому він може реалізовувати закладені характеристики. Отже, ТО і Р реалізують прямі й непрямі заходи, необхідні для збереження початкового технічного стану виробу, компенсуючи природну деградацію виробу задля збереження останнім своїх властивостей якнайдовше.

Історично сучасне ТО і Р набуло поширення з винайденням парового двигуна Джеймсом Ваттом (1736-1819) у 1769 році у Великій Британії. Упродовж наступних років розвиток ТО і Р відбувався завдяки технологічному прогресу. Останніми роками ТО і Р розвинувся до концепту е-ТО і Р, спричинивши інтеграцію сучасних інформаційних і комунікаційних технологій для підтримки ремонтних заходів. Розвиток ТО і Р прогресує з ускладненням технічних засобів, що дає змогу підтримувати початкові показники технічного стану обладнання більш ефективно та мінімізувати відповідні витрати. Для підвищення конкурентоспроможності компаній, безпеки та загальної стійкості слід здійснювати інтеграцію управління і планування ТО і Р до функціонування компаній. Основні цілі ТО і Р є такими:

- збереження обладнання впродовж життєвого циклу;
- підтримка готовності обладнання на відповідному рівні;
- безпека персоналу;
- безпека для навколишнього середовища;
- обмеження витрат на ТО і Р;
- технічний та економічний контроль результатів ТО і Р.

Для того щоб проконтролювати здатність стратегії ТО і Р досягнути згаданих цілей, важливо для компаній упровадити систему оцінювання за відповідними показниками, які також дадуть змогу прив'язати управління ТО і Р до стратегічних цілей компаній. Можна використовувати різні індикатори оцінювання, які охоплюють технічні, економічні та організаційні аспекти. Індикатор загальної ефективності обладнання (ЗЕО) є фундаментальним серед інших для моніторингу та оцінювання функціоналу систем [4], %,

$$\text{ЗЕО} = f(r \cdot p \cdot q), \quad (1.1)$$

де $г$ – готовність, яка обліковує вплив втрат унаслідок простою обладнання через відмови, %. Визначають як відношення сумарного часу перебування в експлуатації $\Sigma T_{\text{експ}}$ до суми згаданого показника та сумарного часу в простої $\Sigma T_{\text{прос}}$,

$$г = \frac{\sum T_{\text{експ}}}{\sum T_{\text{експ}} + \sum T_{\text{прос}}} ; \quad (1.2)$$

$р$ – виробнича віддача, яка є системою показників, що визначають ступінь уваги до швидкості задіяння ресурсів на підтримку технічного стану та є відношенням виробничих потужностей (РС), які можна отримати за наданий проміжок часу з урахуванням втрат на виконання позапланових ремонтів і простою обладнання, до ідеальних умов ступеня уваги до швидкості задіяння ресурсів $РС_{\text{ідеальні}}$, %,

$$р = \frac{РС_{\text{поточні}}}{РС_{\text{ідеальні}}} ; \quad (1.3)$$

q – швидкість втрати якості, яка розглядає втрату якості і є відношенням кількості справних виробів до загальної кількості виробів, %,

$$q = \frac{\text{Кількість справних виробів}}{\text{Загальна кількість виробів}} . \quad (1.4)$$

Заходи з ТО і Р класифікують залежно від обраної підприємством стратегії. Стратегія ТО і Р залежить від вибраного управлінського методу з досягнення цілей, які висувають до ТО і Р, в основу якого покладено типи

втручань відповідно до стандартів. Перша фундаментальна класифікація поділяє ТО і Р на корегувальне та попереджувальне [5].

Корегувальне (аварійне) ТО і Р полягає в проведенні ремонтних заходів після того, як у виробі виявлено несправність, а ремонт прагне повернути виріб у працездатний стан із закладеними функціональними властивостями [3]. Різні події можуть бути підставами для проведення корегувального ТО і Р, зокрема виявлення несправностей засобами моніторингу технічного стану або позапланової відмови обладнання. Спираючись на часові інтервали, корегувальне ТО і Р можна класифікувати на миттєве ТО і Р та ТО і Р із затримкою:

1. *Миттєве ТО і Р* здійснюють для запобігання неприйнятним наслідкам без затримки після того, як несправність була виявлена.

2. *ТО і Р із затримкою*. Після виявлення несправності здійснюють не одразу, а з затримкою згідно з установленими правилами.

Корегувальне ТО і Р демонструє ефективність у випадках, коли обладнання не є критичним і його можна експлуатувати до моменту настання відмови за наявності надлишкового обладнання (багато паралельного обладнання одного типу) і коли відмову можна усунути шляхом низьких втрат без зниження безпеки експлуатації. Переважно, зважаючи на складність обладнання та високу вартість його компонентів, така стратегія ТО і Р є неприйнятною, і перевагу слід надати попереджувальній стратегії ТО і Р.

Попереджувальне ТО і Р проводять для зниження деградації обладнання та зменшення ймовірності відмов його елементів. Цю стратегію можна реалізувати за попередньо визначеними інтервалами часу. Прикладами попереджувального ТО і Р є заходи з обслуговування та ремонту, які спрямовані на регулювання, чищення, змашування, лагодження та заміну компонентів обладнання.

Першою перевагою стратегії попереджувального ТО і Р є зниження ймовірності виникнення позапланових відмов, що призводить до економії фінансів порівняно з корегувальним ТО і Р. Другою перевагою є скорочення часу простою, оскільки коректний графік попереджувального ТО і Р дасть змогу менеджерам ефективно оптимізувати витрати і втрати часу. Однак важливо уникнути надлишкового попереджувального ТО і Р, оскільки тоді витрати на проведення ремонтних заходів будуть вищими за фактично зекономлені кошти. Додатковими перевагами попереджувального ТО і Р є подовження життєвого циклу обладнання, можливість оптимізації розміщення запасних частин і додаткових ресурсів.

Цю стратегію залежно від її організації можна додатково класифікувати як ТО і Р за часом і ТО і Р за технічним станом:

1. ТО і Р за часом є попереджувальним ТО і Р за установленими часовими інтервалами або кількістю використання без попереднього визначення технічного стану. Розмірністю інтервалів можуть бути години, зафіксований вік обладнання або кілометри пробігу. Такий підхід є прийнятним, якщо поведінку відмов компонентів обладнання можна спрогнозувати. Для цього існують припущення, базовані на знаннях експертів із настання порогових значень, за якими ймовірність настання відмови є високою. Також залучають статистичні моделі, які дають величину ймовірності настання відмови в певний час.

Найбільшою перевагою ТО і Р за часом є його відносно проста імплементація, оскільки нема потреби провадити моніторинг технічного стану, а лише здійснювати реєстрацію відмов, що також позначається на потребі в меншому фінансуванні заходів із обслуговування та ремонту. Допомагає імплементації розрахунок функції розподілу відмов, яка в подальшому дає змогу математично отримати необхідні характеристики відмов для можливості проведення оптимізації. Отже, чітко визначена програма реалізації ТО і Р за часом має здатність точно прогнозувати майбутні втручання і потрібні для цього ресурси.

Недоліком є складність отримання в деяких випадках статистичних даних через відмови елементів високотехнологічного обладнання.

2. *ТО і Р за технічним станом* є попереджувальним *ТО і Р*, що зважає на оцінювання технічного стану обладнання, аналіз і рекомендації з реалізації подальших заходів із обслуговування та ремонту. Загалом технічний стан обладнання можна визначити декількома шляхами: інспекціями, неруйнівними тестами і/або моніторингом технічного стану. Зокрема в *ТО і Р за технічним станом* моніторинг відіграє фундаментальну роль: упродовж певних інтервалів або безперервно реєструють сигнали (зазвичай вібрації, температури, параметри мастила та оливи, шуму) і використовують їх як деградаційний індикатор для визначення технічного стану елементів обладнання. Досягнення індикатором порогового рівня є свідченням того, що елементи обладнання несправні і потрібно упровадження заходів із *ТО і Р*.

Перевагою *ТО і Р за технічним станом* над *ТО і Р за часом* є можливість ухвалювати рішення, які спираються на визначений достовірний технічний стан обладнання, без потреби в будь-яких припущеннях про його технічний стан. Відповідно з'являється можливість стежити за змінами в деградаційній моделі обладнання для вчасного попередження відмови та уникнення реалізації надмірних заходів із обслуговування і ремонту. Недоліком такого підходу є великий об'єм даних, висока вартість датчиків та апаратури для моніторингу технічного стану, а також наявність складних методів обробки даних. Однак вартість комплектуючих і апаратури для моніторингу з плином часу зменшується завдяки розвитку технологій (рис. 1.5).

Також можна класифікувати *ТО і Р* за рівнем збереженості експлуатаційних характеристик обладнання [6]:

1. *Досконале ТО і Р*. Ужиті заходи в межах такого *ТО і Р* відновлюють технічний стан обладнання до початкових (заводських) характеристик. Типовим прикладом є заміна компонентів обладнання.

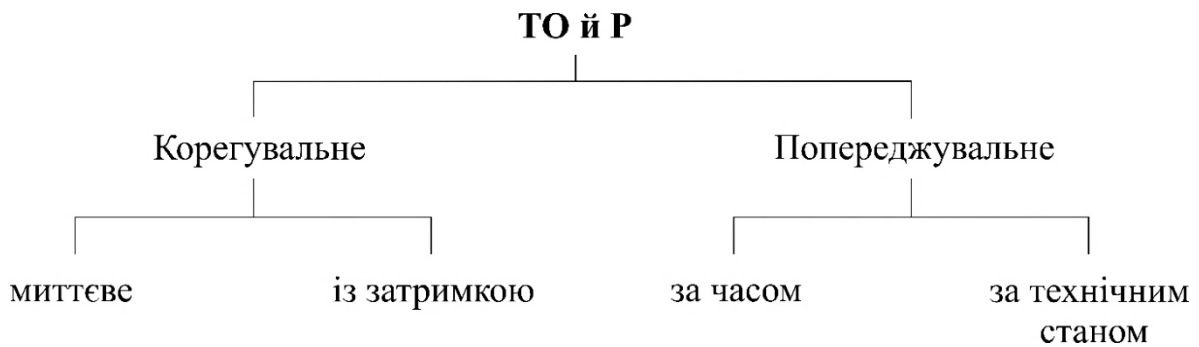


Рис. 1.5. Класифікація стратегій ТО і Р

2. *Мінімальне ТО і Р.* Реалізація заходів таким ТО і Р дає змогу відновлювати технічний стан обладнання до того рівня, який у нього був на момент відмови. Приклад - заміна одного компонента в комплексній системі, що не дає змогу змінити загальний деградаційний рівень системи.

3. *Неповне ТО і Р.* Упровадження заходів таким ТО і Р забезпечує відновлення технічного стану обладнання до середнього рівня між повністю справним і таким технічним станом, який передуює відмові. Неповне ТО і Р провадить заходи з обслуговування та ремонту, які є крайніми випадками як для досконалого ТО і Р, так і мінімального ТО і Р. Приклад – змащення, чищення й ремонт компонентів обладнання, налаштування двигуна.

4. *Гірше ТО і Р,* коли ремонтні заходи спричиняють зростання частоти відмов обладнання та його деградації без визначення самих відмов, тобто характеристики технічного стану обладнання стають нижчими, ніж були до проведення ТО і Р.

5. *Найгірше ТО і Р,* коли ремонтні заходи ненавмисно роблять обладнання непрацездатним. Загалом причинами гіршого і найгіршого ТО і Р можуть бути ремонт хибного вузла обладнання, частковий ремонт несправного елемента, пошкодження інших елементів упродовж ТО і Р, неправильне оцінювання технічного стану вузлів упродовж моніторингу, здійснення ТО і Р поза розкладом, наявність прихованих пошкоджень, які не вдалося виявити впродовж ТО і Р, людські помилки різних видів, зокрема заміна хибними компонентами (рис. 1.6).

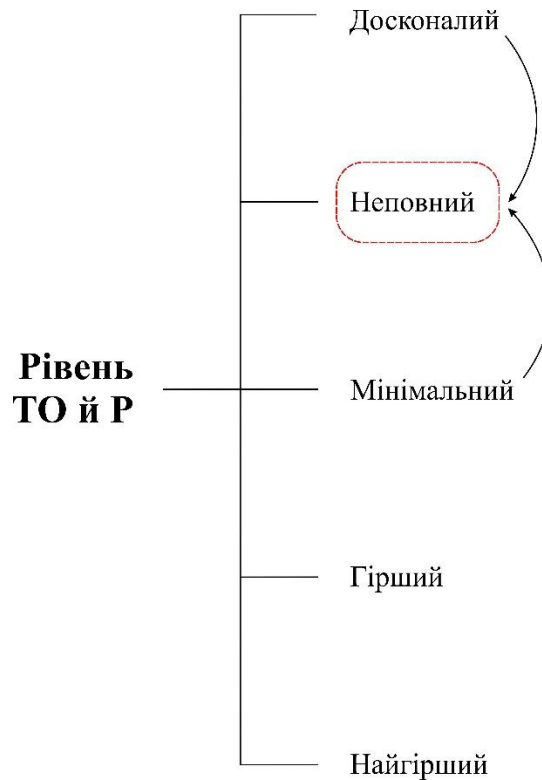


Рис. 1.6. Рівні ТО і Р

Подібно до стратегій ТО і Р рівні ТО і Р також залежать від галузі промисловості, куди потрібно запровадити ТО і Р, вартості, надійності обладнання і вимог безпеки. Переважно в минулому спостерігали обмеження реалізації заходів із обслуговування з наданням переваги досконалому та мінімальному ТО і Р. Пізніше набуло поширення неповне ТО і Р, яке узагальнювало запроваджені заходи з обслуговування й ремонту.

1.2. Сервісне ТО і ПР локомотивів

Традиційне ТО і ПР локомотивів має планово-попереджувальний характер і виконують відповідно до технічної документації заводів-виробників в обов'язковому порядку після певного напрацювання за заздалегідь затвердженим регламентом [7, 8].

Перевага традиційного підходу до ремонту локомотивів полягає в можливості заздалегідь формувати графік робіт. Цей підхід розроблений із розрахунку підтримки належного технічного стану найбільш навантажених вузлів і містить певний об'єм надлишкових робіт, реалізація яких є не завжди виправданою. Такий підхід малоефективний, дорогий відносно отриманої якості, оскільки значна частина обладнання зазнає надлишкового обслуговування в плановому порядку [9, 10]. Також планово-попереджувальна система ремонту не дає змогу підтримувати високий рівень ефективності закордонних локомотивів за обсягом і глибиною оцінювання його технічного стану.

У розвинутих країнах щодо ТО відбувався відхід від практики поточного утримання й ремонту локомотивів та іншого промислового обладнання за часовим принципом регламентованого об'єму робіт на користь виконання робіт за фактичним станом на підставі накопиченого досвіду й значного об'єму діагностування [11-13]. Ремонт за фактичним станом є більш економічним, однак можливий за наявності достовірної інформації про технічний стан вузлів та агрегатів локомотивів. Розвиток засобів автоматизованої діагностики дає змогу наблизитись до системи ремонту з урахуванням фактичного стану: динамічний аналіз інформації про відмови та стан вузлів локомотива, розрахунок та подальше уточнення оптимальних міжремонтних пробігів локомотивів та оптимальних циклів ремонтів.

Розвиток системи сервісного обслуговування в європейських країнах характеризують переважанням закупівельної вартості рухомого складу та витратами на сервісне обслуговування впродовж усіх етапів життєвого циклу локомотива. Додатковим фактором розвитку системи сервісу за кордоном була масштабність і задовільна передбачуваність ринку ТО локомотивів для укладання контрактів на термін до 30 й більше років [14].

Принцип «управління життєвим циклом» (контракт життєвого циклу) є важливою економічною передумовою управління надійністю і ефективністю експлуатації локомотивів і переходом від бюджетного підходу до організації ТО і ПР, коли сплачують за кількість ТО і ПР, до системи сплати СЦ за виконану локомотивами роботу, зокрема кілометри корисного пробігу (магістральних локомотивів) і години роботи (маневрових локомотивів). Сервісне ТО і ПР покликане зважати на дотримання рівня надійності, коли тариф покілометрової роботи помножують на коефіцієнт зниження, якщо коефіцієнт технічної готовності локомотива (КТГ) менший, ніж той, що вказаний у договорі на сервісне обслуговування між залізницею та СЦ, так звана угода щодо сервісного рівня (Service Level Agreement). Отже, управління сервісною системою ТО і ПР економічно принципово відрізняється від досі наявної сервісної системи ТО і ПР [15].

Перехід на сервісну систему ТО і ПР не лише змінить економічне становище депо, але й потребуватиме створення нової системи управління ремонтами в умовах дефіциту ресурсів, а саме підвищення надійності локомотивів із одночасним зниженням собівартості ТО і ПР. Перехід до сервісної системи ТО і ПР локомотивів відповідає світовій практиці розділення експлуатаційної й ремонтної частин життєвого циклу локомотива.

При розробленні моделі сервісного ТО і ПР також слід урахувати особливості SLA. Сервісне обслуговування є досить простим: необхідно виконувати планові види ТО і ПР в установлені терміни, провадити діагностування в установленому порядку й усувати виявлені несправності. Однак такий підхід потребує значного (у 1,5–2 рази) збільшення вартості ТО і ПР, високих витрат на заміну обладнання локомотивів, яке вичерпало свій термін служби, і відновлення верстатного обладнання ремонтних локомотивних депо.

За реалізації сервісного ТО і ПР накладено додаткові вимоги. З одного боку, сервісне обслуговування сучасної промислової продукції, як правило, орієнтовано на життєвий цикл виробу з моменту його виробництва й аж до утилізації. З іншого боку, будь-який сервіс орієнтований на задоволення клієнта (замовник повинен не просто отримувати послугу, але і бути задоволеним роботою з сервісом), що висуває додаткові вимоги: необхідність зважати на психологічні особливості процесу відносин замовник – сервіс. Отже, завдання сервісного ТО і ПР локомотивів, як і промислових систем у цілому, полягає в забезпеченні надійної роботи ТРС. Кількість і тривалість позапланових ремонтів, ТО і ПР обумовлені в технічних умовах на локомотив і спеціальному документі – договорі про рівень обслуговування (SLA).

Традиційна система взаємодії локомотиворемонтних заводів, спеціалізованих майстерень і лінійних підприємств (локомотивних депо) демонструє низьку ефективність в Україні, а за процесів стагнації галузі це супроводжується прискореним погіршенням технічного стану обладнання локомотивів. Спроба перекласти частину витрат на ремонт на локомотивні депо за рахунок впровадження посиленого ремонту в обсязі ПР-3 себе не виправдала, оскільки навіть досить потужні депо не відповідають можливостям локомотиворемонтних заводів. Формування регіональних СЦ й закріплення за ними локомотивних депо на підставі обліку технічного стану локомотивного парку й надання їм відповідних послуг і забезпечення запасними частинами є необхідним кроком до зниження витрат і підвищення надійності локомотивів [15].

Аналізуючи надійність локомотивів, використовують показники «Кількість відмов на 1 млн км пробігу» або «Кількість позапланових заходів у депо». Використання цих параметрів недостатньо для сервісної системи ТО і ПР, оскільки вони відображують тільки зовнішні відносно сервісу показники надійності. Істотну кількість відмов або передвідмовних станів

усувають не тільки при позаплановому заході локомотива в депо, але й упродовж виконання планово-попереджувальних робіт. Для фіксації всіх наявних зауважень щодо технічного стану локомотива досі в кожному депо для будь-якого заходження локомотива існує журнал ремонту локомотивів форми ТУ-28, для заповнення якого використовують усі доступні джерела, зокрема і бортовий журнал форми ТУ-152 з подальшим виставленням відмітки про виконану роботу. Якість заповнення ТУ-28 залежить від людського фактора (кваліфікації та дисципліни майстра); тут не фіксують тривалість ремонтних робіт, використання запасних частин, причини виникнення додаткових робіт. Це визначає потребу в новій автоматизованій моделі управління.

1.2.1. Показники сервісного ТО і ПР локомотивів

Упродовж сервісного ТО і ПР ключовим показником є «Інцидент», що визначає стан локомотива, який відрізняється від його нормальної експлуатації. За цим визначенням, перебування локомотива в будь-якому стані, окрім станів «У голові поїзда», «У подвійній тязі», «Підштовхування» і «Господарчі колійні роботи» є інцидентом — локомотив не виконує корисну комерційну роботу.

Відношення корисного (комерційного) часу локомотива до сумарного об'єктивно оцінює як ефективність використання локомотива, так і його надійність. Для сервісного ТО й ПР основним показником SLA, який інтегрально оцінює невиробничий простій локомотива, прийнято КТГ:

$$КТГ = \frac{T_{n_{пр}}}{T_{n_{пр}} + T_{n_{от}} + T_{n_{пл}} + T_{n_{вит}}} , \quad (1.5)$$

де $T_{n_{\text{пр}}}$ – сумарний час перебування локомотива n -ї серії у працездатному стані (у станах, що належать до типу «Справний» у період експлуатації, що розглядають);

$T_{n_{\text{от}}}$ – сумарний час перебування секції локомотива n -ї серії в непрацездатному стані через гарантійний ремонт (в умовах, пов'язаних із типом «Гарантійний ремонт»);

$T_{n_{\text{пл}}}$ – сумарний час перебування секції локомотива n -ї серії в непрацездатному стані через обслуговування;

$T_{n_{\text{внт}}}$ – сумарний час очікування сервісного обслуговування секції локомотива n -ї серії, а також інші адміністративні витрати, які залежать тільки від дій виконавця.

Рівень КТГ локомотивів низький і потребує підвищення, зокрема за рахунок удосконалення управління ТО і ПР.

Причини втрат КТГ мають комплексний характер:

- простій в очікуванні планово-попереджувального ТО і ПР локомотивів;

- реалізація планово-попереджувальних ТО і ПР, де найбільші втрати КТГ із усіх видів ТО і ПР припадають на ТО-2;

- позапланові ремонти разом з очікуванням пересилання.

Сумарні втрати КТГ пов'язані з організацією процесу планово-попереджувальних ТО і ПР локомотивів, тому підвищення ефективності експлуатації локомотивів істотно залежить від прийнятої моделі організації сервісного ТО і ПР.

Для сервісу важливо знати реальні витрати, що виникають при ТО і ПР, тому необхідно враховувати всі втрати від низької надійності локомотивів. Для цього обрано облік понадциклових робіт, передбачених ППР, зокрема під час виконання ТО-2, ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3. Понадциклові роботи максимально точно відображують наявність низького рівня надійності локомотивів.

Отже, при розробленні моделі сервісного ТО і ПР слід зважати, що модель створюють для умов управління за наявного дефіциту ресурсів і низької надійності локомотивів

- реформа залізничного транспорту;
- посилення економічних методів управління;
- створення сервісної системи ТО і ПР з відмовою від бюджетної системи фінансування ТО і ПР;
- перехід на контракт життєвого циклу при ТО і ПР локомотивів;
- низька надійність локомотивів і старіння парку;
- суттєве зниження КТГ через організаційні й логістичні причини організації ТО і ПР.

Різновид сервісного ТО і ПР глибоко опрацьований у світовій практиці. Більшість положень доведено до рівня міжнародних стандартів (ISO).

Основою сучасного сервісу ТО й ПР є поняття «Контракт життєвого циклу». Життєвий цикл продукту – це сукупність процесів з моменту визначення потреб суспільства в певній продукції до моменту задоволення цих потреб і утилізації продукту. Зазвичай життєвий цикл – це період від розроблення й виготовлення продукції, експлуатації та обслуговування до її утилізації з завершенням експлуатації. До сервісного ТО і ПР належить етап технічної експлуатації.

У світовій практиці добре опрацьовані принципи управління життєвим циклом промислових виробів. З'явився загальновизнаний термін – PLM (Product Lifecycle Management). Основу всіх сучасних PLM становлять інформаційні системи (PLM-системи) [16].

Перше завдання PLM — автоматизація проєктування, здійснювана відповідними системами функціонального та інженерного аналізу, технологічного й конструкторського проєктування (САПР). САПР до ТО і

ПР має відношення тільки в частині надання початкової інформації про конструкцію локомотива.

Друге завдання PLM — управління постачанням комплектування для виробництва й ремонту. Управління постачанням означає просування матеріального потоку з мінімальними витратами. Стосовно сервісу це завдання матеріально-технічного забезпечення (МТЗ). У багатьох системах до складу PLM входить функція електронної комерції. Це завдання також виходить за межі ТО і ПР. До ТО і ПР належить етап автоматизованого управління технологічним процесом (АСУ ТП).

Система управління сервісним ТО і ПР по суті є PLM-системою, до якої застосовані відповідні принципи побудови. В основі системи управління лежить інформаційна система управління (АСУ), на базі якої реалізують науково-обґрунтовані принципи управління якістю і рівнем сервісу.

АСУ ТП — це один з основних напрямів інформатизації та автоматизації промислових підприємств. АСУ ТП — це група технічних і програмних засобів автоматизації управління технологічними верстатами й обладнанням на промислових підприємствах. Управління ТО і ПР локомотивів включає поняття «АСУ ТП».

Організація АСУ ТП ТО і ПР відбувається через мережевий графік — модель виробничого процесу, яка відповідає технологічній послідовності виробничих операцій, включаючи планування робіт і контроль за їх виконанням. При цьому обліковують витрати ресурсів і втрати. Візуалізацію технологічних процесів широко застосовують в АСУ ТП, що підвищує ефективність управління. Організація ТО і ПР також має бути наочно візуалізована.

1.2.2. Візуалізація управління технологічним процесом

Одним із найпопулярніших способів візуалізації процесу управління є діаграми Ганта – відрізки, розміщені на горизонтальній шкалі часу. Кожен відрізок відповідає окремому проєкту, завданню або підзавданню. Проєкти, завдання й підзавдання, які визначають план, розміщені по вертикалі (кожному рядку відповідає одна дія, операція). Початок, кінець і довжина відрізка на шкалі часу відповідають початку, кінцю й тривалості завдання [17].

Кожна операція зображена синім квадратом, довжина якого пропорційна тривалості операції. Стрілки показують послідовність виконання операцій.

Діаграми Ганта зручні в управлінні завдяки здатності їх комплексного використання, прикріплення даних до кожної операції. Вони дають змогу менеджерам усіх рівнів контролювати виробничі процеси на потрібному рівні деталізації:

- розглядати технологічний процес (від заходження локомотива в депо до його виходу) укрупнено з точністю до технологічної операції. Перехід від одного рівня до іншого можливий в інтерактивному режимі завдяки вибору операції, яка цікавить;

- вводити в рядку операції числові й текстові дані, які стосуються цієї операції: час, вартість, витрати праці тощо;

- здійснювати індивідуальні налаштування;

- одночасно відображувати типовий мережевий графік, поточний план і фактичне виконання: усі три, частково або один із них;

- роздруковувати графік;

- експортувати дані до Excel;

- забезпечувати інформаційне супроводження системи управління базою даних (СУБД);

- мати інтерактивні можливості підтримки ухвалення рішень;

— порівнювати фактичний стан одночасно декількох об'єктів ремонту;

— автоматично визначати фактичний дефіцит трудових, матеріальних ресурсів на поточну дату й будувати прогноз із випередженням не менше 15 календарних днів, прогнозувати залежно від даних, які вводять (перспективне завдання);

— передбачати можливість побудови графіка не лише під час перебування локомотива в депо, але й для можливих підготовчих і фінальних операцій, які реалізують до заходження й після виходу локомотива з депо (особливо при проведенні ПР-3). Наприклад, техпроцес ремонту ТЕД, допоміжних машин починається задовго до надходження локомотива в ремонт завдяки наявності перехідного комплекту обладнання, а частину обладнання, демонтовану в процесі ремонту локомотива, після відповідного ремонту встановлюють на наступний локомотив. Це обумовлено тим, що час на ремонт окремих вузлів не закладений у норматив простою локомотива в ремонті, і тим, що окремі вузли потребують заводського виду ремонту за станом або пробігом.

Програмне забезпечення АСУ ТП для автоматизації мережевого планування й управління промисловим підприємством поширено на ринку програм автоматизації технологічних процесів.

Найпопулярнішим у світі пакетом програм для реалізації діаграм Ганта є програма управління проєктами Microsoft Project, яка дає змогу реалізувати будь-яку конфігурацію системи, він найбільш гнучкий і універсальний і не прив'язаний до конкретних завдань управління.

Мережевий графік ремонту для локомотивних депо online контролює виконання ремонту з виведенням інформації на екран монітора в цехах депо. У СЦ також можна автоматизувати управління складами, постачанням, персоналом, фінансами. Вирішують завдання з управління конструкторською і технологічною підготовкою виробництва,

номенклатурою виробництва (системою управління каталогами) та обладнанням (рис. 1.7).

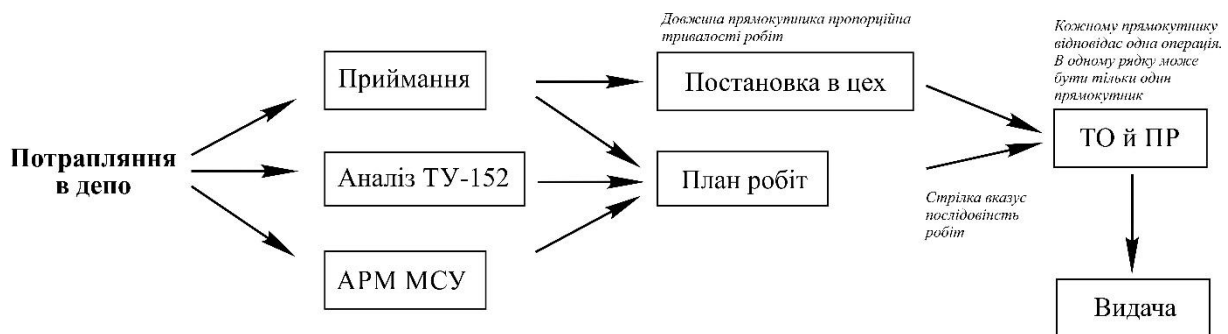


Рис. 1.7. Особливості мережевого планування в діаграмах Ганта

Основні вимоги до сервісної моделі управління ТО і ПР:

- модель має суттєво підвищити ефективність ТО і ПР із отриманням економічного ефекту;
- модель позиціонують як ключовий елемент АСУ ТП;
- модель має передбачати візуалізацію, бажана можливість перегляду мережевого графіка у вигляді графа;
- функціональну й графічну основу моделі мають становити діаграми Ганта, які слід прив'язати до всіх необхідних для управління даних, мати здатність адаптуватись до розв'язання завдань (виведення планових і фактичних показників, зміна планової тривалості операції тощо);
- модель має бути розподіленою системою управління, працювати в Internet з можливістю віддаленого доступу до даних;
- модель має дозволяти відстежувати життєвий цикл будь-якого інциденту – ситуації, яка відрізняється від нормальної експлуатації локомотивів (планові ТО і ПР, відмови й позапланові ремонти, зауваження машиністів, передвідмовні стани тощо);
- модель має бути вбудованою в систему управління підприємством (ERP-систему (інтегроване управління всіх бізнес-процесів)).

Окрім перелічених основних вимог, до моделі висувають і специфічні вимоги.

Масштабованість: здатність системи, мережі або процесу впоратися зі збільшенням робочого навантаження (збільшувати свою продуктивність) при додаванні ресурсів (зазвичай апаратних); модель має дозволяти збільшувати продуктивність пропорційно додатковим ресурсам; масштабованість має відбуватись без структурних змін системи.

Багаторівневе управління: модель має дозволяти управляти технологічними процесами на різних рівнях управління – окремим технологічним процесом (заміна агрегата на локомотивів) і його підпроцесами; групою процесів (ТО або ПР одного локомотива; потрапляння локомотива до депо; робота депо упродовж зміни, доби, місяця, кварталу й року; ТО, ПР і НР на цілому полігоні; ТО, ПР і НР у цілому по депо; ТО, ПР і НР у цілому у філіалі; ТО, ПР і НР у цілому в сервісній компанії).

«Свердлення» — здатність переходити з елемента одного рівня мережевого графіка на мережевий графік підлеглого рівня, зокрема з використанням візуальних елементів управління.

1.2.3. Структура управління сервісним ТО і ПР локомотивів

Для вивчення структури управління сервісним ТО і ПР локомотивів слід розглянути базові функційні підсистеми, складові інформаційно-динамічної моделі (рис. 1.8).

1. Організація моніторингу експлуатації і технічного стану локомотивів полягає в збиранні інформації про роботу локомотива, режими експлуатації локомотивів і технічний стан із бортових МСУ, а також (у випадку нестачі інформації) зі стаціонарних і переносних автоматизованих систем технічного діагностування, які використовують у депо.

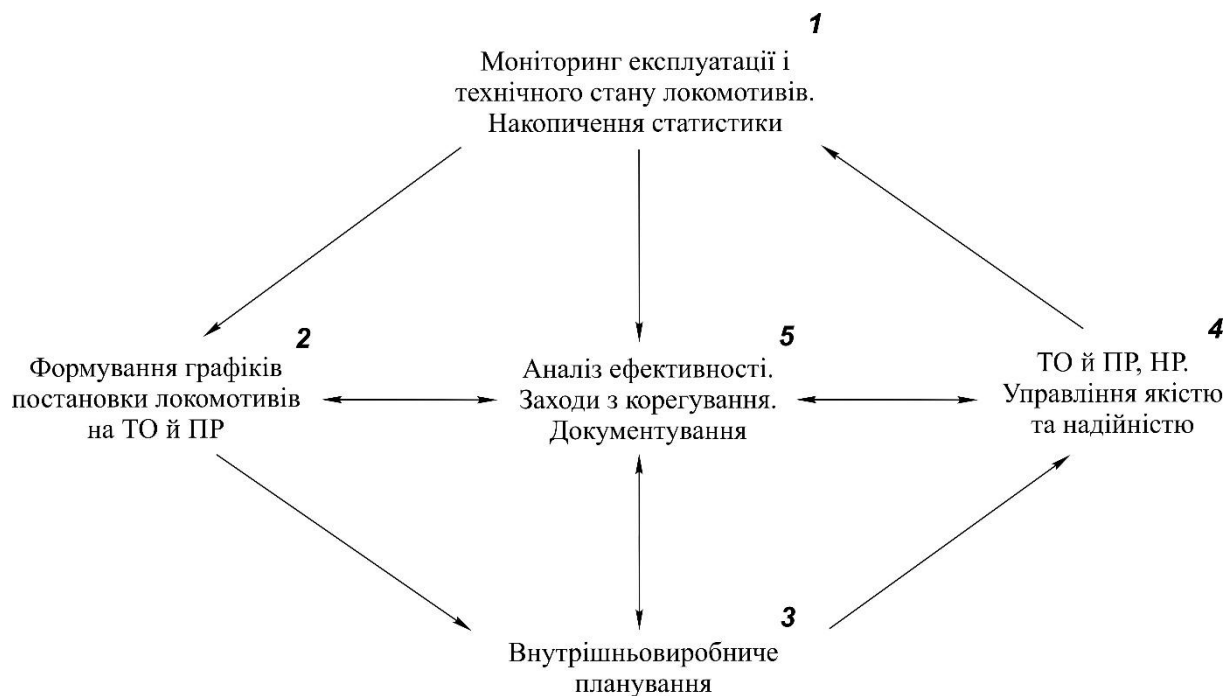


Рис. 1.8. Базові функційні підсистеми моделі управління сервісним ТО і ПР локомотивів

На цьому етапі роботи моделі визначають фактично виконаний локомотивом об'єм роботи (пробіг, тонно-кілометрова робота, витрати пального та електроенергії, кВт·год, наявні порушення режимів експлуатації та їхню кількість). Одночасно визначають фактичний стан локомотива як набір параметрів, що характеризують правильність функціонування обладнання й працездатність локомотива, справність вузлів і обладнання локомотива.

2. Організація постановки локомотивів на ремонт, формування графіків постановки локомотивів на ремонт: оперативне й довготривале планування з обліком параметрів експлуатації локомотива і його фактичного технічного стану.

На цьому етапі роботи моделі з даними про виконану локомотивом i роботу A_i , його технічний стан Q_i стан і нормативний міжремонтний пробіг $A_{\text{норм}}$ визначають дату D_{Li} постановки i -го локомотива L_i на ТО або ПР як

$$D_{Li} = f(A_i, A_{\text{норм}}, Q_i). \quad (1.6)$$

У результаті формують графік постановки локомотивів на ремонт D як сукупність дат для постановки на ТО і ПР кожного з локомотивів:

$$\{D_{L1}, D_{L2}, \dots, D_{Li}, \dots, D_{LN}\}, \quad (1.7)$$

де N — загальна кількість депо.

3. Внутрішньовиробниче планування: ресурси для виконання ремонтів R охоплюють трудові, інструментальні, інфраструктурні (канави, колії тощо) ресурси, ремонтні обладнання (верстати з обточування, скатопідйомники, крани, домкрати тощо), запасні частини (товарно-матеріальні цінності) і матеріали повторного використання, електроенергію, паливе, інші види ресурсів. Внутрішньовиробниче планування ресурсів здійснюють за прогнозним (річним, кварталним, місячним) і оперативним (декадним, тридобовим, добовим) графіками ремонту D . Ресурси Z для виконання ремонтів R формують за даними з об'єму виконаної роботи A й даних із фактичного стану локомотивів Q . При цьому зважають на норматив споживання ресурсів $Z_{\text{норм}}$ і статистику їх споживання $Z_{\text{стат}}$:

$$Z_i = f(A, Q, Z_{\text{норм}}, Z_{\text{стат}}), \quad (1.8)$$

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_M\}, \quad (1.9)$$

де Z_i — потреба в i -му ресурсі;

M — кількість видів ресурсів, необхідних для організації ТО і ПР.

На підставі потрібних ресурсів Z організують матеріально-технічне забезпечення ТО і ПР.

4. Організація управління виробничими процесами (ТО, ПР, НР).

На цьому етапі роботи моделі згідно з графіком постановки локомотивів D , виділеними ресурсами Z і фактичним станом локомотива Q організують технологічні виробничі процеси ТО і ПР R локомотивів L в умовах депо R :

$$R_i = f(D_i, A_i, Q_i, Z_i), \quad (1.10)$$

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_M\}, \quad (1.11)$$

де R_i — i -та операція (робота), виконувана в процесі ТО і ПР локомотива;

N — кількість технологічних операцій, потрібних для ТО і ПР локомотива.

РОЗДІЛ 2

2.1. Організація процесу внутрішньовиробничого планування

Однією з важливих умов стійкості процесів ТО і ПР є забезпечення технологічних процесів запасними частинами [18]. Для організації стійкого ТО і ПР необхідно забезпечити виробничий процес ресурсами Z , споживання яких в умовах депо характеризується високою варіабельністю. Потреба в запасних частинах, ТМЦ, МПВ залежить від невизначеності характеру й об'єму несправностей, які виникли додатково на локомотиві з потраплянням його в депо Q і потребують понадциклових робіт R . При цьому час на ухвалення рішення вкрай обмежений: тривалість ремонту в обсязі ТО-2 лише 1,5 год, ТО-3 — 12-18 год, ПР-1 — 18-36 год. Можлива ситуація, коли для понадциклових робіт може не бути запасних частин Z : тому необхідно розв'язати задачу управління незнижуваним запасом ΔZ (рис. 2.1).

В основу алгоритму покладено емпіричну формулу, де аргументами функції є дані статистики витрат і надходження кожної ТМЦ:

$$\Delta Z_i = P \cdot \left(\sqrt{\left(\sigma_H^2 \cdot M_{Z_i}^2 \right) + \left(\frac{H \cdot \sigma_{M_{Z_i}}}{T} \right)^2} \right), \quad (2.1)$$

де ΔZ_i — розрахунковий незнижуваний запас;

T — період розрахунку $\sigma_{M_{Z_i}}$, дні;

M_{Z_i} — математичне сподівання потреби в ТМЦ за добу,

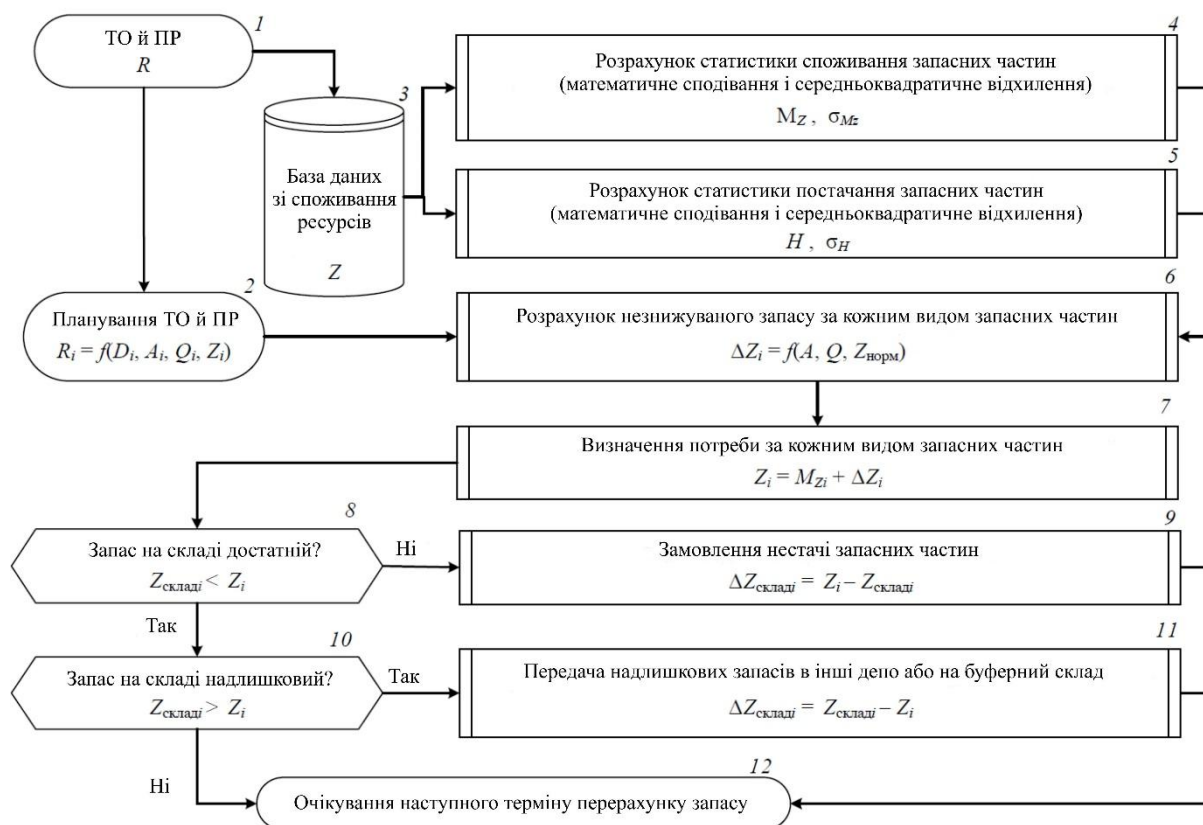


Рис. 2.1. Управління незнижуваним запасом запасних частин

$$M_{Z_i} = \frac{\sum_{i=1}^{\max} x_i}{\max}, \quad (2.2)$$

де x_i — витрати деталі за i -й день спостереження;

$\max$ — кількість днів спостереження;

R — заданий рівень обслуговування;

$\sigma_{M_{Z_i}}$ — середньоквадратичне відхилення середньомісячної потреби MM_{Z_i} ,

$$\sigma_{M_{Z_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\max} (x_i - MM_{Z_i})^2}{\max}}, \quad (2.3)$$

де $MM_{Z_i} = 30 \cdot M_{Z_i}$ — математичне сподівання споживання деталей за місяць;

H — математичне сподівання часу доставлення з буферного складу ТМЦ, дні,

$$H = \frac{\sum_{j=1}^{m_x} y_j}{m_x}, \quad (2.4)$$

де y_j — час j -го постачання;

m_x — кількість спостережень постачань (кількість приходів);

Середньоквадратичне відхилення (СКВ)

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m_x} (y_j - H)^2}{m_x}}. \quad (2.5)$$

Необхідна кількість i -ї деталі на складі

$$Z_i = T \cdot M_{Z_i} + \Delta Z_i. \quad (2.6)$$

У цьому випадку замовлення i -ї деталі $\Delta Z_{\text{склад}_i}$ визначають як різницю між потребою в цій деталі Z_i і її залишком на складі $\Delta Z_{\text{склад}_i}$:

$$\Delta Z_{\text{склад}_i} = Z_i - \Delta Z_{\text{склад}_i}. \quad (2.7)$$

Незнижуваний запас веде до надмірного утримання на складі. В ідеальному випадку, коли відсутні розкидання в споживанні й постачанні, незнижуваний запас не потрібний. Нерівномірність споживання комплектування може призвести до збільшення незнижуваного запасу. Зростання об'єму споживання або термінів постачання збільшують незнижуваний запас. У разі створення неприпустимо великих запасів з'являється потреба в буферних складах.

Самонавчальна система розрахунку незнижуваного запасу за кожним видом ТМЦ полягає в тому, що в процесі ремонту майстер замовляє зі складу необхідні деталі в розрахунковій кількості. При цьому запас на складі автоматично підтримують шляхом розрахунку заявки на постачання з буферного регіонального складу [19].

Як приклад розглянемо придбання підприємством k запасних деталей, а впродовж експлуатації установки потрібно n . Вартість однієї деталі з урахуванням витрат на її постачання й зберігання позначатимемо c_1 , а збиток підприємства через нестачу запасних частин — c_2 . У разі $n \leq k$ витрати підприємства визначатимуть як $c_1(k - n)$. Якщо $n > k$, то збиток становить $c_2(n - k)$.

Зважаючи на те, що кожному значенню n відповідає своя ймовірність P_n , слід обчислити математичне сподівання збитку підприємства, яке є функцією витрат

$$B(k) = c_1 \sum_{n=0}^k P_n(k - n) + c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} P_n(n - k) \rightarrow \min. \quad (2.8)$$

Отже, за заданого закону розподілу потрібної кількості запасних частин і відомих параметрів c_1 і c_2 слід відшукати величину k , за якої математичне сподівання сумарних витрат буде мінімальним.

Обчислимо таке значення $k = k_0$, при якому функція (2.8) мінімальна.

Для цього потрібно обчислити $B(k+1)$ і $B(k-1)$

$$\begin{aligned}
 B(k+1) &= c_1 \sum_{n=0}^{k+1} (k+1-n)P_n + c_2 \sum_{n=k+2}^{\infty} (n-k-1)P_n = \\
 &= c_1 \sum_{n=0}^k (k+1-n)P_n + (k+1-k-1)P_{k+1} + \\
 &+ c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k+1)P_n - c_2 (k+1-k-1)P_{k+1} = \\
 &= c_1 \sum_{n=0}^k (k-n)P_n + c_1 \sum_{n=0}^k P_n + c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k)P_n - c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} P_n.
 \end{aligned}$$

Зважаючи на те, що $\sum_{n=k+1}^{\infty} P_n = 1 - \sum_{n=0}^k P_n$, матимемо

$$\begin{aligned}
 B(k+1) &= c_1 \sum_{n=0}^k (k-n)P_n + c_2 \sum_{n=k+1}^{\infty} (n-k)P_n + \\
 &+ (c_1 + c_2) \sum_{n=0}^k P_n - c_2 = B(k) + (c_1 + c_2) \sum_{n=0}^k P_n - c_2.
 \end{aligned}$$

Аналогічно можна довести, що

$$B(k-1) = B(k) - (c_1 + c_2) \sum_{n=0}^{k-1} P_n + c_2. \quad (2.9)$$

Нехай при $k = k_0$ функція $B(k_0)$ мінімальна, тоді

$$B(k_0+1) > B(k_0),$$

$$B(k_0-1) > B(k_0).$$

Виконання цих нерівностей еквівалентно виконанню умов

$$(c_1 + c_2) \sum_{n=0}^{k_0} P_n - c_2 > 0,$$

$$-(c_1 + c_2) \sum_{n=0}^{k_0-1} P_n + c_2 > 0.$$

З цієї системи нерівностей випливає, що

$$\sum_{n=0}^{k_0} P_n > \frac{c_2}{c_1 + c_2},$$

$$\sum_{n=0}^{k_0-1} P_n < \frac{c_2}{c_1 + c_2}.$$

Звідси отримаємо умову, визначальне значення k_0 ,

$$\sum_{n=0}^{k_0-1} P_n < \frac{c_2}{c_1 + c_2} < \sum_{n=0}^{k_0} P_n.$$

Отже, розв'язання задачі зведено до такого:

— будують кумуляту функції розподілу потрібної кількості запасних

частин $F(k) = \sum_{n=0}^k P_n$;

— обчислюють відношення $\frac{c_2}{c_1 + c_2}$;

— визначають інтервал значення k , усередині якого функція розподілу

дорівнює $\frac{c_2}{c_1 + c_2}$;

— вибирають верхню межу цього інтервалу, яка дорівнює згаданому значенню k_0 .

Зважаємо на те, що потреба в запасах підпорядкована закону Пуассона

$$f(k) = \frac{a^k}{k!} e^{-a}, \quad (2.10)$$

де a — математичне сподівання величини використовуваних запасів.

Значення k може набувати значень від 0 до k . До табл. 2.1 занесемо розподіл закону Пуассона для $a_1 = 0,5$, $a_2 = 1$, $a_3 = 2$.

Таблиця 2.1

Розрахунок математичного сподівання величини використовуваних запасів

k	0	1	2	3	4
f(k)	e^{-a}	ae^{-a}	$\frac{a^2}{2}e^{-a}$	$\frac{a^3}{6}e^{-a}$	$\frac{a^3}{24}e^{-a}$
$a_1 = 0,5$	0,607	0,3037	0,076	0,0127	0,00116
$a_2 = 1$	0,37	0,37	0,185	0,06	0,015
$a_3 = 2$	0,136	0,272	0,272	0,182	0,0907

На підставі даних з табл. 2.1 розраховуємо $F(k) = \sum f(k)$ і будуємо графік (рис. 2.2).

Якщо $\frac{c_2}{c_1 + c_2}$ дорівнює, наприклад, $\bar{c} = 0,8$, то, за рис. 2.2, при $a_1 = 0,5$ потрібна одна одиниця запасу, при $a_1 = 1$ — дві, при $a_1 = 2$ — три.

При зростанні $\bar{c}$ зростає й потреба в запасах, що є логічним із міркувань зростання витрат, обумовлених браком запасів [14].

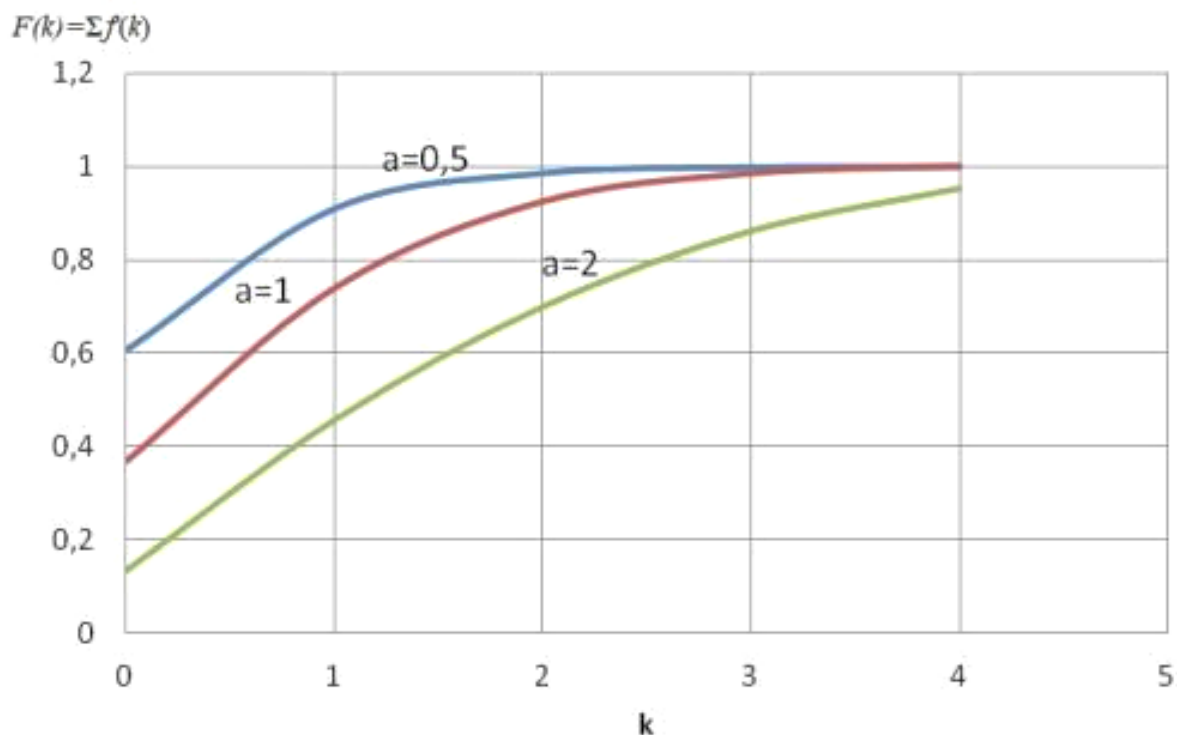


Рис. 2.2. Графік функції розподілу потрібної кількості запасних частин

2.2. Організація управління трудовими й виробничими ресурсами

Головна особливість трудових ресурсів — це те, що ресурсом є люди (суб'єкти), які повинні регулярно одержувати зарплату, мати соціальний захист. На відміну від матеріальних ресурсів, трудові не можна законсервувати, мати незнижуваний запас. Можливо тільки реалізувати перерозподіл між ділянками й цехами, довгострокову роботу з підготовки кадрів.

Алгоритм управління трудовими ресурсами показаний на рис. 2.3. Потребу в трудових ресурсах і їхній кваліфікації визначають на підставі планованого об'єму ТО і ПР (блок 2). За потреби відбувається перерозподіл працівників між цехами (блок 5). Можливий виклик фахівців з інших депо (вахтовий метод). Якщо не можна забезпечити трудовими ресурсами, то потрібно змінити план ТО і ПР на користь інших ремонтних підрозділів (блок 6).

Періодично слід аналізувати ефективність використання трудових ресурсів (блок 8) з їхньою подальшою оптимізацією (блок 9). Також необхідно аналізувати відповідність кваліфікації персоналу (блок 10) (з подальшим навчанням (блок 11) і довгостроковим плануванням трудових ресурсів (блок 12)).

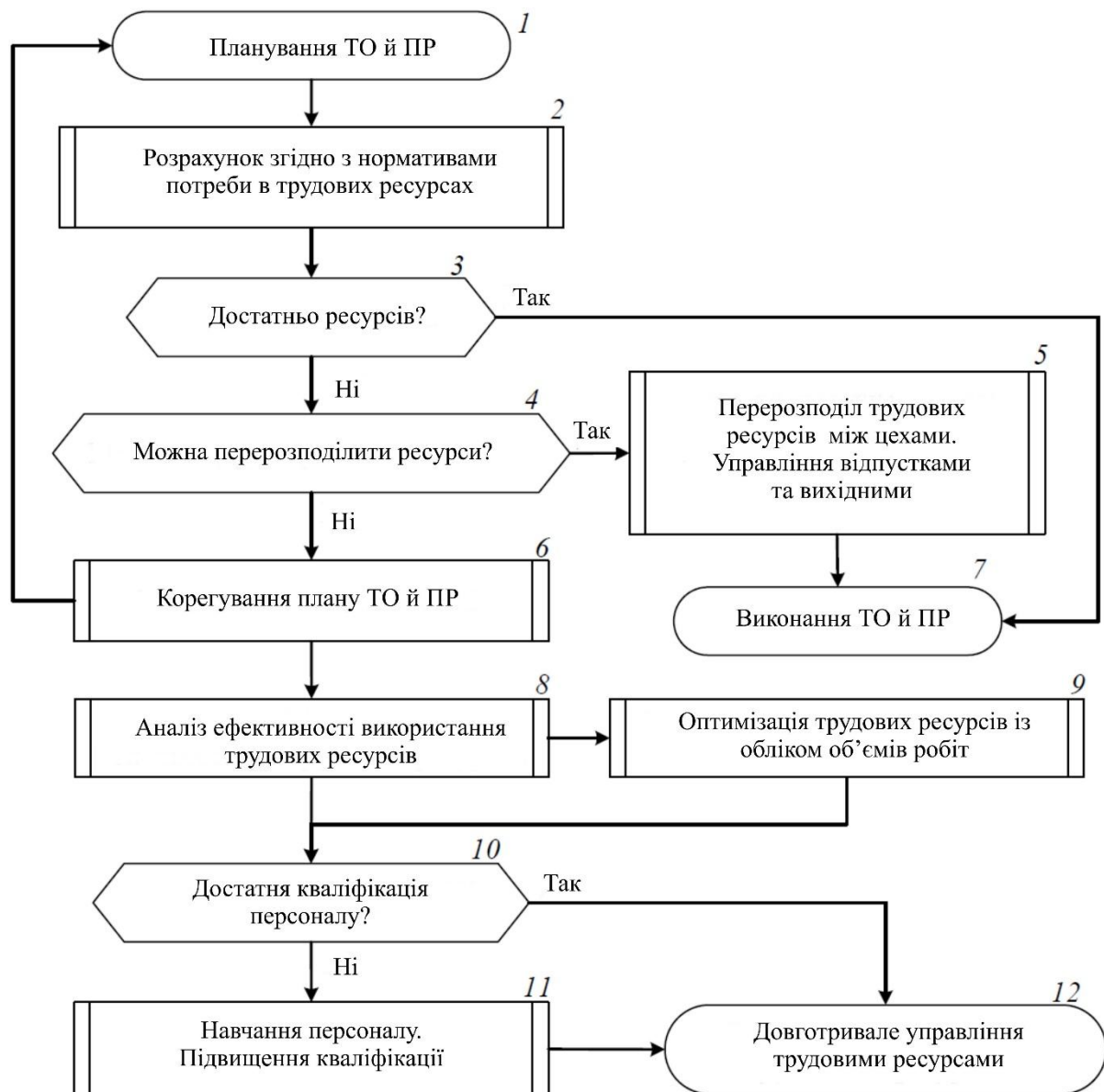


Рис. 2.3. Управління трудовими ресурсами

Ще одна особливість трудових ресурсів, на відміну від ресурсів запасних частин, — можливість підвищення продуктивності праці як за

рахунок її інтенсивності (до 30-50 %), так і впровадження передових методів управління, зокрема методів Lean Production [20, 21] і Toyota Production System [22, 23].

При управлінні трудовими ресурсами особливу роль відіграє мотивація працівників провадити ефективну працю. При цьому слід використовувати сучасні підходи до мотивації [24], наприклад ієрархічну модель потреб людини, запропоновану американським психологом А. Маслоу: монетарна мотивація (фізіологічні потреби), гарантія безпеки (в усіх смислах, зокрема гарантія роботи), наявність умов для родини, забезпечення соціального статусу й можливість самоактуалізації та самовираження.

Отже, математичний підхід теорії черг для управління запасом деталей і вузлів на складі непридатний для управління трудовими ресурсами. За великої кількості рекомендацій і стандартів управління людьми не можна формалізувати, а потрібно залучати індивідуальні підходи. Завдання моделі в цьому випадку — забезпечити необхідною статистикою з потреб у працівниках і їхньої кваліфікації, ефективності їхньої роботи. Також важливою є формалізація розрахунків показників ефективності (KPI) фахівців для подальшої мотивації з максимальним скороченням суб'єктивного фактора при мотивації.

Аналогічно до складських запасів і трудових ресурсів слід планувати і всі інші ресурси депо, включаючи обладнання, оснащення та інструменти (рис. 2.4).

Основним ресурсом, що лімітує, є матеріально-технічне забезпечення: запасні частини й матеріали, МПВ (вузли й деталі локомотива, зняті як несправні або підлягають технічному обслуговуванню в цехах депо, на локомотиворемонтних заводах або інших підприємствах, які залучають за схемою аутсорсингу). Іншим ресурсом, що лімітує, слугують трудові ресурси. Обладнання, що лімітує в депо, — обточувальні верстати, скатопідіймачі, мостові крани.

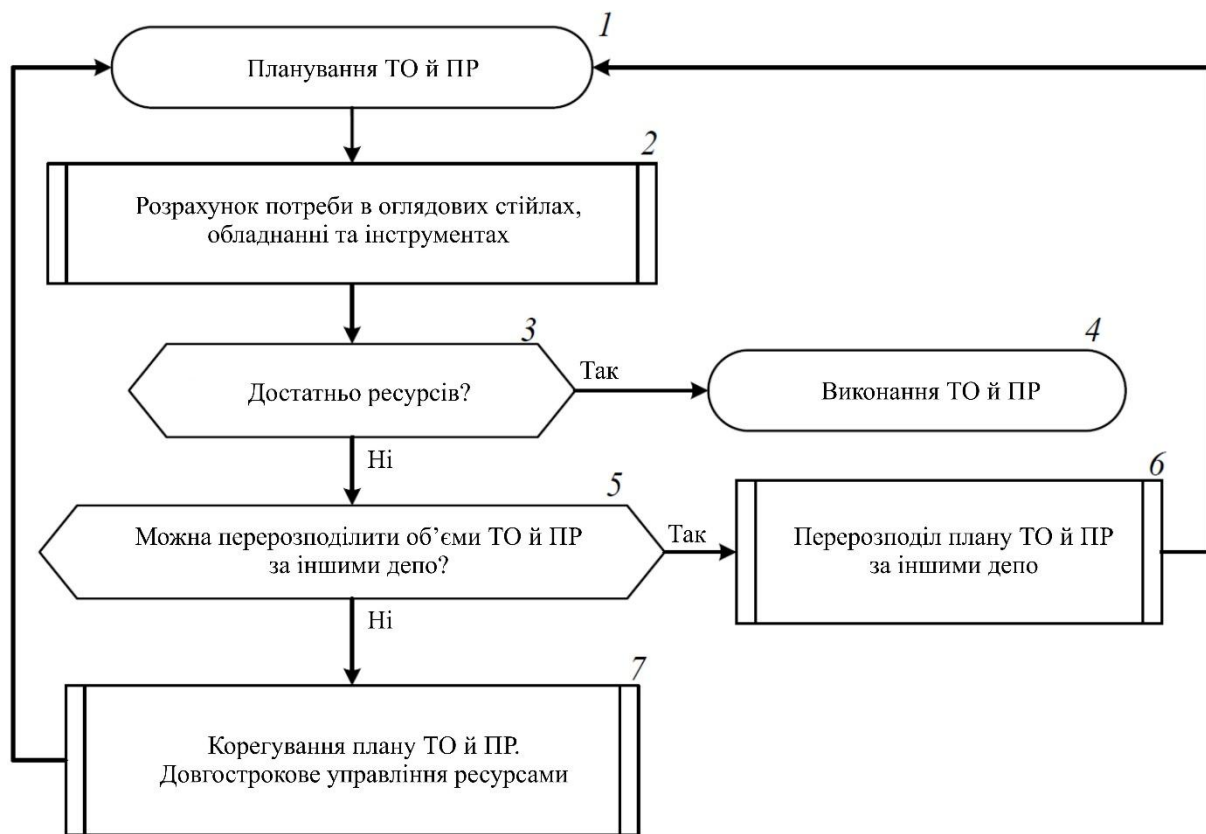


Рис. 2.4. Управління ресурсами депо

Інструмент не є таким, що лімітує, оскільки за відсутності встановленого інструмента використовують наявний, що може призвести до зниження якості ремонту.

Управління витратами — одна з найважливіших функцій моделі (рис. 2.5).

Прямі витрати на ТО і ПР можна поділити на дві групи: основні й додаткові. Основні витрати пов'язані з виконанням циклових робіт згідно з технологією планово-попереджувальних ремонтів. Додаткові витрати пов'язані з виконанням понадциклових робіт згідно з зауваженнями з технічного стану локомотивів.

Головним тут є метод Кіплінга, за яким слід аналізувати причини виникнення додаткових (понадциклових) робіт із подальшим вживанням корегувальних заходів [25].

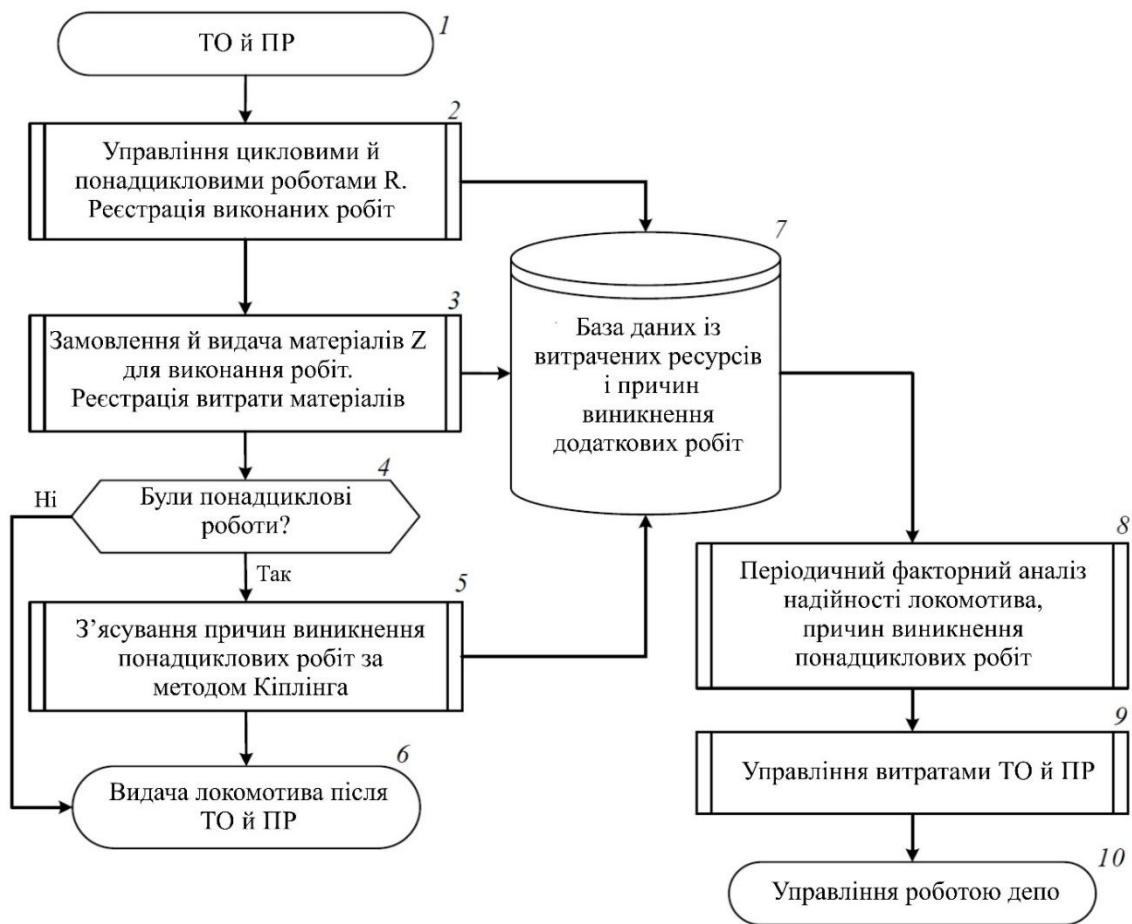


Рис. 2.5. Управління витратами

2.2.1. Метод Кіплінга

Метод Кіплінга, або метод «5W+1H+1S», застосовують для розроблення корегувальних/попереджувальних дій для усунення причин невідповідностей/потенційних невідповідностей. Метод також може бути використаний для написання робочих інструкцій у тих випадках, коли, виконуючи певні кроки, необхідно досягти заданої мети [26].

Назва методу — це перші літери питань, на які слід відповісти з формулюванням заходів:

5W:

What? — ЩО потрібно зробити?

Why? — НАВІЩО це потрібно зробити?

Who? — ХТО це повинен зробити?

Where? — ДЕ це слід робити?

When? — КОЛИ це слід зробити?

1H:

How? — ЯК це слід робити?

1S:

Status? — СТАТУС заходів.

Результатом використання методу «5W+1H+1S» є підвищення результативності й ефективності корегувальних/попереджувальних дій.

Застосування методу «5W+1H+1S» не залежить від місця його використання. Послідовність кроків з планування й виконання заходів:

— розроблення плану реалізації заходів, що містять графік реалізації з зазначенням термінів і відповідальних осіб;

— подання інформації про заходи у вигляді, який є достатнім для аналізу, контролю й моніторингу виконання заходів;

— можливість оцінювання результативності й ефективності пропонованих заходів.

Типовий алгоритм із реалізації методу «5W+1H+1S» наведений на рис. 2.6.

2.2.2. Реалізація методу Кіплінга

Для реалізації методу Кіплінга з використанням усієї доступної інформації керівник структурного підрозділу (власник процесу) призначає виконавця, що має достатню компетентність, знання і досвід.

План заходів розробляє виконавець відповідно до встановлених правил (усередині підрозділу) після одержання з привласненим реєстраційним номером.

Вимоги з заповнення форми «5W+1H+1S»

«Що?» — визначення заходу.

У полі «Що» слід сформулювати захід, який потрібно реалізувати.

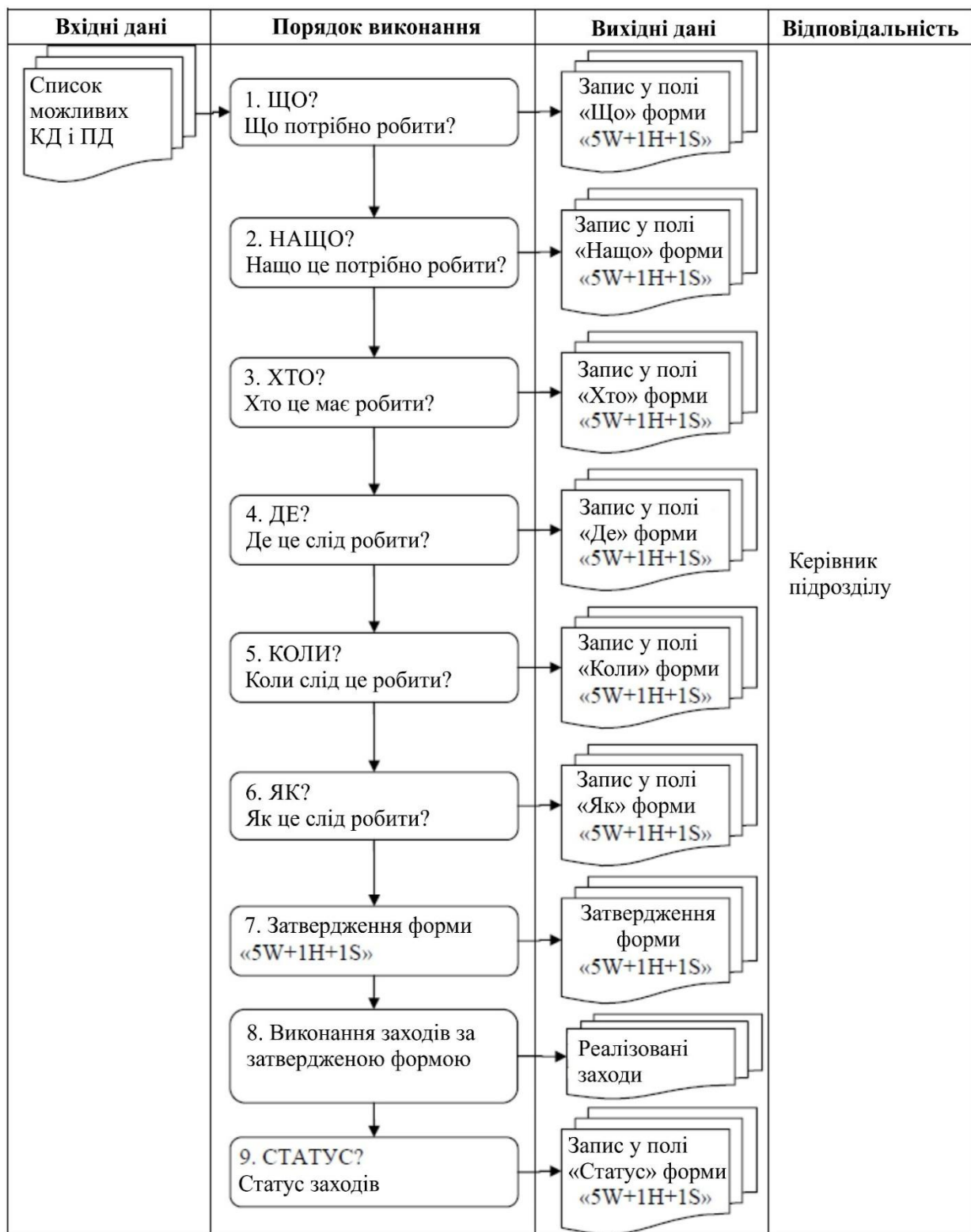


Рис. 2.6. Схема здійснення діяльності з реалізації методу «5W+1H+1S»

Захід має бути спрямований на усунення причини виникнення невідповідності/потенційної невідповідності.

Захід бажано сформулювати у вигляді конкретного завдання, що задовольняє такі умови:

- оцінювання результату в кількісних показниках;
- обмеження в часі;
- визначення необхідних ресурсів.

За необхідності виконавець проводить узгодження з зацікавленими сторонами (наприклад постачальниками, споживачами, задіяними підрозділами тощо).

Можлива ситуація, коли виконання заходу після узгодження визнано недоцільним, у цьому випадку виконавець повинен зробити відповідну оцінку в полі «Статус» із зазначенням причини й оформити службову записку керівникові структурного підрозділу.

«Навіщо?» — навіщо захід потрібно виконати.

Потрібно описати в полі «Навіщо» необхідність застосування такого заходу.

Можна вказати причину виникнення невідповідності/потенційної невідповідності, для виключення якої будуть вживати заходів.

Формулювання може передбачати певний метод розв'язання, може містити інформацію про вжиті заходи (наприклад інформацію про вже проведені корегувальні дії).

Формулювання може розглядати взаємозв'язок певного заходу з іншими.

«Хто?» — призначення виконавця.

У полі «Хто» слід зазначати посаду виконавця, відповідального за виконання цього заходу. Також можна зазначити ПІБ.

Виконавцеві мають бути делеговані відповідальність, відповідні повноваження й виділені ресурси для виконання такого заходу.

«Де?» — зазначення місця реалізації корегувальних дій.

Необхідно вказати в полі «Де» місце або об'єкт, до якого будуть застосовані заходи.

Місце/об'єкт мають бути конкретно ідентифіковані (цех, депо, ділянка колії, підрозділ, номер робочого місця, назва операції).

Приклад: УЗ, локомотивне депо «Харків-Головне» ділянка «випробування ТЕД», місце контролю якості ремонту ТЕД.

«Коли?» — визначення терміну виконання.

Термін виконання заходу зазначають часовим інтервалом із дати початку до дати завершення реалізації заходу, а також окремим рядком зазначають термін (за необхідності можна вказати часовий інтервал), коли інформація про статус заходу має надійти керівникові структурного підрозділу. Якщо необхідно, дату виконання заходу можна уточнювати часом.

Приклад: періодичність заточення інструменту, час обслуговування обладнання.

Періодичність моніторингу виконання заходів визначає керівник структурного підрозділу виходячи зі значущості такого заходу. За необхідності періодичність моніторингу виконання заходів вказують додатково в полі «Коли».

Відповідальність за дотримання термінів виконання заходу й інформування керівника структурного підрозділу про виконання термінів покладена на виконавця заходу (поле «Хто»).

Перенесення заходів можливе в окремих випадках при узгодженні з керівником структурного підрозділу. Термін ініціації перенесення визначає керівник структурного підрозділу. Перенесення оформляє виконавець заходу (поле «Хто») службовою запискою.

Керівник структурного підрозділу повинен одержати підтвердження, а виконавець інформувати про статус заходу не пізніше останнього дня зазначеного в полі «Коли».

У випадку недотримання термінів виконавець заходу (поле «Хто») повинен:

- заздалегідь проінформувати про це керівника структурного підрозділу;
- занести в поле «Статус» форми «5W+1H+1S» статус заходу й причину(и) недотримання термінів;
- погодити з керівником структурного підрозділу новий термін виконання заходів;
- передати стару й одержати нову форму «5W+1H+1S» зі зміненими термінами або відмову в її отриманні.

За відсутності інформації про виконання заходу або недотримання термінів виконання заходу керівник структурного підрозділу повинен надіслати запит виконавцеві щодо інформації про статус заходу й причини порушення термінів виконання.

Якщо захід виконаний, то керівник структурного підрозділу робить у полі «Статус» відповідний запис із зазначенням причини, чому інформація про статус не була оприлюднена; якщо не виконаний, то керівник структурного підрозділу вказує причини невиконання й чому інформація про статус не була оприлюднена, зазначає новий термін виконання.

«Як?» — визначення способів.

Слід визначати можливі способи виконання заходу.

Необхідно проаналізувати кожний запропонований спосіб:

- щодо досягнення цілей (поле «Навіщо»);
- задоволення бюджету/ресурсів;
- виявлення ризиків того, що захід може бути не реалізований.

За результатами аналізу слід обрати найкращий спосіб виконання заходу й занести в поле «Як».

Для реалізації одного заходу може бути визначено декілька різних способів, що можуть бути взаємозалежними і/або доповнювати один одного.

Спосіб(и) реалізації заходу мають бути сформульовані:

— в описовій формі в полі «Як», якщо йдеться за будь-яку конкретну дію, що не потребує поділу на більш дрібні завдання;

— з посиланням на документ, у якому зазначено, як саме й на підставі чого виконують дію (якщо можливе її застосування).

Приклад: посилання на регламент, інструкцію з ремонту, технологію, паспорт обладнання.

Для кожного способу слід визначати необхідні ресурси.

Затвердження форми «5W+1H+1S». Заповнену форму «5W+1H+1S» затверджує керівник структурного підрозділу.

Якщо до затвердження заповненої форми «5W+1H+1S» відбулося порушення часових обмежень (поле «Коли»), то їх потрібно переглянути для конкретного заходу.

Виконання заходів. Заходи реалізує виконавець (поле «Хто») за затвердженою формою «5W+1H+1S».

У полі «Статус» слід зазначати рівень виконання заходу.

Поле «Статус» слугує для моніторингу, його заповнює виконавець конкретного заходу (поле «Хто») із установленою періодичністю (поле «Коли»). До затвердження заповненої форми «5W+1H+1S» поле «Статус» має залишатися порожнім.

Поле «Статус» слід заповнювати тільки на підставі документованих даних або даних, які не є сумнівними (об'єктивні свідчення) із зазначенням дати перевірки. Терміни, у яких заповнюють поле «Статус», слід трактувати однозначно без суперечностей.

Приклади:

1) у січні прийнято до реалізації у відділі закупівель, виконане на 60 %, відставання – три дні (06.03.2023 р., відсутність необхідної кількості комплектування);

2) виконано, не впроваджено, скасовано через припинення випуску виробів такої модифікації.

Якщо в процесі подання заходів за методом «5W+1H+1S» захід був змінений на інший, у полі «Статус» роблять відповідний запис із посиланням на номер документа й пункт нового заходу (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Приклад реалізації методу «5W+1H+1S»

Номер з/п	Питання	Опис
1	Що?	Здійснити обслуговування токарного верстата електромашинного відділення
2	Навіщо?	Підвищення надійності верстата і попередження його відмови
3	Хто?	ПІБ (електромеханік), телефон (099)999-99-99
4	Де?	Локомотивне депо «Харків-Головне», Південна залізниця
5	Як?	Обслуговування за інструкцією з обслуговування
6	Коли?	05.01.2023 р.
7	Статус?	Не виконано (28.12.2022 р.)

РОЗДІЛ 3

3.1. Організація процесу управління сервісним ТО і ПР

Етап ТО і ПР є основним у життєвому циклі локомотива (рис. 3.1). На цьому етапі роботи моделі на підставі сформованих зауважень і даних систем діагностування майстер цеху ухвалює рішення про необхідний обсяг ремонту R як із циклових робіт (за прийнятою системою планово-попереджувальних ремонтів), так і понадциклових робіт, пов'язаних із усуненням зауважень Q.

Саме на етапі ТО і ПР важливу роль відіграють методи «Вбудована якість» (Кайдзен), коли за рахунок застосування безпаперових комп'ютерних технологій досягають якості виконання робіт за принципом «Зроби правильно або ніяк» [27-29]. Для цього майстри й слюсарі повинні бути мотивовані на роботу з комп'ютером і здійснювати введення достовірних і своєчасних даних. Головний мотиваційний стимул — зарплата працівників: наряди не мають потрапляти до відділу праці й заробітної плати (ОП і З), поки вони не пройшли весь ланцюжок електронного документообігу: зауваження з технічного стану локомотива (для додаткових робіт), виписки наряду майстром, виконання наряду слюсарем, відмітка про виконання роботи слюсарем із заповненням обов'язкових інформаційних полів (насамперед виміри), перевірка роботи слюсаря (ВТК, майстер, заступник із ремонту депо тощо), успішна видача локомотива в експлуатацію. У цехах обов'язково має бути відрядна форма оплати праці.

Також не можна закрити наряд без одержання на складі відповідних ТМЦ і лінійного обладнання (колишніх у вживанні, відновлених деталей і вузлів локомотивів, МПВ). Неможливо закрити наряд без проведення експрес-розбору причин виникнення додаткової роботи або перевитрат ТМЦ і МПВ.

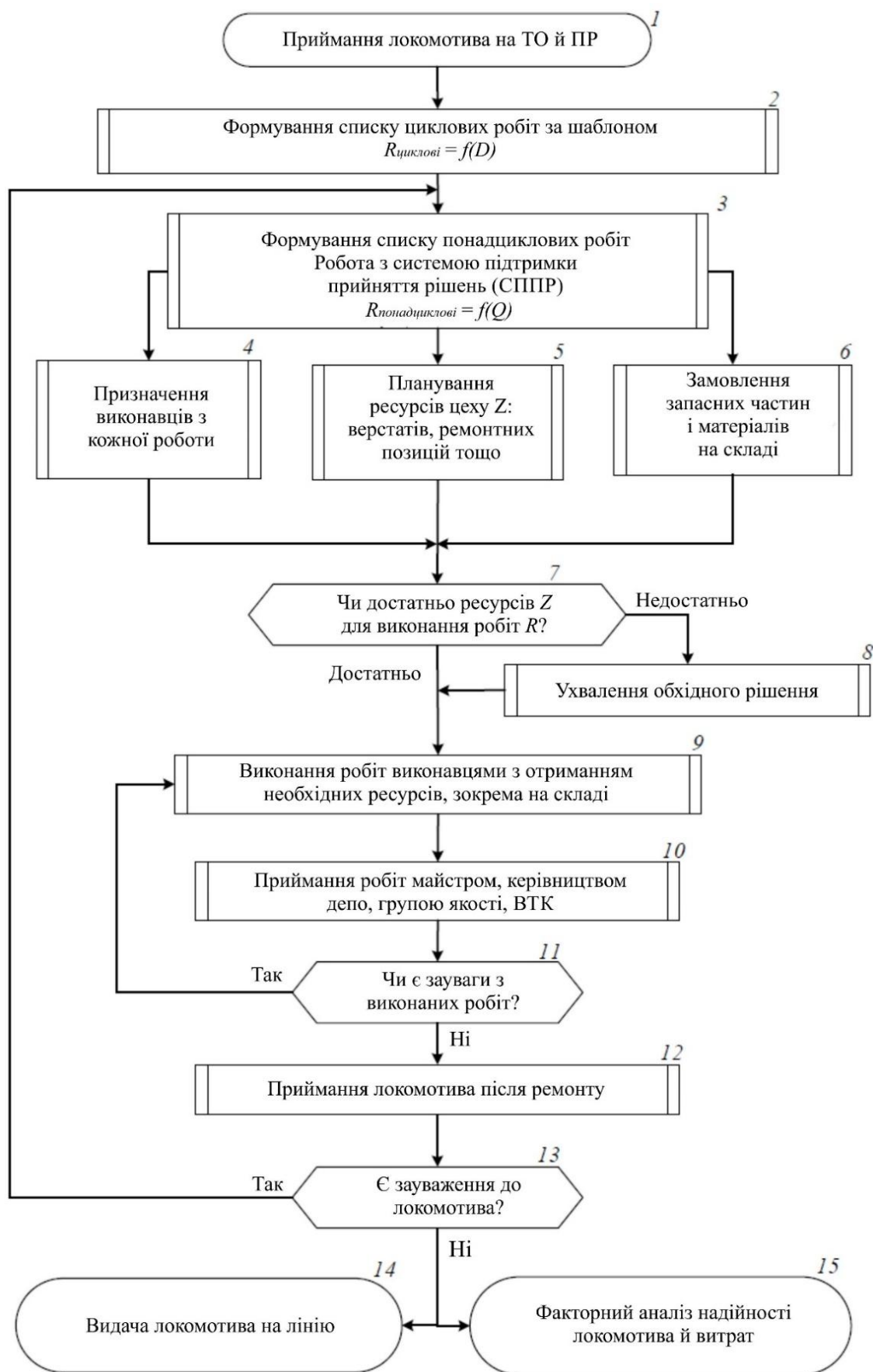


Рис. 3.1. Алгоритм управління ТО і ПР

Математичні методи на цьому етапі робіт не потрібні (крім алгоритмів ведення мережевого графіка виконання робіт, контролю виконання плану й прогнозування видачі локомотива з ремонту вчасно (управління ризиками)).

3.1.1. Організація планування

Прогнозне планування покликане заздалегідь спланувати ресурси ТО і ПР Z: інфраструктуру депо (стійла, колії), обладнання депо (верстати, скатопідіймачі, крани тощо), запасні частини (ТМЦ і МПВ), трудові ресурси, паливе, електроенергію тощо.

Прогнозне планування побудовано на моделюванні роботи локомотивів; знаючи зі статистики середньодобовий пробіг локомотивів, міжремонтні пробіги й середній простій локомотивів на кожному виді ремонтів, можна спрогнозувати на заданий період часу об'єм очікуваних ремонтів (рис. 3.2).

Методики прогнозного планування відрізнялися своєю низькою збіжністю, прогноз навіть на рік уперед дає практично нульову збіжність – жоден локомотив не стає на ремонт у розрахований час. Це можна пояснити великою варіативністю експлуатації локомотивів, насамперед наявністю позапланових ремонтів.

Слід звернути увагу на алгоритм, що реалізує цикл PDCA [30]: за статистичними даними системи моніторингу періодично (один раз на один-три місяці) розраховують математичні сподівання середньодобових пробігів m_{xi} , середніх простоїв на ремонтах m_{yj} і відповідні середньоквадратичні відхилення σ_{xi} і σ_{yj} .

Кожний розподіл перевіряють на унімодальність за критерієм згоди Пірсона χ^2 . У випадку перевищення розрахунковим χ^2 теоретичного значення $\chi^2 > \chi^2_{теор}$ необхідно поміняти правила поділу серій локомотивів на групи. Потім повторити розрахунки.

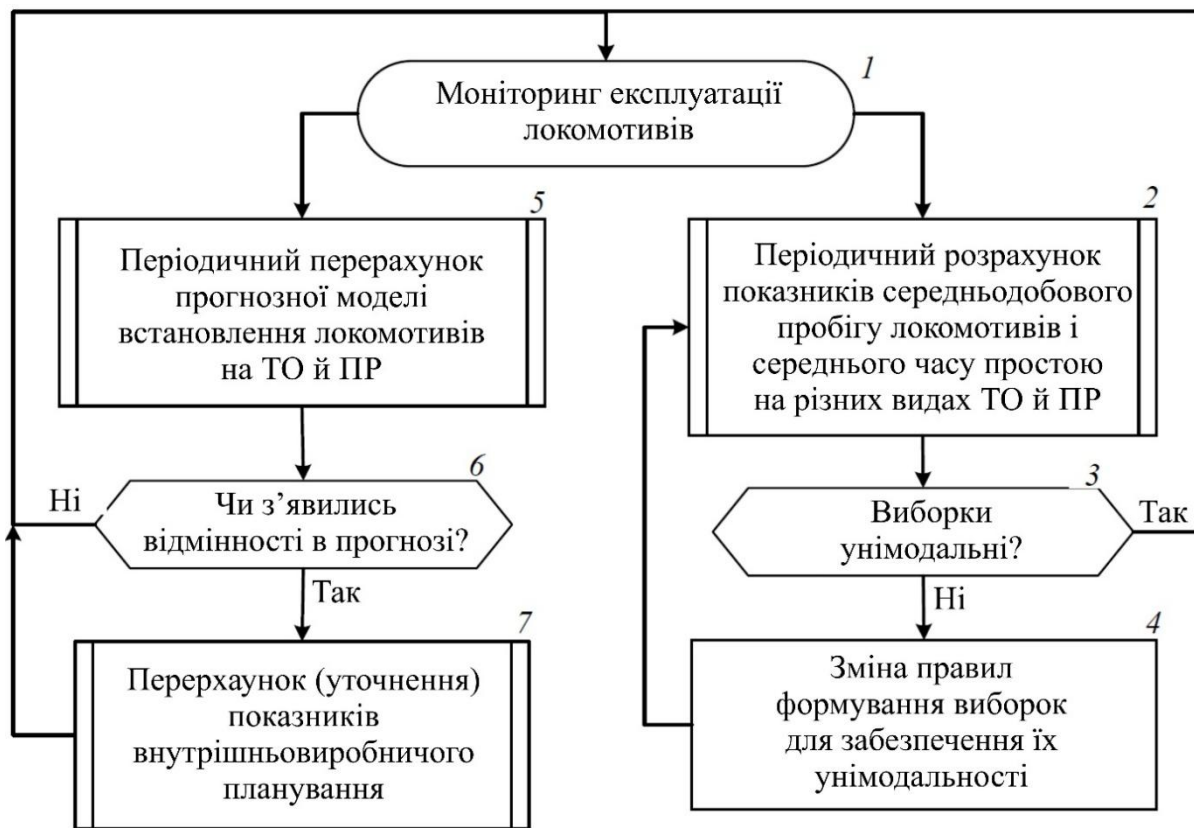


Рис. 3.2. Алгоритм прогнозного планування постановки на ТО і ПР

За розрахованими значеннями m_{xi} , m_{yj} , σ_{xi} , σ_{yj} моделюють прогнозний графік постановки на ремонт завдяки послідовному додаванню середньодобових пробігів із зупинкою на ремонт. Важлива відмінність від наявної ручної технології — регулярне перерахування, що дає змогу постійно корегувати дані прогнозу й забезпечувати збіжність моделі з фактом: постійне корегування прогнозу поступово наближає його до фактичного часу заходу локомотива на ТО і ПР, що призводить до усунення наявних недоліків методів планування.

Оперативне планування здійснюють на декаду (10 днів), три доби і добу без використання прогнозного моделювання, але з урахуванням даних моніторингу технічного стану локомотивів (рис. 3.3): формують пріоритетний список кандидатів на ремонт за виконаною роботою А (пробігу, годинами роботи) і список зауважень щодо їхнього технічного стану (наявності інцидентів) Q.



Рис. 3.3. Алгоритм оперативного планування постановки на ТО і ПР

Із приблизно однакових кандидатів обирають ті, які мають зауваження Q із технічного стану, по суті передвідмовні стани. Головна проблема оперативного планування — його виконання. Для цього в СЦ мають діяти центри моніторингу експлуатації локомотивів. Відсутність налагодженої взаємодії можна вважати однією з основних причин підвищеного простою в очікуванні ТО і ПР.

Наступний важливий функційний елемент моделі — приймання локомотива в ремонт (рис. 3.4). На цьому етапі формують остаточний список зауважень із технічного стану локомотива Q для призначення

понадциклових робіт R додатково до циклових робіт, передбачених планово-попереджувальною системою організації ТО і ПР.



Рис. 3.4. Алгоритм приймання локомотива на ТО і ПР

Основне джерело зауважень Q — це система моніторингу на базі бортових мікропроцесорних систем управління. Додаткові джерела інформації: візуальне й інструментальне приймання локомотива, бортовий журнал локомотива форми ТУ-152 (зауваження машиніста), система управління надійністю та інші автоматизовані джерела інформації.

3.1.2. Визначення оптимальної кількості сервісних центрів

Визначення оптимальних зон обслуговування і оптимальної кількості СЦ потрібно для дотримання встановлених вимог із якості обслуговування.

Для території, поділеної на райони (департаменти) деяким відомим способом, наявні локомотиви, за наявності відмов у яких надсилають заявки на їх обслуговування. Відома інтенсивність надходження заявок від кожного департаменту, яка визначають середньою кількістю відмов в одиницю часу. Передбачають, що один СЦ може обслуговувати декілька департаментів, хоча за високої щільності розподілу локомотивних депо може знадобитися декілька СЦ для одного департаменту. Роботу всіх СЦ в такій зоні обслуговування координує головний СЦ. У разі низької інтенсивності відмов на одиницю зони їх обслуговування насамперед визначають фізичними можливостями СЦ із постачання запасних частин за допустимий час до локомотивних депо.

Нехай Λ – інтенсивність заявок у зоні обслуговування, а μ – інтенсивність обслуговування, яку можна визначити як

$$\mu = \frac{1}{\overline{t_{\text{пух}}} + \overline{t_p}}, \quad (3.1)$$

де $\overline{t_{\text{пух}}}$ – середній час доставлення;

$\overline{t_p}$ – середній час ремонту.

Робота СЦ може бути описана системою масового обслуговування типу М/М/V (позначення системи масового обслуговування з пуасонівським вхідним потоком і експоненціальним часом обслуговування з одним каналом, що обслуговує).

Упровадимо безрозмірний коефіцієнт навантаження цієї системи масового обслуговування:

$$\rho = \frac{\Lambda}{\mu}. \quad (3.2)$$

Середній час очікування в такій системі

$$W = \frac{\Lambda}{\mu(\mu - \Lambda)}. \quad (3.3)$$

Частота надходження заявок (тобто інтенсивність відмов об'єктів) Λ і швидкість обслуговування μ залежать від радіуса зони обслуговування r , коли обладнання доставляють автомобільними засобами. Для зони з радіусом r і рівномірним розподілом об'єктів по площі можна записати вираз для сумарної інтенсивності заявок у зоні:

$$\Lambda(r) = \lambda \pi r^2, \quad (3.4)$$

де λ — інтенсивність заявок Λ за годину на одиницю площі;

πr^2 — площа зони.

Сумарна інтенсивність заявок у зоні може бути задана і на підставі реальних даних за рахунок попереднього досвіду обслуговування в такій зоні.

Середня інтенсивність обслуговування локомотивного депо в зоні

$$\mu(r) = \frac{1}{\tau + r^* / v}, \quad (3.5)$$

де τ — середній час на виконання ремонту;

r^* — середня відстань до СЦ у зоні обслуговування;

v — швидкість переміщення до локомотивного депо.

Величина r^* залежить від розміщення локомотивних депо, обслуговуваних відносно бази СЦ.

Кінцева формула для часу очікування початку обслуговування

$$W = \frac{\lambda \pi r^2 \left(\frac{r^2}{v} + \tau \right)}{\left(\frac{r^*}{v} + \tau \right)^{-1} - \lambda \pi r^2} . \quad (3.6)$$

При розгляді тієї самої зони робимо припущення про зростання інтенсивності запитів, що потребує збільшення кількості СЦ. Фізичне обмеження на розміри зони зберігається. Моделлю обслуговування об'єктів групою СЦ у цій зоні може бути n-канальна система масового обслуговування типу M/M/n* (n-канальна система масового обслуговування з пуасонівським входним потоком і експоненціальним розподіленням часу обслуговування) із дисципліною обслуговування FIFO — обслуговування за надходженням заявок (аббревіатура First In — First Out)).

Середній час обслуговування

$$W = \frac{p^n}{\mu (n-1)! (n-p)^2} P_0 . \quad (3.7)$$

Стационарна ймовірність того, що n-канальна система обслуговування вільна (тобто не обслуговують жодну заявку)

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^k \frac{p^j}{j!} + \frac{p^{k+1}}{k!(k-p)}} . \quad (3.8)$$

Процедура пошуку оптимального розміру зон обслуговування для визначення необхідної кількості СЦ і розміщення головного СЦ в кожній із зон є багатокроковою та інтерактивною. На кожному кроці процесу необхідно ухвалювати рішення залежно від уже отриманих поточних результатів [15]. Приклад розрахунку наведено в дод. 1.

3.1.3. Моніторинг технічного стану вузлів локомотивів

Під час ремонту сучасних локомотивів 50 — 75 % всього обсягу виконуваних робіт припадає на контрольні-діагностичні та регулювальні операції. З появою нових локомотивів зі складними електронними системами управління завдання моніторингу стає ще більш актуальним. Моніторинг дає змогу визначити фактично виконаний локомотивом об'єм роботи A (пробіг, тонно-кілометрова робота, витрати пального, електроенергії). Одночасно визначають фактичний стан локомотива Q як набір параметрів для правильного функціонування обладнання і працездатності локомотива, справність вузлів і обладнання локомотива, а також наявність і кількість порушень режимів експлуатації як важливий фактор, що впливає на технічний стан локомотива.

АПК побудовані за загальними принципами і мають загальну уніфіковану структуру. Реалізація АПК є однотипною: в електричній шафі з клімат-контролем розташовано крос-обладнання зі змінними модулями, до складу яких входять мікропроцесорні блоки, блоки введення й виведення інформації, управляючі впливи, джерела живлення, модулі приймання-передавання інформації тощо. Окрім АПК, сучасні локомотиви слід обладнувати засобами візуалізації інформації, реалізованими на базі промислових комп'ютерів. Бортові комп'ютери отримують інформацію від МСУ, обробляють її та візуалізують — подають у наочному вигляді на екрані для машиніста. Зазвичай бортові комп'ютери відіграють функцію архівування діагностичних даних.

Функціональність АПК визначають наявністю датчиків параметрів вузлів локомотивів, які формують сукупність використовуваних діагностичних сигналів для моніторингу технічного стану локомотива.

Головним упродовж діагностування є придатність до діагностування самого об'єкта. Цю придатність визначають наявністю відповідних датчиків — цифрових або аналогових пристроїв, які перетворюють

контрольовані параметри в електричний сигнал. Сучасні АПК мають систему вимірювання цих електричних сигналів. Інформацію використовують для управління й зберігають у пам'яті МСУ для подальшого діагностування. Датчики опитують із певною періодичністю. Періодичність зберігання інформації може бути менше частоти опитування. Отже, діагностичні можливості АПК визначені програмним забезпеченням, набором датчиків і частотою їх опитування й зберігання інформації. АПК без датчиків не буває.

Будь-який контрольований датчиками параметр (температура, тиск, швидкість, струм, частота обертання тощо) перетворюється в один із вимірюваних електричних параметрів:

- напруга (аналоговий сигнал);
- частота імпульсного електричного сигналу;
- періодичність надходження електричного сигналу;
- кількість імпульсів електричного сигналу;
- тривалість електричного сигналу;
- наявність електричного сигналу (є або нема — бінарний сигнал).

Один із ключових датчиків — це датчик струму ТЕД. Саме цей датчик (разом із датчиком швидкості) дає змогу контролювати працездатність локомотива в цілому [31, 32]. Іншим не менш важливим датчиком є датчик кута оберту, який використовують для визначення швидкості обертання колісних пар із подальшим обчисленням швидкості руху локомотива. Установлюють датчик зазвичай на дві колісні пари. У нових локомотивах — на всі колісні пари для контролювання боксування та юза.

Датчик тиску широко застосовують для діагностування дизеля та автогальм при визначенні передвідмовних станів і локалізації місця несправності циліндрів дизеля. Для цього ж використовують і датчик температури. Вібраційний датчик поки не набув поширення в бортових системах і частіше використовуваний у стаціонарних системах

діагностування. На сьогодні найбільшого поширення набули датчики швидкості й струму. На тепловозах також розповсюджені датчики кількості обертів дизеля й струму тягового генератора. На нових тепловозах ефективним є встановлення датчиків температури вихлопу циліндрів дизеля, температури, охолоджувальної системи, тиску гідравлічних і пневматичних систем.

Закордонний досвід свідчить про доцільність упровадження бортової системи діагностування, що реєструє та обробляє інформацію від датчиків і вбудованих систем діагностування агрегатів локомотивів. Вона є зовнішньою відносно обладнання та контролює так звані основні діагностичні сигнали (входи та виходи об'єкта діагностування): струм (загальний, двигунів тощо), напругу (на струмоприймачі, двигунах, в колах управління тощо), положення контролера машиніста та крана машиніста, тиск в гальмівній магістралі, гальмівних циліндрах тощо.

У разі необхідності слід фіксувати додаткові діагностичні сигнали. Як правило, їх контроль неможливий без забезпечення контролепридатності самих агрегатів локомотива. Гостро необхідні вбудовані системи діагностування, подібні до пристроїв самодіагностики мікропроцесорних блоків управління на електровозах, діагностики дизелів тощо. На початку XXI століття уперше повноцінним аналогом бортової системи контролю можна вважати систему діагностування та організацію ремонту швидкісного електропоїзда ICE (Німеччина). Інформація бортової системи діагностування виводиться на дисплей машиніста та фіксується в електронному накопичувачі інформації. Можливе використання єдиного накопичувача інформації. АСУ повинна передбачати можливість обробки інформації бортових систем діагностування.

При всьому розмаїтті вирішуваних завдань усі АПК (МСУ) мають уніфікований набір функцій:

— опитування датчиків локомотива (швидкості, струму, напруги, температури, частоти обертання, тиску тощо);

— управління колами та обладнанням локомотива — це основне призначення МСУ. Вплив на кола управління локомотива відбувається через штатні системи управління, зокрема мікропроцесорні: електричні апарати, випрямно-інверторні установки, релейні кола тощо. Вплив на кола управління може мати характер захисних функцій і безпосередньо управління;

— візуалізація інформації: однією з функцій МСУ є наочне подання інформації машиністу. Як правило, для цього використовують бортові промислові комп'ютери. Одночасно з візуалізацією можлива реалізація функції підтримки ухвалення рішень (ПУР). Системи ПУР реалізовані, як правило, з використанням бортового комп'ютера;

— аналітика й управління: управління в АПК реалізується за допомогою програмного забезпечення;

— зберігання інформації. Для зберігання діагностичної інформації використовують flash-пам'ять або жорсткі диски.

Накопичена в АПК діагностичну інформацію в системі моніторингу розшифровують і аналізують на стаціонарних комп'ютерах із використанням спеціального програмного забезпечення — автоматизованого робочого місця розшифрування — АРМ МСУ. Кожен розробник АПК одночасно з ПЗ самого АПК розробляє ПЗ для АРМ МСУ. АПК — основа системи моніторингу.

Першими локомотивами з повністю електронною системою управління були електровози змінного струму з випрямно-інверторними перетворювачами (ВІП). Управляють за допомогою електронних блоків управління типу БУВІП. Тепер такі блоки можна замінити на мікропроцесорні.

Найбільш перспективним у системі моніторингу є використання як вихідного джерела інформації АПК управління приводом локомотива. Такі МСУ є тільки на нових локомотивах. Моніторинг застарілих локомотивів можливий завдяки допоміжним АПК, які можна встановлювати за модернізації, зокрема системі обліку пального для запобігання випадкам крадіжок. Одночасно можна використовувати ці системи для діагностування, оскільки у своєму складі вони мають накопичувач інформації.

Нині в депо є різноманітні діагностичні налагоджувально-випробувальні стенди для різних видів обладнання: тягових двигунів, дизелів, автогальм, електричних апаратів, систем управління, механічного обладнання тощо. Поступово ці стенди автоматизуються. У багатьох випадках у складі комплексів з'являються інформаційно-керуючі підсистеми. Досвід створення та експлуатації систем діагностування показав, що доцільна дворівнева система технічного діагностування. Перший рівень характеризується використанням АСТД для перевірки працездатності обладнання безпосередньо на локомотиві, аж до заміни відповідного блоку. Другий рівень діагностування дає змогу ремонтувати та налагоджувати замінене обладнання на стенді. На рухомому складі слід створити бортові системи контролю (в депо — стаціонарні пристрої). Всі рівні розв'язують одне завдання — локалізацію місця пошкодження, але з різною глибиною пошуку. Раніше великої ваги набули випробувальні поїздки з вагонами-лабораторіями. АСТД — важлива частина інформаційної мережі депо, що виконує дві основні функції: безпосереднє діагностування обладнання та підготовку вихідної інформації для АРМ технологів.

Більшість АСТД не можуть визначити справність об'єкта, а тільки перевірити його працездатність. Справність об'єкта оцінюють за дуже великою кількістю параметрів. Тому АСТД майже завжди з більшим або меншим ступенем глибини діагностування визначають працездатність

об'єкта діагностування, а у випадку з бортовими системами — ще менше: правильне функціонування. У зв'язку зі згаданим доцільно глибше розтлумачити поняття «передвідмовний стан» як «працездатний, але не справний», тобто обладнання здатне виконувати свої функції, але вже є несправним. Наприклад, якщо в одному з циліндрів дизеля намітився тренд температури відпрацьованих газів до падіння або зростання, то несправність уже існує, але до досягнення граничного значення об'єкт є працездатним. Якщо у візку є тріщина, то він уже несправний, але, як і раніше, працездатний. Якщо перетерта ізоляція дроту, то він уже несправний, але здатний виконувати свою функцію, а саме пропускати струм. У цьому випадку недоречно визначати відмову як порушення працездатності, більш доречніше вважати ознакою відмови втрату справності.

Отже, перехід на сервіс локомотивів потребує використання попередньо отриманих діагностичних даних (насамперед від убудованих і бортових систем): планово-попереджувальну систему ремонтів доповнюють ремонтом за технічним станом, коли наявних бортових систем діагностування недостатньо і необхідно застосовувати деповські стаціонарні й переносні АСТД. Перехід на ТО і ПР з використанням АСТД має один важливий наслідок: час видачі локомотива після ТО і ПР не можна нормувати заздалегідь, оскільки складання індивідуального мережевого графіка ремонту з урахуванням індивідуальних особливостей технічного стану обладнання локомотива потребує розроблення методу прогнозування часу видачі локомотива на лінію, бо локомотиви, поставлені на деповській ремонт (ПР-1, ПР-2, ПР-3), заздалегідь планують під поїзди. Вирішити завдання визначення часу закінчення ремонту можна завдяки імітаційному моделюванню в режимі online — «Цифровий двійник виробництва».

«Цифрові двійники» — це динамічна симуляція виробів, процесів їх виготовлення та експлуатації, віртуальна репліка реального фізичного

активу у формі інтегрованої мультимедійної системи симуляції, яка відображує життєвий цикл і реальні умови експлуатації активу.

З конструюванням автомобілів необхідно провести низку дорогих crash-тестів для визначення міцності конструкції при аварійному зіткненні, наявність небезпеки для життя людини. Нині фізичні випробування здійснюють після численного моделювання аварії на комп'ютері. Аналогічно на цифрових двійниках випробовують усі складні вузли, насамперед літаків і ракет. З проектуванням механічного обладнання локомотивів обов'язково моделюють навантаження вузлів на цифрових двійниках із використанням методу кінцевих елементів. Цифровий двійник дає змогу суттєво скоротити терміни розроблення нових виробів, підвищити їхню надійність і довговічність, уникнути відмов за експлуатації.

Інший приклад цифрового двійника — це моделювання поїзної обстановки на полігоні для управління рухом поїздів. Цей цифровий двійник використовують не тільки при розробленні графіків руху поїздів, але й у режимі online для оперативного диспетчерського управління рухом поїздів, особливо при виникненні нестандартних ситуацій, наприклад ремонт колії. Застосування цифрових двійників перевізного процесу дозволяє суттєво підвищити пропускну здатність ділянок, уникнути збоїв руху через людський фактор.

У травні 2021 року німецький основний залізничний оператор Deutsche Bahn уклав угоду зі швейцарською компанією Stadler на розроблення віртуального поїзда на базі електропоїзда Class 429.1. Уперше було використано концепцію «цифрових двійників», коли дані з реального електропоїзда зазнавали обробки в реальному часі. Віртуальний образ зосереджений на кондиціонуванні повітря, дверях на колісних парах. Зареєстровані дані оброблені ІІІ для симуляції функцій МВРС. Це дало змогу зважати не лише на механічне, електричне обладнання, програмне забезпечення МВРС, але також і актуальну поведінку.

Отже, концепція «Цифровий двійник» є одним із напрямів підвищення ефективності локомотивного комплексу в цілому і його локомотиворемонтної складової — створення цифрових двійників виробів, що випускають (локомотивів і локомотивного обладнання), виробничих процесів (локомотивобудівних і локомотиворемонтних заводів, СЦ).

Цифрові двійники широко використовують при організації виробничих процесів. З цифровим двійником можна попередньо змодельовати виробничі процеси, вибрати оптимальний варіант розташування обладнання, заздалегідь визначити пропускну спроможність виробничих ліній. Причому моделювання можна провадити як на етапі розроблення виробничих цехів, так і протягом самого виробництва, наприклад при зміні продукції, що випускають. Стосовно життєвого циклу локомотива це реалізація принципу постійного поліпшення за циклом PDCA Едварда Демінга з метою підвищення надійності локомотива, зниження вартості життєвого циклу локомотивів, скорочення часу простою на ТО і ПР.

Методологія PDCA є алгоритмом дій керівника з управління процесом і досягнення його цілей:

- *планування (Plan)*. Визначення цілей і формування процесів для їх досягнення та задоволення споживача, планування виділення й розподілу необхідних ресурсів;

- *виконання (Do)*. Виконання запланованих робіт;

- *перевірка-збирання (Check)* інформації й контроль результату на підставі ключових показників ефективності (KPI) процесу, який отримали в результаті виконання, виявлення й аналізу відхилень, установлення причин відхилень;

- *вплив (Act)* — вживання заходів із усунення причин відхилень від запланованого результату, змін у плануванні й розподілі ресурсів (рис. 3.5).

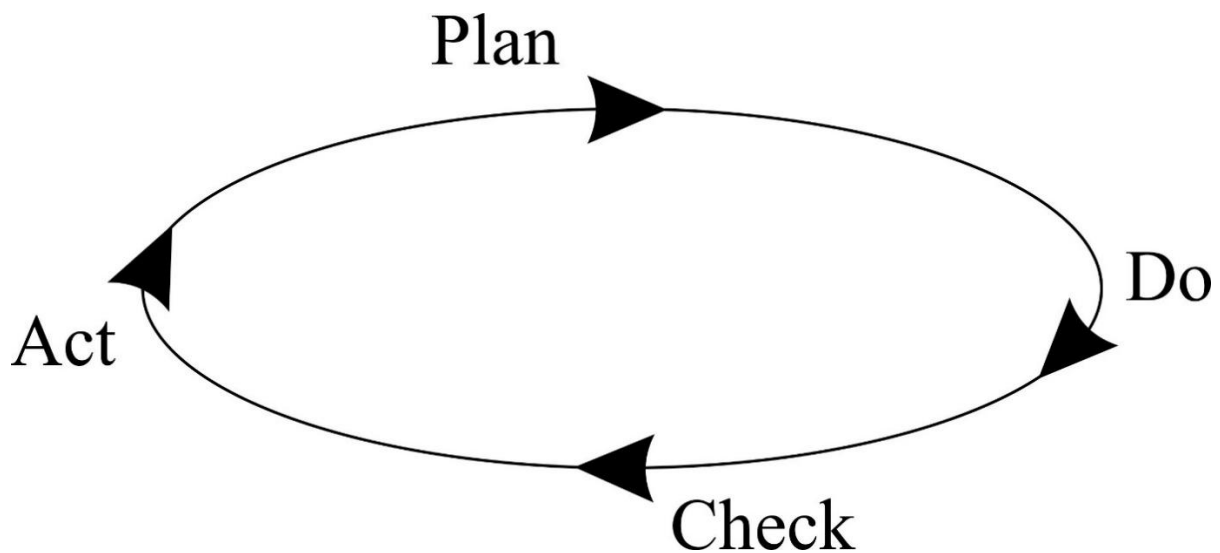


Рис. 3.5. Цикл PDCA

3.2. Архітектура управління сервісним ТО і ПР локомотивів

Архітектура моделі управління сервісним ТО і ПР локомотивів зображена на рис. 3.6.

Для тяги поїздів планують тягові ресурси (блок 1). Вихідні дані про роботу локомотивів А формують упродовж їх експлуатації з тягою поїздів (блок 2), яку здійснює ЦД, для чого мають створювати центри управління тяговими ресурсами. За пробігом локомотивів або у випадку виникнення відмови планують постановку локомотива в депо на планово-попереджувальний або позаплановий ремонт (блок 3). Постановку локомотива здійснюють представники депо (блоки 4 і 9). Аналогічно приймають локомотиви з ремонту (блоки 5 і 12).

За даними про роботу локомотивів (блок 6) виконують прогнозне планування ТО і ПР локомотивів на сім років для технологічної підготовки виробництва (блок 15), рік, квартал і місяць для планування забезпечення виробництва ресурсами (блоки 16, 17 і 18).

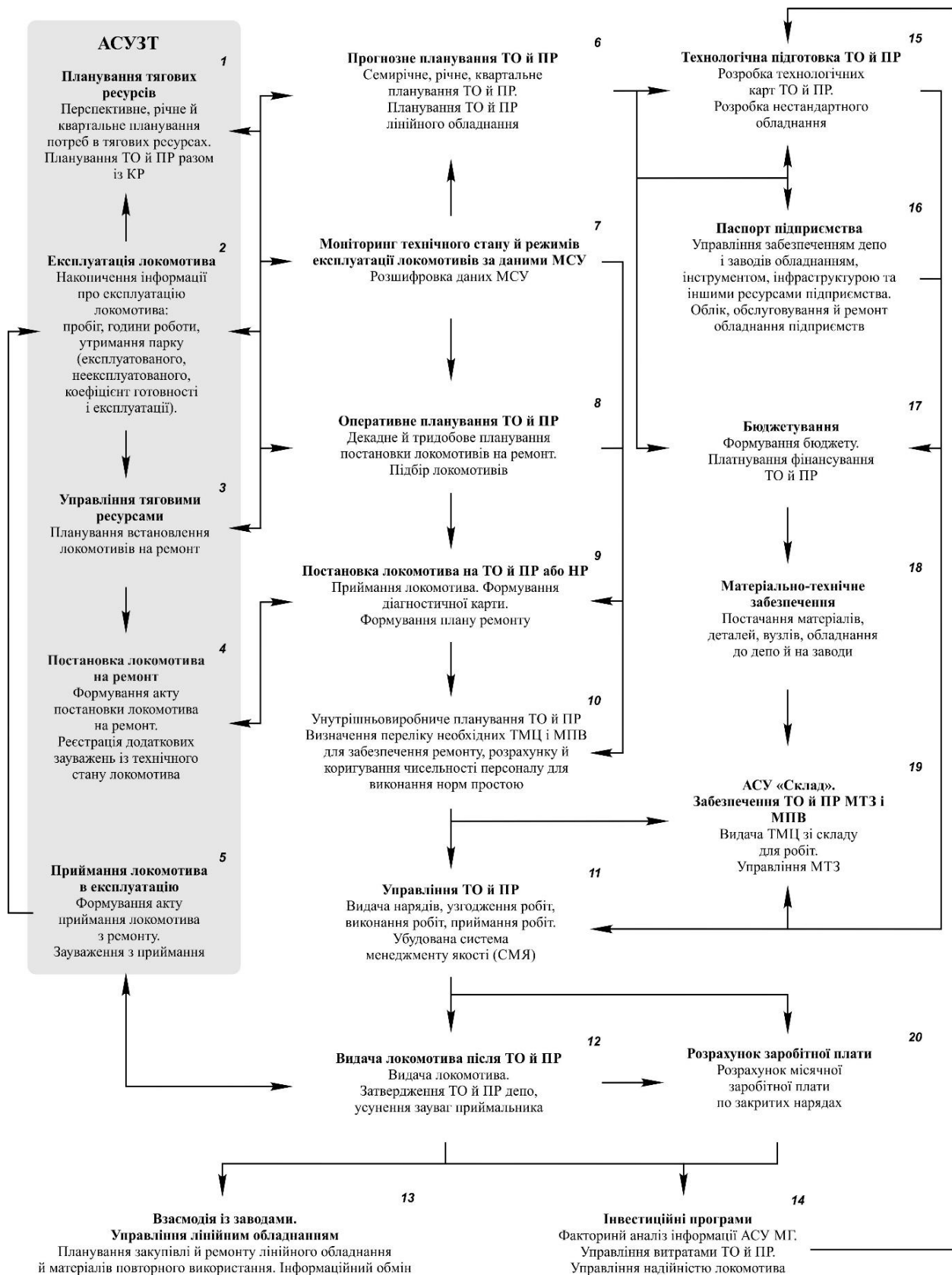


Рис. 3.6. Архітектура моделі управління сервісним ТО і ПР локомотивів

Прогнозне планування здійснюють за статистичними даними про роботу локомотива, час простою на ТО і ПР і статистикою споживання ресурсів, на підставі яких відбувається прогнозне моделювання.

Основа оперативного управління ТО і ПР — моніторинг експлуатації й технічного стану локомотивів (блок 7) за даними АСУЗТ, бортових МСУ і деповських АСТД.

За даними моніторингу (блок 7) роботи локомотива і його технічного стану здійснюється оперативне планування постановки локомотивів на ремонт (блок 8). Остаточний технічний стан локомотива визначають з прийманням його на ремонт (блок 9). За підсумками приймання — внутрішньовиробниче ТО і ПР (блок 10).

По завершенню планування й підготовки виробництва, включаючи виділення ресурсів (блоки 6 — 10), виконують технічне обслуговування й ремонт (блок 11). При цьому реалізовано логічні й математичні методи керування якістю технологічних процесів, ощадливого виробництва. В основі лежать статистичні методи, прийняті в теорії варіабельності.

Для мотивації працівників СЛД якісно та ефективно виконувати роботу необхідно організувати відрядну оплату праці, що залежить від об'єму та якості виконаного ТО і ПР (блок 20).

Локомотив із ремонту повертають в експлуатацію (блок 12) разом із працівниками експлуатаційного депо (блок 5). При цьому застосовують інструментальний контроль технічного стану локомотива — автоматизовані системи технічного діагностування (АСТД), включаючи діагностичну функціональність бортових МСУ.

Депо орієнтовані на великоблочний модульний принцип ремонту, за якого зняте з локомотива обладнання (блок, вузол, деталь) за наявності складних технологічних операцій відправляють на ремонтний завод (блок 13). На цьому цикл обслуговування завершується.

Важливим елементом моделі є факторний аналіз усіх параметрів життєвого циклу обслуговування й ремонту локомотива (блок 14), що дає змогу визначити пріоритетні напрями підвищення ефективності ТО і ПР згідно зі спеціально розробленим KPI. На підставі виконаного факторного аналізу формують основні проблеми й ступінь їх впливу: за побудованою діаграмою Парето вибирають першочергові проблеми для усунення, розробляють план корегувальних заходів, планують витрати та інвестиційну програму (рис. 3.7).

Для практичної реалізації моделі в умовах виробничих процесів депо для організації управління ТО і ПР локомотивів існує відповідна модель сукупності бізнес-процесів у вигляді ієрархії бізнес-процесів ТО і ПР (рис. 3.8).

За кожним бізнес-процесом складають його опис для практичної реалізації. Для цього розроблена спеціальна форма, також заснована на методі 5W2H. У табл. 3.1 наведений приклад опису бізнес-процесів із використанням уніфікованої таблиці.

Модель реалізована у вигляді інформаційно-керуючої системи на базі сучасних інформаційних технологій та Інтернету. При цьому використовують загальноприйняті технічні рішення для апаратного обладнання (комп'ютери, мережеве обладнання, безперебійні джерела живлення тощо) і програмного забезпечення комп'ютерів (операційна система, Інтернет, СУБД, базова ERP-система, офіс-додатки, антивірусний захист тощо).

Важлива відмінна риса моделі – підвищення ефективності організації управління за рахунок застосування ймовірно-статистичних методів, підвищення глибини й структурованості інформації, що дає змогу ухвалювати правильні управлінські розв'язки, скорочувати об'єм управлінських помилок.

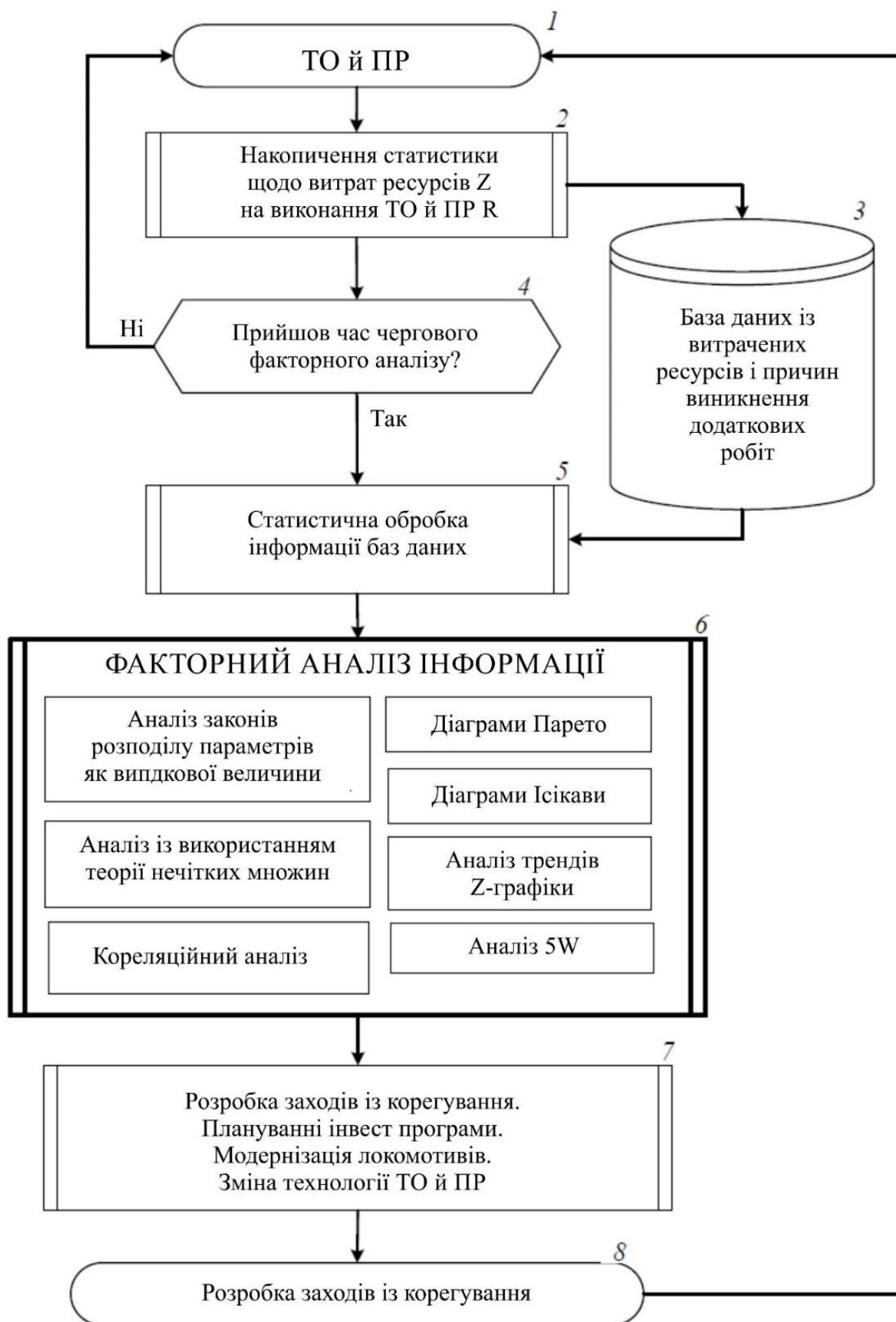


Рис. 3.7. Алгоритм факторного аналізу



Рис. 3.8. Бізнес-процеси депо

Приклад опису бізнес-процесу

Бізнес процес «Управління виробничими процесами»		
1	2	3
	Пункт	Опис
I		Характеристика процесу (5W2H)
W1	Склад (What)	Облік зауважень і додаткових робіт у процесі ТО і ПР, НР; управління роботами ТО і ПР
W2	Час (When)	Упродовж усієї роботи депо з моменту постановки локомотива на ТО і ПР або НР до видачі в експлуатацію
W3	Місце (Where)	Депо, філії
W4	Мета (Why)	Дотримання технології ремонту, дотримання нормативів часу проведення робіт, прогнозування часу видачі локомотива з ремонту, з'ясування причин виникнення позапланових ремонтів і додаткових робіт, оптимізація використання трудових ресурсів
W5	Учасники процесу (Who)	Депо, філії
H1	Реалізація (How)	У процесі ТО і ПР, НР, управління роботами ТО і ПР, НР, виписування й закриття нарядів убудована система менеджменту якості, розбір причин і додаткових робіт
H2	Періодичність (How much)	Щорічно, щокварталу, щомісяця, щодавно, щодоби
II		Інформаційна складова процесу
	ОРД	Правила ремонту. КД локомотивів. Керівництво користувачів

Продовження табл. 3.1

1	2	3
	Вхід	Результат аналізу ТО і ПР, НР депо із виявленням «вузьких» місць
	Вихід	Планування об'єму робіт, зокрема додаткових, технологічні карти, оснащення депо (оглядові стійла, інструмент)
	ІТ-обладнання	Робочі місця старших майстрів, індустриальні робочі станції для роботи слюсарів
	Доопрацювання ПЗ	Приймання локомотива на ТО і ПР, ТО і ПР, видача локомотива в експлуатацію
	Екранні форми	Діагностична карта (основні відомості, зауваження, комплектність, параметри локомотива), роботи (майстер, виконавець робіт)
	Друковані форми	Книга форми ТУ-28, акт огляду, акт зауважень, технічний акт
III	Технологічна карта процесу	
	Відкриття ТУ-28Е	Сервісний інженер відкриває вікно «Діагностична карта», закладка «Зауваження» для фіксації всіх зауважень із технічного стану локомотива при його прийманні на ремонт і
		формуванні списку понадциклових робіт. Джерела інформації: ТУ-152, візуальний огляд, карта технічного стану за даними АСТД, виміри. Якщо локомотив перебуває в групі ризику, то технологи депо вносять у вікно «Зауваження» необхідні додаткові роботи (разові, місячні, річні тощо). У подальшому для цього буде використано вікно «Заходи»

Продовження табл. 3.1

1	2	3
	Робота з ТУ-28Е	Змінний майстер ділянки планового ТО і ПР перед початком зміни заповнює табель, у якому відзначає, хто з облікового складу вийшов у поточну зміну, оскільки підв'язка працівників до робіт (виписування нарядів) можлива тільки зі списку, зазначеного в табелі. Змінний майстер ділянки планового ТО і ПР зазначає у вікні «Роботи» необхідні роботи з циклу і за зауваженнями (додатковими роботами), виписує наряди, а також погоджує роботи з суміжними цехами
	Бізнес процес «Управління виробничими процесами»	
	Пункт	Опис
		Працівники (виконавці), вписані в роботи, самостійно відмічають хід робіт в «Індустріальних робочих станціях» за допомогою індивідуальних смарт-карт. Приймає циклові і додаткові роботи майстер за контрольними точками, відміченими програмою в списку робіт відповідно до окремої таблиці, введеної в ТУ-28Е, а також адресними потрапляннями
		кожного локомотива, включеного в групу ризику, і потрапляннями з причин підвищення надійності локомотивного парку. У вікні «Роботи» майстер відмічає її виконання. Приймальник ОТК/сервісний інженер роздруковує паперову форму ТУ-28 для приймальника залізниці, за відсутності зауважень локомотив видають у роботу

Продовження табл. 3.1

1	2	3
	Закриття ТУ-28Е	Диспетчер переводить локомотив у вікні «Статус локомотива» в очікування роботи
IV	Ризики	
		Відсутність засобів ІТ в депо. Відсутність виробничо-диспетчерських відділів у депо

РОЗДІЛ 4

4.1. Вплив інформаційних технологій на ефективність сервісного обслуговування локомотивів

Ефекту від реалізації моделі управління досягають через впровадження інформаційно-управляючої системи з відповідною функціональністю, відомої як «Автоматизована система управління» з 1950-1960-х років. У згаданий період також з'явився термін АСУЗТ — АСУ залізничного транспорту. Цьому сприяло широке впровадження обчислювальної техніки на залізничному транспорті, яке відбулось в останнє десятиліття ХХ століття. У локомотивному господарстві накопичувався великий досвід практичного використання комп'ютерів у депо та службах залізниць. Етап розвитку засобів обчислювальної техніки та електронних пристроїв, який тривав на початку ХХІ століття, дозволив якісно змінити сформовану інформаційну систему локомотивного господарства та значно вдосконалити автоматизовану систему його управління. Завдання цієї системи полягало в забезпеченні високої ефективності використання, надійності та рівня працездатності тягового рухомого складу за мінімальних витрат, підвищення його коефіцієнта технічної готовності, а також в збільшенні продуктивності праці на залізничному транспорті.

Досягнути згадане планували за рахунок упровадження на підприємствах локомотивного господарства всіх рівнів єдиної комп'ютерної інформаційно-керуючої системи з переходом на безпаперову технологію роботи, автоматичне формування звітних форм, автоматизований аналіз, підтримку та контроль прийнятих рішень. АСУ дає змогу оптимізувати плечі обслуговування і навіть місця розташування депо. Інформатизація повинна забезпечити автоматичне виявлення та усунення причин, які призвели до

неякісного проведення ремонту або неправильної експлуатації рухомого складу. АСУ має власну базу даних, яка є частиною загальної бази даних залізниці. АСУ створюють як єдину корпоративну інформаційно-керуючу систему, що складається з локальних інформаційних мереж підприємств локомотивного господарства. При цьому виділяли три рівні управління: рівень депо, рівень служби локомотивного господарства залізниць та рівень департаменту локомотивного господарства. Ця система є не лише інформаційною, але й керуючою. Її розпорядчі функції реалізуються через систему контролю дій операторів, форматний та логічний контроль введеної інформації, системи інтерактивних підказок оперативному персоналу та підтримки прийняття рішень, могли бути реалізовані замкнуті контури управління.

При роботі з інформацією АСУ використовує технологію реплікації, що означає наявність на кожній залізниці єдиної бази даних з підтримкою на серверах всіх локальних мереж копій. Такий підхід дає змогу поєднати переваги централізованої бази даних та надійну роботу з локальною інформацією. АСУ повинна забезпечувати інформаційні потреби локомотивного господарства за рахунок створення автоматизованих систем на трьох рівнях управління: мережевому, дорожньому й лінійному. Для лінійного рівня типова АСУ депо ґрунтується на уніфікованій локальній мережі, що перекриває всі інформаційні потреби в організації роботи депо як структурного підрозділу господарства. АСУ депо повинна забезпечувати налаштування на тип та організаційну структуру конкретного підприємства. АСУ зобов'язана спиратися на якомога ширший спектр зв'язків з іншими підрозділами господарства. Лінійні підприємства класу «не депо» можуть бути автоматизовані за принципом АСУ з наявним інформаційним зв'язком із найближчою АСУ депо. На дорожньому рівні АСУ служби включають базові компоненти з управління господарством у вигляді додаткових підсистем АСУТ конкретної залізниці. Базові компоненти цих систем

повинні спиратися на типові можливості АСУ депо. На мережевому рівні комплекс АРМ АСУ орієнтований на обробку зведеної інформації та управління АСУ рівня служб і депо. Усі рівні інформаційної обробки використовують єдину нормативно-довідкову інформацію та працюють в єдиному інформаційному просторі.

Нині доцільно асоціювати АСУ з новим терміном «цифровізація», («диджиталізація»), який має розлоге визначення. Усесвітній банк запропонував визначати цифрову економіку як систему економічних, соціальних і культурних відносин, заснованих на використанні цифрових інформаційно-комунікаційних технологій. У більшості визначень передбачена інтеграція бізнес-процесів (управління бізнесом) з ІТ-технологіями. Але, на думку деяких експертів, «цей термін настільки ж популярний, як і не визначений», він принципово не відрізняється від класичного поняття «АСУ», тільки застосований до умов сучасного розвитку інформаційних технологій та Інтернету. Підсумком цифровізації є зростання прибутку та підвищення продуктивності праці.

Лідерами у сфері цифровізації визнано США, Сінгапур, Австралію, Канаду, Японію, Китай, Таїланд, Німеччину. Світовими компаніями у сфері цифрової економіки є Google, Amazon, Airbnb, Netflix, Spotify, Uber, Tesla, SAP. Отже, ефективність інформатизації (цифровізації) і АСУ є загально визнаною, її слід розглядати як аксіому [33].

Ефект від цифровізації (упровадження АСУ) визначено перевагами, які дають інформаційні технології: зниження вартості фінансових операцій і документообігу, доступність різної інформації з інтегрованим ефектом підвищення керованості (сегрегований ефект), автоматизація аналітичної діяльності з ухваленням управлінських рішень і корегувальних заходів (ухвалення рішень на підставі об'єктивних даних бізнес-аналізу), спрощення взаємодії партнерів бізнесу і виробничих процесів, легка інтеграція суміжних бізнес-процесів, спрощення з одночасним підвищенням якості

бухгалтерського й управлінського обліку, прозорість процесів, спрощення використання складних математичних методів у повсякденній роботі компаній, скорочення кількості працівників, оперативна взаємодія з постачальниками й замовниками, швидка побудова логістичних схем, адаптивність системи до зміни умов, скорочення часу комунікацій і прискорення бізнес-процесів, можливість обробки інформації, ефективний старт маленьких компаній, проста реалізація геотехнологій тощо.

4.1.1. Структура АСУ життєвого циклу локомотивів

Апаратно-програмну основу структури АСУ життєвого циклу локомотивів становлять стандартні системні апаратно-програмні технічні рішення (рис. 4.1). На другому рівні перебувають стандартні технічні рішення, третьому — спеціалізовані технічні рішення, головними з яких слід вважати бортові, деповські стаціонарні й переносні АСТД. Не менш важливим елементом цього рівня є бортові МСУ локомотивів — одне з основних джерел інформації про технічний стан локомотивів. Сюди ж входять суміжні АСУ. Як спеціалізований інтернет речей до цієї групи належить спеціалізоване технологічне обладнання з апаратно-програмним забезпеченням для роботи в кіберфізичній системі. За емпіричним законом Мура, кожні два роки щільність транзисторів на кристалі подвоюється. Кожні 18 місяців подвоюється продуктивність мікропроцесорів. У геометричній прогресії збільшується обсяг енергонезалежної й оперативної динамічної пам'яті. У результаті навіть на 10 років уперед неможливо передбачити перспективи розвитку комп'ютерних технологій.

Отже, система управління життєвим циклом локомотивів, зокрема АСУ й АСТД, має відповідати поточному рівню розвитку інформаційних технологій (на практиці АСУ підприємств через інерційність процесу їх розроблення й впровадження відстають на одне-два покоління у своєму розвитку).

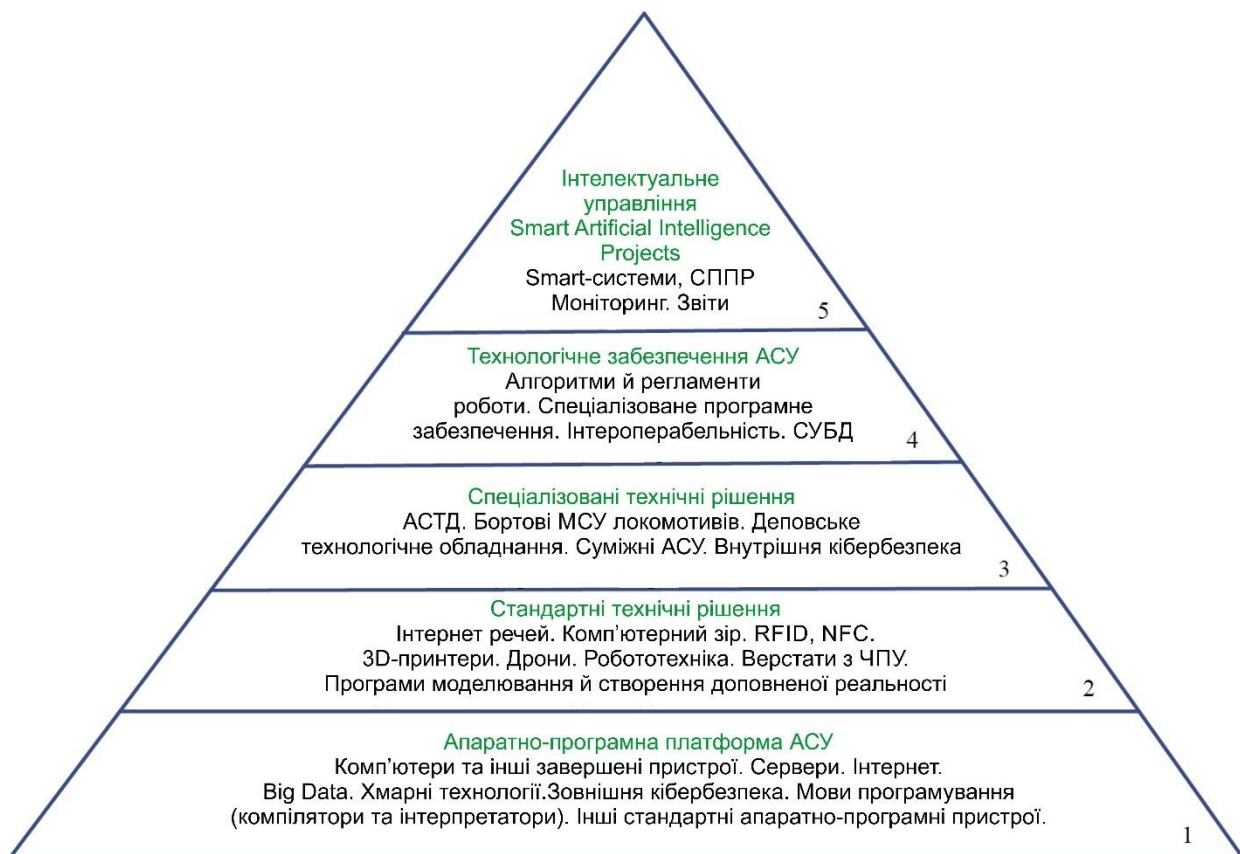


Рис. 4.1. Структура АСУ життєвого циклу локомотивів

Головний тренд сучасних інформаційних технологій — робота в Інтернеті: усесвітня система об'єднаних комп'ютерних мереж для зберігання й передавання інформації. З моменту появи в 1969 році Інтернет став невід'ємною складовою інформаційних систем. Наприкінці ХХ століття було ще поняття Інтранет — внутрішня мережа підприємства. Нині це тільки характеристика сегмента мережі, повністю або частково відділеного від Інтернету програмними й рідше апаратними засобами. Апаратні засоби Інтернету можуть бути різних виробників, але їхні інтерфейси і протоколи обміну уніфіковані. Першими протоколами були TCP/IP. Зараз найпопулярніший спосіб обміну даними — хмарні технології з Web-інтерфейсом.

Автоматизація інформаційного обігу передбачає наявність автоматизованих робочих місць у всіх основних підрозділах, оскільки

автоматизована система управління локомотивним господарством функціонує як система, що складається з динамічно сформованих АРМ без жорсткого закріплення тих чи інших функцій за визначеними робочими місцями. Функціональний набір АРМ визначається адміністратором мережі, виходячи зі специфіки підприємства, об'єму роботи, підготовленості кадрів, що передбачає безпаперову технологію роботи відповідно до тенденцій розвитку локомотивного господарства. Перша за значущістю група АРМ — це місця керівників депо. Автоматизація всіх робочих місць локомотивного депо була недоцільною з низки причин. По-перше, через відсутність на початку ХХІ ст. готового програмного та технологічного забезпечення не можна було одразу комплексно автоматизувати робочі місця. По-друге, доцільність матеріальних і трудових витрат на впровадження такої системи вимагало ретельної перевірки. По-третє, нова система не повинна копіювати сформовану структуру депо, яка утворилася в умовах ручної обробки інформації. З цих та низки інших причин не планували автоматизацію депо, ґрунтуючись на традиційній структурі.

Група АРМ депо — це робочі місця оперативного управління роботою локомотивів і локомотивних бригад. Вона безпосередньо пов'язана з робочими місцями, що підлягають автоматизації й розглядалась як її частина. Розділення необхідне тому, що в першій групі технологічний процес пов'язаний, в основному, з підготовкою та обробкою інформації диспетчерського центру. Важливу роль відігравав порядок обміну інформацією депо із зовнішніми підрозділами. Друга група АРМ забезпечує внутрішню оперативну роботу депо і несуттєво пов'язана зі сторонніми для нього підрозділами. Ключовими робочими місцями в цеху експлуатації є робочі місця чергового по депо й нарядника. Із зовнішніми для депо підрозділами оперативно зв'язується, в основному, черговий по депо. Його АРМ розглядали як сполучну ланку між депо та єдиним автоматизованим диспетчерським центром управління рухом поїздів. Нарядник локомотивних

бригад управляє локомотивними бригадами, контролює та аналізує їх використання. Він також веде облікову документацію, збирає всю довідкову інформацію про машиністів та їх помічників. Основним документом нарядника є книга нарядів. Інформація цього документа використовується черговим по депо для заповнення звітних форм ТУ-1 та ТУ-2.

Програми оперативного персоналу повинні давати змогу відстежувати нестандартні ситуації в реальному масштабі часу, оперативно змінювати графік роботи, замінювати бригади та локомотиви. Всю інформацію вони зобов'язані подавати швидко та в наочній формі. Якщо в конкретній ситуації з'являється можливість вибору, програма повинна складати пріоритетні списки за тими чи іншими критеріями. При цьому програми автоматично відстежують найбільш відповідальні дії персоналу і в разі необхідності блокують їх. Таке можливе тільки після відмови від існуючої паперової форми документів.

Автоматизація обробки маршрутних листів машиністів, які містять результати роботи локомотивів і локомотивних бригад і які являють для АСУ комплексний інформаційний документ, — належить до іншої відповідальної групи АРМ. Обробка маршрутних листів ускладнюється тим, що цей документ є екстериторіальним. За ним обліковують роботу локомотивів і локомотивних бригад інших депо, що вимагає використання централізованої архітектури бази даних для забезпечення максимальної достовірності вхідної та вихідної інформації маршрутів машиніста, а також нормативно-довідкової інформації.

Створення АРМ групи обліку дозволили автоматизувати один з найбільш трудомістких етапів обробки інформації. У групі обліку рекомендували встановлювати кілька однотипних АРМ, кінцева мета яких — автоматичний розрахунок заробітної плати та облік показників роботи локомотивів і локомотивних бригад. В АСУ передбачена можливість обробки всіх типів маршрутних листів, які умовно можна розбити на чотири

групи: вантажні, пасажирські, приміські, маневрові. Підвищення достовірності інформації, що вводиться, можна досягти завдяки відмові від наявних форм маршрутів машиністів, розрахованих на ручну обробку. АРМ бухгалтерії можна вважати стандартними робочими місцями: бухгалтерські завдання всіх промислових підприємств досить схожі. Тому даний тип АРМ є максимально уніфікованим. Головна його відмінність — це значний обсяг вихідної інформації, що надходить з групи обліку.

Провести чітку межу між АРМ керівників та АРМ оперативного персоналу неможливо, оскільки, будучи виконавцем на одному рівні, той самий працівник є керівником на іншому, нижчому рівні (депо → цех, цех → бригада тощо). Однак можна виділити кілька специфічних особливостей відповідних груп автоматизованих робочих місць. Оперативний персонал, як правило, ухвалює поточні або короткострокові рішення, що безпосередньо впливають на технологічний процес: підв'язка машиніста під поїзд, заміна обладнання, видача того чи іншого локомотива на лінію. Керівникам більш властиві середньострокові та довгострокові рішення, що мають адміністративний характер: наказ, розпорядження, організаційно-методичне інструктування тощо.

Зазвичай виділяють такі процедури прийняття рішення: постановка мети, збір та аналіз інформації, вибір варіанту рішення, власне прийняття рішення та контроль за його виконанням. Відповідно до автоматизації тих чи інших із перелічених процедур АРМ керівника може стати довідковою (реєстрація та видача інформації), дорадчою (оцінюючою) та керуючою системами (функціонує синхронно з обслуговуванням нею виробничим процесом).

Найчастіше зустрічається інформаційно-довідковий тип АРМ керівника. Як правило, в цьому випадку він користується інформацією інших АРМ, що беруть участь у технологічному процесі. Керівник не змінює відомості, він виступає як спостерігач. Наприклад, черговий по депо,

виступаючи як начальник нарядника, на своєму робочому місці має доступ до його бази даних, але не прикріплює машиніста до конкретного поїзда і не виконує його функції. Наступний крок — створення комплексної системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Робочі місця працівників мають в основі типові комп'ютери, планшетні комп'ютери. Вибір типу комп'ютера для автоматизованого робочого місця (АРМ) визначено специфікою виконуваних робіт. Наприклад, слюсареві зручно використовувати промисловий комп'ютер із сенсорним екраном у вигляді термінала або Smart-телефона. Майстрові спеціалізованого цеху — стаціонарний комп'ютер, майстрові цеху періодичних ремонтів — планшет.

Згадані хмарні технології, які активно використовують усередині Інтернету, стали вже «де-факто» стандартом. Запит і одержання відповіді з результатом відбувається через Web-браузер на локальному комп'ютері. При цьому програмне забезпечення й дані перебувають на віддаленому сервері. Хмарні технології автоматично забезпечують апаратно-програмну сумісність, дають змогу звертатися до бази даних користувача з різних робочих місць, знижують вимоги до комп'ютера АРМ, знижують вимоги до ліцензування тощо. Головний істотний недолік — це зупинка технологічного процесу у випадку відсутності або повільної роботи («зависання») Інтернету. Тому необхідно звертати увагу на забезпечення стійкості роботи Інтернету і його кібербезпеку. Хмарні технології висувають найвищі вимоги до інформаційної культури.

Головний ризик при організації кібербезпеки — це не занапастити систему самою системою безпеки, коли через незрозумілі причини система не дає коли можна або дає коли не можна доступ до даних. Абсолютно захищених інформаційних систем в Інтернеті нема. При цьому слід не забувати, що є два принципово різні підходи до безпеки: Security — захист від зовнішньої загрози (віруси, хакери, конкуренти) і Safety — захист від власних помилок. Боротьба із зовнішньою загрозою здійснюється

стандартними засобами. Із внутрішньою — розробленням логічних захистів у програмному забезпеченні самої АСУ. Незважаючи на величезні досягнення у сфері розвитку комп'ютерної безпеки, ризик збою системи в Інтернеті досить високий. Слід приділяти велику увагу кібербезпеці.

4.1.2. Технологічна послідовність дій при роботі з АСУ

Незважаючи на автоматизацію процесів управління, первинну інформацію вводять вручну (людський фактор), що призводить до її суб'єктивності. Залишається ручним введення інформації про початок і закінчення роботи виконавцем, приймання роботи майстром або заступником начальника депо з ремонту, результати візуального огляду локомотива при постановці на ремонт тощо. Без забезпечення достовірності ручного введення інформації ефекту від АСУ не буде. Тому першочергову роль в ефективності роботи АСУ відіграє мотивація працівників депо на введення достовірної й своєчасної інформації в АСУ.

Найбільш ефективний мотиваційний стимул — нарахування зарплати слюсарів (виконавців робіт) через АСУ. Якщо працівник зрозумів, що нарахування зарплати за черговий призначений й виконаний наряд не буде, допоки він не відмітить в АСУ початок і завершення роботи, не введе додаткові дані у встановленому порядку, а майстер не прийме роботи, то він буде мотивований не тільки на свою роботу з АСУ, але і наявність правильних дій із боку майстра, комірника та інших учасників процесу ТО і ПР, тобто вибудовується цілий мотиваційний ланцюжок. Працівник починає вимагати, щоб до початку роботи наряд було введено в АСУ, своєчасного приймання робіт. Якщо закриття наряду неможливе без оцінювання одержання відповідних матеріалів на складі й зданих на склад замінених вузлів, то й занесення цієї інформації відповідно простимульовано. Аналогічно можна мотивувати майстра заповнювати вікно експрес-аналізу причини виникнення понадциклової роботи, тому що без цього не можна

закрити наряд. Отже, без підв'язки роботи АСУ із зарплатою тих, хто з нею працює, не можна добитися достовірної інформації. Нарахування заробітної плати відділом праці й заробітної плати тільки за даними виписаних і прийнятих майстром нарядів в АСУ — головна умова працездатності АСУ.

При описаному підході з'являються й побічні позитивні ефекти: працівник завжди може подивитися в АСУ, які роботи потрапили в оплату. Майстер завжди легко може перевірити завантаження працівників бригад. Соціальна прозорість інформації позитивно впливає на клімат у колективі.

Коли робота з АСУ ґрунтується на мотивації щодо кінцевого результату, а саме нарахування зарплати, можна вибудовувати технологічний ланцюжок управління ТО і ПР. Наприклад, наряд на роботи неможливо виписати, якщо локомотив не був запланований на ремонт (декадне або тридобове планування), прийнятий у встановленому порядку з реєстрацією виявлених зауважень, заповненням змінно-добового завдання. Не можна закрити наряд, якщо передбачені технологічною картою ремонту запасні частини й матеріали не отримано зі складу, а зняті з локомотива вузли не здані на склад матеріалів повторного використання. Не можна списати матеріали, видані майстрові на підзвіт, поки локомотив не вийшов із депо і прийнятий представником експлуатаційного локомотивного депо. До виходу локомотива відділ праці та заробітної плати «не бачить» закриті й прийняті наряди слюсарів і за ними не можна провести нарахування заробітної плати.

З іншого боку, не має бути можливості виконати ту або іншу дію раніше чи пізніше встановленого технологією моменту часу. Не можна почати роботу, поки локомотив не прийнятий у ремонт. Не можна відзначити початок й завершення робіт, якщо локомотив уже вийшов з депо. Видати матеріали зі складу можна тільки під локомотив, який фактично перебуває в депо, і в кількості не більше за ту, яка зазначена в електронній технологічній карті. В АСУ таку інкапсульовану технологію роботи називають «Убудована

якість». У світовій практиці відомий термін «пока-йоке» («захист від дурня») [34].

За рахунок блокування неправильних дій і пропонування правильних також слід убудувати в АСУ методики й вимоги міжнародних стандартів управління якістю. Наприклад, правильно вибудовуючи послідовність дій, можна реалізувати в АСУ метод послідовного розбору проблем 8D. А зі з'ясуванням причин відмов реалізувати методики 5W2H і 5W. У результаті можна працювати відповідно до вимог ISO і ДСТУ, не вимагаючи при цьому від кінцевих користувачів знання стандартів.

Організація управління ТО і ПР через АСУ за правильної мотивації учасників процесу дає змогу автоматизувати дотримання технологічної послідовності дій, що є одним із джерел підвищення надійності локомотивів і скорочення витрат на його ТО і ПР. Одночасно спрощується контроль дотримання технологічної дисципліни, підвищується рівень організації ТО і ПР.

Наступна методика забезпечення ефективності роботи АСУ — вбудований логічний контроль введення даних. Наприклад, АСУ блокує вікно «рівень пального» при заході електровоза або виміри лічильника електроенергії в тепловозах. Не можна одержати зі складу деталей, що не належить до виписаної роботи, перевищити допустиму кількість одержуваних зі складу деталей, виконати роботу набагато швидше встановленого нормативу, призначити неприпустиму для певної серії локомотива роботу. Можна заблокувати виконання роботи слюсарем із розрядом нижче встановленого в роботі, інші неприпустимі дії.

Окремо слід здійснювати логічний контроль несуперечності даних усередині АСУ та з суміжними інформаційними системами. Наприклад, якщо в АСОУП локомотив перебуває в стані ТО-3, то не можна завантажити шаблон робіт ПР-1.

З завершенням роботи необхідно зафіксувати об'єктивні показники якості ремонту, які мають потрапляти з АСТД. Наприклад, з

автоматизованих систем вібраційного діагностування КМБ, автоматизованих станцій реостатних випробувань, випробувальних стендів тощо [35].

За відсутності АСТД контрольні параметри вводить сам слюсар (виконавець робіт), представник ОТК або групи якості. При цьому знову вступає в роботу логічний контроль відповідності введених даних реально можливим (форматний контроль), нормативним допускам, відповідності логіці динаміки зміни параметра (наприклад заміряна товщина бандажа не може бути більше попереднього виміру). Отже, наряд не можна закрити за відсутності логічно правильних даних вимірів (діагностування), відповідних встановленим допускам.

Попередні методи забезпечення ефективності роботи АСУ стосувалися режиму online. Наступний дуже важливий метод стосується розподіленої в часі технології «цикл PDCA».

Головна ознака низької надійності локомотива — відмови, які проявляються через призначення понадциклових робіт на ТО і ПР або позапланове потрапляння локомотива в депо. Необхідний обов'язковий розбір кожної понадциклової роботи з формуванням корегувальних заходів. При цьому причини й заходи нечисленні: неякісне ТО і ПР (покарання винних, навчання, удосконалення технологічного процесу), неякісне комплектування (покарання постачальників, зміна постачальника, зміна типу комплектування), порушення режимів експлуатації (віднесення витрат на винну сторону, навчання машиністів, зміна умов експлуатації), неправильний технологічний процес ТО і ПР (зміна технологічних карт ТО і ПР), конструкційна відмова (перекладання витрат на завод-виготівник, зміна конструкції), деградаційна відмова (зміна термінів планово-попереджувальних ремонтів).

Отже, забезпечення саме замикання зворотного зв'язку (розбір причин і вживання заходів) при виникненні відмов є головною умовою як ефективності АСУ, так і забезпечення високої надійності локомотива.

4.1.3. Автоматизація формування звітів

Важливий мотиваційний і управлінський аспект роботи АСУ — автоматизація формування звітів. Слід відзначити підвищення ефективності використання праці фахівців, істотне зниження інтелектуальних втрат — восьмий вид втрат, за системою управління Lean Production System («Ощадливе виробництво») [36].

Інженерно-технічний склад депо дуже багато робочого часу витрачає на формування різного роду звітів (періодичних і за запитом). Як правило, ці звіти готують на комп'ютері з використанням пакетів програм MS Word, Excel, Power Point і навіть Visio. Але при цьому саму працю слід вважати непродуктивною, хоч і з використанням інформаційних технологій.

Якщо вихідні дані для звітів були введені в АСУ, то нема проблем з автоматизацією формування звітів, навіть нестандартних із використанням технології конструктора звітів. Досвід впровадження АСУ показує, що позбавлення працівників необхідності вручну формувати звіти, можливість у режимі online подивитися будь-яку інформацію на екрані комп'ютера й за необхідності роздрукувати звіт роблять працівників депо прихильниками АСУ, з відповідною мотивацією якісно вводити первинну інформацію.

Отже, будь-які форми «ручних» звітів при впровадженні АСУ мають бути викорінені з роботи депо, оскільки їх наявність знижує достовірність даних АСУ через наявність подвійних даних.

Наступний важливий фактор забезпечення ефективності АСУ — інкапсуляція в неї математичних методів. Методи статистичного управління дають змогу контролювати достовірність даних перевірянням унімодальності вибірок через їхню ймовірнісну належність до одного з законів розподілу випадкової величини. Якщо дані не проходять за критерієм згоди Пірсона, то користуватися ними для ухвалення рішення недоцільно.

Обчислення трендів дає змогу прогнозувати подальший розвиток ситуації, обчислювати ймовірність того, що не станеться відмова обладнання до наступного заходу локомотива на ТО і ПР (оцінювати

залишковий ресурс). Кореляційний аналіз допомагає виявляти закономірності, залежність одних подій від інших, визначати наслідки (ефективність) тих або інших організаційних заходів, методи теорії нечітких множин - управляти ризиками виникнення небезпечних ситуацій, зокрема відмов локомотива. Обробка статистики ТО і ПР дає змогу розраховувати незнижуваний запас запасних частин та інших ресурсів депо, необхідних для виконання ТО і ПР, обробка статистики попередніх ТО і ПР - прогнозувати обсяги ремонту з поточним заходом локомотива на ремонт, інкапсуляція математичних і логічних методів - за рахунок створення підтримки прийняття рішень підвищувати якість організації ТО і ПР.

4.2. Імплементація моделі управління виробничими процесами ремонту локомотивів

АСУ МГ є взаємозалежною системою з п'яти процесів. Перший — моніторинг експлуатації, технічного стану локомотивів і наявності порушень їхніх режимів експлуатації. Другий — планування постановки локомотивів на планові види ТО і ПР, а також на позаплановий ремонт. Третій — внутрішньовиробниче планування, забезпечення виробничого процесу необхідними ресурсами. Четвертий процес — ТО і ПР із формуванням нарядів на виконання робіт і лімітно-забірних відомостей на отримані зі складу матеріали. І, нарешті, п'ятий — факторний аналіз інформації, виявлення проблем і вузьких місць, формування корегувальних заходів, реалізація принципу постійного поліпшення.

Для працівників депо АСУ МГ є системою вікон зі своєю функціональністю (рис. 4.2). Сіре тло демонструє блоки, що не входять до складу АСУ МГ і визначають стандартну функціональність, притаманну будь-якій іншій ERP-системі. Перша група вікон — планування, моніторинг, постановка на ремонт і заповнення діагностичної карти, видача локомотивів.

З вікнами працює виробничо-диспетчерський відділ депо (ВДВ). Друга група вікон — формування й виконання робіт, замовлення на склад. З вікнами працюють у цехах майстри, виконавці (слюсарі), група якості, фахівці МТЗ, заступник начальника депо з ремонту.

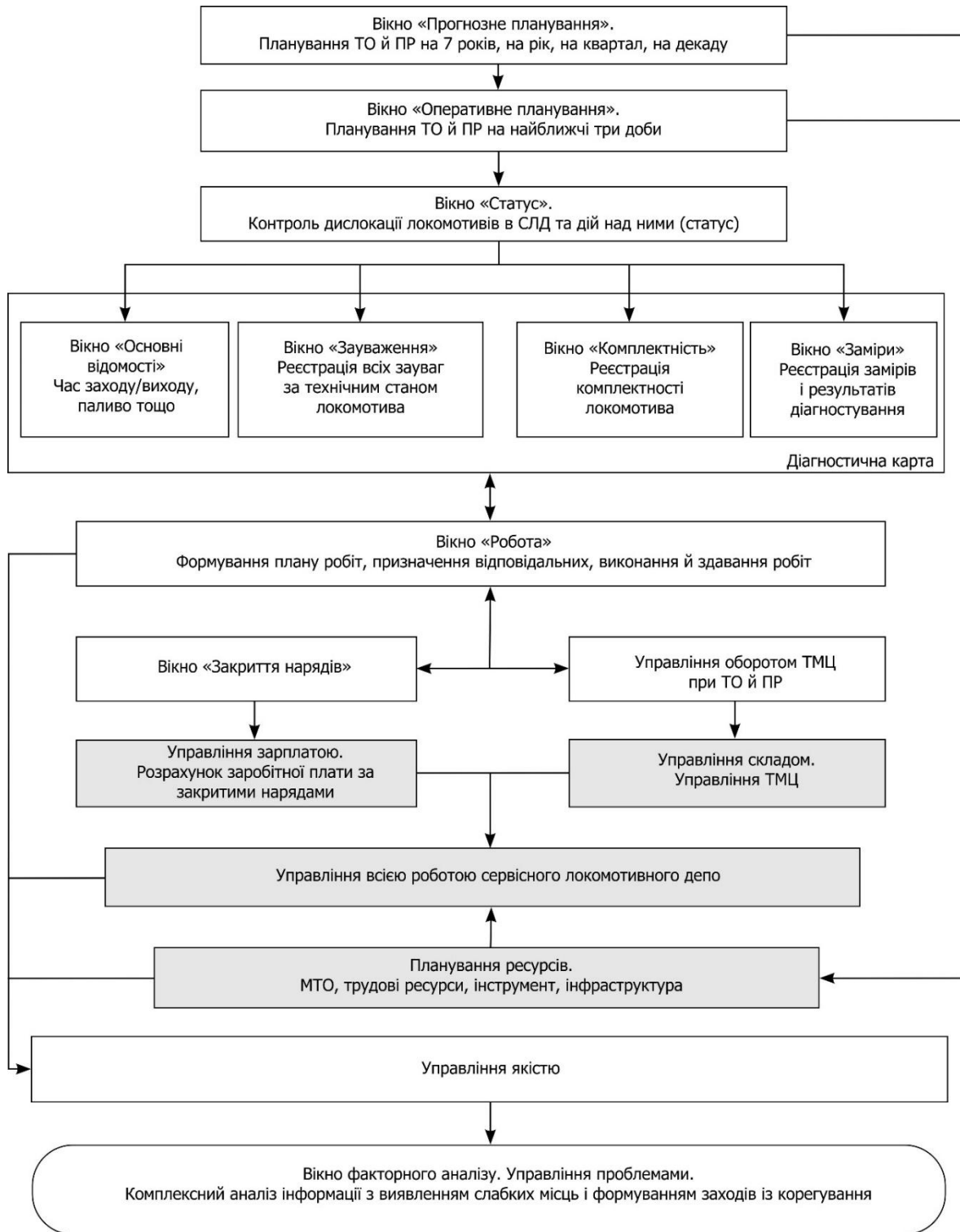


Рис. 4.2. Система користувацьких вікон АСУ «Мережевий графік»

Інші вікна використовують у відділі праці й заробітної плати, на складі, у бухгалтерії тощо. Система вікон гарантує роботу депо за правилами, принципом «Убудована якість». Робота в АСУ МГ поділена на окремі технологічні ролі, які може виконувати як один працівник, так і декілька, залежно від розмірів депо і завантаження фахівців депо. Так реалізується процесний підхід до функціонування АСУ.

Перша група функцій ТО і ПР і відповідних вікон АСУ МГ пов'язана із плануванням ТО і ПР і необхідних ресурсів депо, реалізованих у спеціально створених ВДВ інженерно-технічних працівників із такими функціями:

- моніторинг технічного стану локомотивів в експлуатації;
- технічне діагностування локомотивів при заході в депо;
- планування постановки локомотивів на ТО і ПР;
- припасування локомотивів на ТО і ПР;
- приймання локомотива;
- формування діагностичної карти локомотива;
- забезпечення виробництва необхідними ресурсами;
- контроль виробничих процесів ТО і ПР;
- видача локомотива на лінію.

Для роботи ВДВ в депо потрібно виділити окреме приміщення.

Важливе завдання ВДВ — управління логістикою депо: дислокацією локомотивів на коліях і позиціях, реєстрацією причин простою й відповідального за це. Для реалізації цієї функції створено вікно, де для кожного депо є своя спрощена схема депо, на якій зображено основні позиції депо (колії, стійла) із зазначенням зайнятості цих колій локомотивом, а також поточним станом локомотива (які операції виконують або з чим пов'язаний простій).

Вікном опікується диспетчер ВДВ депо або оператор при диспетчерові. Вікно дає змогу в режимі online контролювати наявність і

дислокацію локомотивів у депо із зазначенням причини знаходження й відповідального. Важливою складовою вікна «Статус» є система звітів, що аналізує причини надмірного простою локомотивів на планових і позапланових ремонтах, вживає корегувальних заходів за принципом постійного поліпшення (циклу PDCA). Вікно «Статус» — головний інструмент в управлінні простоєм локомотивів на ТО і ПР у депо.

Крім аналізу причин надмірного простою локомотивів, вікна управління логістикою оперативно контролюють збої в роботі депо, виділяючи кольором на електронній схемі локомотиви, що порушують технологічний ланцюжок ТО і ПР. Зазвичай причинами надмірного простою є зайнятість стійл для проведення ТО і ПР (найчастіше це позиції з верстатами для обточування бандажів колісних пар і скатопідіймачами для заміни КМБ, що відмовили [37]), відсутність запасних частин, маневрового локомотива, затримка приймання локомотива на ремонт і його видачі після ремонту.

Головна проблема роботи з вікном «Статус» — обмеженість у часі (уведення інформації має відбуватися безпосередньо після події передислокації або зміни статусу) і необхідність високої виконавчої дисципліни диспетчерів.

Планування постановки на ремонт може бути прогнозним і оперативним. Для прогнозного планування (на сім років, рік, квартал і місяць) використовують математичне моделювання роботи локомотива за статистикою середньодобових пробігів і простою локомотивів у депо; оперативного планування (декада, три дні, день) беруть фактичні пробіги локомотивів від останніх видів ТО і ПР. Обидві функції планування реалізовані в АСУ МГ.

У результаті прогнозного планування визначають потрібні ресурси (заявки), формування яких може потребувати багато часу. Прогнозне планування до появи АСУ було трудомістким, виконуваним одноразово. У результаті збіжність прогнозу з фактичною постановкою на ремонт була

низькою. АСУ дає змогу регулярно перераховувати прогноз (раз на місяць або квартал), що в результаті робить збіжність прогнозу максимальною.

Для оперативного планування разом із визначенням ресурсів важливим завданням є забезпечення виробничого процесу депо локомотивами за рахунок їх своєчасного припасування й приймання. Робота з вікнами планування в депо не має викликати труднощів.

Однак збіжність результатів декадного й тридобового пономерного планування з фактично поставленими локомотивами в депо може бути недостатньою. Тому в подальшому слід відслідковувати припасування локомотивів на ТО і ПР.

Одним із головних елементів роботи депо є формування діагностичної карти (ДК), що містить усі об'єктивні й суб'єктивні дані про технічний стан локомотива. ДК — це один з найважливіших документів АСУ МГ, що забезпечує управління ресурсами депо й надійністю локомотивів.

Діагностична карта складається із закладок, на кожній із яких міститься певна інформація про локомотив:

- основна (час заходу/виходу, витрати пального та електроенергії);
- план видачі (планована дата видачі локомотива з визначенням відповідального за видачу виконавця й керівника);
- діагностика (сукупність даних із усіх доступних систем технічного діагностування);
- зауваження з технічного стану локомотива, які слід усунути впродовж ремонту;
- МПВ (перелік лінійного обладнання (вузлів, агрегатів, деталей), яке демонтують і установлюють на локомотив у процесі проходження ТО і ПР);
- акти сервісного обслуговування, які формують у процесі ТО і ПР;
- історія (передислокації локомотива впродовж ТО і ПР, попередні ТО і ПР локомотивів);
- файли (акти з ТО і ПР локомотива сторонніх організацій).

Зкладка «Діагностика» є основним результатом реалізації функції «Моніторинг технічного стану й режимів експлуатації локомотивів», насамперед за даними бортових МСУ і деповських переносних і стаціонарних АСТД. Також джерелами інформації слугують ручні переносні й стаціонарні вимірювальні системи, дані яких заносять уручну або прикладають файли.

Отже, в АСУ МГ уперше створене єдине сховище діагностичної інформації, яке використовують як в оперативному управлінні ТО і ПР майстрами цехів, так і при управлінні надійністю локомотивів у цілому на рівні аналітичного апарата СЦ і заводів-виробників.

Головна проблема закладки «Діагностика» — відсутність автоматичного передавання даних від автоматизованих систем технічного діагностування — більшість даних прикладають у вигляді файлів або вводять уручну. Наявність розшифрованих даних важливо для аналізу тренду показників, прогнозування працездатності обладнання, його залишкового ресурсу. АСУ МГ дає змогу комплексно аналізувати розшифровані дані систем діагностування, основні з яких наведено в табл. 4.1.

Головний підсумок усієї роботи ВДВ — це формування плану робіт на поточний ремонт локомотива, який зайшов на ТО і ПР. Планово-попереджувальні роботи відомі заздалегідь, їх завантажують у систему автоматизовано за допомогою спеціально створених шаблонів. Додаткові понадциклові роботи з усунення виявлених відмов і передвідмовних станів формують за даними закладки «Зауваження», які до появи АСУ фіксували в паперовому рукописному журналі форми ТУ-28. За такою формою контроль якості усунення зауважень і, тим більше, аналіз були вкрай ускладненим.

Упровадження АСУ МГ дасть змогу формувати повний об'єм інформації про «історію хвороби» локомотива (протягом усього терміну експлуатації) — при заході локомотива в депо в системі уже є інформація про проблемні вузли, що потребують проведення додаткової діагностики або понадциклових робіт, щоб заздалегідь планувати ресурси (трудові, матеріальні тощо) під додатковий об'єм робіт.

Таблиця 4.1

Системи діагностування та їхні контрольовані параметри

Система діагностування	Контрольований параметр	A*
1	2	3
Заміри КП	Усі контрольовані параметри бандажів колісних пар	+
МСУ	Параметри, фіксовані бортовими мікропроцесорними системами управління: струми ТЕД і ГГ, параметри дизеля тощо	+
Реостат	Результати випробувань на станції реостатних випробувань у встановленій формі	+
Вібродіагностика	Результати вібродіагностичних випробувань КМБ: підшипники, редуктор	+
Хімічна лабораторія	Дані хімічної лабораторії з аналізу оливи	±
Переносні пристрої діагностики	Вимірювання активного опору постійному струму, індуктивності, часових інтервалів спрацювання електрокомутаційної апаратури, опору навантаження низьковольтних кіл, коефіцієнтів трансформації електричних машин постійного струму й трансформаторів, а також видачі напруги постійного й пульсуючого струму, які використовують для діагностування й налаштування електричних кіл, вузлів і апаратів локомотивів	+

1	2	3
Переносні пристрої діагностики	Контроль параметрів і виявлення дефектів обмоток ТЕД та іншого електрообладнання ТРС. Контроль параметрів і виявлення дефектів ізоляційних конструкцій різного електрообладнання ТРС. Діагностування електричних кіл ТРС. Контроль технічних характеристик струмоприймачів у цехах. Контроль технічних характеристик автогальмового обладнання. Контроль технічних характеристик струмоприймачів на даху локомотива (силу натягу, часові параметри підняття й опускання, лінійні переміщення). Контроль статичного напору повітря охолодження ТЕД	+
Неруйнівний контроль	Виявлення прихованих дефектів (мікротріщини, раковини, сторонні вкраплення в метал тощо)	±
Діагностування тиристорів ВІП	Діагностування випрямних установок локомотивів	+
Діагностування електричних машин	Фіксація параметрів ТЕД і допоміжних машин (струм, напруга, швидкість обертання, іскріння колектора, вібрація тощо)	+
Діагностування гальмового обладнання	Перевірка параметрів повітророзподільників, кранів машиністів, автостопів, компресорів, резервуарів та іншого гальмового обладнання (тиск, вихід штока тощо)	+

Продовження табл. 4.1

1	2	3
Діагностування паливного обладнання	Діагностування, випробування й налаштування паливних насосів, плунжерних пар насосів, форсунок, трубок високого тиску тощо	+
Діагностування механічного обладнання	Перевірки пружин, ресор, гідравлічних гасників тощо (міцність)	+
Діагностика параметрів локомотива універсальними лінійно-кутовими пристроями	Регулювання зазорів у гідроштовхачах. Заміри корінних підшипників колінчатих валів. Положення піскових труб, подавання піску під колісні пари. Параметри автозчіпних пристроїв. Параметри очищувача шляху тощо	-

Примітки: А* — можливість автоматизації передавання даних у ДК;

«+» — є така можливість за невеликих витрат;

«±» — можлива автоматизація через проміжний Excel-файл;

«-» — можливість автоматизації передавання даних ускладнена.

Уся інформація акумулюється в діагностичній карті локомотива в закладці «Зауваження» і є завданням на виконання понадциклових робіт майстрам цехів. Окрім об'єктивних джерел інформації, використовують суб'єктивні джерела інформації: бортовий журнал локомотива (форма ТУ-152), результати візуального огляду при прийманні локомотива на ТО і ПР (група приймання локомотива, майстри цехів, приймальники ОТК, зауваження з комплектності локомотива) тощо.

Друга група робочих місць в АСУ МГ — це робочі місця майстрів переділів (у теорії управління підприємством упроваджене універсальне поняття «переділ»: відносно відособлена частина технологічного підприємства, сукупність виробничих операцій, завершувані одержанням закінченого напівфабрикату).

Усе депо поділено на систему взаємозалежних переділів (табл. 4.2), за кожним із яких закріплена своя ремонтна функціональність. Умовно всі види переділів можна поділити на основні цехи (у які заходить локомотив для виконання певного виду ТО і ПР: ТО-2, ТО-3, ПР-1 тощо), допоміжні за видами обладнання (паливний, апаратний, автоматний, електромашинний тощо) і заготівельні (слюсарний, токарський, фрезерний, ковальський тощо).

Переділи також поділяють на три категорії: категорія 1 виконує безпосередньо ТО і ПР на локомотиві; категорія 2 здійснює ТО і ПР вузлам і агрегатам локомотива, МПВ на допоміжних ділянках; категорія 3 займається підтримкою працездатності депо в цілому (проведення планово-попереджувального ремонту верстатного обладнання, утримання будинків і споруд у працездатному стані), як правило, працівники переділів категорії 3 перебувають на погодинній оплаті праці (при цьому змінно-добове завдання формують для всіх категорій без виключення).

На підставі діагностичної карти АСУ МГ (насамперед закладок «Діагностика» і «Зауваження») майстер переділу планує циклові й додаткові роботи. Увесь процес відображений на екрані комп'ютера майстра з використанням дружнього інтерфейсу.

Таблиця 4.2

Основні переділи локомотивних депо

Переділ	Ремонтна функціональність
1	2
Відділення екіпірування локомотивів	Екіпірування
ПТОЛ	ТО-2
Цех оперативного ремонту	ТО-3, ПР-1
Цех підйомного ремонту	ПР-2, ПР-3
Дільниця міжпоїзного ремонту	НР
Дільниця реостатних випробувань	Реостатні випробування тепловозів

Продовження табл. 4.2

1	2
Дизель-агрегатна дільниця	Дизельне обладнання: водяні, масляні насоси, фільтри, секції холодильника, калорифери тощо
Відділення акумуляторне	Підготовка (ремонт, заправлення) акумуляторних батарей
Відділення зварювальне	Відновлення вузлів і агрегатів (зварювання)
Дільниця з ремонту автогальмівного і пневматичного обладнання	Компресори, регулятори тиску, крани машиніста тощо
Дільниця з ремонту електронного обладнання	Електрична апаратура: автоматичні вимикачі, випрямні блоки тощо
Відділення з обслуговування мікропроцесорної техніки	Обслуговування й ремонт МСУ
Дільниця з ремонту КМБ і обточування колісних пар	Демонтаж/монтаж, перекочування КМБ, обточування КП тощо
Паливний цех	Паливна апаратура: форсунки, паливні насоси тощо
Електромашинний цех	ТЕД, головні генератори, допоміжні машини
Електроапаратний цех	Електричні апарати, датчики, малі електричні машини
Дільниця ремонту механічного обладнання ТРС	Розбирання/збирання, регулювання, ремонт механічного обладнання локомотива тощо
Дільниця ремонтно-заготівельна	Власне виробництво тощо
Лабораторія неруйнівного контролю	Проведення неруйнівного контролю вузлів і агрегатів локомотива

1	2
Мийники-прибиральники ТРС	Миття/збирання вузлів локомотива
Склад МПВ	Зберігання (приймання/видача) МПВ
Дільниця з обслуговування і ремонту технологічного обладнання та інструменту	Проведення планово-попереджувального ремонту обладнання (верстати, стенди тощо)
Відділення з ремонту і утримання приміщень (господарський)	Утримання й ремонт будинків і споруд депо
Сторонні організації	Прилади безпеки, обмивання тощо

Вікно майстра поряд із вікном «Діагностична карта» є ключовим у системі. Багато в чому якість ремонту визначена правильністю дій майстра (вибір додаткових робіт, вибір і розміщення виконавців (слюсарів), контроль їхніх дій і якості виконаних робіт, приймання робіт). Робота майстра в АСУ МГ відбувається в умовах дефіциту часу. Як у жодному іншому місці, тут потрібний максимально дружній інтерфейс і система підтримки ухвалення рішень.

Робота майстрів починається з формування табеля співробітників, де майстер підтверджує явку працівників на роботу (первинну явку фіксує сам виконавець шляхом оцінювання смарт-картою на будь-якому робочому терміналі, розташованому в цеху). Після формування табеля майстер комплектує індивідуальне змінно-добове завдання кожному члену бригади. У процесі виконання ТО і ПР локомотива і МПВ майстер здійснює оперативний контроль виконання робіт із фіксацією даних в інформаційній системі.

Крім формування об'єму робіт і змінно-добових завдань, майстри переділів для ТО і ПР локомотива замовляють на складі товарно-матеріальні цінності (ТМЦ) і МПВ. Система підказує майстрові, які матеріали й ТМЦ

необхідні для тієї або іншої роботи (відображено історію попередніх замовлень ТМЦ, залишки ТМЦ, а також норми витрат). Після визначення майстром потреби заявка потрапляє працівникові складу, де комплектують «кошики» ТМЦ і МПВ. З готовністю заявки майстер одержує повідомлення «Кошик сформований». Формування лімітно-забірної відомості відбувається автоматично.

Робота виконавців (слюсарів, електромеханіків тощо) в АСУ МГ максимально спрощена: слюсар із використанням індивідуальних смарт-карт працює з інформаційними «кіосками» (терміналами), установленими в цехах, відмічає свій прихід на роботу, переглядає доручені йому роботи й послідовно відзначає їх виконання. Закінчивши роботу, слюсар відмічає це в режимі online. При виникненні проблем слюсар переводить роботу в стан «Пауза» із зазначенням причини (відсутність запасних частин, відволікання на іншу роботу, недоступність обладнання тощо). Так формується графік виконання робіт.

Зі зростанням культури досить дорогі «кіоски» можна замінити на альтернативні комп'ютери-екрани. Однак при цьому використання віртуальної клавіатури може бути незручним, тож виникає потреба в установленні стаціонарної клавіатури. Безпосередня робота виконавців в АСУ МГ — один із ключових елементів АСУ, що дає змогу отримати повну і достовірну інформацію.

Робота допоміжних підрозділів депо (бухгалтерії, економістів, кадрів тощо) автоматизована стандартними програмними засобами систем ERP. При впровадженні АСУ МГ виключено ручне введення інформації, автоматизовано надходження первинної інформації про виробничі процеси, у результаті чого прискорено введення інформації, підвищена достовірність і повнота інформації, скорочено витрати праці.

Упровадження АСУ МГ дає змогу суттєво скоротити витрати на допоміжний (невиробничий) персонал депо. Створено передумови навіть

для виключення окремих підрозділів депо з перенесенням їхніх функцій на рівень філії, центрального апарату й навіть аутсорсингових або аутстафінгових компаній.

Після проходження технологічного ланцюжка планування робіт у виробничо-технічному відділі, призначення робіт майстром, виконання робіт слюсарями, приймання робіт майстром, представником ВТК і керівництвом депо (заступником начальника депо з ремонту) у базі даних АСУ МГ готова інформація для нарахування заробітної плати.

Після виходу локомотива з ремонту інформація про виконані роботи надходить в електронному вигляді у відділ праці й заробітної плати, який перевіряє коректність закритих нарядів, після чого вводить їх у модуль розрахунків заробітної плати. Отже, увесь ланцюжок управління роботами й нарахуванням заробітної плати виконується в електронному вигляді.

Важливий ефект від упровадження АСУ МГ — автоматизація видачі ТМЦ на складі депо. Раніше ця операція в майстрів тривала досить довго, оскільки потрібна була їхня особиста участь в одержанні ТМЦ, вручну заповнювали лімітно-забірну відомість. У АСУ МГ є можливість використовувати нормативно-довідкову інформацію про потрібні ТМЦ. Майстер може також сам зазначити, які матеріали йому потрібні. Передбачена самонавчальна система, яка запам'ятовує попередні дії майстра при виконанні робіт.

Принципово нова якість управління, властива АСУ МГ, — це облік усіх видів матеріалів повторного використання, причому не тільки тих, які входять в обмежене поняття «лінійне обладнання». Важливо, що облік МПВ є номерним, індивідуальним за кожним конкретним вузлом. У результаті формується база даних не тільки про життєвий цикл локомотива в цілому, але і кожний конкретний МПВ усіх вибраних типів. Вирішення завдання управління життєвим циклом МПВ виводить управління роботою СЛД на якісно новий рівень: створено передумови для істотного розширення списку

лінійного обладнання аж до всіх видів МПВ, значно знижено трудомісткість оформлення супровідних управлінських і бухгалтерських документів із забезпеченням контролю правильності документообігу.

АСУ МГ блокує можливість видачі ТМЦ або МПВ у роботу, якщо ці матеріали не передбачені технологічною картою. З іншого боку, не можна закрити наряд на роботу, якщо необхідні ТМЦ і МПВ не отримані на складі, а відповідні МПВ не були здані на склад. Отже, реалізується технологія «Убудована якість».

Головна проблема з якістю в процесі ТО і ПР — наявність додаткових робіт, не передбачених системою планово-попереджувальних ремонтів. Розбір причин виникнення додаткових понадциклових робіт («Управління інцидентами») і усунення першопричин («Управління проблемами») — важлива складова АСУ МГ.

Робота над якістю ремонту починається з експрес-розбору майстром причин виникнення додаткових робіт. Після призначення й виконання додаткової роботи перед прийманням роботи майстер повинен зробити експрес-розбір (заповнити поля у вікні експрес-аналізу причини виникнення додаткової роботи за методикою 5W2H). Тільки після заповнення обов'язкових полів програма дозволить прийняти роботу. Дані вікна експрес-аналізу разом з об'єктивними даними про затрати праці й витрачені товарно-матеріальні цінності служать вихідними даними для управління надійністю локомотива, витратами ресурсів і якістю ТО і ПР.

Для роботи з вікном експрес-аналізу використовують класифікатори, що прискорюють роботу майстра і систематизують наступний аналіз.

Заповнені поля не обмежені аналізом, оскільки з АСУ МГ надходить інформація про працівника, завод-виготівник деталі, а також інші дані, необхідні для комплексного факторного аналізу надійності локомотива для вживання корегувальних впливів за принципом постійного поліпшення.

4.2.1. Вимоги з функціоналу депо при впровадженні сервісу локомотивів

Сервіс запроваджує потребу в наявності цифрової універсальної ремонтної позиції в депо, яка реалізує технологічну можливість виконання повного комплексу циклових і понадциклових робіт секції локомотива на єдиній позиції. Роботи виконують паралельно. Не потрібно додаткових маневрових робіт: кожна позиція оснащена повним комплектом ремонтного, підйомного й контрольно-діагностичного обладнання. Кількість універсальних позицій визначена кількістю секцій, які обслуговують одночасно. Усе обладнання об'єднане в єдину інформаційну мережу. Персонал обладнаний персональними мобільними пристроями для оперативного здійснення робочих комунікацій у режимі online: одержання завдань, оперативна підтримка рішень, статус виконання робіт, статус готовності запасних частин до видачі. Депо потребує реалізації таких основних автоматизованих функцій:

- єдиний майданчик для роботи диспетчерських служб, аналізу й контролю показників, планування робіт і ресурсів у депо;
- прогнозування відмов на основі телеметрії для підвищення надійності експлуатації;
- автоматизоване визначення зношування гальмових колодок для зниження часу діагностики;
- прогнозування зношування бандажів колісних пар для підвищення надійності експлуатації й планування робіт з обточування;
- аналіз зношування МОП для підвищення надійності експлуатації;
- RFID ідентифікація для моніторингу лінійного обладнання;
- відеорозпізнавання номерів секцій для контролю переміщення й часу в'їзду/виїзду;
- електронний бортовий журнал форми ТУ-152 і паспорт локомотива для прискорення обміну інформацією з експлуатацією;

- відеофіксація ходу ремонту для контролю операцій у цехах;
- цифровий профілометр биття колектора ТЕД для підвищення якості ремонтів ТЕД;
- використання сучасних профілометрів для прискорення й підвищення точності контролю параметрів колісних пар;
- контроль параметрів зношування колектора для підвищення якості ремонтів;
- вимір рівня масла в зубчастих передачах для обліку й економії мастильних матеріалів;
- система мобільних додатків для прискорення видачі, узгодження й приймання робіт;
- біометрична система для точної ідентифікації працівників, наявності об'єктивних даних з явки для ухвалення рішень;
- позиціонування в цеху для визначення фактичного завантаження персоналу, оптимізації внутрішньоцехової логістики;
- відеореєстратори для контролю технологічних операцій, які проводить персонал;
- блокування призначення робіт з урахуванням явки й завантаження для підвищення якості й швидкості призначення робіт;
- автоматичне нарахування зарплати для реалізації системи мотивації персоналу за фактом закриття електронних нарядів, виписаних у результаті індивідуального планування об'єму ТО і ПР для кожної секції локомотива;
- індивідуальні плани для забезпечення оптимального об'єму робіт для кожного працівника бригади;
- облік активності через мобільні додатки для підвищення точності й оперативності ухвалення рішення;
- автоматизований склад для прискорення видачі ТМЦ, обліку ТМЦ із прив'язкою до запланованих робіт;

- облік ТМЦ, списання на кожний локомотив для контролю виконання робіт і підвищення ефективності використання ТМЦ;
- єдина система управління наявністю й станом колісних пар;
- штрихкодування, RFID і NFC мітки для автоматизації обліку ТМЦ і лінійного обладнання, МПВ;
- електронний чек-лист для контролю ремонтів для підвищення якості ремонтів і швидкості випуску;
- повторні автоматичні заміри зношування гальмових колодок для прогнозування зношування колодок і часу їх заміни;
- повторна автоматична діагностика на основі телеметрії для контролю якості ремонтів і підвищення надійності в експлуатації;
- автоматичне визначення часу виходу локомотива з ремонтної позиції та депо для підвищення точності й об'єктивності обліку часу на обслуговування;
- система автоматичного контролю якості для підвищення точності й об'єктивності.

4.2.2. Проблеми з упровадженням інформаційних технологій організації процесів ТО і ПР

Для практичної реалізації моделі у вигляді АСУ МГ слід накопичувати значний практичний досвід впровадження й подолання проблем. Перша проблема є теоретичною: ризик, що в персоналу депо не вистачить кваліфікації для роботи з комп'ютером. Епоха ІТ-технологій дасть змогу знизити проблеми з навчання як майстрів, так і слюсарів.

Реальна проблема — це обмеженість часу в оперативного персоналу для введення інформації в комп'ютер, але в нагоді стає дружній інтерфейс програм для взаємодії з системою. Крім того, час, який витрачають на введення даних, компенсується істотним скороченням часу на формування звітів за рахунок їх автоматизації.

Інша потенційна проблема — це робота слюсарів із клавіатурою й сенсорними екранами: після ремонту локомотива руки працівників можуть бути в маслі й бруді, що суттєво ускладнить роботу з комп'ютером. Мити щораз руки є трудозатратним. Проблема може зменшитися з підвищенням культури виробництва.

Важливо мати окреме приміщення для обчислювальної техніки з потрібними кліматичними й сангігієнічними умовами. У цехах старих виробництв таких приміщень нема. Для вирішення цієї проблеми важливо підвищувати культуру виробництва в цілому, створювати ергономічні робочі місця майстрів в окремих приміщеннях безпосередньо в цехах.

Наступне завдання, яке слід вирішити при впровадженні АСУ, — відмова від паперових облікових форм, наявність яких знижує достовірність даних в АСУ. Обов'язкова умова успішності АСУ — первинність даних в електронній базі даних порівняно з паперовими формами: якщо відмовитися від них неможливо (наприклад у бухгалтерії), то їх слід роздруковувати в автоматичному режимі за даними АСУ. Зрештою облікові форми перетворюються у звітні.

Додатковою проблемою є комп'ютерні віруси, головним джерелом яких є несанкціоновані дії користувачів із запуску своїх програм і вихід в Інтернет. Боротьбу з вірусами слід вести прийнятими в ІТ-середовищі методами. При цьому ризик зараження повністю виключити не можна.

АСУ реалізує захист від помилкових дій: індикація помилки, заборона неправильних дій, підказка правильних дій, автоматизація процесу з правильного алгоритму за принципом «правильно або ніяк». Але необхідний перехідний період від роботи від принципу «таке є прийнятним», «так зручніше» до роботи за технологічними картами (принцип постійного поліпшення). Поступово неправильні дії мають бути заблоковані. Наприклад, слюсареві з невідповідним розрядом не можна призначити роботу, для якої потрібна більша кваліфікація; роботу з заміни

обладнання локомотива слід супроводжувати задачею знятого блока на склад і одержанням нового; переміщення КМБ можливе тільки на позиції зі скатопідіймачем.

Крім функцій заборони, є потреба в логічному контролі. Наприклад, контроль логічності результатів вимірів: товщина гребеня колісної пари, зношування полоза пантографа, товщина гальмової колодки, розмір електричної щітки мають тільки зменшуватися, пробіг локомотива – тільки збільшуватися.

Нагальна потреба полягає в обов'язковості ведення різних журналів (наприклад облік ремонтів форми ТУ-28), заповнення яких передбачено регламентом ремонту. Паперові носії інформації ефективно замінюють екранними формами, але відмова від журналів потребуватиме зміни нормативних документів. Виникатиме необхідність у друкуванні журналів за даними АСУ. Це ще одна проблема перехідного до АСУ періоду.

Перелічені проблеми, що виникають при впровадженні АСУ, потребують поетапного вирішення впродовж усього періоду впровадження й дослідної експлуатації автоматизованих технологій управління. Упровадження АСУ МГ стане затребуваним на всіх рівнях управління. Майстри й слюсарі безпосередньо використовуватимуть АСУ МГ у своїй роботі, у режимі online працюватимуть комірники. Відділ праці й заробітної плати й бухгалтерія також користуватимуться АСУ МГ, але вже не в режимі online. Групи якості й керівництво депо не працюватимуть більше з вихідними таблицями. Вищі керівники також матимуть можливість подивитися вихідні дані, працюючи з узагальненими, статистично обробленими даними, поданими у вигляді таблиць — діаграм Парето [38].

Запитання для підготовки до модульного контролю

1. Наведіть особливості всіх відомих промислових революцій.
2. Які існують види інтеграції в межах Індустрії 4.0?
3. Які ознаки характеризують Індустрію 4.0?
4. Які зміни спіткали систему ТО і Р в межах Індустрії 4.0?
5. Як класифікують стратегії ТО і Р?
6. Як класифікують ТО і Р за рівнем збереженості експлуатаційних характеристик обладнання?
7. Що називається ТО і ПР локомотивів?
8. У чому полягає особливість традиційного ТО і ПР локомотивів?
9. У чому полягає перевага традиційного ТО і ПР локомотивів?
10. Як впливає потреба підтримки технічного стану найбільш навантажених вузлів локомотивів на традиційний характер ТО і ПР локомотивів?
11. Який принцип проведення ТО і ПР в європейських країнах був домінуючим?
12. Охарактеризуйте розвиток системи сервісного обслуговування в європейських країнах.
13. У чому полягає принцип «управління життєвим циклом»?
14. У чому полягає особливість сервісного ТО і ПР локомотивів?
15. У чому полягає особливість угоди про сервісний рівень (Service Level Agreement)?
16. Які виклики стоять перед локомотивними депо при переході на сервісну систему ТО і ПР?
17. Які додаткові вимоги висувають до сервісного ТО і ПР локомотивів?
18. Які показники використовують при аналізі надійності локомотивів?

19. У яких журналах фіксують зауваження стосовно технічного стану локомотивів?
20. Які показники використовують упродовж сервісного ТО і ПР локомотивів?
21. Які складові входять до виразу коефіцієнта технічної готовності локомотивів?
22. Які причини низького коефіцієнта технічної готовності локомотивів?
23. На які фактори слід зважати при розробленні моделі сервісного ТО і ПР локомотивів?
24. Які завдання стоять перед управлінням життєвим циклом локомотивів?
25. Що лежить в основі управління життєвим циклом локомотивів?
26. Які є засоби візуалізації технологічних процесів?
27. Які можливості має мережевий графік?
28. Які програмні пакети дають змогу реалізовувати засоби візуалізації технологічних процесів?
29. Що називається багаторівневістю сервісної моделі управління ТО і ПР локомотивів?
30. Що називається «свердленням» у мережевому графіку?
31. Які базові функціональні підсистеми входять до інформаційно-динамічної моделі управління сервісним ТО й ПР локомотивів?
32. Які системи технічного діагностування застосовують при організації моніторингу експлуатації і технічного стану локомотивів?
33. За якими характеристиками визначають фактичний стан локомотива?
34. За якими показниками визначають дату постановки локомотива на ремонт?

35. Перерахуйте види ресурсів, які залучають для внутрішньовиробничого планування.

36. Які потрібні передумови для реалізації технологічних виробничих процесів ТО і ПР локомотивів?

37. Що дає змогу визначати моніторинг технічного стану вузлів локомотивів?

38. Які особливості реалізації бортових апаратно-програмних комплексів локомотивів?

39. Як здійснена реалізація засобів візуалізації інформації в сучасних локомотивах?

40. Як визначають функціональність бортових апаратно-програмних комплексів локомотивів?

41. На які електричні параметри перетворюються контрольовані датчиками параметри?

42. Які ключові датчики дають змогу контролювати працездатність локомотива в цілому?

43. Який уніфікований набір функцій мають бортові апаратно-програмні комплекси локомотивів?

44. Де розшифровують і аналізують інформацію, накопичену в бортових апаратно-програмних комплексах?

45. Яка одна з передумов стійкості процесів технічного обслуговування й поточного ремонту локомотивів?

46. Які складові входять до виразу розрахункового незнижуваного запасу?

47. Яким має бути незнижуваний запас комплектування в ідеальному випадку?

48. У чому полягає самонавчальна система розрахунку незнижуваного запасу?

49. У чому полягає відмінність матеріальних ресурсів від трудових?

50. Які є способи підвищення продуктивності праці трудових ресурсів?
51. Наведіть особливості методу Кіплінга.
52. Як розшифровують метод «5W+1H+1S»?
53. У чому полягає суть методу «Убудована якість» на етапі ТО і ПР локомотивів?
54. У чому полягає основна мета прогнозного планування?
55. На який термін здійснюють оперативне планування?
56. Який процес відбувається на етапі приймання локомотива в ремонт?
57. На який принцип ремонту орієнтуються локомотивні депо при впровадженні сервісного обслуговування?
58. Із яким терміном нині доцільно асоціювати АСУ?
59. Які переваги надають інформаційні технології?
60. Чому первинна інформація, яку вносять у систему, призводить до її суб'єктивізму?
61. Який найбільш ефективний мотиваційний стимул для якісної роботи слюсарів?
62. Який найбільш ефективний мотиваційний стимул для якісної роботи майстрів?
63. У чому суть інкапсульованої технології «Убудована якість» в АСУ?
64. У чому суть убудованого логічного контролю введення даних в АСУ?
65. Яка головна ознака низької надійності локомотива?
66. Які основні причини потрапляння локомотивів на позапланові ремонти.
67. Які статистичні методи мають бути інкапсульовані в АСУ?
68. Яке призначення діагностичної карти в АСУ «Мережевий графік»?

69. У чому полягають проблеми впровадження АСУ «Мережевий графік»?

70. Чим можна замінити паперові носії журналів ремонту локомотивів?

Бібліографічний список

1. Puglisi A. A joint framework for condition-based maintenance integrating prognostics and imperfect maintenance effects. Politecnico di Milano, Master of Science in Mechanical Engineering. 2020. 180 p.
2. Tay S. I., Chuan L. T., Nor Aziati A. H., Nur Aziat Ahmad A. An overview of Industry 4.0: Definition, components and government initiatives. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018. Vol. 10. P. 1379-1387.
3. European Committee for Standardization. UNI EN 13306: Maintenance-Maintenance terminology. 2017. 110 p.
4. Dhillon B. S. Maintainability, maintenance, and reliability for engineers. CRC Press, Boca Raton, 2006. 240 p.
5. Márquez A. C. The maintenance management framework. Springer-Verlag, London, 2007. 333 p.
6. Pham H., Wang H. Imperfect maintenance. *European Journal of Operational Research*. 1996. Vol. 94(3). P. 425-438.
7. Simpson T. F. B. Diesel Locomotive Building and Maintenance. *Journal of the Institution of Locomotive Engineers*. 1957. Vol. 47(256). P. 131-194.
8. Miller T. C. B. Maintenance of Diesel Electric Locomotives in Service. *Journal of the Institution of Locomotive Engineers*. 1964. Vol. 53(295). P. 577-661.
9. Крашенінін О. С., Яковлев С. С., Задесенець В. І. Обґрунтування критерію ефективності експлуатації локомотивів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. Т. 25(4). С. 10-14.
10. Обґрунтування стратегії організації ремонту локомотивів на основі наявних ресурсів / О. С. Крашенінін, О. О. Шапатіна, М. О. Калитинська та ін. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. Т. 28(4). С. 78-85.

11. Roda I., Macchi M. Maintenance concepts evolution: a comparative review towards advanced maintenance conceptualization. *Computers in Industry*. 2021. Vol. 133. 103531.

12. Farahani A., Tohidi H. Integrated optimization of quality and maintenance: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*. 2021. Vol. 151. 106924.

13. Rokhforoz P., Fink O. Hierarchical multi-agent predictive maintenance scheduling for trains using price-based approach. *Computers & Industrial Engineering*. 2021. Vol. 159. 107475.

14. Крашенінін О. С., Мацегора Д. О., Польовий О. В., Пахомов М. В. Управління запасами при організації сервісу локомотивного парку. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2021. Вип. 196. С. 140-149.

15. Крашенінін О. С., Яковлев С. С., Шапатіна О. О., Турубара О. О. Територіальне закріплення локомотивних депо за сервісними центрами. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2018. № 5. С. 10-22.

16. Daniels M., Lanning I., Ghadimi P., Heavey C. et al. Product lifecycle management requirements gathering: Industrial pilot cases. *7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control International Federation of Automatic Control*. 2013. P. 1750-1755.

17. Wilson J. M. Gantt charts: A centenary appreciation. *European Journal of Operational Research*. 2003. Vol. 149. P. 430-437.

18. Zhu S., Dekker R., Jaarsveld W., Renjie R. W. et al. An improved method for forecasting spare parts demand using extreme value theory. *European Journal of Operational Research*. 2017. Vol. 261. P. 169-181.

19. Hu Q., Chakhar S., Siraj S., Labib A. Spare parts classification in industrial manufacturing using the dominance-based rough set approach. *European Journal of Operational Research*. 2017. Vol. 262. P. 1136-1163.

20. Reese J. Is Lean Production really lean? *Proceedings of a Joint German/US Conference. Under the Auspices of Deutsche Gesellschaft für Operations Research (DGOR), Operations Research Society of America (ORSA)*. 1993. P. 49-70.
21. Jeziorek O. Lean Production. Fortschritte der CIM-Technik. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 1994. 103 p.
22. Jayaram J., Das A., Nicolae M. Looking beyond the obvious: Unraveling the Toyota production system. *International Journal of Production Economics*. 2010. Vol. 128(1). P. 280-291.
23. Paladugu B., Grau D. Toyota Production System — Monitoring construction work progress with Lean principles. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. 2020. Vol. 5. P. 560-565.
24. Rojas M., Méndez A., Watkins-Fassler K. The hierarchy of needs empirical examination of Maslow's theory and lessons for development. *World Development*. 2023. Vol. 165. 106185.
25. Rebecca J., Anthara I. M. A., Silaban M., Situmorang M. R. Product quality improvement by using the waste assessment model and Kipling method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 879. 012172.
26. Guennouni N., Sallaberry C., Laborie S., Chbeir R. et al. ISEE: A heterogeneous information system for event explainability in smart connected environments. *Internet of Things*. 2021. Vol. 16. 100457.
27. Recht R., Wilderom C. Kaizen and culture: on the transferability of Japanese suggestion systems. *International Business Review*. 1998. Vol. 7. P. 7-22.
28. Maarof M. G., Mahmud F. A review of contributing factors and challenges in implementing Kaizen in small and medium enterprises. *Procedia Economics and Finance*. 2016. Vol. 35. P. 522-531.
29. Sundararajan N., Terkar R. Improving productivity in fastener manufacturing through the application of Lean-Kaizen principles. *Materials Today: Proceedings*. 2022. Vol. 61. P. 121-130.

30. Barbosa G. F., Shiki S. B., da Silva I. B. R&D roadmap for process robotization driven to the digital transformation of the industry 4.0. *Concurrent Engineering*. 2020. Vol. 28(4). P. 290-304.
31. Drakakia M., Karnavas Y. L., Tzionas P., Chasiotis I. D. Recent developments towards Industry 4.0 oriented predictive maintenance in induction motors. *International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing. Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 180. P. 943-949.
32. Schneidhofer C., Dubek K., Dörr N. Robust sensors enabling condition-based maintenance of lubricated components in locomotives and wagons. *Transport Research Arena (TRA) Conference. Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 72. P. 3236-3243.
33. Ur Rehman N., Nunziante G. The effect of the digital economy on total factor productivity in European regions. *Telecommunications Policy*. 2023. Vol. 47. 102650.
34. Saurin T. A., Ribeiro J. L. D., Vidor G. A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*. 2012. Vol. 31. P. 358-366.
35. Barnes A. Increased Locomotive performance using Condition Based Maintenance. *6th IET Conference on Railway Condition Monitoring (RCM 2014)*. 2014. P. 1-7.
36. Hossain Md M., Purdy G. Integration of Industry 4.0 into Lean production systems: A systematic literature review. *Manufacturing Letters*. 2023. Vol. 35. P. 1347-1357.
37. Wang J. Maintenance scheduling at high-speed train depots: An optimization approach. *Reliability Engineering and System Safety*. 2024. Vol. 243. 109809.
38. Baker K. R., Trietsch D. Principles of sequencing and scheduling. Wiley, 2018. 637 p.

Визначення необхідної кількості сервісних центрів

Для визначення оптимального розміру зон обслуговування та необхідної кількості СЦ на кожному кроці обчислення слід ухвалювати рішення залежно від вже отриманих поточних результатів. Процедура є такою:

- 1) формують окрему оптимальну зону для одного СЦ;
- 2) формують сусідню окрему зону;
- 3) перевіряють можливість об'єднання цих двох зон із двома СЦ в одну, взявши до уваги характеристики обслуговування: час очікування й час у русі;
- 4) формують нову зону. Додавання зон відбувається за таким принципом, щоб у процесі розростання загальна територія, покрита зонами обслуговування, залишалася компактною;
- 5) повторюють третій крок;
- 6) процедура триває доти, поки вся територія не буде покрита зонами обслуговування.

Для реалізації процедури пошуку регіонального закріплення локомотивних депо за сервісними центрами розглянемо схему й відстані між депо та ремонтними заводами (рис. Д.1.1).

За територією місця розташування заводів дають змогу компактно охопити навколишні локомотивні депо. Особливістю локомотивних депо є наявність у їхньому приписному парку різних серій і типів локомотивів: тепловозів та електровозів. Це створює певні незручності при виборі локомотиворемонтного заводу для проведення великих видів ремонтів як локомотивів, так і окремого обладнання локомотивних депо.

Деякі з локомотиворемонтних заводів працюють не на повну потужність через низку причин, і для їхнього подальшого ефективного функціонування доцільно створити умови для спеціалізації з надання сервісних послуг із ремонту обладнання для локомотивних депо.

Для обґрунтування закріплення за локомотиворемонтними заводами таких функцій і створення на їхній базі СЦ розглянемо й проаналізуємо витрати на організацію ТО, ПР. У табл. Д.1.1 наведені дані з витрат на організацію ТО, ПР деякими депо регіональної філії «Південна залізниця». Найчастіше депо виконують ТО-3 і ПР-1, причому за тепловозним парком значно перевищено норми простою, а значні витрати припадають на проведення НР. Саме це й визначає потребу створення умов для сервісного обслуговування локомотивного парку депо. Для визначення потреби в сервісному обслуговуванні депо були виділені складові, пов'язані з перевищенням норм простою на ТО-3, ПР-1 за тепловозним парком і витратам на НР. У табл. Д.1.2 систематизовано види витрат за окремими серіями тепловозів і час у русі на одну поїздку з локомотиворемонтного заводу (сервісного центру) до локомотивного депо. Час у русі обчислюють за даними відстані між СЦ і локомотивними депо за рис. Д.1.1 і середньою технічною швидкістю $v_{\text{тех}} = 40$ км/год (табл. Д.1.3) для варіантів, коли СЦ організований у Полтаві (при ПТРЗ) — перший варіант, коли СЦ організований в Ізюмі (при ІТРЗ) — другий варіант, визначено час у русі для доставлення необхідного обладнання.

У табл. Д.1.4 визначена інтенсивність заявок на обслуговування. Зважаючи на те, що сервісний центр забезпечує високий рівень обслуговування, було прийнято нормативні витрати на ТО і ПР з урахуванням доставлення обладнання.

Як видно з наведених у табл. Д.1.4 даних, для депо Полтава й Смородине обслуговування доцільно провадити тільки з СЦ Полтавського тепловозоремонтного заводу (ПТРЗ).

Таблиця Д.1.1

Витрати на проведення ТО, ПР у регіональній філії «Південна залізниця» за 2017 рік

Вид ТО, ПР Демо		ТО-3				ПР-1				ПР-2				ПР-3				Загальний простій, годин		Поза-планові ремонтів
		Кількість локомотивів, яким виконано ТО-3	Середня тривалість, годин	Сумарна тривалість, годин	Норма	Кількість локомотивів, яким виконано ПР-1	Середня тривалість, годин	Сумарна тривалість, годин	Норма	Кількість локомотивів, яким виконано ПР-2	Середня тривалість, днів	Сумарна тривалість, днів	Норма	Кількість локомотивів, яким виконано ПР-3	Середня тривалість, днів	Сумарна тривалість, днів	Норма	ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3		Загальна тривалість непланових ремонтів, годин
																		По серіям	Всього	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Електровозне депо Харків-Головне (ТЧ-2)	ЧС2	27	12	324	12	19	24	456	24	-	-	-	2	2	5	10 (240 годин)	5	1 020	6 588	38
	ЧС7	92	12	1 104		88	24	2 112		2	4	8 (192 години)	4	5	10 (1 200 годин)	10	4 608			
	ВЛ11	-	-	-		-	-	-		-	-	-	-	4	4	40 (960 годин)	960			
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	ТЭ11Г	50,5	76,04	3840,02	16	14	95,07	1 330,98	48	-	-	-	8	-	-	-	10	5 171	18 412	6289,25
	ТЭП70, 150	95	72,02	6 841,9	12	34	124,95	4 248,3	48	-	-	-	5	4	5, 03 (120,74 годин)	20,12 (482,96 годин)	6	11 573,16		
	ТГМ, ТГК, ТУ-2, ТУ-7	77	12	924		16	24	384	24	-	-	-	4	3	5	15 (360 годин)	5	1 668		
Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	ВЛ80Г	-	-	-	12	112	18,59	1 041,04	24	3	2,12	2,12 (50,88 годин)	4	-	-	-	10	1 091,92	7 233,35	317,7
	ВЛ80К	-	-	-			15,25	854			2,42	4,84 (116,16 години)		-	-	-		970,16		
	2ТЕ116	32	31,73	1 001,6	16	9	40,49	364,41	48	-	-	-	8	-	-	-		1 366,01		
	ТЕП70, 150	30	18,02	540,6	12	7	17,22	120,54	36	-	-	-	5	-	-	-	6	661,14		
	ЧМЕЗ	123	20,84	2 563,32		24	24,20	580,8	24	-	-	-	4	-	-	-	5	3 144,12		
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	2ТЕ116	10	63,3	6 583,2	16	2	82,3	2 057,5	48	-	-	-	8	-	-	-	10	8 640,7	8 640,7	8371
	ЧМЕЗ	134			12	22	24		24	-	-	-	4	-	-	-	5			
	ТЕП70, 150	8			12	1	36		36	-	-	-	5	-	-	-	6			

Продовження табл. Д.1.1

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	ЧМЕЗ	49	12,8	627,2	12	7	24	168	24	-	-	-	4	-	-	-	5	795,2	795,2	2162
Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	ЧМЕЗ	158	11,81	1 865,98	12	25	24	600	24	-	-	-	4	-	-	-	5	2 465,98	2 752,06	239
	ТЕП170, 150	24	11,92	286,08	12	-	-	-	36	-	-	-	5	-	-	-	6	286,08		
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	2ТЕ116	3	86,95	260,85	16	1			48	-	-	-	8	-	-	-	10	260,85	38 054,57	96,2
	ЧМЕЗ	67	112,6	7 544,2	12	15	132,6	1 989	24	-	-	-	4	12	81,4 (777,6 годин)	976,8 (9 331,2 годин)	5	18 864,4		
	ВЛ11	72,5	82,6	5 988,5	12	72,5	82,6	5 988,5	24	6	4,5 (108 годин)	27 (648 годин)	4	3	87,56 (2 101,44)	262,58 (6 304,32 годин)	10	18 929,32		150,7
Локомотивне депо Харків-Сортувальний (ТЧ-10)	ЧМЕЗ	201	12	2 412	12	64	24	1 536	24	-	-	-	4	7	-	-	5	3 948	4 356	178
	ТГМ, ТГК, ТУ-2, ТУ-7	8	12	96	12	4	24	96		1	4	4 (96 годин)		1	5	5 (120 годин)	5	408		
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	2ТЕ116	14,5	71,4	1 035,3	16	4	198,8	795,2	48	3	8	24 (576 годин)	8	3	8,4	25,2 (604,8 годин)	10	3 011,3	13 094,4	1491
	ЧМЕЗ	50	87,9	4 395	12	11	133,1	1 464,1	24	-	-	-	4	-	-	-	5	5 859,1		
	ВЛ80к ВЛ80т	-	-	-		94	24	2 256	24	3	4	12 (288 годин)	4	7	10	70 (1 680 годин)	10	4 224		1583
Локомотивне депо Куп'янськ (ТЧ-15)	ВЛ82м	-	-	-	12	246	17,2	4 231,2	24	12	2,6	31,2 (748,8 годин)	4	10	12,7	127 (3 048 годин)	10	8 028	12 740	227,05
	ВЛ80к	-	-	-		61	19,1	573		2	2,5	5 (120 годин)		7	9,4	28,2 (676,8 годин)		1 369,8		
	ВЛ80т	-	-	-			30,3	939,3		-	-	-			10,4	41,6 (998,4 годин)		1 937,7		
	ЧМЕЗ	85	12	1 020		16	24	384		-	-	-		-	-	-	5	1 404		0

Таблиця Д.1.2

Витрати локомотивних депо на ТО-3, ПР-1 і НР

Вид ТО Депо		ТО-3								ПР-1						
		Кількість локомотивів, яким виконано ТО-3	Середня тривалість, годин	Норма	Сумарна тривалість, годин	Сумарна норма, μ	Різниця	Час на НР	Час у русі на одну поїздку, годин		Кількість локомотивів, яким виконано ПР-1	Середня тривалість, годин	Норма	Сумарна тривалість, годин	Сумарна норма, μ	Різниця
									I варіант	II варіант						
1		2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	2ТЭ116	50,5	76,04	16	3 840,02	808	3 032,02	6 289,3			14	95,07	48	1 350,9	672	678,9
	ТЭП70, 150	95	72,02	12	6 841,9	1 140	5 701,9				34	124,9	48	4 284,3	1 632	2 652,3
	ТГМ, ТГК, ТУ-2, ТУ-7	77	12	12	924	924	0		3,98	5	16	24	24	384	384	0
Σ					11 605,92	2 688	8 733,9							6 019,2	2 688	3 339,2
Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	2ТЕ116	32	31,73	16	1 001,6			1 028			9	40,49	48	364,41	432	- 67,6
	ТЕП70, 150	30	18,02	12	540,6				0		7	17,22	36	120,54	252	- 131,5
	ЧМЕЗ	123	20,84	12	2 563,3	1 476	1 087,3				24	24,2	24	580,8	576	4,8
Σ					4 105,5	2 348	1 757,5							1 065,75	1 260	- 194,25
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	2ТЕ116	10	63,3	16	633	160	473	8 731			2	82,3	48	164,6	96	68,6
	ЧМЕЗ	134	63,3	12	8 482,2	1 608	6 874,2		3,43	12,8	22	24	24	528	528	0
	ТЕП70, 150	8	63,3	12	506,4	96	410				1	33	36	33	36	- 3
Σ					9 621,6	1 864	7 757,6							561	564	- 3
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	ЧМЕЗ	49	12,8	12	627,2	588	39,2	2 162	2,25	10,9	7	24	24	168	168	0
Σ					627,2	58,8	39,2							729	732	- 3
Локомотивне депо Смородинове (ТЧ-8)	ЧМЕЗ	158	11,81	12	1 865,9	1 896	- 30,1	239	3,75	8,5	25	24	24	600	600	0
	ТЕП70, 150	24	11,92	12	286,1	288	- 1,9				-	16	16	0	0	0
Σ					2 152	2 184	-32							600	600	0
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	2ТЕ116	3	86,95	16	260,85	48	212,85	96,2	4,85	4,53	1	48	48	48	48	0
	ЧМЕЗ	47	112,6	12	7 544,2	564	6 980,2				15	132,6	24	1 989	360	1 629
Σ					7 805,05	612	7 193,05							2 037	408	1 629
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	2ТЕ116	14,5	71,6	16	1 035,3	232	803,3	1 491	4,62	13,5	4	198,8	48	795,2	192	603,2
	ЧМЕЗ	50	87,9	12	4 395	600	3 795				11	133,1	24	1 464,1	264	1 200,1
Σ					5 430,3	832	4 598,3							2 259,3	456	1 803,3

Таблиця Д.1.3

Час доставлення обладнання з СЦ до локомотивних депо

І варіант – сервісний центр у Полтаві			І варіант – сервісний центр в Ізюмі		
Депо	Відстань, км	Час у русі, год	Депо	Відстань, км	Час у русі, год
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	185	4,62	Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	526	13,5
Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	150	3,75	Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	341	8,5
Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	0	0	Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	375	9,38
Локомотивне депо Харків-Сортувальний (ТЧ-10)	159	3,98	Локомотивне депо Харків-Сортувальний (ТЧ-10)	200	5,0
Електровозне депо Харків-Головне (ТЧ-2)	159	3,98	Електровозне депо Харків-Головне (ТЧ-2)	200	5,0
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	159	3,98	Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	200	5,0
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	194	4,85	Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	181	4,53
Локомотивне депо Куп'янськ (ТЧ-15)	288	7,2	Локомотивне депо Куп'янськ (ТЧ-15)	99	2,5
Локомотивне депо Лиман (ТЧ-1)	316	8,15	Локомотивне депо Лиман (ТЧ-1)	49	1,23
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	137	3,43	Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	512	12,8
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	90	2,25	Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	436	10,9

Таблиця Д.1.4

Витрати, інтенсивність заявок (потреби) та інтенсивність обслуговування

Розрахунки Депо	Сумарний фактичний простій на ТО-3, П-1, год	Сумарний нормативний простій на ТО-3, ПР-1, год	Кількість НР, шт.	Час у русі на одну поїздку / на всі поїздки, год		Сумарний час на ТО-3, ПР-1 і в русі		Інтенсивність обслуговування, μ , год ⁻¹		Сумарний час на різниці ТО-3, ПР-1, год	Сумарний час з урахуванням НР, год	Інтенсивність заявок λ , год ⁻¹
				I варіант	II варіант	I варіант	II варіант	I варіант	II варіант			
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	17 625, 12	5 560	79	3,98 / 316	5 / 395	5 876	5 955	$1,7 \times 10^{-4}$	$1,68 \times 10^{-4}$	12 065,1	6 289,3	$5,45 \times 10^{-5}$
Локомотивне депо Полтава (ТЧ-5)	5 171,25	3 608	18	0	9,4 / 109,2	3 668	3 777,2	$2,77 \times 10^{-4}$	$2,65 \times 10^{-4}$	1 563,25	1 028	$3,86 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	10 182,6	2 428	53	3,43 / 181,8	12,8 / 678,4	2 609,8	3 106,4	$3,83 \times 10^{-4}$	$3,22 \times 10^{-4}$	7 754,6	8 371	$1,19 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	1 356,2	1 320	16	2,3 / 36,8	10,9 / 174,4	1 356,8	1 494,4	$7,37 \times 10^{-4}$	$6,69 \times 10^{-4}$	36,2	2 162	$4,55 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Смородине (ТЧ-8)	2 752	2 784	3	3,8 / 11,4	8,5 / 25,5	2 795,4	2 809,51	$3,57 \times 10^{-4}$	$3,56 \times 10^{-4}$	- 32	239	$4,83 \times 10^{-3}$
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	9 794	1 020	4	4,9 / 19,6	4,5 / 18	1 039,6	1 038	$9,62 \times 10^{-4}$	$9,63 \times 10^{-4}$	8 822,05	96,2	$1,12 \times 10^{-4}$
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	7 689,6	1 288	52	4,6 / 239,2	13,2 / 686,4	1 527,2	1 974,4	$6,55 \times 10^{-4}$	$5,05 \times 10^{-4}$	6 401,6	1 491	$1,27 \times 10^{-4}$

Для інших локомотивних депо були проведені розрахунки з визначення доцільності організації сервісних центрів у Полтаві (на ПТРЗ) (табл. Д.1.5), Ізюмі (на ІТРЗ) (табл. Д.1.6), а також за одночасної організації сервісу на цих підприємствах (табл. Д.1.7).

Відповідно до результатів розрахунків найгіршим є варіант організації СЦ на ІТРЗ для всіх депо, оскільки сумарний час очікування сервісу становить 10270 год. У варіанті, коли СЦ організовано на ПТРЗ, цей показник значно менший і становить 6935 год. Найкращим варіантом є варіант з організацією сервісу одночасно на ПТРЗ і ІТРЗ. У цьому випадку сумарний час очікування становить 899 год/р. [15].

Значення цього часу очікування обслуговування двома СЦ визначалося за виразами (3.8), (3.9), де $k=5$, $p=1,5583$, $\mu = 29,08 \times 10^{-4} \text{ год}^{-1}$.

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{1,5583}{1!} + \frac{1,5583^2}{2!} + \frac{1,5583^{2+1}}{2!(2-1,5583)}} = 0,21.$$

$$W = \frac{1,5583^2}{29,08 \times 10^{-4} (2-1)!(2-1,5583)^2} \cdot 0,21 = 899 \text{ год.}$$

Таблиця Д.1.5

Полтава (ПТРЗ) — сервісний центр

Розрахунки Депо	Інтенсивність заявок λ_i , год ⁻¹	Час в русі $t_{\text{рух}}$, год	Інтенсивність обслуговування μ_i , год ⁻¹	Приведена інтенсивність обслуговування $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	Час очікування $W_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i(\mu_i - \lambda_i)}$, год×10 ⁴	Сумарний час очікування $\sum W_i$, год×10 ⁴
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	$4,55 \times 10^{-4}$	36,8	$7,37 \times 10^{-4}$	0,617	0,219	0,219
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	$1,27 \times 10^{-4}$	239,2	$6,55 \times 10^{-4}$	0,194	0,037	0,256
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	$1,19 \times 10^{-4}$	181,8	$3,83 \times 10^{-4}$	0,31	0,147	0,403
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	$5,45 \times 10^{-5}$	316	$1,7 \times 10^{-4}$	0,321	0,277	0,680
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	$1,12 \times 10^{-4}$	19,6	$9,67 \times 10^{-4}$	0,1158	0,0135	0,6935
Σ	$8,675 \times 10^{-4}$	793,4	$29,12 \times 10^{-4}$	1,558	-	0,6935

Таблиця Д.1.6

Ізюм (ПТРЗ) — сервісний центр

Розрахунки Депо	Інтенсивність заявок λ_i , год ⁻¹	Час у русі $t_{\text{рух}}$, год	Інтенсивність обслуговування μ_i , год ⁻¹	Приведена інтенсивність обслуговування $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	Час очікування $W_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i(\mu_i - \lambda_i)}$, год×10 ⁴	Сумарний час очікування $\sum W_i$, год×10 ⁴
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	$1,12 \times 10^{-4}$	18	$9,63 \times 10^{-4}$	0,1163	0,0137	0,0137
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	$5,45 \times 10^{-4}$	395	$1,68 \times 10^{-4}$	0,324	0,286	0,299
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	$4,55 \times 10^{-4}$	174,4	$6,63 \times 10^{-4}$	0,686	0,481	0,779
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	$1,27 \times 10^{-4}$	686,4	$5,06 \times 10^{-4}$	0,251	0,066	0,845
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	$1,19 \times 10^{-4}$	678,4	$3,22 \times 10^{-4}$	0,369	0,182	1,027
Σ	$8,675 \times 10^{-4}$	1 952,2	$26,22 \times 10^{-4}$	1,7463	-	1,027

Таблиця Д.1.7

Два сервісних центри — Полтава, Ізюм

Розрахунки Депо	Інтенсивність заявок λ_i , год ⁻¹	Час у дорозі $t_{\text{рух}}$, год	Інтенсивність обслуговування μ_i , год ⁻¹	Приведена інтенсивність обслуговування $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
Локомотивне депо Гребінка (ТЧ-12)	$1,27 \times 10^{-4}$	239,2	$6,55 \times 10^{-4}$	0,194
Локомотивне депо Кременчук (ТЧ-6)	$1,19 \times 10^{-4}$	181,8	$3,83 \times 10^{-4}$	0,31
Локомотивне депо Ромни (ТЧ-7)	$4,55 \times 10^{-4}$	36,8	$7,37 \times 10^{-4}$	0,617
Локомотивне депо Основа (ТЧ-3)	$5,45 \times 10^{-5}$	316	$1,7 \times 10^{-4}$	0,321
Локомотивне депо Лозова (ТЧ-9)	$1,12 \times 10^{-4}$	18	$9,63 \times 10^{-4}$	0,1163
Σ	$8,675 \times 10^{-4}$	791,8	$29,08 \times 10^{-4}$	1,5583

Навчальний посібник

Пузир Володимир Григорович,
Крашенінін Олександр Семенович,
Жалкін Денис Сергійович

та ін.

ОРГАНІЗАЦІЯ СЕРВІСУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Відповідальний за випуск Михалків С. В.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 22.07.2024 р.

Умовн. друк. арк. 8,25. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.