

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Експлуатація та ремонт машин»

**ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ**

Методичні вказівки

до практичних занять для здобувачів вищої освіти другого (магістерського)  
рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія, (освітня програма  
«Технічний сервіс сільськогосподарської техніки)»

Затверджено на засіданні кафедри  
„Експлуатація та ремонт машин”  
протокол №   1   від 30.08.2024 р.

Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Технічний сервіс в АПК» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти за спец. 208 - Агроінженерія / [уклад. : М.В. Красота, О.В. Бевз, І.В. Шепеленко, Р.А. Осін, Г.С. Красота] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту машин. - Кропивницький : ЦНТУ, 2024. - 62 с (з дод.).

Рецензенти: Черновол М.І. – д.т.н., проф.;  
Васильковський О.М. – к.т.н., проф.;

Загальна редакція: доц. Красота М.В.

Укладачі:

Красота М.В., к.т.н., доц. каф. «ЕРМ»;  
Бевз О.В. – к.т.н., доц. каф. «ЕРМ»;  
Шепеленко І.В. – к.т.н., доц. каф. «ЕРМ»;  
Осін Р.А. – к.т.н., доц. каф. «ЕРМ».  
Красота Г.С. – інженер.

Відповідальний за випуск, комп'ютерний набір та верстка: Красота М.В.

© Технічний сервіс в АПК  
© Автори: М.В. Красота, О.В. Бевз, І.В. Шепеленко, Р.А. Осін, Г.С. Красота.

<b>ЗМІСТ</b>	<b>Стор</b>
Загальні вказівки до виконання практичних занять	5
<i>Практичне заняття №1</i> Планування технічних обслуговувань машино-тракторного парку	
<i>Практичне заняття №2</i> Розрахунок трудомісткості робіт по технічному обслуговуванню машин	
<i>Практичне заняття №3</i> Визначення режимів роботи та фондів часу майстерні по обслуговуванню машин	
<i>Практичне заняття №4</i> Аналіз експлуатаційної надійності агрегатів, ланок і технологічних комплексів	
<i>Практичне заняття №5</i> Вибір стратегій ремонтно-технічних дій для забезпечення надійної роботи технологічних комплексів	
<i>Практичне заняття №6</i> Визначення потреби в обмінному фонді запасних частин	
Рекомендована література	61

## **ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.**

Методичні вказівки до виконання практичних занять розроблені з метою закріплення і поглиблення теоретичних знань і отримання практичних навиків щодо виконання розрахунків для покращення організації технічного сервісу в агропромисловому комплексі.

В процесі виконання практичних занять здобувач вищої освіти закріплює набуті теоретичні і практичні знання шляхом вирішення конкретної інженерної задачі – Планування та організація технічного сервісу за машинно-тракторним парком сільськогосподарського підприємства.

При цьому він вчиться правильно і самостійно використовувати діючі стандарти, нормалі, довідники, періодичну технічну літературу.

Мета практичних занять полягає в оволодінні методикою та навичками самостійного розв'язування завдань із планування технічних дій при технічному обслуговуванні, розрахунку кількості та трудомісткості ТО і ремонтів МТП господарства; визначенню режимів роботи сервісного підприємства, вибору стратегій ремонтно-технічних дій для забезпечення надійної роботи технологічних комплексів.

Здобувач вищої освіти повинен навчитися користуватися нормативною, плановою і звітною документацією господарств, довідковою літературою, стандартами, кошторисною документацією, періодичною і іншою літературою.

Знання і досвід, набуті здобувачем вищої освіти при роботі над даною розрахунковою роботою є базою для виконання курсових проектів із спеціальних дисциплін та дипломної магістерської роботи, а також для його подальшої практичної роботи.

Кожне виконане практичне заняття здобувач вищої освіти захищає в індивідуальному порядку за контрольними питаннями. Позитивно захищене здобувачем вищої освіти практичне заняття підписується викладачем, який проводить практичні заняття. Складання захищених практичних занять є базою для нарахування балів згідно модулю та допуском до здачі екзамену з дисципліни «Технічний сервіс в АПК».

# 1. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1.

### Планування технічних обслуговувань машино-тракторного парку

#### Порядок виконання роботи

Завдання до практичного заняття (табл. 1.) - склад та планове річне напрацювання машинно-тракторного парку сільськогосподарського підприємства, вибирається індивідуально.

Таблиця 1- Склад та планове річне напрацювання МТП

Назва та марка	Кількість	Планове річне напрацювання	Назва та марка	Кількість	Планове річне напрацювання

#### 1.2 Розрахунок кількості технічних обслуговувань і ремонтів МТП господарства

Розрахунок річної кількості ремонтів і технічних обслуговувань по господарству можна проводити трьома способами:

- за плановим наробітком на кожен окрему машину з урахуванням наробітку від останнього виду ремонту і ТО;
- за плановим середньорічним наробітком на одну машину даної марки;
- за коефіцієнтом охоплення ТО і ремонтом.

Першим способом розрахунок кількості ремонтів і ТО виконують за формулами:

$$N_{\text{кр}} = \frac{W_{\text{р}} + W_{\text{кр}}}{M_{\text{кр}}}; \quad (1.1)$$

$$N_{\text{пр}} = \frac{W_{\text{р}} + W_{\text{пр}}}{M_{\text{пр}}} - N_{\text{кр}}; \quad (1.2)$$

$$N_3 = \frac{W_{\text{р}} + W_3}{M_3} - (N_{\text{кр}} + N_{\text{пр}}); \quad (1.3)$$

$$N_2 = \frac{W_{\text{р}} + W_2}{M_2} - (N_{\text{кр}} + N_{\text{пр}} + N_3); \quad (1.4)$$

$$N_1 = \frac{W_p + W_1}{M_1} - (N_{кр} + N_{пр} + N_3 + N_2), \quad (1.5)$$

де  $N_{кр}$ ;  $N_{пр}$ ;  $N_3$ ;  $N_2$ ;  $N_1$  – відповідно кількість капітальних, поточних ремонтів та ТО-3, ТО-2, ТО-1;

$W_p$  – запланований середньорічний наробіток на одну машину даної марки;

$W_{кр}$ ;  $W_{пр}$ ;  $W_3$ ;  $W_2$ ;  $W_1$ - відповідно наробіток даної машини від останнього капітального, поточного ремонтів та ТО-3, ТО-2, ТО-1;

$M_{кр}$ ;  $M_{пр}$ ;  $M_3$ ;  $M_2$ ;  $M_1$  - відповідно міжремонтний наробіток до капітального і поточного ремонтів та періодичність технічних обслуговувань (норма наробітку до ТО-3, ТО-2, ТО-1).

Другим способом розраховують кількість ремонтів і технічних обслуговувань за плановим середньорічним наробітком на одну машину даної марки. В даному випадку річну кількість ремонтів і ТО для тракторного парку доцільно визначати тільки цим способом.

Кількість капітальних ремонтів ( $N_{кр}$ ) визначають із виразу:

$$N_{кр} = \frac{W_p \times n}{M_{кр}}, \quad (1.6)$$

де  $W_p$  – запланований середньорічний наробіток на одну машину даної марки по господарству (див. завдання до РР);

$n$  – кількість машин даної марки (див. завдання до РР);

$M_{кр}$  – наробіток до капітального ремонту (додаток А, табл.А.7).

Кількість поточних ремонтів ( $N_{пр}$ ) визначають за формулою:

$$N_{пр} = \frac{W_p \times n}{M_{пр}} - N_{кр}; \quad (1.7)$$

де  $M_{пр}$  – наробіток до поточного ремонту (додаток А, табл.А.7)

Підставляють у формулу 1.7 числові значення і визначають кількість поточних ремонтів для тракторів однієї марки. Аналогічно ведуть розрахунок кількості РР для всього парку тракторів по марках, заносючи результати в таблицю 1.1.

Визначають кількість технічних обслуговувань ТО-3 ( $N_3$ ) за формулою:

$$N_3 = \frac{W_p \times n}{M_3} - (N_{кр} + N_{пр}), \quad (1.8)$$

де  $M_3$ - наробіток до ТО-3 тракторів даної марки (додаток А, табл.А.7).

Підставивши у формулу 1.8 числові значення, визначають кількість ТО-3 для тракторів однієї марки. Аналогічно розраховують кількість ТО-3 для всіх інших марок тракторів, заносючи результати в таблицю 1.1.

Кількість технічних обслуговувань ТО-2 ( $N_2$ ) і ТО-1 ( $N_1$ ) визначають за формулами:

$$N_2 = \frac{Wp_x n}{M_2} - (N_{кр} + N_{пр} + N_3) ; \quad (1.9)$$

$$N_1 = \frac{Wp_x n}{M_1} - (N_{кр} + N_{пр} + N_3 - N_2) , \quad (1.10)$$

де  $M_2$ ;  $M_1$  – відповідно наробіток до ТО-2 і ТО-1 (додаток А, табл.А.7).

Підставивши числові значення у формули 1.9 і 1.10 визначають кількість ТО-2 і ТО-1 для всього складу тракторів по марках, заносючи результати в таблицю 1.1.

В розрахунково-пояснювальній записці подають приклад розрахунку тільки для однієї марки трактора.

Кількість сезонних технічних обслуговувань (СТО) для тракторів кожної марки визначають з розрахунку, що кожний трактор за рік проходить два обслуговування: осінньо-зимове і весняно-літнє.

Кількість сезонних технічних обслуговувань ( $N_{сто}$ ) визначають за формулою:

$$N_{сто} = 2 \cdot n. \quad (1.11)$$

Підставивши числові значення у формулу 1.11 виконують розрахунок кількості СТО всього складу тракторного парку, заносючи результати в таблицю 1.1.

Післясезонне технічне обслуговування (ПСТО) для тракторів не проводиться.

Для комбайнів і простих сільськогосподарських машин розрахунок кількості ремонтів і ТО краще виконувати третім способом – за коефіцієнтом охоплення.

Кількість капітальних і поточних ремонтів ( $N_{кр}$  і  $N_{пр}$ ) для комбайнів визначають із виразів:

$$N_{кр} = K_{кр} \cdot n; \quad (1.12)$$

$$N_{пр} = K_{пр} \cdot n, \quad (1.13)$$

де  $K_{кр}$  і  $K_{пр}$  – відповідно коефіцієнт охоплення капітальним і поточним ремонтом (додаток А, табл.А.9);

$n$  – кількість машин даної марки (завдання до РР).

Визначають кількість КР, ПР для комбайнів, підставивши числові значення у формули 1.12 і 1.6.

Дані розрахунків кількості ремонтів парку комбайнів заносять у таблицю 1.1.

Технічне обслуговування  $N_3$  для комбайнів не виконується.

Кількість технічних обслуговувань ТО-2 і ТО-1 ( $N_2$  і  $N_1$ ) для комбайнів визначають за формулами:

$$N_2 = K_2 \cdot n; \quad (1.14)$$

$$N_1 = K_1 \cdot n, \quad (1.15)$$

де  $K_2$  і  $K_1$  - відповідно коефіцієнти охоплення ТО-2 і ТО-1 (додаток А, табл.А.9).

Підставивши числові значення у формули 1.14 і 1.15 знаходять кількість ТО-2 і ТО-1 для комбайнів всіх марок і заносять результати в таблицю 1.1.

Сезонне технічне обслуговування для комбайнів не проводиться.

Зернозбиральні комбайни та інші сільськогосподарські машини, які працюють посезонно підлягають післясезонному технічному обслуговуванню (ПСТО), яке виконується не пізніше як через 10 днів після закінчення сезонних робіт, в більшості випадків 1 раз на рік.

Кількість післясезонних технічних обслуговувань ( $N_{\text{псто}}$ ) відповідає кількості машин даної марки, тобто визначається за формулою:

$$N_{\text{псто}} = n \quad (1.16)$$

Визначивши числові значення кількості ПСТО для машин всіх марок, дані заносять в таблицю 1.1, форма якої подана нижче.

Таблиця 1.1 – Розрахункова кількість ремонтів і технічних обслуговувань машинно-тракторного парку

Марка машини	Кількість машин, шт. (n)	Запланований середньорічний наробіток на машині (W <sub>р</sub> )	КР		ПР		ТО-3		ТО-2		ТО-1		Кількість СТО (N <sub>сто</sub> )	Кількість ПСТО (N <sub>псто</sub> )
			Наробіток (M <sub>кр</sub> )	Кількість (N <sub>кр</sub> )	Наробіток (M <sub>пр</sub> )	Кількість (N <sub>пр</sub> )	Наробіток (M <sub>3</sub> )	Кількість (N <sub>3</sub> )	Наробіток (M <sub>2</sub> )	Кількість (N <sub>2</sub> )	Наробіток (M <sub>1</sub> )	Кількість (N <sub>1</sub> )		

**Примітка:**

Кількість капітальних ремонтів і технічних обслуговувань ТО-2 та ТО-1 для автомобілів розраховуються аналогічно, як і для тракторів, тільки план річного наробітку  $W_r$ , та міжремонтний наробіток до капітального ремонту  $M_{кр}$  і періодичність технічних обслуговувань (норма наробітку до ТО-2 і ТО-1) беруться у кілометрах пробігу автомобіля (завдання до ПР та (додаток А, табл.А.8)). ТО-3 для автомобілів не проводиться. Поточний ремонт автомобілям виконується при номерних обслуговуваннях за результатами діагностування.

## Практичне заняття №2

### Розрахунок трудомісткості робіт по технічному обслуговуванню машин

#### Короткі теоретичні відомості

Річна трудомісткість – це час, який необхідно витратити виробникам на виконання ремонтно-обслуговуючих робіт протягом року в даній майстерні (дільниці). Трудомісткість виражається в людино-годинах (люд.-год.).

Річна трудомісткість ремонтів і ТО визначається для машин кожного найменування і марки окремо. Загальна річна трудомісткість робіт на дільниці технічного обслуговування і діагностування чи центральної ремонтної майстерні (ЦРМ) складається із трудомісткості всіх видів ремонтів і ТО всього складу МТП, а також трудомісткості усунення відмов у машин під час експлуатації і додаткових робіт.

Річна трудомісткість ремонтів ( $T_{кр}$ ,  $T_{пр}$ ) визначається із виразів:

$$T_{кр} = t_{кр} \cdot N_{кр}; \quad (2.17)$$

$$T_{пр} = t_{пр} \cdot N_{пр}, \quad (2.18)$$

де  $t_{кр}$ ,  $t_{пр}$  – трудомісткість відповідно капітальних і поточних ремонтів однієї машини даної марки, люд.- год. (додаток А, табл.А.6, А.8).

$N_{кр}$ ,  $N_{пр}$  – кількість відповідно капітальних і поточних ремонтів (див.табл.2.1)

Підставивши числові значення у формули записують розрахунок трудомісткості для однієї марки машин. Результати розрахунку трудомісткості ремонтів всього складу МТП заносять в таблицю 2.2.

Річна трудомісткість технічних обслуговувань  $T_3$ ;  $T_2$ ;  $T_1$  визначається за формулами:

$$T_3 = t_3 \cdot N_3; \quad (2.19)$$

$$T_2 = t_2 \cdot N_2; \quad (2.20)$$

$$T_1 = t_1 \cdot N_1, \quad (2.21)$$

де  $t_3$ ,  $t_2$ ,  $t_1$ - трудомісткість відповідно ТО-3, ТО-2, ТО-1 однієї машини даної марки, люд.- год. (додаток А, табл.А.6, А.8);

$N_3$ ,  $N_2$ ,  $N_1$  – відповідно кількість ТО-3, ТО-2, ТО-1 однієї марки машин (табл.2.1).

Знаходять величину річної трудомісткості технічних обслуговувань підставивши числові значення у формули 2.19, 2.20, 2.21. Результати розрахунків заносять у таблицю 2.2.

Річну трудомісткість сезонних технічних обслуговувань ( $T_{сто}$ ) для тракторного парку і післясезонного технічного обслуговування ( $T_{псто}$ ) для комбайнів і сільськогосподарських машин визначають за формулами:

$$T_{\text{СТО}} = t_{\text{СТО}} \cdot N_{\text{СТО}}; \quad (2.22)$$

$$T_{\text{ПСТО}} = t_{\text{ПСТО}} \cdot N_{\text{ПСТО}}, \quad (2.23)$$

де  $t_{\text{СТО}}$ ,  $t_{\text{ПСТО}}$  – трудомісткість відповідно СТО для одного трактора даної марки і ПСТО для одного комбайна люд.-год. (додаток А, табл.А.6);

$N_{\text{СТО}}$ ,  $N_{\text{ПСТО}}$  – відповідно кількість СТО тракторів і ПСТО комбайнів однієї марки машин (табл.2.1).

Результати розрахунків трудомісткості СТО і ПСТО заносять до таблиці 2.2.

Для автомобілів трудомісткість робіт то ТО і капітальному ремонту визначається аналогічно тракторам та сільськогосподарським машинам.

Дані для розрахунків брати із (табл.2.1) та (додаток А, табл.А.8).

Під час використання сільськогосподарської техніки можливі відмови машини в процесі роботи через недостатню надійність. Через те, під час планування ремонтно-обслуговуючих робіт враховують трудомісткість усунення відмов. Річна трудомісткість усунення відмов ( $T_{\text{В}}$ ) для тракторів визначається із виразу:

$$T_{\text{В}} = t_{\text{В}} \cdot n, \quad (2.24)$$

де  $t_{\text{В}}$  – трудомісткість усунення відмов однієї машини даної марки, люд.-год (додаток А, табл.А.6);

$n$  – кількість машин даної марки, шт. (див.табл.2.1).

Трудомісткість усунення експлуатаційних відмов комбайнів приймають 20% від річної трудомісткості поточних ремонтів комбайнів даної марки, тобто:

$$T_{\text{В}} = 0,2 \cdot T_{\text{пр}} \quad (2.25)$$

де  $T_{\text{пр}}$  – річна трудомісткість поточних ремонтів комбайнів даної марки, люд.год (додаток А, табл.А.6).

Підставивши числові значення у формули 2.24 і 2.25 визначають величину річної трудомісткості усунення відмов для однієї марки тракторів і комбайнів, аналогічно визначають річну трудомісткість усунення відмов для всього складу МТП по маркам машин, заносючи результати в таблицю 2.2.

Річна трудомісткість номенклатурних робіт ( $T_{\text{Н}}$ ) тракторів і комбайнів по марках визначається за формулами:

$$T_{\text{НТ}} = T_{\text{кр}} + T_{\text{пр}} + T_3 + T_2 + T_1 + T_{\text{СТО}} + T_{\text{В}}; \quad (2.26)$$

$$T_{\text{НК}} = T_{\text{кр}} + T_{\text{пр}} + T_2 + T_1 + T_{\text{ПСТО}} + T_{\text{В}}, \quad (2.27)$$

де  $T_{\text{НТ}}$  – річна трудомісткість номенклатурних робіт тракторів даної марки, люд.-год.;

$T_{нк}$  – річна трудомісткість номенклатурних робіт комбайнів даної марки, люд.-год.

Підставивши числові значення визначають річну трудомісткість номенклатурних робіт по марках машин для всього складу МТП, заносючи результати в таблицю 2.2.

Знаючи числові значення  $T_{нт}$  і  $T_{нк}$  знаходять річну трудомісткість номенклатурних робіт:

$$T_n = T_{нт} + T_{нк} \quad (2.28)$$

Трудомісткість додаткових робіт обчислюється в процентах від трудомісткості всіх номенклатурних робіт ( $T_n$ ).

Річна трудомісткість додаткових робіт складається з трудомісткості:

- ремонту обладнання майстерні – 5...8 %;
- ремонту і виготовлення пристроїв інструменту — 0,5...1 %;
- виготовлення деталей в фонд запасних частин – 3...5 %;
- інші непланові роботи – 8...10 %.

Загальна трудомісткість додаткових робіт ( $T_d$ ) складає 16...24% загальних номенклатурних робіт. Це можна подати у вигляді формули:

$$T_d = (0,16...0,24) \cdot T_n \quad (2.29)$$

Визначивши числове значення додаткових робіт, визначають загальнорічну трудомісткість всіх робіт, які виконують в майстерні ( $T_m$ ) за формулою:

$$T_m = T_n + T_d \quad (2.30)$$

Таблиця 2.2 – Розрахункова трудомісткість технічних обслуговувань в майстерні

Марка машин	Вид ТО і ремонту	Кількість ТО і ремонтів, шт (N)	Трудомісткість, люд. год.		
			одниниці (t)	Річна (T)	Номенклатурних робіт по марках ( $T_n$ )
1	2	3	4	5	6

## **Практичне заняття №3**

### **Визначення режимів роботи та фондів часу майстерні по обслуговуванню машин**

#### **Короткі теоретичні відомості**

Режим роботи майстерні характеризується: тривалістю робочої зміни, кількістю робочих змін, тривалістю відпустки працівників, часом початку і кінця зміни, обідньої перерви.

Тривалість робочої зміни, яка встановлена трудовим законодавством, становить 7 годин з одним вихідним днем на тиждень, або 8 годин з двома вихідними днями на тиждень. Кількість робочих змін майстерні встановлюється залежно від умов виробництва і програми ремонту. Сільськогосподарські майстерні працюють, як правило, в одну зміну, а в період напружених сезонних робіт окремі ділянки при необхідності, переводять на двохзмінну роботу.

Тривалість відпустки працівників встановлена трудовим законодавством. Для робітників основних професій вона становить – 24 робочих дні.

Час початку, кінця зміни, обідньої перерви встановлюється залежно від кліматичних умов, зони розташування майстерні, роботи транспорту та інших місцевих умов.

Розрізняють фонди часу: робітника, обладнання і майстерні. Дійсний фонд часу робітника – це час в годинах, який витрачається протягом запланованого періоду одним робітником.

В даному випадку річний дійсний фонд часу робітника ( $\Phi_p$ ) визначається за формулою:

$$\Phi_p = (d_k - d_v - d_c - d_{\text{від}}) \cdot t_z \cdot \eta_z \cdot n_z, \quad (3.1)$$

де  $d_k$ ,  $d_v$ ,  $d_c$ ,  $d_{\text{від}}$  – кількість днів відповідно календарних, вихідних, святкових, відпустки;

$t_z$  – тривалість зміни, год;

$\eta_z$  – коефіцієнт використання робочого часу,  $\eta_z = 0,95$ ;

$n_3$  – кількість змін на добу.

Дійсний фонд часу обладнання ( $\Phi_{об}$ ) визначають із виразу:

$$\Phi_{об} = (d_k - d_b - d_c) \cdot t_3 \cdot \eta_p \cdot n_3, \quad (3.2)$$

де  $\eta_p$  — коефіцієнт простою обладнання в ремонті,  $\eta_p = 0,95$ .

Фонд часу майстерні, дільниці розраховують за формулою:

$$\Phi_M = (d_k - d_b - d_c) \cdot t_3 \cdot n_3, \quad (3.3)$$

### 3.2 Розрахунок кількості працівників майстерні та дільниці ТО і діагностування

Кількість виробничих робітників для майстерні і кожної дільниці визначають за формулою:

$$P_B = \frac{T_M}{\Phi_p \times \alpha}, \quad (3.4)$$

де  $P_B$  – кількість виробничих працівників;

$T_M$  – загальна річна трудомісткість робіт в майстерні (дільниці), люд.-год.;

$\Phi_p$  – річний дійсний фонд часу робітника, год;

$\alpha$  - коефіцієнт перевиконання норми ( $\alpha = 1,1 \dots 1,3$ ).

Визначаємо кількість виробничих працівників відповідно розрядів. При ремонті і технічному обслуговуванні тракторів в майстернях приймають: I розряду – 4%; II – 9%; III – 36%; IV – 41%; V – 7%; VI – 3% виробничників.

Виходячи з цього кількість виробничих працівників по розрядах визначають за формулами:

$$P_{B1} = 0,04 \cdot P_B; \quad (3.5)$$

$$P_{B2} = 0,09 \cdot P_B; \quad (3.6)$$

$$P_{B3} = 0,36 \cdot P_B; \quad (3.7)$$

$$P_{B4} = 0,41 \cdot P_B; \quad (3.8)$$

$$P_{B5} = 0,07 \cdot P_B; \quad (3.9)$$

$$P_{B6} = 0,03 \cdot P_B, \quad (3.10)$$

де  $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$ ,  $P_{B3}$ ,  $P_{B4}$ ,  $P_{B5}$ ,  $P_{B6}$  – кількість виробничих працівників відповідного розряду: I, II, III, IV, V, VI.

У майстернях по технічному обслуговуванню і ремонту, крім виробничих працівників, які безпосередньо виконують технологічні операції, використовуються і інші категорії працівників. Для ремонтно-обслуговуючих майстерень встановлено такі норми для визначення інших категорій робітників:

- допоміжні робітники – робітники, зайняті обслуговуванням основного виробництва (інструментальник, кочегар, робітники по догляду за обладнанням) -5% від кількості виробничих працівників;

- інженерно-технічні працівники – весь керівний склад майстерні (завідуючий майстернею, інженер по ремонту, технолог та ін.) – до 10% від загальної кількості виробничих і допоміжних робітників;

- службовці – обліково-конторський персонал (бухгалтер, обліковець, рахівник, диспетчер) – до 7% загальної кількості виробничих і допоміжних робітників:

- молодший обслуговуючий персонал (охоронники, двірники, прибиральники, вахтери, учні виробничих працівників) – 4% від загальної кількості робітників.

Виходячи з цих норм, кількість інших категорій працівників визначається за формулами:

$$P_d = 0,05 \cdot P_v; \quad (3.11)$$

$$P_{\text{ітр}} = 0,10 \cdot (P_v + P_d); \quad (3.12)$$

$$P_{\text{ок}} = 0,07 \cdot (P_v + P_d); \quad (3.13)$$

$$P_{\text{моп}} = 0,04 \cdot (P_v + P_d), \quad (3.14)$$

де  $P_d$  – кількість допоміжних робітників;

$P_{\text{ітр}}$  – кількість інженерно-технічних працівників;

$P_{\text{ок}}$  – кількість обліково-конторських робітників;

$P_{\text{моп}}$  – кількість молодшого обслуговуючого персоналу.

Кількість всіх названих категорій працівників береться за потребою, але не більше одержаної в наведених розрахунках.

Загальний штат майстерні ( $P_{\text{ш}}$ ) визначається із виразу:

$$P_{\text{ш}} = P_v + P_d + P_{\text{ітр}} + P_{\text{ок}} + P_{\text{моп}} \quad (3.15)$$

#### **Практичне заняття №4**

##### **Аналіз експлуатаційної надійності агрегатів, ланок і технологічних комплексів**

*Мета роботи* – опанування методів та набуття навичок у визначенні експлуатаційної надійності машин, агрегатів, технологічних ланок комплексів і обґрунтування вимог до надійності технічних засобів в період виконання виробничого процесу.

##### **Зміст завдання.**

1. Вибрати виробничу ситуацію з таблиці 4.1 і технічну характеристику машин з таблиць 4.2 та 4.3.
2. Визначити ймовірність безвідмовної роботи кожної машини і машинно-тракторних агрегатів всіх технологічних ланок комплексу.
3. Проаналізувати експлуатаційну надійність кожного агрегату, попередньо визначивши тривалість його працездатного стану; середній час, протягом якого агрегат знаходиться в стані відмови через кожний з елементів; середній час безвідмовної роботи агрегату; середній час простою агрегату.
4. Скласти структурну схему і визначити ймовірність безвідмовної роботи

кожної ланки технологічного комплексу.

5. Скласти структурну схему всього технологічного комплексу і визначити ймовірність його безвідмовної роботи.

6. Визначити вимоги до безвідмовності кожної технологічної ланки і агрегату для забезпечення виконання виробничого процесу у встановлені терміни з довірчою ймовірністю 0,95.

Таблиця 4.1 –Варіанти завдань

Склад посівного комплексу	Номер варіанту завдання														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Число машин (агрегатів) при обсягу робіт, га														
	2000					2500					3000				
<b>Ланка підготовки та транспортування насіння</b>															
Завантажувач зерна ЗСП-100	1					1					1				
Протравлювач ЗАВ-20	2					2					3				
Завантажувач ПФ-0,75	1					1					1				
Завантажувач сівалок ЗАУ-3	2					3					3				
<b>Ланка підготовки та транспортування добрив</b>															
Завантажувач ПФ-0,75	2					2					2				
Подрібнювач ИСУ-4А	2					2					2				
Транспортний засіб ЗАУ-3	2					3					3				
<b>Ланка передпосівної підготовки ґрунту</b>															
Агрегати ДТ-75М+СП-16+2КПС-4+8БЗС-1	3					4					5				
<b>Ланка підготовки полів</b>															
Агрегати МТЗ-80+СЗ-3,6+2БП-0,6А	2					3					3				
<b>Посівна ланка №1</b>															
Агрегати ДТ-75М+СП-11У+2СЗТ-3,6+8БЗС-1	3					4					4				
<b>Посівна ланка №2</b>															
Агрегати Т-150К+СП-16+3СЗ-3,6+6ЗБП-0,6А	3					4					4				

Таблиця 4.2 – Склад і показники надійності посівного комплексу для роботи на площі 400 га

Елементи посівного комплексу	Кількість машин п в агрегаті	Напрацювання на відмову, год	Середній час усунення відмови, год
<b>Ланка підготовки та транспортування насіння</b>			
Завантажувач зерна ЕСП-100	1	100	4,2
Протравлювач ЗАВ-20	1	94	2,8
Завантажувач зерна в транспортний засіб ПФ-0,75	1	95	2,5
Транспортний засіб ЗАУ-3	2	84	4,5
<b>Ланка підготовки та транспортування добрив</b>			
Завантажувач ПФ-0,75	1	95	2,5
Подрібнювач ИСУ-4А	2	60	2,8
Транспортний засіб ЗАУ-3	2	84	45
<b>Ланка підготовки полів</b>			
Трактор МТЗ-80	1	86	4,8
Сівалка СЗУ-3,6	1	38	2,2
Борони БЗС-1	4	70	0,4
<b>Посівна ланка №1 (шість агрегатів)</b>			
Трактор ДТ-75	1	76	5,5
Зчіпка СП-11А	1	60	0,8
Сівалка СЗУ-3,6	2	38	2,2
Борони БЗС-1	7	70	0,4
<b>Посівна ланка №2 (три агрегати)</b>			
Трактор Т-150К	1	82	5,5
Зчіпка СП-16	1	60	0,8
Сівалка СЗ-3,6	1	38	2,2
Борони БЗС-1	10	70	0,4
<b>Посівна ланка №3 (чотири агрегати)</b>			
Трактор МТЗ-80	1	86	4,8
Сівалки СЗ-3,6Б	1	38	2,2
Борони БЗС-1	4	70	0,4

7. Зробити висновок про технічний стан технологічного комплексу та намітити заходи по технічному забезпеченню виробничого процесу.

### **Загальні відомості.**

Теоретичні основи надійності. Сільськогосподарський агрегат розглянемо як систему, в якій відмова одного елемента викликає відмову всієї системи.

Сумарний час експлуатації агрегату

$$t = t_p(t) + t_b(t), \quad (4.1)$$

де  $t_p(t)$ ,  $t_b(t)$  – сумарний час відповідно роботи і відновлення агрегату.

Таблиця 4.3 – Статистичні показники надійності сільськогосподарських машин

Машина	Показники				Коефіцієнт гтовності $K_T$
	безвідмовності		відновлення працездатності		
	$T_{o\text{ ср, год}}$	$\sigma$ , ГОД	$T_{в\text{ ср, год}}$	$\sigma_{в}$ , ГОД	
Плуги:					
ПЛН-3-35	7,93	7,2	0,28	0,26	0,973
ПЛН-5-35	10,39	7,81	0,49	0,44	0,955
ПТК-9-35	11,12	8,13	0,66	0,49	0,944
Культиватори:					
КПС-4	10,83	6,71	0,57	0,29	0,95
КРН-4,2	11	7,12	0,69	0,17	0,94
КРН-5,6	14,41	4,2	0,92	0,21	0,94
КРН-8,4	5,46	5,5	0,38	0,37	0,935
Луцильники:					
ЛДГ-10	33,95	17,1	1,05	0,5	0,97
ЛДГ-15	26,6	13,93	1,4	0,75	0,95
Сівалки:					
СЗТ-3,6	18,4	16,13	1,05	1,2	0,945
СУПН-8	11,12	10,7	0,71	0,24	0,94
Комбіновані агрегати:					
АКП-2,5	46,5	4,15	0,46	0,49	0,91
РВК-3,6	11,43	7,18	1,27	0,71	0,9
Косарки:					
КПВ-3	12,88	10,16	3,74	3,29	0,72
КПРН-3	10,96	9,49	0,7	0,64	0,94
КПС-5Г	6,16	5,93	0,84	0,56	0,88
Е-301	4,71	12,49	2,16	2,1	0,87
Граблі:					
ГПП-6	28,77	25,78	5,84	5,64	0,83
ГВР-6	11,02	10,13	2,1	1,93	0,84
Підбіральники:					
ПК-1,6А	15,54	12,03	1,17	1,05	0,93
ПРП-1,6	12,71	9,32	2,07	1,73	0,86
К-453	17,04	33,4	4,13	3,79	0,89
Комбайни:					
КУФ-1,8	15,33	15,03	2,92	2,56	0,86
КПИ-2,4	13,02	12,4	2,48	2,46	0,84
КСС-2,6	24,67	16,35	4,7	3,12	0,84

КСК-100А	27,2	22,8	6,31	3,62	0,81
Е-28 (підбір)	32,19	15,7	4,81	3,9	0,87
Е-28 (косіння)	41,12	33,49	11,6	10,06	0,78
КПКУ-75	18,69	15,3	3,56	2,7	0,84
Причіп тракторний 2ПТС-6	83,3	52,6	1,7	1,86	0,98

Ймовірність безвідмовної роботи агрегату в інтервалі часу  $[0; t]$  визначається як ймовірність співпадання безвідмовної роботи всіх елементів:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4.2)$$

де  $n$  – число елементів;  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента, якщо вважати, що елементи незалежні.

Виразивши  $P_i(t)$  через інтенсивність відмов  $\lambda_i(t)$  отримаємо

$$P_c(t) = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt\right] = \exp[-\lambda_c(t)].$$

При експоненціальному законі розподілення часу безвідмовної роботи елементів надійність системи також підпорядковується експоненціальному закону.

При визначенні надійності агрегату з відновленням розглянемо його як складну систему, що складається з багатьох елементів.

Нехай агрегат знаходиться в двох станах:  $x(t) = i$ , якщо в момент часу  $t$  саме  $i$ -й елемент знаходиться в стані відмови,  $i$  дорівнює 0, якщо всі елементи агрегату працездатні. Коли елемент  $i$  відмовляє в момент часу  $t_{pi}$ , агрегат знаходиться в стані відмови  $\tau_{pi}$ . Потім агрегат продовжує працювати, доки не відмовить елемент  $j$  і т.д. Загальне число відмов агрегату в інтервалі часу  $[0; t]$

$$N(t) = \sum N_i(t),$$

де  $N_i(t)$  – число відмов  $i$ -го елемента протягом часу  $t$ .

Припустимо, що середній час безвідмовної роботи  $i$ -го елемента дорівнює  $t_i (0 \leq t_i \leq \infty)$ , а середній час відновлення -  $t_{bi} (0 \leq t_{bi} \leq \infty)$  і не залежить від виду відповідних розподілень. Тоді граничне значення коефіцієнту готовності

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t_p(t)}{t} = \left[1 + \sum_{i=1}^n \frac{t_{bi}}{t_{pi}}\right]^{-1}. \quad (4.3)$$

Середнє число відмов за одиницю часу для елементів кожного типу

$$\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{t} = \frac{K_r}{t_{pi}}. \quad (4.4)$$

Середній час безвідмовної роботи агрегату

$$t_p = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{t_{pi}}\right)^{-1}. \quad (4.5)$$

Середній час простою агрегату

$$\bar{t}_B = \bar{t}_p \sum_{i=1}^n \frac{t_{vi}}{t_{pi}}. \quad (4.6)$$

Якщо в господарстві організована служба профілактики (технічного обслуговування) і усунення відмов (відновлення), то агрегат в будь-який момент може знаходитися в одному з трьох станів:  $S_1$ –працездатний;  $S_0$ – аварійний ремонт;  $S_2$ –плановий простій при проведенні ТО. Позначимо  $\lambda$  і  $\lambda_{пл}$  – інтенсивності аварійних і планових відмов,  $\mu$  і  $\mu_{пл}$  – інтенсивності відповідних відновлень.

Ймовірності станів агрегату при  $t \rightarrow \infty$

$$P_1 = K_r = \left[ 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda_{пл}}{\mu_{пл}} \right]^{-1}; \quad P_0 = q_{ав} = P_1 \frac{\lambda}{\mu}; \quad P_2 = q_{пл} = P_1 \frac{\lambda_{пл}}{\mu_{пл}}, \quad (4.7)$$

де  $q_{ав}$ ,  $q_{пл}$  – коефіцієнти відповідно аварійного і планового простоїв агрегатів.

Для багатомашинного агрегату відмова будь якого елементу є відмовою всього агрегату. В загальному випадку число станів агрегату  $k < n$ , так як можливе суміщення ремонтів окремих елементів агрегату по часу.

Ймовірності станів для стаціонарного режиму

$$P_1 = K_r = \left[ 1 + \sum_1^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} + \sum_1^k \frac{\lambda_{плj}}{\mu_{плj}} \right]^{-1}; \quad P_0 = q_{ав} = P_1 \sum_1^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}; \quad P_2 = q_{пл} = P_1 \sum_1^k \frac{\lambda_{плj}}{\mu_{плj}}$$

Ймовірність відновлення агрегату за час  $t$  при умові, що початок відновлення співпадає з моментом відмови,

$$P_B(t) = \sum_1^n \frac{\lambda_i}{\lambda_{ав}} [1 - \exp(-\mu_j)]. \quad (4.8)$$

Частоту планових обслуговувань багатомашинного агрегату визначають з виразу  $\lambda_{пл} = m_u / T_{ц}$  (тут  $m_u$  – число планових технічних обслуговувань і ремонтів (ТОР) протягом ремонтного циклу  $T_{ц}$ , тривалість якого визначається якнайменше загальне кратне значення періодичності планових обслуговувань елементів  $T_{плi}$ . В той же час  $T_{плi} = 1/\lambda_{плi}$ ).

Середній час однієї ремонтно-технічної дії

$$\bar{t}_{vi} = \frac{1}{m_{ц}} \sum_1^k \max t_{в,плj}, \quad (4.9)$$

де  $\max t_{в,плj}$  – найбільший час планового ТОР елементу агрегату.

В технологічних ланках агрегати, як правило, працюють паралельно.

Технологічна ланка буде працювати, якщо справні  $r$  агрегатів з  $n$ , хоча продуктивність його буде нижче. Відмова ланки може бути представлена як ймовірність невиконання плану в термін, тобто відмова наступить при умові відмови  $m$  агрегатів, яких достатньо для забезпечення своєчасного виконання роботи.

Ймовірність безвідмовної роботи  $r$  агрегатів з  $n$  розраховують по формулі:

$$P_c(t) = \sum_{x=r}^n \frac{n! P_i^x (1-P_i)^{n-x}}{x!(n-x)!}, \quad (4.10)$$

де  $P_i$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го агрегату.

При обчисленні надійності складної системи її елементи об'єднують в підсистеми, а потім їх розглядають як окремі елементи.

Розглянемо технологічну ланку, працездатний стан якої підтримується в процесі експлуатації. Нехай ланка складається з  $m$  агрегатів. У випадку відмови однієї з них ланка працює, агрегат, що відмовив, відновлюється. Ланка стає непрацездатною у випадку відмови всіх агрегатів одночасно до відновлення однієї з них.

Таким чином, ланка може знаходитися в  $k = m + 1$  станах:  $S_m$  – працездатні всі агрегати;  $S_{m-1}$  – непрацездатний один агрегат тощо;  $S_1$  – працездатний один агрегат;  $S_0$  – непрацездатна вся ланка.

Для марковського процесу при  $t \rightarrow \infty$  і в умовах ремонтно-технічної дії ймовірності станів визначають з виразів

$$P_k = \frac{m!(\lambda/\mu)^k}{k!(m-k)!} P_m; \quad 1 < k \leq m;$$

$$P_k = \frac{m!(\lambda/\mu)^k}{n^{k-n}(m-k)!} P_m; \quad n < k \leq m. \quad (4.11)$$

Ймовірність відмови ланки  $P_0 = m!(\lambda/\mu)^k$ .

Для визначення надійності агрегатів, ланок і комплексів можуть бути використані статистичні моделі з послідовним і паралельним з'єднанням елементів, а також при їх сполученнях.

**Послідовне з'єднання елементів.** Ймовірність безвідмовної роботи системи

$$P_c = P_1 P_2 \dots P_n = \prod_1^n P_i. \quad (4.12)$$

**Паралельне з'єднання елементів.** Ймовірність безвідмовної роботи системи

$$P_c = 1 - \prod_1^n (1 - P_i). \quad (4.13)$$

**Комбінації паралельного і послідовного з'єднання елементів.** Для обчислення надійності систем елементи А...Д об'єднують в підсистеми і потім визначають надійність всієї системи:

при паралельно-послідовному з'єднанні

$$P_{AB} = 1 - q_A q_B; \quad P_{CD} = 1 - q_C q_D; \quad P_C = P_{AB} P_{CD} \quad (4.14)$$

при послідовно-паралельному з'єднанні

$$P_{AC} = P_A P_C; \quad P_{BD} = P_B P_D; \quad P_C = 1 - (1 - P_{AC})(1 - P_{BD}), \quad (4.15)$$

де  $q_A, q_B, q_C, q_D$  – ймовірності відмов елементів:  $q_i = 1 - P_i$ .

**Складне з'єднання елементів.** В практиці організації технологічних комплексів можливі такі взаємодії ланок, коли відмова однієї з них може порушити роботу відразу декількох ланок або всього комплексу. В цьому випадку для визначення ймовірності безвідмовної роботи технологічного комплексу необхідно враховувати всі взаємовиключаючі способи появи відмов.

Розглянемо комплекс, що складається з трьох (для спрощення) ланок А, В, С (рис. 4.1). Застосуємо метод оцінки всіх можливих станів ланок комплексу.

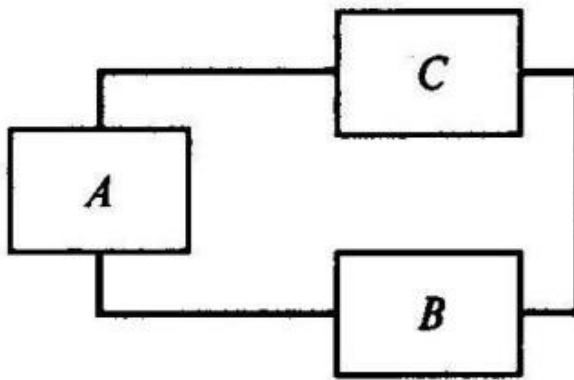


Рисунок 4.1 – Схема взаємодії ланок комплексу

Визначимо А як подію, яка полягає в тому, що ланка А працює безвідмовно,  $\bar{A}$  - ланка відмовила. Аналогічні визначення введемо для ланок В і С. При припущенні про незалежність відмов розрахуємо ймовірності для кожного з способів їх появи. Так,  $P(ABC) = P(A)P(B)P(C)$ . Для наочності приймемо числові значення  $P(A) = 0,95$ ;  $P(B) = 0,9$ ;  $P(C) = 0,85$ . Результати розрахунків запишемо в таблицю 9.4.

Таблиця 4.4 – Ймовірна оцінка станів ланок комплексу

Число відмов	Стан комплексу і їх ймовірності		Ймовірність безвідмовної роботи комплексу
0	ABC	$0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,85$	0,7268
1	$AB\bar{C}$	$0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,15$	0,1283
1	$A\bar{B}C$	$0,95 \cdot 0,1 \cdot 0,85$	0,0808
1	$\bar{A}BC$	$0,05 \cdot 0,9 \cdot 0,85$	0,0383
2	$AB\bar{C}$	$0,95 \cdot 0,1 \cdot 0,15$	0,0142
2	$\bar{A}B\bar{C}$	$0,05 \cdot 0,9 \cdot 0,15$	0,0068
2	$\bar{A}\bar{B}C$	$0,05 \cdot 0,1 \cdot 0,85$	0,0042
3	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	$0,05 \cdot 0,1 \cdot 0,15$	0,0008

Наприклад, якщо відмову викликають тільки події  $AB\bar{C}$ ,  $A\bar{B}C$ ,  $\bar{A}B\bar{C}$ , то ймовірність відмови комплексу дорівнює  $0,1283 + 0,0142 + 0,0008 = 0,1433$ .

Цей метод дозволяє враховувати вплив на комплекс кожного способу появи відмов.

Розрахунки, виконані по викладеній методиці, дозволяють визначити необхідність ремонтно-технічних дій і обґрунтувати вимоги до резервування машин комплексу.

**Обґрунтування рівня надійності технологічного комплексу і його ланок.** Рівень надійності комплексу в значному ступеню визначає ефективність його застосування. При оптимізації рівня надійності необхідно враховувати зміну експлуатаційних і технічних характеристик в різних умовах.

Підтримання машин в працездатному стані здійснюється: 1) введенням деякої надлишковості окремих машин; 2) організацією ремонтно-технічних дій; комплектуванням комплексів високонадійною технікою; 4) сполученням перелічених засобів експлуатації. В комплексі визначаючою ланкою звичайно є ланка, що виконує основну технологічну операцію. Для цієї ланки ймовірність виконання завдання можна визначити з виразу

$$p = 1 - (1 - P_i p_i)^N,$$

де  $p_i$  - ймовірність виконання завдання  $i$ -м агрегатом;  $P_i$  - показник надійності  $i$ -го агрегату.

Число агрегатів в основній ланці розраховують по формулі

$$N = \frac{\ln(1-p)}{\ln(1-P_i p_i)}.$$

Визначивши вимоги до надійності основної ланки комплексу, встановлюють вимоги до надійності інших ланок.

Припустимо незалежність появи відмов ланок комплексу. Взаємодія машин в окремих ланках представимо у вигляді модулів, що мають відповідне схемне з'єднання. Тоді інтенсивність відмов кожної ланки комплексу

$$\lambda_1 = N_i \frac{-\ln P_0(t)}{N w_i t_i}, \quad (4.16)$$

де  $N$ ,  $N_i$  - загальне число агрегатів відповідно в комплексі і в  $i$ -й ланці;  $t$ ,  $t_i$  - необхідна тривалість роботи (напрацювання) відповідно технологічного комплексу і  $i$ -ої ланки;  $P_0(t)$  - необхідна ймовірність безвідмовної роботи технологічного комплексу при заданому напрацюванні  $t$ ;  $w_i$  - коефіцієнт важливості ланки, який можна представити як ймовірність відмови технологічного комплексу при відмові  $i$ -ої ланки.

Ймовірність безвідмовної роботи (надійність)  $i$ -ої ланки технологічного комплексу при необхідному напрацюванні  $t_i$  визначимо з виразу

$$P_i(t) = 1 - \frac{1 - [P(t)]^{N_i/N}}{w_i}. \quad (4.17)$$

Ця залежність може бути використана для визначення вимог до надійності кожної машини у всіх ланках комплексу, якщо прийняти відповідні значення вхідних величин для ланки, що розглядається.

Знаючи вимоги до ймовірності безвідмовної роботи ланки або машини  $P_i$ , інтенсивність відмов  $\lambda_i$  і число агрегатів  $N_i$  в  $i$ -й ланці, визначають допустимий час відновлення:

$$T_{вi} = (1 - P_i) \lambda_i N_i. \quad (4.18)$$

Якщо відмови комплексу з вини механізаторів ( $K_{г.м}$ ), терміну технологічної ( $K_{г.т}$ ) і ремонтно-технічної дії ( $K_{г.р}$ ) призводять до одних і тих самих наслідків (невиконання задачі) і при цьому втрати, викликані появою відмови, однакові, то вимоги до показників надійності по вище наведеним причинам визначають з виразу

$$K_{г.м} = K_{г.р} = K_{г.т} = \sqrt[3]{P_{opt}}, \quad (4.19)$$

де  $P_{opt}$  – оптимальне значення узагальненого показника надійності комплексу.

Якщо вартість відмов по різних причинах різна, то для вирішення задачі показники економічності визначають безпосередньо через показники надійності, потім шукають оптимальне рішення по кожному показнику надійності.

Припустимо, що відмова першої групи складності приводить до втрат, які вимірюються величиною  $C_1$ , відмова другої групи складності – до втрат, які вимірюються величиною  $C_2$ , а третьої групи складності – до втрат  $C_3$ . Якщо вимоги по надійності в узагальненому вигляді виражені залежністю  $P_0 = P_1 P_2 P_3$ , то втрати  $C$  відмов всього комплексу можна визначити по правилам обчислення математичних очікувань:

$$C = C_1(1 - P_1)P_2P_3 + C_2(1 - P_2)P_1P_3 + C_3(1 - P_3)P_1P_2. \quad (4.20)$$

Задача приводиться до знаходження умовного мінімуму величини  $C$  і вирішується методами Лагранжа. Для цього складемо функцію Лагранжа:

$$L = C_1(1 - P_1)P_2P_3 + C_2(1 - P_2)P_1P_3 + C_3(1 - P_3)P_1P_2 + QP_1P_2P_3.$$

Значення основних показників надійності, що мінімізують втрати, визначимо в результаті вирішення системи рівнянь

$$\frac{dL}{dP_1} = 0; \quad \frac{dL}{dP_2} = 0; \quad \frac{dL}{dP_3} = 0; \quad P_0 = P_1P_2P_3,$$

звідки

$$P_1 = \sqrt[3]{\frac{C_1^2 P_0}{C_2 C_3}}; \quad P_2 = \sqrt[3]{\frac{C_2^2 P_0}{C_1 C_3}}; \quad P_3 = \sqrt[3]{\frac{C_3^2 P_0}{C_1 C_2}}. \quad (4.21)$$

Аналіз отриманих залежностей показує, що із збільшенням витрат на усунення відмов кожної групи складності неминуче повинні збільшуватися вимоги до надійності ремонтно-технічного обслуговування кожного елемента.

**Виробнича ситуація.** В господарстві в період весняної посівної кампанії за шість днів необхідно виконати роботи на площі 4000 га. Для виконання робіт організовано посівний комплекс. Склад і техніко-експлуатаційна характеристика машин комплексу наведені в таблиці 9.2. Необхідно проаналізувати і визначити експлуатаційну надійність (ймовірність безвідмовної роботи) агрегатів, ланок і всього комплексу. Роботу комплексу організувати поточно-циклічним методом в дві зміни.

Ймовірність безвідмовної роботи машин визначаємо за формулою (9.3) при  $t \rightarrow \infty$ :

$$\text{для завантажувача зерна } P = K_r = 100/(100+4,2) = 0,96;$$

$$\text{протравлювача } 94/(94+2,8) = 0,97;$$

$$\text{завантажувача сівалок } 84/(84+4,5) = 0,95;$$

завантажувача добрив  $95/(95+2,5) = 0,97$ ;  
 подрібнювача 0,95; трактора МТЗ-80 0,94;  
 сівалок СЗ-3,6 і СЗУ-3,6 0,94; зчіпки 0,98; борони 0,99;  
 трактора ДТ-75М 0,93; трактора Т-150К 0,93.

Ймовірність безвідмовної роботи агрегатів розраховуємо за формулою (4.12):

$$\text{МТЗ-80+СЗ-3,6++4БЗС-1}$$

$$P=K_r=0,94 \cdot 0,94 \cdot 0,99^4=0,85;$$

$$\text{ДТ-75М+СП-11А+2СЗУ-3,6+7БЗС-1}$$

$$P=0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,94^2 \cdot 0,99^7=0,75;$$

$$\text{Т-150К+СП-16+3СЗ-3,6+10БЗС-1}$$

$$P=0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,94^3 \cdot 0,99^{10}=0,68.$$

Проаналізуємо експлуатаційну надійність посівного агрегату на базі трактора ДТ-75М. Частину часу, протягом якого знаходиться в працездатному стані, оцінюємо коефіцієнтом готовності (див. формулу (4.3)):

$$K_r = \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \frac{t_{bi}}{t_{pi}} \right]^{-1} = \left[ 1 + \frac{5,5}{76} + \frac{0,8}{60} + 2 \frac{2,2}{38} + 7 \frac{0,4}{70} \right]^{-1} = 0,805.$$

Середню частину часу, протягом якого агрегат буде в стані відмови через кожний елемент, визначаємо з виразу

$$t_{bi} = K_r \frac{t_{bi}}{t_{pi}}.$$

Тоді частина часу простою агрегату через трактор  $t_{bi} = 0,805 \cdot 5,5/76 = 0,058$ ; через зчіпку  $t_{b,зч} = 0,805 \cdot 0,8/60 = 0,0107$ ; через сівалки  $t_{b,c} = 0,805 \cdot 2 \cdot 2,2/38 = 0,0932$ ; через борони  $t_{b,b} = 0,805 \cdot 7 \cdot 0,4/70 = 0,0322$ .

Середній час безвідмовної роботи агрегату (див. формулу (4.5))

$$t_p = \left( \sum_{i=1}^N \frac{1}{t_{pi}} \right)^{-1} = \left[ \frac{1}{76} + \frac{1}{60} + \frac{2}{38} + \frac{7}{70} \right]^{-1} = 5,48 \text{ год.}$$

Середній час простою агрегату

$$\bar{t}_b = \bar{t}_p \sum_{i=1}^n \frac{t_{bi}}{t_{pi}} = 5,48 \left( \frac{5,5}{76} + \frac{0,8}{60} + 2 \frac{2,2}{38} + 7 \frac{0,4}{70} \right) = 1,33 \text{ год.}$$

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи ланок підготовки та транспортування насіння і добрив складемо технологічну схему взаємодії в ній машин (рис. 4.2).

Для ланки підготовки і транспортування насіння

$$P_{\text{лан}} = P_1 P_2 P_3 [1 - (1 - P_4)^2] = 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,97 [1 - (1 - 0,95)^2] = 0,894;$$

для ланки підготовки і транспортування добрив

$$P_{\text{лан}} = P_1 [1 - (1 - P_2)^2] [1 - (1 - P_3)^2] =$$

$$= 0,97 [1 - (1 - 0,95)^2] [1 - (1 - 0,95)^2] = 0,945;$$

для ланки підготовки полів

$$P_{\text{лан}} = P_1 P_2 P_3^4 = 0,94 \cdot 0,94 \cdot 0,99^4 = 0,84.$$

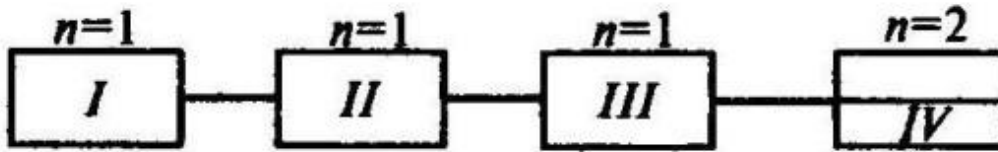


Рисунок 4.2 – Схема взаємодії машин в ланці підготовки і транспортування насіння

I...IV – машини в ланці; n – число машин

Ймовірність безвідмовної роботи першої посівної ланки визначимо у відповідності з її технологічною схемою взаємодії машин (рис. 9.3).

Ймовірності одночасної роботи в ланці від одного до шести агрегатів розраховуємо за формулою (9.10):

$$P_1 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} 0,75^1 (1 - 0,75)^5 = 0,0044;$$

$$P_2 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} 0,75^2 (1 - 0,75)^4 = 0,0329;$$

$$P_3 = 0,131; P_4 = 0,296; P_5 = 0,356; P_6 = 0,178.$$



Рисунок 4.3 – Схеми взаємодії машин і агрегатів в посівній ланці №1

I...IV – машини в агрегаті; n – число машин в агрегаті; m – число агрегатів в ланці

З розрахунків видно, що найбільш ймовірний стан посівної ланки №1, коли одночасно працюватимуть чотири або п'ять агрегатів з шести. В цьому випадку

$$P_{\text{№1}} = 1 - (1 - P_r)^{4,5} = 1 - (1 - 0,75)^{4,5} = 0,994.$$

Ймовірність безвідмовної роботи посівної ланки №2 також визначимо у відповідності з її технологічною схемою (рис. 4.4) за формулою (4.10)

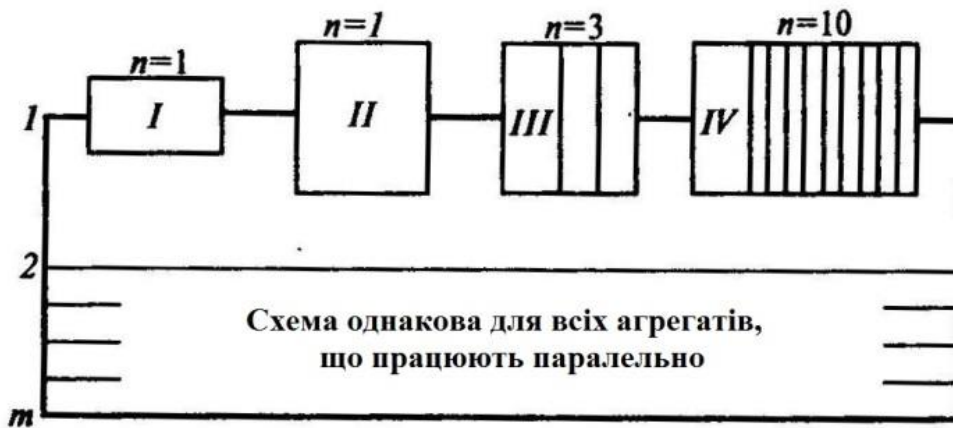


Рисунок 4.4 – Схеми взаємодії машин і агрегатів в посівній ланці №2  
 I...IV – машини в агрегаті; n – число машин в агрегаті; m – число агрегатів в ланці

$$P_1 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{1 \cdot 1 \cdot 2} 0,68(1 - 0,68)^2 = 0,208;$$

$$P_2 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{1 \cdot 2 \cdot 1} 0,68^2(1 - 0,68)^1 = 0,443;$$

$$P_3 = 0,68^3 = 0,314.$$

Вочевидь, що ймовірність безвідмовної роботи посівної ланки №2 дорівнює добутку ймовірностей станів:  $P_{№2} = P_1 + P_2 + P_3 = 0,208 + 0,443 + 0,314 = 0,965$ .

Ймовірність безвідмовної роботи посівної ланки №3 визначаємо, отримуючи

$$P_{№3} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0,011 + 0,098 + 0,368 + 0,522 = 0,999.$$

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи всього технологічного комплексу складемо структурну схему взаємодії ланок (рис.4.5) враховуючи всі взаємовиключаючі способи появи відмов.

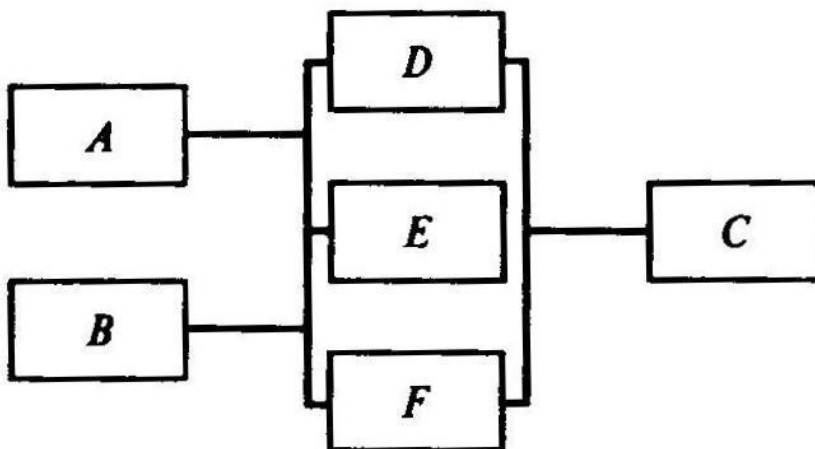


Рисунок 4.5 – Схема взаємодії ланок посівного комплексу

А – ланка підготовки і транспортування насіння; В – ланка підготовки і транспортування добрив; С – ланка підготовки полів; D, E, F – посівні ланки відповідно №1, №2, №3

Розглянемо шестиелементну систему А...F. Визначимо А як подію, тобто стан відмови. Введемо аналогічні визначення для ланок В...F. Ймовірності їх безвідмовної роботи приймемо з раніше виконаних розрахунків. Припускаючи незалежність відмов в ланках, обчислимо ймовірності для кожного способу появи відмов (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Ймовірності станів безвідмовної роботи посівного комплексу

Число ланок, що відмовили	Стан ланок комплексу	Ймовірність станів	Добуток ймовірностей
0	A·B·C·D·E·F	0,894·0,945·0,85·0,994·0,965·0,999	0,6881
1	A·B·C·D·E· $\bar{F}$	0,894·0,945·0,85·0,994·0,965·0,001	0,0006
	A·B·C·D· $\bar{E}$ ·F	0,894·0,945·0,85·0,994·0,035·0,999	0,0237
	A·B·C· $\bar{D}$ ·E·F	0,894·0,945·0,85·0,006·0,965·0,999	0,0042
		$\sum P_i = 0,716 = 0,72$	

Припускаючи, що безвідмовність роботи комплексу в основному визначається паралельно працюючими посівними ланками, і враховуючи, що поява відмов в них – взаємно несумісні події, для отримання ймовірності безвідмовної роботи всього комплексу додаємо ймовірності станів його ланок.

Подальші розрахунки в таблиці припинені через малі значення отримуваних величин. З таблиці 9.5 видно, що ймовірність безвідмовної роботи комплексу з врахуванням можливих відмов посівних ланок слід очікувати на рівні 0,72.

Таким чином, технологічний комплекс, що розглядається, виконати завдання з ймовірністю 0,95 не може по технічним причинам. Для реалізації цієї умови необхідно визначити необхідну ВБР кожної ланки і агрегату комплексу.

Щоб забезпечити безвідмовну роботу всього комплексу з ймовірністю 0,95, розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи і-ї ланки при необхідному напрацюванні  $t_i$  за формулою (9.17).

$$P_A = 1 - [1 - (0,95)^{7/26}] = 0,986$$

Результати розрахунків для інших ланок зведені в таблицю 9.6.

Таблиця 4.6 – Обґрунтування вимог ймовірності безвідмовної роботи до ланок комплексу

Ланка	Число агрегатів в ланці $N_i$	Коефіцієнт важливості ланки	Ймовірність безвідмовної роботи	
			дійсна	необхідна
A	7	1	0,894	0,986
B	5	1	0,945	0,989
C	1	1	0,85	0,998
D	6	1	0,994	0,988
E	3	1	0,965	0,994
F	4	1	0,999	0,994
	$N = \sum N_i = 26$			

З цієї таблиці видно, що безвідмовність ланок А, В, С, Е нижче необхідної. Надійність цих ланок необхідно підвищити за рахунок введення резервних або більш надійних машин.

Інтенсивність відмов кожної ланки комплексу визначимо з виразу (4.16), припускаючи при малих значеннях  $x$  величину  $e^{-x} = 1 - x$ .

Результати розрахунків систематизувати і представити у вигляді таблиці 1.4. Зробити висновки по кожному пункту розрахунків.

### Практичне заняття №5

#### Вибір стратегій ремонтно-технічних дій для забезпечення надійної роботи технологічних комплексів

*Мета роботи* – вивчити методику розрахунку показників надійності технологічних комплексів при різних стратегіях технічного обслуговування ТО і визначити їх ефективність.

#### Зміст завдання.

1. Вивчити теоретичні основи обґрунтування стратегій ТО на ефективність роботи технологічного комплексу.
2. Вибрати виробничу ситуацію з таблиці 10.1.
3. Вибрати склад ланок технологічного комплексу.
4. Визначити інтенсивність відмов ланок і всього ТК.
5. Розрахувати середню періодичність і тривалість ТО агрегатів комплексу, а також коефіцієнт оперативної готовності ( $K_{o,r}$ ) через 1, 2, 3 та годин експлуатації. Побудувати графік зміни  $K_{o,r}$  по часу.
6. Визначити ефективність стратегії 1 (періодичне ТО) в порівнянні зі стратегією 0 (без обслуговування) та знайти гранично ефективне значення періодичності.
7. Обчислити середній час простою, інтенсивність відновлення і коефіцієнт оперативної готовності технологічного комплексу. Оцінити вплив

введення посту технічного обслуговування і ремонту ТОР на ефективність роботи комплексу при випадковому часу обслуговування.

8. Визначити ефективність потоків відмов і відновлень польових агрегатів, коефіцієнт оперативної готовності при комбінованому обслуговуванні і ефективність цієї стратегії (3) в порівнянні з періодичною (2) і випадковою (1) стратегіями.

9. Оцінити ефективність резервування при проведенні ТО і відновленні технологічного комплексу.

Обґрунтувати вибір стратегії ТО на період роботи технологічного комплексу та вказати заходи, що сприяють підвищенню показників його надійності.

### **Загальні відомості.**

**Теоретичні основи обґрунтування стратегій ТОР технологічних комплексів.** В процесі експлуатації технічних засобів протікають зміни їх параметрів внаслідок фізико-хімічних змін в елементах (складальних одиницях і деталях), і при досягненні граничного значення параметру виникає відмова. При організації ТО повинна бути вибрана система правил і способів керування технічним станом агрегатів – стратегія, яка може бути встановлена як по напрацюванню, так і по стану.

Ефективність експлуатаційного забезпечення технологічних комплексів і системи їх ТО слід оцінити критерію, що враховує залежності між характеристиками агрегатів, системи ТО і технологічних комплексів. Через різноманітність зв'язків між цими характеристиками аналітичний вираз такого критерію громіздкий і складний для аналізу. Тому вплив системи ТО на характеристики технологічних комплексів оцінимо за допомогою окремих критеріїв – коефіцієнтів технічної ефективності і ефективності запобігання відмовам.

Коефіцієнт технічної ефективності

$$R_{г.е} = \frac{P_n - P_{п}}{P_{п}} = \frac{P_n}{P_{п}} - 1, \quad (5.1)$$

де  $P_n$ ,  $P_{п}$  – значення показника надійності проектної та вихідної стратегії ТО.

Коефіцієнт ефективності запобігання відмовам

$$R_{г.о} = t_{об} / t_0,$$

де  $t_{об}$ ,  $t_0$  – середній час безвідмовної роботи технологічного комплексу, відповідно того, що обслуговується даною системою ТО і того, що не обслуговується.

Щоб забезпечити надійність комплексу, що розглядається, за рахунок застосування різних стратегій ТО, необхідно знати характеристику кожної стратегії, що ґрунтується на обчисленні показників надійності.

При організації експлуатації спочатку оцінюють різні види ТО

нерезервованого комплексу і вибирають найбільш ефективний з них. Якщо вибраний спосіб ремонтно-технічних дій не забезпечує необхідного рівня надійності, то вводять резервування.

В якості показника надійності розглянемо коефіцієнт оперативної готовності і по показнику технічної ефективності або питомих витрат виберемо найкращу стратегію обслуговування.

Стратегія 0 – без обслуговування технологічного комплексу в період виконання польових робіт.

Коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{o,r0} = [1 - \exp(-\lambda_0 t_e)] / \lambda_0 t_e, \quad (5.2)$$

де  $\lambda_0$  – інтенсивність відмов технологічного комплексу (див. завдання 10);  $t_e$  – тривалість експлуатації комплексу.

Стратегія 1 – періодичне технічне обслуговування, що передбачає планову перевірку і відновлення (неплановий ремонт) всіх елементів комплексу, що відмовили. З моменту усунення відмови до початку відновлюваних робіт планують новий період для планового обслуговування. Далі весь процес повторюється.

В якості спрощеної залежності для коефіцієнту оперативної готовності можна прийняти

$$K_{o,r1} = [1 - \exp(-\lambda_0 t_n)] / [(t_n + t_b) \lambda_0]^{-1}, \quad (5.3)$$

де  $t_n$  – періодичність обслуговування;  $t_b$  – тривалість ремонтно-технічних дій, тобто відновлення.

Стратегія 2 – випадкова, тобто неплановий ремонт проводять після самостійного прояву відмови у випадкові моменти часу.

Відмова проявляється в середньому через час  $t_0$ . Протягом  $t_{oc}$  технічний пристрій (агрегат, ланка) простоє в непрацездатному стані.

Неплановий ремонт починається у випадковий момент часу і триває в середньому  $t_b$ . При цьому замінюють або ремонтують елемент, що відмовив, а також усувають наслідки відмов. Після ремонту весь процес функціонування техніки повторюється.

Технологічні комплекси, що експлуатуються по даним правилам, підлягають тільки неплановим відновлювальним роботам, пов'язаним з появою відмов. Для даної стратегії ТОР коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{o,r2} = \frac{1}{(\lambda_0 + \mu) t_e} \left\{ \frac{\mu}{\lambda_0} [1 - \exp(-\lambda_0 t_e)] + \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \mu} [1 - \exp(-\lambda_0 + \mu t_e)] \right\}, \quad (5.4)$$

де  $\lambda_0$  – інтенсивність відмов;  $\mu$  – інтенсивність відновлення;  $t_e$  – час експлуатації комплексу.

Якщо відмови виникають миттєво, то середній час вияву скритої відмови приймають  $t_c = 0$ . Якщо відмова самостійно не проявляється ( $t_c = \infty$ ), то такі машини експлуатувати по даній стратегії неможна, так як в цьому випадку  $K_r = K_{o,r} = 0$ .

Стратегія 3 – комбіноване обслуговування, яке передбачає виконання

наступних робіт:

- 1) через проміжок часу  $t_n$  за час  $t_b$  проводять періодичне ТО всіх ланок комплексу;
- 2) в процесі експлуатації контролюють справність деяких елементів таким чином, що контролем охоплюється потік відмов  $\lambda_1 = \delta\lambda$  із загального потоку  $\lambda$ ;
- 3) при виявленні відмов контрольованих елементів відновлюють їх працездатність з інтенсивністю  $\mu$ .

Коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{o,r2} = \frac{1}{t_n + t_b} = \left\{ \frac{\mu[1 - \exp(-1 - \delta)\lambda t_n]}{(1 - \delta)\lambda(\delta\lambda - \mu)} + \frac{\delta\lambda[1 + \exp(-(\lambda + \mu)t_n)]}{(\delta\lambda + \mu(\lambda + \mu))} \right\}. \quad (5.5)$$

Ефективність стратегії 3 порівняно зі стратегією 1 або 2 визначають з виразу

$$R_{3/1} = \frac{K_{o3}}{K_{o1}} - 1; \quad R_{3/2} = \frac{K_{o3}}{K_{o2}} - 1. \quad (5.6)$$

Для випадкової стратегії інтенсивність обслуговування на базі нормативних даних може бути визначена з виразу

$$\mu_n = \lambda[1 - \exp(-\lambda t_n)][\exp(-\lambda t_n) - (1 - \lambda t_n) + \lambda t_n]^{-1}. \quad (5.7)$$

Слід мати на увазі, що  $\mu_n$  визначає межу застосування конкретної стратегії ТО. Якщо  $\mu > \mu_n$ , то високі показники надійності забезпечу обслуговування з випадковим періодом. В іншому випадку більш переважним є періодичне ТО.

Стратегія4 – профілактичне обслуговування з введенням резервних елементів.

Коли забезпечення заданого рівня надійності системою ТО недостатньо, застосовують резервування елементів комплексу. Для стратегії ТО з резервуванням і з перевіркою всіх елементів комплексу можна визначити його працездатність, якщо вона забезпечується справною роботою хоча б одного елемента, за формулою

$$P_n(t) = 1 - \prod_{i=1}^N [1 - \exp(-\lambda_i t)]. \quad (5.8)$$

Для комплексів, працездатність яких визначається справною роботою не менше  $x$  елементів, при  $P_i = P_j = P$ ,  $j = N - i$  – ймовірність безвідмовної роботи

$$P_n(t) = \sum_{j=0}^x C_N^j P^{N-j} (1 - P)^j. \quad (5.9)$$

Припустимо, що комплекс складається з  $N$  резервованих ланок і в процесі ТО перевіряють всі елементи. Тоді при  $\lambda_i = \lambda_j$  коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{o,r} = \frac{1}{t_n + t_b} \sum_{j=1}^N (-1)^{j+1} \frac{C_N^j}{j\lambda} [1 - \exp(-j\lambda t_n)]. \quad (5.10)$$

При  $N = 1$

$$K_{o4} = [1 - \exp(-\lambda t_n)][\lambda(t_n + t_b)]^{-1}.$$

При стратегії ТО по стану з контролем параметрів з періодичністю  $t_n$

передбачене діагностування працездатності на протязі часу  $t_d < t_{TO}$ . При виявленні відмови машину відновлюють. В цьому випадку коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{o.g} = \frac{t_0 [1 - \exp(-\frac{t_{TO}}{t_0})] \exp(-\frac{t_d}{t_0})}{t_B [1 - \exp(-\frac{t_{TO}}{t_0})] + t_{TO} + t_d}, \quad (5.11)$$

де  $t_0$  – напрацювання на відмову;  $t_{TO}$  – тривалість планового ТО і діагностування.

Якщо використовують іншу стратегію, тоді працездатність комплексу контролюють з періодичністю  $t_k$ , то при досягненні напрацювання  $t$  проводять ТО тривалістю  $t_{TO}$  і при виникненні відмови машину відновлюють (змішана стратегія). Тоді коефіцієнт оперативної готовності

$$K_{o.g} = \frac{t_0 [1 - \exp(-\frac{t}{t_0})] \exp(-\frac{t_d}{t_0})}{t_B [1 - \exp(-\frac{t}{t_0})] t_{TO} \exp(-\frac{t}{t_0}) + (t_k + t_B) \left[ \frac{1 - \exp(-\frac{t}{t_0})}{1 - \exp(-\frac{t_k}{t_0})} \right]}. \quad (5.12)$$

Коефіцієнт технічної ефективності розраховують за формулою (5.1). За допомогою цього критерію можна об'єктивно оцінити ефективність стратегії ТО.

При встановленні фактичного стану агрегату (справний або несправний) за допомогою діагностування внаслідок прийняття помилкових рішень можливі наступні висновки про технічний сан агрегату (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Оцінка фактичного стану агрегату

Стан агрегату	Ймовірність стану	Рішення, прийняте по діагностуванню	Умовний ризик
Справний	P	Справний	$C_d$
		Несправний	$C_d + C_{TO}$
Несправний	q	Справний	$C_d + C_{ПТО}$
		Несправний	$C_d + C_{TO}$

В якості умовних ризиків прийняті витрати:

$C_d$  – на визначення технічного стану машини (діагностування);

$C_{TO}$  – на операції технічного обслуговування, що виконуються по результатам діагностування;

$C_{ПТО}$  – втрати внаслідок невиконання оперативної задачі, так як несправний агрегат працює з меншою продуктивністю.

Складові ризиків визначають в кожному конкретному випадку.

Середній умовний ризик

$$r_y = P[(1 - \alpha)C_d + \alpha(C_d + C_{TO})] + q[\beta(C_d + C_{ПТО}) + (1 - \beta)(C_d + C_{TO})]. \quad (5.13)$$

Враховуючи, що при планово-запобіжному обслуговуванні витрати однакові, то в якості критерію ефективності можна прийняти

$$R_{TO} = C_{TO} / r_y \quad (5.14)$$

Отриманий критерій ефективності характеризує зв'язок між показниками надійності агрегату, показниками системи контролю і економічними факторами. Переваги стратегії по стану з контролем параметрів більш істотні, якщо об'єми визначені безпомилково, тобто  $\alpha = \beta = 0$ . Тоді

$$R_{TO} = \frac{C_{TO}}{C_d + qC_{TO}} = \left( \frac{C_d}{C_{TO}} + q \right)^{-1} \quad (5.15)$$

Перевага стратегії ТО по стану збільшується при зниженні витрат, тобто при  $C_d \leq C_{TO}$ . В цьому випадку  $R_{TO} = q^{-1}$ . Отже, стратегія ТО по стану з контролем параметрів особливо ефективні при експлуатації високонадійних машин. В реальному процесі ТО дотримання умови  $C_d = C_{TO}$  можливо при використанні ефективних засобів діагностики.

Порівнюючи  $R_{TO}$ , вибирають кращу стратегію для конкретних умов експлуатації технологічного комплексу, після чого оптимізують характеристики системи ТОР.

**Виробнича ситуація.** В господарстві для заготовки сінажу об'ємом 4000 т організовано комплексний загін. Планований термін збирання 8 днів. Тривалість робочого дня в період збирання 10 годин. Ймовірність погодних умов 0,8. Сінаж заготовляють по технологічній схемі і в об'ємі, які вказані в таблиці 10.1.

Необхідно вибрати стратегію ТОР для забезпечення ефективності роботи технологічного комплексу з врахуванням даних таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники надійності машин, нормативи періодичності та трудомісткості ТОР

Марка машини	Напряцювання на відмову, год	Середній час усунення відмови, год	ЩТО		ТО-1		ТО-2	
			Періодичність, мото-год	Трудомісткість, люд-год	Періодичність, мото-год	Трудомісткість, люд-год	Періодичність, мото-год	Трудомісткість, люд-год
К-700А	84	6,2	7	1,2	125	2,5	500	10,6
Т-150К	82	5,6	7	0,3	125	1,9	500	6,8
МТЗ-80	86	4,8	7	0,5	125	2,7	500	6,9
ГАЗ-САЗ-53Б	140	3,8	7	0,6	125	2,9	240	11,8
ЗИЛ-ММЗ-554	150	3,6	7	0,6	60	3	240	12
КПКУ-75	24	4,5	7	0,4	60	3,6	240	7,2
Е-281Ф	36	5,3	7	0,5	60	4	240	7,6
КСК-100А	18	5,5	7	0,7	60	4	240	7,6

ЯСК-200	42	5	7	0,7	60	4	240	7,6
КРН-2,4	40	2,3	7	0,15	60	2	-	-
ГВР-6	20	1,5	7	0,15	60	2,5	-	-
ПИМ-20	260	4,3	7	0,15	60	2	-	-

Склад комплексного загону наступний (в дужках вказано число агрегатів, машин):

ланка скошування

Т-150К+КПКУ-75(1), Е-281Ф(1), КСК-100А(1);

ланка згрібання у валки

МТЗ-80+ГВР-6(3);

ланка підбору з подрібненням

Т-150К+КПКУ-75(2), Е-281Ф(1), КСК-100А(2);

транспортна ланка

ЗИЛ-ММЗ-554(4), ГАЗ-САЗ-53Б(4), МТЗ-80+ПСЕ-12,5(2);

ланка закладки сінажу в траншеї

К-700А(2).

Всього технічних засобів в комплексі:

Т-150К - 3,

К-700А - 2;

МТЗ-80 - 3;

Е-281Ф - 2;

КСК-100А - 3;

КПКУ-75 - 3;

ЗИЛ-ММЗ-554 - 4;

ГАЗ-САЗ-53Б - 4;

ГВР-6 - 3;

ПСЕ-12,5 - 2.

Стратегія 0. Інтенсивність відмов агрегатів і ланок комплексу визначимо за формулою

$$\lambda_0 = \sum_i^m \lambda_i n_i,$$

де  $m$  – число агрегатів в ланці;  $n_i$  – число машин  $i$ -го типу в агрегаті.

З врахуванням даних таблиці 5.2 знаходимо інтенсивність відмов:

ланка скошування

$$\lambda_{ск} = \frac{1}{82} + \frac{1}{24} + \frac{1}{36} + \frac{1}{18} = 0,137;$$

ланки згрібання у валки

$$\lambda_{с.в} = 3 \left( \frac{1}{86} + \frac{1}{20} \right) = 0,199;$$

ланки підбору з подрібненням

$$\lambda_{п.п} = 2 \left( \frac{1}{82} + \frac{1}{24} \right) + \frac{1}{36} + \frac{2}{18} = 0,247;$$

транспортної ланки

$$\lambda_{т} = \frac{44}{160} + \frac{4}{140} + \frac{2}{86} + \frac{2}{260} = 0,086;$$

ланки закладки сінажу в траншеї

$$\lambda_3 = \frac{2}{84} = 0,024.$$

Інтенсивність відмови технологічного комплексу

$$\lambda_0 = \sum \lambda_i = 0,137 + 0,199 + 0,274 + 0,086 + 0,024 = 0,693.$$

Середній час безвідмовної роботи технологічного комплексу  $t_p = 1/0,693 = 1,44$  год.

Коефіцієнт оперативної роботи комплексу по стратегії 0 (без обслуговування) визначаємо за формулою (5.2): при  $t = 1$  год  $K_{o,r0} = (1 - e^{-0,693})/0,693 = 0,721$ ; при  $t = 3$  год  $K_{o,r0} = 0,421$ ; при  $t = 7$  год  $K_{o,r0} = 0,204$ .

Стратегія 1. Середню періодичність 10 агрегатів комплексу визначаємо за формулою

$$t_n = (\sum n_i/t_{ni})^{-1},$$

де  $n_i$  – число машин, для яких планується обслуговування з  $i$ -ю періодичністю;  $t_{ni}$  – періодичність  $i$ -го обслуговування.

З врахуванням нормативів таблиці 5.2

$$t_n = \left( \frac{31}{7} + \frac{8}{125} + \frac{8}{500} + \frac{21}{60} + \frac{16}{240} \right)^{-1} = 0,193 \text{ год.}$$

Середня тривалість ТО

$$t_{TO} = t_n \sum_j^N \sum_i^m t_{TO1} n_i / t_{ni},$$

де  $m, N$  – число відповідно машин і ланок в комплексі;  $t_{TO1}$  – тривалість ТО-1.

З врахуванням даних таблиці 5.2

$$t_{TO} = \left( 1,2 \cdot \frac{2}{7} + 2,5 \cdot \frac{2}{125} + 10,6 \cdot \frac{2}{500} + \dots + 0,15 \cdot \frac{2}{7} + 2 \cdot \frac{2}{60} \right) \cdot 0,193 = 0,793 \text{ год.}$$

Інтенсивність відмов технологічного комплексу в одиницю часу, що служить підставою для проведення ТО,

$$\lambda_{on} = \sum_1^n n_i / t_{ni} [1 + \sum_1^n t_{ni} n_i / t_{ni}]^{-1} = 5,18 / (1 + 4,112) = 1,01 \text{ год}^{-1}.$$

Коефіцієнт оперативної готовності при проведенні періодичних ТО для усунення відмов розраховуємо за формулою (5.3):

$$K_{o,r1} = [1 - \exp(-1,01 \cdot 0,193)] / [(0,193 + 0,793)1,01]^{-1} = 0,178.$$

Через 1 год від початку експлуатації  $K_{o,r1} = 0,351$ ; через 3 год  $K_{o,r1} = 0,248$ ; через 7 год  $K_{o,r1} = 0,126$ .

Вплив періодичності ТО на зміну коефіцієнту оперативної готовності показано на рисунку 5.1.

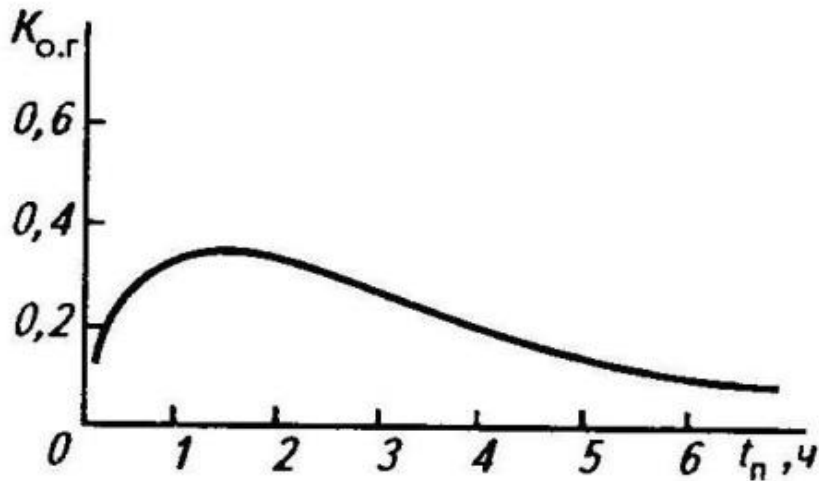


Рисунок 5.1 – Зміна коефіцієнту оперативної готовності в залежності від періодичності ТО

Ефективність стратегії 1 в порівнянні зі стратегією 0 визначаємо за формулою

$$R_{1/0} = \frac{[1 - \exp(-\lambda_0 t_n)] t_e / (t_n + t_e)}{1 - \exp(-\lambda_0 t_e)} - 1.$$

При проведенні профілактичних робіт через 1 год від початку експлуатації

$$R_{1/0} = \frac{[1 - \exp(-1.01 \cdot 7)] / (1 + 0.793)}{1 - \exp(-0.693 \cdot 7)} - 1 = 1.5;$$

через 3 год  $R_{1/0} = 0.77$ ; через 7 год  $R_{1/0} = -0.06$ .

Зміна співвідношень ефективності стратегій 1 і 0 по часу показана на рисунку 5.2.

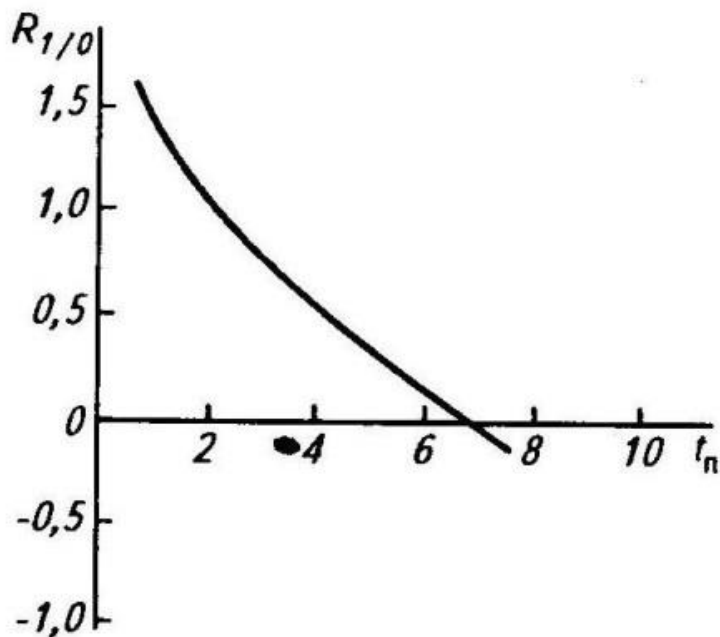


Рисунок 5.2 – Зміна коефіцієнту технічної ефективності в залежності від

## періодичності ТО

Стратегія 2. Середній час простою комплексу при проведенні ТОР розраховуємо з врахуванням даних таблиці 5.2:

$$\frac{t_{\text{в}i}}{t_{\text{п}i}} = 1,44(5,6 \cdot \frac{3}{82} + 4,5 \cdot \frac{3}{24} + 5,3 \cdot \frac{2}{36} + 5,5 \cdot \frac{3}{18} + 1,5 \cdot \frac{3}{20} + 3,6 \cdot \frac{4}{150} + 3,8 \cdot \frac{4}{140} + 4,8 \cdot \frac{2}{86} + 4,3 \cdot \frac{2}{260} + 6,6 \cdot 2/84) = 1,44 \cdot 2,867 = 4,13 \text{ год}$$

Інтенсивність відновлення елементів комплексу, що відмовили, при використанні одного ремонтного посту (або майстерні)  $\mu_1 = \frac{1}{t_{\text{в}}} = \frac{1}{4,13} = 0,242$ . При наявності двох ремонтних постів  $\mu_2 = \frac{2}{4,13} = 0,484$ .

Коефіцієнт оперативної готовності при випадковому часі обслуговування (стратегія 2) розраховуємо за формулою 5.4. При усуненні відмов однією ремонтною майстернею при  $t_c = 1$  год.

$$K_{o,r2} = \frac{1}{(0,693 + 0,242) \cdot 1} \left\{ \frac{0,242}{0,693} [1 - \exp(-0,693 \cdot 1)] + \frac{0,693}{0,693 + 0,242} [1 - \exp((-0,693 + 0,242) \cdot 1)] \right\} = 0,67$$

При усуненні відмов двома ремонтними майстернями  $K_{o,r} = 0,685$ .

З розрахунків видно, що утворення додаткового посту сприяє збільшенню коефіцієнта оперативної готовності на 0,15. Ефективність стратегії 2 в порівнянні зі стратегією 1 при роботі одного посту

$$R_{2/1} = \frac{0,670}{0,351} - 1 = 0,9,$$

при роботі двох постів

$$R_{2/1} = \frac{0,685}{0,351} - 1 = 0,95.$$

Стратегія 3. Припускаємо, що через  $t_n = 7$  год за час  $t_{\text{ТО}} = 0,793$  год проводиться періодичне ТО всіх машин комплексу. В процесі експлуатації контролюється справність польових агрегатів (скошування, згрібання, підбирання валків), інтенсивність відмов яких  $\lambda_1$  із загального потоку відмов  $\lambda_0 = 0,693$ :

$$\lambda_1 = \sum \frac{n_i}{t_i} = 0,137 + 0,113 + 0,247 = 0,503.$$

Частина контрольованих відмов  $\sigma = 0,503/0,693 = 0,725$ .

При виявленні відмов агрегатів, що контролюються, їх працездатність відновлюють з інтенсивністю

$$\mu_k = \left[ t_p \sum \frac{t_{\text{в}i} n_i}{t_{\text{п}i}} \right]^{-1} = \left[ 1,44(5,6 \cdot \frac{3}{82} + 4,5 \cdot \frac{3}{24} + 5,3 \cdot \frac{2}{36} + 5,5 \cdot \frac{3}{18} + 4,8 \cdot \frac{3}{35} + 1,5 \cdot \frac{3}{20}) \right]^{-1} = 0,293.$$

При комбінованому обслуговуванні коефіцієнт оперативної готовності

технологічного комплексу

$$K_{o.r3} = \frac{1}{7 + 0,793} =$$

$$= \left\{ \frac{0,293[1 - \exp(-1 - 0,725)0,693 \cdot 7]}{(1 - 0,725)0,693(0,725 - 0,693 - 0,293)} + \frac{0,725[1 + \exp(-(0,693 + 0,293)7)]}{(0,725 - 0,693 + 0,293)(0,693 + 0,293)} \right\} = 0,774.$$

При  $\sigma = 1$  проведення ТО недоцільне.

Ефективність комбінованого обслуговування (стратегія 3) в порівнянні з періодичним (стратегія 1)

$$R_{3/1} = \frac{0,774}{0,351} - 1 = 1,2.$$

Ефективність стратегії 3 в порівнянні зі стратегією 2 (випадкове обслуговування) при роботі одного посту  $R_{3/2} = \frac{0,774}{0,67} - 1 = 0,15$ , при роботі двох постів  $R_{3/2} = \frac{0,774}{0,685} - 1 = 0,12$ .

Результати розрахунків по всім стратегіям ТОР необхідно оформити у вигляді таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Зведена таблиця аналізу ефективності стратегій ТОР

Показник ефективності	Стратегії технічного обслуговування			
	0	1	2	3
Середній час безвідмовної роботи комплексу				
Інтенсивність відмов (обслуговувань)				
Середня тривалість ТО				
Інтенсивність проведення ТО				
Середній час відновлення				
Коефіцієнт оперативної готовності				
Коефіцієнт технічної ефективності				

Результати розрахунків систематизувати і оформити у вигляді таблиці 1.4. Зробити висновки по кожному пункту розрахунків.

### Практичне заняття №6

#### Визначення потреби в обмінному фонді запасних частин

**Мета роботи** – опанувати методику та набути навичок визначення потреби в запасних частинах (деталях, складальних одиницях, системах), навчитися вибирати оптимальний обмінний фонд.

#### Зміст завдання.

1. Вибрати виробничу ситуацію з таблиці 6.1.

2. Вивчити теоретичні основи визначення кількості запасних елементів і комплектування обмінного фонду.

Таблиця 6.1 – Варіанти завдань (горизонтальними лініями розділені склади комплексів)

Номер варіантів	Склад технологічного комплексу	Число агрегатів
1	Т-150К+КПКУ-75	2
2	Е-282	2
3	МТЗ-80+ГВР-6	3
4	ЗИЛ-ММЗ-554	10
5	К-700А	1
6	КСК-100А	3
7	Е-281	1
8	МТЗ-80+ГВР-6	3
9	ГАЗ-САЗ-53Б	12
10	Т-150К	1
11	КСК-100А	2
12	Т-150К+КПКУ-75	2
13	МТЗ-80+ГВР-6	3
14	МТЗ-80+ПСЕ-12,5	8
15	Т-150К	1
16	КСК-100А	4
17	Е-282	1
18	МТЗ-80+ГВР-6	3
19	ЗИЛ-ММЗ-554	10
20	Т-150К	1
21	Т-150К+КПКУ-75	1
22	Е-282	3
23	МТЗ-80+ГВР-6	3
24	ГАЗ-САЗ-53Б	10
25	К-700А	1

3. Визначити ймовірність безвідмовної роботи і напрацювання на відмову агрегатів технологічного комплексу.

4. Розрахувати середній час ремонту транспортних засобів, забезпечивши ймовірність їх безвідмовної роботи, необхідною для 60 год експлуатації.

5. Визначити число резервних транспортних засобів, забезпечивши ймовірність їх простою не більше 0,05. Середній час ремонту прийняти з пункту 4.

6. Визначити запас деталей найменш надійних механізмів або систем двигунів, що є в господарстві, забезпечивши довірчу ймовірність 0,95. Ресурс вибрати з таблиць 6.2...6.4, фактичний термін експлуатації прийняти при коефіцієнті варіації 0,8.

Таблиця 6.2 – Показники надійності машин

Марка трактора, машини, двигуна	Напрацювання на відмову, год	Ймовірність безвідмовної роботи
К-700А	84	0,78
ЯМЗ-240	516	0,92
Т-150К	82	0,74
СМД-62	833	0,89
МТЗ-80	86	0,78
Д-240	666	0,94
КСК-100А	42	0,79
Е-282	71	0,87
КПКУ-75	61	0,85
ГВР-6	57	0,84
ЗИЛ-ММЗ-554	190	0,92
ГАЗ-САЗ-53Б	199	0,92
ПСЕ-12,5	245	0,96
ПИМ-20	260	0,96

Таблиця 6.3 – Ймовірність безвідмовної роботи механізмів і систем двигунів (за 100 годин випробувань)

Механізм, система	ЯМЗ-240	СМД-62	Д-240
КШМ	0,986	0,980	0,995
ГРМ	0,984	0,982	0,988
Система охолодження	0,995	0,995	0,987
Система живлення	0,960	0,970	0,986
Система мащення	0,993	0,958	0,982

Таблиця 6.4 – Показники надійності двигунів 40 автомобілів ЗИЛ-130 при пробігу 170 тис.км

Елемент	Число замін	Ймовірність безвідмовної роботи	Інтенсивність відмов, відмов/1000 км
Колінчатий вал	38	0,963	0,014
Циліндропоршнева група	32	0,978	0,025
Вкладиші шатунні	60	0,993	0,007
Вкладиші корінні	30	0,996	0,012
Кільця	31	0,985	0,007
Головка блоку	12	0,993	0,005
Клапани	52	0,993	0,02
Прокладка головки блоку	158	0,984	0,03
Двигун	413	0,89	

7. По ймовірності безвідмовної роботи і середнього напрацювання на

відмову тракторів МТЗ-80 визначити найбільш необхідний елемент обмінного фонду – деталь, двигун або трактор.

8. Розрахувати число запасних частин (елементів) для двигунів автомобілів ЗИЛ, яке повинно бути в технічному обмінному фонді.

### **Визначення комплекту запасних елементів, що ремонтуються.**

Одне з основних умов успішного проведення технічного обслуговування, ремонту і підтримання надійності агрегатів – забезпечення необхідним комплектом запасних частин, інструменту і приладдя (ЗІП). Відсутність в ЗІП необхідних елементів приводить до збільшення середнього часу ремонту.

Наявність ЗІП безпосередньо впливає на коефіцієнт готовності, який визначають за формулою

$$K_T = m_o / (m_o + m_b + m_{b.a} + m_{ch}), \quad (6.1)$$

де  $m_o$  – напрацювання на відмову;  $m_b$  – середня тривалість відновлення агрегату;  $m_{b.a}$  – адміністративний час при організації усунення відмов;  $m_{ch}$  – середній час простою через затримки постачання запасними елементами.

Так як процес відмов елементів агрегатів є випадковим, то в запасі повинні бути елементи всіх типів з визначеною ймовірністю. Визначення цих ймовірностей можливо з використанням теорії масового обслуговування при наступних припущеннях.

1. Є система обслуговування запасними елементами. В систему на обслуговування поступає найпростіший потік вимог, що складається з  $i$  потоків:

а) потоку відмов елементів, що знаходяться в експлуатації, з інтенсивністю

$$\lambda_1 = n_i \lambda_i, \quad (6.2)$$

де  $n_i$  – число елементів даного типу;  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов елементів даного типу, що знаходяться в експлуатації;

б) потоку відмов елементів, що знаходяться в резерві, з інтенсивністю

$$\lambda_2 = n_z \lambda_z, \quad (6.3)$$

де  $n_z$  – кількість елементів даного типу в резерві;  $\lambda_z$  – інтенсивність відмов елементів даного типу, що знаходяться в резерві.

Інтенсивність сумарного потоку відмов при наявності запасних елементів необхідного типу

$$\lambda_c = \sum \lambda_i. \quad (6.4)$$

2. При надходженні від агрегату потоку вимог на запасний елемент вони негайно задовольняються вільними елементами. При відсутності таких обслуговуюча система приймає чергову вимогу, але при цьому виникає визначена ймовірність простою агрегатів в очікуванні ремонту.

3. Кожний пост обслуговування може одночасно обслуговувати одну вимогу за час  $t_{об}$ , розподілений по експоненціальному закону.

4. В кожний момент часу система забезпечення агрегатів запасними

елементами будь-якого типу може знаходитися в одному з наступних станів:

$k = 0$  – в комплекті ЗІП є всі елементи;

$k = 1$  – в комплекті ЗІП відсутній один елемент;

$k = 2$  – використано два елементи комплекту;

$k = i$  – те ж саме,  $i$  елементів комплекту;

$k = n$  – те ж саме,  $n - 1$  елементів комплекту;

$k = n + 1$  – те ж саме, всі  $n_3$  елементів комплекту ЗІП.

Отже, можливо всього  $n + 1$  стан системи забезпечення. Ймовірність того, що в момент часу  $t$  зайнято  $k$  елементів ЗІП,

$$P_k(t) = [(t_b \lambda_c)^k / k!] [1 - \exp(-\mu t)^k] \exp(-t_b \lambda_c) [1 - \exp(-\mu t)] \quad (6.5)$$

де  $t_b$  – середній час відновлення елемента,  $\mu = 1/t_b$  – інтенсивність потоку ремонтів.

Ймовірність зайнятості в момент часу  $t$  не більше  $n_3$  елементів ЗІП визначають як суму ймовірностей  $n + 1$  несумісних станів елементів: від  $k = 0$  до  $k = n$ . Тоді

$$\sum P_k(t) = \sum [(t_b \lambda_c)^k / k!] [1 - \exp(-\mu t)^k] \exp(-t_b \lambda_c) [1 - \exp(-\mu t)] \quad (6.6)$$

Ймовірність того, що в момент часу  $t$  зайнято більше  $n_3$  елементів ЗІП (подія, протилежна попередній),

$$P_{k > n_3}(t) = 1 - \sum P_k(t).$$

В режимі експлуатації, що установився, при  $t \rightarrow \infty$

$$P_{k > n_3}(t) = \sum [(t_b \lambda_c)^k / k!] [1 - \exp(-t_b \lambda_c)].$$

Позначивши  $t_b \lambda_c$  через  $\rho$  (приведену щільність потоку), отримаємо

$$P_{k > n_3}(t) = \sum [\rho^k / k!] [1 - \exp(-\rho)].$$

По формулі (6.6) розраховують необхідне число елементів ЗІП, що ремонтуються. Для цього необхідно задати допустиму ймовірність простою агрегату в очікуванні ремонту  $P_n(\rho)$  і, користуючись таблицею 6.5, при відомому  $\rho$  знайти значення  $n_3$ .

### **Визначення комплекту запасних елементів, що не ремонтуються**

В режимі, що установився, при  $\mu = 0$  формула (6.6) набуде вигляду

$$P_{k > n_3}(t) = P_n(t) = \sum [(\lambda_c t)^k / k!] [1 - \exp(-\lambda_c t)]. \quad (6.7)$$

В цій формулі величина  $\lambda_c t$  представляє собою математичне очікування числа запасних елементів при експоненціальному законі розподілення відмов має вигляд

$$f(t) = \lambda_c \exp(-\lambda_c t) = (1/t_0) \exp(-t/t_0).$$

Технологічний комплекс повинен виконувати задані функції на протязі

часу  $t$ . За цей час в ньому може виникнути випадкове число відмов елементів. Замість елемента, що відмовив, з запасу беруть новий елемент, і число витрачених елементів  $n_3$  за час  $t$  буде дорівнювати числу відмов  $n$ .

В цих умовах ймовірність того, що за час  $t$  буде потреба в точному числі  $n_3$  запасних елементів, визначають за формулою Пуассона:

$$P_3(t) = [(\lambda_c t)^{n_3} / n_3!] \exp(-\lambda_c t). \quad (6.8)$$

Отже, ймовірність простою

$$P_n(t) = \sum (n_{cp}^k / k!) [1 - \exp(-n_{cp})]. \quad (6.9)$$

Задаючи допустиму ймовірність простою  $P_n(t)$  і час експлуатації  $t$ , а також знаючи  $\lambda_c$ , знайдемо  $n_{cp}$  і  $n_3$ .

Таблиця 6.5 – Необхідне число  $n_3$  запасних елементів в залежності від допустимої ймовірності простою  $P_n$  і приведеної щільності відмов  $\rho$

$P_n(\rho)=0,15$		$P_n(\rho)=0,10$		$P_n(\rho)=0,05$		$P_n(\rho)=0,01$	
$\rho$	$n_3$	$\rho$	$n_3$	$\rho$	$n_3$	$\rho$	$n_3$
0,5	2	0,5	2	0,5	3	0,5	3
1	3	1	3	1	4	1	5
2	4	2	4	2	5	2	6
4	6	4	7	4	8	4	10
6	8	6	9	6	11	6	13
8	10	8	11	8	13	8	15
10	12	10	13	10	15	10	18
20	20	20	23	20	27	20	30
30	30	30	34	30	39	30	44
40	40	40	46	40	50	40	56

При  $n_{cp} > 20$  розрахунок по формулі (6.9) стає громіздким. Для спрощення розрахунків можна ввести поняття коефіцієнту запасу:

$$K_3 = n_3 / n_{cp}. \quad (6.10)$$

При  $4 < n_{cp} < 30$  і різних значеннях  $P_n(t)$  коефіцієнт запасу можна розрахувати за формулами:

$$P_n(t) = 0,15 \quad K_3 = (1,6 + 1,1n_{cp}) / n_{cp};$$

$$P_n(t) = 0,1 \quad K_3 = (1,8 + 1,15n_{cp})/n_{cp};$$

$$P_n(t) = 0,05 \quad K_3 = (2 + 1,24n_{cp})/n_{cp}.$$

Вочевидь, що при  $P_n(t) > 0,15$  коефіцієнт запасу близький до одиниці, тому число запасних елементів можна розрахувати за формулою:

$$n_3 = n_{cp} = \lambda_c t. \quad (6.11)$$

Якщо необхідне число запасних елементів розраховують для агрегатів, інтенсивність відмов яких визначена по невеликому об'єму статистичних даних, то необхідно або замість величини  $\lambda_c$  використовувати її верхню довірчу межу  $\lambda_c + \sigma_\lambda$ , або прийняти розподілення напрацювання на відмову по нормальному закону і розрахунок виконати по методу заміщення.

В якості прикладу розглянемо технологічний комплекс, що складається з чотирьох комбайнів Е-282, двох агрегатів МТЗ-80+ГВР-6, шести автомобілів ЗИЛ-ММЗ-554 і одного трактора Т-150К (табл. 6.6). Тривалість експлуатації комплексу 60 годин, гарантована ймовірність роботи  $P_c(t)=0,95$ .

Таблиця 6.6 – Показники надійності технологічного комплексу

Машина	Число машин N в комплексі	Ймовірність безвідмовної роботи $P_i/t$ , при $t_c$ , що дорівнює		Ймовірність відмови $q_i$
		100 год	60 год	
Е-282	4	0,87	0,92	0,08
МТЗ-80	2	0,78	0,859	0,141
ГВР-6	2	0,84	0,901	0,099
ЗИЛ-ММЗ- 554	6	0,92	0,950	0,050
Т-150К	1	0,74	0,831	0,169

Необхідно визначити число запасних машин (окремо кожної).

Визначимо спочатку ймовірність безвідмовної роботи кожного комбайну при  $t_c=60$  годин:

$$P_1 = \exp\left(-\frac{t_e}{T_o}\right) = \exp(-60/719) = 0,92.$$

Ймовірність відмови

$$q_1 = 1 - P_1 = 1 - 0,92 = 0,08.$$

Інтенсивність відмов

$$\lambda_1 = -\ln P_1/t_{e1} = -\ln 0,87/60 = 0,139/60 = 0,00232.$$

Сумарні інтенсивності відмов машин, що ремонтуються, знаходимо з виразу  $\lambda_{ci} = \lambda_i n_i$ . Так, для комбайнів

$$\lambda_{c1} = \lambda_1 n_1 = 0,00232 \cdot 4 = 0,00928.$$

Середній час ремонту кожної машини визначають за формулою  $t_B = -t_3 / \ln q_i$ . Для комбайну  $t_{B1} = -60 / \ln 0,13 = 29,4$  год.

$$\text{Розраховуємо } \rho_i = t_{B1} \lambda_{ic}; \quad \rho_1 = t_{B1} \lambda_{1c} = 29,4 \cdot 0,00928 = 0,27.$$

З таблиці 6.5 видно, що в резерві повинен бути один кормозбиральний комбайн, так як  $\rho_1 = 0,27$  менше табличного значення  $\rho = 0,5$ .

Аналогічно визначають потребу в резервних машинах інших марок.

### Визначення числа запасних елементів методом заміщення.

Нехай система (комплекс) складається з  $n_o$  основних і  $n_3$  запасних елементів при загальному їх числі  $N$ ,

Система відмовить, якщо вийдуть з ладу основні і резервні ( $n_o + n_3$ ) елементи. В цьому випадку напрацювання на відмову  $t_o = t_1 + t_2 + \dots + t_N$ .

На підставі граничної теореми ймовірностей припускаємо, що величина  $t_o$  змінюється по закону нормального розподілення з характеристиками

$$\bar{M}(t_o) = n_o t_e; \quad D(t_o) = n_o D t_e.$$

Тоді

$$P(t_o > t) = F[(n_o t_e - t) / \sqrt{n_o D t_e}], \quad (6.12)$$

де  $t_n$ ,  $t_e$  – проектний і фактичний термін експлуатації.

Враховуючи, що  $\frac{\sqrt{D_e}}{t_e} = v$  (тут  $v$  – коефіцієнт варіації), і знаючи, що система містить  $N$  елементів, отримаємо

$$P_c(t) = F\left[\frac{(1 - t_n)/(n_o t_e)}{v \sqrt{1/n_o}}\right] = F[A(t)].$$

При відомих вимогах до  $P_c(t)$  значення функції  $F$  можна прийняти з стандартних значень, вказаних нижче:

$P_c(t)$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
$F[A(t)]$	0,25	0,52	0,84	1,28	1,64	2,33

Припускаємо  $\left[\frac{(1 - t_n)/(n_o t_e)}{v \sqrt{1/n_o}}\right] = A$ . Після перетворення цього виразу

отримаємо

$$\frac{t_n N}{(n_o t_e)} + A v \sqrt{1/n_o} - 1 = 0. \quad (6.13)$$

Вирішивши дане рівняння відносно  $\sqrt{1/n_3}$ , з врахуванням  $n_3 = N -$  потримаємо

$$n_3 = \left[ \frac{2t_n N / t_e}{\sqrt{(Av)^2 + \frac{4t_n N}{t_e - Av}}} \right]^2 - N. \quad (6.14)$$

При рішенні рівняння слід пам'ятати, що число запасних елементів не може бути від'ємним.

З рівняння (6.14) видно, що на забезпечення системи із заданою довірчою ймовірністю впливають проектний і фактичний терміни експлуатації виробів ( $t_e$ ,  $t_n$ ), число  $N$  машин в групі, в яких встановлено елемент, що замінюється, і коефіцієнт варіації напрацювання  $v$ .

З врахуванням викладеного визначимо з довірчою ймовірністю  $P_c(t) = 0,9$  число запасних покришок для різної кількості автомобілів, якщо відомо, що ресурс покришки  $t_n = 100$  тис. км. Фактичний термін експлуатації  $t_e$  в залежності від умов експлуатації складає 20, 50 і 80 тис. км при коефіцієнті варіації  $v = 0,8$ .

Розрахунки виконуємо по формулі (6.14) з врахуванням вказаних раніше стандартних значень  $F[A(t)]$ .

Результати розрахунків записані в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Потреба в запасних частинах в залежності від фактичного напрацювання на відмову і парку автомобілів

Число автомобілів в господарстві	Необхідний запас покришок при $P_c(t) = 0,9$ і фактичному напрацюванні на відмову, тис. км		
	20	50	80
10	47,8	15,1	6,7
20	90,7	27,0	10,7
50	216,6	60,7	21,03

Слід враховувати, що із збільшенням довірчої ймовірності потреба в запасних частинах збільшується. Для фіксованих значень довірчої ймовірності із збільшенням парку машин питома потреба в запасних елементах знижується.

Розглянуті формули дозволяють розрахувати число запасних елементів визначеного типу із заданою ймовірністю простою машин. Якщо машина містить елементи декількох груп, від яких залежить надійність всієї машини, то для визначення їх числа загальне ймовірність простою необхідно розділити на групи елементів.

Загальна ймовірність простою

$$P_{o6} = \sum P_{ni} q_i, \quad (6.15)$$

де  $P_{ni}$  – ймовірність простою через відсутність запасного елемента  $i$ -ої групи;  $q_i$  – ймовірність відмови елемента  $i$ -ої групи.

Ймовірність виконання заданих функцій технічними засобами при наявності ЗІП розраховуємо за формулою:

$$P_c(t) = 1 - P_{o6} = P - (1 - P_{ni}) = PP_{ci}(t). \quad (6.16)$$

**Обґрунтування потреби в елементах обмінного фонду.** При обґрунтуванні потреби в елементах обмінного фонду необхідно встановити для даних умов роботи, що саме з технічних засобів ефективніше резервувати: деталі, складальні одиниці, повнокомплектні машини або агрегати.

Уявимо автомобіль у вигляді багаторівневої ієрархічної структури типу «дерево»: автомобіль в цілому, його агрегати, складальні одиниці, деталі. На кожному рівні утворюється своя підсистема. Така схематизація дозволяє при нормуванні показників надійності складових частин використовувати дворівневу структуру типу «система – елемент». Наприклад, машини – агрегати – елементи машин тощо.

Більшість підсистем автомобіля можна розглядати як послідовне з'єднання елементів. Ймовірність безвідмовної роботи автомобіля при деякому напрацюванні  $t$  можна визначити, припускаючи, що він складається з статистично незалежних елементів:

$$P_{\Sigma}(t) = PP_k(t) = \exp[-\sum \int \lambda_k(t) dt], \quad (6.17)$$

де  $\lambda_k(t)$  – інтенсивність відмов  $k$  елементів.

При заданій безвідмовності і встановленому (по агротехнічним вимогам) напрацюванні  $t_y = t$ . Позначимо  $\gamma = P(t_y)$ . Тоді

$$\gamma = \exp[-\sum \int \lambda_k(t) dt]. \quad (6.18)$$

Вочевидь, що для забезпечення безвідмовності  $\gamma$  існує багато  $\lambda_k(t)$ , які потрібно знати. В режимі експлуатації, що установився

$$\lambda_k(t) = \text{const}; P_k(t_y) = \exp[-\sum \int \lambda_k(t_y)]. \quad (6.19)$$

Ця передумова справедлива, якщо працездатність відновлюють регулюваннями, заміною деталей або їх ремонтом в неробочий час, тобто у випадку рівності потоків відмов і відновлень.

В більшості випадків при моделюванні процесу використовують принцип найбільш «слабкого» елемента, для якого вважають  $\lambda_k(t) = \text{const}$ .

Ймовірність безвідмовної роботи автомобіля з резервуванням при найпростішому потоці відмов визначають по закону Пуассона.

$$\text{Припускаючи потоки відмов елементів найпростішими, отримують} \\ \lambda_{\Sigma}(t) = \sum \lambda_k(t). \quad (6.20)$$

Отже ймовірність відмови  $k$  елемента при напрацюванні  $t$

$$q_k(t) = 1 - P_k(t). \quad (6.21)$$

Нормування без відмови на різних рівнях ієрархічної схеми може бути виконано по-різному. Для послідовно з'єднаних  $m$  елементів надійність кожного з них повинна бути

$$P_k(t) = m\sqrt{P_c(t)}, \quad (6.22)$$

де  $P_c(t)$  – встановлена безвідмовність системи елементів.

При наявності резервних  $n$  елементів вимог до безвідмовності елементу визначають з виразу

$$P_k(t) = 1 - m\sqrt{P_c(t)}. \quad (6.23)$$

Визначимо показники надійності конкретного агрегату.

Ймовірність безвідмовної роботи посівного агрегату за час  $t = 100$  годин визначимо при показниках, вказаних в таблиці 6.8. Припускаємо, що напрацювання на відмову машин, агрегатів і механізмів підпорядковується експоненціальному закону. Визначимо ймовірність безвідмовної роботи і середній час до першої відмови при різних способах резервування.

Ймовірність безвідмовної роботи двигуна без резервування

$$P_{дв}(100) = P_{P_1} = 0,923 \cdot 0,818 \cdot 0,882 \cdot 0,716 \cdot 0,659 = 0,314.$$

Середнє напрацювання до першої відмови  $t_{cp} = 1/\lambda$ . Інтенсивність відмов розраховуємо з використанням формули  $P_{дв}(100) = \exp[-\lambda \cdot 100] = 0,314$ , звідки  $\lambda = -\ln P_i/t_e = 1,15/100 = 0,0116$ . Тоді  $t_{cp} = 1/\lambda = 1/0,0116 = 86,2$  годин.

Надійність трактора без резервування

$$P_T(100) = P_{P_1} = 0,314 \cdot 0,925 \cdot 0,859 \cdot 0,904 \cdot 0,818 \cdot 0,846 = 0,156.$$

Середнє напрацювання трактора до першої відмови при  $\lambda = -\ln P_i/t_e = 1,86/100 = 0,0186$

$$t_{cp} = 1/0,0186 = 54 \text{ години.}$$

Надійність посівного агрегату без резервування

$$P_a(100) = P_T P_{сц} P_c^2 P_o^2 = 0,156 \cdot 0,867 \cdot 0,768^2 \cdot 0,942^2 = 0,0708.$$

Середнє напрацювання агрегату до першої відмови буде при  $\lambda = -\ln P_i/t_e$ :

$$t_{cp} = 1/\lambda = 1/0,0264 = 37,9 \text{ годин.}$$

Визначимо показники надійності агрегату, якщо в резерві є різні

комплекти запасних елементів обмінного фонду. Нехай в резерві є лімітуюча деталь змащувальної системи. Тоді ймовірність безвідмовної роботи двигуна

$$P_{\text{дв}} = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 (1 + \lambda_5 t),$$

де  $\exp(-\lambda_5 \cdot 100) = 0,659$ ;  $\lambda_5 = 0,00417$ .

Таблиця 6.8 – Показники надійності машин і їх складальних одиниць

Машина, агрегат, складальна одиниця	Напрацювання на відмову, $t_o$ , год	Ймовірність безвідмовної роботи $P_i$
Двигун: КШМ	1250	0,923
ГРМ	500	0,818
система охолодження	800	0,882
система живлення	300	0,716
змащувальна система	240	0,659
Коробка передач	1300	0,925
Шасі	660	0,859
Трансмсія	1000	0,904
Рульове керування	500	0,818
Гідронавісна система	600	0,846
Сівалка (дві)	38	0,768
Зчіпка	70	0,867
Борона (дві секції)	170	0,942

Тоді  $P_{\text{дв}} = 0,923 \cdot 0,818 \cdot 0,882 \cdot 0,716 \cdot 0,659(1 + 0,417) = 0,446$ . Середній час безвідмовної роботи двигуна

$$t_{\text{ср}} = 1/0,00807 = 123,9 \text{ годин.}$$

При наявності в резерві по одному комплекту кожного механізму або кожної системи ймовірність безвідмовної роботи двигуна

$$P_{\text{дв}} = [\exp - (\lambda_1 t)(1 + \lambda_1 t)][\exp - (\lambda_2 t)(1 + \lambda_2 t)][\exp - (\lambda_3 t)(1 + \lambda_3 t)] \times \\ \times [\exp - (\lambda_4 t)(1 + \lambda_4 t)][\exp - (\lambda_5 t)(1 + \lambda_5 t)].$$

Оскільки  $\lambda_i t = -\ln P_i t$ ,  $\lambda_1 t = 0,08$ ;  $\lambda_2 t = 0,20$ ;  $\lambda_3 t = 0,125$ ;  $\lambda_4 t = 0,334$ ;  $\lambda_5 t = 0,417$ ,

$$P_{дв} = [0,923(1 + 0,08)][0,8189(1 + 0,2)][0,882(1 + 0,125)][0,716(1 + 0,334)] \times \\ \times [0,659(1 + 0,417)] = 0,997 \cdot 0,982 \cdot 0,992 \cdot 0,955 \cdot 0,934 = 0,866.$$

Середній час безвідмовної роботи двигуна при такому резервуванні

$$t_{ср} = 1/0,00143 = 699,3 \text{ годин.}$$

При наявності резервних елементів двигуна ймовірність безвідмовної роботи трактора

$$P_{тр} = 0,866 \cdot 0,925 \cdot 0,859 \cdot 0,904 \cdot 0,818 \cdot 0,846 = 0,43.$$

Якщо в постійному резерві є повнокомплектний трактор без резервних елементів, то

$$P_i = 1 - (1 - q)^m = 1 - (1 - 0,156)^2 = 0,313,$$

де  $m$  – число одночасно працюючих елементів.

Середній час безвідмовної роботи при резервуванні елементами

$$t_{ср} = 1/0,00844 = 118,6 \text{ годин.}$$

При резервуванні повнокомплектним трактором

$$t_{ср} = 1/0,00116 = 86,2 \text{ годин.}$$

З вищевикладеного видно, що резервування окремими елементами ефективніше, ніж повнокомплектними машинами. Надійність посівного агрегату при резервуванні двигуна трактора окремими елементами і окремо кожної сільськогосподарською машиною можна визначити з виразу

$$P_{ар} = P_{тр} [1 - (1 - P_{сц})^2] [1 - (1 - P_c)^3] [1 - (1 - P_6)^3] = \\ = 0,430 [1 - (1 - 0,867)^2] [1 - (1 - 0,768)^3] [1 - (1 - 0,942)^3] = 0,416.$$

Середнє напрацювання на відмову

$$t_{ср} = 1/0,00876 = 114 \text{ годин.}$$

**Обґрунтування потреби в агрегатах обмінного фонду при недоліку інформації.** В сільськогосподарському виробництві часто відсутня повна інформація про всі фактори – умови ( $z_1, z_2, \dots, z_k$ ), в яких буде функціонувати ремонтна майстерня, пункт технічного обслуговування, технічний обмінний пункт, дилерська дільниця (система). В цих умовах рішення приймають за допомогою методу аналізу виробничої ситуації з використанням теорії ігор.

При оптимізації технічних і технологічних рішень звичайно розглядають дві сторони взаємодії:

А (активну внутрішню) – організатори виробництва, тобто виконавці;

В (зовнішню) – сукупність випадково виникаючих виробничих ситуацій.

Активна сторона повинна прийняти таку стратегію (рішення), щоб отримати максимальний ефект. При цьому зовнішня сторона активно не протидіє заходам організаторів виробництва, але точний стан зовнішніх факторів невідомий. Прийняття рішень ігровими методами ґрунтується на визначених правилах, які регламентують можливі дії сторін, що приймають участь у грі, тобто зміна цільової функції протікає при сполученнях визначених стратегій взаємодіючих сторін.

В умовах ризику формулювання задачі вибору рішення наступна: при заданих умовах  $a_i$  і дії зовнішніх факторів  $z_k$ , ймовірність яких відома, знайти таке рішення  $X_m$ , при яких можливе отримання екстремального значення цільової функції.

**Виробнича ситуація.** Згідно статистичних даних, на технічному обмінному пункті для організації ремонту щоденно є потреба в не більш, ніж чотирьох агрегатах, складальних одиницях (двигунів, коробок передач, муфт зчеплення тощо), причому ймовірність того, що в агрегатах не буде потреби на протязі зміни (добі), дорівнює 0,1; є потреба в одному агрегаті – 0,4; в двох – 0,3; трьох – 0,1; чотирьох – 0,1. Вказані ймовірності можна розглядати як ймовірності реалізації стратегій сторони В. Перша стратегія  $V_0$  полягає в тому, що для ремонту фактично є потреба в:

$V_0$  – нуль агрегатів;

$V_1$  – один агрегат;

$V_2$  – два;

$V_3$  – три;

$V_4$  – чотири агрегати (табл.. 6.9).

На технічному обмінному пункті можна застосовувати наступні стратегії:

$A_0$  – не мати запасу

$A_1$  – в запасі один агрегат;

$A_2$  – два;  $A_3$  – три;  $A_4$  – чотири агрегати.

В реальних умовах сполучення стратегій  $A_i$  і  $V_j$  може бути випадковим, але кожному сполученню цих стратегій відповідають величини  $a_{ij}$ , які розраховують для сторони  $A_i$  виходячи з наступних умов: зберігання одного агрегату, в якому немає потреби, оцінюють як збиток в одну умовну одиницю (-1), задоволення потреби в одному агрегаті – прибуток в дві одиниці (+2); відсутність необхідного агрегату – збиток в три одиниці (-3).

Причини збитку і прибутку в кожному конкретному випадку можуть бути різними. Величини збитку і прибутку повинні бути обґрунтовані, так як від них залежить прийняття оптимального рішення. Задоволення потреб в агрегатах пов'язано зі скороченням простоїв техніки в ремонті, що приносить прибуток, а надлишковий запас викликає додаткові витрати на зберігання.

Таблиця 6.9 – Стратегії сторін

Зовнішні фактори (зовнішня сторона)		Ймовірність заміни $g_j$	Виконавці (внутрішня сторона)	
Стратегія $V_j$	Необхідне число агрегатів $n_j$		Стратегія $A_i$	Число агрегатів $n_j$ на технічному обмінному пункті
$V_0$	0	0,1	$A_0$	0
$V_1$	1	0,4	$A_1$	1
$V_2$	2	0,3	$A_2$	2
$V_3$	3	0,1	$A_3$	3
$V_4$	4	0,1	$A_4$	4

Виграші при можливих сполученнях стратегій сторін зводять в платіжну матрицю (таблиця 6.10).

Наприклад, при сполученні стратегій  $A_1$  і  $V_3$  виграш складе  $a_{13} = 1 \cdot 2$  (при потребі трьох агрегатів на обмінному пункті є один агрегат) -  $2 \cdot 3$  (дві заявки не задовільнені) =  $2 - 6 = -4$ ; при сполученні стратегій  $A_3$  і  $V_1$  для заміни необхідний один агрегат, а на пункті є три,  $a_{31} = 1 \cdot 2$  (одна вимога задовільнена) -  $2 \cdot 1$  (в двох агрегатах не має потреби) =  $2 - 2 = 0$  тощо.

При відомих ймовірностях кожного стану  $V_j$  вибирають стратегію  $A_i$ , при якій математичне очікування виграшу буде максимальним. Для цього розраховують середній виграш по кожній строчці для  $i$ -ої стратегії:

$$\bar{a}_i = g_1 a_{i1} + g_2 a_{i2} + \dots + g_n a_{in} = \sum_{j=1}^n g_j a_{ij}.$$

Максимальне значення  $\bar{a}_i$  відповідає оптимальній стратегії. Матриця виграшів для даного прикладу представлена в таблиці 6.5. З цієї таблиці (матриці виграшів) видно, що для різних сполучень стратегій  $A_i$  і станів  $V_j$  оптимальним буде той, при якому забезпечується максимальний середній виграш, тобто стратегія  $A_3$  при створенні оборотного фонду в три агрегати ( $n_3 = 3$ ).

Слід відмітити, що розрахунок, проведений на підставі ймовірностей станів, але без врахування економічної оцінки, дозволяє отримати середньозважене число агрегатів, в яких є потреба за зміну:

$$n_j = \sum_{i=1}^n g_i n_j = 0,1 \cdot 0 + 0,4 \cdot 1 + 0,3 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 1,7.$$

Отримане значення округлюємо до цілого числа в сторону збільшення, отримуючи  $n_j = 2$ . Порівнюючи результати, можна зробити висновок, що максимальний виграш досягається при запасі трьох агрегатів.

Економічну ефективність застосування оптимальної стратегії в порівнянні з ймовірною оцінкою визначаємо з виразу

$$E = \frac{\bar{a}_o - \bar{a}_c}{\bar{a}_o} \cdot 100 = 100 \cdot \frac{1,5 - 1,3}{1,5} = 13,3\%,$$

де  $\bar{a}_o$  – виграш при оптимальній стратегії (див. табл.6.11);  $\bar{a}_c$  – виграш при середньозваженій потребі.

Таблиця 6.10 – Платіжна матриця

Стратегії	Число агрегатів $n_j$	Стратегії					Мінімальний виграш $a_i$ по стратегіям (сторонам)
		$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
		Необхідне число агрегатів					
		0	1	2	3	4	
$A_0$	0	0	-3	-6	-9	-12	-12
$A_1$	1	-1	2	-1	-4	-7	-7
$A_2$	2	-2	1	4	1	-2	-2
$A_3$	3	-3	0	3	6	3	-3
$A_4$	4	-4	-1	2	5	8	-4
Максимальний виграш $\beta_i$ (максимум стовпчиків)		0	2	4	6	8	

Таблиця 6.11 – Матриця виграшів при відомих ймовірних станах

$A_i(n_i)$	$B_j(n_j)$					Середній виграш $\bar{a}$
	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_0(n_0 = 0)$	0	-1,2	-1,8	-0,9	-1,2	-5,1
$A_1(n_1 = 1)$	-0,1	0,8	-0,3	-0,4	-0,7	-0,7
$A_2(n_2 = 2)$	-0,2	0,4	1,2	0,1	-0,2	1,3
$A_3(n_3 = 3)$	-0,3	0	0,9	0,6	0,3	1,5
$A_4(n_4 = 4)$	-0,4	-0,4	0,6	0,5	0,8	1,1
Ймовірність	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	-

станів $g_i$						
--------------	--	--	--	--	--	--

При невідомих ймовірностях станів  $V_j$  існує декілька способів прийняття рішень.

Найбільш простий спосіб оснований на принципі недостатності основи Лапласа, згідно якому ні один із станів  $V_j$  не вважається переважним, тобто приймають однакову ймовірність всіх станів:

$$g_1 = g_2 = \dots = g_n = 1/n.$$

В розглянутому прикладі для  $n = 5$  всі ймовірності повинні бути прийняті рівними 0,2. Матриця виграшів при однакових ймовірностях станів наведена в таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 – Матриця виграшів при невідомих ймовірностях станів

$A_i(n_i)$	$V_j(n_j)$					Середній виграш
	$V_0$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	
$A_0(n_0 = 0)$	-0	-0,6	-1,2	-1,8	-2,4	-6
$A_1(n_1 = 1)$	-0,2	0,4	-0,2	-0,8	-1,4	-2,2
$A_2(n_2 = 2)$	-0,4	0,2	0,8	0,2	-0,4	0,4
$A_3(n_3 = 3)$	-0,6	0	0,6	1,2	0,6	1,8
$A_4(n_4 = 4)$	-0,8	-0,2	0,4	1	1,6	2
Ймовірність станів $g_i$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-

З таблиці 6.12 видно, що при відсутності інформації про дійсну потребу в агрегатах обмінного фонду оптимальною є стратегія  $A_4$ , тобто в обмінному пункті повинно бути не три, а чотири агрегати.

При цьому середньозважене число агрегатів

$$n_j = 0,2 \cdot 0 + 0,2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 2.$$

Економічна ефективність застосування даної стратегії в порівнянні з оптимальною

$$E = \frac{\bar{a}_1 - \bar{a}_0}{\bar{a}_0} = \frac{1,1 - 1,5}{1,5} \cdot 100 = -26,7\%.$$

Це вказує на додаткові витрати при зберіганні одного зайвого агрегату на технічному обмінному пункті (1,1 замість 1,5 при оптимальній стратегії і відомих ймовірностях станів  $n_j$ , див. табл. 6.11).

В умовах невизначеності, коли ймовірності станів системи не можуть бути визначені або оцінені, застосовують спеціальні критерії: максимінний, мінімаксний, проміжний.

Доцільність збирання додаткової інформації про стан системи визначається співвідношенням вартості отримання інформації і додаткової переваги, яка може бути отримана за рахунок прийняття рішення, забезпеченого цією інформацією.

Результати розрахунків систематизувати і представити у вигляді таблиці.

### Рекомендована література.

1. Клімов С.В. Організація технічного сервісу: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2010.-120 с.
2. Л.В. Швець Технічний сервіс в АПК: навчальний посібник / Л.В. Швець, Ю.Б. Паладійчук, О.О. Труханська. Вінниця: ВНАУ, 2019. – 648 с.
3. Технічний сервіс в АПК: навчально-методичний комплекс: навч. посіб. для студентів інжен. спец. на осв.-кваліф. рівні «Бакалавр» напрямку «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» / [С.М.Грушецький, І.М.Бендера, О.В.Козаченко та ін..] за ред.. С.М.Грушецького, І.М. Бендери. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2014. 680 с.
4. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2006. – 404 с.
5. Лімонт А. С. Теоретичні основи забезпечення працездатності машин: навч.посіб. Житомир: Держ. агроеколог. ун-т, 2008. 410 с.
6. Калетник Г. М. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. Навч. посіб. – К.: «Хай-Тек Прес», 2010. 448 с.
7. Козаченко О. В. Технічна експлуатація сільськогосподарської техніки. Харків: Торнадо, 2000. 192 с.
8. Вознюк Л. Ф. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин. – К.: Урожай, 1994. 213 с.
9. Біліченко, В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів [Текст] : навч. посіб. / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенський, Ю. Ю. Кукурудзяк, С. В. Цимбал. - Вінниця : ВНТУ, 2005. - 118 с.
10. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. - К.: Вища шк., 1994. - (у 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. - 342 с; Кн. 2: Організація, планування і управління. - 383 с; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. - 599 с.
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт машин та обладнання. – К.: Знання, 2003. – 511 с.
5. Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник. В 2-х ч. / П.В.Лауш, І.Ф.Василенко, Т.П.Лесюк, О.А.Дьомін, В.Я.Чабанний, Н.П.Лауш, С.Б.Орищенко, В.С.Кухаренко, С.Г.Лауш. За ред. П.В.Лауша та І.Ф.Василенка. – Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс частина І, 2007. с. 21...31.
6. Закон України «Про систему інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу України» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2006. – № 47. – ст. 464. Із змінами, внесеними згідно із Законом України від 24.09.2008 № 586-VI (ВВР). – 2009. – № 10-5. – ст. 137.
12. Діденко М. К. Експлуатація машинно-тракторного парку. - К.: Вища школа, 1983. -456с.
13. Ільченко В.Ю. та ін. Машиновикористання в землеробстві. К.: Урожай, 1996.
14. Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М., Бурлака В.М., Івашина М.Б. Експлуатація машин і обладнання. - К.: Аграрна освіта, 2011- 617с.
15. Лауш П.В., Василенко І.Ф., Лесюк Т.П. та ін. Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки. – Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2007.

Навчально-методичне видання

**ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС В АПК**

Методичні вказівки

до практичних занять для здобувачів вищої освіти  
спеціальності 208 «Агроінженерія, (освітня програма «Технічний сервіс  
сільськогосподарської техніки)»

Укладачі: Красота М.В., к.т.н., доц. Бевз О.В. – к.т.н., доц.; Шепеленко  
І.В. – к.т.н., доц.; Осін Р.А. – к.т.н., доц., Красота Г.С.

## Додатки

### Додаток А

**Таблиця А.1 Норми природного і штучного освітлення**

Відділення майстерні	Коефіцієнт природного освітлення, $\alpha$	Питома потужність освітлення, $N_{\text{п}}$ (вт/м <sup>2</sup> )
Розбиральне, мийне	0,2...0,25	7...8
Складальне	0,25...0,3	8...10
Механічне, слюсарне	0,25...0,3	6...9
Ковальське, зварювальне	0,2...0,25	7...8
Мідницько-радіаторне	0,2...0,25	7...8
Електроремонтне	0,3...0,35	12...14
Ремонту паливної апаратури	0,3...0,35	10...12
Мотороремонтне	0,25...0,35	9...12
Випробувальне	0,25...0,3	8...10
Дефектувальне	0,3...0,35	12...14
Комплектувальне	0,25...0,3	8...10
Деревообробне	0,25...0,3	8...11
Інструментальний склад	0,25...0,3	8...11
Вулканізаційне	0,25...0,3	8...10
Ремонту гідросистем	0,3...0,35	10...12
ТО і діагностування	0,25...0,3	8...10
Адміністративне	0,25...0,3	12...15
Усунення відмов	0,25...0,3	8...11

**Таблиця А.2 Тривалість та середні температури сезону опалення**

Назва областей	Початок і кінець сезону опалення	Тривалість сезону опалення, днів	Середня температура сезону опалення, °С
Луганська	4.5...1.04	152	-2,9
Дніпропетровська	5.5...2.04	149	-1,8
Житомирська	29.10...5.04	159	-2,1
Запорізька	5.5...2.04	149	-1,8
Одеська	17.5...26.03	130	-0,3
Київська	29.10...5.04	159	-2,8
Кіровоградська	3.5...1.04	150	-2,3
Полтавська	29.10...5.04	159	-3,3
Харківська	27.10...6.04	162	-3,4
Вінницька	15.5...5.04	148	-2,0
Херсонська	15.10...23.03	169	-1,9

**Таблиця А.3 Кратність обміну повітря на дільницях ремонтної майстерні**

Назва дільниці	Кратність обміну повітря, 1/год
Ковальська, зварювальна, випробувальна	4...6
Паливної апаратури, мідницька, ремонту гідросистем, миття, електроремонтне	3...4
Слюсарне, механічне	2...3
Розбиральне, складальне, мотороремонтне, столярне, зовнішнього миття, ТО і діагностування	1,5...2

**Таблиця А.4 Значення коефіцієнта (К), що враховує проїзди, проходи і  
робочі зони**

Назва дільниці	К
Зовнішньої очистки та миття	3,0...3,5
Розбирання та миття	3,5...4,0
Дефектації і комплектації	3,0...3,5
Мотороремонтна	4,0...4,5
Обкатки і випробування ДВЗ; ТО і діагностування	4,0...4,5
Мідницько-жестяницька	3,5...4,0
Ремонту електрообладнання	3,5...4,0
Ремонту паливної та гідроапаратури	3,5...4,0
Збирання машин	4,0...4,5
Регулювання і фарбування	4,0...4,5
Вулканізації	3,0...3,5
Ковальсько-зварювальна	5,0...5,5
Слюсарно-механічна	3,0...3,5
Усунення несправностей	4,0...4,5

**Таблиця А.5 Значення (f) – питомої площі, яка припадає на одного  
робітника**

Назва дільниці	f, м <sup>2</sup>
Розбирання і миття	60...70
Дефектації і комплектування	15...20
Складання машин	60...70
Ремонту паливної апаратури, гідросистем та електрообладнання	10...15

Випробувальної, ТО і діагностування	30...40
Ковальська, зварювальна, мідницька, слюсарна	20...25

**Таблиця А.6 Трудомісткість ремонту і ТО машин, людино-годин**

Назва і марка машини	Капітальний ремонт		Поточний ремонт		ТО-3	ТО-2	ТО-1	СТО	ЩТО	Усунення відлов	Первинна діагностика
	Повний	готових агрегатів	Повний	готових агрегатів							
Трактори											
Т-130М					28,8	15,3	3,2	13,5	1,0		1,0
К-700А	660	326	367	212	43,2	10,6	2,5	29,3			2,8
К-744	726	326	371	233	25,2	11,6	2,2	18,3	0,6		2,9
ХТЗ-181, ХТЗ-17021	565	205	265	156	42,3	6,8	1,9	5,3	0,2	19,1	2,8
Т-4А	523	205	352	142	31,8	5,7	1,7	16,5	0,5		3,2
Т-100М	509	205	290	156	27,0	14,7	3,1	13,5			3,2
ВТ-175	369	202	257	148	21,4	6,4	2,7	17,1	0,5	19,4	3,1
МТЗ-920	311	166	181	119	19,8	6,9	2,7	3,5	0,4	17,4	3,0
ПМЗ-8040	272	151	142	90	26,1	7,3	2,5	14,9	0,4	16,5	3,0
ЛТЗ-60	251	110	128	81	18,0	6,8	2,0	19,8	0,4	9,6	2,7
ВТЗ-2027	213	67	86	50	10,8	5,2	2,4	0,9	0,5	6,7	2,7
Т-70В	330	226	158	119	14,0	6,9	2,3	6,8	0,2	15,8	3,2
Т-16М	184	70	80	40	7,7	2,7	0,9	1,8	0,5	6,6	2,7
Комбайни								ПСТ О			
РСМ-142 «Аcross 530»	360	180	220	180	-	7,2	3,6	26,9			
РСМ-101 «Вектор 410»	330	300	202	150	-	6,6	5,1	25,6	0,7		
СКД-5	307	268	195	132	-	5,2	6,6	-			
СК-6А	349	304	208	157	-	6,6	5,1	25,6	0,8		
КС-1,8	276	120	102	34	-	-	2,3	8,0			
РСМ-100 «Дон-680М»	623	362	269	204	-	7,2	2,7	24,0	0,5		
РКС-6	510	306	186	86	-	7,2	3,6	20,2	0,5		
ПКК-6	264	148	150	-	-	7,2	3,6	-	0,6		
Е-281, Е301	286	182	173	-	-	7,2	3,6	-	0,3		

**Таблиця А.7 Міжремонтний наробіток та періодичність технічного обслуговування тракторів (в л палива)**

Марка машини	Вид ТО і ремонту	ХТЗ-181, ХТЗ-17021	МТЗ-920	ПМЗ-8040	ЛТЗ-60	ВТ-175	ВТЗ-2027	К-744
Міжремонтний наробіток і наробіток до ТО	КР	109510	51000	44800	37300	75150	20400	176640
	ПР	44830	19200	15360	17262	32131	7500	58880
	ТО-3	23300	10000	8000	9000	16700	4000	29440
	ТО-2	11650	5000	4000	4500	8350	2000	7360
	ТО-1	2913	1250	1000	1125	2015	300	1840

**Таблиця А.8 Міжремонтний наробіток та періодичність ТО автомобілів, тис. км пробігу/трудомісткість, люд.год.**

Марка автомобіля	Міжрем. нар. до КР/трудомісткість	Напрацювання до ТО-2/трудомісткість	Напрацювання до ТО-1/трудомісткість
ЗІЛ-4331	140000/300	10000/14,0	2500/3,5
ГАЗ-3307	120000/256	10000/11,8	2500/2,9
КамАЗ-5320	200000/375	10000/21,5	2500/4,4

**Таблиця А.9 Коефіцієнти охоплення КР, ПР, ТО-2, ТО-1 комбайнів та сільськогосподарських машин**

Марка с.г. машини	Коефіцієнт охоплення				Трудомісткість, люд.год.			
	КР	ПР	ТО-2	ТО-1	КР	ПР	ТО-2	ТО-1
РСМ-142 «Acros 530»	0,15	0,60	3	10	180	180	7,2	3,6
РСМ-101 «Вектор 410»	0,15	0,60	3	10	300	150	6,6	5,1
ПКК-6	0,15	0,60	3	10	148	150	7,2	3,6
РСМ-100 «Дон-680М»	0,15	0,60	3	10	362	204	7,2	2,7
сівалки	-	0,80	-	-	-	50	-	-
плуги	-	0,80	-	-	-	33	-	-
культиватори	-	0,75	-	-	-	33	-	-
луцильники	-	0,80	-	-	-	30	-	-