

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.12 – МКР. 2401 “С” 2023.12.29.019 ПЗ

**ДЯЧЕНКО ОЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ**

2024 р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет \_\_\_\_\_ конструювання та дизайну \_\_\_\_\_

УДК 681.533.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
надійності техніки  
(назва кафедри)

доц. \_\_\_\_\_ Новицький А.В.  
(підпис) (ПІБ)

“ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему **«Удосконалення організації технічного сервісу мобільних енергетичних засобів в аграрних підприємствах»**

Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 - «Галузеве машинобудування» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_

Магістерська програма «Технічний сервіс машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» \_\_\_\_\_  
(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доц. \_\_\_\_\_ Новицький А.В. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

**Керівники магістерської роботи**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ Новицький А. В. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ керівника)

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ Харьковский І.С. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ керівника)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Дяченко О.Б. \_\_\_\_\_  
(підпис) (ПІБ студента)

Форма № Н-9.01

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет \_\_\_\_\_ конструювання та дизайну \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Новицький А.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА**

Дяченку Олександр Борисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 «Галузеве машинобудування»  
(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машини та обладнання сільськогосподарського виробництва»  
(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Удосконалення організації технічного сервісу мобільних енергетичних засобів в аграрних підприємствах»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «29» 12. 2023 р. №2401 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_ 15.11.2024 р.  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані магістерської кваліфікаційної роботи: 1. Стратегії технічного сервісу МЕЗ. 2. Типові норми праці на технічне обслуговування і ремонт МЕЗ 3. Перспективні стратегії технічного сервісу МЕЗ. 4. Каталоги мобільних енергетичних засобів аграрних підприємств. 5. Каталоги ремонтно-технологічного обладнання з ТО та ремонту агрегатів МЕЗ

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз системних досліджень мобільних енергетичних засобів як складних систем.
2. Вдосконалення системи функціонального оперативного діагностування МЕЗ

Перелік графічного матеріалу (за потреби) 1. Тема МР, предмет, об'єкт і методи дослідження. 2. Мета і задачі досліджень 3 Структурна схема вітчизняних стратегій ТО та ремонту машин. 4. Хронометраж операцій функціонального оперативного діагностування. 5. Система забезпечення надійності МЕЗ загальним резервуванням. 6. Система забезпечення надійності МЕЗ по елементним резервуванням. 7. Схема програми і методики експериментальних досліджень. 8. Удосконалення організації технічного сервісу мобільних енергетичних засобів резервуванням. 9. Результати техніко-економічного обґрунтування. 10. Висновки.

Дата видачі завдання «17» вересня 2023 р.

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_ Харьковський І.С.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ Новицький А. В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Дяченко О.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

### ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

### ВСТУП

### РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ЯК СКЛАДНИХ СИСТЕМ

1.1. Системний підхід до оцінки технологічних процесів АПК

1.2 Мобільний енергетичний засіб як ключовий елемент узагальненої моделі формування ефективності технологічних процесів

1.3. Надійність мобільних енергетичних засобів в АПК як складних систем

1.4. Огляд існуючих систем технічного сервісу машин та обладнання

1.5. Методові та засоби діагностування основних параметрів машин при забезпеченні надійності

### РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ МЕЗ

2.1 Формування та удосконалення стратегії, методів та засобів резервування МЕЗ за діагностування в умовах експлуатації

2.2 Обґрунтування ресурсу та розрахунок трудомісткості функціональних операцій оперативного діагностування двигунів МЕЗ

2.3 Комплексна система управління надійністю МЕЗ

2.4 Формування моделей підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ та їх підсистем резервуванням

2.5. Моделі забезпечення та підвищення ймовірності безвідмовної роботи МЕЗ за стратегією  $C_1$

### РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальна програма експериментальних досліджень

3.2. Хронометраж операцій функціонального оперативного діагностування

3.3 Визначення похибок вимірювань основних показників

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ МЕЗ ЗА РІВНЕМ РЕЗЕРВУВАННЯ

4.1 Результати хронометражу операцій ФОД двигунів за стандартною та пропонованими методиками

4.2 Результати хронометражу операцій ЗФОД МЕЗ за стандартною та запропонованими методиками

4.3 Результати хронометражу операцій ЗФОД двигунів без ГТН за стандартними та запропонованими методиками

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Техніко-економічна ефективність забезпечення експлуатаційної надійності МЕЗ за стратегії  $S_1$  та траєкторій обслуговування

5.2 Результати оцінки значень комплексного показника ефективності управління надійністю МЕЗ за різних стратегій та траєкторій обслуговування

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПК - агропромисловий комплекс;

ЛМСТ – людина-машина-середовище-транспорт;

ЛМС – людина-машина-середовище;

МЕЗ – мобільний енергетичний засіб;

ПН – показник надійності;

СТС – складна технічна система;

ТО – технічне обслуговування;

ТОР – технічне обслуговування і ремонт;

ТТМ – транспортно-технологічна машина;

ФОД – функціональне оперативне діагностування.

## ВСТУП

Продовольча безпека України залежить від ефективної роботи підприємств агропромислового комплексу. Із загальної системи виробництва сільськогосподарської продукції можна виділити основні складові або ж підсистеми, ефективність яких визначає працездатність всього комплексу технологічних процесів та операцій в АПК [17]. Такою підсистемою можна вважати функціонування технічних засобів виробництва, включаючи, мобільні енергетичні засоби. Від ефективності та надійності використання мобільних енергетичних засобів залежить ефективність сільськогосподарського виробництва підприємств аграрного сектору економіки нашої держави.

Одними з найважливіших галузей АПК України є рослинництво та тваринництво, на які припадає понад 900% паливно-енергетичних ресурсів [21, 22]. При цьому польові роботи в рослинництві, що виконуються МЕЗ, складають понад 55-65% у загальному комплексі робіт АПК.

В умовах, що склалися в АПК України, найважливішим чинником, що впливає на ефективність та експлуатаційну надійність МЕЗ, є рівень організації технічного сервісу, що полягає у своєчасному контролі та підтримці технічного стану МЕЗ на належному рівні. Так своєчасний і достовірний контроль енергетичних та паливно-економічних показників МЕЗ у комплексі з якісним технічним обслуговуванням та ремонтом, як складових технічного сервісу, дозволяють зменшити величину питомої витрати палива на 7–15%, підвищити ефективну потужність на 9–17%, скоротити час простою МЕЗ за рахунок зниження ймовірності відмов техніки та збільшення міжремонтних термінів у, зменшити сумарні витрати на технічне обслуговування та ремонт на 17-21%.

Разом з тим, в останні десятиліття значно скорочено розробку нових та випуск існуючих засобів діагностування, що негативно відображається на потенціалі організації робіт з ТОР.

Таким чином, в умовах фізично та морально застарілого парку МЕЗ в АПК, а також застосовуваних в даний час методів та засобів діагностування,

вимоги до показників використання машин, експлуатаційної надійності та ефективності їх функціонування все частіше не можуть бути реалізовані за допомогою відомих стратегій ТОР.

Тому питання вдосконалення організації технічного сервісу МЕЗ в АПК поряд із удосконаленням методів та засобів їх діагностування надзвичайно актуальні та спрямовані на вирішення важливої проблеми народногосподарської проблеми.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ в АПК шляхом комплексного підходу до вдосконалення організації технічного сервісу, а також методів і засобів функціонального оперативного діагностування.

Робоча гіпотеза: експлуатаційна надійність МЕЗ в АПК може бути підвищена шляхом функціонального резервування структурних підсистем та елементів на основі своєчасного використання методів та засобів діагностування.

Об'єкт дослідження – способи резервування що забезпечують підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ на основі використання методів та засобів технічного сервісу.

Предмет дослідження – закономірності, що описують підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ на основі резервування.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні завдання досліджень:

1. Виявити основні напрями підвищення експлуатаційної надійності та ефективності використання МЕЗ під час виконання технологічних процесів в рослинництві.

2. Розробити методи оперативного управління надійністю на основі функціонального оперативного діагностування мобільних енергетичних засобів та їх структурних елементів з використанням резервування.

3. Обґрунтувати моделі підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ та його структурних елементів під час реалізації різних стратегій технічного сервісу резервуванням.

4. Реалізувати методику реалізації стратегій технічного сервісу комплексним показником ефективності управління надійністю на основі функціонального оперативного діагностування МЕЗ та резервування їх структурних елементів.

5. Провести виробничу перевірку способів резервування, методик та технічних засобів з метою підвищення надійності МЕЗ.

6. Виконати техніко-економічну оцінку ефективності застосування методик та технічних засобів діагностування складових МЕЗ.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ЯК СКЛАДНИХ СИСТЕМ

### 1.1 Системний підхід до оцінки технологічних процесів АПК

Аграрне виробництво України є складною системою, що складається з багатьох різних підсистем, які в свою чергу включають всілякі підмножини та елементи. Їх характеристики визначаються специфікою галузі, матеріально-технічними та людськими ресурсами, природно-кліматичними факторами, рівнем розвитку економіки [20]. При аналізі системи сільськогосподарського виробництва дуже складно врахувати всі фактори, що впливають на неї. Тим не менш, системний принцип досліджень дозволяє проводити аналіз досліджуваних процесів більш точно та об'ємно [22, 23].

Дослідженнями в галузі ефективного використання техніки у сільському господарстві займалися та займаються: В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, І.В. Головач, А.І. Бойко, А.Г. М.І. Черновол, В.В. Аулін, А.В. Новицький, І.Л. Роговський, В.С. Хмельовський, В.І. Ребенко та інших вчених.

Одним із перших, хто почав розглядати загальну модель підвищення ефективності виробництва з позиції системного аналізу, був академік В.П. Горячкін. Він представляв технологічний процес у взаємодії трьох складових підсистем: «Енергозасіб», «Машина», «Середовище».

Дослідження за вказаним напрямом продовжили ряд видатних вчених, науковий внесок яких детально представлено в ряді наукових статей [21-23], Саме в них вітчизняні та зарубіжні дослідники запропонували систему «Людина - Машина - Середовище». Їх наукові роботи та дослідження були спрямовані на визначення енергетичних витрат, а також аналіз поведінкових моделей людини у системі «Людина - Машина - Середовище».

В наукових роботах, які проаналізовані в [17, 22, 23] представивши збирально-транспортний процес у вигляді СТС «Людина – Машина – Середовище» (рис. 1.1), СТС «Людина – Машина – Середовище – Транспорт», встановила ступінь впливу учасників на загальну надійність технологічних

процесів, який досліджується: орного агрегату; зернозбирального комбайну; кормозбирального комбайну; зернозбирального комплексу; кормозбирального комплексу.

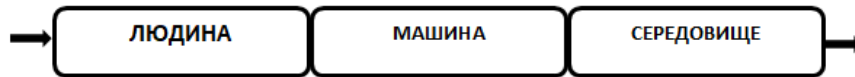


Рис. 1.1. Складна технічна система «людина-машина-середовище»

Автори статей, які детально відображені в наукових дослідженнях [16, 17, 23] представили функціонування машинно-тракторного агрегату як системи «Людина – Машина» (рис. 1.2) і визначили значення продуктивності людини-оператора протягом робочої зміни, і навіть їх динаміку. Він запропонував комплекс заходів з підвищення ефективності процесів в АПК за допомогою поліпшень умов праці, а також мотивації людини-оператора.

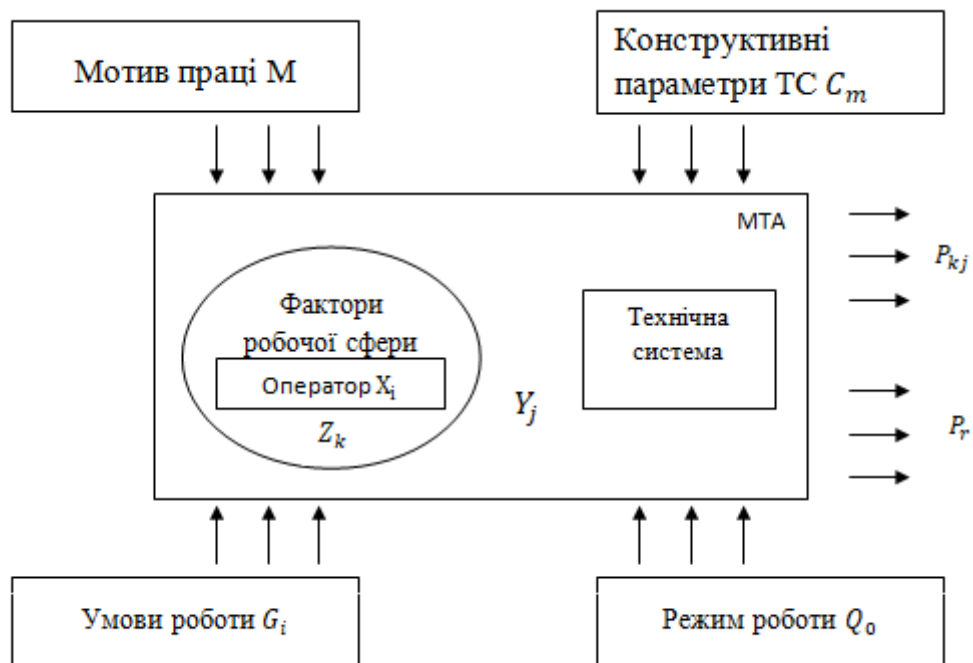


Рис. 1.2 Схема складної технічної системи «Л-М»

До робіт з підвищення ефективності технологічних процесів з позиції системи «ЛМС» також належать дослідження, виконані І.Е. Липковича [22, 23].

Він узагальнив позитивний досвід виконаних раніше робіт та математично обґрунтував процес взаємодії людини-оператора та технічного засобу. У запропонованій системі «ЛМС» автор чітко поділив функції всіх підсистем, що до неї входять, а також проаналізував питання взаємозв'язку надійності людини-оператора та технічного засобу з надійністю та ефективністю всієї системи «ЛМС».

Слід зазначити, що до останніх робіт, присвячених системному підходу до вирішення проблеми підвищення надійності та ефективності процесів у тваринництві відносяться праці А.І. Бойка, І.І. Ревенка, О.А. Науменка, А.В. Новицький, В.С. Хмельовського, В.І. Ребенко [2, 12, 17, 32, 37]. В дослідженнях авторів представлено низку оригінальних підходів до вирішення проблем надійності та ефективності технологічних процесів в АПК, включаючи рослинництво та тваринництво. В окремих авторів запропоновано узагальнену модель формування та підвищення ефективності ТП, як СТС.

Відповідно до цього підходу [23, 37], будь-який технологічний процес представляється у вигляді складної системи, яка формує результат та є сукупністю підсистем «ЛМС» та «ЛМТ», а також підсистеми «Соціальне замовлення товариства» (СЗВ), запропоноване в роботах [17-19]. Скориставшись основами теорії надійності та теорії ймовірності [17, 22], автори пропонують ефективність ТП оцінювати показником «межа потенційних, ефективно можливих застосувань об'єкта», що визначається за наступною аналітичною залежністю:

$$\Psi_i = M_i / N_i, \quad (1.1)$$

де  $M_i$  - кількість успішних застосувань, штук;

$N_i$  - кількість застосувань, штук;

Як кількісні характеристики  $i$  в залежності від процесу може виступати обсяг виробленої продукції, час роботи, швидкість рухи та інші величини, що характеризують ефект залежно від призначення об'єкта. Фізичний зміст показника «межа потенційних, ефективно можливих застосувань об'єкта» є

функція надійності об'єкта. З огляду на це, область дійсних значень показника ТП знаходиться в межах:

$$0 < \Psi_i \leq 1 \quad (1.2)$$

Таким чином, функціонал, що відображає поточний стан учасників різних ТП визначається залежністю:

$$\Psi_{mi} = f(\Psi_{сзс}, \Psi_l, \Psi_t, \Psi_m, \Psi_e, \Psi_c). \quad (1.3)$$

де  $\Psi_{сзс}, \Psi_l, \Psi_t, \Psi_m, \Psi_e, \Psi_c$  - відповідно надійності підсистем «Соціальне замовлення суспільства», «Людина», «Тварина», «Машина», «Енергозасіб», «Середовище».

Слід зазначити, що математичні залежності запропонованих функціоналів автор подає у такому вигляді:

$$\Psi_{сзс} = f(C_{сзс}, P_{сзс}, Pr_{сзс}, Ю_{сзс}, A_{сзс}, T_{сзс}, \dots). \quad (1.4)$$

де  $C_{сзс}, P_{сзс}, Pr_{сзс}, Ю_{сзс}, A_{сзс}, T_{сзс}, \dots$  – показники, що характеризують підсистему «Соціальне замовлення суспільства», відповідно соціальні, політичні, правові, юридичні, агрономічні, інженерно-технологічні та інші показники;

$$\Psi_l = f(M_l, K_l, C_l, T_l, \dots). \quad (1.5)$$

де  $M_l, K_l, C_l, T_l, \dots$  – показники, що характеризують підсистему «Людина-оператор», відповідно кваліфікаційний, точність людини при виконанні операцій, мотиваційний, що оцінює моральний та фізичний стан та інші показники;

$$\Psi_t = f(B_t, \Gamma_t, W_t, C_t, Y_t, K_t, \dots). \quad (1.6)$$

де  $B_T, \Gamma_T, W_T, C_T, U_T, K_T, \dots$  – показники, що характеризують підсистему «Тварина», відповідно генетичні, біологічні, стан тварини, продуктивність, якість годівлі, умови утримання та інші показники;

$$\Psi_C = f(\Phi_C, W_C, B_C, A_C, \Gamma_C, \dots). \quad (1.7)$$

де  $\Phi_C, W_C, B_C, A_C, \Gamma_C, \dots$  – показники, що характеризують підсистему «Середовище», відповідно вологість, фізико-механічні властивості, агрегатний стан, вирівняність, готовність середовища та інші показники;

$$\Psi_E = f(N_E, n_E, q_E, K_{\Gamma E}, \dots). \quad (1.8)$$

де  $N_E, n_E, q_E, K_{\Gamma E}, \dots$  показники, що характеризують підсистему «Енергозасіб» відповідно питома витрата палива, потужність, коефіцієнт готовності, коефіцієнт корисної дії та інші показники;

$$\Psi_M = f(W_M, K_{\Gamma M}, k_E, T_M, \dots). \quad (1.9)$$

де  $W_M, K_{\Gamma M}, k_E, T_M, \dots$  - показники, що характеризують підсистему «Машина», відповідно, питомий опір, продуктивність, технологічність робочого процесу машин, коефіцієнт готовності та інші показники.

Таким чином, із загальної системи виробництва сільськогосподарської продукції можна виділити основні складові, підсистеми та елементи, ефективність яких визначає працездатність всього комплексу технологічних процесів та операцій.

Розглянемо запропоновану в наукових роботах та представлених проаналізованих літературних джерелах [1, 2, 12, 37], узагальнену модель формування ефективності технологічних процесів (рис. 1.3) стосовно до галузі рослинництва.

Для того щоб виділити підсистеми, ефективність яких визначає працездатність всього комплексу технологічних процесів та операцій необхідно знати значення їх надійності  $\Psi_{CЗС}, \Psi_L, \Psi_M, \Psi_E, \Psi_C$ .

Надійність підсистеми «Соціальне замовлення товариства з урахуванням справжніх соціально-економічних та політичних умов [129, 130] складає  $\Psi_{\text{СЗС}} = 0,9 - 1,0$

Діяльність Н.І. Овчинникової [22, 23] присвячених аналізу впливу учасників процесу на загальну надійність системи «Людина-Машина-Середовище-Транспорт» (ЛМСТ) (рис. 1.1), наведено усереднені кількісні показники надійності її елементів: «Людина» ( $\Psi_{\text{Л}} = 0,8 - 0,9$ ) ; «Машина» ( $\Psi_{\text{М}} = 0,6 - 0,8$ ) ; «Середовище» ( $\Psi_{\text{С}} = 0,9 - 1,0$ ) ; «Транспорт» ( $\Psi_{\text{Т}} = 0,6 - 0,7$ ).

Під елементом "Машина" автор розуміє машинно-тракторний агрегат, що складається безпосередньо з машини та енергетичного засобу (трактора). З урахуванням вищевикладеного, маємо усереднені кількісні показники надійності підсистем, що входять до узагальненої моделі формування ефективності технологічних процесів стосовно галузі рослинництва, запропоновану А.Т. Лебедевим:

- «Соціальне замовлення суспільства» ( $\Psi_{\text{СЗС}} = 0,9 - 1,0$ );
- «Людина» ( $\Psi_{\text{Л}} = 0,8 - 0,9$ );
- «Машина» ( $\Psi_{\text{М}} = 0,85 - 1,0$ );
- «Енергетичний засіб» ( $\Psi_{\text{Е}} = 0,7 - 0,8$ );
- «Середовище» ( $\Psi_{\text{С}} = 0,9 - 1,0$ ).

Попереднім аналізом встановлено, що ланкою, що має найменшу надійність, а відповідно і більший ступінь, який визначає загальну надійність системи є – підсистема «Енергетичний засіб».

## **1.2 Мобільний енергетичний засіб як ключовий елемент узагальненої моделі формування ефективності технологічних процесів**

У системі машин для механізації технологічних процесів АПК найважливіше місце посідають енергетичні засоби [15, 26]. Достатня

озброєність цими засобами та раціональне співвідношення їх у кожному аграрному підприємстві значною мірою визначають можливості та ефективність механізації цих робіт. Енергетичні засоби в АПК прийнято класифікувати на мобільні та стаціонарні.

Термін МЕЗ в АПК останнім часом час набув широкого поширення у зв'язку з розвитком номенклатури та різноманітністю мобільних машин, що використовуються в аграрному виробництві.

Цей термін тісно пов'язаний із терміном «трактор сільськогосподарського призначення» і його еволюційним продовженням. Спочатку трактор створювався як тягач замість живої тяглової сили. У міру розвитку механізації сільського господарства конструкція трактора удосконалювалася, а сільське господарство насичувалося, поряд із тракторами, іншими самохідними машинами. Намітилася тенденція зростання номенклатури та загальної кількості спеціалізованих самохідних машин, особливо збиральних: для збирання зернових, картоплі, буряків, овочів та ягід. Парк тракторів поповнився машинами нових типів: малогабаритними тракторами, тракторними шасі, мотоблоками, енергетичними засобами типу Полісся.

Мобільними енергетичними засобами в АПК є самохідні машини, конструкція яких не містить вбудованих робочих органів, призначених для здійснення технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. Таким чином, до мобільних енергетичних засобів в АПК відносяться сільськогосподарські трактори різного призначення та їх модифікації та різновиди (тракторні самохідні шасі, енергетичні засоби типу «Полісся», мотоблоки, самохідні засоби для приготування і роздавання кормів [26, 30, 31].

Автомобілі сільськогосподарського призначення також прийнято вважати мобільними енергетичними засобами в АПК, але транспортного призначення.

Мобільні енергетичні засоби за своїм призначенням та експлуатаційними якостями поділяються на відповідні класи та типи (за силою тяги, вантажопідйомності, типу ходового апарату та ін.).

Мобільні енергетичні засоби становлять основу енергетики АПК при виконанні технологічних операцій з обробітку сільськогосподарських культур та транспортних робіт.

З урахуванням суттєвого фізичного та морального зносу парку при виконанні технологічних процесів в АПК без додаткових заходів підвищення експлуатаційної надійності мобільних енергетичних засобів збільшуються ризики, пов'язані з простоем як самих МЕС, так і машин, що агрегуються з ними.

### **1.3. Надійність мобільних енергетичних засобів в АПК як складних систем**

Згідно з [15, 26, 31] надійність – це властивість об'єкта зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Розрізняють конструктивну та експлуатаційну надійність [15]. Конструктивна надійність характеризує властивості об'єкта, закладені під час його проектування та виготовлення. Під експлуатаційною розуміється надійність, що спостерігається в умовах експлуатації з урахуванням усієї сукупності впливів: дестабілізуючі фактори довкілля, реальні режими використання, якість технічного обслуговування та ремонтів. Питання підвищення експлуатаційної надійності набули більшої актуальності у зв'язку з тим, що тракторний парк країни застарів як фізично, так і морально.

Забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності є одним з основних завдань технічної експлуатації та важливою складовою загальної системи забезпечення надійності [15]. На показники експлуатаційної надійності впливають такі фактори як умови експлуатації, організація технічного обслуговування та ремонту, кваліфікація персоналу, виробнича база тощо [20,

23]. Управління цими чинниками у ситуації дозволяє суттєво підвищити довговічність та безвідмовність мобільних енергетичних коштів у АПК.

Надійність згідно [2, 11, 12] є комплексною властивістю, яка в залежності від призначення об'єкта та умов його використання може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереження, або певні поєднання цих властивостей.

Крім того, для оцінки надійності об'єкта існують такі комплексні показники: запас надійності за вихідним параметром; коефіцієнт технічного використання; коефіцієнт готовності; коефіцієнт запланованого застосування.

Експлуатаційна надійність мобільних енергетичних засобів в АПК найчастіше оцінюється коефіцієнтом готовності - ймовірністю того, що об'єкт опиниться у працездатному стані у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких застосування об'єкта не передбачається, що визначається за формулою [15, 26]:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \quad (1.10)$$

де  $T_0$  - час роботи МЕЗ, год.;

$T_B$  - час відновлення працездатності МЕС, год.

Експлуатаційна надійність окремих підсистем МЕЗ найчастіше оцінюється ймовірністю безвідмовної роботи (ВБР) – ймовірністю того, що в межах зазначеного періоду часу, відмова об'єкта не виникне, яка визначається за формулі

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N} = 1 - \frac{n(t)}{N} = 1 - F(t) \quad (1.11)$$

де  $N$  - початкове число працездатних об'єктів, шт.;

$n(t)$  - число об'єктів, що відмовили за час роботи, шт.;

$F(t)$  - імовірність відмови

Імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  обернена на ймовірність відмови  $F(t)$ .

З метою виявлення резервів підвищення експлуатаційної надійності мобільних енергетичних засобів в АПК, розглянемо елементи, підсистемами та системами, з яких вони складаються [26]: двигун; трансмісія; ходова система; система електроустаткування; навісна гідравлічна система; кістяк; кабіна; механізми керування рухом; робоче та допоміжне обладнання.

З урахуванням вищевикладеного система, що формує результат технологічного процесу в рослинництві, запропонована А.Т. Лебидевим, представлена як структурної схеми рис. 1.3.

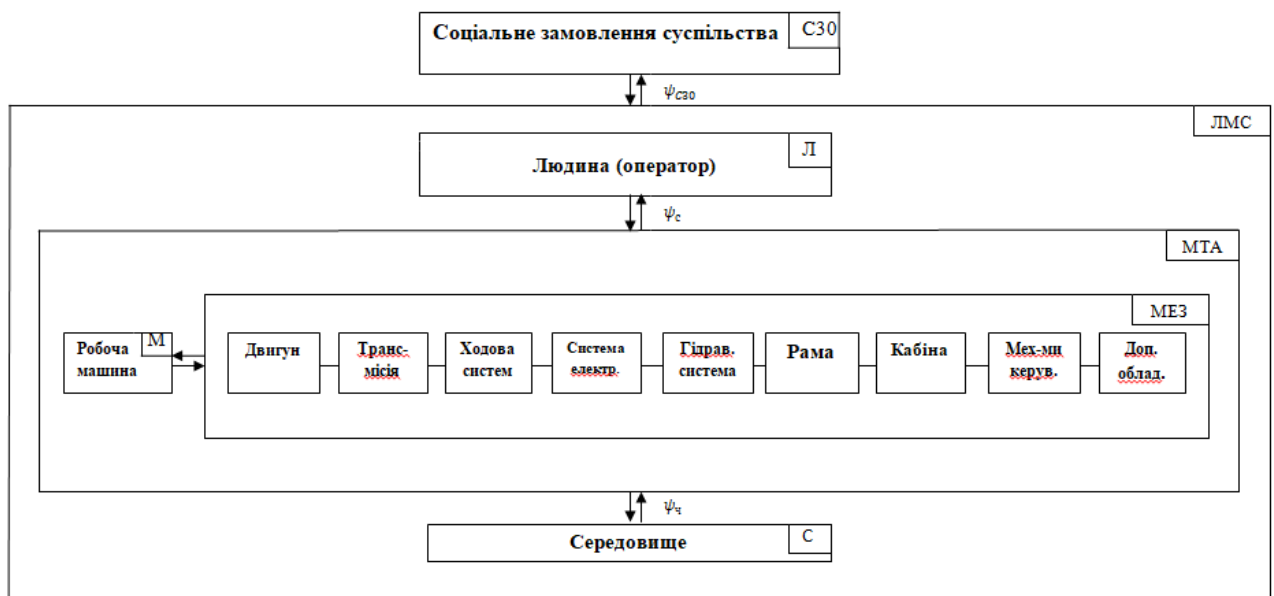


Рис. 1.3 Структурна схема складної технологічної системи (ТП) в рослинництві за Лебидевим А.Т.

Відповідно до досліджень [15, 26, 27] найменшою експлуатаційною надійністю підсистеми «МЕС» має підсистема «Двигун», частку якого припадає 37–45% відмов, тоді як трансмісію припадає 11–23%, на ходову систему – 6–20%, на систему електрообладнання – 3–12%, на гідравлічну систему – 2–5%, на інші системи та механізми (кістя трактора, механізми керування рухом трактора, кабіна, робоче та допоміжне обладнання) – 8–14%.

Відповідно до досліджень [26, 28], енергетичні та паливно-економічні показники МЕЗ та його двигуна є узагальненими параметрами їх технічного

стану, оскільки саме вони, з одного боку, визначають експлуатаційні якості (продуктивність та паливну) економічність) МЕЗ, що характеризують ефективність його використання, з іншого боку, є параметрами технічного стану його елементів, характеризують їх експлуатаційну надійність.

Експлуатаційні, енергетичні та паливно-економічні показники МЕЗ якнайкраще відображає його тягова характеристика – сукупність залежностей робочих показників МЕЗ (швидкості руху, тягової (гакової) потужності, часового та питомого витрат палива, коефіцієнта буксування) від гакового навантаження (зусилля на гаку) на різних передачах.

Енергетичні та паливно-економічні показники двигуна відображені у його регуляторній характеристиці – сукупності залежностей робочих показників двигуна (крутного моменту, ефективної потужності, часового та питомого витрат палива) від частоти обертання колінчастого валу.

Ефективна потужність двигуна, необхідна створення тягової потужності МЕЗ, є єдиним джерелом енергії у позитивному балансі сил. Вона окрім подолання тягового опору робочої машини губиться: у трансмісії (12–14%) – на подолання сил тертя у підшипниках, зубцях шестерень коробки передач та інших складальних одиницях, на збовтування олії; на привід механізмів, які забезпечують нормальну роботу трактору (2–6%) (гідро підсилювач кермового керування та ін.); на самопересування трактора (10-20%); на буксування ходової частини (5-7%); на подолання підйому (якщо потрібно); у ряді випадків – на подолання опору повітря.

#### **1.4. Огляд існуючих систем технічного сервісу машин та обладнання**

У результаті реформування економічних взаємин, в Україні стала вельми поширеною набуло поняття «технічний сервіс» [26, 35]. У міжнародній практиці експлуатації машин та обладнання термін «технічний сервіс» розуміється як комплекс послуг, що надаються споживачеві у придбанні,

ефективному застосуванні та підтримці у працездатному стані протягом усього терміну експлуатації, а також утилізації після закінчення терміну служби. Цей термін тісно пов'язаний і є сучасним аналогом терміна «система технічного обслуговування та ремонту», який отримав широке розповсюдження в нашій країні. Відповідно до ДСТУ [13, 14] програма забезпечення надійності машин та обладнання під системою технічного обслуговування та ремонту розуміється сукупність взаємопов'язаних засобів, документації та виконавців, необхідних для підтримки та відновлення якості виробів.

Розвитку теорії та практики технічного сервісу сільськогосподарської техніки, підвищення її надійності присвятили дослідження багатьох вчених вчені [1, 2, 15, 26, 24].

Система технічного сервісу регламентує види та утримання ремонтно-обслуговуючих впливів, їх трудомісткість та періодичність. Кількісний та якісний склад машинно-тракторного парку, великі територіальні зони обслуговування, нерівномірне річне завантаження техніки та персоналу зумовлюють специфіку технічного сервісу.

Різні моделі обслуговування машин та обладнання описуються відповідними стратегіями технічного сервісу – тривалими ідейними орієнтаціями з планування, організації та управління технічними діями, які у певних умовах роботи та за заданого рівня експлуатаційної надійності технічних систем забезпечує мінімум трудових та матеріальних витрат за підтримку їх у працездатному стані.

Для забезпечення працездатності мобільних енергетичних засобів у АПК РФ використовуються три основні стратегії ТО та Р (рис. 1.4) [26, 33, 34]:

1. Стратегія  $C_1$  «За потребою після відмови».
2. Стратегія  $C_2$  «Регламентована залежно від напрацювання».
3. Стратегія  $C_3$  «Станом із періодичним чи безперервним контролем».

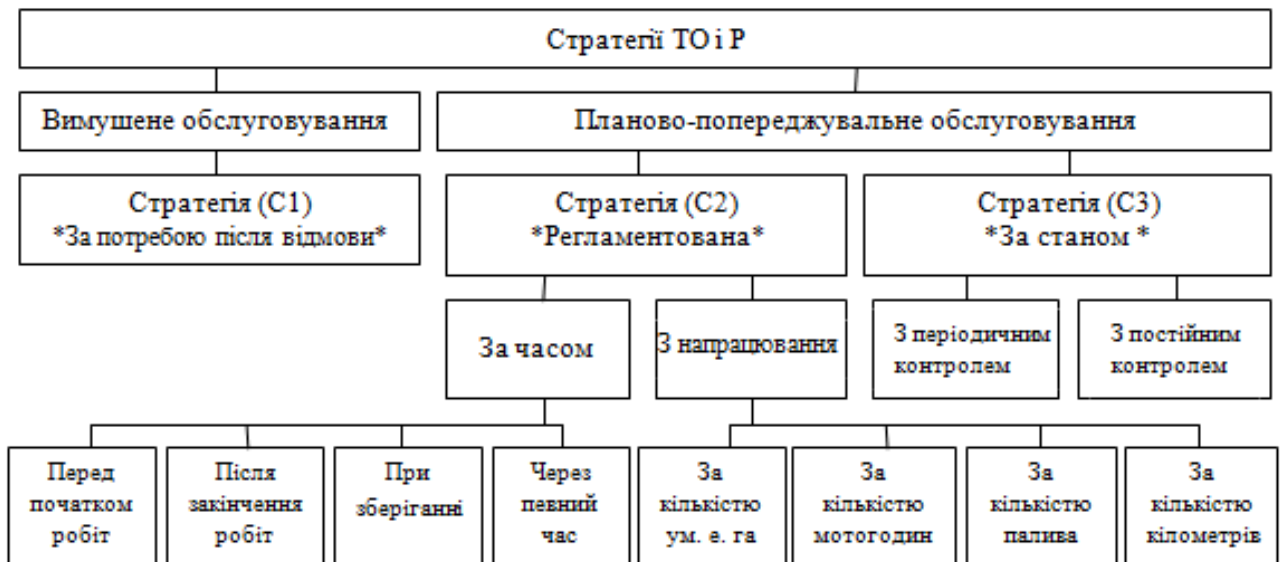


Рис. 1.4 Структурна схема вітчизняних стратегій ТОР машин

Застосування тієї чи іншої стратегії обумовлюється великою кількістю факторів, таких як безвідмовність машин, їх вартість, насиченість парку, терміновість сільськогосподарських робіт, розвиненість системи технічного сервісу, наявність та вартість сучасних засобів діагностування, рівень підготовки кадрів механізаторів та слюсарів.

Кожній із стратегій притаманні свої переваги та недоліки.

Стратегія  $C_1$  вигідно відрізняються від інших стратегій мінімальними витратами праці та коштів на утримання сервісної служби, повне використання ресурсу машин та їх структурних елементів. Однак застосування даної стратегії не забезпечує належної експлуатаційної надійності, що призводить до збільшення кількості простоїв машин з технічних причин та пов'язаних з ними втратами. При застарілому парку машин використання цієї стратегії  $C_1$  вкрай небажано, оскільки кількість відмов може повністю зупинити роботу у напружений період сільськогосподарських робіт: посів, збирання, основна обробка тощо.

Найширше нашій країні використовується стратегія  $C_2$ . Це зумовлено її універсальністю, простотою контролю, ефективністю групових рішень, що забезпечує можливість отримання непоганих результатів в умовах великих

сільськогосподарських підприємств, за рахунок того, надлишкові експлуатаційні витрати на деякі машини компенсуються значною економією в інших.

До недоліків стратегії  $C_2$  відносять значні витрати на ТОР, неповне використання ресурсу машини та складових її структурних елементів через планову заміну.

Стратегія  $C_2$  поступово поступається місцем стратегії  $C_3$ , проте її широке застосування обмежується відсутністю доступних методів та засобів діагностування.

До недоліків існуючої нині країни системи технічного сервісу, крім застарілих методів і засобів ТОР, відносять і те, що вона не враховує специфіку функціонування останнім часом, що з'явилися дилерських технічних центрів, оснащених діагностичним обладнанням вітчизняного та зарубіжного виробництва. Крім того, не повною мірою визначено структуру та місце електронної сервісної інформації при організації заходів технічного обслуговування.

У західних країнах система обслуговування машин та обладнання включає п'ять стратегій.

1. Аварійне обслуговування (RM – reactive maintenance) є реакцією на його вихід із ладу.

2. Превентивне (планове) обслуговування (PM – preventive maintenance) – здійснюється ще до того, як відбудеться поломка, тому не виникає простого обладнання та кількість вироблених виробів не падає.

3. Прогностичне обслуговування (PdM – predictive maintenance) – здійснюється на основі специфічної інформації про обладнання, якт є надійним попередником неминучої відмови.

4. Обслуговування за станом обладнання (CBM – condition based manitenance) – виконуються в залежності від того, яку інформацію про обладнання дають системи збору даних у режимі реального часу (сенсори та інші датчики, що вимірюють певні параметри). Система збору даних зіставляє

їх із даними, характерними для аварійного стану, так щоб можна було виконати обслуговування до виходу ладу.

5. Обслуговування за надійністю (RCM – reliability centered maintenance) – охоплює широку сферу діяльності і часто включає інші стратегії. Метою обслуговування з надійності є виконання всіх робіт, необхідних для забезпечення найвищого рівня надійності обладнання, мінімальні витрати на обслуговування.

При загальній схожості стратегій, відмінною зарубіжною особливістю системи обслуговування машин є наявність комплексної стратегії «Обслуговування за надійністю (RCM – reliability centered maintenance)», що охоплює широку сферу діяльності та включає інші стратегії, метою якої є виконання всіх робіт, необхідних для забезпечення найвищого рівня надійності, при мінімальних витратах на обслуговування.

Відрізняються і структурні схеми вітчизняних та зарубіжних (рис. 1.5. стратегій обслуговування машин.

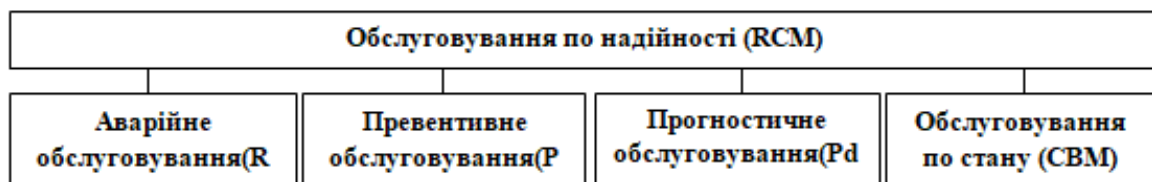


Рис. 1.5. Структурні зарубіжних стратегій обслуговування машин

В умовах фізично та морально застарілого парку МЕЗ в АПК, а також методів і засобів діагностування, що застосовуються в даний час, вимоги до експлуатаційних властивостей, експлуатаційної надійності та ефективності їх функціонування все частіше не можуть бути задоволені за допомогою відомих стратегій технічного обслуговування та ремонту (ТОР). Тому питання вдосконалення організації технічного сервісу МЕЗ в АПК є першорядними та надзвичайно актуальними.

#### **1.4. Методові та засоби діагностування основних параметрів машин при забезпеченні надійності**

Найважливішим фактором, що впливає на ефективність та надійність парку МЕЗ в АПК, є своєчасний контроль та підтримання параметрів двигуна та МЕЗ для забезпечення заявлених виробником експлуатаційних, енергетичних та паливно-економічних показників. Своєчасний та достовірний контроль зазначених показників МЕЗ у комплексі з якісним обслуговуванням дозволяє зменшити питому витрату палива на 8–12%, підвищити ефективну потужність на 10–20%, зменшити час простою за рахунок зниження ймовірності відмов техніки та збільшення міжремонтних термінів у 2–2,5 рази, скоротити витрати на обслуговування та ремонт на 15–20%.

Технічна діагностика [34, 36] є складова частина системи технічного сервісу, що входить у всі її елементи, що розробляє оцінки технічного стану складальних одиниць без їх розбирання, що вивчає форми прояву, принципи побудови діагностичних систем та сам процес діагностування, тобто визначення технічного стану машин за прямими і непрямими параметрами, а також за якісними та кількісними ознаками.

Найважливіше значення діагностування полягає в тому, що воно дає інформацію та дозволяє правильно оцінити стан кожної складальної одиниці машини в заданий момент часу, не допустити появу відмов, скоротити, а в ряді випадків і виключити проведення окремих операцій ТОР, завчасно забезпечити підготовку необхідного обмінного фонду, запчастин та ремонтних матеріалів, тобто діагностування забезпечує об'єктивне управління технічним обслуговуванням машин.

Оцінка стану складальних одиниць за відсутності засобів приладового контролю пов'язані з їх розбиранням та дефектуванням деталей. При цьому порушується приробіток їх поверхонь, що труться, підвищує знос, зростають витрати часу і праці, збільшуються простої агрегату при технічному обслуговуванні. Однак і при дефектації деталей точну картину стану

сполучення отримати важко. Тільки діагностика дозволяє швидко і точно оцінити стан складальних одиниць машин.

МЕЗ, що складається з двигуна, трансмісії, ходової системи, системи електрообладнання, навісної гідравлічної системи, які в свою чергу складаються з безлічі складальних одиниць, за відсутності контролю стану яких швидко втрачає свою надійність, частота відмов збільшується, витрати на експлуатацію і ремонт зростають, час корисної роботи падає. Діагностика підвищує надійність і довговічність машин, скорочує витрати на ТО та ремонт, збільшує час корисної роботи машини та її якість.

Удосконаленням методів та засобів діагностування технічного стану сільськогосподарської техніки у різний час займалися вчених [15, 34, 35]. Види технічної діагностики представлені рис. 1.6.

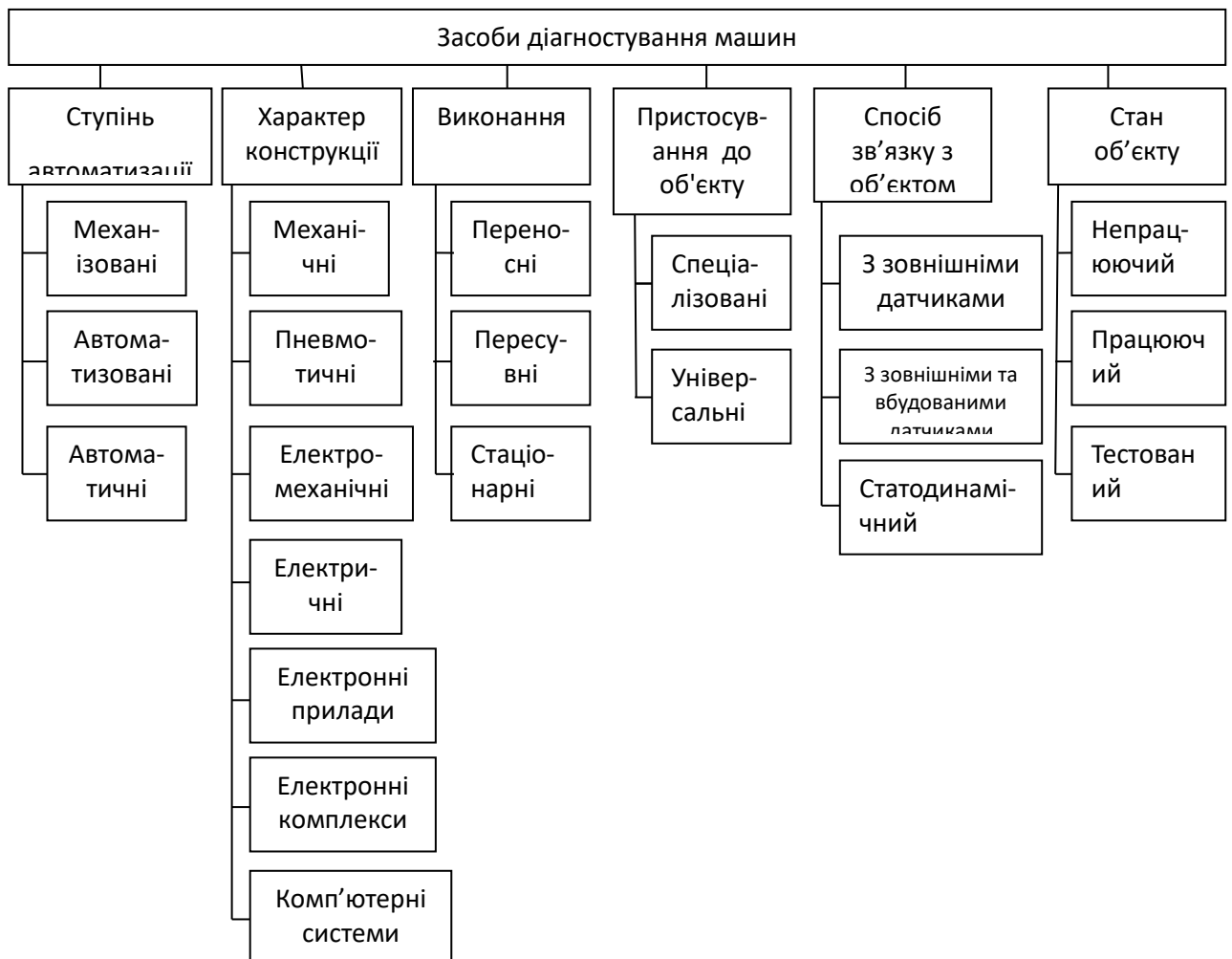


Рис. 1.6. Види технічної діагностики МЕЗ та сільськогосподарської техніки

Подана схема змісту технічної діагностики дозволяє виділити зв'язок її складових частин і головні ознаки класифікації: за змістом – ресурсна, функціональна або змішана; за цільовим призначенням – загальна та поелементна; за обсягом – повна та часткова; за термінами проведення планова (регламентна) та позапланова (причинна); за методами пошуку несправності – послідовна та комбінаційна.

Ресурсна діагностика переходить на перше місце. Вона дозволяє оцінити залишковий ресурс найголовніших складальних одиниць. За відсутності ресурсу відпадає необхідність подальшого діагностування складових частин і складальну одиницю направляють у ремонт.

Функціональна діагностика дозволяє дати загальну та детальну оцінку працездатності машини та її структурних елементів.

Змішана діагностика виходить, коли ці види діагностики об'єднуються.

Контроль будь-якої системи (двигун і його складальні одиниці, трансмісія і т. д.) полягає в послідовному застосуванні спеціальних діагностичних тестів - сукупності перевірок, достатньої для визначення технічного стану системи.

Згідно порядку проведення операцій пошуку несправності розрізняють комбінаційний та послідовний пошук. При комбінаційному пошуку виконується певна кількість перевірок незалежно від послідовності їх виконання. Послідовний пошук ґрунтується на аналізі результатів кожної перевірки та передбачає прийняття рішення на виконання наступної перевірки.

Методи і засоби технічного діагностування дозволяють оцінити технічний стан значної частини систем і механізмів складної сільськогосподарської техніки без їх розбирання або з частковим розбиранням, а так само спрогнозувати залишковий термін служби.

## **РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ОПЕРАТИВНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ МЕЗ**

### **2.1 Формування та удосконалення стратегії, методів та засобів резервування МЕЗ за діагностування в умовах експлуатації**

Розглянемо методику формування стратегії, методів та засобів резервування МЕЗ за діагностування в умовах експлуатації. Зазначена методика формує наукові та практичні підходи функціонального оперативного діагностування МЕЗ як складних технічних систем в аграрному виробництві. Відповідно до критеріїв оптимізації удосконалення методів та засобів функціонального оперативного діагностування МЕЗ в експлуатаційних умовах має бути спрямоване на зниження трудомісткості операцій функціонального оперативного діагностування та питомих експлуатаційних витрат на нього.

Скорочення трудомісткості операцій діагностування згідно [15, 26, 34] реалізується за рахунок наступних заходів: покращення контролю придатності машин; застосування накладних датчиків; автоматизації операцій діагностування; контролю динамічних параметрів; оптимізації послідовності діагностування; підвищення кваліфікації персоналу; застосування діагностичних комплексів.

Досвід використання та забезпечення працездатності МЕЗ показує, що експлуатаційні витрати на діагностування значною мірою обумовлені вартістю діагностичного обладнання. У зв'язку із зазначеним зниження експлуатаційних витрат на діагностування реалізується за рахунок розробки та удосконалення засобів нового покоління для діагностування технічного стану. МЕЗ в сільськогосподарському виробництві шляхом створення інформаційно-вимірювальних систем на базі мікроелектроніки та автоматизації обробки комплексу діагностичних параметрів електронними програмами.

Важливе значення при цьому відіграє комплексний системний підхід до виконання операцій функціонального оперативного діагностування, який передбачає строгу послідовність діагностичних операцій.

Виходячи з аналізу літературних джерел, процес функціонального оперативного діагностування складається із трьох основних етапів [15, 26]:

підготовчий етап ( $T_{\text{ФОД}}^{\text{ПДГ}}$ ); основний етап ( $T_{\text{ФОД}}^{\text{ОСН}}$ ); заключний етап ( $T_{\text{ФОД}}^{\text{ЗАКЛ}}$ ).

Виходячи із зазначеного, можна стверджувати, що трудомісткість ФОД у загальному вигляді можна визначити з урахуванням її складових за формулою:

$$T_{\text{ФОД}} = T_{\text{ФОД}}^{\text{ПДГ}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{ОСН}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{ЗАКЛ}}, \text{ люд. - год.} \quad (2.1)$$

Крім цього, при розробці технологій діагностування важливо пам'ятати, що МЕЗ в АПК це гусенична або колісна машина, ТТМ, що виконує сільськогосподарські роботи в агрегаті з причіпними, навісними або стаціонарними машинами.

Об'єктом представлених нами досліджень є МЕЗ, складний комплекс механізмів і систем, що включає: двигун; трансмісію; ходову систему, раму; кабіну; механізми управління рухом; навісну гідравлічну систему; паливну систему; систему електрообладнання; робоче та допоміжне обладнання.

Виходячи із зазначеного, загальна трудомісткість ФОД СТС МЕЗ визначається як сума трудомісткостей діагностування основних підсистем, з яких він складається:

$$T_{\text{ФОД МЕЗ}} = \sum T_{\text{ФОД}}^i, \text{ люд. - год.} \quad (2.2)$$

$$T_{\text{ФОД МЕЗ}} = T_{\text{ФОД}}^{\text{дв}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{транс}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{ход.сис.}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{ел.об.}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{гідр.сист.}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{інш.}} \quad (2.3)$$

де  $T_{\text{ФОД}}^{\text{дв}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{транс}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{ход.сис.}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{ел.об.}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{гідр.сист.}} + T_{\text{ФОД}}^{\text{інш.}}$  - відповідно трудомісткості операцій ФОД двигуна, трансмісії, ходової системи, системи електрообладнання, гідравлічної системи, інших механізмів та систем, люд.-год;

Кожна підсистема СТС МЕЗ у свою чергу складаються з вузлів, механізмів та елементів. Так, двигун згідно з представлених методичних

підходів складається з блок-картера, головки циліндрів, картера, циліндро–поршневої групи, газорозподільного механізму, системи живлення, системи змащення, системи охолодження, системи подачі повітря, системи пуск і т.і.

Виходячи із зазначеного, можна стверджувати, що сумарні трудомісткості операцій ФОД структурних елементів МЕЗ визначаються за наступною формулою:

$$T_{\text{ФОД}}^i = \sum t_{\text{ФОД}}^i, \text{ люд.-год.} \quad (2.4)$$

де  $t_{\text{ФОД}}^i$ - трудомісткості ФОД окремих систем, механізмів та вузлів елементів МЕЗ, люд.-год.

## **2.2 Обґрунтування ресурсу та розрахунок трудомісткості функціональних операцій оперативного діагностування двигунів МЕЗ**

Відповідно до аналітичної залежності (2.4), трудомісткість операцій запропонованого методу ФОД двигунів МЕЗ дорівнює:

$$T_{\text{ФОД}}^{\text{ДВ}} = t_{\text{ен пок}} + t_{\text{м ін д}} + t_{\text{ГТН}} + t_{\text{нер}} + t_{\text{т-е пок}} + t_{\text{с ж}} + t_{\text{УОПТ}}, \quad (2.5)$$

Відповідно трудомісткості діагностування показників МЕЗ, визначення дійсного моменту інерції двигуна, нерівномірності роботи двигуна по циліндрах, паливно-економічних показників, агрегатів системи живлення, УОПТ, люд.-год.

За результатами ФОД, за використання методичних підходів порівняння отриманих значень діагностичних параметрів з номінальними та граничними значеннями, визначається значення залишкового ресурсу. Отримане значення залишкового ресурсу МЕЗ порівнюється із тривалістю періоду напружених робіт з метою прийняття висновку про допуск до експлуатації або виконання відповідних заходів щодо відновлення ресурсу.

Відповідно до залежностей (2.2) та (2.3) трудомісткість операцій пропонованого динамічного методу ФОД МЕЗ дорівнює:

$$T_{\text{ФОД МЕЗ}} = t_{\text{ен пок}} + t_{\text{н м д тр}} + t_{\text{п-е пок}}, \text{ ЛЮД.-ГОД.} \quad (2.6)$$

де  $t_{\text{ен пок}}$  – трудомісткість визначення енергетичних показників МЕЗ, люд.-год. ;

$t_{\text{н м д тр}}$  – трудомісткість визначення наведеної маси елементів двигуна, що обертаються, і трансмісії МЕЗ, люд.-год.;

$t_{\text{п-е пок}}$  – трудомісткість визначення паливно-економічних показників МЕЗ, люд.-год.

### 2.3 Комплексна система управління надійністю МЕЗ

Формування стратегії оцінки та підвищення одиничних та комплексних показників надійності МЕЗ значною мірою визначається досконалістю методів та системи управління надійністю. Поняття «управління надійністю» запроваджене у 1969 році академіком Поспеловим Г. С.. Процес управління надійністю [2, 12, 37] полягає в обґрунтуванні необхідного складу запасних частин, виробленні стратегій з ТОР з метою забезпечення ПН на необхідному рівні. Управління надійністю передбачає вплив тим чи іншим способом з метою призначення ПН технічних пристроїв МЕЗ на різних етапах їх життєвого циклу (проектування, виробництво та експлуатація).

В останні десятиліття, у зв'язку з надходженням в Україну великої кількості нових та тих, що були у використанні МЕЗ та ТТМ, розроблено багато моделей управління надійністю, що дозволяють кількісно оцінювати не лише ПН та результати управління, але й цілеспрямовано впливати на ці результати.

Попередніми дослідженнями встановлено, що найбільш повно у них розроблено питання управління надійністю на стадіях проектування та виробництва технічних засобі та пристроїв МЕЗ, і значно менше – на стадії їх експлуатації. Однак управління надійністю технічних пристроїв та засобів на

стадії їх експлуатації, що полягає у забезпеченні необхідного рівня експлуатаційної надійності, що реалізується за допомогою обґрунтування, призначення та виконання за наявний або заданий час комплексу заходів щодо їх технічного та технологічного обслуговування, є не менш визначальним завданням. У технічних засобах та пристроях у процесі експлуатації відбувається процес не лише зниження ПН, але й накопичення відмов, погіршення параметрів. Зазначений процес полягає у збільшенні кількості відмов, структурних перетворень, розрегульованості тощо.

З урахуванням вище викладеного, ми пропонуємо структурну схему управління надійністю МЕЗ в АПК (рис. 2.1). Стратегічне управління надійністю (конструктивною) закладається на стадіях проектування та виробництва МЕЗ [18, 20].

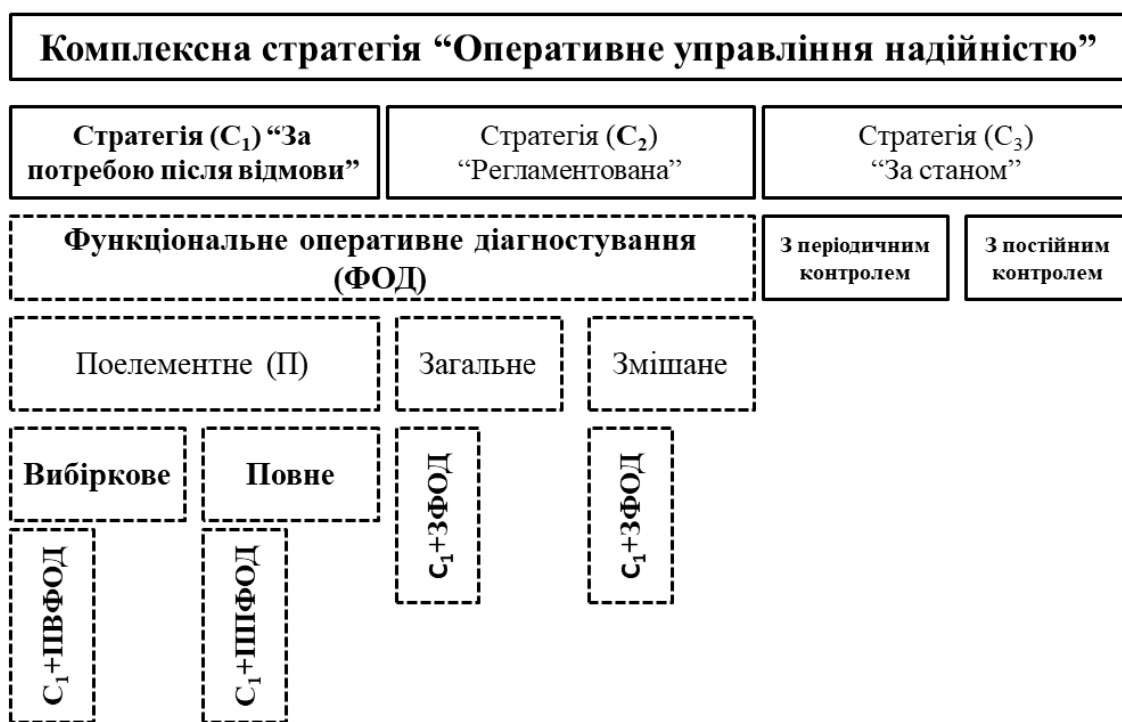


Рис. 2.1. Оперативне управління надійністю МЕЗ за стратегією C<sub>1</sub>

Оперативне управління експлуатаційною надійністю підсистем та елементів СТС МЕЗ здійснюється на стадії експлуатації в реальних умовах підприємств АПК. Відповідно до мети досліджень нас цікавлять питання

підвищення експлуатаційної надійності, тобто питання оперативного керування надійністю.

Оперативне управління надійністю – комплекс заходів, що розробляються на основі постійного або періодичного контролю та аналізу технічного стану МЕЗ та його структурних елементів з метою забезпечення найвищого рівня інтервальної експлуатаційної надійності за мінімальних витрат праці, коштів та засобів. Основна місія оперативного управління надійністю в умовах фізично та морально застарілого парку МЕЗ полягає в раціональному використанні обмежених ресурсів з метою досягнення та підтримання необхідного рівня експлуатаційної надійності.

Під експлуатацією МЕЗ слід розуміти процес реалізації їх споживчих властивостей, що полягає у їх використанні за призначенням (питання виробничої експлуатації) та підтримки їх у працездатному стані та забезпечення їх функціонування, включаючи питання технічної експлуатації машин та обладнання [18, 23]. Управління експлуатаційної надійністю МЕЗ неможливе без урахування питань виробничої експлуатації, включаючи види та терміни сільськогосподарських операцій, кількісний та марочний склад МЕЗ та сільськогосподарських машин, ступінь їх завантаження, теоретичний та фактичний рівень надійності тощо. Саме зазначені властивості та показники обумовлюють застосування тієї чи іншої стратегії ремонтно-обслуговуючих дій з метою підвищення ПН МЕЗ.

Найбільший науковий і практичний інтерес представляють питання удосконалення організації технічної експлуатації та технічного сервісу, формування стратегії ТОР. Підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ та їх структурних підсистем та елементів реалізується вдосконаленням методів оперативного керування надійністю. Удосконалення методів оперативного управління надійністю МЕЗ здійснювалося за наступними основними напрямками: підвищення інтервальної експлуатаційної надійності; застосування функціонального резервування підсистем та їх елементів; використання

оперативного діагностування щодо МЕЗ в АПК; удосконалення стратегій технічного сервісу та ТОР.

На підставі проведеного порівняльного аналізу вітчизняних і зарубіжних стратегій ТОР машин та обладнання, які представлені в параграфах 1.3 та 1.4, з урахуванням сучасних наукових підходів до аналізу МЕЗ як складних технічних систем, інтервальна надійність машин, що складаються з підсистем та елементів, повинна наближатись до абсолютного значення  $K_{z,i} \rightarrow 1$ , за рахунок забезпечення відповідного часу безвідмовної роботи машини, фактичному часу виконання операції з урахуванням можливостей виробу за продуктивністю, якістю роботи й іншими показниками». За цих умов, особливої актуальності набуває потреба у забезпеченні надійності машин та обладнання як СТС.

З урахуванням вищевикладеного, аналогічно до зарубіжної стратегії «Обслуговування за надійністю», ми пропонуємо удосконалити комплексну стратегію оперативного управління ПН МЕЗ за стратегією  $C_1$ », структурна схема якої наведено на рис. 2.1. базуючись на наукових підходах резервування СТС.

Комплексна стратегія «Оперативне управління надійністю» – процес розроблення та проведення заходів, спрямованих на забезпечення високого рівня надійності МЕЗ в АПК за мінімальних витрат матеріальних і трудових ресурсів на їх ТОР.

## **2.4 Формування моделей підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ та їх підсистем резервуванням**

Головна задача підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ може бути вирішена за допомогою методу використання структурних схем надійності СТС, за використання значень ймовірності безвідмовної роботи в будь-який момент часу як для послідовної структури незалежних підсистем. За таких умов, досліджувана система представлена у вигляді структурної схеми, на якій послідовно зображуються підсистеми, вихід з ладу яких призводить до виходу з

ладу всієї системи, а додаткові технічні, технологічні або ж організаційні заходи, які спрямовані на підвищення ймовірності безвідмовної роботи, зображуються паралельно. Виходячи із зазначеного, та використовуючи наукові підходи, які представлені в наукових статтях професора А.І. Бойка та його учнів [2, 12, 24], ймовірності безвідмовної роботи системи з послідовним з'єднанням елементів визначається формулою (2.3) та виходячи з представлених в дослідженнях моделей:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) , \quad (2.3)$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента системи протягом робочого часу  $t$ ;

$n$  – кількість елементів (підсистем) системи.

Для випадку резервування системи при паралельному з'єднанні підсистем та елементів ймовірність безвідмовної роботи визначається за наступною формулою:

$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) , \quad (2.4)$$

## 2.5. Моделі забезпечення та підвищення ймовірності безвідмовної роботи МЕЗ за стратегією $C_1$

З урахуванням різних траєкторій обслуговування запропоновані моделі підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ та їх конструктивних елементів. На рис. 2.2 представлена структурна схема МЕЗ, що обслуговується за стратегією  $C_1$ .



Рис. 2.2. Структурна схема МЕЗ, що обслуговується за стратегією  $C_1$

Ймовірність безвідмовної роботи МЕЗ, який обслуговується за стратегією  $C_1$  (рис. 2.2) відповідно до залежностей (2.3) та (2.4) визначається за формулою:

$$P_{\text{МЕЗ}}^{C_1} = P_{\text{дв}} \cdot P_{\text{транс.}} \cdot P_{\text{ход.сис.}} \cdot P_{\text{електр.сис.}} \cdot P_{\text{гідравл.сис.}} \cdot P_{\text{інші}}, \quad (2.5)$$

де  $P_{\text{дв}}$ ,  $P_{\text{транс.}}$ ,  $P_{\text{ход.сис.}}$ ,  $P_{\text{електр.сис.}}$ ,  $P_{\text{гідравл.сис.}}$ ,  $P_{\text{інші}}$  – відповідно ймовірність безвідмовної роботи двигуна, трансмісії, ходової системи, електрообладнання, гідравлічна система, інші системи. Виходячи з результатів досліджень Н.С. Ждановського, беремо значення ймовірності безвідмовної роботи:  $P_{\text{дв}} = 0,9$ ;  $P_{\text{транс.}} = P_{\text{ход.сис.}} = P_{\text{гідравл.сис.}} = P_{\text{інші}} = 0,95$ .

Підставляючи значення надійності відповідних елементів у формулу (2.5), отримаємо  $P_{\text{МЕЗ}}^{C_1} = 0,70$ .

Розглянемо докладніше моделі підвищення експлуатаційної надійності МЕЗ, стратегія  $C_1$  (рис. 2.1), що відповідає різним траєкторіям функціонального резервування ФОД (рис. 2.3 - 2.7).

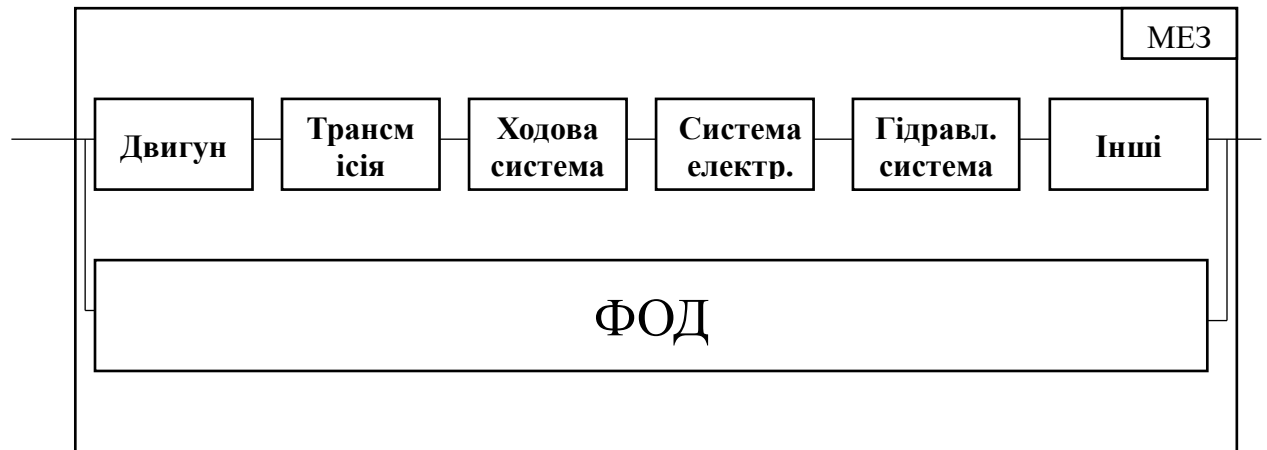


Рис. 2.3 Структурна схема МЕЗ, що обслуговуються по траєкторії «С<sub>1</sub>+ОФОД»

На рис. 2.3 представлена структурна схема МЕЗ, що обслуговується по траєкторії «С<sub>1</sub>+ОФОД».

Ймовірність безвідмовної роботи МЕЗ, що обслуговуються за траєкторією «С<sub>1</sub>+ОФОД» (рис. 2.3) відповідно до залежностей (2.3) та (2.4) розраховується за наступною аналітичною залежністю:

$$P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С}_1+\text{ОФОД}} = 1 - (P_{\text{дв}} \cdot P_{\text{транс.}} \cdot P_{\text{ход.сис.}} \cdot P_{\text{електр.сис.}} \cdot P_{\text{гідравл.сис.}} \cdot P_{\text{інші}}) \times (1 - P_{\text{ФОД}}), \quad (2.6)$$

Підставляючи значення надійності відповідних елементів у формулу (2.6), після відповідних розрахунків, отримаємо  $P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С}_1+\text{ОФОД}} = 0,910$ .

На рис. 2.5 представлена структурна схема МЕЗ, що обслуговуються за стратегією С<sub>1</sub>, тобто за потребою після відмови та траєкторією за елементним вибіркоким функціональним оперативним діагностуванням «С<sub>1</sub>+ПВФОД».

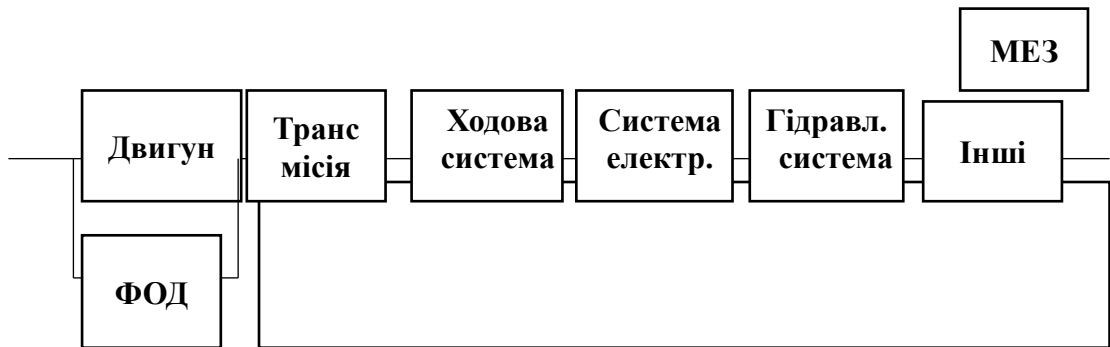


Рис. 2.4 Структурна схема МЕЗ, що обслуговуються за траєкторією «С<sub>1</sub>+ПВФОД»

Ймовірність безвідмовної роботи МЕЗ, що обслуговуються за траєкторією «С<sub>1</sub>+ПВФОД» (рис. 2.4) визначається за наступною залежністю:

$$P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С}_1+\text{ПВФОД}} = [1 - (1 - P_{\text{дв}}) \cdot (1 - P_{\text{ФОД}})] \cdot P_{\text{транс.}} \cdot P_{\text{ход.сис.}} \cdot P_{\text{електр.сис.}} \cdot P_{\text{гідр.сис.}} \times P_{\text{інші}}, \quad (2.7)$$

Підставляючи значення надійності відповідних елементів у формулу (2.7), отримаємо ймовірність безвідмовної роботи МЕЗ, що обслуговуються за вказаною стратегією та траєкторією становить «С<sub>1</sub>+ПВФОД»  $P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С}_1+\text{ПВФОД}} = 0,766$ .

На рис. 2.5 представлена структурна схема МЕЗ, що обслуговуються за стратегією С<sub>1</sub>, тобто за потребою після відмови та траєкторією за поелементним повним функціональним оперативним діагностуванням «С<sub>1</sub>+ППФОД».



Рис. 2.5. Структурна схема МЕЗ, що обслуговуються за траєкторії

«С<sub>1</sub>+ППФОД».

Ймовірність безвідмовної роботи МЕЗ, що обслуговуються за траєкторією «С<sub>1</sub>+ППФОД» (рис. 2.5) визначається за наступною аналітичною залежністю:

$$P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С}_1+\text{ППФОД}} = [1 - (1 - P_{\text{дв}}) \cdot (1 - P_{\text{ФОД}})] \cdot [1 - (1 - P_{\text{транс.}}) \cdot [1 - (1 - P_{\text{ФОД}})] \cdot [1 - (1 - P_{\text{ход.сис.}}) \cdot (1 - P_{\text{ФОД}})] \cdot [1 - (1 - P_{\text{електр.сис.}}) \cdot (1 - P_{\text{ФОД}})] \cdot [1 - (1 - P_{\text{гидравл.сис.}}) \cdot (1 - P_{\text{ФОД}})] \cdot [1 - (1 - P_{\text{інші}}) \cdot (1 - P_{\text{ФОД}})], \quad (2.8)$$

Підставляючи значення надійності відповідних складових, які входять до моделі, яка представлена на рис. 2.5 у формулу (2.8), отримаємо  $P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С}_1+\text{ППФОД}} = 0,078$ .

На рис. 2.6 зображена структурна схема МЕЗ, що обслуговуються за траєкторією стратегією С<sub>1</sub>, тобто за потребою після відмови та траєкторією за загальним функціональним оперативним діагностуванням «С<sub>1</sub>+ЗФОД».

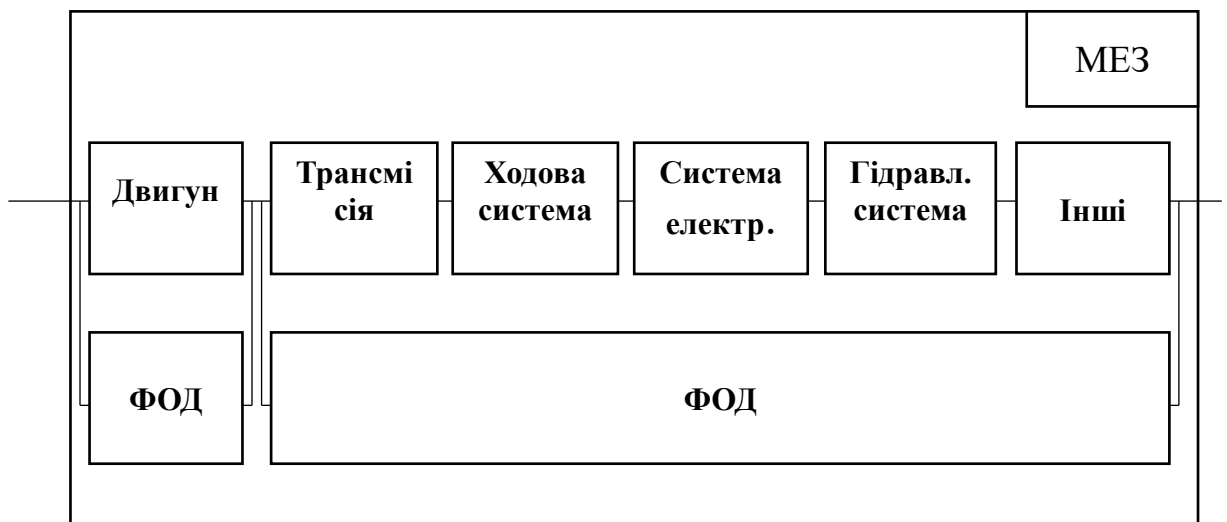


Рис. 2.6 Структурна схема МЕЗ, що обслуговуються за траєкторією «С<sub>1</sub>+ЗФОД»

Використовуючи значення ймовірності безвідмовної роботи для МЕЗ, що обслуговуються за траєкторії «С<sub>1</sub>+ЗФОД». (рис. 2.10) для системи отримаємо значення показника надійності за наступною формулою:

$$P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С1+СФ0Д}} = [1 - (1 - P_{\text{дв}}) \cdot (1 - P_{\text{Ф0Д}})] \cdot [1 - (1 - P_{\text{транс.}} \cdot P_{\text{ход.сис.}} \cdot P_{\text{електр.сис.}} \cdot P_{\text{гидравл.сис.}} \cdot P_{\text{інші}}) \cdot (1 - P_{\text{Ф0Д}})], \quad (2.9)$$

Підставляючи значення надійності відповідних елементів у формулу (2.9), отримаємо  $P_{\text{МЕЗ}}^{\text{С1+СФ0Д}} = 0,939$ .

## **РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Загальна програма експериментальних досліджень**

Метою представлених в магістерській кваліфікаційній роботі експериментальних досліджень була перевірка функціональних можливостей розроблених методик функціонального оперативного діагностування або ж ФОД. ФОД технічного стану та параметрів МЕЗ передбачає визначення енергетичних та паливно-економічних параметрів двигунів та МЕЗ, а також формування методології вимірювального обчислювального комплексу ФОД та методології забезпечення надійності СТС МЕЗ резервуванням.

Досягнення поставленої мети відповідно до програми випробувань [2, 15, 26] здійснювалося в кілька етапів.

1. Загальне ФОД двигунів без ГТН, що полягає у визначенні енергетичних показників на базі фермерського господарства, на прикладі двигунів 4Ч 11/12,5 та 4Ч 11/13.

2. Загальне ФОД МЕЗ без ГТН, що полягає у визначенні енергетичних та паливно-економічних показників, на базах фермерського господарства на прикладі трактора ЮМЗ-6АЛ із двигуном 4Ч 11/13.

3. Змішане ФОД двигунів з ГТН, що полягає у визначенні енергетичних та паливно-економічних показників та діагностування елементів системи живлення, на базі фермерського господарства на прикладі двигунів 6ЧН 13/11,5.

### **3.2. Хронометраж операцій функціонального оперативного діагностування**

Відповідно до методології, яка задекларована у п. 3.1, здійснювався хронометраж операцій функціонального оперативного діагностування, що виконуються за стандартними та запропонованими (розробленими) методиками. Результати хронометражу оформлялися як таблиці (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Зразок таблиці результатів хронометражу операцій ФОД МЕЗ, що виконуються за стандартними та перспективними методиками

Найменування (код) операції	Трудомісткість люд.-год.	
	Стандартні методики	Перспективні методики
<b>1. Підготовчий етап</b>		
1.1 Зовнішній огляд об'єкта дослідження		
1.2 Розгортання технічних та апаратних засобів, налаштування програм		
1.3 Прогрів об'єкта дослідження		
<b>2. Основний етап</b>		
2.1 Діагностична операція №1		
2.2 Діагностична операція №2		
2.3 Діагностична операція №3		
.....		
<b>3. Заключний етап</b>		
3.1 Демонтажні роботи		
3.2 Обробка отриманих даних		
3.3 Порівняння отриманих даних з граничними		
3.4 Складання рекомендацій		
Сумарна трудомісткість діагностування		

### 3.3 Визначення похибок вимірювань основних показників

Інструментальна похибка значень показників, що вимірюються приладами, визначалась за наступною залежністю:

$$\Delta_i = \frac{K \cdot П}{100\%}, \quad (3.1)$$

де  $K$  – клас точності приладу;

$П$  – межа вимірювань шкали приладу.

Якщо клас точності приладу був не відомий, інструментальна похибка визначалася залежно від:

$$\Delta_i = \frac{\text{Ц}}{2}, \quad (3.2)$$

де Ц - ціна поділки приладу.

Якщо при визначенні показника були задіяні кілька величин, тоді величина сумарної похибки визначалася залежно від:

$$\Delta_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \Delta_j^2} \quad (3.3)$$

де j - кількість величин, задіяних у визначенні показника.

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ МЕЗ ЗА РІВНЕМ РЕЗЕРВУВАННЯ

### 4.1 Результати хронометражу операцій ФОД двигунів за стандартною та запропонованими методиками

Діагностування двигунів за стандартною та запропонованими методиками здійснювалися двома працівниками: механізатором, за яким закріплено МЕЗ та оператором, що відповідає за діагностику механізмів та систем.

У таблиці 4.1 наведено результати хронометражу операцій загального функціонального оперативного діагностування двигунів за стандартною та запропонованою методикою.

Таблиця 4.1

#### Результати хронометражу операцій ФОД двигунів МЕЗ

Найменування (код) операції	Трудомісткість люд.-год	
	Стандартні методики	Можливі методики
1. Підготовчий етап	3,17	1,34
1.1 Зовнішній огляд об'єкта дослідження	0,17	0,17
1.2 Розгортання технічних та апаратних засобів, налаштування програм	2,0	0,17
1.3 Прогрів об'єкта дослідження	1,0	1,0
2. Основний етап	2,33	0,36
2.1 Визначення енергетичних показників	2,33	2,33
3. Заключний етап	0,5	0,5
3.1 Демонтажні роботи	0,15	0,5
3.2 Обробка отриманих даних	0,2	0,3
3.3 Порівняння отриманих даних з граничними	0,05	0,05
3.4 Складання рекомендацій	0,1	0,1
Сумарна трудомісткість діагностування	6,0	2,2

Таким чином, сумарна трудомісткість ФОД, що полягає у визначенні енергетичних показників двигунів, за стандартною методикою склала 6,0 люд.-год., а за запропонованими – 2,2 люд.-год., що в 2,7 рази менше стандартної методики.

Відповідно до отриманих результатів, відносна похибка вимірювання крутного моменту гальмівною установкою  $\Delta_{M_k} = 1\%$ , відносна похибка вимірювання частоти обертання колінчастого валу досліджуваного двигуна тахометром  $\Delta_n = \Delta_\omega = 0,5\%$ .

Таким чином, відносна похибка визначення потужності за стандартною методикою відповідно до формули (4.3) становить

$$\Delta_{N_e} = \sqrt{\Delta_{M_k}^2 + \Delta_\omega^2} = \sqrt{1^2 + 0,5^2} = 1,12\%$$

З урахуванням максимального значення частоти обертання колінчастого валу двигуна Д-240, що дорівнює 2355 об/хв, час циклу становить 0,051 сек. За умов ФОД, відносна похибка вимірювання часу циклу складає:

$$\Delta_{t_{\text{ц}}} = \frac{1}{v \cdot t_{\text{ц}}} \cdot 100\% = 0,2\%$$

Відносна похибка визначення кутової швидкості дорівнює

$$\Delta_\omega = \Delta_{t_{\text{ц}}} = 0,5\%.$$

Відносна похибка визначення кутового прискорення становить

$$\Delta_\varepsilon = 2 \cdot \Delta_\omega = 0,4\%.$$

Відносна похибка визначення наведеного моменту інерції досліджуваного двигуна трохи більше 1,3%

Тоді відносна похибка визначення крутного моменту становить:

$$\Delta_{M_k} = \sqrt{\Delta_\varepsilon^2 + \Delta_I^2} = \sqrt{0,4^2 + 1,3^2} = 1,36\%$$

Таким чином, відносна похибка визначення потужності по запропонованим методикам відповідно до формули становить:

$$\Delta_{N_e} = \sqrt{\Delta_{M_k}^2 + \Delta_\omega^2} = \sqrt{1,36^2 + 0,2^2} = 1,37\%$$

З урахуванням вищевикладеного відносна похибка визначення потужності двигуна за стандартною методикою склала 1,12%, а за запропонованим методик – 1,37%.

## 4.2 Результати хронометражу операцій ЗФОД МЕЗ за стандартною та запропонованими методиками

Діагностування трактора за стандартною та запропонованими методиками здійснювалися двома працівниками (механізатором, за яким закріплено МЕС та оператором, що відповідає за діагностику).

У таблиці 5.6 наведено результати хронометражу операцій загального функціонального оперативного діагностування МЕС без ГТН за стандартною (розрахунковою) та запропонованим методикам.

Таблиця 4.6

Результати хронометражу операцій загального ЗФОД МЕЗ без ГТН, виконуваних за стандартною (розрахунковою) та запропонованими методиками

Найменування (код) операції	Трудомісткість люд.-год.	
	Стандартні методики	Можливі методики
1. Підготовчий етап	3,17	1,34
1.1 Зовнішній огляд об'єкта дослідження	0,17	0,17
1.2 Розгортання технічних та апаратних засобів, налаштування програм	2,0	0,3
1.3 Прогрів об'єкта дослідження	1,0	1,0
2. Основний етап	3,03	1,33
2.1 Визначення енергетичних показників	2,33	1,33
2.2 Виявлення коефіцієнту буксування	0,7	
3. Заключний етап	0,8	0,7
3.1 Демонтажні роботи	0,15	0,05
3.2 Обробка отриманих даних	0,5	0,5
3.3 Порівняння отриманих даних з граничними	0,05	0,05
3.4 Складання рекомендацій	0,1	0,1
Сумарна трудомісткість діагностування	7,0	3,5

Таким чином, сумарна трудомісткість ОФОД, що полягає у визначенні енергетичних та паливно-економічних показників МЕЗ, за стандартною методикою склала 7,0 люд.-год., а за запропонованими – 3,5 люд.-год., що в 2 рази менше стандартної

### 4.3 Результати хронометражу операцій ЗФОД двигунів без ГТН за стандартними та запропонованими методиками

Діагностування двигунів за стандартними та запропонованими методиками здійснювалися двома працівниками (механізатором, за яким закріплено МЕС та оператором, що відповідає за діагностику). У таблиці 4.3 представлені результати хронометражу операцій змішаного функціонального оперативного діагностування ЗФОД двигунів з ГТН за стандартними та запропонованими методиками.

Таблиця 4.3

Результати хронометражу операцій ЗФОД двигунів із ГТН за стандартними та пропонованим методикам

Найменування (код) операції	Трудомісткість люд.-год	
	Стандартні методики	Можливі методики
1. Підготовчий етап	3,85	1,34
1.1 Зовнішній огляд двигуна	0,17	0,17
1.2 Розгортання технічних та апаратних засобів, налаштування програм	2,68	0,17
1.3 Прогрів об'єкта дослідження	1,0	1,0
2. Основний етап	3,65	1,17
2.1 Діагностування ГТН	2,33	0,2
2.2 Діагностування енергетичних показників		0,2
2.3 Діагностування форсунок	0,33	0,5
2.4 Діагностування ПНВТ	0,43	
2.5 Діагностування АМВПТ	0,33	
2.6 Діагностування УВВП	0,23	0,26
3. Заключний етап	0,8	0,7
3.1 Демонтажні роботи	0,15	0,05
3.2 Обробка отриманих даних	0,2	0,3
3.3 Аналіз результатів	0,05	0,05
3.4 Складання рекомендацій	0,1	0,1
Сумарна трудомісткість діагностування	8,00	3,00

Таким чином, сумарна трудомісткість змішаного функціонального оперативного діагностування двигунів з ГТН за стандартними методиками становила 8,0 люд. год., а за пропонованими – 3,0 люд. год, що у 2,7 рази менше.

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 5.1 Техніко-економічна ефективність забезпечення експлуатаційної надійності МЕЗ за стратегії $C_1$ та траєкторій обслуговування

Проведемо дослідження техніко-економічної ефективності забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності МЕЗ за стратегії  $C_1$  та відповідних траєкторій обслуговування.

Визначення ефективності витрат часу та коштів на забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності МЕЗ здійснювалося згідно із запропонованим комплексним показником ефективності управління надійністю за формулою для базового та запропонованого варіантів на прикладі трактора ПМЗ-6АЛ для стратегій, які представлені в розділі 2:  $C_1$ ;  $C_1+ЗФОД$ .

За базовий варіант приймалася стандартна або існуюча методика визначення енергетичних та паливно-економічних показників МЕЗ, а за новий – запропоновані методики, що реалізують динамічний метод ФОД МЕЗ. Значення трудомісткості діагностування та питомих експлуатаційних витрат для базового та нового варіантів представлені в таблиці 5.1.

Розрахунки ефективності витрат часу та коштів на забезпечення необхідного рівня надійності на прикладі трактора ПМЗ-6АЛ для різних стратегій обслуговування здійснювалися за методикою на підставі середніх нормативних значень показників, поданих у таблиці 5.1.

Середньорічна витрата палива трактора ЮМЗ-6АЛ складає 7700 кг, що відповідає 1000 мото-год.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку комплексного показника управління надійністю на прикладі трактора ПМЗ-6АЛ за різних стратегій та траєкторій обслуговування

Найменування показників	Умовні позначення	Одиниці вимірювання	Значення показників
Інтервальний коефіцієнт готовності МЕЗ за стратегії (траєкторії):			
$C_1$	$K_{г.и}^{C_1}$		0,70
$C_{1+офод}$	$K_{г.и}^{C_1+офод}$		0,99
Ймовірність безвідмовної роботи МЕЗ при стратегії (траєкторії):		%	
$C_1$	$P_{МЕЗ}^{C_1}$		70,0
$C_{1+офод}$	$P_{МЕЗ}^{C_1+офод}$		91,0
Кількість ТО за рік:			
ЕТО	$n_{ЕТО}$		171
ТО-1	$n_{ТО-1}$		13
ТО-2	$n_{ТО-2}$		3
ТО-3	$n_{ТО-3}$		1
СТО	$n_{СТО}$		2
Трудомісткість ТО:		люд.-год.	
ЩТО	$t_{ЕТО}$		0,57
ТО-1	$t_{ТО-1}$		1,7
ТО-2	$t_{ТО-2}$		4,89
ТО-3	$t_{ТО-3}$		15,84
СТО	$t_{СТО}$		6,01
Трудомісткість усунення відмов за рік за стратегії:	$t_{y.o}$	люд.-год.	
$C_1$	$t_{y.o}^{C_1}$		
Збитки (розрахункові) від простою МЕЗ при усуненні відмов (за 1 годину)	$y_{y.o}$	тис. грн/л.	0,6
Балансова вартість МЕЗ	$B_{МЕЗ}$	тис. грн	1500
Норма річних відрахувань у % до балансової вартості МЕЗ на ТО та Р при стратегії:		%	
$C_1$	$P_{МЕЗ}^{C_1}$		22,0

## 5.2 Результати оцінки значень комплексного показника ефективності управління надійністю МЕЗ за різних стратегій та траєкторій обслуговування

Сукупні витрати часу на заходи щодо забезпечення необхідного рівня надійності залежно від прийнятої стратегії та траєкторії обслуговування включають не лише трудомісткість заходів щодо забезпечення необхідного рівня надійності (заходи з ТО та Р), але й втрати часу, які пов'язані з простоем МЕЗ через усунення відмов.

Таким чином, сукупні витрати часу на заходи на забезпечення необхідного рівня надійності за стратегією  $C_1$  можна розрахувати за формулою:

$$\sum T_{\text{МЕЗ}}^{C_1} = n_{\text{ЕТО}} \cdot t_{\text{ЕТО}} + n_{\text{СТО}} \cdot t_{\text{СТО}} + t_{\text{у.о.}}^{C_1}, \text{ люд} - \text{год.} \quad (5.1)$$

Підставивши у формулу (5.1) значення показників таблиці 5.1 отримали:

$$\sum T_{\text{МЕЗ}}^{C_1} = 171 \cdot 0,57 + 2 \cdot 6,01 + 150,0 = 259,5, \text{ люд} - \text{год.}$$

Сукупні витрати часу на заходи щодо забезпечення необхідного рівня надійності траєкторії «С1+ЗФОД» для базового варіанта визначали за формулою:

$$\sum T_{\text{МЕЗ } \delta}^{C_1+0\text{ФОД}} = \sum T_{\text{МЕЗ}}^{C_1} + T_{\text{ФОД } \delta}, \text{ люд} - \text{год.} \quad (5.2)$$

Підставивши у формулу (5.2) значення показників таблиці 5.1 отримали:

$$\sum T_{\text{МЕЗ } \delta}^{C_1+0\text{ФОД}} = 259,5 + 2 \cdot 7,0 = 273,5, \text{ люд} - \text{год.}$$

Сукупні витрати часу на заходи щодо забезпечення необхідного рівня надійності траєкторії «С<sub>1+3</sub>ФОД» для нового (пропонованого) варіанта визначали за наступною залежністю:

$$\sum T_{\text{МЕЗ н}}^{\text{C1+0ФОД}} = \sum T_{\text{МЕЗ}}^{\text{C1}} + T_{\text{ФОД н, люд}} - \text{л.} \quad (5.2)$$

Підставивши у формулу (5.2) значення показників таблиці 5.1 отримали:

$$\sum T_{\text{МЕЗ б}}^{\text{C1+3ФОД}} = 259,5 + 2 \cdot 3,5 = 266,5, \text{ люд} - \text{год.}$$

Сукупні питомі витрати коштів на заходи щодо забезпечення необхідного рівня надійності залежно від прийнятої стратегії обслуговування також включають не лише питомі витрати, пов'язані із забезпеченням необхідного рівня надійності (витрати на ТО та Р), а й можливі питомі втрати (збитки), пов'язані зі зниженням урожайності через порушення агрономічних термінів, погіршення якості виконання технологічних операцій тощо.

Таким чином, сукупні питомі витрати коштів на заходи щодо забезпечення необхідного рівня надійності стратегії  $C_1$  визначали за формулою:

$$\sum y_{\text{МЕЗ}}^{\text{C1}} = B_{\text{МЕЗ}} \cdot p_{\text{МЕЗ}}^{\text{C1}} + y_{\text{у.о.}} \cdot t_{\text{у.н.}}^{\text{C1}}, \text{ тис. грн.} \quad (5.3)$$

Підставивши у формулу (5.6) значення показників таблиці 6.7 отримали

$$\sum y_{\text{МЕЗ}}^{\text{C1}} = 1500 \cdot 0,22 + 0,6 \cdot 150,0 = 420,0, \text{ тис. грн.}$$

Сукупні питомі витрати (витрати) коштів на заходи щодо забезпечення необхідного рівня надійності траєкторії « $C_{1+0\text{ФОД}}$ » для базового варіанта визначали за наступною формулою:

$$\sum y_{\text{МЕЗ б}}^{\text{C1+0ФОД}} = B_{\text{МЕЗ}} \times p_{\text{МЕЗ}}^{\text{C1}} + n_{\text{ФОД}} \times y_{\text{и ФОД б}}, \text{ тис. грн.} \quad (5.3)$$

Підставивши у формулу (5.7) значення показників таблиці 5.1 отримали

$$\sum y_{\text{МЕЗ б}}^{\text{C1+0ФОД}} = 1500 \times 0,22 + 2 \times 20,1 = 370,2 \text{ тис. грн.}$$

Сукупні питомі витрати коштів на заходи щодо забезпечення необхідного рівня надійності траєкторії «С<sub>1+3ФОД</sub>» для нового (пропонованого) варіанта визначали за наступною залежністю:

$$\sum y_{\text{МЕЗ н}}^{\text{С1+0ФОД}} = B_{\text{МЕЗ}} \times p_{\text{МЕЗ}}^{\text{С1}} + n_{\text{ФОД}} \times y_{\text{и ФОД н}}, \text{ тис. грн.} \quad (5.4)$$

Підставивши у формулу (5.4) значення показників таблиці 5.1 отримали:

$$\sum y_{\text{МЕЗ н}}^{\text{С1+0ФОД}} = 1500 \times 0,22 + 2 \times 7,5 = 345,0 \text{ тис. грн.}$$

Підставивши отримані значення формули (2.29) і (2.30) отримали результати проміжних розрахунків значення комплексного показника ефективності управління надійністю трактора ПМЗ-6АЛ за різних стратегій та траєкторій обслуговування (таблиця 5.1).

Таблиця 6.8 – Результати проміжних розрахунків комплексного показника ефективності управління надійністю на прикладі трактора ПМЗ-6АЛ за різних стратегій та траєкторій обслуговування

Показник	Струм значення, $y_i$	Інтервал значення, $U_{\min} \dots U_{\max}$	Значення функції бажаності, $d_i$	
			кількість	бал
Стратегія: С1				
$K_{\text{Г.і.}}^{\text{С1}}$	0,70	0,5...1,0	0,4	3
$p_{\text{МЕЗ}}^{\text{С1}}$	70,0	50...100	0,4	3
$T_{\text{МЕЗ}}^{\text{С1}}$	259,5	200...300	0,405	3
$y_{\text{МЕЗ}}^{\text{С1}}$	420	100...500	0,2	2
Траєкторія: С <sub>1+3ФОД</sub>				
$K_{\text{Г.і.}}^{\text{С1+3ФОД}}$	0,99	0,5...1,0	0,98	5
$p_{\text{МЕЗ}}^{\text{С1+3ФОД}}$	91,0	50...100	0,82	5
$T_{\text{МЕЗ б}}^{\text{С1+3ФОД}}$	273,5	200...300	0,265	2

$T_{\text{МЕЗ н}}^{\text{C1+3ФОД}}$	266,5	200...300	0,335	2
$y_{\text{МЕЗ б}}^{\text{C1+3ФОД}}$	370,2	100...500	0,325	2
$y_{\text{МЕЗ н}}^{\text{C1+3ФОД}}$	345	100...500	0,386	3

Підставивши отримані значення формулу (5.8) отримали значення комплексного показника ефективності управління надійністю з прикладу трактора ЮМЗ-6АЛ за різних стратегій та траєкторій обслуговування (рис. 5.1).

стратегії С1:

$$K_{\text{у.н МЕЗ}}^{\text{C1}} = \sqrt[4]{0,4 \times 0,4 \times 0,405 \times 0,2} = 0,337 \text{ (середній бал – 2,75).}$$

траєкторії «С1+ОФОД» для базового варіанта:

$$K_{\text{у.н МЕЗ б}}^{\text{C1+3ФОД}} = \sqrt[4]{0,98 \times 0,82 \times 0,265 \times 0,325} = 0,513 \text{ (середній бал – 3,5).}$$

траєкторії «С1+ОФОД» для нового варіанта:

$$K_{\text{у.н МЕЗ н}}^{\text{C1+3ФОД}} = \sqrt[4]{0,98 \times 0,82 \times 0,335 \times 0,386} = 0,567 \text{ (середній бал – 3,75).}$$

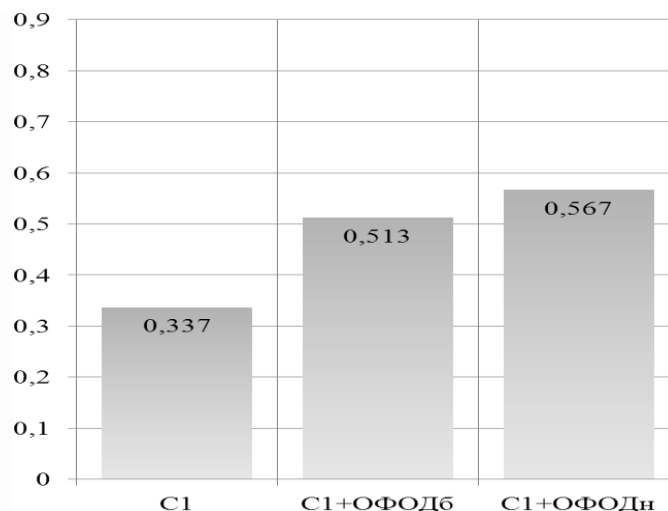


Рис. 5.1 Гістограма значень КРІ управління надійністю для різних стратегій і траєкторій обслуговування трактора ЮМЗ-6АЛ

На підставі отриманих значень комплексного показника ефективності витрат часу та коштів на забезпечення необхідного рівня надійності трактора ЮМЗ-6АЛ для різних стратегій та траєкторій обслуговування за різними методикам впливає, що

$$K_{\text{у.н МЕЗ}}^{\text{C1}} < K_{\text{у.н МЕЗ б}}^{\text{C1+OFOД}} < K_{\text{у.н МЕЗ н}}^{\text{C1+OFOД}} < K_{\text{у.н МЕЗ}}^{\text{C2}} < K_{\text{у.н МЕЗ б}}^{\text{C2+OFOД}} < K_{\text{у.н МЕЗ н}}^{\text{C2+OFOД}} \quad (6.46)$$

## ВИСНОВКИ

1. Встановлені основні напрями підвищення експлуатаційної надійності та ефективності використання МЕЗ під час виконання технологічних процесів в АПК.

2. В умовах фізично і морально застарілого парку мобільних енергетичних засобів в АПК, а також застосовуваних на цей час методів і засобів діагностування, вимоги до експлуатаційних властивостей, експлуатаційної надійності та ефективності їх функціонування дедалі частіше не можуть бути задоволеними за допомогою відомих стратегій технічного обслуговування і ремонту.

3. Вирішення проблеми підвищення експлуатаційної надійності та ефективності використання МЕЗ при виконанні технологічних процесів в АПК залежать від комплексного системного підходу до питань до оцінка МЕЗ в процесі експлуатації.

4. Розроблені методи оперативного управління надійністю МЕЗ на основі функціонального оперативного діагностування, що є комплексом заходів, які виконують перед напруженими періодами робіт, спрямованих на забезпечення відповідного рівня надійності їх структурних елементів резервуванням.

5. Функціональне резервування структурних елементів МЕЗ за траєкторією ОФОД збільшує ймовірність їх безвідмовної роботи, який обслуговуються за стратегією  $C_1$ , із 0,7 до 0,91.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center (2020) Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 22 (2), pp. 3–14.
2. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165–174.
3. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106–121.

## **ДОДАТКИ**