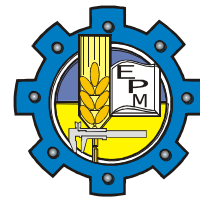




ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

МАГІСТЕРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**«Підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних
комбайнів при застосуванні адаптованої системи їх сервісу у СФГ
«ЛИЧУК» с. Нова Павлівка, Кропивницький район
Кіровоградська область»**

Виконав:

магістрант групи ТС23М-1 спеціальності 208
«Агроінженерія» ОПП «Технічний сервіс
сільськогосподарської техніки»

_____ Ігор ГОРЄВ

Керівник:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____ (наук. ст., вч. звання) _____ (підпис) _____ (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ

ГОРЄВУ Ігорю Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів при застосуванні адаптованої системи їх сервісу у СФГ «ЛИЧУК» с. Нова Павлівка, Кропивницький район Кіровоградська область»

керівник роботи МАГОПЕЦЬ Сергій Олександрович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 2024 року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи «30» листопада 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали дослідницької практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Розділ 1. Визначити особливості організації та виробничої діяльності СФГ «Личук»; встановити можливі перспективні напрямки реорганізації його діяльності; сформулювати мету, об'єкт, предмет досліджень та завдання, які потребують подальшого вирішення в роботі.

4.2. Розділ 2. Виконати оцінку поточного стану забезпеченості підприємств галузі зернозбиральними комбайнами й показників їх експлуатаційної надійності;

4.3. Розділ 3. Дослідити теоретичні передумови формування взаємозв'язків в системі адаптованого сервісу комбайнів на основі визначення впливу якості надання сервісних послуг на рівень їх експлуатаційної надійності.

4.4. Розділ 4. Розробити методика отримання нових закономірностей динаміки змін відмов й сервісних дій для комбайнів у експлуатаційних умовах та провести потрібні експериментальні дослідження.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1. Оцінка ефективності організації та функціонування фермерського господарства. 5.2. Мета, об'єкт, предмет та задачі дослідження. 5.3. Стан забезпеченості аграрних підприємств України зернозбиральними комбайнами. 5.4. Оцінка показників експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів. 5.5. Аналіз основних методів забезпечення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів. 5.6. Особливості формування взаємозв'язків в системі адаптованого сервісу комбайнів. 5.7. Результати експериментальних досліджень надійності комбайнів за адаптованою системою їх експлуатації й сервісу. 5.8 Загальні висновки по роботі.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів магістерської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1.	28.10.2024	
2	Розділ 2.	08.11.2024	
3	Розділ 3.	15.11.2024	
4	Розділ 4.	22.11.2024	
5	Загальні висновки по роботі	24.11.2024	
6	Оформлення структурних елементів МР	25.11.2024	
7	Ілюстративний матеріал до МР	28.11.2024	

Магістрант

_____ (підпис)

Ігор ГОРЄВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Сергій МАГОПЕЦЬ

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Метою дослідження є забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності комбайнів при використанні системного підходу до оцінки дійсного стану техніки й потрібної бази її ТО і Р.

В першому розділі роботи «Визначення пріоритетних напрямків досліджень» проведена оцінка поточного виробничого потенціалу господарства та виконаний розширений аналіз ефективності його діяльності; визначена потреба модернізації існуючого підрозділу з ТО і Р техніки; обґрунтована актуальність досліджень роботи; встановлено її мету, об'єкт та предмет; визначенні основні задачі, які потребують подальшого вирішення у роботі.

Так *об'єктом дослідження* виступає процес динамічної зміни обсягів відмов й відновлень працездатних станів комбайнів при різних якісних рівнях наявної структури їх ТО і Р.

Основними завданнями, які потребували вирішення у дипломній роботі визначено:

- проведення причинно-наслідкового аналізу недостатньої експлуатаційної надійності структурних компонентів комбайнів й встановлення ефективних напрямків підвищення рівня їх довговічності;
- виконання динамічної оцінки зміни показників надійності комбайнів із збільшенням їх напрацювань та встановленням середнього значення наробітку на відмову та часу виконання операцій відновлення для наявного парку вітчизняних зернозбиральних комбайнів;
- проведення оцінки впливу напрацювання комбайнів при втраті ними працездатного стану в залежності від різних якісних рівнів наявної структури їх ТО і Р.

Другий розділ «Дослідження специфіки формування парку комбайнів» містить дослідження з оцінка поточного стану забезпеченості підприємств галузі зернозбиральними комбайнами; оцінка показників та основних етодів підвищення рівня їх експлуатаційної надійності.

У третьому розділі «Структурний аналіз надійності зернозбиральних комбайнів» досліджені теоретичні передумови формування взаємозв'язків у системі адаптованого сервісу комбайнів.

Четвертий розділ «Результати експериментальних досліджень надійності зернозбиральних комбайнів при адаптованій системі їх сервісу» містить методику отримання нових закономірностей динаміки змін відмов і сервісних дій для комбайнів у експлуатаційних умовах та результати експериментальних досліджень зміни показників надійності комбайнів при застосуванні адаптованої системи їх експлуатації й сервісу.

Магістерська робота складається із пояснювальної записки обсягом 70 сторінок (із 33 рисунками та 11 таблицями), яка містить завдання, реферат, зміст, вступ, 4 основні розділи, загальні висновки й перелік використаної літератури та 8 слайдів ілюстративного матеріалу загальним обсягом сторінок.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АТЗ – автотранспортний засіб

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання

МТА – машинно-тракторний агрегат

МТП – машинно-тракторний парк

ПММ – паливо-мастильні матеріали

СТС – складні технологічні системи

СФГ – селянське фермерське господарство

ТО – технічне обслуговування

ТО і Р – технічне обслуговування і ремонт

РЕФЕРАТ	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	
ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	
1.1. Характеристика та основні виробничі показники СФГ «Личук»	
1.2. Особливості організації робіт з експлуатації та обслуговування МТП у господарстві	
1.3. Визначення актуальних напрямків, мети та задач досліджень	
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕЦИФІКИ ФОРМУВАННЯ ПАРКУ КОМБАЙНІВ	
2.1. Оцінка поточного стану забезпеченості підприємств галузі зернозбиральними комбайнами	
2.2. Оцінка показників експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів	
2.3. Аналіз основних наукових методів забезпечення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів	
РОЗДІЛ 3. СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ	
3.1. Теоретичні передумови формування взаємозв'язків в системі адаптованого сервісу комбайнів	
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ПРИ АДАПТОВАНІЙ СИСТЕМІ ЇХ СЕРВІСУ	
4.1. Методика отримання нових закономірностей динаміки змін відмов і сервісних дій для комбайнів у експлуатаційних умовах ..	
4.2. Результати експериментальних досліджень надійності комбайнів за адаптованою системою їх експлуатації й сервісу ...	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	

ВСТУП

Агропромисловий сектор України є одним із найбільш важливих й відповідальних у промисловому потенціалі, провідне місце в якому займає рослинництво. Враховуючи значні обсяги виробництва (понад 60 т щорічно) й доволі короткий оптимальний період збирання врожаю зернових культур, який триває в середньому близько 2-ох місяців, задача своєчасного його виконання за мінімальних обсягів втрат збіжжя покладається на наявний парк зернозбиральних комбайнів, який хоча й налічує понад 120 тисяч одиниць техніки, нажаль має низькі показники технічної готовності та продуктивності.

Наявність статистичної кількості комбайнів ще не означає вирішення проблеми забезпечення своєчасного збору врожаю, так як у господарствах налічується значна кількість застарілої техніки, яка перебуває у непрацездатному стані або має суттєво знижені експлуатаційні характеристики.

Параметри технічного стану комбайнів: динамічні властивості, економічні характеристики, продуктивність та ступінь технічної готовності до виконання функціонального призначення, здійснюють вирішальний вплив на собівартість вирощування сільськогосподарської продукції.

Несправності основних структурних елементів комбайнів, що виникають в процесі їх тривалої експлуатації під дією динамічних факторів та природних процесів, зумовлюють зниження показників їх технічного стану, й призводять до порушення режимів роботи й зниження ефективності їх використання.

На поточний час в експлуатації перебуває значна кількість комбайнів, що вже відпрацювали більшу частину закладеного в них під час виготовлення планового ресурсу й потребують проведення постійних робіт із підтримки їх працездатного стану. Експлуатаційна надійність зернозбиральної техніки прямим чином визначається й залежить як від технічного стану комбайнів, так й від ефективності, своєчасності й якості виконання сервісних робіт.

Залишаються не вирішеними основні фундаментальні проблеми існуючих теорій надійності складних технічних систем із значними експлуатаційними термінами та суттєво зниженими показниками довговічності та ремонтпридатності, які доволі часто потребують негайного вирішення у стислі

терміни виконання польових робіт за наявності у господарств складних економічних умов. Такими проблемами є:

- відсутність адекватних динамічних моделей зміни показників надійності комбайнів, які б встановлювали зв'язок між станом технічних систем та різних якісних рівнях підрозділів з їх технічного обслуговування та ремонту;

- основні показники надійності комбайнів, а саме коефіцієнти їх технічної готовності й ремонту мають статичні властивості й у повній мірі не описують динаміку поступового процесу старіння техніки.

Якість та своєчасність виконання сервісних дій дозволяє забезпечити передумови з підтримки високого рівня працездатності й надійності с.-г. машин. При цьому рівень працездатності і надійності зернозбиральних комбайнів й тракторів, в першу чергу формують техніко-економічні показники ефективності роботи МТП господарства такі як: продуктивність МТА, коефіцієнти їх технічної готовності й використання у часі, показники експлуатаційної надійності, енергоємності процесу, енергонасиченості й металомісткості.

Забезпечення працездатності, надійності та довговічності с.-г. машин вимагає не лише обґрунтованих заходів, а й передбачає необхідність створення належних умов для їх виконання. Для цього у кожному господарстві, не зважаючи на його розміри та організаційні форми, повинен бути вирішений комплекс інженерно-технічних та організаційних заходів в результаті чого буде забезпечене ефективне використання МТП й якісна, надійна й безвідмовна робота техніки.

Якщо поступова втрата працездатності зернозбиральних комбайнів зумовлена підвищенням інтенсивності появи відмов є природним процесом, то технічна забезпеченість підрозділів з ТО і ремонту техніки може перебувати на різних якісних стадіях. Від їх співвідношення залежить загальна експлуатаційна надійність комбайнів, дослідження й встановлення закономірностей змін якої є актуальною задачею.

Саме тому, проведення досліджень спрямованих на удосконалення організаційних заходів з її обслуговування та ремонту є нагальною господарською проблемою, вирішення якої вимагає проведення науково-технічних досліджень.

Розділ 1.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Характеристика та основні виробничі показники СФГ «Личук»

Селянське (фермерське) господарство «Личук» з дня свого заснування (понад 23 роки), як юридична особа зареєстрована за адресою: 25001, Україна, Кіровоградська обл., Кропивницький р-н, селище Нова Павлівка) (рис. 1.1.). Засноване та зареєстроване підприємство (код ЄДРПОУ 31394439) 17 лютого 2001 р. В Єдиному державному реєстрі підприємство зареєстровано 17.10.2006 р. (номер запису №14291200000000671) із організаційно-правовою формою – фермерське господарство. Уповноваженими особами СФГ «Личук» виступають Личук Михайло Васильович та Личук Олександр Михайлович. Розмір статутного капіталу юридичної особи СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка) складає 1 млн. грн. [1].

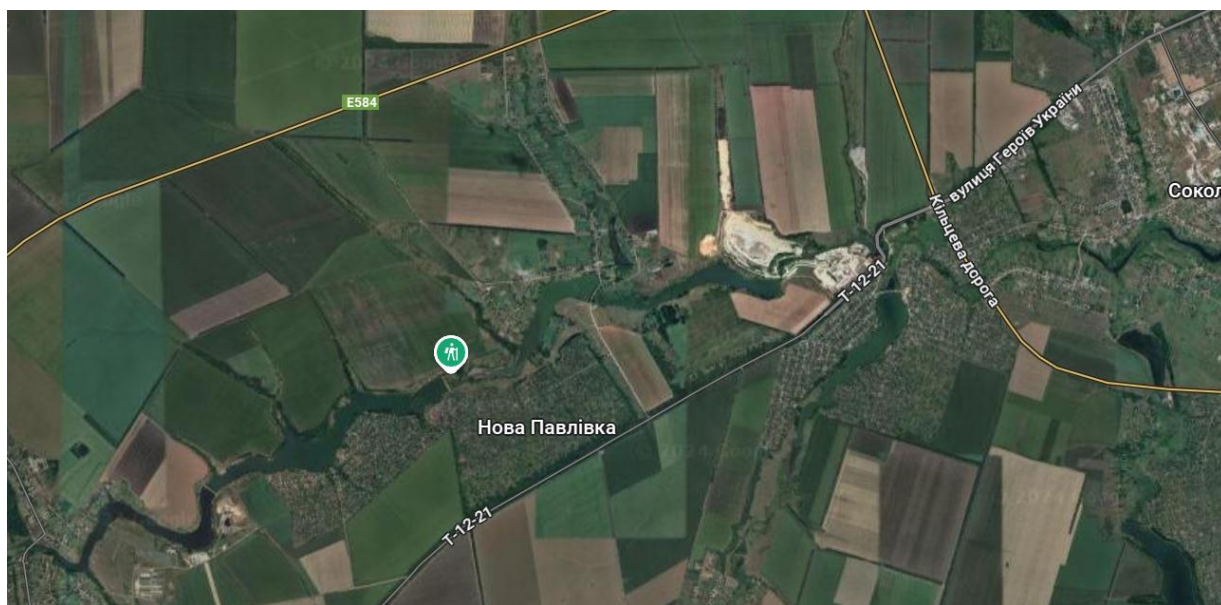


Рисунок 1.1 – Сільськогосподарські угіддя СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка)

Основним видом діяльності фермерського господарства (у відповідності до КВЕД) є - 01.11 «Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур» [1]. Крім того статутом СФГ передбачена можливість здійснення й інших видів господарської діяльності до яких відносяться [1]:

- «01.61 - Допоміжна діяльність у рослинництві» [1];
- «10.41 - Виробництво олії та тваринних жирів» [1];
- 10.61 - Виробництво продуктів борошномельно-круп'яної промисловості» [1].

Основні техніко-економічні показники діяльності господарства за попередні 3 роки (у відповідності до загально оприлюдненої звітності [2]) наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні техніко-економічні показники господарської діяльності СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка) за 2021-2023 роки [2]

Основні показники	Рік		
	2021	2022	2023
Дохід, грн.	13374100,0	12063200,0	16180500,0
Чистий прибуток, грн.	2479900,0	309800,0	797100,0
Активи, грн.	10529500,0	11619500,0	12555000,0
Зобов'язання, грн.	219700,0	999900,0	1138300,0
Кількість працівників, осіб	7	7	8

Оцінюючи ефективність роботи господарства, можна бачити, що за 2023 р. у порівнянні з попереднім – 2022 р., величина чистого прибутку збільшилася фактично у 2,6 рази, натомість як зобов'язання зросли в меншій мірі – лише у 1,1 рази. Позитивним є й зростання активів господарства за останні 3 роки – на 2,0 млн. грн., що відповідає +19,2% [3]. Наведені дані свідчать про достатньо високий рівень ефективності провадження виробничої діяльності підприємства.

Господарство спеціалізується на вирощування зернових та технічних с.-г. культур та має власний земельний фонд. Характеризуючи земельний фонд СФГ «Личук», доцільно відзначити, що станом на 10.10.2024 р. його площа оцінюється у 850,0 га (таблиця 1.2) та розміщується у безпосередній близькості від селища Нова Павлівка (див. рис. 1.1) [3]

Таблиця 1.2 – Розподіл земельного фонду та посівних площ СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка) у 2024 році [3]

С.-г. культура	Площа угідь для вирощування культури, га	Вага культури у загальному обсязі земельного фонду, %
<i>Зернові культури</i>		
Пшениця (яра)	65,0	7,5
Пшениця (озима)	190,0	21,8
Ячмінь	128,0	14,7
Просо	45,0	5,2
Кукурудза	185,0	21,3
Бобові	72,0	8,2
<i>Технічні культури</i>		
Соняшник	185,0	21,3
Всього	870,0	100,0

Агроугіддя господарства локально сконцентровані навколо с. Нова Павлівка в якому знаходиться й його центральна садиба (рис. 1.2). Враховуючи наявну мережу доріг з твердим покриттям як місцевого (Т-12-21, рис. 1.1) так й обласного рівня (Е584, рис. 1.1), відстань у 15 км до м. Кропивницький, забезпечуються оптимальні умови ведення господарської діяльності із забезпеченням мінімальних рівнів витрат на зберігання та перевезення вирощеної сільськогосподарської продукції [3].



Рисунок 1.2 – Центральна садиба СФГ «Личук» у с. Нова Павлівка

Забезпечення основних видів діяльності фермерського господарства здійснюється наявним власним машинно-тракторним парком (МТП), який розміщується на відкритих майданчиках та у закритих приміщеннях центральної садиби, на території якої є адміністративна будівля, склад ПММ та власна ремонтна майстерня [3].

Проведений під час дослідницької практики аналіз забезпеченості СФГ МТП та іншою с.-г. технікою показав, що господарство має у власному розпорядженні 7 (сім) вантажних АТЗ категорії N1: ГАЗ-53 (4 од.), КамАЗ-55102 (3 од.) та 3 легкових автомобілі категорії M1: Toyota Tundra, ВАЗ-2121 «Нива» й ВАЗ-2107, один паливозаправник АЦПТ-4,2 (на шасі ГАЗ-53А), 7 причепів: ТКБ-819 (2 од.), ОдАЗ-885 (1 од.), ОдАЗ-857Д (1 од.) та ОдАЗ-997Б (1 од.), 5 тракторів

різних типів й марок (таблиця 1.3), 4 зернозбиральних комбайни (таблицю 1.4) та іншу необхідну с.-г. техніку (додаток А) [3].

Таблиця 1.3 – Склад та основні показники використання тракторного парку СФГ «Личук» (на 10.10.2024 р.)

№	Марка, модель, тип трактора	Рік випуску	Кількість використаного палива за 2023 р., т	
			за рік	всього
1	ХТЗ-181.22 (гусеничний) (рис. 1.3 а)	2018	32,3	32,3
2	МТЗ-82.1 (колiсний) (рис. 1.3 б)	2016	11,7	25,3
3	МТЗ-82.1 (колiсний) (рис. 1.3 б)	2017	13,6	
4	Case IH Puma (колiсний) (рис. 1.3 в)	2019	11,9	11,9
5	New Holland T8040 (колiсний) (рис. 1.3 г)	2014	9,6	9,6
Всього			79,1	79,1



а) – Трактор ХТЗ-181.22



б) – Трактор МТЗ-82.1



в) – Трактор Case IH Puma



г) – Трактор New Holland T8040

Рисунок 1.3 – Тракторний склад МТП СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка) станом на 10.10.2024 р. [3]

Таблиця 1.4 – Склад основні показники використання парку комбайнів СФГ «Личук» (на 10.10.2024 р.)

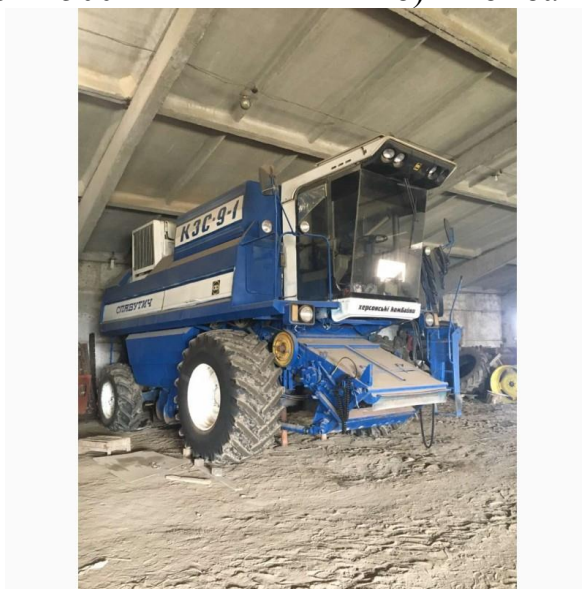
№	Марка та модель комбайна	Рік випуску	Наробіток, га.	Витрата палива, т	
				норма	факт
1	Дон-1500Б (рис. 1.4 а)	2005	335,0	11,5	12,3
2	СК-5 «Нива» (рис. 1.4 б)	1997	194,0	7,4	7,8
3	КЗС-9 «Славутич» (рис. 1.4 в)	2006	341,0	12,1	13,0
Всього			870,0		33,1



а) – Комбайн «Дон-1500Б»



б) - Комбайн «СК-5 Нива»



в) – Комбайн КЗС-9 «Славутич»

Рисунок 1.4 – Комбайновий склад МТП СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка) станом на 10.10.2024 р. [3]

1.2. Особливості організації робіт з експлуатації та обслуговування МТП у господарстві

В першу чергу слід зазначити, що підвищення рівня прибутковості будь-якого с.-г. підприємства, в тому числі й СФГ, залежить від багатьох чинників, основним серед яких є собівартість виробленої ним сільськогосподарської

продукції, яка прямим чином залежить від параметрів технічного стану машин, що повинні забезпечити своєчасність виконання технологічних операцій при мінімальних витратах та втратах [4].

Загальновідомо, що у експлуатаційних умовах робочий процес с.-г. машин неминуче супроводжується зміною їх основних параметрів, що впливає на показники якості виконання робіт, економічність й надійність, знижуючи їх. Підтримання та відновлення нормативних характеристик й експлуатаційних показників машин, можна забезпечити лише за умови застосування комплексного підходу до вирішення цієї задачі, який включає такі процеси як: раціональне використання техніки, правильно дотримані режими її експлуатації, своєчасно та якісно виконане технічне обслуговування, ремонт та зберігання [4, 5, 6].

У відповідності до загальноприйнятих стандартів, ефективність роботи тракторів та комбайнів, що входять до МТП господарства, прийнято оцінювати показниками двома основними показниками - коефіцієнтами технічного використання (K_{me}) й технічної готовності (K_{mg}) [4, 5, 6, 7].

Перший показник, а саме K_{me} визначає часові співвідношення термінів роботи машини (трактора, комбайна, МТА тощо) та сумарних простоїв за певний період (в більшості календарний рік); натомість як другий, K_{mg} - оцінює кількісні показники використання техніки при співвідношенні технічно справних машин, до загальної кількості машин у МТП господарства [4, 5, 6, 7].

$$K_{me} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{t_c}{t_c + t_0 + t_e + t_p}, \quad (1.1)$$

де N - кількісний склад МТП господарства у обліковому періоді, од.;

t_c - сумарний час роботи i – $oї$ машини за обліковий період, год.;

t_0, t_e, t_p - відповідно сумарні часи простоїв при проведенні сервісних дій, усуненні експлуатаційних відмов та виконанні всіх видів ремонтів для i – $oї$ с.-г. машини, год.

$$K_{mg} = \frac{M_c}{M_s}, \quad (1.2)$$

де M_c - кількість техніки СФГ, що перебувала у технічно-справному стані

впродовж облікового періоду, од.;

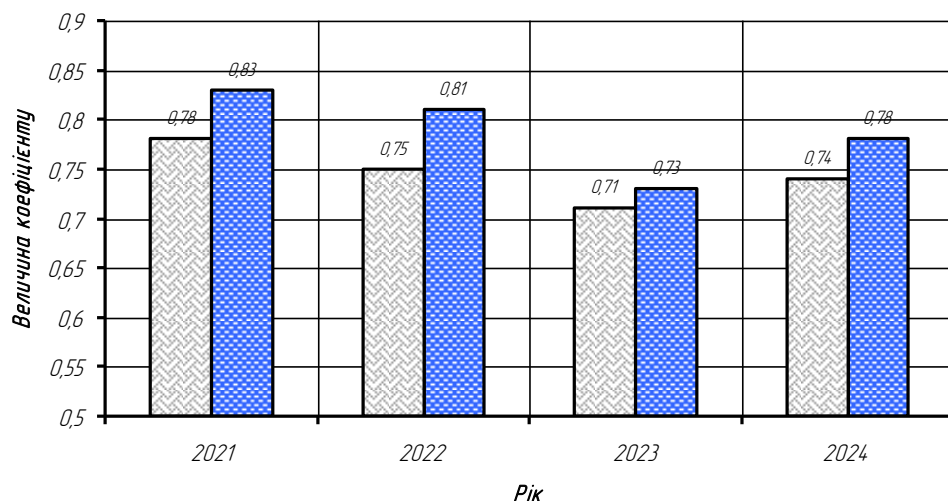
M_3 - загальна кількість техніки, що входить до штатного складу МТП господарства за цей період, од.

Величини допустимих діапазонів цих коефіцієнтів, які характеризують задовільний стан ефективності використання МТП становлять $K_{me} = 0,6...0,8$ та $K_{mz} = 0,8...0,9$ [4].

Результати проведеної оцінки цих показників для МТП СФГ «Личук» виконана в динаміці їх зміни за 2021–2024 рр. наведена у таблиці 1.5, рис. 1.5 та рис. 1.6 [3].

Таблиця 1.5 – Показники ефективності роботи тракторів й комбайнів МТП СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка) за 2021-2024 роки

Показник МТП	Рік				Усереднене значення показника
	2021	2022	2023	2024 (І півр.)	
Трактори					
Коефіцієнт технічного використання (K_{me})	0,78	0,75	0,71	0,74	0,75
Коефіцієнт технічної готовності (K_{mz})	0,83	0,81	0,73	0,78	0,79
Комбайни					
Коефіцієнт технічного використання (K_{me})	0,66	0,68	0,67	0,64	0,66
Коефіцієнт технічної готовності (K_{mz})	0,74	0,73	0,71	0,75	0,73
За обома групами ТЗ					
Коефіцієнт технічного використання (K_{me})	0,72	0,71	0,72	0,69	0,71
Коефіцієнт технічної готовності (K_{mz})	0,79	0,77	0,72	0,77	0,76



▨ Коефіцієнт технічного використання ■ Коефіцієнт технічної готовності

Рисунок 1.5 – Динаміка зміни коефіцієнтів технічної готовності K_{mz} та використання парку K_{me} тракторів СФГ «Личук» у 2021-2024 роках

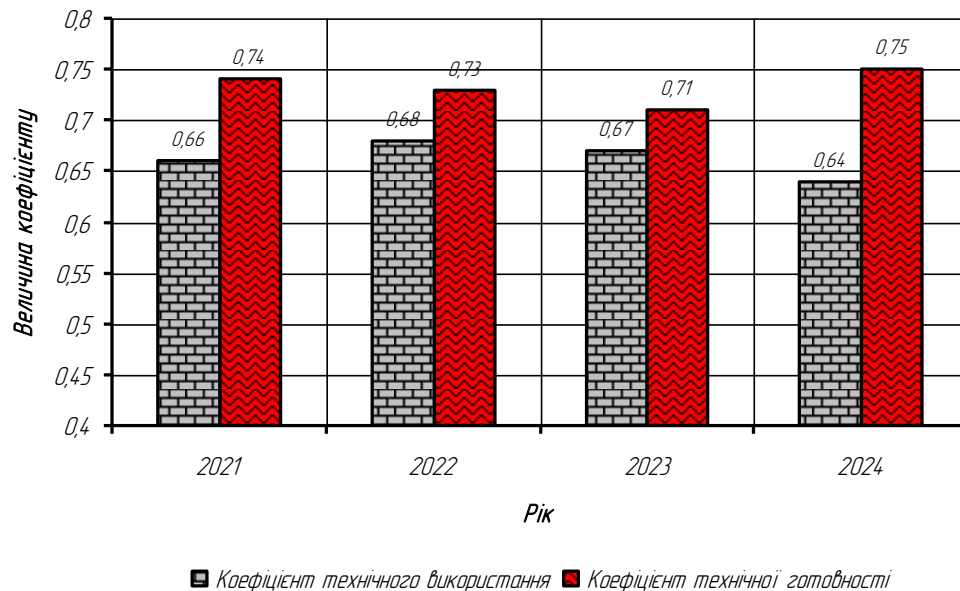


Рисунок 1.6 – Динаміка зміни коефіцієнтів технічної готовності K_{mv} та використання парку K_{mt} комбайнів СФГ «Личук» у 2021-2024 роках

Величини коефіцієнтів свідчать, що нажаль показники ефективності використання МТП господарства є недостатніми. За останні роки середня ефективність використання тракторів є кращою ніж комбайнів, але лише на декілька пунктів. Так, при $K_{mt(тракторів)} = 0,75$ аналогічна величина для комбайнів складає $K_{mt(комбайнів)} = 0,66$; натомість як при $K_{mt(тракторів)} = 0,79$ - $K_{mt(комбайнів)} = 0,73$. Динаміка зміни показників також не дозволяє говорити про покращення ситуації; навпаки вона має тенденцію до погіршення – з кожним роком значення коефіцієнтів лише знижуються. Збільшення величин коефіцієнтів у 2024 р. не є показовим, так як дані взяті за показниками І-го півріччя, в той час як більшість простоїв техніки з-за відмов та під час сервісних дій, припадає на другу половину року (листопад-грудень), що безумовно вплине на зменшення річних (за 2024 р.) значень цих коефіцієнтів [3].

Поясненням ситуації, що склалася у господарстві є наявність низки негативних факторів й проблем, які були встановлені й більш детально показані під час проведення СВОТ-аналізу, результати якого представлені на рис. 1.7 [3].

Даний аналіз показав, що однією із найбільших проблем господарства є його застарілий та не надійний МТП, представлений в більшості зразками с.-г. машин і техніки радянського або вітчизняного виробництва із значними термінами експлуатації. Слід зауважити, що керівництво СФГ, розуміючи

проблему, за останні роки винайшло можливість й оновило парк тракторів (див. таблицю 1.3). Натомість парк комбайнів характеризується термінами експлуатації понад 17 років, що є критичним [3].

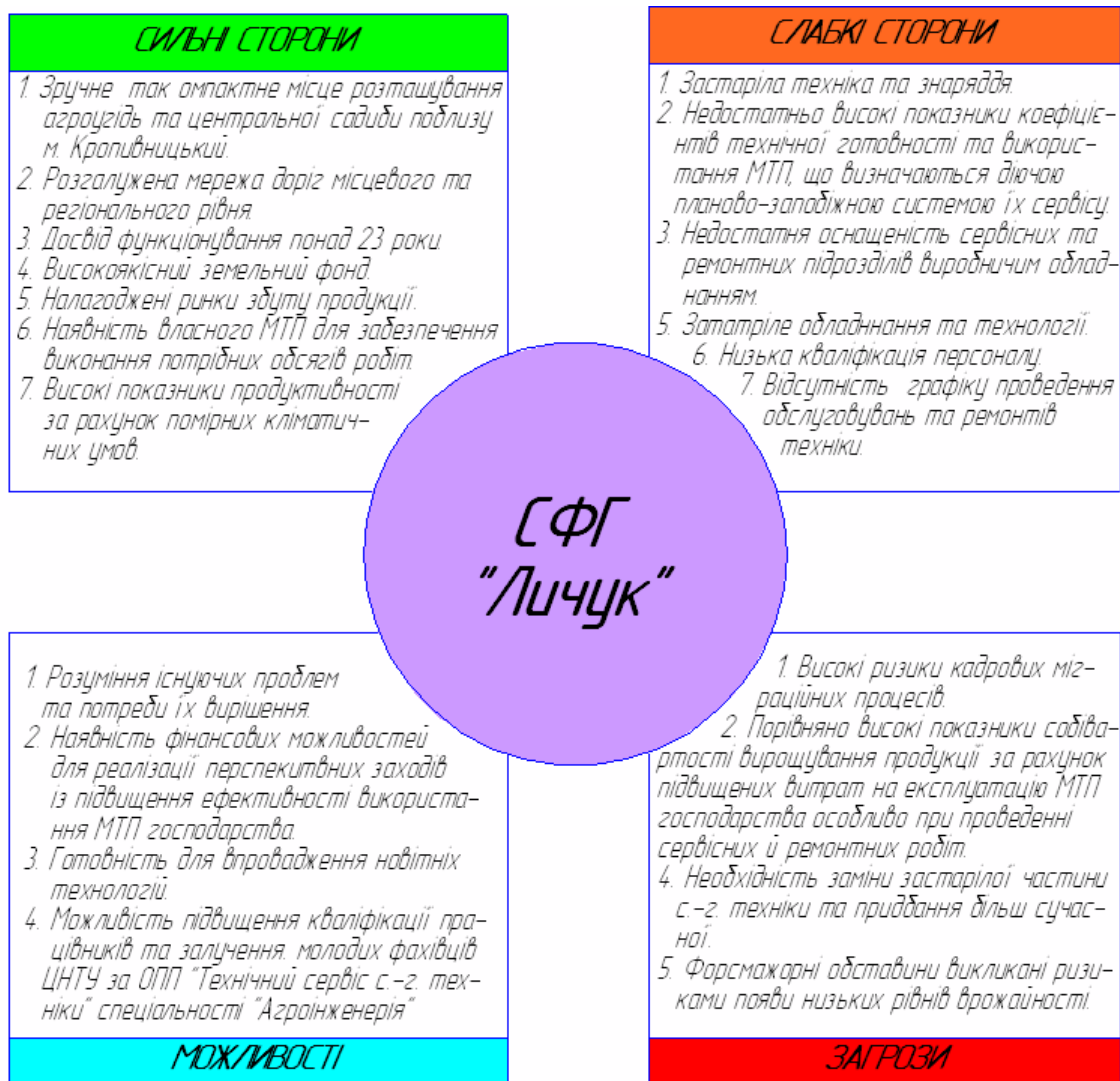


Рисунок 1.7 – SWOT-аналіз ефективності провадження господарської діяльності СФГ «Личук» (с. Нова Павлівка) [3]

Іншою, не менш важливою проблемою, вирішення якої забезпечить підвищення рівня готовності техніки до виконання робіт, є ефективна організація та проведення сервісних робіт із технічного обслуговування (ТО) та ремонту МТП [3]. На поточний час відповідальними за відновлення працездатного стану техніки є безпосередньо самі механізатори, за якими ця техніка закріплена. Не зважаючи на наявний в них досвід (середній вік механізаторів складає 56 років), технічна база майстерні господарства не спроможна забезпечити можливість якісного проведення сервісних й ремонтних дій, так як й недостатній рівень володіння сучасними технологіями самих механізаторів [3].

1.3. Визначення актуальних напрямків, мети та задач досліджень

Попередніми дослідженнями встановлено, що для господарства є два можливих варіанти зміни негативної ситуації пов'язаної із експлуатаційними показниками ефективності використання комбайнів.

Перший, передбачає реалізацію застарілої техніки та придбання іншої більш сучасної – вживаної із термінами експлуатації 5...10 років, виробництва провідних світових компаній.

Другий ґрунтується на забезпеченні оптимізації проведення регламентних робіт із сервісу та ремонту комбайнів за умови переоснащення як виробничої бази ремонтної майстерні господарства, так й застосування новітніх, більш сучасних й прогресивних методик і технології відновлення працездатного стану систем, вузлів і механізмів машин, в тому числі й комбайнів [3].

На поточний час у господарстві існує (в тій чи іншій мірі) сформована система сервісу техніки. Вона побудована на базі традиційної планово-запобіжної системи, але не є цілісною, так як не містить всіх обов'язкових модулів цієї системи. Така ситуація притаманна не тільки СФГ «Личук», а й більшості інших малих за обсягами с.-г. підприємств України, які втратили можливість професійного сервісного обслуговування та відновлення техніки на централізованих ремонтних підприємствах, які раніше існували, й вимушені виконувати всі дії самостійно, що в більшості й приводить до підвищення рівня витрат та погіршення показників готовності техніки й рівня її відновлення.

Оцінюючи, в загальному вигляді, баланс прибутків і витрат господарства пов'язаних із експлуатацією зернозбиральних комбайнів, можна встановити його складники:

$$B = \Pi_{np} - B_{to} - B_{втр}, \quad (1.3)$$

де Π_{np} - прибуток господарства від зібраного врожаю;

B_{to} - витрати на технічне обслуговування (ТО) та ремонт (Р) тракторів;

$B_{втр}$ - витрати обумовлені втратами врожаю при позапланових (аварійних) простоях комбайнів.

Для аграрних підприємств такого типу доцільним є перехід на реалізацію

іншої або адаптованої (адаптивної, за потребою) стратегії сервісного обслуговування комбайнів, тракторів й іншої техніки, яка є більш гнучкою й дозволяє за мінімальних витрат (як фінансових так й людських) забезпечити підвищення величин коефіцієнтів K_{mg} та K_{mv} , що реалізується забезпеченням оптимальних умов функціонування всіх їх систем й механізмів за систематичного, але лише необхідного, комплексного виконання певних обсягів сервісних робіт [3].

За таких умов, максимально ефективно реалізується й забезпечується стратегія керування технічним станом кожного окремо взятого комбайну під час його експлуатації, ТО і Р й зберігання.

Більшість існуючих на поточний час стратегій адаптованого (адаптивного, за потребою) втручання у роботу машин та забезпечують контроль й управління їх технічним станом, застосовують методику зменшення періодичності та термінів проведення ТО і Р, передбачають проведення оцінки дійсного технічного стану; визначення видів, обсягів та номенклатури робіт й прогнозування термінів наступного безвідмовного експлуатаційного періоду.

Такі стратегії вже довели свою ефективність але й виявили низку обмежуючих факторів, які стримують їх застосування та/або зменшують рівень цієї ефективності. Одними із найбільш значущих факторів, на мою думку, є відсутність врахування технічної можливості проведення всіх необхідних обсягів технічних дій з ТО і Р.

Впровадження адаптованої системи сервісу зернозбиральних комбайнів повинна обов'язково включати й адаптивну стратегію удосконалення (модернізації) самої виробничої бази ТО і Р господарств; лише за таких умов забезпечується можливість отримання додаткових фінансових прибутків при вирощуванні зернових культур.

Саме тому, дослідження спрямовані на удосконалення сервісу зернозбиральної техніки й оптимізації робіт з її обслуговування є актуальною задачею в межах всієї країни, що вимагає науково-обґрунтованого вирішення [8].

Отже, **метою** подальших досліджень роботи визнано забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності комбайнів при використанні системного підходу до оцінки дійсного стану техніки й потрібної бази її ТО і Р.

За **об'єкт дослідження** прийнято процес динамічної зміни обсягів відмов й відновлень працездатних станів комбайнів при різних якісних рівнях наявної структури їх ТО і Р.

Предметом дослідження - закономірності втрати й відновлення працездатного стану комбайнів із оцінкою показників їх експлуатаційної надійності.

Реалізація визначеної мети потребує розв'язання наступних **задач**:

- проведення причинно-наслідкового аналізу недостатньої експлуатаційної надійності структурних компонентів комбайнів й встановлення ефективних напрямків підвищення рівня їх довговічності;

- виконання динамічної оцінки зміни показників надійності комбайнів із збільшенням їх напрацювань та встановленням середнього значення наробітку на відмову та часу виконання операцій відновлення для наявного парку вітчизняних зернозбиральних комбайнів;

- проведення оцінки впливу напрацювання комбайнів при втраті ними працездатного стану в залежності від різних якісних рівнів наявної структури їх
ТО і Р.

Розділ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕЦИФІКИ ФОРМУВАННЯ ПАРКУ КОМБАЙНІВ

2.1 Оцінка поточного стану забезпеченості підприємств галузі зернозбиральними комбайнами

Сьогодні наша країна є лідером серед країн Європи із вирощування зернових культур, а їх щорічний об'єм у 2023 р., не зважаючи на втрату частини угідь в результаті ведення бойових дій та тимчасової втрати територій Донецької, Запорізької та Херсонської областей, оцінюється у понад 65 млн. тон. Такої кількості збіжжя достатньо як для закриття внутрішніх потреб, так й для експорту в різні країни Євросоюзу, Близького Сходу, Африки та ін.

Зрозуміло, що забезпечити технічну реалізацію збирання врожаю зернових із дотриманням оптимальних агро строків й мінімізації втрат, можливо лише за умови наявності у агрогосподарствах різних форм та розмірів, достатнього сукупного парку зернозбиральних комбайнів, розміри якого наближено оцінюються загальною чисельністю понад 100 тис. машин. Слід зазначити, що в даній кількості враховані й комбайни, які знаходяться у технічно несправному стані й перебувають у процесі їх сервісу та ремонту, а такої техніки, враховуючи поточний кількісний й марочний склад комбайнів в Україні, може бути не менше як 40...50%.

Загальновідомо, що конструкція й призначення зернозбиральних комбайнів є різними, що дозволяє більш ефективно їх використовувати в залежності від особливостей дотримання агростроків, специфіки наявних у господарств угідь й їх площ; вони відрізняються між собою за такими характеристиками як: потужністю ДВЗ, технологічними режимами, шириною захвату жнивarki, типами молотильного й сепаруючого пристроїв, об'ємами бункерів та ін., й забезпечують збирання зернових культур із рівнями їх врожайності 30,0...130,0 ц/га. Аналітиками галузі агроінженерії були визначені та оцінені потреби України у різних за продуктивністю комбайнах, за результатами якого превалюючим типом такої техніки були визнані комбайни середньої потужності (до 50%), а найменшим – малої потужності (до 15%) (рис. 2.1). Сегмент же парку комбайнів середньої потужності оцінюється ними у 35% [9].

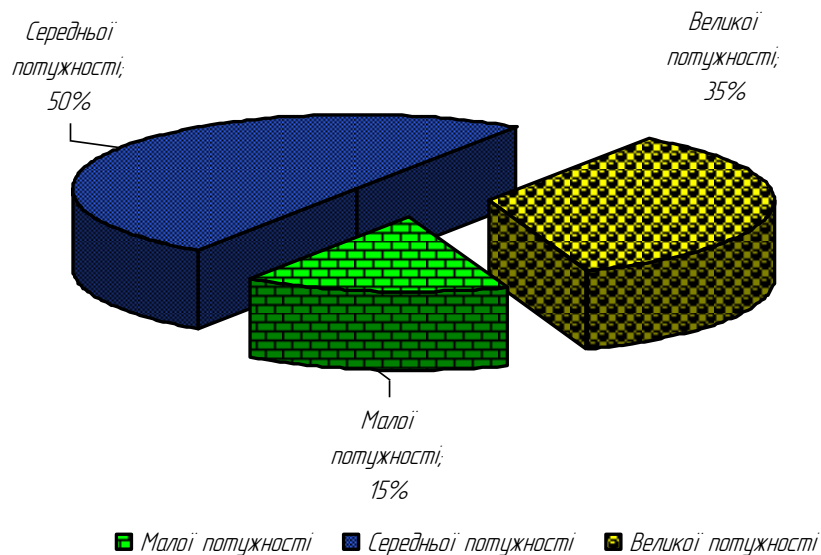


Рисунок 2.1 – Рациональна структура необходимого поточного парка комбайнів в Україні

Щодо якісного та марочного складу зернозбиральних комбайнів в Україні то дані свідчать, що на поточний час близько 65% їх загального парку складають машини іноземного виробництва провідних світових компаній таких як: «John Deere», «Case», «New Holland», «Glaas» тощо; інші же 35% сегменту комбайнів представляють машини російського (наприклад, «Дон») або вітчизняного виробництва («СК-5 Нива, «Славутич»).

Характеризуючи закордонну техніку, в першу чергу доцільно відмітити високий (у порівнянні із вітчизняними комбайнами) якісний рівень технічного оснащення комбайнів, який дозволяє здійснювати автоматизований контроль за роботою та регулювання більшості систем й агрегатів машин за рахунок використання взаємопов'язаних електронних систем, автономної системи діагностики; систем контролю якісних показників виконання технологічних операцій із здатністю врахування поточних ґрунто-кліматичних умов й режимів та супутникової системи позиціонування тощо.

Так, за офіційно оприлюдненими даними, лише за 2020-2021 роки в Україну було ввезено близько 6 тис. комбайнів різних типів, серед яких зернозбиральних – понад 3 тис. одиниць. Це не нова техніка, а комбайни, що вже були у використанні та мають певні експлуатаційні напрацювання й, відповідно, знижені залишкові ресурсні показники. Разом з тим, їх характеристики й параметри

поточного стану є набагато кращими за наявні українські та російські машини, Спроби же налагодити виробництво в Україні власних зернозбиральних комбайнів, аналогічних за характеристиками іноземним, нажаль зазнали невдачі й на поточний час не можуть бути поновлені. Наявна техніка представлена в більшості комбайнами «Дон», «СК-5 Нива та «Славутич» є менш продуктивною, потребує більші обсяги використання палива й інших експлуатаційних витрат, в тому числі й витрат на обслуговування та їх простої у ремонті.

Збільшення обсягів й термінів проведення ТО і Р комбайнів зменшує рівень забезпеченості господарств цією технікою у найбільш відповідальний період – під час збирання врожаю, що спричиняє зміщення (розтягування) агростроків та зумовлює додаткові обсяги втрат (рис. 2.2).

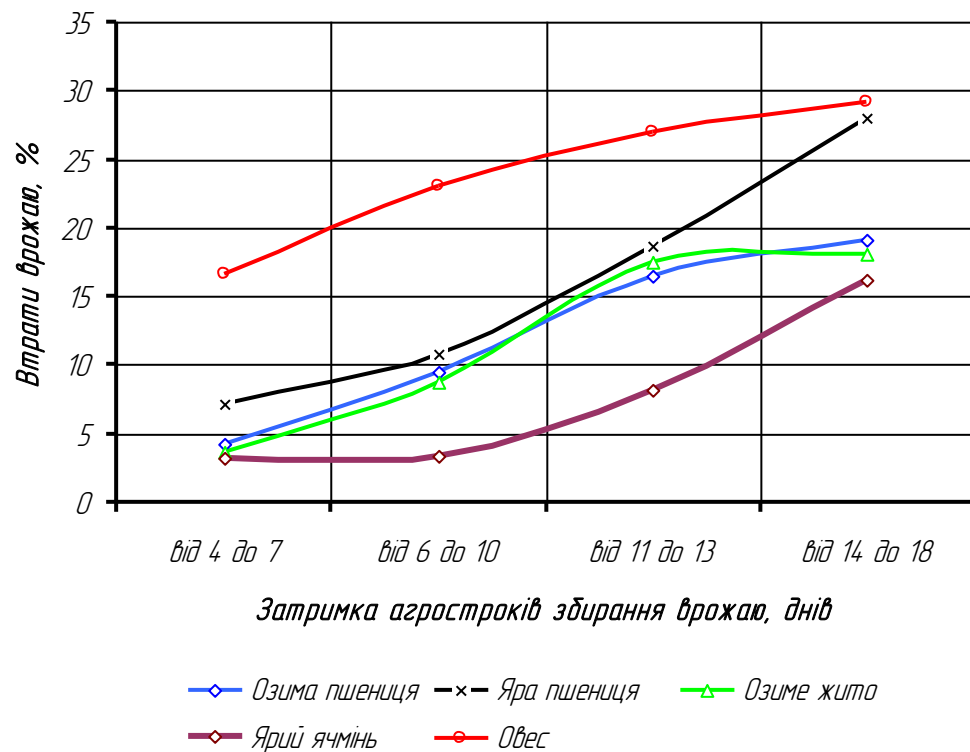


Рисунок 2.2 – Вплив термінів затримки збирання врожаю зернових культур на фактичний рівень їх втрат

За останні 3 роки, за різних причин в тому числі й з-за тривалої повномасштабної агресії Росії, забезпеченість в Україні господарств аграрної галузі зернозбиральною технікою суттєво знизилась й, на поточний час складає лише 2/3 від наявної потреби, яка щорічно збільшується. В більшій мірі це стосується так званих «малих» та «середніх» агро виробників, а в меншій – великих агрохолдингів. Разом із тим, оцінюючи рівень необхідних

капіталовкладень у засоби механізації с.-г. виробництва при збиранні зернових культур, можна визначити потрібні грошові обсяги на придбання нової техніки - близько 4,5 млрд. грн. на рік, натомість як фактичні обсяги фінансування на зараз не доходять навіть до 1,0 млрд. грн., що є меншим за потребу, як мінімум, у 4,5 рази й явно недостатнім.

2.2 Оцінка показників експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів

Оцінюючи й порівнюючи технічні характеристики й робочі режими іноземних та вітчизняних комбайнів можна стверджувати, що значної різниці, наприклад за показниками погодинної продуктивності, фактично немає. Більша ефективність використання іноземної техніки спричинена більш високими обсягами її середньорічного наробітку (на 30%...100%), що є результатом закладеної в них виробником під час проектування та виготовлення конструктивної якості, яка й забезпечує у експлуатаційних умовах підвищені показники надійності за кращої адаптації до різних агроумов.

Особливістю використання комбайнів в Україні, якщо розглядати її в розрізі парку конкретного господарства, то для забезпечення реалізації власних потреб дана техніка працює протягом сезону в середньому (в залежності від регіону) на збиранні колосових культур - 20...25 днів й соняшника - 10...15 днів, а далі (за домовленістю) у господарствах сусідніх регіонів за аналогічними термінами, працюючи безперервно по 16...20 год. на добу. Фактично протягом року комбайни мають тривалий термін їх фактичного застосування - 90... 130 днів, забезпечуючи робочий процес з другої декади липня по третю декаду листопаду включно. При цьому середньорічне напрацювання оцінене в період з 2015 р. по 2023 р. (за часом роботи їх ДВЗ) усереднено склало 485...650 мото-год.

Поступове збільшення обсягів напрацювання зменшує рівень надійності комбайнів й призводить до появи несправностей та поломок, інтенсивність яких лише підвищується. Враховуючи той факт, що більшість комбайнів працюють із перевищенням регламентованих нормативами виробників рівнів напрацювань, інколи на 20%...50% впродовж одного сезону, рівень їх надійності стрімко падає

як й ресурсні показники. Так, для зернозбиральних комбайнів вироблених відомими світовими машинобудівними концернами, встановлений нормативний ресурс комбайнів оцінюється 3 тис. мото-год., які повинні бути забезпечені за 10 років їх експлуатації. Порівнюючи показники надійності цієї групи машин, слід відмітити, що їх коефіцієнт надійності, що визначає ймовірність появи складної відмови у гарантійний період (перший рік експлуатації) в середньому складає $K_{від} = 0,95...0,99$, натомість як у комбайнів «Дон-1500Б» - лише $K_{від} = 0,79$.

Оцінюючи й порівнюючи наробітки комбайнів на відмову можна відзначити, що у закордонних комбайнів вони становлять 110,0...240,0 мото-год., натомість як у вітчизняних - у 4...6 разів нижче. Не на користь іноземної техніки можна віднести підвищені витрати на запасні частини й оплату сервісних й ремонтних робіт. Так, у відповідності до встановлених Євросоюзом нормативів, фактичні витрати на ТО і Р зернозбиральних комбайнів зростають із збільшенням їх наробітку й становлять із розрахунку на 1,0 оброблений гектар: при 200,0 га - близько 8,0 євро, при 1000,0 га – 18,0 євро, при 2000,0 га – вже 28,8 євро, а при 2500,0 га – 34,5 євро, що у порівнянні із початковими витратами є більшими у майже 4,5 рази. Така регламентована структура витрат обумовлює значні загальні сукупні витрати на ТО і Р комбайнів за весь встановлений експлуатаційний період визначений 10,0 тис. год. загального виробітку - близько 80,0% від вартості придбання нової аналогічної техніки.

В умовах відсутності в Україні розгалуженої мережі фірмових (дилерських) підприємств з проведення ТО і Р комбайнів, із врахуванням високих показників вартості даного виду робіт й відсутності у малих агропідприємств коштів на їх проведення, реальні витрати на підтримання технічного стану комбайнів у експлуатаційних умовах можуть бути вищими у 1,5...2,5 рази.

Оприлюднені дослідження, які свідчать, що серед основних причин збільшення рівня відмов найбільш відповідальних систем комбайнів марок «CASE» й «New Holland» зафіксованих у 2016...2022 роках, було визнано порушення регламенту їх ТО за низької якості використаного палива та ПММ (паливо-мастильних матеріалів). Дана ситуація є характерною й для комбайнів інших виробників та визначається низькою кваліфікацією виробничого персоналу

сервісних підрозділів господарств, відсутністю у господарствах спеціалізованого інструменту та обладнання, оригінальних запасних та відповідної дилерської технічної документації, яка встановлює чітку специфіку виконання робіт із діагностування, регулювання, ТО і Р для конкретної марки й моделі комбайна.

Не є виключенням й техніка потужних агровиробників, яка обслуговується у наявних в Україні дилерських центрах. Враховуючи малу кількість таких підприємств та їх нерівномірність розміщення по регіонах, доволі частими є випадки появи наднормативних простоїв з-за підвищеної завантаженості персоналу та підвищених часових термінів очікування знаходження фірмових запасних частин від фірм-постачальників.

Для оцінки рівнів надійності найбільш відповідальних систем та механізмів зернозбиральних комбайнів були проведені порівняльні дослідження результати яких представлені на рис. 2.3 та рис. 2.4.

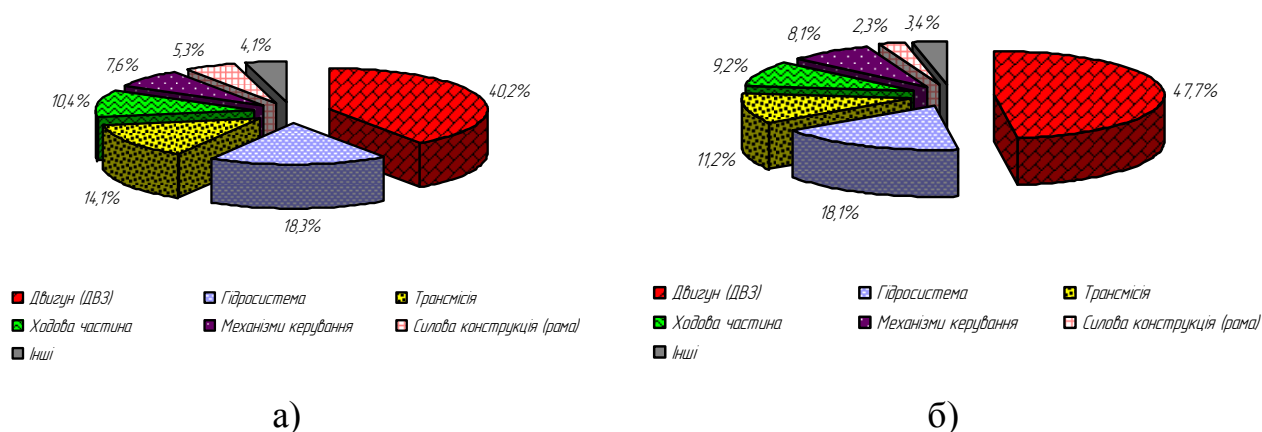


Рисунок 2.3 – Характер появи відмов вітчизняних комбайнів:

а – «ДОН-1500»; б – «КЗС-9-1 Славутич»

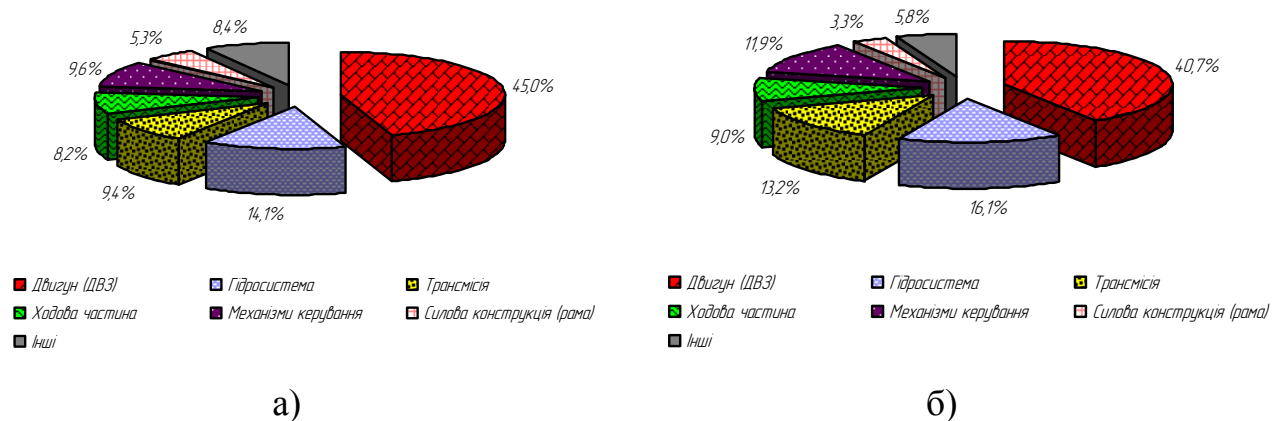


Рисунок 2.4 - Характер появи відмов комбайнів іноземного виробництва:

а – «John Deere»; б – «New Holland»

В цілому, досягнення комбайнами допустимих рівнів ефективності роботи, що визначається їх економічними показниками, вимагає досягнення ними рівнів сезонних виробітків не менше як 160,0 мото-год., при забезпеченні рівнів продуктивності не нижче за 2,5 га/год., сезонного виробітку близько 400,0 га, середнього намолоту – понад 1600,0 т при також усередненому рівні врожайності зернових культур – не нижче 4,0 т/га.

Забезпечення таких показників вимагає підвищення ефективності проведення операцій ТО і Р комбайнів із залученням до їх експлуатації (керування) кваліфікованих сертифікованих механізаторів, які здатні не лише раціонально й правильно організовувати роботу машин, а й мати навички оцінки поточного технічного стану й своєчасного виявлення відхилень у роботі систем, вузлів і механізмів задля попередження появи відмов та своєчасного проведення сервісних дій. Лише за таких умов можна компенсувати витрати господарства на проведені сервісі роботи за рахунок наступної інтенсивної експлуатації, при збереженні та підвищенні рівня продуктивності й скорочення термінів збирання врожаю.

Вирішення означеної проблеми потребує застосування комплексного підходу до контролю найважливішого фактору – експлуатаційного рівня надійності комбайнів одними із показників якого є безвідмовність.

Характеризуючи безвідмовність машин розрізняють різні групи відмов за механізмом їх появи: обумовлені безпосередньо порушеннями технологічного процесу та відмови, що виникають через конструктивну та/або виробничу недосконалість комбайнів. В свою чергу, за рівнем складності усунення наслідків відмови класифікують за трьома групами. Першу групу складають найбільш прості відмови, усунення яких у експлуатаційних умовах проводиться безпосередньо їх операторами - комбайнерами. Усунення відмов 2-ої групи потребує у працівників наявності спеціальних технічних знань й технологічного обладнання (інструменту, вимірювальних та контрольних приладів, запасних частин та витратних матеріалів). Відмови же 3-ох супроводжуються виходом із ладу базових деталей та вузлів відповідальних систем комбайнів; відновлення яких проводиться із виведенням комбайнів з робочого процесу у спеціалізованих майстернях й передбачає виконання діагностичних, розбирально-складальних та

випробувальних операцій, заміни зношених або пошкоджених деталей, вузлів і механізмів [9, 10, 11].

Практика забезпечення показників надійності комбайнів, тракторів та іншої с.-г. техніки й машин показує, що найбільш актуальною проблемою сьогодення для більшості агропромислових підприємств нашої країни є оновлення технологічної бази сервісних підрозділів, так як фактично 75% зернозбиральних комбайнів вже відпрацювали встановлений ресурс й здатні забезпечити працездатний стані лише за рахунок збільшених обсягів ТО і Р. Особливо це стосується вітчизняної техніки, яка нажаль має підвищені рівні втрат зернового фонду обумовлені збільшеними рівнями простоїв комбайнів під час проведення позапланових ремонтів (рис. 2.5).

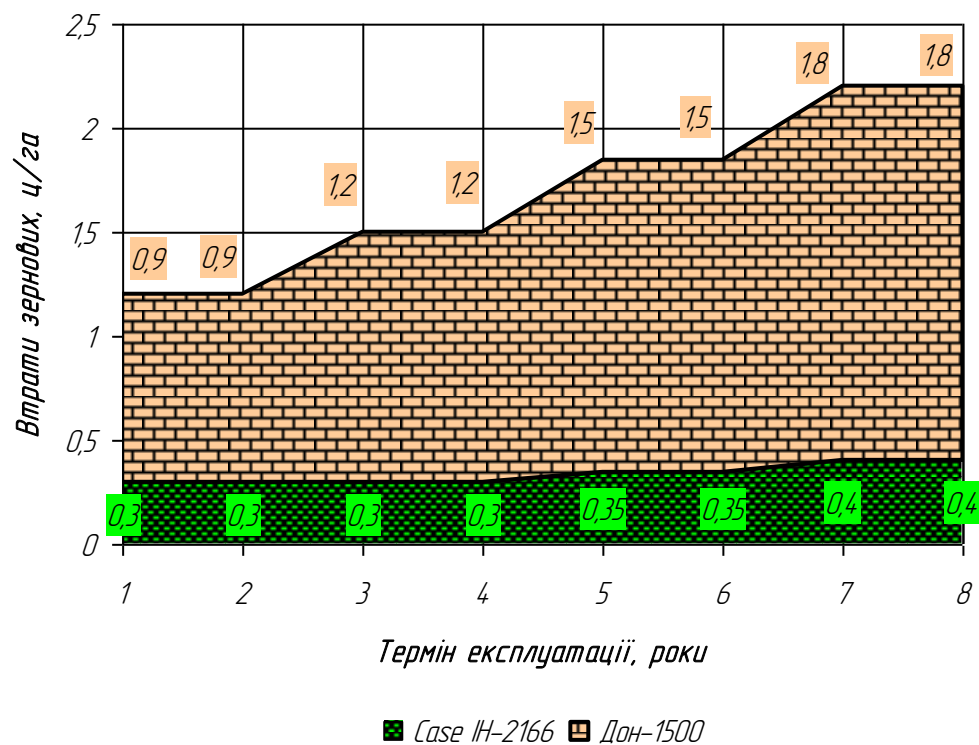


Рисунок 2.5 – Динаміка зміни обсягів втрати зерна під час позапланових простоїв комбайнів у ремонті

Дана діаграма свідчить, що рівень організації ТО і Р для будь-якого с.-г. підприємства яке вирощує й реалізовує зернові культури, є особливо важливим. Нажаль, комбайни старої конструкції із експлуатаційними термінами понад 20 років не відрізняються достатніми показниками надійності й забезпечують наробіток на відмову, який не перевищує й 20,0 год. Щороку такі зернозбиральні комбайни вимагають проведення ремонтних дій, які в цілому по країні

оцінюються у додаткові 2,5 млрд. грн. та потребують різного виконання складних ремонтних операцій.

Достатнім же рівнем надійності за показником довговічності складної сільськогосподарської техніки, до якої належать зернозбиральні комбайни, прийнято вважати величину середнього наробітку на відмову 140,0...180,0 год., що може бути забезпечена при дотриманні 3%-го часового ліміту перебування їх у простоях. Дійсні фактичні показники надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів, є набагато гіршими - за даними аналітиків галузі вони складають 14,0...42,0 год., що відповідає 15,0%...35,0% часу знаходження комбайнів у простоях.

Визначена проблематика вимагає вироблення системного підходу до її розв'язання за умови усунення виявлених вже зараз протиріч між рівнем старіння наявного в країні парку комбайнів й забезпеченістю господарств власними структурами з ТО і Р, які повинні динамічно змінювати параметри забезпечуючи максимальну можливість відновлення технічного стану машин, рівень деградації яких буде лише збільшуватися.

З урахуванням виконаного у розділі аналізу можна підкреслити, що сучасні умови експлуатації парку старіючих зернозбиральних комбайнів і можливі умови розвитку ТО і Р формують можливості розробки нових більш ефективних шляхів підвищення довговічності наявного парку зернозбиральних комбайнів. Це дозволить забезпечити й серйозні перспективи для розвитку національних виробників цієї техніки та комплектуючих до неї.

2.3 Аналіз основних наукових методів забезпечення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів

Попередніми дослідженнями встановлено, що забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності складної с.-г. техніки є досить важливою задачею. Її вирішення залежить не стільки від, й так високого на поточний час, рівня проектування комбайнів, а й визначається досвідом багаторічної експлуатації даних машин й їх систем, який включає такі фактори як: дія людського фактору, необхідність прийняття рішень в обмежених часових термінах, технічних можливостей реалізації потрібних заходів та наявності

фінансової підтримки їх реалізації.

Структурно, більшість с.-г. машин (тракторів й комбайнів) складаються із послідовних з'єднань елементів, що зумовлює зниження загального рівня їх надійності системи за умови відсутності або недостатніх обсягів застосування спеціальних заходів щодо її підвищення (рис. 2.6).

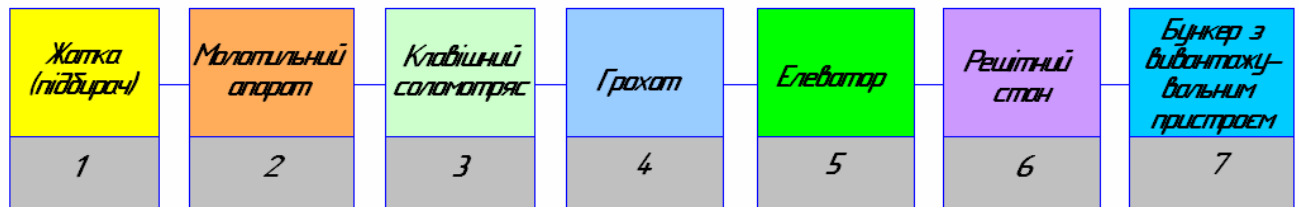


Рисунок 2.6 - Структурна схема послідовного забезпечення показників надійності комбайну

На сьогодні задля забезпечення проектних показників надійності СТС розроблено дві основні концепції: 1) підвищення рівня надійності існуючих структурних елементів СТС та 2) застосування у СТС нових конструктивних рішень. Характеризуючи кожен з цих концепцій слід відмітити, що на поточний час вони мають різні ступені практичного застосування (поширення).

Так, перша є більш затребуваною, вона включає низку різних методів підвищення надійності, в більшості тих структурних елементів, які в більшій мірі визначають й впливають на загальну надійність машини. Прикладами реалізації даної концепції є зміцнення робочих поверхонь деталей різними методами й технологіями, вибір яких ґрунтується на використанні найбільш раціональних матеріалів і технологій для поверхонь конкретних деталей із врахуванням особливостей й режимів їх експлуатації.

Інша концепція забезпечення надійності СТС передбачає розробку таких структурних елементів, які б були здатні забезпечити потрібний рівень надійності машини при мінімальних рівнях витрат. Такий підхід визначає необхідність творчого пошуку оптимальних конструкторських рішень при застосуванні аналітичних методів оцінки показників надійності системи, що технічно забезпечується методиками графічного моделювання динаміки зміни стану системи й визначенням величин ймовірностей перебування їх у певному стані (працездатному, робочому, непрацездатному, граничному тощо).

Прикладом реалізації даної концепції є галузь електроніки, яка застосовує схемні рішення й елементну базу, що дозволяє забезпечувати більш адаптивну реалізацію певних видів резервувань. Механічні же СТС, такі як зернозбиральні комбайни, характеризуються більш архаїчним підходом до забезпечення надійності та удосконалення власної структури; разом з тим й для них можна застосовувати певну різноманітність рішень.

Концептуально, процес створення нового більш сучасного покоління с.-г. машин, не можна уявити без врахування аналізу роботи й виявлених експлуатаційних недоліків машин попередньої генерації.

При цьому, загальна методика оцінки та розрахунку проектних рівнів показників надійності вже існуючих СТС передбачає послідовне провадження наступних етапів: оцінку експлуатаційних умов та рівнів навантажень системи; визначення кількісних оціночних показників системи; поділ системи на окремі функціонально залежні між собою структурні елементи; розробку функціональних схем; оцінку показників надійності структурних елементів й виявлення ймовірності знаходження їх у певних станах у будь-який часовий момент; визначення загальної ймовірності системи в залежності від поточних станів структурних елементів; виконання загальної оцінки показників надійності системи при всіх можливих її станах.

Можливість побудови моделей надійності, що адекватно й із достатньою точністю описують поведінку СТС, базується на статистичних закономірностях втрати її працездатності, після проведеного аналізу ймовірнісних станів окремих структурних елементів. Це є основою для формування напрямків підвищення надійності, що передбачає підвищення рівня ймовірності здійснення безвідмовної роботи окремих елементів, структурної оптимізації елементів за критеріями надійності та дослідження ймовірностей станів елементів задля введення елементів резервувань (активного й пасивного). Кінцевою же метою виконання таких досліджень є розробка машин із елементами, які характеризуються рівними ресурсами та мають спільну задачу – мінімізувати експлуатаційні витрати на ТО і Р.

Апарат математичного моделювання дає можливість проведення оцінки надійності комбайнів ще на етапі їх конструювання, забезпечуючи можливість

вибору варіантів їх структурної побудови та планування у майбутньому необхідних операцій ТО і Р.

При моделюванні показників надійності таких СТС застосовують аналітичний, статистичний або фізичний способи відображення подій, які замінюють їх за здатністю формування й реалізації показників надійності, тобто дають достатній рівень інформації щодо надійності об'єкта, що досліджується.

Більш точний опис моделлю реального об'єкту (машини), формує його краще відображення за показниками надійності. Разом з тим, підвищення точності моделювання призводить до ускладнення самої моделі, що визначає необхідність досягнення компромісу між достатньою точністю моделювання й створенням доступних для раціональної реалізації моделей.

Моделі надійності можна класифікувати за відповідними критеріями (рис. 2.8), як параметричними, так й визначені у термінах відмов елементів СТС. Перші базуються на уявленні вихідних показників в якості випадкових функцій, що залежать від зміни вхідних змінних параметрів надійності її елементів у експлуатаційних умовах. За таких умов формування параметричних функціональних відмов описуються за параметром, що виходить за межі допустимого.

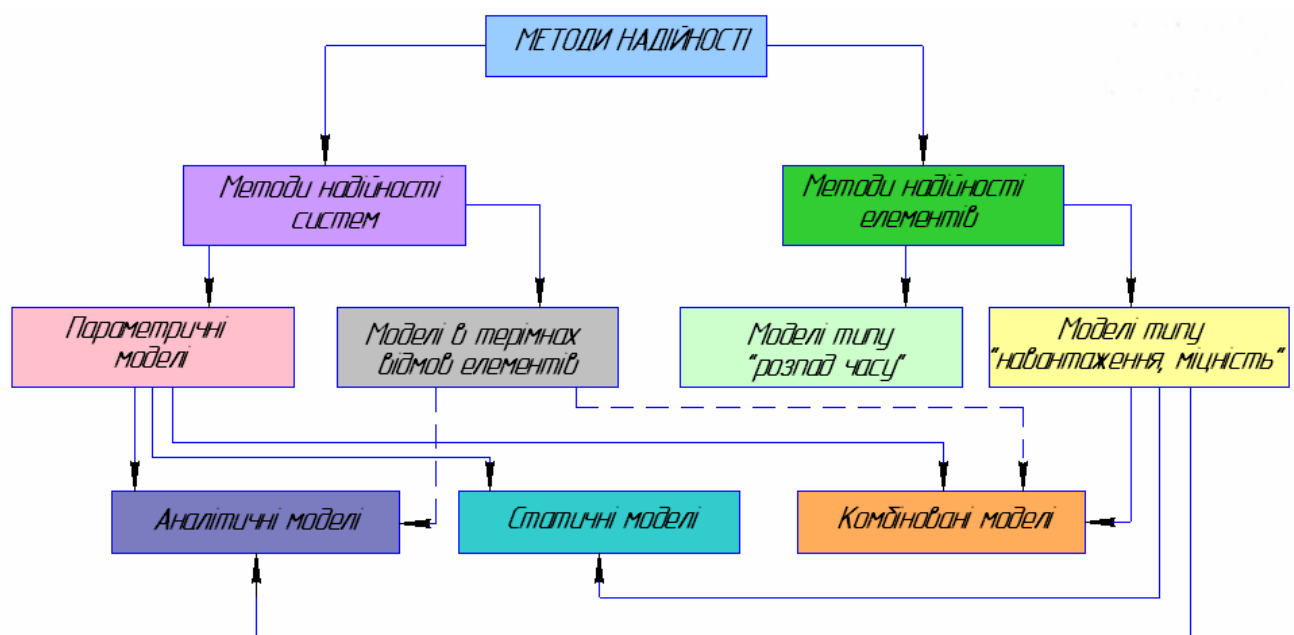


Рисунок 2.7 - Класифікація видів існуючих моделей надійності СТС

Активними факторами підтримки необхідного рівня надійності системи є експлуатаційно-технічні, пов'язані з періодичністю проведення регламентних

робіт з обслуговування і ремонту техніки в разі такої необхідності.

Другу групу експлуатаційних факторів, що обумовлені дією навантажень, впливом середовища й експлуатаційними умовами, навпаки, спрямовано на формування відмов елементів та системи в цілому.

У цілому модель, що описує надійність систем, можна представити у неявному вигляді наступним чином:

$$H = \Phi[F(r_i, \tau_i, N), U(r_i, \tau_i, \delta, T_c, T_n, N)], \quad (2.1)$$

де H - показник надійності системи, що досліджується;

$F(r_i, \tau_i, N)$ - функціональне представлення структури системи взаємозв'язків елементів впродовж певного часового відрізка τ_i ;

r_i - показник надійності i -го елементу;

N - число елементів у СТС;

U - оператор, що враховує ступінь впливу керованих експлуатаційних факторів на рівень надійності системи;

δ - об'єм робіт з ТО і Р системи;

T_n - період проведення ТО і Р системи;

T_c - час зниження рівня готовності системи під час виконання ТО і Р.

Практичні методи оцінки надійності СТС, що характеризуються властивістю до відновлення, має певні складнощі. Їх реалізація зумовлює необхідність визначення законів розподілів часів безвідмовної роботи та проведення відновлювальних дій.

Математичні рішення із визначення основних характеристик надійності включають функції готовності системи й ймовірності її безвідмовної роботи у часовому періоді, що розглядається. Допоміжними характеристиками надійності прийнято вважати частоту відмов й середнє напрацювання СТС та її елементів на відмову. В більшості такі дослідження відповідають усталеним умовам експлуатації за умови проведення постійного моніторингу стану систем й не можуть бути використані при розробці математичних моделей із врахуванням процесів припрацювання й деградації систем.

При цьому, профілактика й своєчасне проведення ТО комбайнів й їх систем

є обов'язковим до виконання. Натомість, реалізація цього напрямку при підтримці необхідного рівня надійності поки що широко не застосовується. Саме тому, доцільним є розробка примусових методів ведення профілактичних робіт на складній с.-г. техніці. Таким підходом передбачено насамперед вивчення накопичень пошкоджень у системах й підсистемах комбайнів й на підставі цього - розробку системи оптимального їх сервісу, яка б забезпечувала унеможливлення появи більш складних й серйозних пошкоджень даного виду машин.

Підсумовуючи слід відмітити, що проведений в даному розділі аналіз дозволив встановити необхідність вирішення комплексу задач пов'язаних із удосконаленням конструкцій комбайнів, оптимізацією роботи сервісних підрозділів, підвищення рівня кваліфікації виробничого персоналу задля підвищення рівня експлуатаційної надійності комбайнів.

При цьому опис змін параметрів надійності зернозбиральних комбайнів із збільшенням їх напрацювань, доцільно проводити із застосуванням методів стохастичного математичного моделювання, в яких вирішальна роль відводиться описанню функціонування техніки за допомогою структурного аналізу.

Розділ 3.

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

3.1 Теоретичні передумови формування взаємозв'язків в системі адаптованого сервісу комбайнів

Основною задачею досліджень даного розділу є пошук взаємозв'язку між надійністю комбайнів, що визначається за функцією його готовності до виконання функціонального призначення при накопиченні експлуатаційних пошкоджень, й необхідного рівня забезпеченості якісних показників підрозділу з ТО і Р, що реалізує здатність комбайнів й надалі забезпечувати необхідний рівень їх працездатності.

Структурна схема зернозбиральних комбайнів (наведена на рис. 2.6 попереднього розділу) передбачає наявність наступних основних структурних систем й механізмів, а саме: жатки, молотильного апарату, соломотрясу, грохоту, елеваторів, решітного стану й бункеру оснащеного пристроєм для вивантажування зерна [9]. Як вже зазначалося, застосована в його конструкції послідовна схема з'єднання структурних елементів суттєво впливає на загальний рівень надійності комбайна, знижуючи його. Кожний із означених елементів, накопичуючи експлуатаційні пошкодження втрачає початкову працездатність, що викликане природнім зношуванням поверхонь деталей, їх втомленості, коронування та інших негативних процесів. При цьому фізична й хімічна природа процесів може бути різною, однак для кожної із підсистем при описанні її поведінки, притаманний процес старіння із поступовим збільшенням інтенсивності відмов $\lambda(t)$.

За таких умов ймовірність безвідмовної роботи в загальному вигляді описується залежністю:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (3.1)$$

де $P_i(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи складових елементів комбайна;

$i = 1..n$ - номер елементу системи.

Саме таке з'єднання є основним й характеризує механічні системи. Разом з

тим, саме воно є найменш надійним із усіх можливих варіантів.

На рис. 3.1 представлені варіанти переходу жатки комбайна у різні можливі стани визначені графами переходів, що схематично зображують реальні експлуатаційні стани комбайну в процесі збирання врожаю й під час ТО і Р. Траєкторія поведінки системи носить стохастичний характер й складається із композиції потоків випадкових подій. Сам потік враховує не тільки сукупність можливих станів, що визначені дією потоків відмов й сервісу, а й проявляє зв'язки між різними станами, що візуалізуються направленостями подій й інтенсивністю їх проявів.

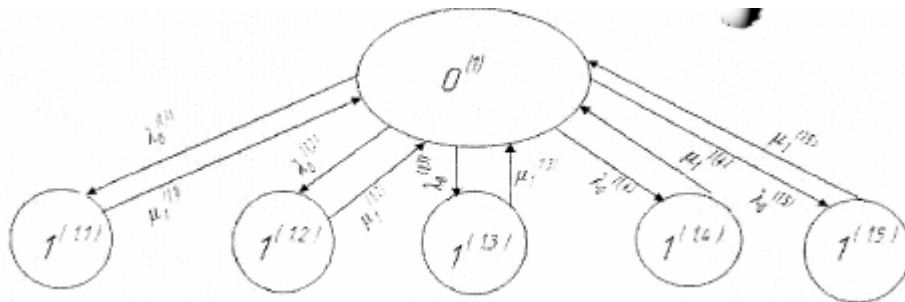


Рисунок 3.1 - Варіанти переходів жатки комбайну в різні стани при втраті нею працездатності й наступному ремонті

На цій схемі (див. рис. 3.1) працездатний стан жатки позначений "0", натомість як поява її відмови - "1". Інтенсивність відмови характеризується λ із верхнім індексом, що відображає номер елементу системи, що спричинив появу відмови, а нижній індекс – зазначає перехід із працездатного стану у непрацездатний. Отже, інтенсивність ремонтних дій позначена μ із верхнім індексом (визначає номер елементу системи), натомість як нижній індекс – вказує на перехід із непрацездатного стану у працездатний.

У відповідності до прийнятої конструктивної схеми молотильного апарату комбайну (див. рис. 2.6) й складеної схеми його надійності (див. рис. 3.1) можна стверджувати, що така структурна система як «молотильний апарат» характеризується значною сукупністю елементів (багатоелементністю). Разом із тим, всі елементи цієї підсистеми можна співвіднести (згрупувати) за конструктивними ознаками й технологічними операціями, що ними виконуються й створити іншу структуру (граф) переходів (рис. 3.2).

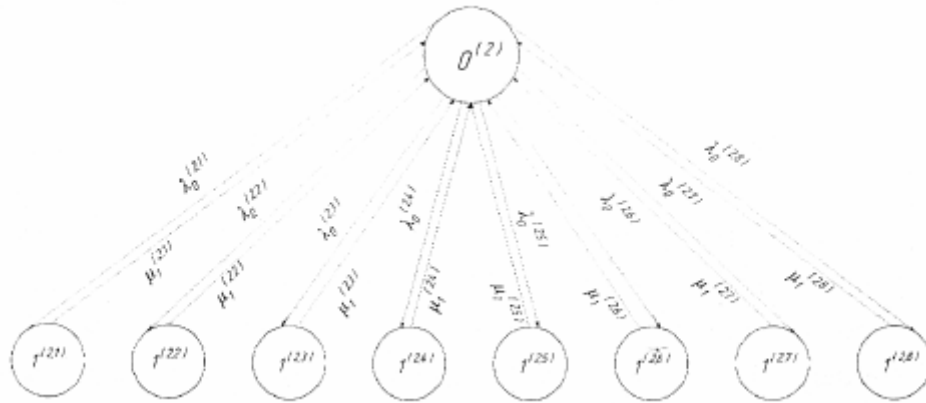


Рисунок 3.2 - Варіанти переходів молотильного апарату у різні можливі стани

Проблема підтримки необхідного рівня показників надійності комбайнів в експлуатаційних умовах ускладнюється постійною зміною їх технічного стану. Машина поступово втрачають свій початковий (конструкторський) рівень технічної готовності до виконання планових робіт. Ці явища є природними й закономірними й інтенсифікуються із збільшенням їх наробітку й експлуатаційних термінів. Уповільнення процесів зниження рівня надійності та технічної готовності забезпечується або за рахунок удосконалення їх конструкцій, або за умови своєчасного й кваліфікованого виконання робіт з ТО і Р. застосовуючи такі механізми, забезпечується підтримка необхідного рівня надійності комбайна та забезпеченням ним ефективного виконання робіт із збору рослинної с.-г. продукції у короткі агростроки.

Для більшості структурних елементів зернозбиральних комбайнів (їх підсистем) типовою є ситуації пов'язані з погіршенням показників надійності й поступовим збільшенням інтенсивностей появи відмов. Для описання потоків відмов для таких випадків не може бути описано марківським випадковим процесом, який передбачає наявність переходів систем у різні можливі (працездатні або непрацездатні) стани.

Саме тому, доцільним є виконання опису поведінки таких СТС за рахунок введення додаткових фіктивних станів та заміни немарківських процесів на марківські, що може дещо ускладнити математичний опис поведінки таких систем через появу збільшеної кількості можливих станів.

Отже, реалізація даного підходу вимагає встановлення функції готовності

механічних СТС, рівень надійності яких поступово знижується із збільшенням термінів експлуатації за умови, що підрозділи з ТО і Р повинні й здатні змінювати рівень власного потенціалу.

Так званий граф станів й переходів СТС, які характеризуються зменшенням часу наробітку на відмову та збільшенням інтенсивності появи відмов (старіючі системи) при сталих показниках якісного рівня сервісного підрозділу представлено на рис. 3.3.

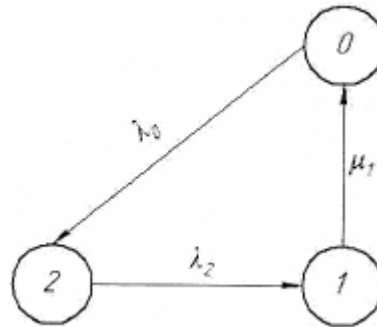


Рисунок 3.3 – Варіанти станів й переходів СТС, що характеризується підвищенням рівня інтенсивності появи відмов:

"0" - працездатний стан; "1" - непрацездатний стан (ремонт); "2" - проміжний (фіктивний) стан; $\lambda_0, \lambda_2, \mu_1$ - інтенсивності переходів

У відповідності до представленого на рис. 3.3 графу станів й переходів, були складені диференціальні рівняння динамічного балансу:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0(t) = -\lambda_0 P_0(t) + \mu_1 P_1(t); \\ \frac{d}{dt} P_1(t) = -\lambda_2 P_2(t) + \mu_1 P_1(t); \\ \frac{d}{dt} P_2(t) = -\lambda_0 P_0(t) + \mu_2 P_2(t). \end{cases} \quad (3.2)$$

Умова нормування для СТС, що обов'язково знаходяться у одному із можливих станів, записується наступним чином:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1. \quad (3.3)$$

За початкову умову доцільно прийняти ситуацію, за якої СТС розпочинає власну роботу та характеризується справним станом, отже часом $t = 0$ й $P_0(t) = 1$. В такому разі, при підстановці початкової умови до рівняння й виконанні ряду перетворень Лапласа (другого рівняння системи) й із урахуванням нормуючої

умови (3.2), маємо:

$$\begin{cases} (S + \lambda_0)\varphi_0(S) - \mu_1\varphi_1(S) = 1; \\ (S + \mu_1)\varphi_1(S) - \lambda_2\varphi_2(S) = 0; \\ S\varphi_0(S) + S\varphi_1(S) + S\varphi_2(S) = 1. \end{cases} \quad (3.4)$$

Розв'язання системи рівнянь (3.4) по відношенню до невідомої виконане у відповідності до правила Крамера дозволяє записати:

$$\varphi_0(S) = \frac{S^2 + (\mu_1 + \lambda_2)S + \mu_1\lambda_2}{S[S^2 + (\mu_1 + \lambda_0 + \lambda_2)S + \lambda_0\mu_1 + \lambda_2\lambda_0]}. \quad (3.5)$$

Застосовуючи до отриманого рівняння процедуру зворотного перетворення Лапласа отримаємо вираз для визначення працездатного стану та ймовірності перебування СТС в ньому:

$$P_0(t) = \frac{\mu_1\lambda_2(S_2 - S_1)}{S_1S_2^2 + S_1^2S_2} \exp[-S_3 \cdot t] - \frac{\mu_1 - \lambda_2(1 - S_1^2)}{S_1(S_2 - S_1)} \exp[-S \cdot t] + \frac{\mu_1\lambda_2(\mu_1 + \lambda_2)S_2 + S_2^2}{S_2^2 - S_1S_2} \exp[-S \cdot t] \quad (3.6)$$

Таким чином, ми встановили функцію готовності системи, що знижує свій рівень надійності при збільшенні рівня інтенсивності появи відмов. Граничними значеннями коефіцієнта готовності є початок експлуатації при $t = 0$. Тоді, виходячи із рівняння, коефіцієнт готовності після спрощень й перетворень визначається як:

$$K_{zo} = \frac{\mu_1\lambda_2}{S_1} \left(\frac{S_2 - S_1}{S_2^2 - S_1S_2} - \frac{1 - S_1^2}{S_2 - S_1} + \frac{S_1}{S_2^2 - S_1S_2} \right) + \frac{\mu_1 + \lambda_2 + S_2}{S_2 - S_1}. \quad (3.7)$$

Другим крайнім випадком є виявлення поведінки коефіцієнта готовності СТС при $t \rightarrow \infty$. Виконуючи аналіз рівняння (3.7), можна отримати нескінченні й протилежні значення другої та третьої складової. В такому разі величина коефіцієнта K_{zo} СТС обмежується першим її членом:

$$K_{zo}(t \rightarrow \infty)_{стац} = \frac{\mu_1\lambda_2(S_2 - S_1)}{S_1S_2^2 - S_1^2S_2} \quad (3.8)$$

Отримане рівняння характеризує стаціонарне значення K_{zo} , до якого асимптотично прямує система за умови необмеженого збільшення часу її експлуатації.

Порівняння значень коефіцієнтів готовності (K_{zo}) на початку роботи й асимптотичного наближеного до стаціонарної величини дає розуміння, що перша

величина є більшою за другу. Тобто функція K_{zo} має тенденцію до падіння, й його значення поступово зменшуються від початку експлуатації СТС до стаціонарної величини. Графічно, описана динаміка зміни K_{zo} зображена на рис. 3.4.

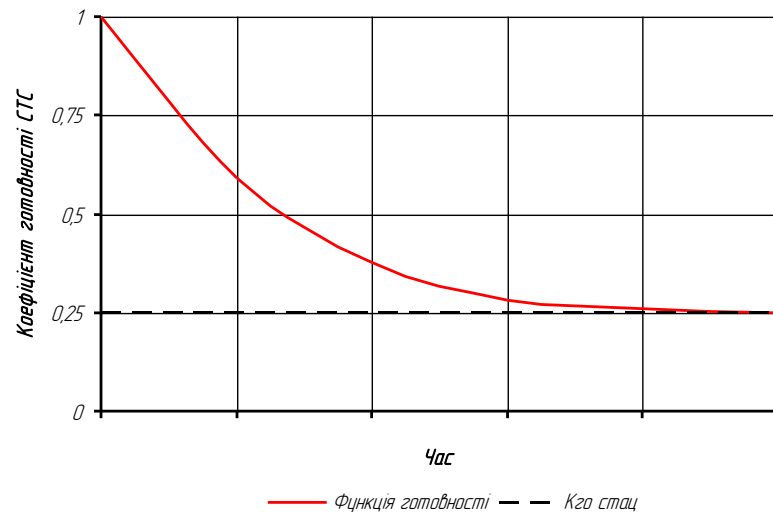


Рисунок 3.4 – Динаміка зміни K_{zo} СТС, що поступово втрачають власну працездатність

Готовність механічних систем при накопиченні пошкоджень описується нелінійною функцією $K_{zo}(t)$. Максимальна величина $K_{zo}(t)_{max}$ відповідає початку роботи СТС при $t = 0$ із поступовим асимптотичним його наближенням до стаціонарної величини $K_{zo\text{стац}}(t \rightarrow \infty)$.

Реальні експлуатаційні умови роботи СТС не дозволяють зберегти стабільними показники технічного стану комбайнів. Так, на першому етапі (у перші роки) відмічається певне зменшення інтенсивності появи відмов, що обумовлюється усуненням «дрібних» виробничих недоліків й виявленням «прихованих» дефектів окремих деталей, натомість як у наступні експлуатаційні періоди потік відмов поступово але неминуче збільшується, й максимальної інтенсивності набуває у кінцевий період.

Іншим вагомим фактором, що здійснює негативний вплив на показники надійності комбайнів є несвоєчасність проведення й недостатність обсягів виконаних робіт з ТО і Р.

Граф переходів, який враховує значні напрацювання підсистем комбайнів та погіршення характеристик підрозділів з ТО і Р наведений на рис. 3.5.

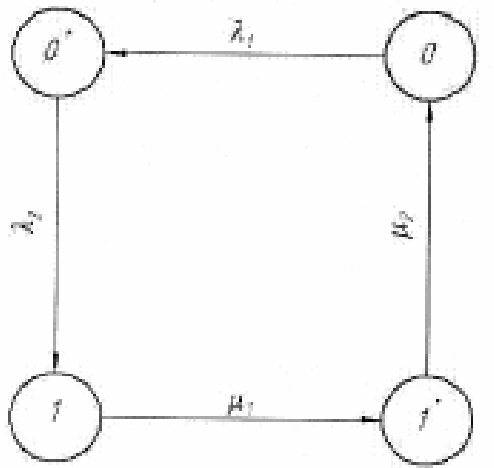


Рисунок 3.5 - Граф станів і переходів який враховує значні напруцювання підсистем комбайнів та погіршення характеристик підрозділів з ТО і Р:

"O" - працездатний стан; "I" - непрацездатний стан; "I'" - фіктивний непрацездатний стан; "O'" - фіктивний працездатний стан; λ_1 - інтенсивність переходу з працездатного стану у фіктивний працездатний; λ_2 - інтенсивність переходу із фіктивного працездатного стану у непрацездатний; μ_1 - інтенсивність переходу із непрацездатного стану у фіктивний непрацездатний; μ_2 - інтенсивність переходу із фіктивного непрацездатного у працездатний.

Для такої системи, диференційні рівняння що описують динамічний баланс ймовірностей її станів мають вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0(t) = \mu_2 P_1(t) - \lambda_1 P_0(t); \\ \frac{d}{dt} P_0'(t) = \lambda_1 P_0(t) - \lambda_2 P_0'(t); \\ \frac{d}{dt} P_1(t) = \lambda_2 P_0'(t) - \mu_1 P_1(t); \\ \frac{d}{dt} P_1' = \mu_1 P_1(t) - \mu_2 P_1'(t). \end{cases} \quad (3.9)$$

А умова нормування виглядає як:

$$P_0(t) + P_0'(t) + P_1(t) + P_1'(t) = 1. \quad (3.10)$$

Від попередньої моделі дана СТС відрізняється наявністю чотирьох алгебраїчних рівнянь, що утворюють математичну модель надійності в контексті динаміки старіння не лише комбайнів, а й підрозділів із забезпечення їх ТО і Р.

Застосовуючи перетворення Лапласа наведена система диференційних рівнянь набуває вигляду:

$$\begin{cases} S \cdot \varphi_0(S) = -\lambda_1 \varphi_0(S) + \mu_2 \varphi_1(S) + 1; \\ S \cdot \varphi'_0(S) = \lambda_1 \varphi_0(S) - \lambda_2 \varphi'_0(S); \\ S \cdot \varphi'_1(S) = \lambda_2 \varphi'_0(S) - \mu_1 \varphi_1(S); \\ S \cdot \varphi_0(S) = +S \cdot \varphi'_0(S) + S \cdot \varphi_1(S) + S \cdot \varphi'_1(S) = 1 \end{cases} \quad (3.11)$$

Визначник (детермінант) даної системи рівнянь можна отримати за допомогою коефіцієнтів при невідомих, отже:

$$\Delta = \begin{vmatrix} (S + \lambda_1) & 0 & 0 & -\mu_2 \\ -\lambda_1 & (S + \lambda_2) & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda_2 & (S + \mu_1) & 0 \\ S & S & S & S \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}. \quad (3.12)$$

У відповідності до правила Крамера невідомі $\varphi_i(S)$ визначаються наступними співвідношеннями:

$$\varphi_0(S) = \frac{\Delta_0}{\Delta}; \quad \varphi'_0(S) = \frac{\Delta'_0}{\Delta}; \quad \varphi_1(S) = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad \varphi'_1(S) = \frac{\Delta'_1}{\Delta}. \quad (3.13)$$

Визначення величини Δ , що розміщується у знаменниках даних виразів, вимагає розв'язання виразів (3.11) із пониженням його рангу на один порядок (з 4-го до 3-го). Виконання даної дії при застосуванні правила Саррюса дозволяє знайти як визначник, так й встановити величини постійних. Виконання же зворотного перетворення Лапласа забезпечує встановлення залежності оціночних коефіцієнтів K_{zo} та K_ϵ :

$$K_{zo}(t) = \frac{\lambda_2 \mu_1}{S_3 S_4} + \left[1 - \frac{\lambda_2 \mu_1}{S_3 S_4} - \frac{\mu_1 + \lambda_2 - S_4 - \frac{\lambda_2 \mu_1}{S_4}}{S_3 - S_4} \right] \exp(-S_3 t) + \frac{\mu_1 + \lambda_2 + S_4 - \frac{\lambda_2 \mu_1}{S_4}}{S_3 - S_4} \exp(-S_4 t) \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} K_\epsilon(t) = & 2 \frac{\mu_2 \lambda_1 \lambda_2}{2 S_3 S_4} - \left[\frac{\lambda_1 \lambda_2 + \frac{\mu_2 \lambda_1 \lambda_2}{S_3 S_4} (S_4 + S_3 - 1)}{1 + S_3} - \frac{\mu_2 \lambda_1 \lambda_2}{S_3 S_4} \right] \exp[-S_3 t] + \\ & + \left[\frac{\lambda_1 \lambda_2 + \frac{\mu_2 \lambda_1 \lambda_2}{S_3 S_4} (S_4 + S_3 - 1)}{1 + S_3} \right] \exp[-S_4 t], \end{aligned} \quad (3.15)$$

де S_3 та S_4 - корені знаменників.

На початку експлуатації комбайна, що характеризується $t = 0$, з отриманих виразів (3.14) й (3.15) можемо записати, що $K_{zo}(t) = 1$ та $K_{\epsilon}(t) = 0$. Отриманий результат характеризує стан готовності та ремонту (простою) підсистем СТС до початку їх роботи. Відповідно, для цього часового моменту подальший відлік часу на ТО і Р ще не був розпочатий, а тому граничне значення K_{zo} наближене до максимального значення.

Іншим, важливим граничним значенням функцій готовності та ремонту можна вважати ймовірність працездатного стану та непрацездатного стану підсистем, за умови необмеженого збільшення часу їх експлуатації, тобто при $t \rightarrow \infty$. Поєднуючи функції готовності (3.14) й відмови (3.15) за вказаний часовий період, отримаємо вирази для визначення величин граничного значення функцій K_{zo} та K_{ϵ} :

$$K_{zo}(t \rightarrow \infty) = \frac{\lambda_2 \mu_1}{\lambda_2 \mu_1 + \lambda_1 \mu_1 + \lambda_1 \lambda_2 + \mu_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_2 + \mu_2 \lambda_1}, \quad (3.16)$$

$$K_{\epsilon}(t \rightarrow \infty) = \frac{\mu_1 \lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 \mu_1 + \lambda_1 \mu_1 + \lambda_1 \lambda_2 + \mu_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_2 + \mu_2 \lambda_1}. \quad (3.17)$$

Графічно функції готовності та ремонту (відновлення) СТС при погіршенні характеристик системи «СТС - підрозділи ТО і Р» зображено на рис. 3.6.

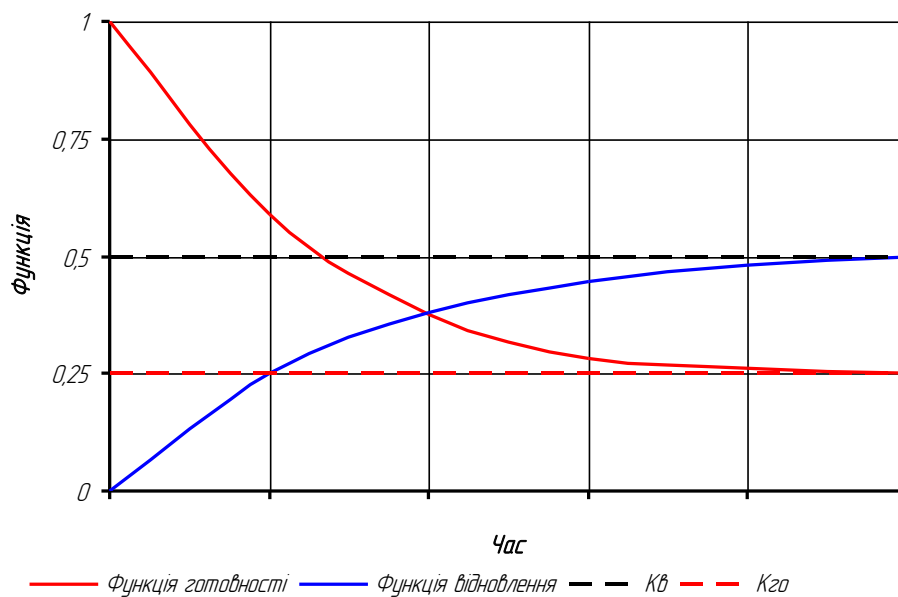


Рисунок 3.6 – Характер змін функцій готовності та ремонту (відновлення) для системи «СТС - підрозділи ТО і Р» при $t \rightarrow \infty$

Слід зауважити, що для значного експлуатаційного періоду, процес сталого зниження показників рівня надійності основних систем комбайнів є неминучим. Його тривалість може бути суттєво збільшена при недостатніх рівнях власного виробництва цієї техніки в Україні й затримки поставок з-за кордону. За таких обставин, відзначається неповна забезпеченість агрогосподарств МТП й зумовлює потребу у продовженні подальшої експлуатації наявної техніки понад граничні ресурсні показники.

Процес зношення комбайнів гальмується застосуванням підтримки їх технічного стану в результаті проведених операцій ТО і Р. Останніми роками в Україні спостерігається постійне збільшення кількості імпортованої с.-г. техніки та певний етап розвитку нових підприємств (підрозділів) з ТО і Р. Дилерський або фірмовий сервіс, застосовуючи нові технології обслуговування, вимагає наявності кваліфікованого персоналу й використання більш сучасного виробничого обладнання, насамперед діагностичного, що використовує передові комп'ютерні технології отримання й обробки діагностичних параметрів. Зміни в системі ТО комбайнів пов'язані й із підвищенням рівня енергонасичності комбайнів, широким використанням в їх конструкціях мехатронних систем й автоматизованих контролюючих модулів, що забезпечують унеможливлення виникнення перевантажень й раптових (аварійних) поломок.

Таким чином, виходячи із позицій системного аналізу показників надійності комбайнів, мною пропонується виконати подальшу оцінку ситуації, пов'язаної із поступовим зниженням технічного рівня комбайнів, натомість як потенційні можливості підрозділу з ТО і Р, що відповідальний за виконання їх обслуговування, навпаки - будуть зростати. Така ситуація передбачає знаходження обох підсистем в умовах змінних інтенсивностей перебігу подій, що формують свої відмінні потоки.

Граф станів й переходів таких зустрічно спрямованих потоків й зміни показників надійності підсистем комбайнів, що забезпечує можливість виконання математичного опису, представлено на рис. 3.7.

Диференційні рівняння балансу ймовірностей станів й переходів даної системи у відповідності до схеми наведеної на рис. 3.7 мають вигляд.

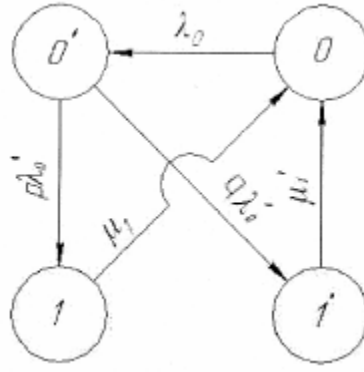


Рисунок 3.7 - Граф станів й переходів для СТС, показники яких падають й підрозділів з ТО і Р, характеристики яких зростають

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_0(t) = \mu_1 P_1(t) + \mu_1' P_1'(t) - \lambda_0 P_0(t); \\ \frac{d}{dt} P_0'(t) = \lambda_0 P_0(t) - p\lambda_0' P_0'(t) - q\lambda_0' P_0'(t); \\ \frac{d}{dt} P_1(t) = p\lambda_0' P_0'(t) - \mu_1' P_1'(t); \\ \frac{d}{dt} P_1'(t) = q\lambda_0' P_0'(t) - \mu_1' P_1'(t). \end{cases} \quad (3.18)$$

Умова нормування при цьому має вигляд:

$$P_0(t) + P_0'(t) + P_1(t) + P_1'(t) = 1. \quad (3.19)$$

Побудований граф станів й переходів допускає математичну формалізацію подій, що відбуваються з СТС та має два фіктивних стани, що відповідальні за зведення потоків відмов із змінною інтенсивністю λ й потоків ремонтних дій із змінною інтенсивністю μ до найпростіших Марківських, що забезпечують можливість застосування відповідного математичного апарату.

При цьому, стан "0" є єдиним працездатним станом даної СТС. Поступова втрата працездатності систем і механізмів комбайнів із збільшенням напрацювань переводить систему з інтенсивністю λ_0 у фіктивний працездатний стан "0'". У подальшому, за умови переходу до підрозділів з ТО і Р у більш якісний стан, процес зміни цієї підсистеми може розвиватися декількома паралельними шляхами, що характеризуються різними ймовірностями.

Так, із стану "0" з ймовірністю p при інтенсивності λ_0' можливий перехід СТС у працездатний стан "1". Також, паралельно з ймовірністю q при

інтенсивності λ_0' можливий перехід у фіктивний непрацездатний стан "1'" при доповненні ймовірностей p й q до повної групи подій - $p + q = 1$.

Застосовуючи перетворення Лапласа можна перейти до зображень функцій у вигляді системи наступних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} S \cdot \varphi_0(S) = -\lambda_1 \varphi_0(S) + \mu_1 \varphi_1(S) + \mu_1' \varphi_1'(S) + 1; \\ S \cdot \varphi_0'(S) = \lambda_0 \varphi_0(S) - p \lambda_0' \varphi_0'(S) - q \lambda_0' \varphi_0'(S); \\ S \cdot \varphi_1(S) = p \lambda_0' \varphi_0'(S) - \mu_1 \varphi_1(S); \\ S \cdot \varphi_1'(S) = q \cdot \lambda_0' \varphi_0'(S) - \mu_1' \varphi_1'(S). \end{cases} \quad (3.20).$$

Подальше розв'язання отриманої системи аналогічно попередньому.

Зворотними перетворення отримано функцію готовності й функції ремонту (відновлення) для підрозділів з ТО і Р комбайнів, якісні характеристики яких оновлюються:

$$K_{\infty}(t) = \frac{\mu_1 \mu_2' + \lambda_0 \mu_1 + \lambda_0 \mu_1'}{S_3 S_4} + \left\{ 1 - \frac{1}{S_3 - 1} \left[\mu_1 + \mu_1' + \lambda_0' - 1 - \frac{\mu_1 \mu_1' + \lambda_0' \mu_1 + \lambda_0' \mu_1'}{S_3 S_4} (S_3 + S_4 - 1) \right] - \right. \quad (3.21)$$

$$\left. - \frac{\mu_1 \mu_1' + \lambda_0' \mu_1 + \lambda_0' \mu_1'}{S_3 S_4} \right\} \exp(-S_3 t) + \frac{1}{S_3 - 1} \left[\mu_1 + \mu_1' + \lambda_0' - 1 - \frac{\mu_1 \mu_1' + \lambda_0' \mu_1 + \lambda_0' \mu_1'}{S_3 S_4} (S_3 + S_4 - 1) \right] \exp(-S_4 t)$$

де S_3 та S_4 - корені знаменників.

Аналіз отриманого виразу (3.21) показує, що функція готовності має три складові, перша з яких не залежить від плину часу. Отже, ця складова відображує стаціонарність характеру зміни функції, натомість як наступні дві інших - навантаження перехідного процесу її зміни. Так, якщо $t \rightarrow 0$ то $K_{\infty}(t) \rightarrow 1$. Результат знаходиться у повній відповідності до поставленої умові, у тому випадку, коли робота комбайна починається при його знаходженні у справному стані.

Таким чином, для якісного аналізу зміни функції готовності від часу експлуатації технічної системи, стає можливою графічна побудова функції готовності, яка аналогічна наведеним на рис. 11.

Якщо прийняти, що часовий фактор наближається до нескінченності ($t \rightarrow \infty$), то функція готовності оцінюється сталою величиною, визначеною першою складовою функції.

Після підстановки значення коренів S_3 та S_4 , й виконання ряду перетворень й скорочень, функція отримає остаточного вигляду:

$$K_{zo}(t \rightarrow \infty) = \frac{\mu_1 \mu'_1 + \lambda'_0 \mu_1 + \lambda'_0 \mu'_1}{\mu_1 \mu'_1 + \lambda_0 (\mu'_1 + \mu_1) + \lambda'_0 (\mu_1 + \lambda_0 + \mu'_1)}. \quad (3.22)$$

Отриманий вираз функції готовності описує її граничний стан й знаходиться у повній відповідності до прийнятого визначення коефіцієнта готовності. Фактично математичний вираз є асимптотою, до якої прямує функція готовності за умови нескінченного зростання експлуатаційних термінів СТС, якими й є зернозбиральні комбайни, в умовах підвищення рівня технічного забезпечення підрозділів з ТО і Р.

З а виключенням функції готовності, іншою, не менш важливою характеристикою надійності зернозбиральних комбайнів, виступає можливість їх своєчасного й ефективного ТО і Р.

У відповідності до наведеного на рис. 3.7 графу станів й переходів підсистем зернозбиральних комбайнів, стан "1" є відповідальними за появу простоїв, що обумовлені необхідністю проведення операцій ТО і Р. При цьому ймовірність знаходження системи у цьому стані визначається як $P_1(t)$, яка й характеризує стохастичність процесу відновлення працездатності комбайнів, тобто змінну функцію їх відновлення.

За аналогією із попередніми вже описаними математичними перетвореннями, можна отримати функцію відновлення системи для СТС, що характеризується зниженням рівня надійності й підрозділів з ТО і Р, що динамічно удосконалюються:

$$K_e(t) = \frac{p \lambda'_0 \lambda_0 \mu'_1}{S_3 S_4} + \left[\frac{p \lambda'_0 \lambda_0 \left(\frac{\mu'_1}{S_3 S_4} - 1 \right)}{S_4 - S_3} - \frac{p \lambda'_0 \lambda_0 \mu'}{S_3 S_4} \right] \exp(-S_3 t) - \frac{p \lambda'_0 \lambda_0 \left(\frac{\mu'_1}{S_3 S_4} - 1 \right)}{S_4 - S_3} \exp(-S_4 t) \quad (3.23)$$

За умови прямування часового фактору до нескінченності ($t \rightarrow \infty$), функція відновлення набуває вигляду:

$$K_e(t \rightarrow \infty) = \frac{p \lambda'_0 \lambda_0 \mu'_1}{S_3 S_4} \quad (3.24)$$

На момент початку експлуатації СТС при $t \rightarrow 0$, функція відновлення $K_e(t) \rightarrow 0$.

Підсумовуючи слід сказати, що за результатами проведеного математичного моделювання процесів взаємодії СТС у експлуатаційних умовах, при накопиченні ними пошкоджень й різних якісних рівнях організації підрозділів з ТО і Р встановлено, що накопичення комбайнами пошкоджень при їх поступовому старінні й незмінних характеристиках підрозділів з ТО і Р, обумовлює зниження функції готовності машин. Одночасне погіршення характеристик як зернозбиральних комбайнів, так й підрозділів з їх обслуговування, за умови дотримання всіх інших експлуатаційних режимів, дає найбільший песимістичний прогноз втрати працездатності СКС. Натомість як удосконалення технічного оснащення підрозділів з ТО і Р зернозбиральних комбайнів, навпаки скорочує час їх простоїв при обслуговуванні, що приводить до збільшення величини інтенсивності відновлення й зростання рівня експлуатаційної готовності цих машин.

Розділ 4.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ПРИ АДАПТОВАНІЙ СИСТЕМІ ЇХ СЕРВІСУ

4.1. Методика отримання нових закономірностей динаміки змін відмов і сервісних дій для комбайнів у експлуатаційних умовах

Програма досліджень включала наступні напрямки:

- оцінку наробітку комбайнів різних вікових груп у ідентичних умовах реальної експлуатації;
- виявлення виду й характеру пошкоджень основних підсистем (вузлів й агрегатів) комбайнів;
- кількісну оцінку динаміки зміни кількості пошкоджень при поступовому їх накопиченні й старінні техніки;
- встановлення закономірностей формування відмов зернозбиральних машин в процесі їх експлуатації;
- виявлення розподілу відновлювальних робіт за рівнем їх складності й часом виконання операцій;
- оцінку λ , μ - характеристик підсистем комбайнів, як основних параметрів, що визначають рівень їх надійності.

Експериментальні дослідження були виконані під час реальної експлуатації зернозбиральних комбайнів під час виконання робіт із збору врожаю зернових культур. Кількісну оцінку наявних пошкоджень на окремих деталях проводили в лабораторних умовах при застосуванні відповідних методів, приладів й вимірювальних інструментів.

В дослідженнях приймали участь комбайни різних вікових груп: "0" - нові з термінами експлуатації до й року та "1", "2" й "3" - такі, що вже попередньо мають різні терміни напрацювання.

Для отримання достовірності проведенні експериментів, дослідження проводили із залученням комбайнів одного типу. Для цього були обрані найбільш поширені у «малих» та «середніх» господарствах комбайни «ДОН-1500» й «КЗС-9 Славутич».

Для проведення досліджень не обмежувалося лише агро угіддями та МПТ комбайнів СФГ «Личук»; до експерименту були долучені й інші господарства Кіровоградської області для забезпечення ідентичності агрокліматичних умов роботи машин. В більшості були подібними й наявні у господарствах ремонтні підрозділи.

Важливою інформацією, що характеризує дійсний поточний стан комбайнів, було визнано їх міжремонтні наробітки, за умови фіксації виду й рівня складності виконання ремонтних дій, а також часових інтервалів їх проведення. Для реєстрації означених даних для кожного комбайну були розроблені спеціальні анкети-паспорти, які були надані персоналу підрозділів з ТО і Р для занесення даних.

Під час проведення експерименту було відзначено, що існують певні складнощі фіксації фактів появи поступових відмов, так як ці відмови формуються протягом певного експлуатаційного періоду й потребують для їх виявлення застосування вимірювальних приладів й порівняння отриманих значень із гранично допустимими величинами. Разом з тим, їх фіксація відбувалася із достатнім рівнем достовірності при проведенні натурних вимірювань величин зносів спряжених деталей, зазорів у спряженнях, величин динамічних навантажень, акустичної появи додаткових вібрацій, візуалізації стуків, зниженні рівня продуктивності й якості виконання комбайнами технологічних процесів тощо. Особливо важливими при цьому визнано наявність досвіду, кваліфікації та професіоналізму сервісного персоналу.

Поява раптових відмов не викликала сумніву й фіксувалася в якості дискретного факту виходу з ладу того або іншого механізму (системи) комбайна. Відмови, що були встановлені й зафіксовані, визначали як втрату працездатного стану комбайну й вносили у відповідну графу розробленої анкети. Момент зупинки комбайну був прийнятий за початок часового відліку на усунення відмов та проведення ремонтних дій. В залежності від характеру відмови визначалася група складності наступних ремонтних впливів.

Дані анкет-паспортів були оброблені за загальновідомою статистичною методикою із використання програми «Excel» у відповідності до ДСТУ 3004-95. Особливістю виконаного статистичного аналізу виступала фіксація параметрів надійності зернозбиральних комбайнів із врахуванням їх вікових групи, що характеризували неодноразовість початку їх експлуатаційного періоду.

4.2 Результати експериментальних досліджень надійності комбайнів за адаптованою системою їх експлуатації й сервісу

Дослідження мали за мету виконання статистичної оцінки динаміки зміни наробітку комбайнів при збільшенні термінів їх експлуатації та появи відмов їх структурних систем (агрегатів й механізмів) накопичених під впливом зовнішніх й внутрішніх експлуатаційних факторів.

Проведеними попередніми дослідженнями встановлено, що відмови за основними системами комбайнів «ДОН-1500» (див. рис. 2.6), розподіляються так: на жатку припадає 22%, на молотильний апарат - 21%; на грохот - 5%; на двигун - 11%; на трансмісію - 7%; на ходові частини - 17%; на гідросистему - 15% й на електрообладнання - 2%.

Контрольні дослідження проводилися на 13 комбайнах «ДОН-1500» різних років випуску та введення у експлуатацію, з різними напрацюваннями та були зорієнтовані на забезпечення контролю надійності їх робочих органів, тобто деталей, що безпосередньо працюють у контакті з середовищем й втрачають свою працездатність під впливом цього середовища. В якості оціночного параметру показників надійності комбайнів використовували їх наробіток (у тоннах) зібраного збіжжя. Для двигунів, трансмісій й ходові частини, оцінку напрацювань додатково виконували за мото-год. роботи машини із врахуванням часу роботи в режимі холостого ходу ДВЗ.

Технічні дані комбайнів й показники їх продуктивності роботи (за обсягами наробітку) впродовж експлуатаційного періоду представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Статистичні оціночні показники ефективності роботи тестової групи комбайнів

Група комбайнів	Облікова кількість комбайнів у групі	Сумарний наробіток групи, т	Середній наробіток, $Q_{\Sigma T}, т$	Середнє квадратичне відхилення наробітку, $\overline{Q}_i, т$	Коефіцієнт варіації γ_i
«0»	2	14716	2943	747	0,25
«1»	4	18205	3641	942	0,26
«2»	3	24326	4054	1044	0.26
«3»	4	26166	3738	660	0,18

Отримані значення середнього наробітку для різних груп комбайнів з

різними експлуатаційними термінами дозволили побудувати гістограму (рис. 4.1) з якої можна побачити, що максимальний середній наробіток припадає на комбайни другого року експлуатації. Поясненням цього є загально відомий факт підвищення рівня надійності с.-г. техніки на завершальному етапі першого періоду припрацювань. Особливо це стосується складних машин, які мають велику кількість деталей, таких як комбайни, трактори й АТЗ (рис. 4.2).

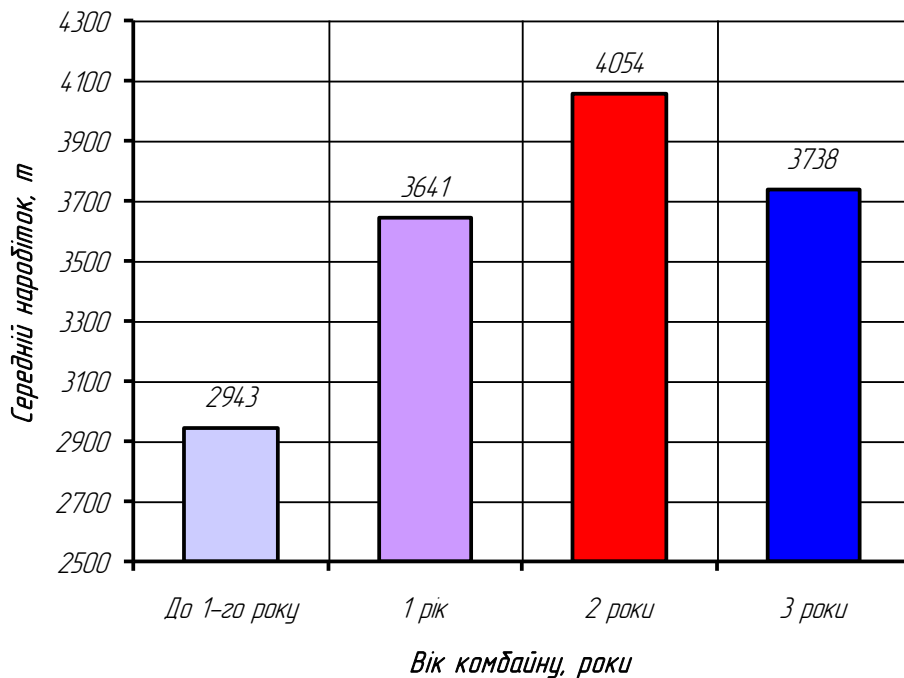


Рисунок 4.1 - Гістограма зміни величин середнього наробітку для різних вікових груп комбайнів

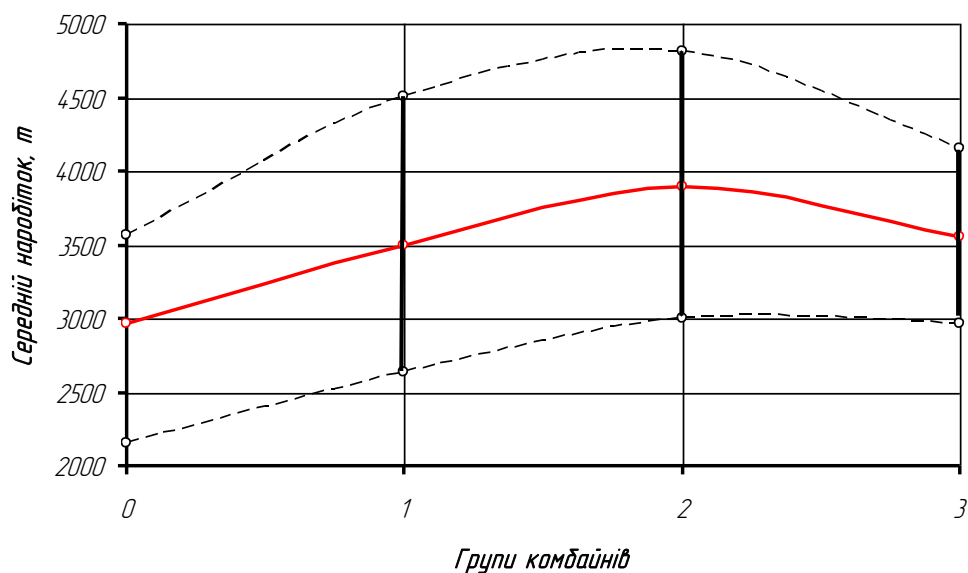


Рисунок 4.2 – Динаміка зміна сезонних наробітків зернозбиральних комбайнів від строків їх попередньої експлуатації

За отриманими даними було побудовано графіки зміни обсягів наробітку комбайнів від їх експлуатаційних термінів із врахуванням різних вікових груп (рис. 4.3). Графічні залежності свідчать, що найменші значення наробітків спостерігаються у комбайнів, які мають експлуатаційний період менший 1 року. Із збільшенням щорічних напрацювань, наробіток комбайнів, що тільки почали працювати (група «0») фактично не відрізняється й, у середньому, складає $Q_{„0”} = 589 \text{ т}$.

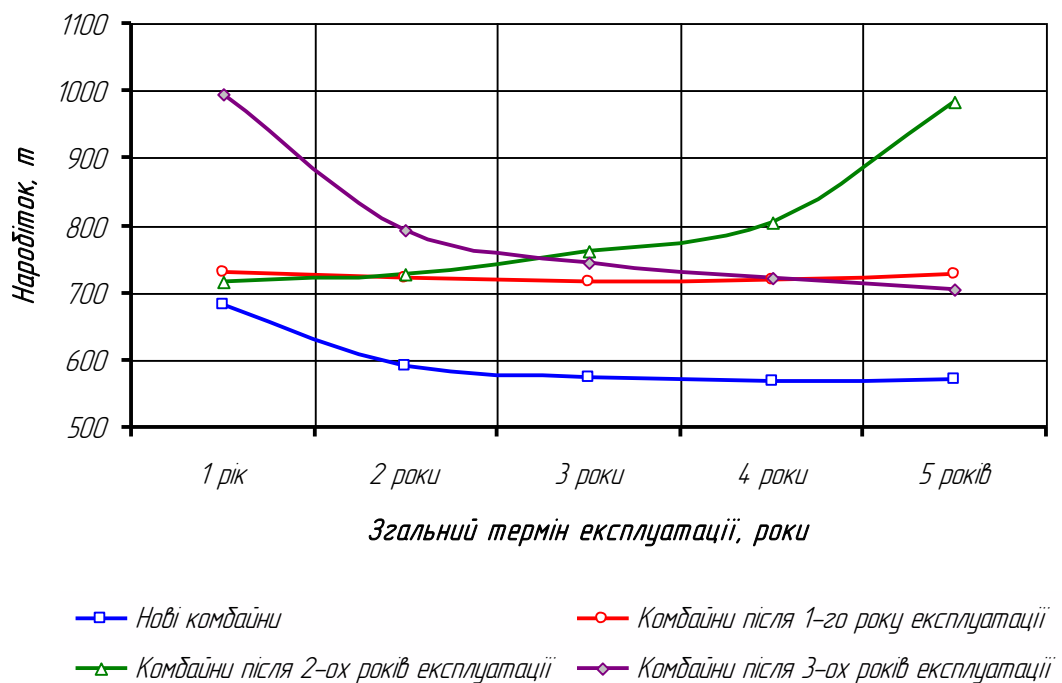


Рисунок 4.3 - Динаміка зміни наробітку комбайнів в залежності від їх експлуатаційного терміну

Комбайни, експеримент для яких почався після завершення 1 річного попереднього експлуатаційного періоду (група «1»), показали більш високі показники середнього наробітку - $Q_{„1”} = 728 \text{ т}$. більш того, ці показники були отримані при менших відмічених відхиленнях впродовж експлуатаційних термінів, ніж у комбайнів групи «0», що свідчить про більшу стабільність комбайнів цієї групи за рівнем наробітку.

Комбайни із 5-ти річним експлуатаційним періодом показали ще більш високі показники середнього наробітку, попередньо до початку експерименту закінчивши 2-ох річний експлуатаційний термін, показавши величину середнього наробітку за контрольний період - $Q_{„2”} = 814 \text{ т}$.

Загальний характер зміни величин середніх наробітків комбайнів «Дон-1500» впродовж контрольного експлуатаційного періоду, які на початок проведення експерименту мали 3-ох річний експлуатаційний термін (група «3») представлено на рис. 4.3. Характеризуючи динаміку зміни їх наробітку доцільно відзначити, що середній наробіток за 5 років досліджень цієї групи комбайнів склав $Q_{„2”} = 755 m$. Величина цього показника є дещо меншою за аналогічний показник попередньої групи (більш нових машин) й відображає об'єктивний характер старіння техніки. В цілому же комбайни цієї групи момент завершення експерименту перебували у експлуатації повних 8 років. Гістограма розподілу величин середніх сезонних наробітків комбайнів представлена на рис. 4.4.

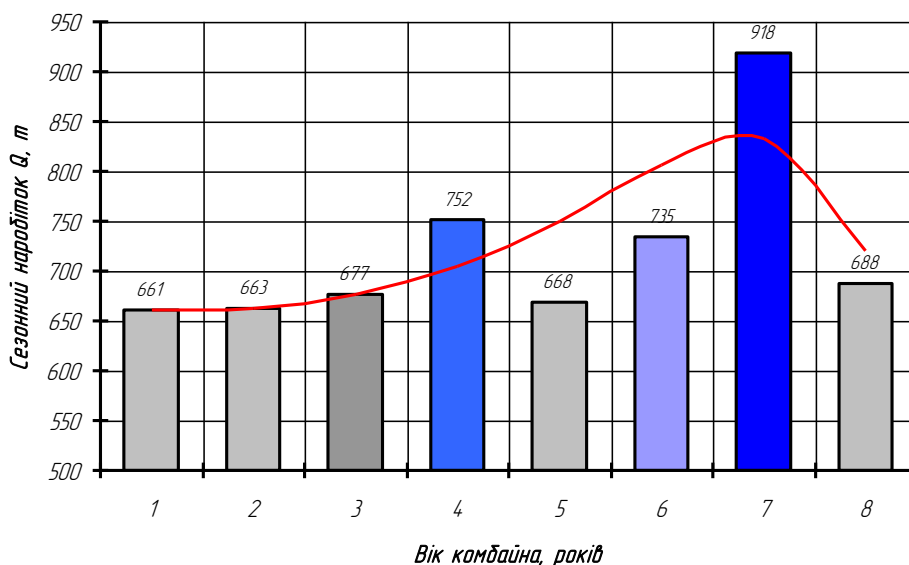


Рисунок 4.4 - Гістограма розподілу сезонних наробітків комбайнів при загальних експлуатаційних термінах

Якщо не брати до уваги існуючу розбіжність даних щодо впливу вікової категорії комбайнів на їх працездатність впродовж повного експлуатаційного періоду, можна виявити загальну закономірність, яка закладається у тому, що найбільші сезонні напрацювання мають машини з термінами експлуатації більше 1 року - наробіток поступово але стало збільшується вже на 2-му й 3-му роках експлуатації.

Даному аналізу притаманний й певний недолік, який полягає у тому, що для комбайнів, які були включені до експерименту із вже пройденими експлуатаційними термінами (один, два й більше років), залишилася нез'ясованою

попередня історія їх функціонування. Разом з тим, прийнявши до уваги той факт, що всі вони експлуатувалися у тих же господарствах, й обслуговувалися тим же персоналом за тих же виробничих умов, що й до початку проведення досліджень, можна вважати фактори зовнішнього впливу відносно стабільними.

В якості попереднього висновку можна відмітити, що сезонний наробіток комбайнів можна прийняти за інтегральний показник ефективності їх роботи. Його величина за всіх інших умов визначається кількістю відмов комбайнів й витратами часу на їх усунення (виконання ремонтних дій). Саме тому, виявлення причин змін наробітку потребує встановлення види відмов комбайнів за основними їх підсистемами, які безпосередньо залучені до виконання технологічного процесу збору врожаю зернових культур.

В основу такої класифікації видів відмов можуть бути покладені різні підходи. Так, з позицій прояву всі відмови комбайнів можна поділити на такі, що формуються поступово, змінюючи їх функціональні параметри й виникають раптово (несподівано), спричиняючи зупинку техніки. Приймаючи до уваги лише факти появи відмов, як основні причини зупинки комбайнів, не виявляючи їх характер й наслідки, були проведені оціночні дослідження результати яких представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Статистичні дані щодо відмов комбайнів «ДОН-1500»

Група комбайнів за терміном експлуатації	Сумарні відмови за період досліджень, n	Усереднена кількість відмов за рік $\bar{n}_{i''p}$	Усереднена кількість відмов за рік на один комбайн i -ої групи, $\bar{n}_{i''}$	Середнє квадратичне відхилення σ	Коефіцієнт варіації γ
Нові «0»	277	55,4	11,2	0,72	0,07
1 рік «1»	287	57,4	11,9	1,51	0,13
2 роки «2»	312	62,4	10,4	1,3	0,12
3 роки «3»	381	76,2	10,7	0,74	0,07

Аналіз результатів підтверджує, що найменшу загальну кількість відмов на одну машину за віковими групами мають комбайни, що почали експлуатуватися в досліді після двох років попередньої експлуатації $\bar{n}_{i''2''} = 10,4 \text{ од.}$ Дещо вищим цей показник є у машин з попереднім трирічним стажем $\bar{n}_{i''3''} = 10,9 \text{ од.}$ Збільшений питомий показник кількості відмов характерний для нових комбайнів й комбайнів

з терміном експлуатації до 1-го року. Поясненням такої ситуації є наявність початкового періоду введення нової техніки у роботу, виявленням прихованих дефектів їх виготовлення й набуттям необхідного досвіду з боку обслуговуючого персоналу під час виконання діагностичних й сервісних робіт. Узагальнені результати обробки експериментальних даних наведені на рис. 4.5.

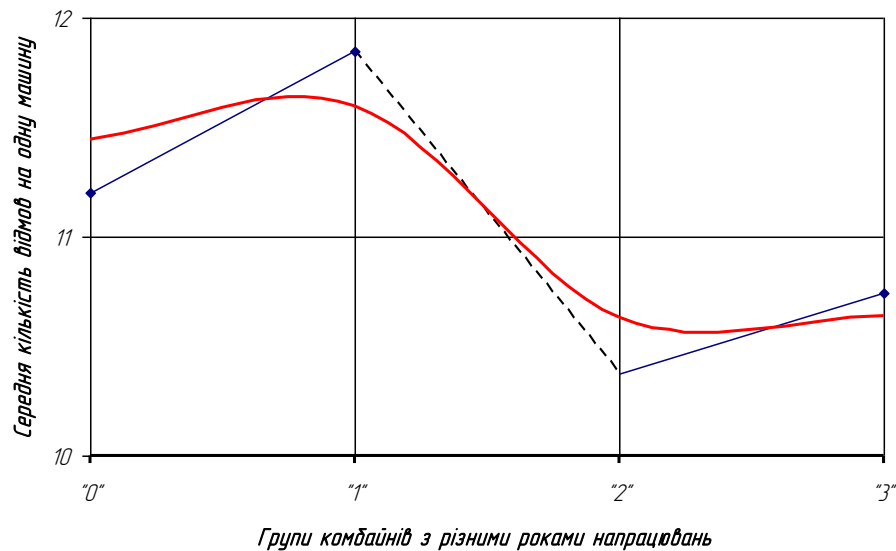


Рисунок 4.8 - Зміна середньої кількості відмов $\bar{n}_{i,j}$ комбайнів від термінів їх попередньої експлуатації (до початку проведення експерименту)

Найбільш ефективно процес припрацювання й виведення комбайнів на нормальний експлуатаційний режим відзначається для нових комбайнів – у них означений період триває впродовж відносно довгого часового проміжку й завершується вже на другому році експлуатації. На жаль, на кривій зміни кількості відмов не позначено період постійної їх кількості й машини із періоду припрацювань переходять у режим поступового старіння із нарощуванням кількості відмов впродовж експлуатаційного терміну. Дані рис. 4.5 свідчать, що для комбайнів різних вікових груп 2-ий...4-ий роки експлуатації є найбільш сприятливими за показниками мінімальної кількості виявлених сезонних відмов.

На підставі отриманих даних було побудовано гістограму розподілу середньої кількості відмов з розрахунку на один комбайн за загальним віком його роботи (рис. 4.6). Наведена гістограма охоплює більший експлуатаційний період комбайнів, ніж попередньо зазначений 5-т річний період. При цьому невідомими залишаються величини їх попередніх напрацювань на відмови у періоди експлуатації, що передують рокам досліджень.

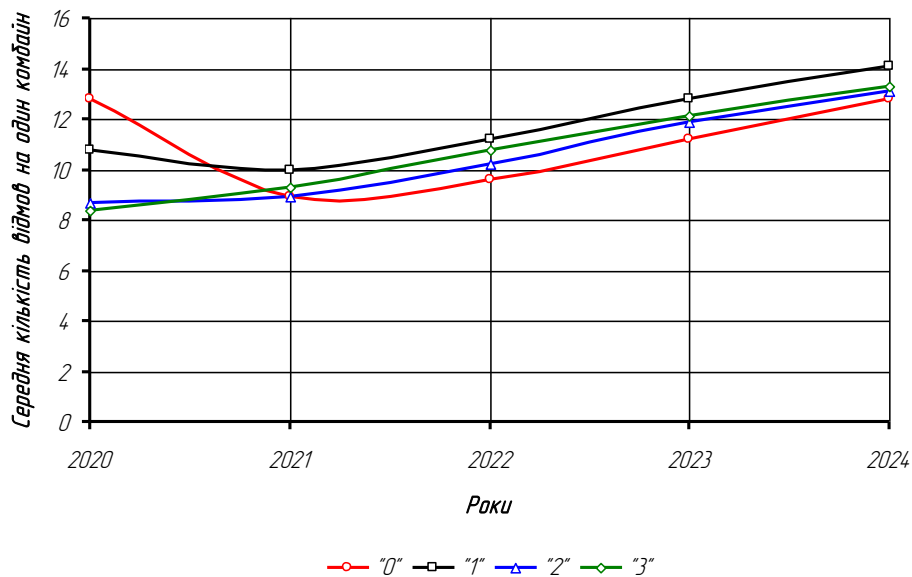


Рисунок 4.5 – Динаміка зміни середньої кількості відмов для комбайнів різних вікових груп

На підставі отриманих даних побудовано гістограму розподілу середньої кількості відмов на одну машину за загальним віком її роботи (рис. 20).

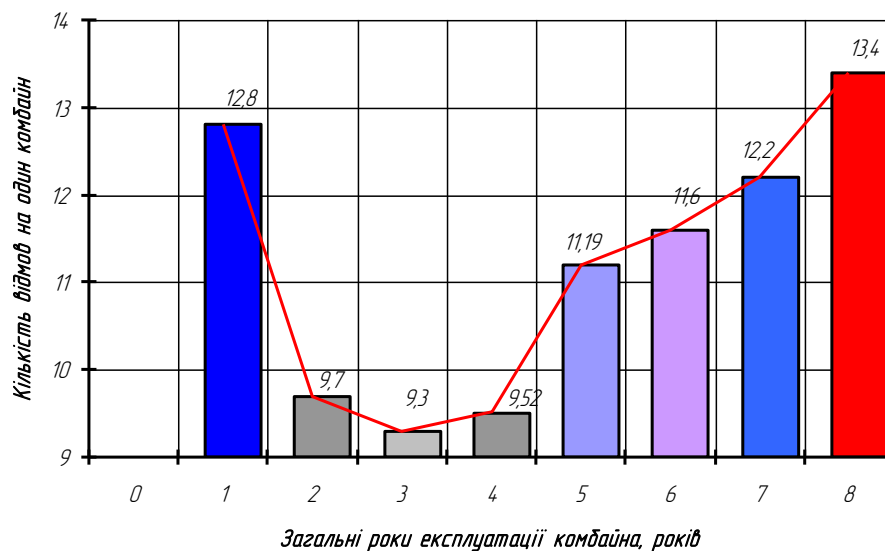


Рисунок 4.6 - Гістограма частоти появи відмов комбайнів за їх повний загальний експлуатаційний період

Слід також відмітити, що загальна сукупність відмов є композицією потоків відмов окремих підсистем комбайна; при цьому відмови розподіляються нерівномірно, як за окремими підсистемами, так й впродовж експлуатаційного періоду. Результати порівняльного аналізу надійності комбайнів й їх окремих підсистем виявили, що в процесі експлуатації більш інформаційними слід вважати відносні показники, що характеризують не тільки абсолютні значення кількості відмов, але й той експлуатаційний період, під час якого ці відмови відбулися.

Таким відносним показником можна вважати інтенсивність появи відмов $\bar{\lambda}\left[\frac{1}{T}\right]$, середні значення якої наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Середні величини інтенсивності появи відмов $\bar{\lambda}\left[\frac{1}{T}\right]$ для різних вікових груп комбайнів за роки експериментального дослідження

Вікові групи комбайнів	Роки експлуатації в експериментальному дослідженні				
	2020	2021	2022	2023	2024
«0» (нові)	0,025	0,022	0,026	0,029	0,032
«1» (після 1-го року експлуатації)	0,021	0,015	0,02	0,017	0,022
«2» (після 2-ох років експлуатації)	0,019	0,012	0,018	0,014	0,012
«3» (після 3-ох років експлуатації)	0,012	0,015	0,023	0,020	0,024

Отримані значення інтенсивності появи відмов у динаміці їх зміни впродовж певного експлуатаційного періоду досліджень були трансформовані у графічні залежності представлені на рис. 4.7 й рис. 4.8.

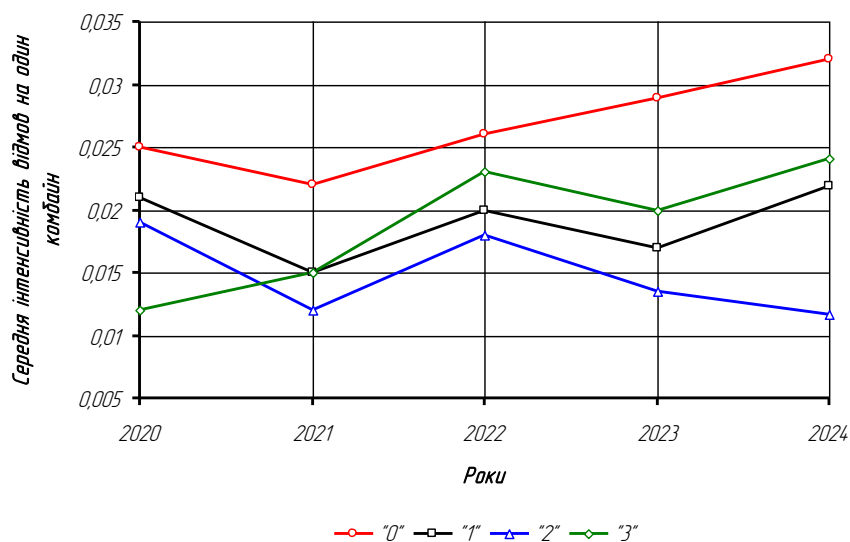


Рисунок 4.7 – Динаміка зміни середньої інтенсивності появи відмов комбайнів

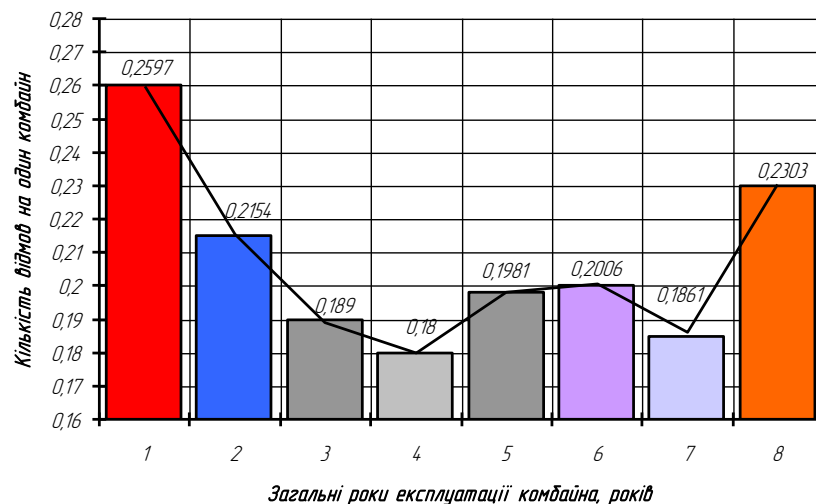


Рисунок 4.8 - Гістограма розподілу інтенсивностей появи відмов комбайнів

У динаміці змін інтенсивності появи відмов (див. рис. 4.7 та 4.8) можна виділити три типові характерні періоди. Перший, поки інтенсивність відмов зменшується, описує процес припрацювання і адаптації техніки до реальних умов експлуатації. Період припрацювання практично завершується після двох повних років експлуатації. При цьому інтенсивність відмов знижується з 0,026 1/т до 0,021 1/т, практично на 20%.

Другий період - період нормальної роботи машин продовжується до семи років експлуатації комбайнів, складаючи тривалість у 5 - 6 років. При цьому інтенсивність відмов знаходиться на рівні 0,02 1/т з деякими коливаннями в окремі роки, включаючи також неточності проведення статистичних досліджень. Наявність періоду нормальної роботи машин із встановленим відносно стабільним рівнем інтенсивності відмов вказує на часткову відпрацьованість комбайнів стосовно надійності конструктивних рішень вузлів і агрегатів.

Останній період експлуатації комбайнів (див. рис. 4.8) характеризується збільшенням інтенсивності відмов - після семи років експлуатації вона зростає.

Причини зростання відмов можуть бути різними: зношення, втомленість, корозія, забивання тощо. Важливим у цьому періоді є те, що по закінченню 7-ми років експлуатації комбайнів суттєво збільшується необхідність втручання в обслуговування техніки. При чому в цей період у більшій мірі очевидно, що виникає необхідність у заміні деталей або проведенні різних ремонтних дій з відновлення працездатності агрегатів.

Відмічено також, що відмови проявляються у структурних елементах комбайнів нерівномірно (рис. 4.9), що характеризує наявний відмінний їх конструкторський ресурс й на те, що процес проектування комбайнів відбувався без врахування визначених проблемі кратності ресурсів основних їх систем й агрегатів.

Представлена гістограма дає уявлення про розподіл відмов за виділеними підсистемами. Однак слід враховувати, що підсистеми означено за функціональним внеском у технологічний процес роботи комбайна, і є нерівнозначними за технічною складністю, кількості деталей і вузлів, що входять до них.

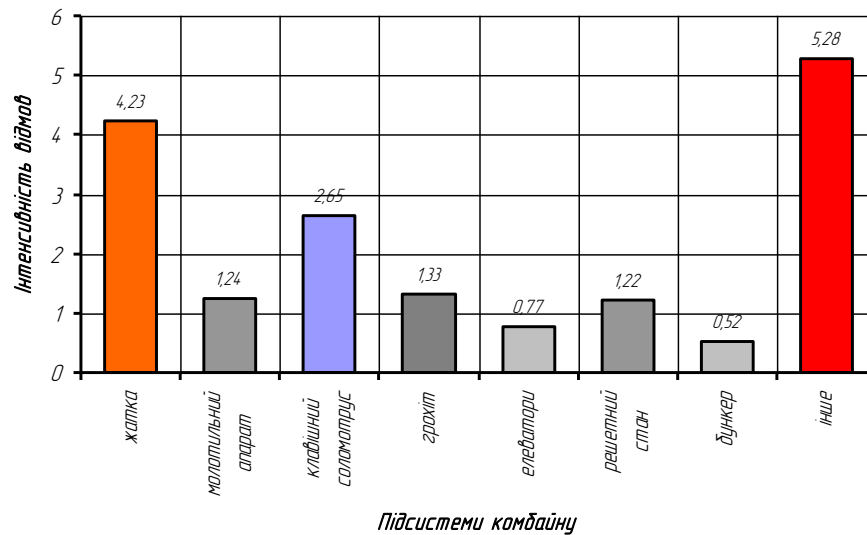


Рисунок 4.9 - Гістограма розподілу інтенсивностей відмов комбайнів за їх основними структурними елементами

Підсистема «жатка» має відносно стабільні показники інтенсивності відмов за роками експериментального дослідження, середнє значення якого становить $\lambda_{жс} = 0,004071 / t$. Підсистеми, що входять до молотарки, мають дещо менші середні значення інтенсивностей відмов: від 0,00069 1/т для елеваторів до 0,0025 1/т у кваліфікованого соломотруса. Бункер з вивантажувальним пристроєм має ще меншу інтенсивність відмов на рівні 0,00044 1/т.

Важливою характеристикою довговічності конструктивних елементів зернозбирального комбайна є середній наробіток на відмову. Враховуючи те, що середній наробіток на відмову є величиною зворотною до інтенсивності відмов, у таблиці 4.4 представлено дані щодо наробітків на відмову окремих структурних елементів комбайна «ДОН-1500».

Таблиця 4.4 - Середній наробіток на відмову $\bar{T}(t)$ підсистем зернозбиральних комбайнів «ДОН-1500»

Підсистеми, вузли й агрегати комбайна	Роки експлуатації в експериментальному дослідженні				
	2006	2007	2008	2009	2010
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
<i>Жатка:</i>					
- різальний апарат	833	909	641	704	666
- транспортер похилої камери	1666	1587	1176	1205	1176
- шнеки, бітери, пальці	2174	2174	1563	1887	1754
- коливальна шайба	2941	2941	2857	2381	2500
- підшипникові вузли	3448	4348	2857	3333	2941

Продовження таблиці 4.4

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
- руйнування посадкових місць	9091	16666	4762	5555	5882
- граблини і дерев'яні планки мотовила	9091	9091	7143	5555	5882
- інше	2500	2500	1754	2128	1961
<i>Молотарка:</i>					
- молотильний (бильний) апарат з підбарабанням	1000	1111	769	833	833
- клавішний соломотряс	1666	1587	1176	1205	1176
- очищення (подовжувач, решето верхнє, грохот)	1205	1205	704	769	735
- нижній решітний стан, вентилятор, привід очистки	1111	1098	833	885	840
- елеватори (колосовий, зерновий)	1666	1754	1282	1408	1266
- бункер з вивантажувальним пристроєм	2500	2500	2326	228	1961
<i>Інше:</i>					
- ходова частина	1250	1333	1000	1058	1041
- електрообладнання	2000	1923	1408	1538	1470
- двигун	666	666	476	500	500
- гідравліка	476	500	357	385	370

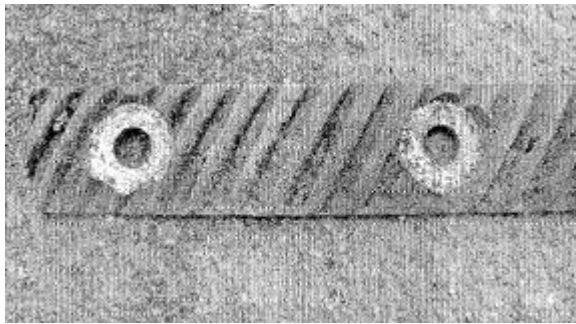
Аналіз отриманих даних виявляє, що найменший наробіток на відмову має сукупність гідравлічних пристроїв (гідронасосів, шлангів, гідравлічних двигунів, різних з'єднань, золотників, розподільників тощо).

Значний внесок у зниження середнього наробітку на відмову робить різальний апарат жатки. Очевидно, це визначається особливостями роботи різальних елементів, які характеризуються складними умовами протікання як процесів зношення й затуплення, так й аварійних пошкоджень при зіткненні із сторонніми твердими предметами в ґрунті.

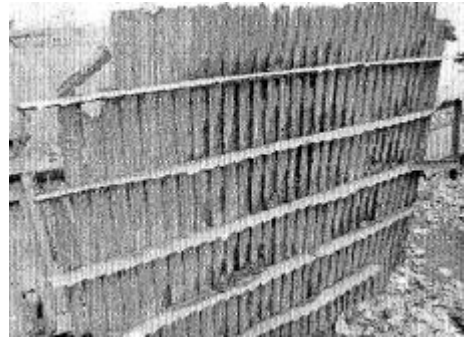
Відмови будь-якого характеру прояву мають енергетичне походження. Це дія зовнішніх факторів впливу середовища в якому й з якими працюють комбайни, а також внутрішні енергетичні потоки визначені взаємним переміщенням деталей при виконанні технологічних операцій. Різні відмови й формуються по різному, однак представляється можливість розділити їх на поступові та раптові. Ця класифікація в деякій мірі умовна хоча б тому, що існує перехід й перехід поступових відмов у раптові. Раптові мають й свої специфічні прояви під час виникнення аварійних ситуацій.

Прикладом деталі, що безпосередньо працює в умовах контактної взаємодії з стебло-зерновою масою є бич молотильного барабану (рис. 4.10 а). Аналіз причин пошкодження грохота показав, що в основному його елементи втрачають

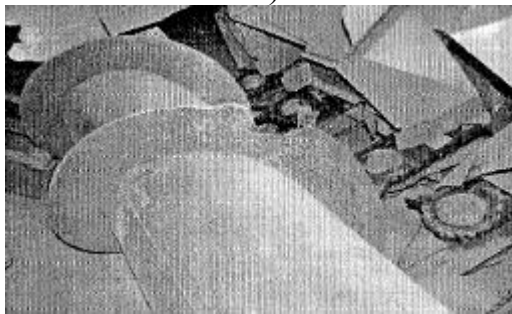
працездатність через зношення окремих ділянок й корозію робочих поверхонь при відкритому міжсезонному зберіганні машин. Загальний вигляд грохоту знятого із подальшої експлуатації наведено на рис. 4.10 б.



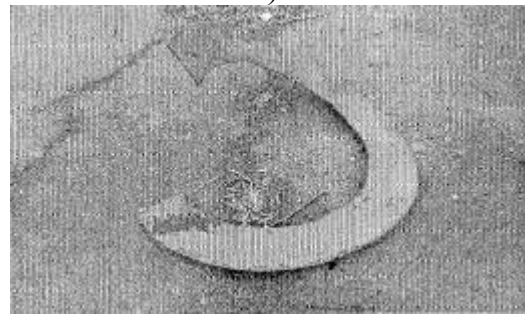
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.10 - Загальний вигляд зношених деталей молотарки комбайну

Представлена на рис. 4.10 б фотографія фіксує сліди руйнування цілісності конструкції. Причини цього полягають у втраті загальної міцності обумовленої зношуванням і корозією окремих гребінок.

На рис. 4.10 в показано руйнування витка в наслідок виникнення аварійної ситуації пов'язаної із потраплянням сторонніх твердих об'єктів.

У випадку, коли не стеблова частина культури залишається на полі в якості органічних добрив, для її попереднього подрібнення використовують молоткові робочі органи. В результаті взаємодії із соломистою масою молотарки подрібнювача зношуються й втрачають початкову свою прямокутну форму (рис. 4.10 г).

Робочі транспортуючі поверхні шнеків також зношуються й втрачають власну загальну міцність. За період досліджень випадків повного руйнування робочих поверхонь відмічено не було, однак, якщо шнек працює в кожусі, то зменшення його діаметру призводить до зниження продуктивності транспортера й, як правило, до підвищення ушкодження зернової маси. Сліди зношення на робочих поверхнях шнеків показано на рис. 4.11.

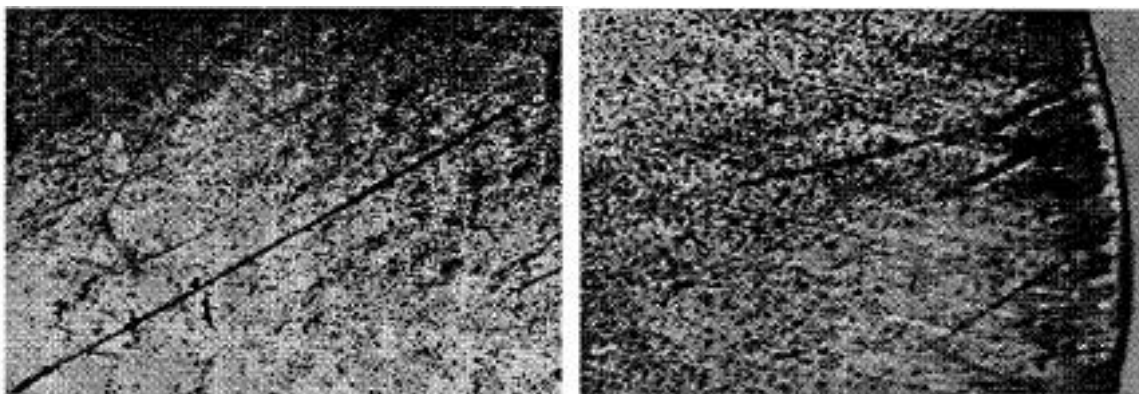


Рисунок 4.11 - Сліди абразивного зношування твердими частинками (мікрорізання) на робочих поверхнях витків шнека (x150).

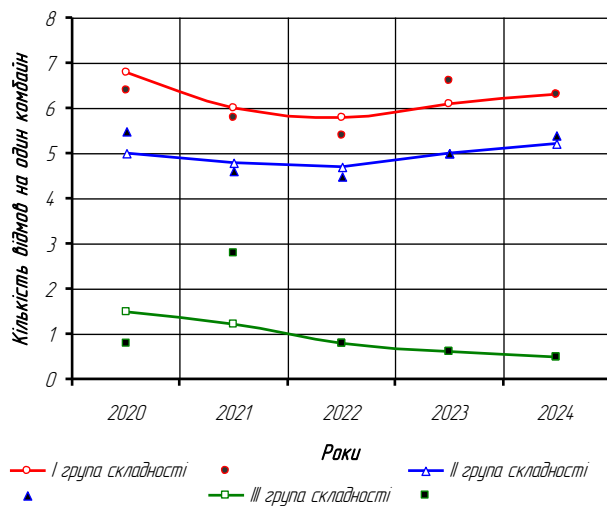
Факти поломок й відмов структурних елементів комбайнів є фіксованими подіями, що відбуваються у випадкові моменти часу. Вони утворюють потік відмов із власними особливостями й характеристиками. Фіксація відмови відбувалася одразу після зупинки комбайну й втрати ним функціонального призначення із збору врожаю зернових культур. Разом з тим, зупинка комбайну при появі відмови, ще не є ознакою початку робіт із усунення поломок, що виникли.

Після настання відмов наступним періодом життєвого циклу комбайнів є період відновлення їх працездатності. Стохастичні дані про відносні показники кількості виконаних ремонтних дій впродовж всього експериментального періоду наведені у таблиці 4.5.

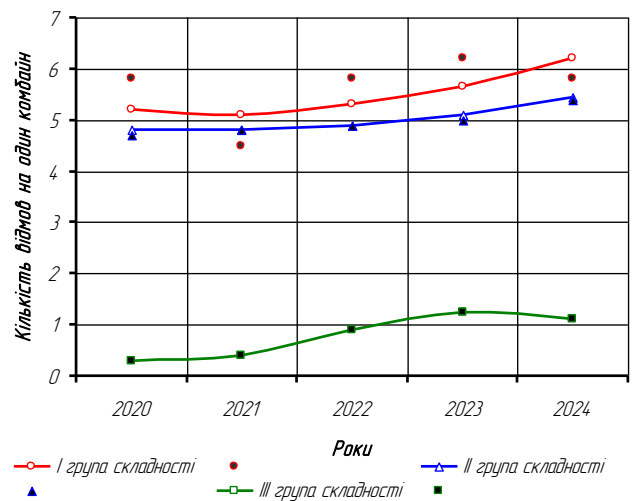
Таблиця 4.5 - Відносна кількість ремонтних дій з розрахунку на один комбайн впродовж повного терміну проведення експерименту й складності виконаних ремонтних дій

Вікова група комбайнів	Експлуатаційний період														
	2020			2021			2022			2023			2024		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
- нові «0»	6,8	5,0	1,5	6,0	4,8	1,2	5,8	4,7	0,8	6,1	5,0	0,6	6,3	5,2	0,5
- одnorічні «1»	5,2	4,8	0,3	5,1	4,8	0,4	5,3	4,9	0,9	5,7	5,1	1,2	6,2	5,4	1,1
- дворічні «2»	5,0	3,8	0,3	5,2	4,2	0,6	5,4	4,8	1,0	5,6	5,0	1,4	5,8	5,2	1,9
- трирічні «3»	5,8	4,8	1,0	6,5	4,8	1,2	6,8	5,4	1,4	7,8	5,8	1,8	8,1	6,1	3,0

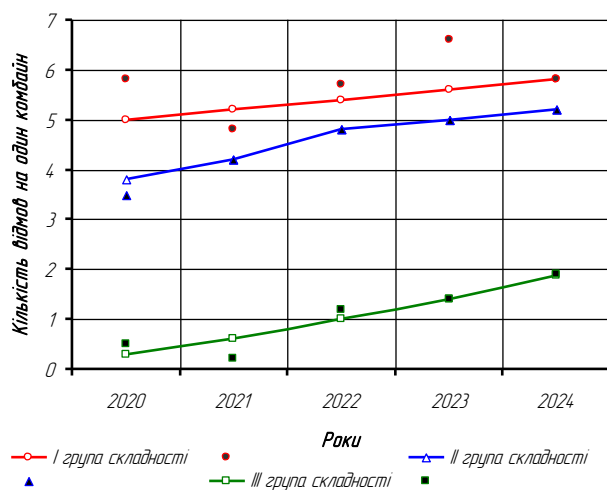
Результати проведеного дослідження в контексті оцінки кількісних показників виконаних ремонтних дій для комбайнів різних вікових груп («0», «1», «2» та «3») представлені на рис. 4.12. Встановлення групи складності ремонту й його кількісних показників відіграє важливу роль для подальшого визначення параметрів відновлення працездатності комбайнів.



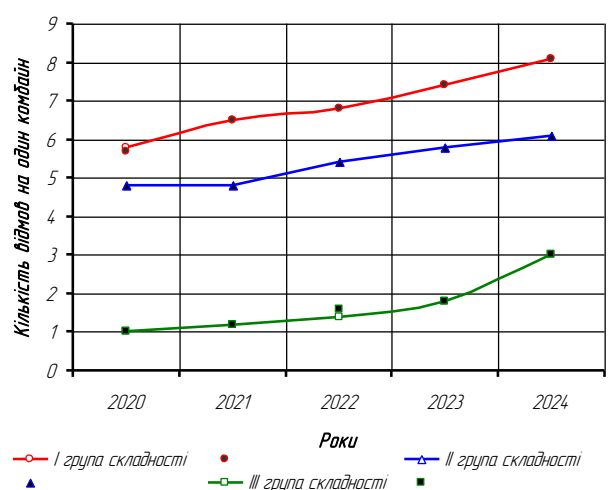
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.12 - Зміна кількісних показників ремонтних дій за групами складності й віковими категоріями комбайнів:

а – вікова група «0»; б – вікова група «1»; в – вікова група «2»; г – вікова група «3»

Аналіз отриманих залежностей показує, що найбільша кількість ремонтних дій характеризує I-у групу, тобто це ті роботи, що повинні бути виконані безпосередньо комбайнером-оператором або службою гарантійного сервісного обслуговування без відриву комбайну від процесу збирання врожаю (у польових умовах). Дещо меншим цей показник є для ремонтних робіт 2-ої групи складності - різниця між ними зберігається впродовж всього терміну проведення експерименту практично на одному рівні й складає 20,0%. Значно меншими є величини кількості ремонтних дій із розрахунку на один комбайн для ремонтів 3-ої групи складності, які визначаються на рівні 13,2% та потребують для їх проведення доставки комбайну до спеціалізованого ремонтного підприємства.

Встановлена закономірність розподілу відновлень зберігається й для інших вікових груп комбайнів із загальною тенденцією незначного збільшення кількості відновлень для 3-ої групи складності по мірі старіння техніки.

Узагальнюючи отримані результати розподілу ремонтних робіт за видами складності їх виконання для всіх вікових груп комбайнів можна стверджувати, що їх співвідношення виглядає наступним чином:

- для 1-ої групи складності - 47,7%;
- для 2-ої групи складності - 39,1%;
- для 3-ої групи складності - 13,2%.

Перші дві групи в сукупності складають більшість необхідних ремонтних впливів (86,8%), натомість проводяться безпосередньо у польових умовах й не вимагають обов'язкового транспортування комбайнів до спеціалізованих підприємств, й лише складні види ремонтних втручань 3-ої групи обумовлюють необхідність доставки комбайнів до спеціалізованих майстерень.

У цілому проведені експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок про те, що максимальний сезонний наробіток мають зернозбиральні комбайни 2-4 років експлуатації, а сезонний наробіток комбайнів при різних інших рівних умовах лімітується кількістю відмов й тривалістю їх усунення; середня інтенсивність відмов зернозбиральних комбайнів змінюється з часом експлуатації й носить експериментальний характер із мінімумом на 3-5-му роках експлуатації; а низький рівень надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів за показниками середнього наробітку на відмову обумовлений відносно великою інтенсивністю відмов їх структурних систем; домінуючими же причинами появи відмов систем і механізмів комбайнів є зношування й аварійні поломки внаслідок діючих навантажень й потрапляння до механізмів сторонніх твердих об'єктів.

Зведені дані щодо розподілу ремонтних дій за окремими структурними елементами комбайнів, які безпосередньо забезпечують виконання технологічного процесу збирання врожаю зернових культур представлені у таблиці 4.6.

Аналізуючи дані таблиці 4.6 можна бачити, що найбільша загальна кількість відновлювальних робіт припадає на жатку (191 дія).

Таблиця 4.6 - Середній час й інтенсивність проведення ремонтних дій за основними структурними елементами зернозбиральних комбайнів

Структурні елементи комбайна	Всього групою відновлень за елементів	Кількісні показники ремонтний дій за групами складності			Середня тривалість ремонтних дій за групами складності, год.			Сумарні середні витрати часу на ремонт, год.	Інтенсивності відновлень по підсистемам, 1/год.
		I	II	III	I	II	III		
1. Жатка	328	191	119	18	70,8	182	198,4	451,4	0,3
2. Молотарка	94	47	17	19	17,4	26,0	235,6	279	0,0036
3. Клавішний соломотряс	63	25	33	-	9,3	50,5	-	59,8	0,017
4. Очищення	102	31	29	29	11,5	42,8	359,6	413,9	0,0024
5. Нижній решітний стан, вентилятор, привід очистки	89	27	43	16	10	65,8	198,4	274,2	0,0036
6. Елеватори (колосовий, зерновий)	58	17	28	12	6,3	42,8	148,8	197,9	0,005
7. Бункер із вивантажувальним пристроєм	37	11	22	4	4,1	33,7	49,6	87,4	0,01

В меншій мірі, але все ж достатньо інтенсивно, ушкоджується система очистки й молотарка із підбарабанням. Достатньо значна кількість ремонтних дій обумовлена відновленням решітного стану, клавішного соломотрясу, колосового й зернового елеваторів. Порівняно же високий ступінь ремонтів перерахованих підсистем пов'язаний із тим, що вони безпосередньо приймають участь у процесі обробки зернових культур й контактують із зерною й не зерною стебловими масами. На долю таких ремонтів приходяться й в більшості роботи із усунення різного роду забивань, регулювань, мащення, вирівнювання й заміни пошкоджених легкодоступних деталей.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведені дослідження напрямків підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів за умови застосування адаптованої системи їх технічного сервісу, яку рекомендується впроваджувати до структури малих та середніх господарств.

Для цього в першому розділі роботи «Визначення пріоритетних напрямків досліджень» встановлені особливості та оцінені основні показники ефективності здійснення робочого процесу СФГ «Личук», що забезпечило можливість визначення найбільш актуальних для господарства реорганізаційних напрямків – удосконалення системи сервісу зернозбиральних комбайнів. У відповідності до визначеної мети були формовані задачі досліджень, обрано об'єкт й предмет досліджень тощо.

В другому розділі «Дослідження специфіки формування парку комбайнів» було встановлено, що якісний й марочний склад зернозбиральних комбайнів в Україні на поточний час складається з 65% машин іноземного виробництва провідних світових компаній таких як: «John Deere», «Case», «New Holland», «Glaas» та ін. й 35% комбайнів російського (пострадянського) або вітчизняного виробництва. Причому, за підрахунками експертів галузі лише 40...50% цієї техніки знаходиться у несправному стані й не здатна виконувати функціональне призначення. Порівняльний аналіз показників надійності комбайнів показав, що коефіцієнти надійності є вищими у іноземних машин $K_{від} = 0,95...0,99$ при $K_{від} = 0,79$ для більш старої вітчизняної техніки. При цьому дійсні фактичні показники надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів, є набагато гіршими - за даними аналітиків галузі вони складають 14,0...42,0 год., що відповідає 15,0%...35,0% часу знаходження комбайнів у простоях. Оцінюючи й порівнюючи наробітки комбайнів на відмову було встановлено, що у закордонних комбайнів вони становлять 110,0...240,0 мото-год., натомість як у вітчизняних - у 4...6 разів нижче.

Дослідженнями третього розділу роботи «Структурний аналіз надійності зернозбиральних комбайнів» встановлено, що критерії, які застосовуються на поточний час для оцінки надійності комбайнів відображають в основному статичний

характер їх поточного стану й не подають необхідної інформації про динаміку змін машин в процесі їх експлуатації, із врахування явищ старіння й втраті працездатного стану. Встановлено, що ефективними експлуатаційними критеріями оцінки надійності комбайнів з урахуванням змін їх фізичного стану й наявного у господарствах рівня розвитку підрозділів з ТО і ремонту є функції готовності й ремонту, які відображають динамічну картину зміни рівня надійності.

За результатами проведених аналітичних досліджень розроблені математичні три групи моделей надійності, що враховують певні відмінності перебігу перехідних процесів для системи «комбайн – сервісний підрозділ» та формують передумови для виявлення виду й характеру функцій готовності й ремонту, як основних динамічних характеристик надійності цих систем.

Встановлено, що удосконалення технічного оснащення підрозділів з ТО і Р зернозбиральних комбайнів, скорочує час їх простоїв при обслуговуванні, що приводить до збільшення величини інтенсивності відновлення й зростання рівня експлуатаційної готовності цих машин.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень надійності зернозбиральних комбайнів при адаптованій системі їх сервісу» встановлено, що сезонний наробіток зернозбиральних комбайнів за інших рівних умов експлуатації лімітується кількістю відмов і тривалістю часу їх усунення. Визначено найменшу середню кількість відмов з розрахунку на один комбайн мають машини дворічного терміну експлуатації ($\eta_{2''} = 8,5$). У них вже відбулися процеси припрацювання й вони ще не вступили у період інтенсифікації відмов внаслідок накопичення пошкоджень. Даний показник виступає в якості еталону рівня надійності, до якого необхідно наближати зернозбиральні комбайни різних термінів експлуатації.

Отримані показники низького рівня надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів за середнім наробітком на відмову його підсистем, що обумовлюється великою інтенсивністю відмов та розподілені таким чином: жатка - 27%; молотарка - 32%; бункер з вивантажувальним пристроєм - 3%; інше - 38%.

Встановлений розподіл обсягів ремонтних робіт за видами складності їх

виконання для всіх вікових груп комбайнів: для 1-ої групи - 47,7%; для 2-ої групи - 39,1% й для 3-ої групи - 13,2%.

Доведено, що максимальний сезонний наробіток мають зернозбиральні комбайни 2-4 років експлуатації, а сезонний наробіток комбайнів при різних інших рівних умовах лімітується кількістю відмов й тривалістю їх усунення; середня інтенсивність відмов зернозбиральних комбайнів змінюється з часом експлуатації й носить експериментальний характер із мінімумом на 3-5-му роках експлуатації; а низький рівень надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів за показниками середнього наробітку на відмову обумовлений відносно великою інтенсивністю відмов їх структурних систем; домінуючими же причинами появи відмов систем і механізмів комбайнів є зношування й аварійні поломки внаслідок діючих навантажень й потрапляння до механізмів сторонніх твердих об'єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. СФГ "ЛИЧУК" 31394439
https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/31394439/
2. СФГ «ЛИЧУК» <https://opendatabot.ua/c/31394439>
3. І.В. Горєв. Звіт з дослідницької практики на тему «Підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів при застосуванні адаптованої системи їх сервісу у СФГ «ЛИЧУК» с. Нова Павлівка, Кропивницький район Кіровоградська область». – Кропивницький, ЦНТУ, кафедра ЕРМ, 2024. – 16 с.
4. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.
5. Грушецький С.М., Бендера І.М., Михайлович Я.М. Технічний сервіс в АПК. Навчальний посібник з грифом МОН для студентів, бакалаврів і викладачів інженерних спеціальностей аграрних вищих навчальних закладів. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2014 р. 680 с.
6. 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. 416 с.
7. Практикум з технічного сервісу в агропромисловому комплексі: Навчальний посібник / Л.Ф. Бабицький, І.В. Соболевський, У.С. Абдулгасіс – Сімферополь, ДІАЙПІ, 2012. 332 с.
8. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / О.В. Бєвз, С.О. Магопєць та ін. Кропивницький : ЦНТУ, 2021. 54 с.
9. Ільченко В.Ю. та ін. Машиновикористання в землеробстві. – К.: Урожай, 1996. 234 с.
10. Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ Підручник. Київ. "Каравела", 2-е видання. 2021. 552 с.

11. 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 II, 2007. 444 с.

12. Технічний сервіс в АПК: навчально-методичний комплекс: навч. посіб. / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, О.В. Козаченко та ін.: Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2014. – 680 с.

13. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин / Л.Ф. Вознюк, В.В. Іщенко, Я.М. Михайлович. – К.: Урожай, 1994. 216 с.

14. Лабораторний практикум з використання машин у рослинництві [Текст] : навчальний посібник / В.Ю. Ільченко, В.І., Пастухов, П.М. Кухаренко, В.І. Мельник, [та ін.]; Дніпропетровський держ. аграр. ун-т. – Д.: ДДАУ, 2003. – 396 с.

15. Технічний сервіс в АПК: навчально-методичний посібник для самостійної роботи студентів / Ю. Г. Сорваніді, Д. П. Журавель, А. М. Бондар, О. Ю. Новік. – Мелітополь: Видавничополіграфічний центр «Люкс», 2021. 157 с.

<http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/14088>

16. Канарчук В. Є. Надійність машин: підручник / В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв. - Київ: Либідь, 2003. 424 с.

17. Надійність автомобілів. Навчально-методичний посібник /Є.К. Солових, С.О. Магопєць, С.Є. Катеринич, А.Є. Солових, В.О. Дубовик. – Кропивницький. РВЛ ЦНТУ, 2019. 309 с.

<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/10042/1/%d0%9d%d0%b0%d0%b4%d1%96%d0%b9%d0%bd%d1%96%d1%81%d1%82%d1%8c %d0%b0%d0%b2%d1%82%d0%be%d0%bc%d0%be%d0%b1%d1%96%d0%bb%d1%96%d0%b2.pdf>