НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
технічного сервісу та інженерного
менеджменту імені
М. П. Момотенка

_____ Руслан ШАТРОВ

«____» _____ 2026 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА
на тему «Розробка Smart-технології діагностування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Мрія» Київської області»_____

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

__д.т.н., професор_____ _____ Вячеслав БРАТІШКО
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврaської кваліфікаційної роботи

_____д.т.н., проф.____ _____ Роговський Іван Леонідович

Виконав _____ Стригун Євгеній Олександрович

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
технічного сервісу та інженерного менеджменту
імені М. П. Момотенка
_____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ПІБ)
«____» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
_____ Стригуну Євгеніюй Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»_____
(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Розробка Smart-технології діагностування зернозбиральних комбайнів у ТОВ «Мрія» Київської області»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» 02 2026 р. № 510 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру__20 травня 2026 року_____
(рік, місяць, число)
Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Матеріали первинного бухгалтерського обліку, нормативно-методичні матеріали, науково-технічна література_____
Перелік питань, які потрібно розробити:
1. Характеристика господарства ТОВ «Мрія» Київської області
2. Аналіз існуючих методів та засобів технічного контролінгу зернозбиральних комбайнів._____
3. Розрахунок основних параметрів обслуговуючої майстерні_____
4. Конструктивна частина _____
5. Економічне обґрунтування проекту_____
6. Охорони праці_____

Перелік графічних документів: **Електронна презентація на 14 слайдів**
Дата видачі завдання «06» січня 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
_____ Роговський Іван Леонідович
(підпис) (прізвище та ініціали)
Завдання прийняв до виконання _____ Стригун Євгеній Олександрович
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи 70 стор., з них 65 стор. основного тексту. Складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків; містить 39 рисунка, 2 таблиці, додатку, має 50 посилань на джерела інформації.

Ключові слова: Зернозбиральний комбайн, надійність, сервісна інженерія, служба технічного сервісу, технічний стан, відмова, діагностика, працездатність.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи. Аграрний сектор виробництва сільськогосподарської продукції займає провідне місце у ВВП країни. Значимість даного сектору, основою якого є рослинництво, визначається природно- кліматичними умовами та експортною орієнтацією. Ситуація яка склалася в країні із зернозбиральними комбайнами говорить про те, що значна кількість комбайнів відпрацювали більшу частину свого ресурсу і потребують певного обсягу робіт з підтримки та відновлення працездатного стану. Відповідно, напрямок розгляду питань з дослідження технологічних процесів сервісної інженерії зернозбиральних комбайнів на підприємствах АПК є актуальним.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищити ефективність експлуатації зернозбиральних комбайнів за рахунок удосконалення технологічних процесів сервісної інженерії.

Завдання: 1. Дослідити питання спрямованості забезпечення надійності зернозбиральних комбайнів з огляду машинозабезпеченості, умов експлуатації та видів відмов. 2. Виконати оцінку і провести моніторинг показників надійності зернозбиральних комбайнів. 3. Розглянути питання технічного сервісу зернозбиральних комбайнів на підприємствах АПК. 4. Запропонувати до

використання методику розрахунку зайнятості пересувних засобів обслуговування та оптимальної періодичності діагностування зернозбиральних комбайнів з огляду економічної доцільності.

Об'єкт дослідження – процес втрати працездатності зернозбиральних комбайнів, зв'язок процесу з технологічними процесами сервісної інженерії.

Предмет дослідження – технологічні процеси сервісної інженерії зернозбиральних комбайнів.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів. Теоретичне значення одержаних результатів визначається теоретичним узагальненням і пошуком вирішення наукового завдання, яке виявляється в дослідженні технологічних процесів підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів шляхом дослідження питань сервісної інженерії, на підставі положень основ експлуатаційної надійності, з врахуванням характерних несправностей та методів визначення технічного стану, діагностування, обґрунтуванням напрямків управління експлуатаційною надійністю зернозбиральних комбайнів на підприємствах АПК; визначенням напрямків реалізації підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів з огляду процесу доставки запасних частин та роботи служби технічного сервісу; дослідженню напрямків розвитку організації та принципу роботи сервісної служби з технічного сервісу, визначенню методики розрахунку зайнятості пересувних засобів обслуговування та оптимальної періодичності діагностування. Практичне значення одержаних результатів визначається рекомендаціями щодо використання при організації роботи служби технічного сервісу зернозбиральних комбайнів на підприємствах з метою підвищення рівня експлуатаційної надійності комбайнів.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ…… **3**

ЗМІСТ…… **4**

ВСТУП…….... **6**

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ…. **7**

1.1. Забезпеченість зернозбиральними комбайнами в Україні…….. 7

1.2. Особливості експлуатації зернозбиральних комбайнів…….. 11

1.3. Характерні види відмов зернозбиральних комбайнів при експлуатації 13

1.4. Спрямованість на забезпечення надійності зернозбиральних комбайнів… 19

1.5. Висновки та завдання кваліфікаційної роботи……... 27

РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА І МОНІТОРИНГ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ…… **21**

2.1. Ефективність використання зернозбиральних комбайнів…… **21**

2.2. Експлуатаційна надійність зернозбиральних комбайнів з огляду процесу доставки запасних частин…… **34**

2.3. Висновки за розділом…….. **52**

РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ **53**

3.1. Організація роботи сервісних служб технічного сервісу…….. 53

3.2. Система діагностування зернозбиральних комбайнів на підприємствах АПК... 66

3.3. Граф станів системи технічного сервісу зернозбиральних комбайнів… 70

3.4. Пересувні засоби служби технічного сервісу зернозбиральних комбайнів……. 72

3.5. Висновки за розділом……..…. 73

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ…… **74**

4.1. Методика розрахунку зайнятості пересувних засобів технічного…….. **74**

4.2. Методика розрахунку оптимальної періодичності діагностування……. **77**

4.3. Висновки за розділом……... **80**

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…… **81**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… **83**

ВСТУП

Аграрний сектор виробництва сільськогосподарської продукції займає провідне місце у ВВП країни. Значимість даного сектору, основою якого є рослинництво, визначається природно-кліматичними умовами та експортною орієнтацією.

Слід відзначити, якщо машинозабезпеченість таких технологічних процесів як обробіток ґрунту, посів, захист рослин знаходиться на достатньому рівні, то для збирання врожаю на досить низькому, за технологічною потребою близько 120 тис. комбайнів. Частково це пояснюється тим, що в Україні за радянських часів не випускались власні зернозбиральні комбайни і обмеженістю наукових підрозділів які б займались даною проблематикою. При цьому спроби налагодити виробництво вітчизняних зернозбиральних комбайнів не дали очікуваних результатів, комбайни мали досить низку експлуатаційну надійність. Значну роль для задоволення потреб аграріїв відіграє вторинний ринок сільськогосподарської техніки. Розглядаючи кількісні та якісні зміни на ринку зернозбиральних комбайнів за останні роки в Україні слід зазначити, що прерогативою товаровиробника стало купівля зернозбиральних комбайнів закордонного виробництва, частка нових і таких що були в експлуатації становить 52% на 48%. На підставі аналізу проблематики за цим питанням встановлено, що кожен рік парк комбайнів в країні повинен оновлюватися до п’яти, шести тисяч одиниць. При цьому недостатня забезпеченість комбайнами у період збирання врожаю призводить до збільшення строків і додаткових втрат врожаю.

Відповідно, ситуація яка склалася в країні із зернозбиральними комбайнами говорить про те, що значна кількість комбайнів відпрацювали значну частину свого ресурсу і потребують певного обсягу робіт з підтримки та відновлення працездатного стану. Відповідно, напрямок розгляду питань з дослідження технологічних процесів сервісної інженерії зернозбиральних комбайнів на підприємствах АПК є актуальним.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Забезпеченість зернозбиральними комбайнами в Україні

Зернозбиральні комбайни мають достатньо високий рівень універсальності який характеризується можливістю збирання різних сільськогосподарських культур таких як: ранні зернові колосові та зернобобові; круп'яні – просо, гречка; насіння коренеплодів, трав, сорго; кукурудзи; технічних культур – соняшник, соя, ріпак, льон; тощо.

Розглядаючи інфографіку посівної площі під сільськогосподарськими культурами в Україні (рис. 1.1) слід зазначити, що зернозбиральні комбайни збирають врожай на 86% від загальної площі [39].



Рис. 1.1. Посівна площа сільськогосподарських культур в Україні оцінка Pro-Consulting [3]

Відповідно до того, що терміни збирання сільськогосподарських культур не збігаються, існують сприятливі умови для тривалого використання комбайнів на протязі сезону. Це дає змогу розподіляти амортизаційні відрахування і експлуатаційні витрати на більшу площу збирання, що позитивно впливає на собівартості виробленої продукції.

Втім зернозбиральні комбайни є одними з найдорожчих засобів з механізації технологічних процесів у рослинництві. Для прикладу 1 к.с. закордонного трактора коштує близько 500 доларів США, тоді як 1 к.с.

зернозбирального комбайна може перевищувати 1000 доларів США [31].

Розглядаючи кількісні та якісні зміни на ринку зернозбиральних комбайнів в Україні слід зазначити наступне. З набуттям Україною державної незалежності стала проблема забезпечення вітчизняного виробника зернозбиральними комбайнами, бо на відміну від інших видів сільськогосподарської техніки й обладнання для рослинництва з 1954 р. зернозбиральні комбайни в нашій країні не вироблялася. До 1991 року постачання комбайнів здійснювалося з підприємств, що розташовані у містах Ростов-на-Дону – СК-5 «Нива», «Дон1200/1500», Таганрог – СК-6 «Колос» і Красноярськ – «Єнісей-1200». В подальшому були спроби вирішити критичну ситуацію із забезпеченням зернозбиральними комбайнами. Насамперед проектування і налагодження серійного виробництва власного українського комбайна. Проте в умовах нерозвиненої науково-дослідної, дослідно-конструкторської, техніко-технологічної і сервісної бази та відповідного кадрового забезпечення даний напрямок в повному обсязі реалізувати не вдалося. Однак слід відзначити проект створення і налагодження промислового виробництва зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич» на ТОВ НВП

«Херсонський машинобудівний завод» за участі КБ «Південне» та ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», було випущено близько 1500 комбайнів. У подальшому доопрацювання конструкції КЗС-9 «Славутич» сприяло появі нової серії зернозбиральних комбайнів «СКІФ», дослідні зразки яких було випущено у 2010 р. Також били спроби налагодити розробку і виробництво зернозбиральних комбайнів «ЛАН» на ТОВ «Автоштамп». Наразі комбайн «ЛАН» являв собою копію

«Dominator-108» фірми «Claas» на базі українських і російських комплектуючих, що значно погіршило технічні та експлуатаційні характеристики. За продуктивністю і рівнем втрат зерна розроблені комбайни практично наблизилися до відповідних закордонних аналогів, але не знайшли відповідного попиту в українських сільських товаровиробників через незадовільну якість виготовлення та низьку надійність.

Були також спроби налагодити виробництво зернозбиральних комбайнів:

«Bizon-110SL» («Обрій») на ПАТ «Ковельсільмаш» і ДП «Завод імені

Малишева»; «Єнісей-1200» на ТОВ «Лозівський комбайновий завод» і «Єнісей- 950» на ВАТ «Білоцерківсільмаш» разом із ВАТ Виробниче об'єднання «Красноярський завод комбайнів» (РФ); «Дніпро-350» на ДП «ВО Південний машинобудівний завод ім. О.М. Макарова» на основі німецької машини «Claas Mega»; КЗС-15 «Сварог» на виробничих потужностях компанії «Інноваційні технології» повністю з машинокомплектів комбайна CSX 7080 американської компанії New Holland тощо [31]. Однак всі спроби налагодити в Україні спільне виробництво зернозбиральних комбайнів поки що залишаються нереалізованими.

Третім напрямком і вирішальним стало постачання зернозбиральних комбайнів закордонного виробництва таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Формування ринку сільськогосподарської техніки в АПК оцінка Pro-Consulting [3]

Найменування	2016	2017	2018	2019
Придбано, всього с/г техніки, млрд. грн.	8,9	12,5	18,5	17,9
з них вітчизняного виробництва, млрд. грн.	1,5	1,9	6	5,9
у т.ч. з частковою компенсацією вартості, млрд. грн.	-	0,8	4,4	5,8
Відсоток вітчизняної техніки у формуванні ринку с/г техніки і обладнання, %	16,8	15,2	32	33

Так у 2016-2019 р. було ввезено більш ніж 11 тис. комбайнів на загальну суму біля 950 млн. дол. США (рис. 1.2). Частка нових і таких, що вже були у використанні, комбайнів приблизно однакова: 52 % на 48 % [20].

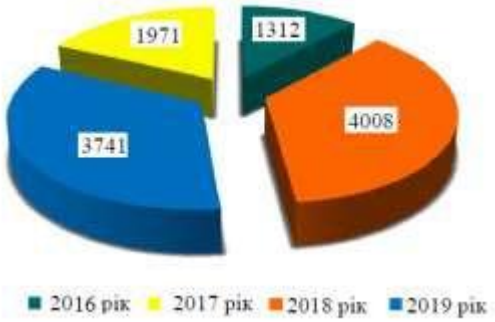


Рис. 1.2. Динаміка закупівлі закордонних зернозбиральних комбайнів

Значний інтерес представляє марочний склад придбаних зернозбиральних комбайнів сільськогосподарськими виробниками (рис. 1.3). Серед придбаних моделей основна частка належить фірмі «Claas». Наступним виступив виробник "John-Deer", далі "Дніпро-350" – виробляється на Павлоградському механічному заводі в Україні з використанням комплектуючих фірми "Claas". Наступними виступили «Case», «Палісся» та російські зразки «Дон», «Єнісей». Частка українського виробника комбайнів «Славутич» становила лише 0,6%, незважаючи на відносну доступність порівняно з іншими моделями.

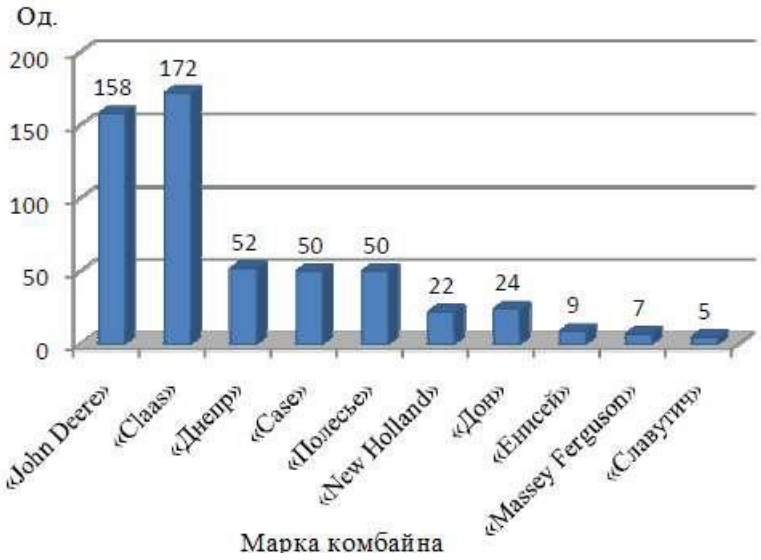


Рис. 1.3. Марочний склад придбаних зернозбиральних комбайнів сільськогосподарськими підприємствами [13]

В дослідженні [32] на підставі аналізу і проведених розрахунків стверджується, що кожен рік парк зернозбиральних комбайнів в межах держави повинен оновлюватись на п’ять, шість тисяч одиниць. Необхідність оновлення парку продиктована машинозабезпеченістю, моральним і фізичним зносом зернозбиральних комбайнів, а відтак збитків від несвоєчасного збору врожаю табл. 1.2. При цьому, зростання строків збирання врожаїв призводить до щорічної втрати врожаю до чотирьох мільйонів тон.

Таблиця 1.2 – Втрати через затримку строків збирання врожаю [16]

Затримка із збиранням Врожаю при досягненні стиглості, днів	Втрата врожаю, %				
	Озима пшениця	Яра пшениця	Озиме жито	Ярий ячмінь	Овес
4…7	4,2	6,8	3,3	2,8	16,1
8…10	9,2	10,6	8,5	3,0	22,6
11…13	16,3	17,2	14,3	8,7	26,8
14…16	17,4	29,3	15,3	15,7	28,6

Попит на ринку зернозбиральних комбайнів в Україні за останні роки стабілізувався і з урахуванням того, що технічний рівень та якісні показники зернозбиральних комбайнів провідних світових компаній практично вирівнялися, в сучасних умовах їх конкурентна боротьба спрямовується за напрямками: забезпечення раціональної маркетингової політики; кращі умови кредитування; забезпечення ефективного фірмового технічного сервісу.

1.2. Особливості експлуатації зернових комбайнів

Зернозбиральні комбайни експлуатуються у складних умовах обумовлених технологію збирання з відповідним впливом навантаження під час виконання технологічного процесу та зовнішнього середовища.

Відповідно до агротехнологічних строків збирання сільськогосподарських культур період експлуатації становить з червня по листопад. Даний період року характеризується зміною температурного режиму

у межах +35…–7^{0}С з вологістю повітря від 20% до 75% при високому вмісті в повітрі пилу.

Пряме комбайнування як технологія збору врожаю отримала найбільшого поширення і передбачає рух комбайна полем, зрізання жниваркою та подачею хлібної маси у молотильний барабан для відокремлення зернової маси від солом'яного вороху та подальшою очисткою зерна. Що стосується не зернової частини вона може бути подрібнена та розкидана по полю у якості органічних добрив або зібрана для подальшого використання у тваринницькому комплексі.

Відповідно до машинозабезпеченості підприємства може бути використана роздільна технологія збирання, що передбачає на першому етапі скошування хлібної маси у валок за неповної стиглості з дозріванням на місці, на другому етапі за допомого підбирача хлібна маса направляється до молотильного апарату з подальшою очисткою.

В Україні набуває поширення і третя технологія, що передбачає обчісування колосків зернових культур [25, 32]. Відповідно, на полі збирається лише зернова

частина врожаю, дана технологія дозволяє зменшити навантаження на механізми і вузли зернозбирального комбайна, тим самим підвищити рівень його експлуатаційної надійності. Залишається лише питання втрат зернової маси при виконанні технологічної операції обчісування колосків.

Суттєвий вплив на навантаження механізмів і вузлів зернозбирального комбайна має забур'яненість хлібної маси, нерівномірна врожайність і подача. Можливе перенавантаження, забивання робочих органів, закручування хлібної маси в жмути, забивання очисних систем та ін. Умови роботи механізмів зернозбирального комбайна також характеризується високим ступенем запиленості навколишнього середовища. Запиленість є наслідком пилу на стеблах і зерновій частині рослини, подрібнення складових зернової

маси молотильним барабаном, роботою повітряно-решітного механізму очищення зерна тощо. Відповідно, робота механізмів і вузлів зернозбирального комбайна ускладнюється їх інтенсивним зношуванням.

Відтак, умови експлуатації зернозбиральних комбайнів характеризується: вибором технології збирання сільськогосподарської культури; природно- кліматичними умовами, агротехнологічними строками; нерівномірністю подачі хлібної маси; запиленості навколишнього середовища при виконанні технологічного процесу тощо.

1.3. Характерні види відмов зернозбиральних комбайнів при експлуатації

Виконуючи ряд технологічних операцій скошування або підйом хлібної маси з валків, обмолоту, видалення зерна і очищення від солом'яної маси в зернозбиральних комбайнах виникають відмови.

У процесі взаємодії з хлібною масою при потраплянні сторонніх предметів можливі аварійні пошкодження робочих органів. Раптові відмови залежать від культури землеробства, конструктивної міцності робочих органів і використання спеціальних пристроїв захисту від аварійних пошкоджень.

На практиці при експлуатації зернозбиральних комбайнів фіксується ряд відмов пов'язаних із різного виду забивання системи охолодження, змащування або очищення силового агрегату. Досить часто зустрічаються відмови пов'язані з порушенням роботи електричних та електронних систем, формуючих раптові і поступові відмови призводячи до функціональних відмов тих чи інших систем.

Визначне місце у формуванні відмов належить абразивному зношуванню деталей механізмів і вузлів [44]. Відтак відмови, що обумовлені зношуванням, охоплюють значну долю серед інших відмов характерних для зернозбиральних комбайнів, в більшій мірі відмови

проявляються через певний час експлуатації. Абразивне зношування обумовлене безпосередньою взаємодією робочої поверхні деталі з твердими абразивними частками, що знаходитися в навколишньому середовищі і потрапили в зону тертя. Залежно від механізму контакту може спостерігатися абразивне зношування – дряпання, коли під дією абразивного елементу з поверхні металу робочої поверхні деталі відокремлюється мікростружка [27]. Можливе і полідеформування - руйнування поверхні абразивним елементом при переміщенні з коченням. Багатоциклове навантаження проявляється втомним зношуванням з відокремленням частинок металу з робочої поверхні. Відповідну роль в інтенсифікації процесу зношування набувають хімічно-активні речовини за рахунок зниження міцності поверхневого шару робочої поверхні шляхом проникнення молекул поверхнево-активних речовин в кристалічну структуру металу з утворенням на поверхні ерозійної плівки [28]. В більшій мірі механізм зношування проявляється в комбінованій формі з домінантним впливом одного з чинників.

Абразивне зношування спостерігається в різальних елементах жниварок, бил, гряділів, сегментів та ін. Під впливом абразивних елементів зношуються витки шнекових робочих органів, що призводить до збільшення зазорів між шнеком та кожухом і як наслідок втрата продуктивності. В наслідок абразивного зношування втрачають працездатність також незахищені підшипникові вузли та ланцюгові передачі.

Для прикладу розглянемо види відмов вузлів і механізмів приводу в

зернозбиральних комбайнах. Механічний привод в комбайнах поділився у відсотковому співвідношенні на: ланцюгові передачі – 55%, ремінні передачі – 30

%, закриті зубчасті – 10%, інші – 5% (рис. 1.4) [18].

При цьому аналіз відмов механічних приводів показав, що у відсотковому співвідношенні відмов на ремінні передачі приходиться 46 %, на редуктора 34%, на ланцюгові передачі – 20% (рис. 1.5).

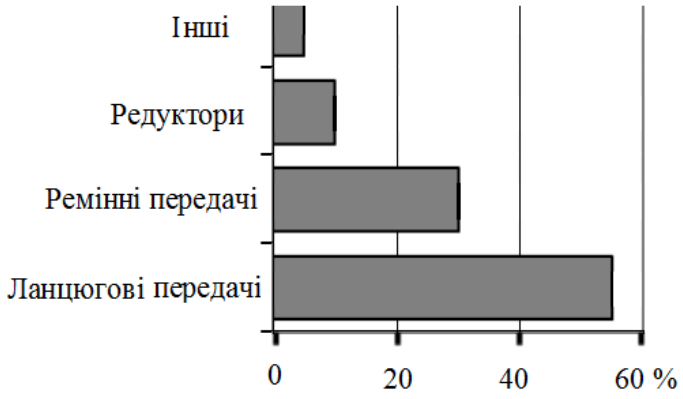


Рис. 1.4. Типи механічного приводу у відсотковому співвідношенні в зернозбиральних комбайнах

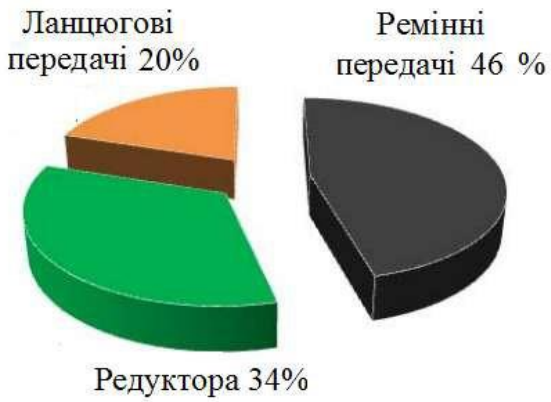


Рис. 1.5. Відмови механічних приводів в зернозбиральних комбайнах Більш як 80 % всіх видів відмов ремінних передач можна віднести до відмов

ременів і лише близько 20 % до відмов опор або шківів. Дане співвідношення витікає з характеристики міцності матеріалів. При цьому відмови ремінних передач можна поділити на види: 1) пошкодження ременя:

30 % – недостатній натяг, 70 % – пошкодження чи розрив; 2) пошкодження опор і шківів ремінних передач: 40 % – відмова натяжних пристроїв, 60 % – перекіс вісі передач [18].

Відмови редуктора можна поділити на конструктивні – 15%, експлуатаційні

– 5%, параметричні – 15%, виробничі – 65%. Відмови корпусних деталей визначаються: деформацією і перегрівом корпусу – 19%, витік оливи з корпусу – 53%, послаблення кріплення корпусу – 28%. Відмови валів та опор визначаються: перекосом валів – 18%, зсувом підшипників – 23%, неспіввісністю валів – 11%, забрудненням і зношенням підшипників – 46 %, биттям валів – 12%. Відмови зубчастих передач визначаються: механічним зносом – 19%, корозійно- механічним зносом – 30% [18].

Причинами прояву відмов (рис. 1.6…1.9) також є недостатня якість виготовлення деталей і вузлів; конструкторські прорахунки у виборі матеріалів і конструктивних параметрів деталей; низький рівень технічної культури експлуатації; неякісна робота служб технічного сервісу.



Рис. 1.6. Руйнування редуктора похилого завантажую чого шнека



Рис. 1.7. Розшарування ременя привода вентилятора очистки бункера



Рис. 1.8. Підтікання оливи з штуцера гідроциліндра варіатора барабана



Рис. 1.9. Злам шківа двигуна приводу робочих органів

1.4. Спрямованість на забезпечення надійності зернозбиральних комбайнів

Умови експлуатації зернозбиральних комбайнів і забезпечення необхідного рівня надійності та високої працездатності у період збору врожаю потребують відповідних рішень організаційно-технологічного спрямування.

Світова практика виробництва сільськогосподарської техніки передбачає проведення ряду повномасштабних лабораторних, стендових та експлуатаційних випробувань задля виявлення і усуненні конструкторсько-технологічних прорахунків для подальшої постановки техніки у серійне виробництво [37]. Відтак досягається високий рівень надійності сільськогосподарської техніки, що дозволяє їй конкурувати в умовах ринкової економіки.

Нажаль зовсім інший підхід використано у постановці на серійне виробництво вітчизняного зернозбирального комбайна КЗС-9-1 «Славутич». Від початку виробництва і випуску перших моделей комбайна з 1999 року до конструкції складових елементів внесено біля тисячі змін, що пов’язані в більшій мірі з низькім рівнем надійності. В середньому наробіток на відмову складав 25- 30 год., а простої на усунення відмов становив близько 10 год. [29].

В роботі [33] відмічено, що наробіток на відмову закордонних зернозбиральних комбайнів провідних фірм складає 100-180 год., що суттєво більше ніж показники вітчизняних комбайнів. При цьому загальний строк експлуатації закордонних комбайнів досягає 13-15 років, що в двічі перевищує показники вітчизняних комбайнів.

Достатнім рівнем надійності зернозбиральних комбайнів за показником довговічності слід вважати наробіток на відмову 140-180 год., що відповідає близько 5% простоїв. Якщо розглядати рівень надійності зернозбиральних комбайнів: «Славутич», «ДОН», «Енисей» з наробітком на відмову – 15-40 год., простої будуть складати 35-45% [36].

Графічну закономірність зміни часу простоїв техніки від середнього наробітку на відмову представлено на рис. 1.10 [36].

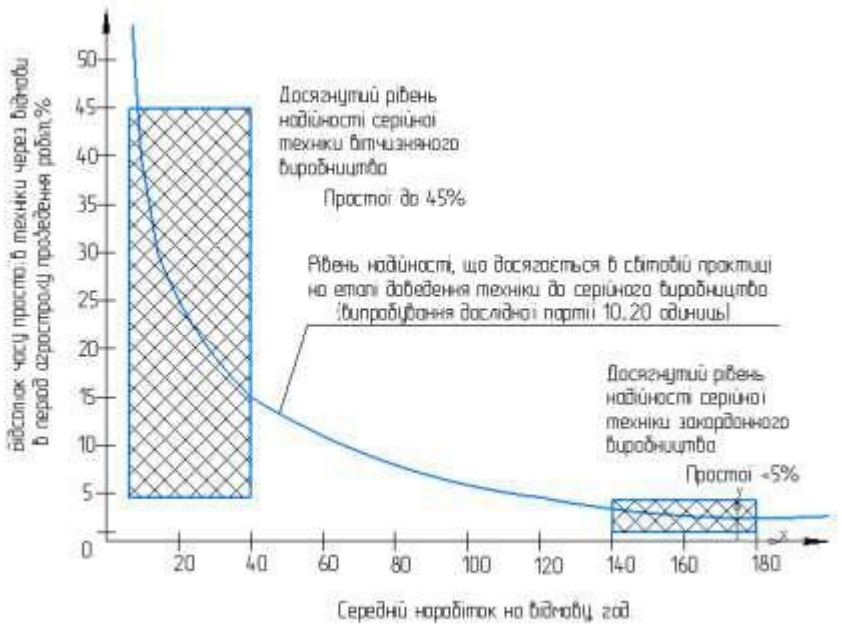


Рис. 1.10. Зміна рівня надійності зернозбиральних комбайнів в залежності від наробітку на відмову

Аналізуючи представлену закономірність слід відзначити досить широке варіювання значень наробітку на відмову в межах 7-40 год. так і відсотку часу простоїв техніки через відмови в період агростроку виконання робіт в межах 5- 45% для зернозбиральних комбайнів вітчизняного

виробництва. Так відомо, що зернозбиральний комбайн є багатоопераційною машиною, що має біля 18 тис. деталей, які об’єднані в окремі складові вузли і системи, але з низьким рівнем експлуатаційної надійності. Відповідно неможливо ігнорувати світовий досвід проектування, випробування і постановки техніки до серійного виробництва.

При здійсненні порівняльної оцінки вітчизняних зразків комбайнів із закордонними можна визначити наступне: незважаючи на нижчі ціни на вітчизняні комбайни та комбайни «Дон» та «Нива», за вартістю прямих витрат на 1 га зібраної площі дані моделі не є лідерами. Наприклад, за витратою палива вітчизняний комбайн «Славутич» має найбільший показник 14,25 кг/га, комбайни

«Дон» та «Нива» також не відрізняються економією палива – 11 та 12,06 кг/га відповідно, John-Deer" – 9,8 кг/га, «Claas» – 8,7 кг/га. Розглядаючи коефіцієнт надійності технологічного процесу слід відзначити, що для комбайнів «Славутич КЗСР-9» та «Дон-1500Б», цей показник складає – 0,82, а для комбайна «Нива» – 0,64, тоді як закордонні моделі "John-Deer", «Claas» тощо, є біль надійними, їх коефіцієнт складає – 0,94.

Незважаючи на науково-технологічний рівень конструкцій сучасних зернозбиральних комбайнів, простота і швидкість технологічного та технічного обслуговування на сьогодні виступають одними з пріоритетів при удосконаленні комбайнів. Одним із напрямків є те, що світові виробники виготовляють комплектуючі і запасні частини із високим рівнем уніфікації з різними видами техніки свого бренду, що значно спрощує проведення ремонтів і дозволяє оптимізувати склад запасних частин та витратних матеріалів. Іншим напрямком є мінімізація кількості точок щоденного технічного обслуговування; легкий доступ і зручність до візуалізації індикаторів контролю стану привідних елементів (ланцюги, паси, тощо); герметизація приводів і підшипників, що не потребують змащування протягом усього терміну експлуатації; автоматизація системи змащування з

мінімізацією кількості сервісних точок – усі ці напрямки в сукупності дозволяють значно спростити технічне обслуговування та скоротити витрати часу і коштів на його проведення. Відповідно, що менше часу витрачається на налаштування і технічне обслуговування та ремонти – більше комбайн знаходяться у справному, працездатному стані.

1.5. Висновки та завдання кваліфікаційної роботи

Розглядаючи кількісні та якісні зміни на ринку зернозбиральних комбайнів за останні роки в Україні слід зазначити, що прерогативою товаровиробника стало купівля зернозбиральних комбайнів закордонного виробництва, частка нових і таких що були в експлуатації становить 52% на 48%. Приймаючи до уваги складні умови експлуатації, що обумовлені технологією збирання з відповідним впливом навантаження під час виконання технологічного процесу та зовнішнього середовища, виникають відмови, які обумовлені недостатньою якістю виготовлення деталей і вузлів; конструкторськими прорахунками у виборі матеріалів і конструктивних параметрів деталей; низьким рівнем технічної

культури експлуатації; неякісною роботою служб технічного сервісу. Відповідно до теми роботи були поставлені наступні завдання дослідження:

1. Дослідити питання спрямованості забезпечення надійності зернозбиральних комбайнів з огляду машинозабезпеченості, умов експлуатації та видів відмов.

2. Виконати оцінку і провести моніторинг показників надійності зернозбиральних комбайнів.

3. Розглянути питання технічного сервісу зернозбиральних комбайнів на підприємствах АПК.

4. Запропонувати до використання методику розрахунку зайнятості пересувних засобів обслуговування та оптимальної періодичності діагностування зернозбиральних комбайнів з огляду економічної доцільності.

РОЗДІЛ 2ОЦІНКА І МОНІТОРИНГ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

2.1. Ефективність використання зернозбиральних комбайнів

Для досягнення мети – побудови раціонального збирального процесу, необхідно дотримуватися умови виконання відповідного обсягу робіт в економічно доцільні терміни, зберігання якості та кількості врожаю, технічного потенціалу, забезпечення найменших витрат для отримання максимального прибутку. Основні виробничі фактори, що впливають на ефективність використання зернозбиральних комбайнів відображено на (рис. 2.1).

Дана класифікація дозволяє визначити місце процесу збирання зернових культур як підсистеми у загальній системі виробничої діяльності підприємств АПК. Для підвищення ефективності функціонування зернозбиральних комбайнів необхідно виявити закономірності зміни витрат на технічне обслуговування, ремонт, запасні частини, зберігання, паливно-мастильні матеріали, продуктивності протягом збирального періоду з метою управління технологічними процесами. Складна технічна система потребує розгляду та аналізу різних варіантів побудови збирального процесу на основі критерію комплексних витрат, що забезпечує досягнення поставленої мети. Результатами за якими оцінюють збиральний процес є тривалість робіт, втрати продукції, прибуток. При цьому механізований технологічний процес оцінюють за кліматичними умовами, ресурсним потенціалом сільськогосподарського підприємства: матеріальні, трудові та земельні ресурси.

У результаті ринкових перетворень у сільськогосподарському виробництві з'явилися різні форми суб'єктів господарювання з різним ресурсним забезпеченням. На ефективність використання складної технічної системи, комбайна, впливають його технічні параметри, рівень підготовки та

професіоналізм обслуговуючого персоналу, властивості оброблюваного матеріалу, і навіть природні і виробничі умови. Ефективність функціонування комбайнів значною мірою залежить від раціонального їх використання з різною технічною надійністю [36].

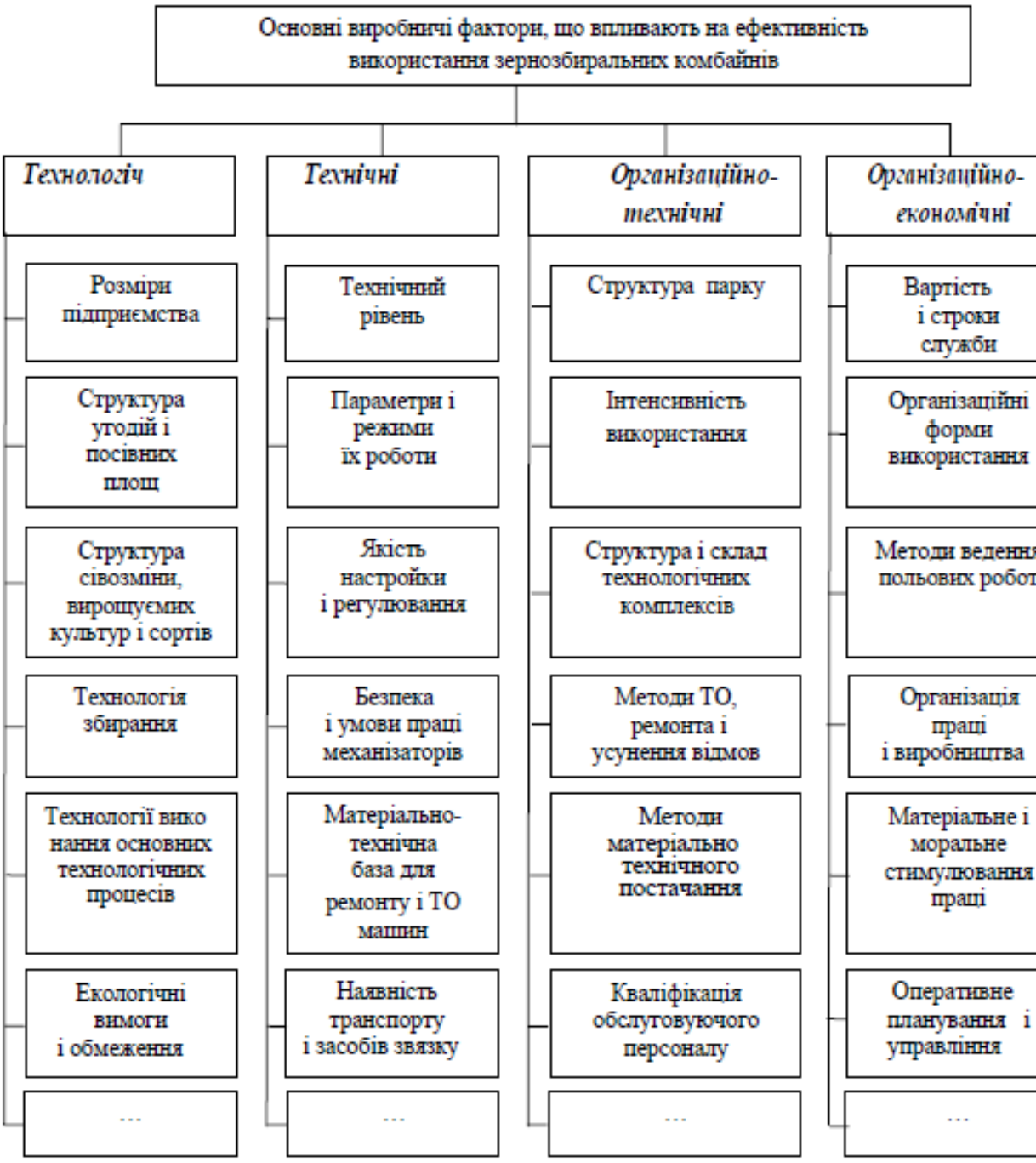


Рис. 2.1. Класифікація основних виробничих факторів, що впливають на ефективність використання зернозбиральних комбайнів

Для підвищення ефективності функціонування збирального процесу необхідно визначити закономірності зміни параметрів на вході та виході у часі з метою надання їм керуючих впливів. Складна технічна система визначає розгляд та аналіз можливих варіантів побудови збирального процесу на основі прийнятого критерію сумарних витрат, що забезпечує досягнення поставленої мети [46].

Для техніко-економічної оцінки зернозбиральних процесів у виробничому циклі запропоновано структурну схему управління зернозбиральним процесом, вхідні та вихідні параметри яких вказані на (рис. 2.2).

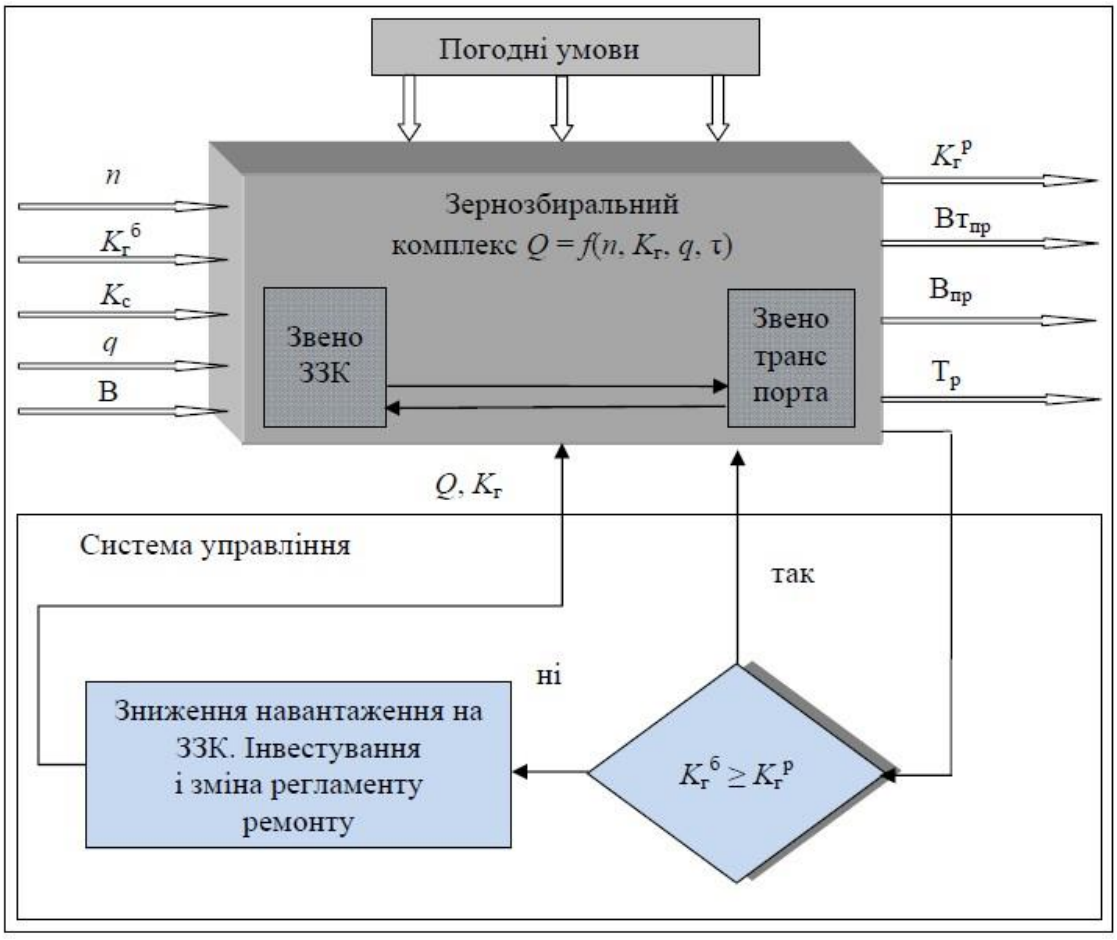


Рис. 2.2. Структурна схема управління зернозбиральним процесом:

Структурна схема управління зернозбиральним процесом

1. Основні компоненти системи

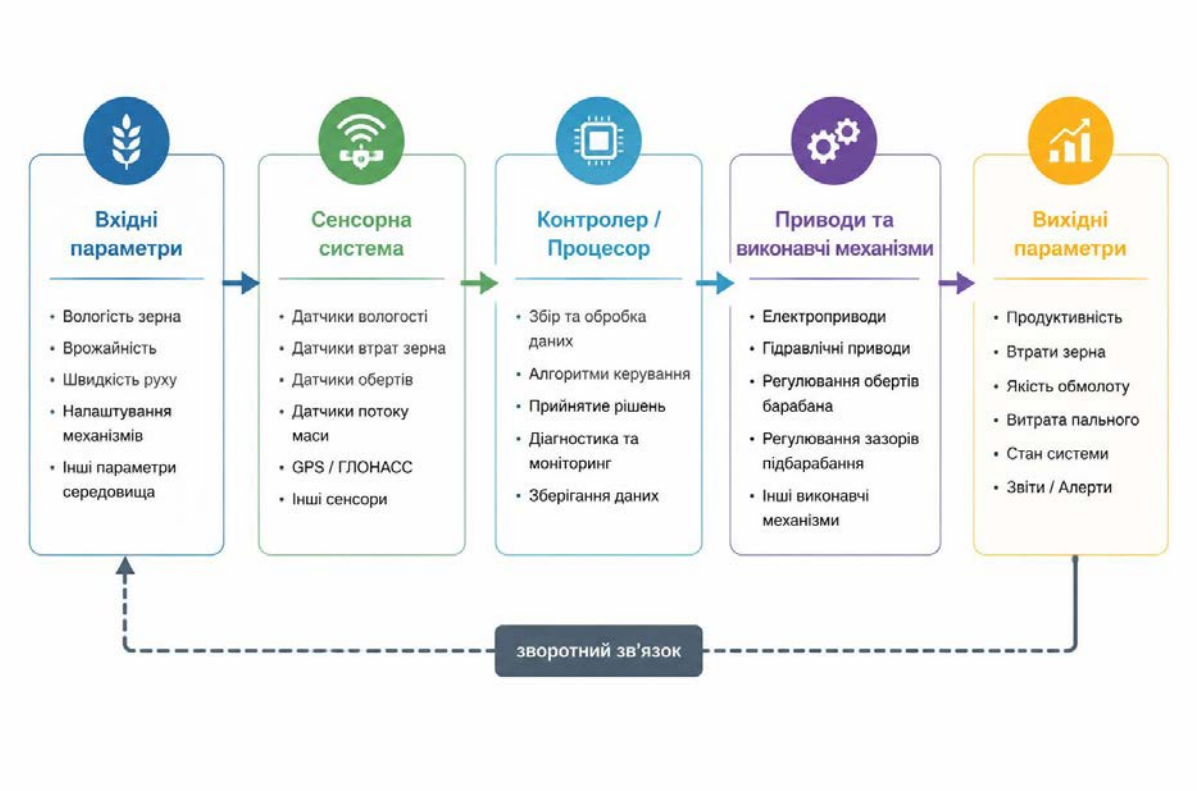
1. **Вхідні параметри**

- Вологість зерна
- Швидкість обмолоту
- Висота зрізу та швидкість комбайна

2. **Сенсорна система**
   - Датчики обертання ротора
   - Вібраційні сенсори молотильного барабана
   - Датчики рівня зерна в бункері
   - Температурні сенсори вузлів
3. **Контролер/процесор**
   - Прийом сигналів від сенсорів
   - Обробка даних і розрахунок оптимальних параметрів роботи
   - Формування сигналів керування робочими вузлами
4. **Приводи та виконавчі механізми**
   - Електродвигуни молотильного барабана
   - Приводи шнеків і транспортерів
   - Системи регулювання висоти та швидкості
5. **Зворотний зв'язок**
   - Порівняння фактичних параметрів із заданими
   - Корекція режимів обмолоту та транспортування зерна
6. **Вихідні параметри процесу**
   - Продуктивність обмолоту
   - Якість зерна
   - Заповнення бункера
   - Енергоспоживання

Що залучається до збиральних робіт. Як некеровані параметри виступають кліматичні умови. Зі збільшенням площі збирання зростають вимоги до продуктивності збиральних машин, отже, і їх надійності. Керованими параметрами у зернозбиральному процесі є комплексний показник технічної готовності, який оцінюється коефіцієнтом готовності та сезонне навантаження зернозбирального комбайна, а керуючим собівартість виробленої продукції.

Підвищити продуктивність комбайнів можна за рахунок коефіцієнта використання часу зміни збирально-транспортного комплексу, що збільшується при надійному транспортному забезпеченні та формуванні раціональної структури зернозбирального комплексу. При відхиленні коефіцієнта готовності в меншу сторону від рекомендованого доцільно використання кількох варіантів: оновлення техніки та залучення додаткових трудових ресурсів; продаж зернозбиральної техніки з низькою технічною готовністю до фермерських господарств з невеликою площею збирання; інвестування у ремонт ЗЗК, що не знижує обсяги виробництва сільськогосподарської продукції, але потребує вкладення фінансових коштів.



Щоб обґрунтувати **площу вирощування зернових культур** Q, враховують такі фактори:

1. Кількість комбайнів

- Кількість техніки визначає максимально можливу продуктивність у сезоні.

- Більша кількість комбайнів дозволяє обробити більшу площу за короткий час.

- Формула врахування:

$$Q_{\text{макс}} = n_{\text{комб}} \cdot S_{\text{день}} \cdot T_{\text{сезон}}$$

де:

- $n_{\text{комб}}$– кількість комбайнів
- $S_{\text{день}}$– пропускна здатність одного комбайна на день, га/день
- $T_{\text{сезон}}$– тривалість сезону збору, днів

2. Пропускна здатність комбайнів

- Пропускна здатність залежить від моделі, ширини захвату, швидкості руху та ефективності обмолоту.

- Може бути задана як:

$$S_{\text{день}} = W \cdot V \cdot K_{\text{еф}}$$

де:

- W– ширина захвату, м
- V– швидкість руху комбайна, м/с
- $K_{\text{еф}}$– коефіцієнт ефективності (враховує простої, перевантаження, технічні зупинки)

3. Технічна готовність

- Технічна готовність $(\eta_{\text{тех}})$показує частку часу, коли комбайн фактично працює.

- Враховується через коефіцієнт:

$$Q_{\text{кор}} = Q_{\text{макс}} \cdot \eta_{\text{тех}}$$

Наприклад, якщо $\eta_{\text{тех}} = 0{,}9$, лише 90 % теоретично можливого часу буде використано.

4. Підсумкова формула площі Q

$$Q = n_{\text{комб}} \cdot S_{\text{день}} \cdot T_{\text{сезон}} \cdot \eta_{\text{тех}}$$

Ця формула дозволяє розрахувати **реальну площу обробки зернових культур**, враховуючи кількість комбайнів, їх продуктивність і технічну готовність.

Якщо хочете, я можу **зробити приклад розрахунку з конкретними даними по комбайнах, пропускній здатності та технічній готовності**, щоб отримати реальну площу Qу га.

Результати розрахунків із обґрунтування посівної площі залежно від коефіцієнта готовності представлені на (рис. 2.3). З рисунку витікає, що у разі зростання коефіцієнта готовності зернозбирального комбайна його сезонне напрацювання збільшується. Збільшення коефіцієнта готовності можливе за рахунок скорочення часу усунення наслідків відмови, доставки запасних частин, або формування фонду обмінних запасних частин, використання агрегатного методу ремонту. На сезонне напрацювання зернозбиральних комбайнів значно впливає і врожайність зернових культур, так зі збільшенням врожайності сезонне напрацювання знижується через збільшення завантаження молотарки та зниження швидкості комбайна.

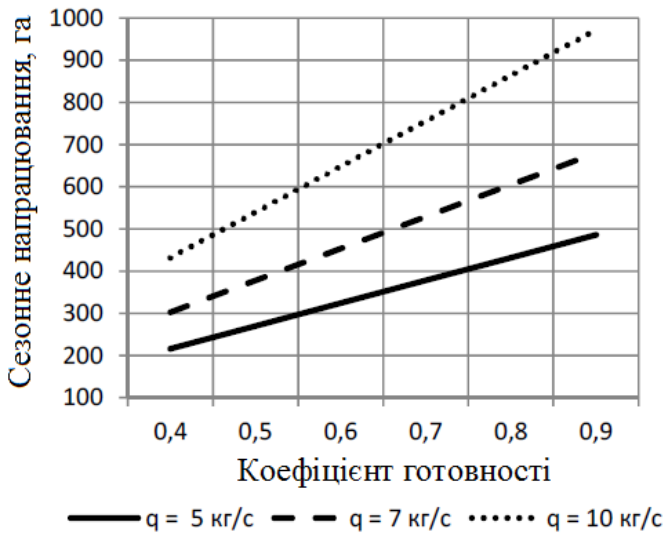


Рис. 2.3. Вплив коефіцієнта готовності на сезонне напрацювання

Щоб обґрунтувати площу вирощування зернових культур Q, враховують такі фактори:

1. Кількість комбайнів

Кількість техніки визначає максимально можливу продуктивність у сезоні.

Більша кількість комбайнів дозволяє обробити більшу площу за короткий час.

Формула врахування:

$$Q_{\text{макс}} = n_{\text{комб}} \cdot S_{\text{день}} \cdot T_{\text{сезон}}$$

де:

$n_{\text{комб}}$– кількість комбайнів

$S_{\text{день}}$– пропускна здатність одного комбайна на день, га/день

$T_{\text{сезон}}$– тривалість сезону збору, днів

2. Пропускна здатність комбайнів

Пропускна здатність залежить від моделі, ширини захвату, швидкості руху та ефективності обмолоту.

Може бути задана як:

$$S_{\text{день}} = W \cdot V \cdot K_{\text{еф}}$$

де:

W– ширина захвату, м

V– швидкість руху комбайна, м/с

$K_{\text{еф}}$– коефіцієнт ефективності (враховує простої, перевантаження, технічні зупинки)

3. Технічна готовність

Технічна готовність $(\eta_{\text{тех}})$показує частку часу, коли комбайн фактично працює.

Враховується через коефіцієнт:

$$Q_{\text{кор}} = Q_{\text{макс}} \cdot \eta_{\text{тех}}$$

Наприклад, якщо $\eta_{\text{тех}} = 0{,}9$, лише 90 % теоретично можливого часу буде використано.

4. Підсумкова формула площі $\boldsymbol{Q}$

$$Q = n_{\text{комб}} \cdot S_{\text{день}} \cdot T_{\text{сезон}} \cdot \eta_{\text{тех}}$$

Ця формула дозволяє розрахувати реальну площу обробки зернових культур, враховуючи кількість комбайнів, їх продуктивність і технічну готовність.

Якщо хочете, я можу зробити приклад розрахунку з конкретними даними по комбайнах, пропускній здатності та технічній готовності, щоб отримати реальну площу Qу га.

Хочете, щоб я це зробила?

З урахуванням викладеного при обґрунтуванні площі обробітку та кількості зернозбиральних комбайнів з урахуванням їх ресурсного стану та технологічного

Щоб обґрунтувати площу обробітку та кількість зернозбиральних комбайнів з урахуванням їх ресурсного стану та технологічного рівня, можна використати наступну методику:

1. Вихідні параметри

Кількість наявних комбайнів: $n_{\text{комб}}$

Пропускна здатність одного комбайна: $S_{\text{день}}$(га/день)

Тривалість робочого сезону: $T_{\text{сезон}}$(днів)

Технічна готовність (ресурсний стан): $\eta_{\text{тех}}$

Коефіцієнт технологічності процесу: $K_{\text{тех}}$(враховує простій, підготовку, транспортні переміщення)

2. Розрахунок ефективної продуктивності одного комбайна

$$S_{\text{еф}} = S_{\text{день}} \cdot \eta_{\text{тех}} \cdot K_{\text{тех}}$$

де:

$S_{\text{еф}}$– ефективна продуктивність, га/день

3. Розрахунок необхідної площі обробітку

Якщо відома кількість комбайнів та їх ефективність, площа Qвизначається як:

$$Q = n_{\text{комб}} \cdot S_{\text{еф}} \cdot T_{\text{сезон}}$$

4. Визначення кількості комбайнів для заданої площі

Якщо задана площа $Q_{\text{зад}}$, необхідна кількість комбайнів:

$$n_{\text{комб}} = \frac{Q_{\text{зад}}}{S_{\text{еф}} \cdot T_{\text{сезон}}}$$

5. Врахування ресурсного стану та технології

Ресурсний стан: комбайни з меншим ресурсом або зношеними вузлами знижують $\eta_{\text{тех}}$(наприклад, до 0,8–0,9).

Технологічний рівень: сучасні моделі можуть мати більшу продуктивність, що підвищує $K_{\text{тех}}$(0,9–1,0).

Для точного планування потрібно враховувати комбінований коефіцієнт ефективності:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{тех}} \cdot K_{\text{тех}}$$

Слід зазначити, що від виду технологічної операції, яку виконує зернозбиральний комбайн залежать вимоги до його надійності. Так при використанні на косовиці та обмолоті порівняно з прямим збиранням вимоги до надійності комбайна знижуються, через те що не використовуються окремі агрегати.

Для оцінки технічної готовності зернозбиральних комбайнів необхідно визначити такі показники, як час усунення наслідків відмови, кількість відмов, напрацювання на відмову.

Встановлено, що зі збільшенням напрацювання на відмову потреба у резервних комбайнах знижується (рис. 2.4), але збільшується при зниженні коефіцієнта використання часу зміни.



Рис. 2.4. Залежність кількості зернозбиральних комбайнів від напрацювання на відмову та коефіцієнта використання часу зміни: Q = 1000 га, B = 15 ц/га [46]

Значний вплив на потребу в технологічних машинах має середній час відновлення відмови, що складається з часу на пошуки та безпосередньо на

усунення відмови, а також доставки запасних частин. Як видно з (рис. 2.5), зі збільшенням часу усунення відмови від двох до п'яти годин потрібна кількість комбайнів зростає на 25%.

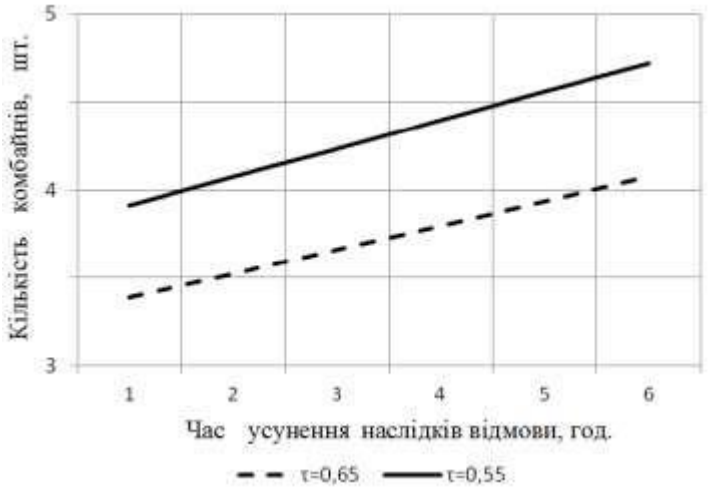


Рис. 2.5. Залежність кількості зернозбиральних комбайнів від часу усунення наслідків відмови та коефіцієнта використання часу зміни за умови: Q = 1000 га, B

Досліджуючи взаємозв'язок напрацювання на відмову від десяти до п’ятдесяти годин і середнього часу усунення наслідків відмови від однієї до шести годин на коефіцієнта готовності (рис. 2.6) [46], встановлено, що на відновлення працездатного стану зернозбирального комбайна має більший вплав час відновлення ніж напрацювання на відмову. Встановлено, що зі зниженням напрацювання на відмову з п’ятдесяти до десяти годин та зі зростанням часу усунення наслідків відмови від однієї до шести годин коефіцієнт готовності знижується на 37 %.

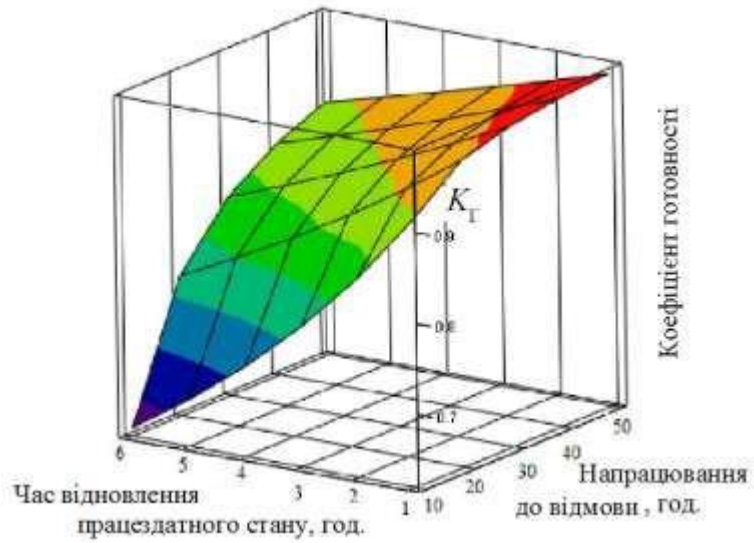
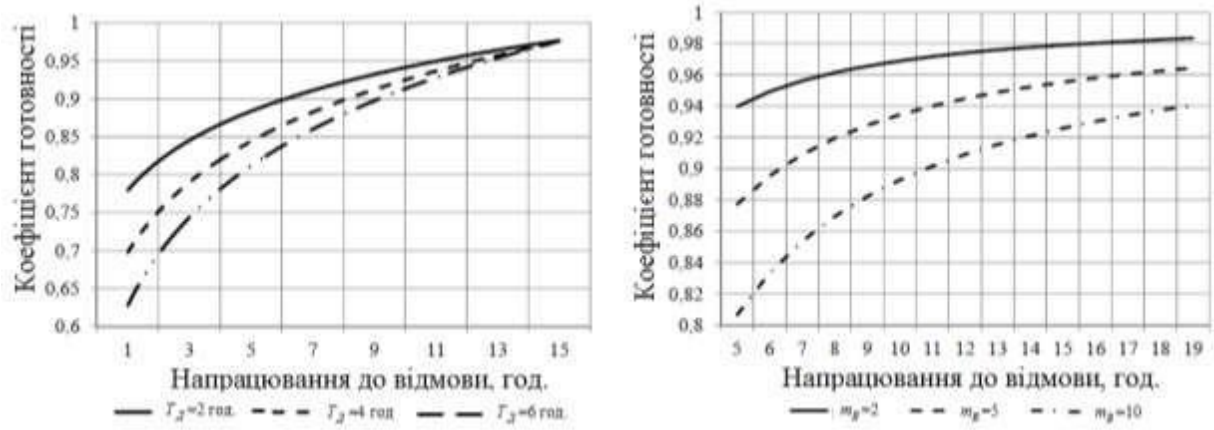


Рис. 2.6. Залежність коефіцієнта готовності зернозбиральних комбайнів від часу відновлення працездатності та напрацювання на відмову

Відповідно у виробничих умовах необхідно застосовувати організаційні заходи, що спрямовані на скорочення часу усунення технічних відмов та доставку запасних частин, або за рахунок формування фонду обмінних запасних частин, використання агрегатного методу ремонту. Існує пряма залежність коефіцієнта готовності від напрацювання до відмови за різного часу доставки запасних частин (рис. 2.7, а) та кількості відмов (рис. 2.7, б).



а) б)

Рис. 2.7. Залежність коефіцієнта готовності від напрацювання на відмову а)

за різного часу доставки запасних частин б) кількості відмов [46]

частин та напрацювання до відмови, використовується **коефіцієнт простою комбайнів ($K_{пр}$)**.

1. Формула коефіцієнта простою

$$K_{пр} = \frac{t_в}{t_н + t_д + t_в}$$

де:

- $t_в$– час на усунення наслідків відмови (ремонтний час), год
- $t_д$– час на доставку запасних частин, год
- $t_н$– напрацювання до відмови (середній час між відмовами), год

Коефіцієнт простою показує частку часу, протягом якого комбайн **не працює через відмови та очікування запасних частин** відносно загального часу між відмовами.

2. Інтерпретація

- $K_{пр} \to 0$– комбайн практично без простоїв, висока технічна готовність.
- $K_{пр} \to 1$– комбайн часто стоїть у простої через відмови або очікування деталей.

3. Приклад розрахунку

Припустимо:

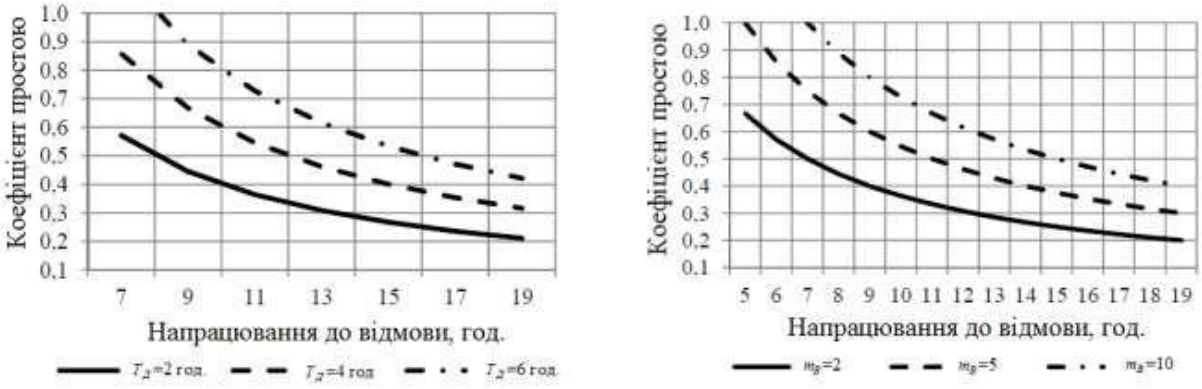
- Напрацювання до відмови $t_н = 120$год
- Час усунення відмови $t_в = 6$год
- Час доставки запасних частин $t_д = 4$год

Тоді:

$$K_{пр} = \frac{6}{120 + 4 + 6} = \frac{6}{130} \approx 0{,}046\ (4{,}6\%)$$

Це означає, що комбайн простоює лише 4,6 % часу відносно загального часу між відмовами.

На коефіцієнт простою має значний вплив напрацювання на відмову час доставки запасних частин (рис. 2.8, а) та кількість відмов (рис. 2.8, б).



а) б)

Рис. 2.8. Залежність коефіцієнта простою від напрацювання на відмову а) за різного часу доставки запасних частин б) кількості відмов [49]

Приймаючи до уваги закономірність (2.13) слід зазначити, що коефіцієнт готовності тісно взаємопов'язаний з коефіцієнтом простою машин (рис. 2.9).

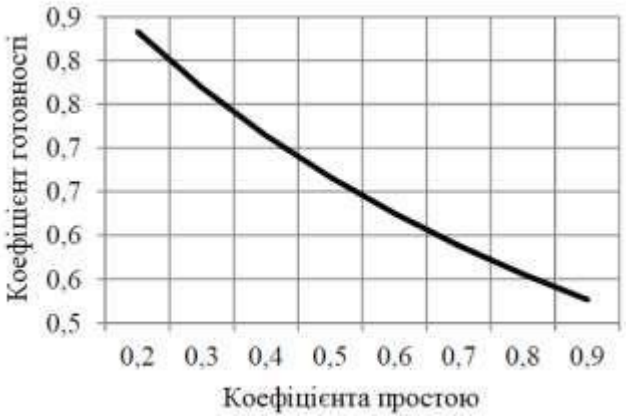


Рис. 2.9. Залежність коефіцієнта готовності від коефіцієнта простою [49]
Так із збільшенням коефіцієнта простою з 0,2 до 0,9 коефіцієнт готовності знижується з 0,85 до 0,5.

Надійність зернозбиральних комбайнів за рахунок збільшення сезонного напрацювання шляхом зменшення часу на здійснення відновлювальних операцій, виконання ремонту, доставки запасних частин.

2.2 Експлуатаційна надійність зернозбиральних комбайнів з огляду процесу доставки запасних частин

1. Мета розділу

Мета аналізу – оцінити **експлуатаційну надійність комбайнів**, враховуючи час простою, що виникає через:

- відмови обладнання;
- доставку та отримання запасних частин;
- очікування виконання ремонтних робіт.

Це дозволяє планувати **технічну готовність** техніки та оптимізувати логістику запасних частин.

2. Показники експлуатаційної надійності

1. **Коефіцієнт технічної готовності ($K_{тех}$)**:

$$K_{\text{тех}} = \frac{T_{\text{роб}}}{T_{\text{роб}} + T_{\text{простої}}}$$

де:

- $T_{\text{роб}}$– час фактичної роботи комбайна, год
- $T_{\text{простої}}$– час простою через відмови, год

2. **Коефіцієнт простою ($K_{\text{пр}}$)**:

$$K_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{рем}} + t_{\text{д}}}{t_{\text{н}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{д}}}$$

де:

- $t_{\text{рем}}$– час на усунення відмови
- $t_{\text{д}}$– час доставки запасних частин
- $t_{\text{н}}$– середній час між відмовами (MTBF)

Коефіцієнт простою показує частку часу, протягом якого комбайн не працює через відмови та логістичні затримки.

3. Вплив процесу доставки запасних частин

- **Час доставки запасних частин** прямо впливає на технічну готовність.
- Для підвищення надійності важливо:
  - оптимізувати логістичні маршрути постачання;
  - підтримувати мінімальний запас критичних деталей на складі;
  - застосовувати **сучасні системи моніторингу та прогнозного замовлення** запчастин.

4. Розрахунок ефективної експлуатаційної надійності

Ефективна експлуатаційна надійність з урахуванням доставки запасних частин визначається як:

$$K_{\text{еф}} = \frac{t_{\text{н}}}{t_{\text{н}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{д}}}$$

Чим менший час доставки, тим більший $K_{\text{еф}}$.

- Даний коефіцієнт використовується для планування кількості комбайнів, які забезпечують обробку певної площі.

5. Висновки

1. Надійність комбайнів визначається не лише технічними характеристиками, а й **ефективністю постачання запасних частин**.

2. Оптимізація логістики дозволяє зменшити простої та підвищити коефіцієнт технічної готовності.

3. Розрахунки $K_{\text{тех}}$і $K_{\text{еф}}$є ключовими при плануванні **площі обробітку та кількості комбайнів** у сезоні.

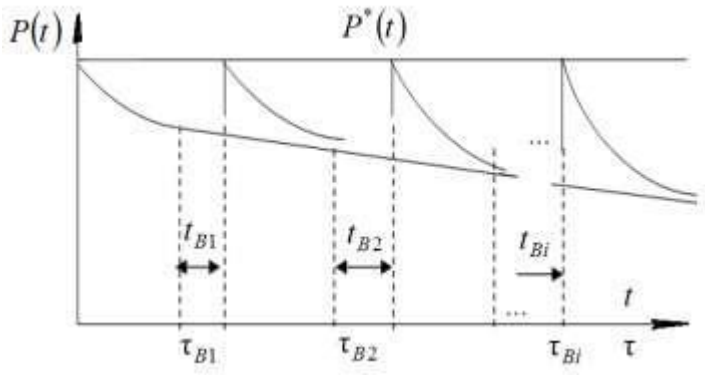


Рис. 2.10. Зміна експлуатаційної надійності зернозбирального комбайна

Для підтримки заданого рівня надійності зернозбирального комбайна в межах допустимого рівня виконуються ряд технологічних операцій пов’язаних з проведенням технічного обслуговування та ремонту, при цьому напрацювання на відмову і тривалість операцій з відновлення мають ймовірнісний характер з ряду складових величин. Наприклад однією із таких ймовірнісних величин при виконанні ремонтних робіт є потреба й час доставки запасних частин [45].

Відповідно до економічної доцільності щодо постачання запасних частин до зернозбиральних комбайнів в регіоні їх експлуатації, використовуються двох та трьох рівневі схеми постачання за допомоги дилерської структури та регіональних складів запасних частин (рис. 2.11) [45]. Завданням із забезпечення сільгоспвиробників запасними частинами нині складається з трьох блоків: планування потреби у запасних частинах, їх виробництво та організація доставки.

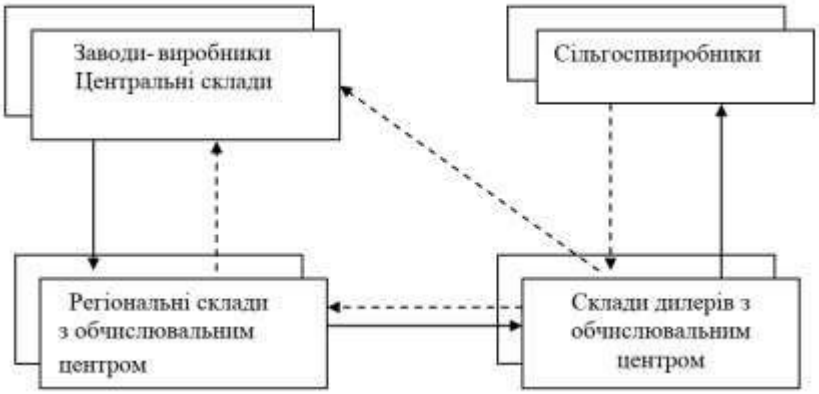


Рис. 2.11. Схема постачання запасних частин до зернозбирального комбайна Використання даної схеми постачання з раціональним розташуванням складських приміщень з обчислювальними центами дозволяє постачати запасні

частини на протязі 24 годин на відстань 40…50 км.

Планування потреби у запасних частинах відбувається шляхом постійного моніторингу статистичної інформації, щодо експлуатації зернозбиральних комбайнів з урахуванням кількості функціонуючих деталей, складальних одиниць та агрегатів за допомоги сучасних інформаційних технологій. Постійний моніторинг статистичної інформації, щодо відмов, дозволяє визначати найменування і каталожний номер агрегатів, складальних одиниць та деталей, передбачувану причину відмови, визначати напрацювання, трудомісткість відмови, групу складності, вид експлуатації, термін служби комбайна, його заводський номер, тощо. Дилерські структури, будучи посередниками між заводом-виробником і сільгоспвиробником, працюючи в інформаційному полі при формуванні бази

регіональних та дилерських складів, сприяють підвищенню експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів, забезпечуючи повну номенклатуру запасних частин з доставкою в обмежений час.

Сфера обслуговування дилера повинна враховувати всі моделі зернозбиральних комбайнів, термін служби, експлуатації, кожного комбайна та зону, в якій працюють комбайни. Технічна служба дилера відстежує якість роботи зернозбиральних комбайнів, відмови, дефекти та пошкодження, встановлює найменування та каталожний номер деталі, складальної одиниці та агрегату, що відмовив. За заявками сільгоспвиробників для ремонту комбайнів зі складів дилерів надходять деталі та складальні одиниці. Як зазначалося вище, основне завдання дилерів – це максимально швидке задоволення споживачів запасними частинами. Однак для цього дилеру необхідно передбачити, що може бути потрібно сільгоспвиробникам, яких за договором він обслуговує.

Якщо позначити парк зернозбиральних комбайнів деякого сільгоспвиробника-А з розподілом за моделями та термінами експлуатації, то потреба в деталях, агрегатах та складальних одиницях комбайнів може бути розрахована за системою рівнянь:

Розрахунок потреби в деталях та агрегатах комбайнів

Якщо позначити **парк зернозбиральних комбайнів** певного сільськогосподарського виробника A з розподілом за моделями та термінами експлуатації, потреба в деталях, агрегатах та складальних одиницях комбайнів визначається через систему рівнянь, яка враховує:

- кількість комбайнів кожної моделі;
- напрацювання до відмови кожного агрегата;
- середній час доставки та заміни запчастин;
- заплановану кількість ремонтів (поточних, середніх, капітальних).

1. Позначення

- n_{ij} – кількість комбайнів моделі i з терміном експлуатації j
- $N_{ij,k}$ – кількість ремонтів або замін агрегата k на комбайні i,j
- $D_{ij,k}$ – середня потреба в запасних частинах для агрегата k
- P_k – потреба у деталях агрегата k

2. Система рівнянь

Для кожного агрегата k та моделі i з терміном експлуатації j:

$$P_k = \sum_i \sum_j n_{ij} \cdot N_{ij,k} \cdot D_{ij,k}$$

Це дозволяє **розрахувати сумарну потребу** в запчастинах та складальних одиницях для всього парку комбайнів.

- Система рівнянь включає всі агрегати та моделі, що дозволяє **оптимізувати запас на складі та логістику постачання**.

3. Коментарі

1. **Розподіл за моделями** враховує різні конструктивні характеристики комбайнів.
2. **Термін експлуатації** впливає на частоту ремонтів та заміну агрегатів.
3. Використання цієї системи рівнянь дозволяє:
   - планувати закупівлю запчастин;
   - прогнозувати витрати на ремонт;
   - оптимізувати складські запаси та логістику.

З зазначеного випливає, що система управління запасами повинна враховувати парк зернозбиральних комбайнів, що постійно змінюється, як за моделями, так і за терміном служби; дилеру необхідно постійно здійснювати моніторинг відмов та своєчасно доводити його результат до

обчислювального центру. Сучасні комп'ютерні технології дозволяють, у режимі реального часу, обробляти таку інформацію, і за наявності відповідної програми розраховувати потребу в запасних частинах для регіонального складу і складів дилерів.

Для прикладу розглянемо роботу такої комп’ютерної програми (рис. 2.12) [38]. Робота з системою починається з введення або редагування інформації, що міститься в графах «Машина», «Регіон», «Види випробувань», «Агрегати»,

«Складальні одиниці», «Деталі». Структура бази даних представлена на рис. 2.13 та рис.2.14. У режимі «Введення або редагування відмов» користувач системи має можливість введення нової або редагування існуючої відмови, також можливий імпорт великих масивів відмов із спеціально підготовленого файлу формату Excel.

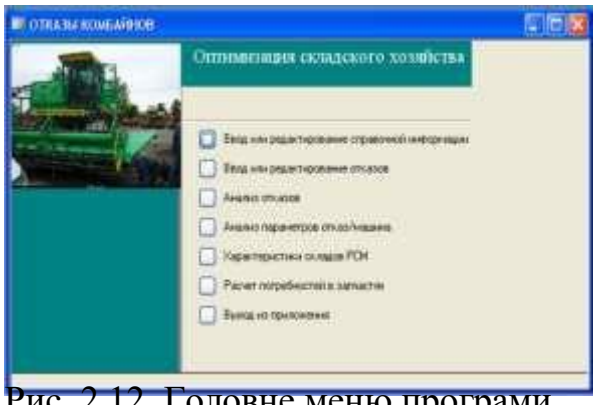


Рис. 2.12. Головне меню програми

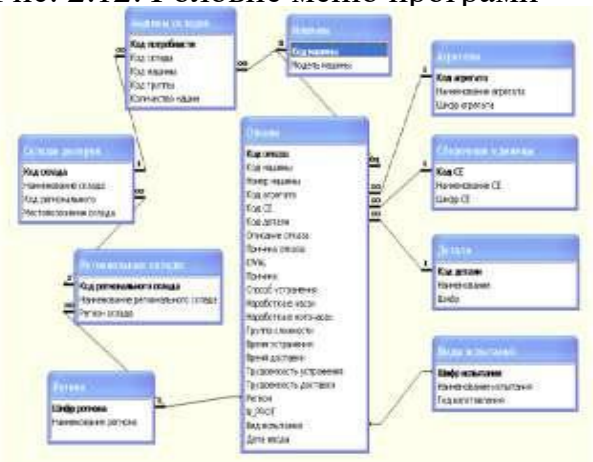


Рис. 2.13. Структура бази даних

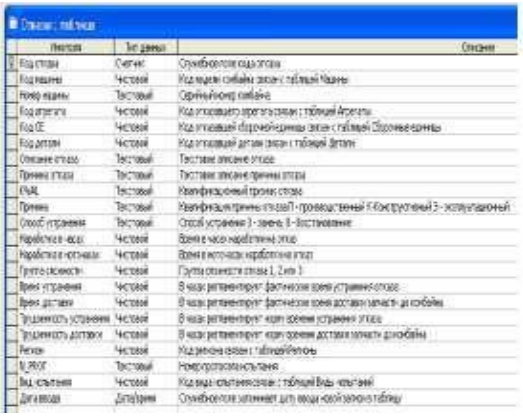


Рис. 2.14. Опис полів таблиці «Відмови»

Функція «Аналіз відмов» надає можливості перегляду фільтрованих за різними умовами списків відмов (рис. 2.15).

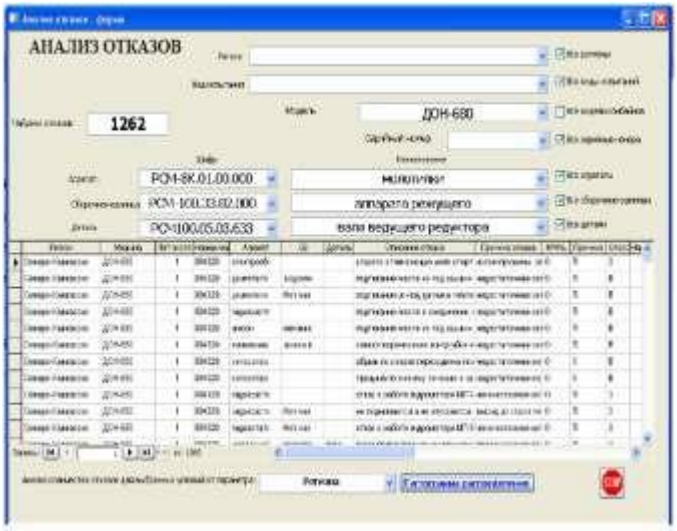


Рис. 2.15. Аналіз відмов

Функція «Розрахунок потреб складів у запасних частинах» дозволяє користувачеві отримати інформацію щодо наявності запасних частин на дилерському, регіональному та центральному складі. За допомоги форми

«Розрахунок потреби» (рис. 2.16) користувач має можливість управляти відсотками розподілу необхідних запчастин між складами. Натискання на кнопку

«Розрахунок запасів на складах» призводить до перерахунку складу та кількості запасних частин на складах залежно від поточного стану бази відмов та бази комбайнів, що обслуговується зі складів дилерів.

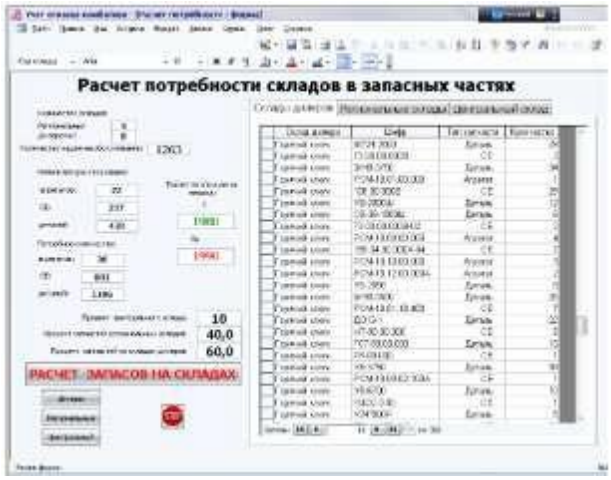


Рис. 2.16. Розрахунок потреби складів у запасних частинах Використання програмного забезпечення із ведення системи складського господарства підприємств технічного сервісу, дозволяє забезпечувати оперативну доставку запасних частин до зернозбиральних комбайнів від дилера до сільгоспвиробника протягом 24 годин, і відповідно скоротити витрати на обслуговування та підвищити експлуатаційну надійність зернозбиральних комбайнів.

2.2. Висновки за розділом

Розглядаючи показники надійності зернозбиральних комбайнів слід зазначити, що існує кореляційна закономірність за рядом показників, а саме: коефіцієнта готовності та коефіцієнта простою від напрацювання на відмову, часу усунення відмови за різного часу доставки запасних частин, кількості відмов та між ними. Одним із напрямків забезпечення заданого рівня надійності зернозбиральних комбайнів в межах допустимого рівня є забезпечення споживча запасними частинами на протязі 24 годин, шляхом використання двох та трьох рівневих схем постачання із залученням дилерської структури, регіональних складів з обчислювальними центрами і відповідним програмним забезпеченням.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

3.1. Організація роботи сервісних служб технічного сервісу

Розвиток технічного сервісу зернозбиральних комбайнів призводить до створення певної системи, яка вбудовується складовою агропромислового комплексу країни (рис. 3.1). Головною метою цієї системи має бути підвищення ефективності використання комбайнів у сільськогосподарському виробництві, збільшення напрацювання до відмови, зниження витрат на експлуатацію, збільшення терміну служби комбайна та ін. [11].



Рис. 3.1. Напрямки розвитку служби технічного сервісу комбайнів

Відповідно до динаміки забезпеченості підприємств зернозбиральними комбайнами закордонного виробництва в більшій мірі технічний сервіс комбайнів реалізується у напрямку гарантійного і сервісного обслуговування службою технічного сервісу тієї чи іншої компанії, дилером.

Технічне обслуговування та ремонт зернозбиральних комбайнів проводиться в умовах господарств, за місцем експлуатації, сервісною службою.

Гарантійне обслуговування техніки включає: приймання техніки від транспортної організації, перевірку комплектності та якості; передпродажну підготовку техніки; здійснення короткочасного або тривалого зберігання до передачі комбайна споживачеві; постановку комбайна на гарантійний облік та зняття з гарантійного обліку; організацію контролю за виконанням споживачами нормативно-технічних вимог щодо експлуатації, зберігання та технічного обслуговування (ТО-1; ТО-2) під час гарантійного обслуговування; відновлення комбайна: усунення несправностей, дефектів та відмов, що виникли в гарантійний період; забезпечення сільгоспвиробників запасними частинами та складальними одиницями; запуск комбайна у роботу та навчання комбайнерів.

Ефективність функціонування сервісної служби визначається рядом показників: можливість усунення відмов комбайна сервісною службою підприємства; кваліфікація спеціалістів, що пройшли навчання в ліцензованих центрах; регіональний підхід функціонування дилерської служби технічного сервісу; диференційний підхід у визначенні параметрів технічного стану комбайна, постачання запасних частин, термінах усунення відмов за категоріями складності; дотримання технологій при виконанні операцій технічного сервісу, договорів на обслуговування комбайнів та ін. [11].

Для забезпечення ефективності функціонування системи технічного сервісу слід дотримуватись загальної схеми управління якістю технічного сервісу (рис. 3.2) [50]. Загальна схема управління якістю включає в себе ряд комплексних відповідних заходів заснованих на системному підході керування значеннями нормативних показників для оцінки технічного стану і рівня робіт з технічного обслуговування, формуючи відповідний вплив. Ці впливи складаються із комплексу адміністративних, організаційних, економічних,

технологічних соціальних та інших цілеспрямованих заходів, що забезпечують відповідний рівень коефіцієнта технічної готовності.

Розглядаючи напрямки розвитку і схему управління якістю технічного сервісу, слід відокремити сучасний напрямок, а саме інтелектуальне управління технічним станом комбайна.

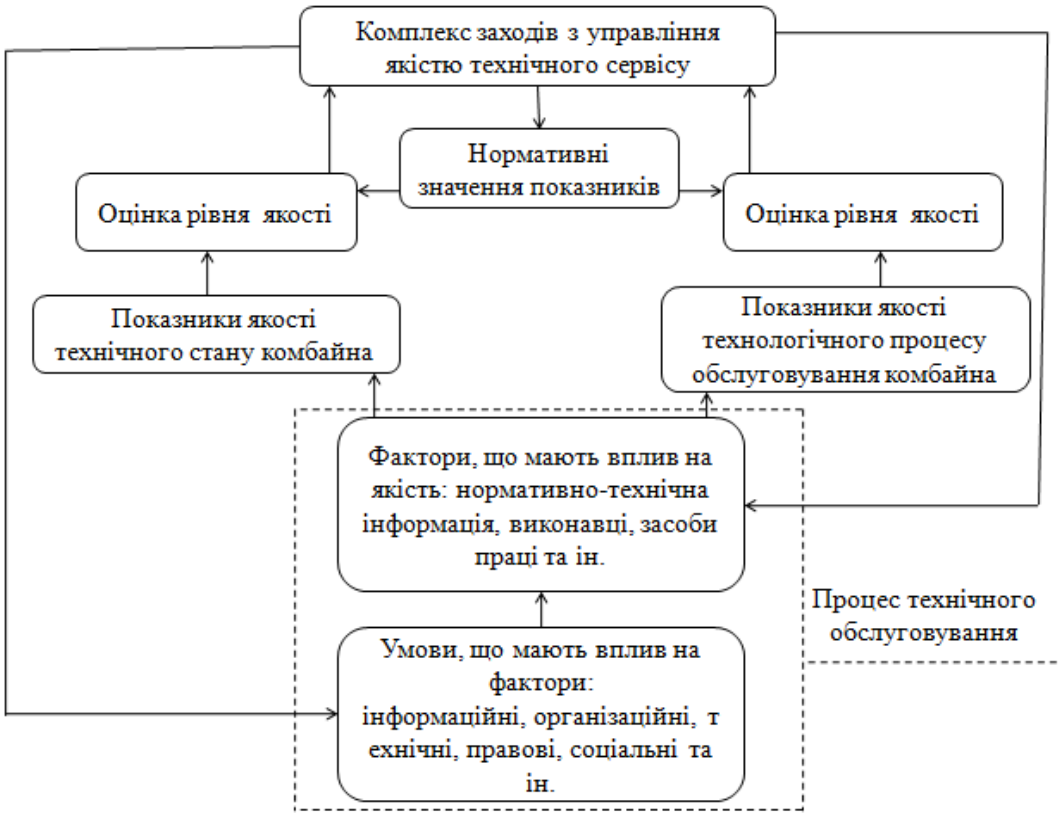


Рис. 3.2. Схема управління якістю технічного сервісу комбайнів Сьогодні сучасний зернозбиральний комбайн – це комп'ютер на колесах, де

реалізовано концепцію управління роботою комбайна як єдиного об'єкта з інтеграцією до нього окремих систем управління: молотильним пристроєм комбайна, трансмісією, двигуном, форсунками та ін. [47]. Комбайни, як правило, мають вбудовані програмні та апаратні елементи з постійним зв'язком через Інтернет із сервісним центром. Якщо для техніки ранніх років випуску технологія та обладнання для обслуговування відпрацьовані, сервісна інформація знаходиться у відкритому доступі, то дещо інша ситуація складається щодо сучасної та перспективної техніки закордонного виробництва, де спостерігається тенденція закриття доступу до

сервісної інформації. Технології технічного обслуговування та ремонту диктуються заводами-виробниками, обслуговування техніки проводиться за системою фірмового чи дилерського сервісу, сервісна технічна інформація надається лише авторизованим користувачам [1].

Аналіз результатів діяльності сервісних центрів показав, що пріоритетною умовою для оцінки якості функціонування зернозбиральних комбайнів у сучасних умовах є використання електронних засобів та інформаційних технологій. Ці ж засоби та технології виступають найважливішими складовими та необхідними факторами якісного проведення технологічних процесів технічного обслуговування та ремонту вузлів, систем, та й усього комбайна в цілому. Для реалізація даного підходу слід застосувати сучасне обладнання, агрегати з електро- та гідрокерованими вузлами, електронною елементною базою та програмним забезпеченням; по-друге, автоматизація випробувань на стаціонарних стендах відповідно до тест-планів виробника, що виключає вплив суб'єктивного людського фактора на оцінку якості роботи елементів, що тестуються, в обов’язки майстра лише входить монтаж, запуск тестової програми, а далі демонтаж вузла або агрегату. Наступним необхідним елементом управління технічним станом комбайнів та їх ефективного застосуванням стає використання електронної сервісної інформації. Великий обсяг технічної інформації та висока швидкість оновлення сервісних даних потребують регулярного зв'язку з заводами- виробниками. Реалізація цієї потреби можлива лише шляхом використання «хмарних» ІТ-технологій, надання інтерактивних інструментів донесення сервісної інформації до сервісних інженерів та механіків на місцях (рис. 3.3) [14, 35].

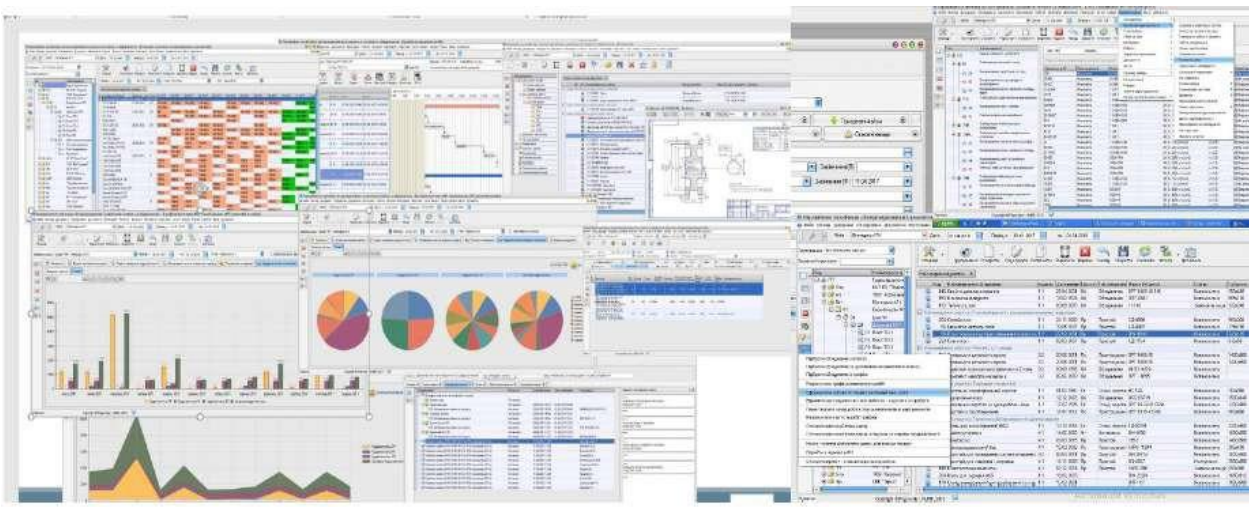


Рис. 3.3. Приклад використання програмного забезпечення та інформаційної технології «Agro Tech Maintenance» [35]

Значна кількість виробників вже використовують Smart-технології при розробці технічної документації: керівництва з експлуатації або технічного обслуговування машини, що дозволяє через планшет бачити вузол у розрізі, виводити на екран місця розташування кріпильних елементів або діагностичних роз'ємів з накладанням на поточне зображення об'єкта, проводити монтаж та демонтаж елементів та вузлів у безпосередньому візуальному супроводі. Провідними зарубіжними фірмами опрацьовуються питання щодо використання Smart-окулярів з функцією доповненої реальності для допомоги технічному спеціалісту під час проведення складного ремонту або контролю точної послідовності операцій технічного обслуговування [14].

Таким чином, вимоги до рівня підготовки та кваліфікації технічного та інженерного персоналу сервісних підприємств значно зростають. Наприклад, функції слюсаря-механіка або слюсаря-наладчика вузлів та агрегатів з електронним керуванням переходять у нову якість слюсаря-механотроніка, який володіє навичками, заснованими на синергетичному об'єднанні знань вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп'ютерними компонентами. Сервісний інженер повинен володіти навичками виконання

технологічних операцій з ремонту та налаштування, знання обладнання та застосування сервісних програмних продуктів.

Наявність електронного управління агрегатами та вузлами, як і всього комбайна в цілому, представляє принципово нові можливості для оптимізації режимів роботи, регулювання та налаштування під час експлуатації, обслуговування і ремонту.

Система діагностування зернозбиральних комбайнів в підприємствах

Функціонування системи технічного сервісу зернозбиральних комбайнів повинна реалізовуватися через концепцію профілактичного обслуговування та ремонту за фактичним технічним станом на базі діагностичної інформації отриманої за рахунок використання пересувних засобів технічного сервісу. Організація і оцінка використання даних засобів проводиться за допомоги моделей на основі порівняння різних варіантів формування та послідовного обліку складових параметрів функціонування структурної виробничої одиниці за техніко-економічними критеріями [21].

За такого підходу з'являються можливості ефективного використання високопродуктивного діагностичного обладнання, зниження виробничих витрат у результаті спеціалізації робочих місць та виробництва загалом, розширення раціональних виробничих зв'язків, а також технологічних форм. Це дозволяє більш продуктивно використовувати трудові ресурси, як у сфері технічного сервісу, так і у сфері експлуатації зернозбиральних комбайнів і, найголовніше, на основі отриманої та накопиченої діагностичної інформації підвищувати надійність та ресурс за рахунок оптимізації процесів ремонтно-профілактичних впливів, що виконуються на одному з діючих спеціалізованих дилерських підрозділів. Завдяки такій взаємодії є можливим коригування періодичності контролю та обслуговування на основі прогнозу працездатності всього парку зернозбиральних комбайнів в регіоні [4, 19].

Пропонована модель дозволяє обґрунтовано використовувати пересувні засоби технічного сервісу із оптимальним радіусом охоплення певної території регіону з урахуванням кількості, місць дислокації та маршрутів роботи зернозбиральних комбайнів [24].

Критерій ефективності моделі системи технічного сервісу

Як критерій ефективності моделі системи технічного сервісу обрана **сукупність приведених витрат на виконання одного діагностичного впливу**.

$$\sum V = \sum (V_{\text{труд}} + V_{\text{мат}} + V_{\text{ен}} + V_{\text{аморф}})$$

де:

- $V_{\text{труд}}$ – витрати на оплату праці персоналу;
- $V_{\text{мат}}$ – витрати на матеріали та запасні частини;
- $V_{\text{ен}}$ – витрати на енергоносії;
- $V_{\text{аморф}}$ – амортизаційні відрахування на обладнання.

Використання сукупності приведених витрат дозволяє оцінити **економічну ефективність системи технічного сервісу** для кожного діагностичного впливу, порівнювати різні варіанти організації ремонту та ТО і приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Критерій ефективності функціонування моделі діагностування

Як критерій оцінки ефективності функціонування моделі діагностування доцільно прийняти **мінімум сумарних витрат на переїзди пересувного засобу технічного сервісу** у межах радіуса обслуговування зернозбиральних комбайнів.

$$\text{Ефективність} \sim \min \sum_{i=1}^{n} V_{\text{переїзду,i}}$$

де:

- $V_{\text{переїзду},i}$– витрати на переїзд пересувного засобу до комбайна i;
- n– кількість комбайнів у зоні обслуговування.

Пояснення

1. **Сумарні витрати на переїзди** включають:
   - витрати пального;
   - амортизацію транспортного засобу;
   - час роботи персоналу під час переміщення.
2. **Мета критерію:**
   - мінімізувати простої комбайнів через очікування пересувного технічного сервісу;
   - оптимізувати маршрут пересування технічного персоналу;
   - забезпечити економічно ефективну роботу системи діагностування.
3. **Застосування:**
   - при плануванні **радіусів обслуговування**;
   - при визначенні **оптимальної кількості пересувних сервісних автомобілів**;
   - при формуванні **графіків ТО та ремонту** на сезон.

При визначенні оптимального радіуса обслуговування зернозбиральних комбайнів враховується не лише відстань, а й маршрути руху пересувного засобу технічного сервісу з метою можливості його виїзду з економічно вигідною для власника точки.

Визначення оптимального радіуса обслуговування

При визначенні **оптимального радіуса обслуговування зернозбиральних комбайнів** враховується не лише відстань від бази технічного сервісу до комбайнів, а й **маршрути руху пересувного засобу технічного сервісу**.

Основні аспекти:

1. **Економічна доцільність виїздів:**

- Транспортний засіб має виїжджати з точки, яка забезпечує мінімальні витрати на переїзд і час роботи персоналу;
- Вибір маршруту враховує дороги, їх стан, можливі перешкоди та швидкість пересування.

2. **Час реагування на відмову:**

- Раціональне планування маршрутів дозволяє зменшити час прибуття до комбайна;
- Забезпечує своєчасне проведення ТО та ремонту, зменшуючи простої техніки.

3. **Сумарні витрати на обслуговування:**

- Враховуються витрати на паливо, амортизацію транспортного засобу, оплату праці;
- Мета – мінімізувати загальні витрати власника техніки.

4. **Прогнозування та планування:**

- Оптимальний радіус обслуговування визначається з урахуванням **щільності розташування комбайнів**, їхнього напрацювання до відмови та прогнозованих маршрутів;
- Це дозволяє спланувати кількість пересувних технічних засобів та їх графік роботи на сезон.

Таким чином, оптимальний радіус обслуговування – це **комплексна характеристика**, яка враховує не лише фізичну відстань, а й логістику, економічну ефективність та оперативність технічного сервісу.

З урахуванням цих особливостей витрати, пов'язані з пересуванням засобу технічного сервісу, визначаються як добуток середніх питомих витрат на переїзд.

Витрати на пересування засобу технічного сервісу

З урахуванням логістичних особливостей, **витрати, пов'язані з пересуванням засобу технічного сервісу**, визначаються як **добуток середніх питомих витрат на переїзд** та фактичної відстані або маршруту:

$$Z_{\text{пересув}} = C_{\text{пит}} \cdot L_{\text{маршруту}}$$

де:

- $Z_{\text{пересув}}$– витрати на переїзд, грн;
- $C_{\text{пит}}$– середні питомі витрати на переїзд (паливо, амортизація, час персоналу), грн/км;
- $L_{\text{маршруту}}$– довжина маршруту технічного сервісу, км.

Пояснення

1. **Середні питомі витрати** $C_{\text{пит}}$включають:
   - витрати на паливо;
   - амортизацію пересувного засобу;
   - оплату праці персоналу під час переміщення.
2. **Маршрут** $L_{\text{маршруту}}$визначається з урахуванням:
   - відстаней між комбайнами;
   - стану доріг та пересувних шляхів;
   - можливості виїзду з економічно вигідної точки.

Ця методика дозволяє **точно оцінити витрати на логістику технічного сервісу** та оптимізувати маршрути для мінімізації простоїв комбайнів.

Витрати на переїзд пересувного засобу технічного сервісу, що дислокуються на території сервісної служби або на незначній відстані будуть мінімальними і тому в моделі не враховуються.

У результаті витрати на переїзд пересувного засобу технічного сервісу становитимуть:

Витрати на переїзд пересувного засобу технічного сервісу

Витрати на переїзд пересувного засобу технічного сервісу, які **дислокуються безпосередньо на території сервісної служби або на незначній відстані**, будуть **мінімальними** і тому в моделі **не враховуються**.

У результаті, витрати на переїзд пересувного засобу технічного сервісу для розрахунків системи технічного обслуговування та діагностування визначаються як:

$$Z_{\text{пересув}} \approx \sum_{i=1}^{n} C_{\text{пит,i}} \cdot L_{\text{маршруту,i}}$$

де:

- n– кількість комбайнів або точок обслуговування;
- $C_{\text{пит,i}}$– середні питомі витрати на переїзд до комбайна i, грн/км;
- $L_{\text{маршруту,i}}$– довжина маршруту до комбайна i, км.

При розташуванні сервісного засобу поруч із технікою $L_{\text{маршруту,i}} \to 0$, тому витрати на пересування фактично **нульові** і не враховуються у моделі.

Критерієм оцінки ефективності функціонування моделі діагностування доцільно прийняти мінімум сумарних витрат на переїзди пересувного засобу технічного сервісу в межах радіуса обслуговування зернозбиральних комбайнів.

Критерій ефективності функціонування моделі діагностування

Як **критерій оцінки ефективності функціонування моделі діагностування** доцільно прийняти **мінімум сумарних витрат на переїзди**

пересувного засобу технічного сервісу в межах радіуса обслуговування зернозбиральних комбайнів.

$$\text{Ефективність} \sim \min \sum_{i=1}^{n} V_{\text{переїзду},i}$$

де:

- $V_{\text{переїзду},i}$– витрати на переїзд пересувного технічного засобу до комбайна i;
- n– кількість комбайнів у зоні обслуговування.

Пояснення

1. **Сумарні витрати** враховують:
   - витрати на паливо;
   - амортизацію транспортного засобу;
   - час роботи персоналу під час переміщення.
2. **Мета критерію:**
   - мінімізувати простої комбайнів через очікування пересувного технічного сервісу;
   - оптимізувати маршрути руху технічного персоналу;
   - підвищити економічну ефективність роботи системи діагностування.
3. **Застосування критерію:**
   - при плануванні радіусів обслуговування;
   - при визначенні оптимальної кількості пересувних сервісних автомобілів;

- при формуванні графіків ТО та ремонтів на сезон.

Умова отримання **найбільшого сумарного економічного ефекту** визначається впливом **двох основних факторів**:

1. **Залучення додаткової кількості пересувних засобів технічного сервісу**
   - Збільшення кількості сервісних автомобілів дозволяє зменшити час простою комбайнів та підвищити ефективність обслуговування;
   - Це призводить до зростання продуктивності техніки та скорочення простоїв.
2. **Зростання витрат на переїзди**
   - Поява додаткових витрат пов’язана з необхідністю обслуговування комбайнів, що знаходяться на різних відстанях від сервісного центру;
   - Враховуються витрати на паливо, амортизацію та оплату праці персоналу при переміщенні технічного засобу.

Оптимізаційна умова

Максимальний економічний ефект досягається тоді, коли:

$$\text{Ефект}_{\text{сумарний}} = \text{Економія за рахунок зменшення простоїв} - \text{Додаткові витрати на переїзди}$$

- Збільшення числа пересувних засобів скорочує простої, але одночасно збільшує витрати на переїзди.
- Мета моделі – знайти **оптимальне число пересувних засобів і раціональні маршрути**, що забезпечують максимальний економічний ефект.

Для визначення ймовірності функціонування системи діагностування доцільно порівнювати криву сумарних витрат (3.9) з економічною ефективністю діагностування (рис. 3.4).

При виборі комплектації пересувного засобу технічного сервісу, тобто його технічного забезпечення, повинно здійснюватися з урахуванням можливості задоволення попиту власників зернозбиральних комбайнів різних підприємств регіону, що знаходяться на економічно обґрунтованому радіусі обслуговування.

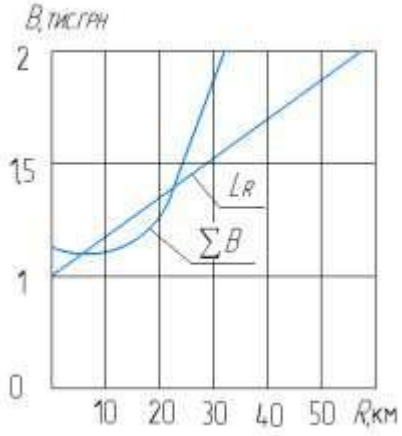


Рис. 3.4. Залежність сумарних витрат від радіусу обслуговування Таким чином, доцільність застосування запропонованої системи

діагностування для подальшого вдосконалення системи технічного сервісу полягає у максимальному задоволенні попиту власників на виконання діагностичних впливів комбайнів у заданому регіоні з мінімальними витратами. При цьому слід зазначити, що одержана модель задовольняє виробленим принципам побудови системи технічного сервісу [50] і відповідає створенню системи з урахуванням оптимізації структури та встановлення оптимального співвідношення сервісних підприємств різної потужності, що забезпечує сталий розвиток системи.

3.2. Граф станів системи технічного сервісу зернозбиральних комбайнів

Як вже було зазначено під технічним сервісом зернозбиральних комбайнів розуміється сукупність послуг із забезпечення сільськогосподарського виробника комбайнами, обладнанням та приладами, ефективному використанню та підтримці їх у справному стані, шляхом проведення технологічного, технічного обслуговування і ремонту вчасно і якісно протягом усього періоду експлуатації.

Розглядаючи питання технічних станів зернозбирального комбайна, слід відзначити, що система технічного сервісу оперує такими вихідними даними

як: кількість та стан комбайнів (справний, несправний), вхідний потік вимог на обслуговування (кількість відмов), канал обслуговування (стаціонарні, пересувні засоби), черга на обслуговування (потік вимог при занятості засобу обслуговування), вихідний потік (пропускна здатність засобу обслуговування).

Система технічного сервісу в залежності від надходження вимог на обслуговування, їх задоволеності, зайнятості чи незайнятості засобів обслуговування та інших чинників може знаходитися в різних станах, що описуються відповідними графами станів [26].

Дослідження графу стану системи технічного сервісу багатоканальної системи – без черги з відмовами дозволяє визначити необхідну кількість пересувних засобів технічного сервісу за переліченими вихідними даними.

Розглянемо граф станів досліджуваної багатоканальної системи – без черги, з відмовами (рис. 3.5).

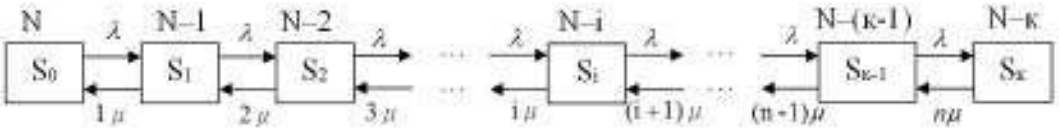


Рис. 3.5. Граф станів багатоканальної системи технічного сервісу без черги:

Граф станів багатоканальної системи технічного сервісу без черги

1. Опис системи

- **Мультиканальна система**: кілька сервісних каналів (обслуговуючих ліній), що працюють паралельно.
- **Без черги**: заявки на обслуговування не накопичуються; якщо всі канали зайняті, нові заявки відкидаються або обробляються іншими способами.
- **Канали обслуговування**: m однотипних ліній, кожна з інтенсивністю обслуговування μ.
- **Інтенсивність надходження заявок**: λ.

2. Позначення станів

- **Стан** i – кількість одночасно зайнятих каналів:

$$i = 0,1,2,\dots,m$$

Стан 0: всі канали вільні

- **Стан** i: i каналів зайняті, $m - i$ вільні

3. Переходи між станами

- **Надходження заявки** (інтенсивність λ) → збільшує стан на 1, якщо є вільний канал:

$$i \to i + 1, i < m$$

Завершення обслуговування (інтенсивність μ) → зменшує стан на 1:

$$i \to i - 1, i > 0$$

- Якщо всі канали зайняті ($i = m$), нові заявки **не обслуговуються** (просто відкидаються).

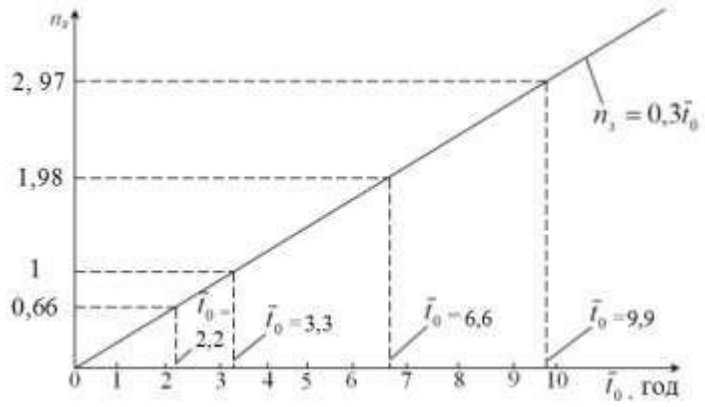


Рис. 3.6. Залежність зайнятості пересувного засобу технічного сервісу від середнього значення часу обслуговування одного комбайна

Щоб показати **залежність зайнятості пересувного засобу технічного сервісу від середнього часу обслуговування одного комбайна**, можна використати стандартну формулу з теорії масового обслуговування для **мультиканальної системи без черги**.

1. Позначення

- λ– інтенсивність надходження заявок (середня кількість комбайнів, що потребують обслуговування, за годину)
- μ– середня інтенсивність обслуговування одного комбайна (обернено пропорційна середньому часу обслуговування)

$$\mu = \frac{1}{t_{ср}}$$

де $t_{ср}$– середній час обслуговування одного комбайна, год

- m– кількість пересувних засобів технічного сервісу (каналів)

2. Зайнятість одного засобу

Для **одноканальної системи без черги** зайнятість ρвизначається як:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \cdot t_{ср}$$

- $0 \leq \rho \leq 1$
- $\rho \to 1$– засіб майже постійно зайнятий
- $\rho \to 0$– засіб більшу частину часу вільний

3. Мультиканальна система (m каналів, без черги)

Зайнятість кожного пересувного засобу $\bar{\rho}$можна приблизно визначити як:

$$\bar{\rho} = \frac{\lambda}{m \cdot \mu} = \frac{\lambda \cdot t_{\text{ср}}}{m}$$

- Дозволяє оцінити, який відсоток часу технічний сервіс буде зайнятий при заданій кількості каналів mта середньому часі обслуговування $t_{\text{ср}}$

4. Візуалізація

- **Горизонтальна вісь (X):** середній час обслуговування $t_{\text{ср}}$, год
- **Вертикальна вісь (Y):** зайнятість $\bar{\rho}$, %
- Крива зростає лінійно: чим більший $t_{\text{ср}}$, тим більша зайнятість пересувного засобу.
- Якщо кількість каналів збільшується ($m > 1$), нахил кривої зменшується.

3.3. Пересувні засоби служби технічного сервісу зернозбиральних комбайнів

Задля підвищення рівня експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів дилерські служби з технічного сервісу використовують пересувні засоби технічного сервісу на базі автомобілів різного функціонального призначення (технічне обслуговування, діагностування, ремонт) (рис. 3.7, 3.8, 3.9,

3.10).



Рис. 3.7. Мобільний агрегат технічного контролю зернозбиральних комбайнів [22]



Рис. 3.8. Пересувний засіб служби технічного сервісу фірми «Агросоюз» [2]



Рис. 3.9. Мобільний засіб із забезпечення працездатності сільськогосподарських машин [35]



Рис. 3.10. Діагностичні засоби, що використовуються у пересувних засобах технічного сервісу

Виїзд пересувного засобу технічного сервісу вирішує ряд завдань, однією з яких є технічна діагностика зернозбирального комбайна. Технологічний процес діагностування поєднує в собі ряд технологічних операцій, а саме: виїзд спеціалістів до замовника; огляд техніки на місці; проведення візуального огляду всіх вузлів та агрегатів; проведення вимірів щодо працездатності та відповідності всіх робочих показників вузлів та агрегатів; заповнення діагностичної карти з висновком, щодо подальших операцій; допомога з дефектування запчастин і подальшим придбанням; надання рекомендацій щодо подальшої експлуатації зернозбирального комбайна. Передовою технологією є комп'ютерна діагностика, для прикладу, для діагностики зернозбиральних комбайнів John Deere використовують сучасні технології від Service ADVISOR™ і обладнанням Launch (рис. 3.11). Ця програма використовується всіма офіційними сервісними центрами John Deere. Вона дозволяє переглянути стан двигуна без його розбирання, виконати

діагностику паливної системи, переглянути стан усіх датчиків та електрики загалом.



Рис. 3.11. Сучасні засоби діагностування фірми Launch Використання діагностичних засобів дозволяє заощадити кошти при купівлі «зайвих» запасних частин, зменшити час на пошук та з’ясування причин відмови, отримати повну інформацію, щодо технічного стану зернозбирального комбайна з прогнозуванням ресурсу складових комбайна.

3.5 Висновки за розділом

Функціонування системи технічного сервісу зернозбиральних комбайнів повинна реалізовуватися через концепцію профілактичного обслуговування та ремонту за фактичним технічним станом на базі діагностичної інформації отриманої за рахунок використання пересувних засобів технічного сервісу. Організація і оцінка використання даних засобів проводиться за допомоги моделей на основі порівняння різних варіантів формування та послідовного обліку складових параметрів функціонування структурної виробничої одиниці за техніко-економічними критеріями.

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

4.1 Методика розрахунку зайнятості пересувних засобів технічного сервісу

Якість роботи пересувних засобів технічного сервісу великою мірою залежить від ступеня завантаження. Розробка методики визначення оптимального завантаження пересувного засобу технічного сервісу при технічному обслуговуванні зернозбиральних комбайнів дозволяє отримати максимальний економічний ефект від залучення даних засобів. Вихідними даними є марочний склад та напрацювання зернозбиральних комбайнів, що підлягають обслуговуванню, кількість щозмінних відмов, час усунення відмов, якість виконання та дотримання технології відновлювальних операцій, кваліфікація майстра-діагноста, тривалість збирання сільськогосподарських культур, тощо. Врахувати подібні фактори, зміна яких носить випадковий характер, у нормативах до обслуговування зернозбиральних комбайнів, практично неможливо, що призводить до значних розбіжностей між нормами та реальними значеннями показників завантаженості засобів. Відповідно оптимальне завантаження майстра- діагноста, зайнятого технічним обслуговуванням, діагностуванням та усуненням відмов зернозбирального комбайна можна визначити використовуючи методи теорії масового обслуговування [26].

1. Мета розрахунку

Методика дозволяє визначити **коефіцієнт зайнятості пересувних технічних засобів**, що обслуговують зернозбиральні комбайни, з урахуванням:

- інтенсивності надходження заявок на обслуговування;
- середнього часу обслуговування одного комбайна;
- кількості пересувних сервісних засобів (каналів);
- радіуса обслуговування та маршруту пересування.

2. Основні параметри

- λ – інтенсивність надходження заявок, заявки/год
- $t_{ср}$ – середній час обслуговування одного комбайна, год

- m– кількість пересувних засобів технічного сервісу
- $\mu = 1/t_{ср}$– інтенсивність обслуговування одного засобу, обслуговування/год
- $\bar{\rho}$– середня зайнятість пересувного засобу

3. Формула розрахунку зайнятості

Для **одноканальної системи без черги**:

$$\rho = \lambda \cdot t_{ср}$$

Для **мультиканальної системи (m каналів) без черги**:

$$\bar{\rho} = \frac{\lambda \cdot t_{ср}}{m}$$

Значення $\bar{\rho}$показує **частку часу**, протягом якої пересувний засіб технічного сервісу буде зайнятий обслуговуванням комбайнів.

4. Порядок розрахунку

1. **Визначити параметри системи:**
   - кількість комбайнів;
   - середній час обслуговування;
   - кількість пересувних засобів.
2. **Розрахувати інтенсивність надходження заявок** λ:

$$\lambda = \frac{N_{заявок}}{T_{робочий}}$$

де $N_{заявок}$– загальна кількість обслуговувань за період, а $T_{робочий}$– тривалість робочого періоду.

3. **Визначити середню зайнятість** $\bar{\rho}$пересувних засобів за формулою:

$$\bar{\rho} = \frac{\lambda \cdot t_{ср}}{m}$$

4. **Проаналізувати результати:**
   - $\bar{\rho} < 0{,}7$– ресурси використовуються недостатньо ефективно;
   - $\bar{\rho} > 0{,}9$– можливі перевантаження і простої через нестачу засобів.

5. Висновок

Методика дозволяє:

- планувати **оптимальну кількість пересувних технічних засобів**;

- оцінити ефективність логістики обслуговування;
- мінімізувати простої комбайнів і витрати на перевезення.

Ось як можна оформити цільову функцію для дипломної роботи, якщо **критерієм оптимального завантаження майстра-діагноста** є **мінімум питомих витрат за одиницю часу роботи**:

Цільова функція оптимального завантаження майстра-діагноста

Позначимо:

- V_i – питомі витрати на обслуговування комбайна i (включаючи час пересування, матеріали, енергію, амортизацію), грн/год;
- t_i – час роботи майстра-діагноста на комбайні i, год;
- n – кількість комбайнів, що обслуговуються.

Цільова функція мінімізації питомих витрат за одиницю часу роботи записується у вигляді:

$$\min\ Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}$$

де:

- Z – середні витрати на одиницю часу роботи майстра-діагноста (грн/год).

Пояснення

1. **Чисельник** ΣV_i – сумарні витрати на всі обслуговування.
2. **Знаменник** Σt_i – сумарний час роботи майстра.
3. Мінімізація Z дозволяє:
   - визначити **оптимальне завантаження майстра**;
   - збалансувати витрати і ефективність роботи;
   - планувати маршрути і розподіл завдань.

Запропоновану методику можна використовувати при визначенні оптимального завантаження майстра-діагноста пересувного засобу технічного сервісу за різних організаційних форм технічного обслуговування як зернозбиральних комбайнів так і інших складних машин.

4.2 Методика розрахунку оптимальної періодичності діагностування

1. Мета

Методика дозволяє визначити оптимальний інтервал діагностування зернозбиральних комбайнів, що забезпечує:

своєчасне виявлення дефектів;

мінімізацію простоїв техніки;

економічну ефективність роботи пересувного технічного сервісу.

2. Вихідні дані

$t_{н}$– середній час напрацювання комбайна до відмови, год

$t_{рем}$– час усунення несправності, год

λ– інтенсивність відмов, 1/год

$V_{переїзду}$– витрати на переїзд сервісного засобу, грн

$C_{пит}$– питомі витрати на обслуговування, грн/год

3. Формула оптимальної періодичності

Оптимальний інтервал між діагностуваннями $T_{опт}$визначається так, щоб мінімізувати сумарні витрати на обслуговування та простої:

$$T_{опт} = \sqrt{\frac{2 \cdot t_{рем} \cdot t_{н}}{\lambda}}$$

Зменшення $T_{опт}$→ частіше діагностування, менший ризик відмов, але більші витрати на перевірку.

Збільшення $T_{\text{опт}}\rightarrow$ рідше діагностування, зростає ризик відмов та простій комбайнів.

4. Економічна оцінка

Сумарні витрати на один цикл діагностування:

$$Z_{\text{цикл}} = V_{\text{переїзду}} + C_{\text{пит}} \cdot t_{\text{рем}}$$

Сумарні річні витрати:

$$Z_{\text{річні}} = \frac{T_{\text{сезон}}}{T_{\text{опт}}} \cdot Z_{\text{цикл}}$$

Де $T_{\text{сезон}}$– тривалість робочого сезону.

Мінімізація $Z_{\text{річні}}$дозволяє знайти економічно оптимальний інтервал діагностування.

5. Порядок розрахунку

Визначити середній час напрацювання до відмови та середній час ремонту.

Оцінити інтенсивність відмов λта витрати на переїзд.

Підставити значення у формулу $T_{\text{опт}}$для визначення оптимального інтервалу.

Провести економічну оцінку сумарних витрат.

При необхідності скоригувати $T_{\text{опт}}$з урахуванням логістики та ресурсів сервісної служби.

Відповідно плановий, профілактичний, ремонт проводиться за умови досягнення прогнозованого параметру граничного значення. Визначення текучих значень параметра може здійснюватись шляхом контролю у часі безперервно або періодично. Даний захід дозволяє виконувати ремонт за ймовірнісним значенням ризику відмови за напрацюванням.

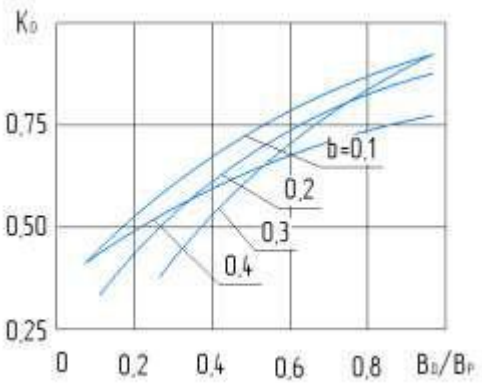


Рис. 4.1. Залежність коефіцієнта

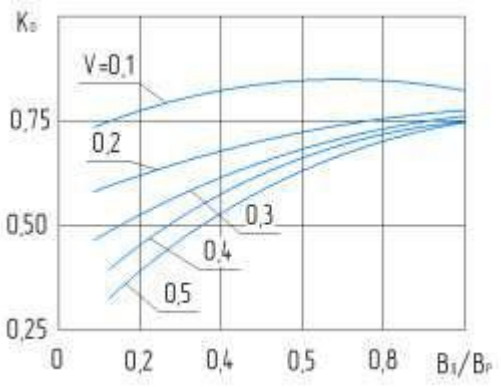


Рис. 4.2. Залежність коефіцієнта оптимальності k_0

Відповідно система технічного сервісу зернозбирального комбайна повинна базуватися на примусовому контролі технічного стану, діагностуванні, через певне напрацювання та виконання регулювальних та ремонтних робіт за потребою.

Принципи побудови системи технічного сервісу зернозбирального комбайна

Система технічного сервісу зернозбирального комбайна повинна базуватися на **примусовому контролі технічного стану**, що включає:

1. **Діагностування за напрацюванням:**

- Регулярне перевіряння стану вузлів і агрегатів комбайна після певного обсягу роботи;

- Використання датчиків, сенсорних систем та пересувних діагностичних установок для контролю параметрів обмолоту та роботи агрегатів.

2. **Регулювальні роботи:**

- Настроювання робочих органів для забезпечення оптимальної продуктивності;
- Корекція параметрів системи обмолоту, транспортних механізмів та приводу.

3. **Ремонтні роботи за потребою:**

- Усунення виявлених дефектів, що впливають на працездатність і продуктивність комбайна;
- Проведення поточних, середніх та капітальних ремонтів залежно від стану агрегатів і вузлів.

Пояснення

- **Примусовий контроль** забезпечує своєчасне виявлення несправностей та запобігає аварійним зупинкам комбайна.
- Своєчасне **діагностування та регулювання** підвищує ефективність роботи і продовжує ресурс агрегатів.
- Виконання ремонтних робіт **за потребою** дозволяє оптимізувати витрати на технічний сервіс і підтримувати високу технічну готовність техніки.

4.1. Висновки за розділом

Запропонована до використання методика розрахунку зайнятості пересувних засобів технічного сервісу та оптимальної періодичності діагностування зернозбиральних комбайнів дозволяє отримати максимальний економічний ефект при експлуатації зернозбиральних комбайнів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і пошук вирішення наукового завдання, яке виявляється в дослідженні напрямків підвищення експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів шляхом удосконалення технологічних процесів сервісної інженерії.

1. Розглядаючи кількісні та якісні зміни на ринку зернозбиральних комбайнів за останні роки в Україні слід зазначити, що прерогативою товаровиробника стало купівля зернозбиральних комбайнів закордонного виробництва, частка нових і таких що були в експлуатації становить 52% на 48%. Приймаючи до уваги складні умови експлуатації, що обумовлені технологією збирання з відповідним впливом навантаження під час виконання технологічного процесу та зовнішнього середовища, виникають відмови, які обумовлені недостатньою якістю виготовлення деталей і вузлів; конструкторськими прорахунками у виборі матеріалів і конструктивних параметрів деталей; низьким рівнем технічної культури експлуатації; неякісною роботою служб технічного сервісу.

2. Розглядаючи показники надійності зернозбиральних комбайнів слід зазначити, що існує кореляційна закономірність за рядом показників, а саме: коефіцієнта готовності та коефіцієнта простою від напрацювання на відмову, часу усунення відмови за різного часу доставки запасних частин, кількості відмов та між ними. Одним із напрямків забезпечення заданого рівня надійності зернозбиральних комбайнів в межах допустимого рівня є забезпечення споживча запасними частинами на протязі 24 годин, шляхом використання двох та трьох рівневих схем постачання із залученням дилерської структури, регіональних складів з обчислювальними центрами і відповідним програмним забезпеченням.

3.Функціонування системи технічного сервісу зернозбиральних комбайнів повинна реалізовуватися через концепцію профілактичного

обслуговування та ремонту за фактичним технічним станом на базі діагностичної інформації отриманої за рахунок використання пересувних засобів технічного сервісу. Організація і оцінка використання даних засобів проводиться за допомоги моделей на основі порівняння різних варіантів формування та послідовного обліку складових параметрів функціонування структурної виробничої одиниці за техніко-економічними критеріями.

4. Запропонована до використання методика розрахунку зайнятості пересувних засобів технічного сервісу та оптимальної періодичності діагностування зернозбиральних комбайнів дозволяє отримати максимальний економічний ефект при експлуатації зернозбиральних комбайнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://agropravda.com/news/technika-fermera/16916-claas-vnedrjaet-novyj-standart-defektovki

2. https://agrosoyuz.ua

3. https://pro-consulting.ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-traktorov-i-kombajnov-v-ukraine-2020-god

4. https://vim.ru/science/scientific-directions/180/

5. Roitman L. Comparative Analysis of Augmented Reality Technologies and their Marketability in the Consumer/ L.Roitman, J.Shrager, T.Winograd // Electronics Segment. Journal of Biosensors and Bioelectronics. Available at: https://www.omicson line.org/open-access/a-comparative-analysis-of-au gmented-reality-technologies-and- theirmarketability-in-the-consumer-electronics-segment.

6. Rustamov R.M. Research on the status of sungle-channel systems of the grains harvesting combines. European Science Review. 2016. N1-2. 158.

7. Анілович В.Я. Міцність і надійність машин / В.Я.Анілович, О.С.Гринченко, В.В. Карабін. – Київ: Урожай, 1996. – 288 с.

8. Науменко О.А. Експлуатаційна надійність зернозбиральних комбайнів з огляду процесу доставки запасних частин / О.А. Науменко, О.В.Блезнюк, М.В.Шейко // Матеріали XIX міжнародного форуму молоді "Молодь і індустрія в XXI столітті" (6-7 квітня 2023р.). Збірка матеріалів форуму. – Харків: ДБТУ, 2023. – С. 57.

9. Науменко О.А. Система діагностування зернозбиральних комбайнів в підприємствах АПК / О.А. Науменко, О.В. Блезнюк, М.В. Шейко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Технічний прогрес в АПВ» (9- 10 травня 2023). – Харків: ДБТУ, 2023. – С. 34-38.

10. Блезнюк О.В. Дослідження питання оцінки системи технічного обслуговування машин на підприємстві / О.В. Блезнюк, В.В. Трощенко // IV Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу

сільськогосподарських машин і знарядь», ЖАК, 2018. – С. 167 – 170.

11. Блезнюк О.В. Організаційні принципи роботи сервісних служб технічного сервісу / О.В.Блезнюк, В.Д. Мовчан // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт а аграрному секторі: проектування, дизайн технологічна експлуатація» 10 грудня 2021 р. – Харків: ДБТУ, 2021. – С. 212-213.

12. Войтюк Д.Г. Огляд комбайнового ринку України / Д.Г. Войтюк, В.Д. Войтюк, О.В. Надточий, А.А. Демко, О.А. Демко // Дослідження НУБіП України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://tochmash.com.ua/main.html.

13. Гранкін С.Г. Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г Гранкін, В.С.Малахов, М.І.Черновол, В.Ю.Черкун. – Київ: Урожай, 1998. – 208 с.

14. Грицишин М. Обґрунтування потреби в зернозбиральних комбайнах / М.Грицишин, В.Амосов, П.Гринько // Техніка АПК. – 2003. - №2. – С. 9-12.

15. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Видання офіційне. – Київ: Держстандарст України. – 88 с.

16. Думенко К.М. Нові шляхи підвищення надійності зернозбиральних машин / К.М.Думенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 41. Ч1. – С. 315-320.

17. Думенко К.М. Вплив ефективності сфери технічного обслуговування на встановлення функцій готовности та відновлення зернозбиральної техніки / К.М. Думенко, А.І. Бойко // Техніка і технології АПК. – Вип. 1(16). – 2011. С. 11- 14.

18. Захарчук О.В. Технічне забезпечення сільськогосподарських підприємств в Україні / О.В.Захарчук // Економіка АПК. – 2019. - № 2. – С. 48-55.

19. Ільченко В.Ю. Проектування підприємств технічного сервісу: Навч. посіб. – Дніпропетровськ, 2004. – 368 с.

20. Калініченко Д.Ю. Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів: автореф. дис. канд. техн. наук. – Київ, 2020. – 24 с.

21. Кирпичников А.П. Методы прикладной теории массового обслуживания / А.П.Кирпичников. – М.: Едиториал, 2017. – 224 с.

22. Кобець А.С. Проектування технологічних процесів технічного обслуговування машин / А.С. Кобець, В.Ю. Ільченко, О.В. Козаченко, О.В.Блезнюк и др. – Дніпропетровськ: Свідлер, 2011. – 176 с.

23. Коваль С.М. Напрямки розвитку технології збирання урожаю зернових і переоснащення сільського господарства новою зернозбиральною технікою / С.М.Коваль, М.І. Грицишин // Механізація сільськогосподарського виробництва. – 2000. – Т.7. – С. 5-9.

24. Козаченко О.В. Теорія експлуатації машин та проектування технічних систем: навчальний посібник / О.В.Козаченко, О.М.Шкрегаль, С.П.Сорокін, О.В.Блезнюк. – Харків: ПромАрт, 2018. – 320 с.

25. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

26. Круман Б.Б. Коррозионно-механический износ оборудования / Б.Б.Круман, В.А. Крупицына. – М.: Машиностроение, 1968. – 104 с.

27. Лобос Л. Як вибрати зернозбиральний комбайн. Чи існує межа надійності / Л.Лобос, А.Ляшенко, В.Стретович // Техніка АПК. – 2005. - №8. – С. 14-18.

28. Петров В.М. Формування ринку зернозбиральних комбайнів в Україні / В.М.Петров // Економіка АПК. – 2020. - № 4. – С. 43-53.

29. Погорілий Л.В. Порівняльний аналіз конструкцій і експлуатаційних показників зернозбиральних комбайнів / Л.В.Погорілий, С.М.Коваль // Сільгосптехніка України. – 1997. - №2. – С. 8-10.

30. Роговський І.В. Розробка комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин: автореф. дис. докт. техн. наук. – Київ, 2021. – 60 с.

31. Сабчук М. Науково-методичні принципи забезпечення надійності вітчизняних зернозбиральних комбайнів / М.Собчук, С.Коваль, В.Погорілий // Техніка АПК. – 2004. - №4. – С. 8-16.

32. Савченко В.В. Тенденції розвитку сільськогосподарської техніки, за матеріалами виставки «Agritechnica-2003» / В.В.Савченко, С.М.Коваль // Техніка АПК. – 2004. - №1. – С. 8-9.

33. Сільське господарство України у 2019 році: стат. зб. / відп. за вип. О.М.Прокопенко. – Київ: Державна служба статистики України, 2020. - 237 с.

34. Шокарев О.М. Організація та технологія технічного сервісу машин: навчальний посібник для студентів інженерних спеціальностей / О.М. Шокарев, В.М. Кюрчев, С.В. Кюрчев, А.М. Побігун. – Мелітополь, ТОВ «ФОРРВАРДПРЕСС», 2019. – 30