

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінжинірингу

КВАЛІМЕТРІЯ ВИПРОБУВАНЬ ТРАКТОРІВ

**методичні вказівки та рекомендації щодо
вивчення практичних занять**

**для здобувачів вищої освіти третього (доктор філософії) рівня вищої
освіти спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"**

Суми - 2024

УДК 631.3
Н 34

Укладачі: Шуляк М.Л., професор, доктор технічних наук
Лебедєв А.Т., професор, доктор технічних наук
Батюк Л.М., зав. лабораторії кафедри агроінжинірингу

Н 34 Науково-методичне забезпечення навчального процесу :

Методичні вказівки та рекомендації щодо вивчення практичних занять з дисципліни «Кваліметрія випробувань тракторів» для здобувачів вищої освіти третього (доктор філософії) рівня вищої освіти спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" курс 2 [Текст]/ укл.: М. Л. Шуляк, А.Т. Лебедєв, Батюк Л.М. – СНАУ.- Суми.- 2024. – 58 с.

Методичні вказівки призначені для поглибленого вивчення питань, пов'язаних з оцінкою та вдосконаленням якості тракторної техніки, наведені рекомендації для проведення практичних занять з дисципліни «Кваліметрія випробувань тракторів».

Рецензенти:

Зубко В.М., доктор технічних наук, професор кафедри агроінжинірингу Сумського національного аграрного університету

Алфьоров О.І., доктор технічних наук, професор кафедри проектування технічних систем Сумського національного аграрного університету

Відповідальний за випуск: Шуляк М.Л., доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 6 від «22» 05. 2024 року

© М. Л. Шуляк, А.Т. Лебедєв, Батюк Л.М.
– 2024

© Сумський національний аграрний
університет, 2024

ЗМІСТ

Вступ	3
Практичне заняття 1	
Моніторинг тракторів на ринку України.....	4
Практичне заняття 2	
Основи кваліметрії трактора на етапах життєвого циклу.....	13
Практичне заняття 3	
Аналіз ефективності використання та забезпечення функціональної стабільності трактора.....	24
Практичне заняття 4	
Кваліметрія функціональних, ергономічних і екологічних властивостей трактора	30
Практичне заняття 5	
Кваліметрія елементів трактора.....	44
Список використаних джерел	55

Вступ

Шановні здобувачі вищої освіти третього (доктор філософії) рівня спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"!

Методичні рекомендації з дисципліни "Кваліметрія випробувань тракторів" призначені для поглибленого вивчення питань, пов'язаних з оцінкою та вдосконаленням якості тракторної техніки. Для досягнення високих результатів у цій галузі, варто ретельно вивчити кожен з тем, відведених для цього курсу, оскільки вони охоплюють широкий спектр аспектів кваліметрії та випробувань тракторів.

Перша тема, "Моніторинг тракторів на ринку України", дозволить вам ознайомитися з актуальними тенденціями та особливостями українського ринку тракторної техніки. Далі ви перейдете до основ кваліметрії, розглянувши на етапах життєвого циклу трактора різноманітні аспекти їх оцінки. Третя тема присвячена аналізу ефективності використання та забезпеченню функціональної стабільності трактора, що є важливою складовою підвищення продуктивності сільськогосподарських робіт.

Далі ви перейдете до оцінки функціональних, ергономічних і екологічних властивостей трактора, що є ключовим аспектом сучасної кваліметрії. Нарешті, п'ята тема дозволить вам розглянути детальніше кваліметрію окремих елементів трактора, що допоможе вам у глибшому розумінні їх функціональності та взаємозв'язку.

Загальний обсяг навчального матеріалу, відведений на практичні заняття, складає 30 годин, тому важливо використовувати час ефективно, активно залучатися до занять та самостійної роботи. Бажаємо вам успішного вивчення матеріалу та плідної наукової роботи у галузі кваліметрії та випробувань тракторів!

Практичне заняття 1

Моніторинг тракторів на ринку України

1.1 Вхідний контроль якості тракторів на вторинному ринку

Проблема підвищення ефективності агропромислового виробництва України в умовах його низької оснащеності тракторами і засобами механізації є однією із пріоритетних. В умовах дефіциту техніки, її інтенсивного старіння і зниження надійності істотного значення набуває розвиток і ефективне функціонування вторинного ринку машин і обладнання для агропромислового комплексу (АПК). Одним із основних елементів у системі підвищення якості сільськогосподарської техніки на вторинному ринку є організація передпродажного вхідного контролю цієї продукції.

Ринок тракторів України зосередив у собі різноманітність пропонованих моделей і видів як за основними технічними характеристиками, так і за географією країн-виробників [1]. Найбільшим попитом у теперішній час користуються трактори потужністю від 80 до 135 к.с. «Беларус», що виготовляються на РУП «Минский тракторный завод» і його офіційними дилерами в Україні ТОВ «ТД МТЗ-Білорусь-Україна», ТОВ «Техноторг-Дон», ТОВ «Укравтозапчастина». У сегменті потужності тракторів від 200 до 300 к.с. домінують торгівельні марки «Deutz Fahr» (27 %), «Case IH» (20 %), «John Deere» (16 %), «Claas» (13 %); потужності більше 300 к.с. лідерами ринку є «John Deere» (43 %), «Case IH» (22 %), «New Holland» (16 %).

Структура закуплених у 2017 р. тракторів відображає той факт, що вітчизняні трактори не є присутніми ні в одному сегменті ринку тракторів.

Висока вартість імпортних тракторів визначила напрям оснащення аграрного сектору України вживаною технікою (ринок вторинної техніки), тобто технікою що була в експлуатації, але така, що не повністю втратила споживчі якості [1]. В Україні у 2017 р. куплено 723 трактори на вторинному ринку. У економічно розвинених країнах Західної Європи та Америки торгівля вживаною технікою є загально прийнятою практикою. Понад 50 % механізованих польових робіт фермерські господарства США, Німеччини,

Великобританії, Франції та інших країн виконують тракторами, що були придбані на вторинному ринку сільськогосподарської техніки. Для України виникла необхідність у створенні та розвитку вторинного ринку тракторів, які можуть бути затребувані у фермерських господарствах та в економічно слабких сільськогосподарських підприємствах. Формування вторинного ринку тракторів визначається, перш за все, об'ємами реалізації агрохолдингами морально застарілих тракторів, орієнтуючись на потужні трактори, в основному імпортного виробництва; реалізації так званого вилученого за борговими зобов'язаннями майна при зниженні ефективності господарської діяльності і банкрутства великої кількості підприємств у аграрному секторі, які одержали кредити під заставу основних засобів, до яких відносяться сільськогосподарська і автомобільна техніка. Значні об'єми тракторів на вторинний ринок можуть бути поставлені внаслідок удосконалення або повної зміни вторинної спеціалізації багатьох промислових підприємств, які супроводжуються виведенням з господарського обігу і необхідністю наступної реалізації значної кількості автотракторної і спеціальної техніки.

Виконання вимог Технічного регламенту затвердження типу сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів щодо тракторів вторинного ринку є обов'язковим для застосування як виробниками вітчизняної техніки, так і постачальниками техніки іноземного виробництва. Для тракторів обов'язковим є проведення вхідного контролю якості продукції, що запобігає потраплянню на ринок продукції такої, що не відповідає вимогам конструкторської і нормативно-технічної документації.

Нормативно-технічна документація на сільськогосподарські трактори [1] регламентує їх ергономічні властивості за наступними основними показниками:

– параметри середовища на робочому місці оператора (максимальний рівень шуму, дБ(А); максимальна концентрація окислу вуглецю і пилу,

мг/м³);

– параметри вібрації (середньоквадратичні значення віброприскорення на сидінні оператора, м/с²).

Для тракторів вторинного ринку важливими є показники безпеки (гальмівний шлях, м), а також основні тягово-енергетичні показники за СОУ 74.3-37-276 [1] (найбільша тягова потужність, кВт; питома витрата палива, г/кВт·год.).

У Харківський філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого з метою оцінювання ефективності входного контролю якості трактора на вторинному ринку, були проведені порівняння основних показників ергономічності, безпеки і тягово-енергетичні показники трактора ХТЗ-17221 при купівлі (напрацювання 1500 мотогодин) і напрацюванні 2500 мотогодин на орних роботах (плуг ПРУН-5-45) і глибокому спушенні (борона БГР-4,2 «Солоха») (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

**Основні показники трактора ХТЗ-17221 при купівлі (1500 м.год.)
і експлуатації (2500 м.год.)**

Показники	Значення показника		
	1500 м.г.	2500 м.г.	Норматив
Ергономічні:			ГОСТ 12.2.019-2005
- шум, дБА	68,0	94,0	90,0
- вібрація, дБ	3,8	8,2	12,0
- вміст вуглекислого газу, мг/м ³	7,3	11,2	20,0
- запиленість, мг/м ³	2,4	3,2	4,0
Безпека:			
- гальмівний шлях на сухому асфальті (4-та передача, III діапазон), м	9,6	11,6	12,0
Тягово-енергетичні:			
- найбільша тягова потужність на стерні колосових, кВт	100,4	97,6	103,5
- питома витрата палива при найбільшій тяговій потужності на стерні колосових, г/кВт·год.	267,4	268,5	265,4

При експериментальних дослідженнях використовувались наступні засоби вимірювальної техніки: вимірювач шуму та вібрації ВШВ 003, сигналізатор-аналізатор оксиду вуглецю Дозор-С-П-СО, електроаспіратор М 822, вимірювач ефективності гальмівних систем «Эффект-02», вимірювально-реєстраційний комплекс для оцінки тягових показників мобільних машин.

Аналіз табл. 1.5 показує, що з підвищенням напруження трактора ХТЗ-17221, його показник шуму на робочому місці оператора перевищує нормативні вимоги. Такий висновок визначив, з одного боку, напрям модернізації трактора ХТЗ-17221 за ергономічними показниками, з іншого – обов'язкове виконання вимог Технічного регламенту затвердження типу сільськогосподарських та лісгосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів на вторинному ринку тракторів. Слід також відзначити інтенсивне підвищення вібрації на робочому місці оператора з підвищенням напруження трактора ХТЗ-17221, що також свідчить про необхідність контролювання даного показника на вторинному ринку тракторів.

Було оцінене, також, теплове навантаження кабіни трактора ХТЗ-17221 при купівлі в діапазоні підвищення температури навколишнього повітря від 23,5 °С (нормальні кліматичні умови) до 35 °С. Отримано, що в діапазоні температури від 23,5 °С до 30 °С підвищення температури зовнішнього повітря на 1 °С призводить до підвищення теплового навантаження кабіни на 11,25 Вт, у діапазоні температур від 30 °С до 35 °С – на 38 Вт. Отримана інтенсивність зростання теплового навантаження кабіни трактора при підвищеній температурі навколишнього повітря негативно впливає на організм оператора, що визначає необхідність встановлення на тракторах серії ХТЗ-170 засобів нормалізації мікроклімату.

Гальмівний шлях трактора ХТЗ-17221 на сухому асфальті з початкової швидкості гальмування 31,0 км/год., що відповідає максимальному значенню транспортної швидкості, не перевищує норматив, хоча відмічено його

наближення до нормативного значення при напрацюванні 2500 мотогод. Можна очікувати, що даний норматив буде перевищений при гальмуванні трактора на мокрому асфальті, ґрунтовій дорозі підвищеної вологості.

Відмічено, що найбільша тягова потужність трактора ХТЗ-17221 при його купівлі на вторинному ринку тракторів була понижена на 3 %; при напрацюванні трактора до 2500 мотогод. дана потужність знизилася на 6 % від номінального значення при відповідному підвищенні питомої витрати палива на 1 – 3 %. Причиною підвищеної питомої витрати палива є підвищена закоксованість розпилювачів форсунок дизеля ЯМЗ-236Д-3, яка не була усунена при вхідному контролі під час купівлі трактора з метою оцінки динаміки зміни паливної економічності трактора при підвищенні його напрацювання.

Аналіз результатів експериментальних досліджень трактора ХТЗ-17221 за ергономічними показниками, показникам безпеки і тягово-енергетичним показниками показав, що вхідний контроль тракторів на вторинному ринку за даними показниками необхідний з метою запобігання попаданню в аграрний сектор неякісних тракторів. Технічним регламентом затвердження типу сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів передбачене оцінювання тракторів за показниками безпеки і тягово-енергетичними показниками, що особливо може вплинути на якість тракторів вторинного ринку.

Вхідний контроль якості тракторів на вторинному ринку згідно з ГОСТ 24297 [1] вирішує наступні завдання:

– контроль відповідності і комплектності трактора вимогам конструкторської, нормативно-технічної документації (НТД), Технічного регламенту затвердження типу сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів та Технічного регламенту щодо складових частин і характеристик колісних сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів;

– накопичення статистичних даних про фактичний рівень тракторів, що поступають на вторинний ринок.

Алгоритм формування вхідного контролю якості (ВКЯ) тракторів на вторинному ринку (рис. 1.3), обґрунтований відповідно до завдань вхідного контролю, дозволяє оцінити оптимальний склад технологічного устаткування, витрати на організацію процесу контролю, визначити готовність трактора до реалізації.

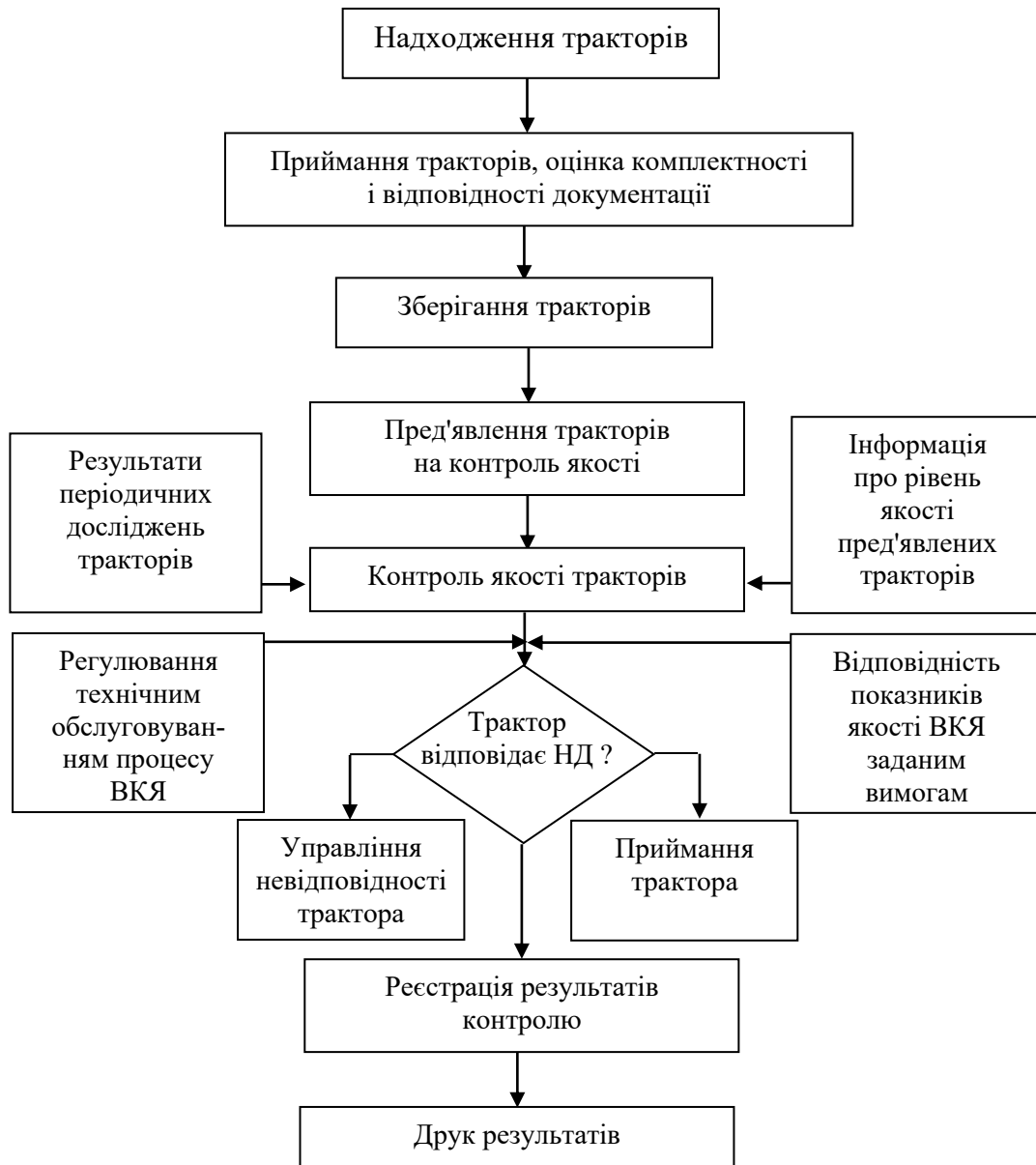


Рис. 1.3 - Блок-схема алгоритму технологічного процесу вхідного контролю якості трактора на вторинному ринку

Якість вхідного контролю тракторів на вторинному ринку оцінюється за

показником P_k , що відображає вірогідність відсутності у партії тракторів N_n , що поступають на ринок, бракованих N_b , відхилення показників яких від НТД усунені при технічному обслуговуванні, тобто $P_k = N_n / N_b$. При цьому кількість справних тракторів, що поступили на вторинний ринок, визначається об'ємом партії тракторів N_o , од., у якій є браковані з вірогідністю P_b при вірогідності P_o охоплення вхідним контролем тракторів, що поступили, і P_T точності виміру контрольованих показників, тобто $N_n = N_o + P_b + P_o + P_T$. У даному випадку $P_k = P_o \cdot P_T$, де $P_T = (P_i + P_k + P_o + P_{ko} + P_{п} + P_{н} + P_y) / n_{пк}$, де $P_i, P_k, P_o, P_{ko}, P_{п}, P_{н}, P_y$ – ймовірності забезпечення вхідного контролю якості виконавцями, високого рівня їх кваліфікації, забезпеченості і високої якості засобів вимірювальної техніки, нормативно-технічною документацією, належних вимог умов праці, відповідно; $n_{пк}$ – кількість факторів, що впливають на точність вимірювань параметрів трактора, од.

Приклад. У партії N_o поставлених тракторів на вторинний ринок поступило N_b бракованих тракторів. Необхідно визначити вірогідність (показник якості) постачання покупцеві якісних тракторів при заданих параметрах P_o і P_T (суб'єктивні показники, залежать від рівня організації вхідного контролю): $P_o = 0,9$; $P_T = 0,6$.

У даному випадку $P_k = P_o \cdot P_T = 0,9 \cdot 0,6 = 0,54$, тобто з тих, що поступили на вторинний ринок 46 % тракторів є бракованими. Резервом у поліпшенні вхідного контролю якості тракторів на вторинному ринку є наступні заходи: збільшення рівня охоплення тракторів контролем, кількості параметрів, що перевіряються, підвищення точності вимірювань.

Як показує практика, в АПК України вторинний ринок тракторів поки що не набув широкого поширення. Ремонт тракторів вітчизняного виробництва, що були у використанні, а також постачанням тракторів, що були в експлуатації, із-за кордону з подальшою їх реалізацією займаються окремі підприємства без необхідного вхідного контролю їх якості.

В АПК України є необхідні передумови і умови створення і ефективного

розвитку вторинного ринку тракторів. При цьому можна вважати, що його формування проходить в три етапи:

– *стартовий*, при якому виконання вимог Технічних регламентів за ергономічними показниками, а також показниками безпеки і тягово-енергетичними властивостями тракторів має бути обов'язковими як для виробників вітчизняної техніки, так і для постачальників техніки іноземного виробництва; вирішальна роль на даному етапі відводиться вхідному контролю якості тракторів;

– *інтенсивного розвитку*, при якому повинна діяти різноманітна за формами система купівлі-продажу (лізингу) тракторів, що були у використанні. При цьому основними учасниками можуть бути ремонтно-обслуговуючі підприємства районного, обласного і державного рівнів, а для швидшого і усебічного розвитку вторинного ринку в Україні необхідно організовувати ярмарки, виставки-продажі, біржі тракторів на вторинних ринках, тощо;

– *стабільного функціонування*, при якому вторинний ринок тракторів буде основою регіональних центрів (як правило, одного на область), створених на основі підприємств з ремонту або агросервісних організацій, укомплектованих необхідним устаткуванням і обслуговуючим персоналом.

На даному етапі має бути розроблена і впроваджена система митних зборів на імпорт сільськогосподарської техніки, що була у використанні, що забезпечить доступ на вторинний ринок України тракторів і сільськогосподарських машин за прийнятною ціною, а також відкриє доступ на нього морально і фізично застарілої техніки.

Важливим напрямом підвищення технічної оснащеності аграрного сектору України, а також завантаження ремонтних і інших агросервісних підприємств є розвиток і ефективне функціонування вторинного ринку тракторів і сільськогосподарських машин, який дозволить швидшими темпами прискорити і поліпшити кількісний і якісний склад тракторного парку. Опираючись на закордонний досвід (США, Німеччина, тощо), на

ринках яких продається у середньому в 3 рази більше тракторів, що були у використанні, ніж нових, можна очікувати в Україні на значну економію грошових коштів. Вартість техніки, що була у використанні, з відновленням ресурсу до рівня 80 – 90 % складає 40 – 60% від вартості нової. При цьому, одним з основних елементів у системі підвищення якості сільськогосподарської техніки є належна організація вхідного контролю цієї продукції на вторинному ринку, що запобігає оснащенню аграрного сектора України сільськогосподарською технікою, що не відповідає вимогам конструкторської і нормативно-технічної документації.

Контрольні питання

1. Які трактори найбільш затребувані на ринку України?
2. Назвіть основні споживчі якості трактора, що визначають конкурентоспроможність на світовому ринку.
3. Які завдання вирішує вхідний контроль якості тракторів на вторинному ринку ?
4. Назвіть етапи формування ефективного розвитку вторинного ринку тракторів

Практичне заняття 2

Основи кваліметрії трактора на етапах життєвого циклу

2.1 Оцінювання рівня якості виготовлення трактора

Метою оцінювання показників якості виготовлення тракторів є визначення міри (ступеня) відповідності фактичних значень параметрів і показників, що характеризують якість виготовленого трактора до початку його експлуатації, встановлених вимогами конструкторської документації, стандартів, технічних умов та інших нормативно-технічних документів. Необхідний рівень якості виготовлення трактора забезпечується виробничо-технологічними методами.

Зазвичай, для визначення рівня якості виготовлення технічних об'єктів використовують коефіцієнт дефектності R_d , за яким оцінюють рівень якості виготовлення технічного об'єкта ($P_{\text{виг}}$). Для визначення коефіцієнта R_d запропоновані [2.1] вартісний і бальний методи, згідно з якими якість виготовлення технічного об'єкта розраховується за залежностями:

$$P_{\text{виг}} = 1 - \frac{R_d}{c}; \quad P_{\text{виг}} = 1 - \frac{R_d}{R_{d\text{max}}}, \quad (2.1)$$

де c – повна собівартість виготовлення об'єкта;

R_d – коефіцієнт дефектності;

$R_{d\text{max}}=Z_d$ – максимально можливе значення R_d для даного технічного об'єкту;

Z – максимальне значення коефіцієнту вагомості у балах, яке призначається найбільш суттєвому дефекту;

d – максимально можлива кількість найбільш суттєвих дефектів.

З викладеного вище видно, що за відсутності дефектів $P_{\text{виг}}=1$, а за гранично низької якості виготовлення технічного об'єкта $P_{\text{виг}}=0$.

Для прикладу розрахована якість виготовлення тракторів серії ХТЗ-170 при впровадженні в технологічний процес складання тракторів пристосувань, що забезпечують стабільність кріпильних з'єднань і регулювань агрегатів.

Так, за бального методу визначення R_d отримано підвищення рівня якості виготовлення з $P_{\text{виг}}=0,81$ до $P_{\text{виг}}=0,86$.

2.2 Оцінювання рівня якості трактора в експлуатації

Метою оцінювання якості трактора в експлуатації є визначення міри відповідності фактичних значень параметрів і показників якості в процесі експлуатації трактора вимогам нормативно-технічної документації. При цьому, необхідно оцінювати рівень якості трактора за аналогією визначення рівня якості технічних виробів за залежністю [2.2]:

$$P_{\text{ек}} = \frac{B'(t)_{\text{ек}}}{B(t)_{\text{ек}}}, \quad (2.2)$$

де $B(t)_{\text{ек}}$ – експлуатаційні затрати з напрацюванням t на момент оцінювання;

$B'(t)_{\text{ек}}$ – затрати в попередній період з напрацюванням t .

За чисельним значенням $P_{\text{ек}}$, отриманим в різний час, будують залежність зміни $P_{\text{ек}}$ від часу експлуатації трактора.

2.3 Показники якості функціонування трактора

Зниження ефективності трактора в експлуатації пов'язана зі зменшенням показника якості його функціонування, який вимірюється об'ємом робіт, що виражаються через собівартість виконаних робіт або напрацювання (наприклад, впродовж року, сезону, за 1000 год., тощо). Величину собівартості об'єму робіт трактора для стислості викладу будемо називати доходом.

Середній дохід вираховують за аналогією з методикою розрахунку граничного стану технічних об'єктів [2.3] через середню годинну продуктивність трактора $\bar{q}_{\text{ег}}$ і середню ціну одиниці об'єму виготовленої продукції (наприклад, гектар обробленого поля) $\bar{c}_e$ за формулою

$$\left. \begin{aligned} \bar{D} &= \bar{c}_e \bar{q}_{\text{ег}} t; \\ \bar{D} &= \bar{d}_{\text{ег}}, \end{aligned} \right\}, \quad (2.3)$$

де $\bar{d}_{\text{ер}} = \bar{c}_{\text{е}} \bar{q}_{\text{ер}}$ – середній годинний дохід від застосування трактора, грн./год.;
 t – напрацювання трактора, год.

Оскільки показник якості функціонування трактора з часом зменшується, то для обчислення доходу на будь-якому відрізку часу від t_{n-1} до t_n необхідно ввести функцію зміни доходу за одиницю часу $\beta(t)$. Тоді

$$\Delta D_n = \int_{t_{n-1}}^{t_n} \beta(t) dt = \sum_{t_{n-1}}^{t_n} \beta(t) \Delta t . \quad (2.4)$$

Для оцінювання відносної ефективності роботи трактора в інтервалі часу від t_{n-1} до t_n необхідно порівняти отриманий дохід із затратами на технічне обслуговування і ремонт трактора за той же інтервал часу.

Дані витрати вираховуються по залежності

$$\Delta Z_n = \int_{t_{n-1}}^{t_n} [Q(t) + (r_i + u_i) \delta(t - t_i)] dt , \quad (2.5)$$

за $t_{n-1} < t_i < t_n$,

де $Q(t)$ – функція зміни затрат на технічне обслуговування за одиницю часу;

r_i – одноразові затрати на i -й ремонт є момент часу t_i ;

u_i – збитки від простою в ремонті;

δ – символ дельта-функції.

Розрахувавши всі складові виразу (2.9) в інтервалі від t_{n-1} до t_n , а також дохід у цьому ж інтервалі часу, можна визначити відносну ефективність функціонування трактора в цьому інтервалі напрацювання:

$$\xi(t_n) = \frac{\Delta D_n}{\Delta Z_n} . \quad (2.6)$$

Якщо прийняти для розрахунку рівні інтервали напрацювання і в кожному з них визначити значення ΔD_n і ΔZ_n , то з урахуванням зниження показника якості (доходу) трактора є міру збільшення його напрацювання на графіку $D=f(Z)$ отримаємо ломану лінію, відношення координат якої в кожному інтервалі дає значення відносної ефективності функціонування

трактора. Поріг ефективності функціонування трактора настане в кінці інтервалу напрацювання, для якого відносна ефективність $\xi(t_n) \leq p$.

Ефективність p визначають з умови перевищення мінімально допустимого доходу над максимально допустимими затратами на ремонт та технічне обслуговування трактора в заданому інтервалі напрацювання, тобто

$$p = \frac{\min \Delta D_n}{\max \Delta Z_n} > 1. \quad (2.7)$$

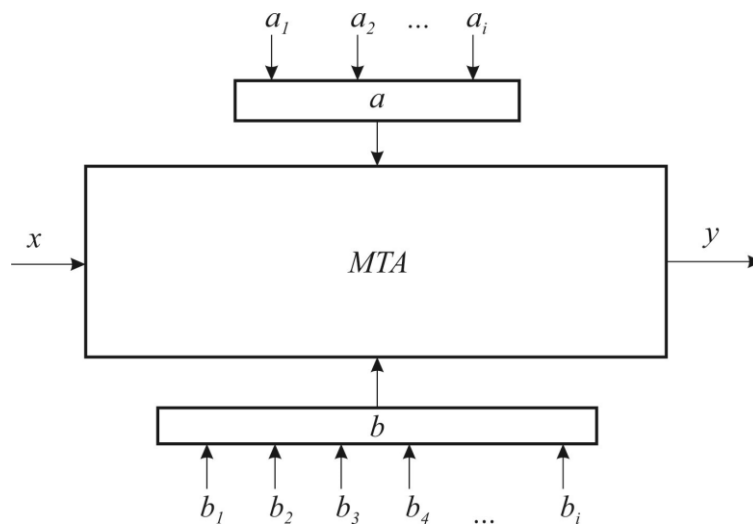
Значення порога ефективності не повинно перевищувати рівень нормативної рентабельності

$$1 < p \leq 1 + P_n, \quad (2.8)$$

де P_n – норматив рентабельності трактора.

2.4 Підвищення якості тракторів у реальних умовах експлуатації

Тракторний агрегат в процесі експлуатації знаходиться під дією внутрішніх і зовнішніх факторів, що безперервно змінюються (рис. 2.1), і визначають працездатність агрегату, тобто його здатність зберігати задані технічними умовами експлуатаційні показники. До внутрішніх факторів (a) відносяться ґрунтово-кліматичні умови (a_1) експлуатації тракторів (агрофон, вологість, щільність, структурний і механічний склад ґрунту), що визначають витрати енергії на пересування агрегату; режими роботи трактора (a_2) і інші (a_i) фактори, що визначають продуктивність; витрата палива a_2 і якість a_i виконання технологічного процесу. Зовнішні фактори (b) визначаються в основному організаційно-технічними умовами експлуатації тракторних агрегатів, зокрема виконанням правил обкатки (b_1), заправки маслами (b_2), дотриманням вимог інструкції по технічному обслуговуванню (b_3), ремонту (b_4) тракторів, а також виконанням інших правил (b_i) технічної експлуатації.



x, y – вхідний і вихідний параметри;

a, b – внутрішні і зовнішні фактори

Рис. 2.1 - Структурна схема машинно-тракторного агрегату (МТА)

Якість трактора, що визначає його надійність, є функцією випадкового поєднання внутрішніх і зовнішніх факторів, як правило, змінюється з часом. У цьому випадку трактор, як динамічну систему, можна представити рівнянням [2.9]:

$$y'' + a_1 \cdot y' + a_0 \cdot y = 0, \quad (2.9)$$

де y – вихідний параметр, що характеризує надійність трактора;

a_1, a_0 – коефіцієнти, що враховують вплив внутрішніх і зовнішніх факторів, відповідно.

Зазвичай, при експлуатації трактора зовнішні фактори змінюються з часом. У цьому випадку справедливо співвідношення:

$$a_0(t) = a_0 - b_i f, \quad (2.10)$$

де $f(t)$ – функція, що враховує зміни зовнішнього фактору за часом.

Вплив умов експлуатації на якість трактора оцінюється модулем від'ємника у рівнянні (2.11). При цьому, для забезпечення надійної роботи агрегату повинна бути виконаний умова:

$$|\delta_i(b) - \delta_j(0)| < \delta, \quad (2.11)$$

де $\delta_j(0)$, $\delta(b)$ – номінальне і збурене значення характеристичних чисел Ляпунова, відповідно;

δ – задане допустиме відхилення.

Відповідність нерівності (2.15) означає збереження стійкості за Ляпуновим. Тобто, в даному випадку, надійність ототожнюється з поняттям стійкості за Ляпуновим.

Для розв’язання задачі в матричній формі рівняння (2.9) запишемо у виді:

$$y = P(t, b) \cdot y = [P_0 + b \cdot P_1(t)] \cdot y, \quad (2.12)$$

де P_0 – діагональна постійно стійка матриця;

$P_1(t)[f(t^0)0^0]$ – обмежена і інтегрована в кожному кінцевому проміжку $(-\infty, +\infty)$ матриця – функція.

Ввівши нову перемінну, рівняння (2.12) запишемо у виді

$$Y = \left(\begin{bmatrix} y_1 & 0 \\ 0 & y_2 \end{bmatrix} + b \cdot s \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ f(t) & 0 \end{bmatrix} \cdot s^{-1} \right) \cdot Y, \quad (2.13)$$

де $S = \text{const}$ – постійна матриця, що приводить матрицю до діагонального вигляду.

Умова надійності трактора може бути представлена у виді

$$|b| \quad \|P_1\| \leq \frac{1}{4h}, \quad (2.14)$$

де $h^{-1} = |\delta_1(0) - \delta_2(0)|$.

З урахуванням значення матриці $\|P_1\|$ допустиму кількість зовнішніх факторів для різних умов експлуатації тракторів отримаємо у виді:

$$|b| \leq \frac{1}{4h \frac{\|f(t)\|}{\left\|y_1\right\|1 - \frac{y_1}{y_2}} \max \left\{ \left(\frac{y_1}{y_2} \right) + \left(\frac{y_1}{y_2} \right)^2 \right\}}. \quad (2.15)$$

Розрахунки за рівнянням (2.15) загальної кількості зовнішніх факторів, зокрема відхилень від правил експлуатації і технічного обслуговування (ТО)

тракторів в реальних умовах експлуатації, показують, що за $b > 4$ різко погіршується надійність роботи агрегатів.

Спостереження показують, що в багатьох господарствах кількість відхилень перевищують розрахункову норму, причому значна частина відхилень характерна для ряду господарств. Це перш за все подовження термінів між черговими операціями ТО, невиконання правил обкатки, заправки тракторів паливом, що не відстоялося, тощо.

Для оцінки впливу умов експлуатації тракторів на їх надійність були проведені дослідження в господарствах Харківської, Полтавської і Сумської областей. Спостереженнями було охоплено 167 тракторів (серії Т-150К, ХТЗ-160, ХТЗ-170 – 41 шт.; ЮМЗ, МТЗ різних модифікацій – 126 шт.). За результатами аналізу рядової експлуатації тракторів виявлені характерні відхилення від правил експлуатації.

Аналіз отриманих матеріалів дозволив встановити:

- трактори проходять обкатку 50 % часу, що рекомендується інструкцією з експлуатації (b_1);
- при дозаправленні механізмів і заміні олив замість сортів оливи, що рекомендується інструкцією з експлуатації, застосовуються сорти близькі за фізико-хімічними властивостями. Замінюються оливи через періоди, які майже удвічі перевищують регламентовані інструкцією з експлуатації (b_2);
- технічне обслуговування проводиться в основному на відкритих майданчиках трактористами господарств з подовженням термінів між черговими обслуговуваннями (b_3);
- вузли, що вимагають ремонту, розбираються і ремонтуються без спеціальних монтажних і демонтажних пристосувань і інструменту (b_4);
- усі види кріплень регулюються тільки у тому випадку, якщо за станом сполучень їх подальша експлуатація недопустима (b_5);
- періодично трактори експлуатуються з перевантаженням на всіх передачах (b_6).

Таким чином, кількість зовнішніх факторів, що діють на тракторний агрегат в реальних умовах експлуатації рівняється шести і перевищує визначену за формулою (2.15) межу. У господарствах, в яких технічне обслуговування виконується майстрами-наладчиками (м-н), кількість зовнішніх факторів не перевищує трьох. Найтипівіші для даних господарств відхилення від правил експлуатації, викликані невиконанням правил заправки тракторів олівами (b_2), ремонту (b_4) і робота 25 % часу з перевантаженням (b_6). Під час державних і відомчих випробувань зовнішні фактори, що впливають на агрегат, не були виявлені ($b=0$).

При оцінюванні надійності тракторів за основний показник було прийнято напрацювання на відмову

$$T_{\text{сер}} = \sum_{i=1}^n t_i / n(t),$$

де t_i – час справної роботи i -го трактора між $(i-1)$ і i -ми відмовами (мотогодин), $n(t)$ – кількість відмов за час t (рис. 2.5, табл. 2.2).

В табл. (2.1) наведені значення напрацювання на сумарну кількість відмов першої, другої і третьої групи складності, систематизовані відповідно до діючої нормативної документації [2].

Аналіз розподілу відмов залежно від напрацювання трактора показує, що в початковий період експлуатації при 1000 м.-год. роботи відзначено якнайменше напрацювання на відмову, що пояснюється в основному проявом відмов першої групи складності, що усуваються без розбирання вузлів і агрегатів трактора. За напрацювання 5000 мотогод. відзначено максимальне напрацювання на відмову при ТО тракторів майстрами-наладчиками, яка в 1,82 рази перевищує напрацювання на відмову тракторів при ТО в реальних умовах експлуатації.

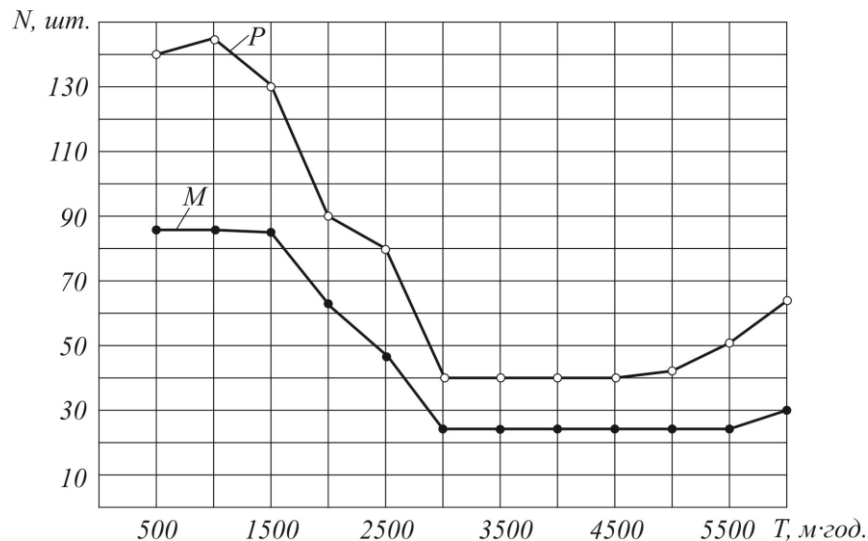


Рис. 2.2 - Динаміка зміни кількості відмов тракторів серії ХТЗ-170 залежно від напрацювання при ТО майстрами-наладчиками (м) і при ТО в реальних умовах експлуатації (р)

Таблиця 2.1

Напрацювання на відмову тракторів серії ХТЗ-170 залежно від умов експлуатації

Умови експлуатації	Напрацювання, м.-год.					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
ТО майстрами-наладчиками	11,3	33,3	130,4	173,9	217,3	200,0
ТО в реальних умовах	7,46	22,2	75,0	100,0	119,0	97,0

При технічному обслуговуванні тракторів майстрами-наладчиками істотно підвищуються (у порівнянні з ТО в реальних умовах рядової експлуатації) їх експлуатаційні показники і коефіцієнт технічної готовності (табл. 2.2)

$$K_{\Gamma} = \frac{R}{R + t_{\text{в}}} , \quad (2.16)$$

де R – ресурс трактора;

$t_{\text{в}}$ – час усунення відмов.

Аналіз даних табл. 2.3 показує, що із збільшенням терміну експлуатації тракторів показники їх роботи погіршуються. Наприклад, річне напрацювання тракторів у реальних умовах експлуатації знижується за 10 років роботи в 1,91 рази, витрата пального зростає в 1,39 рази. При цьому коефіцієнт технічної готовності зменшується в 3,2 рази. За технічного

обслуговування тракторів майстрами-наладчиками річне завантаження зростає на 16 – 100 %, напрацювання на 14 – 83 %, коефіцієнт технічної готовності – на 23 – 53 %. Необхідно звернути увагу на те, що із збільшенням терміну експлуатації трактора ефект технічного обслуговування зростає. Наприклад, при ТО тракторів із терміном експлуатації до 4-х років і 7 – 8 років, коефіцієнт технічної готовності зменшується в 1,5 разів, а для тракторів з терміном експлуатації 9 – 11 і 12 – 14 років – в 1,3 рази. Ця закономірність зберігається і для тракторів за ТО в рядовій експлуатації. При ТО тракторів майстрами-наладчиками, коли виконується повнооб’ємне і якісне технічне обслуговування, знижується вплив терміну експлуатації тракторів на ресурс їх безвідмовної роботи. Наприклад, за ТО майстрами-наладчиками трактори із терміном експлуатації 12 – 14 років мають майже такий же коефіцієнт технічної готовності, що і трактори із терміном експлуатації 7 – 8 років за ТО в рядовій експлуатації.

Таблиця 2.2

**Порівняння показників роботи тракторів серії ХТЗ-170
залежно від терміну експлуатації і способу здійснення ТО**

Показник	Варіант ТО	Термін експлуатації (років)					
		до 4- х	5 – 6	7 – 8	9 – 11	12 – 14	15 і >
Річне навантаження, год.	рядове	1083	991	795	645	544	421
	м-н	1261	1142	1050	948	895	881
Річне напрацювання, у.е.га	рядове	1502	1365	1042	880	875	535
	м-н	1724	1554	1368	1212	1154	984
Питома витрата пального, кг/у.е.га	рядове	8,35	8,74	9,06	10,05	11,08	11,64
	м-н	8,08	8,35	8,64	9,06	9,95	10,38
Коефіцієнт технічної готовності	рядове	0,55	0,40	0,30	0,22	0,19	0,17
	м-н	0,68	0,55	0,45	0,38	0,29	0,26

Таким чином:

– реальні умови експлуатації тракторів мають значне відхилення від правил експлуатації і технічного обслуговування, що полягає у невиконанні правил обкатки, заправки агрегатів і вузлів оливами згідно інструкції з експлуатації, у недотриманні періодичності і об'єму технічного обслуговування, тощо;

– при технічному обслуговуванні тракторів майстрами-наладчиками знижується вплив терміну експлуатації на ресурс їх безвідмовної роботи. В даному випадку, трактори із терміном експлуатації 12 – 14 років мають майже такий же коефіцієнт технічної готовності, що і трактори із терміном експлуатації 7 – 8 років за ТО в рядовій експлуатації.

Контрольні питання

1. Які основні критерії ви враховуєте при оцінці рівня якості виготовлення трактора на початковому етапі його життєвого циклу?

2. Які методи використовуються для оцінювання рівня якості трактора під час експлуатації? Які фактори впливають на цей рівень під час роботи трактора в реальних умовах?

3. Які показники якості функціонування трактора ви вважаєте ключовими при оцінці його ефективності? Як вони взаємозв'язані з технічними характеристиками та характером роботи трактора?

4. Які стратегії можна застосовувати для підвищення якості тракторів у реальних умовах експлуатації? Чи є приклади успішного застосування таких стратегій в сучасній практиці?

5. Як впливає рівень якості виготовлення та експлуатації на тривалість та надійність роботи трактора? Чи існують методи покращення цих показників під час всього життєвого циклу трактора?

6. Які можливості ви бачите для застосування сучасних методів кваліметрії та випробувань для поліпшення якості тракторів на різних етапах їх життєвого циклу?

Практичне заняття 3

Аналіз ефективності використання та забезпечення функціональної стабільності трактора

3.1 Забезпечення функціональної стабільності тракторів використанням RCM методу

RCM (Reliability-Centered Maintenance) – технічне обслуговування, яке направлене на забезпечення якості тракторів. Один із характерних прикладів ефекту від впровадження програмного рішення RCM – скорочення бюджету підприємства на ТО і Р на 20 % і більше при збереженні надійності обладнання. Методологія RCM заснована на постулаті, згідно якого підтримання одиниці обладнання в бездоганному стані (згідно вказівок його виробника) не є самоціллю, метою ж є забезпечення надійності критичних для діяльності підприємства виробничих і технологічних процесів.

Виділяють чотири ознаки, за допомогою яких можна визначити і охарактеризувати RCM. Відзначимо, що ці ознаки не пов'язані з яким-небудь іншим методом планування технічного обслуговування, з тих які застосовуються в даний час.

Перша властивість «Збереження функцій системи» – перша і найважливіша ознака RCM. Вона дає можливість приймати рішення про взаємозв'язок функцій системи з конкретним устаткуванням на подальших стадіях процесу систематизовано, а не робити припущення апріорно про те, що «кожна одиниця обладнання в рівній мірі важлива». В підході до планування ТО і Р в даний час ця тенденція є найпоширенішою. З першого погляду, дане поняття важко сприймається, оскільки воно суперечить укоріненому уявленню про те, що профілактичне обслуговування (ПО) використовується для того, щоб зберегти працездатність обладнання. В процесі звернення до функції всієї системи, ми висловлюємо бажання знати яким буде її виробничий результат, і в ролі головної задачі виділяємо збереження даного результату, тобто функції.

Друга властивість. Виходячи з того, що головною задачею є збереження функції всієї системи, другою є втрата її функціональності, або функціональна відмова. Функціональні відмови мають безліч параметрів і видів, і досить часто є досить складною ситуацією. Дослідження великої кількості ймовірних проміжних станів, у край, необхідне, оскільки деякі з них можуть в результаті виявитися досить істотними. Тоді головним питанням є з'ясування причини функціональної відмови. Так, основним принципом другої ознаки є здійснення переходу до компонентів апаратних засобів за допомогою «ідентифікації різного роду несправностей, які можуть бути ймовірною причиною небажаних функціональних відмов трактора». Прикладом компоненту і виду несправності можна назвати регулятор паливного насосу, який «заклинило» у вихідному положенні, де регулятор – компонент, а «заклинило» – вид несправності, що може слугувати причиною функціональної відмови «неможливість здійснення запуску двигуна»

Третя властивість. В процесі RCM «функції не є рівнозначними». У зв'язку з цим усі функціональні відмови, які з'являються в процесі роботи, і відповідно компоненти і види несправностей, що відносяться до них, не рівнозначні за своєю значущістю. Таким чином, встановлюються пріоритети значущості видів несправностей. Все це реалізується за допомогою розподілу видів несправностей за нескладною трьохрівневою схемою рішень, яка дає можливість віднести кожний з видів до однієї з чотирьох категорій, які використовуватимуться далі для розробки логічного обґрунтування розподілу пріоритетів.

Четверта властивість. Все вище сказане, за суттю, є результатом добре систематизованого плану, з якого видно куди (компонент), як і в якій послідовності необхідно рухатися при визначенні конкретних задач ТО тракторів, ґрунтуючись на головній задачі «збереження функції». Так, щоб виявити перелік можливих заходів ТО, необхідно звернутися до кожного з розташованих в пріоритетному порядку видів несправностей. На цій стадії у RCM виділяється ще одна, остання характерна особливість, яка потребує

визначення. Будь-яку можливу задачу ТО необхідно розглядати з погляду «застосовності і ефективності». «Застосовність» задачі – задоволення однією з трьох причин здійснення ТО в процесі її виконання не залежно від затрат. «Ефективність» – обґрунтована затрата ресурсів на її виконання.

У разі, коли більше ніж одна з можливих задач розглядається як застосовна, необхідно вибрати якнайменш затратну, тобто найефективнішу задачу. В процесі прийняття рішення про відмову від виконання задачі існує три критерії даного вибору. Дві причини відмови від виконання задачі – це її невідповідність критеріям застосовності і ефективності. Третя причина – низький пріоритет в класифікації.

Таким чином, задачі RCM тракторів полягають в наступному: збереження функціональної стабільності системи; встановлення видів несправностей, через які може бути порушено виконання функцій; розподіл функціональних потреб в пріоритетному порядку (по типу несправності); вибір застосовних і ефективних задач ТО для видів несправностей з високим пріоритетом.

Указані чотири ознаки лише усі разом повною мірою описують поняття RCM. У зв'язку з цим будь-який з процесів планування ТО може бути віднесений до категорії RCM тільки у тому випадку, якщо він містить усі чотири ознаки.

Щоб застосовувати методику RCM, необхідно для кожного конкретного трактора визначити:

- які функції виконує агрегат трактора, як основні, так і допоміжні. При цьому необхідно з'ясувати не тільки те як повинен функціонувати агрегат з погляду користувача, але і переконатись, що даний агрегат здатний виконувати ті функції, яких від нього вимагає користувач;

- які можливі відмови спричиняють припинення виконання функцій. В методології RCM стан обладнання, при якому виник дефект, що перешкоджає продовженню роботи обладнання, називається функціональною відмовою. Зазвичай, шляхом експертних оцінок спочатку

визначають які обставини можуть призвести до виникнення дефекту, а потім визначаються ті події, які безпосередньо призвели до виникнення дефекту.

Що є причиною кожної з можливих відмов трактора? Типовий список причин відмови (режими відмови) містить дефекти, що викликані старінням і зносом. Проте список повинен містити також і дефекти, що викликані помилками персоналу і дефектами викликаними прорахунками в проектуванні. Всі ці дефекти необхідно включати в список для того, щоб мати нагоду, за їх виникнення, діяти по наперед підготовленому плану.

До яких наслідків призводить кожна з відмов? Детальний аналіз типового виробництва призводить до переліку із 3000 – 10000 можливих відмов. Кожна з цих відмов деяким чином впливає на функціонування трактора, але результат у кожному конкретному випадку різний. Розмір наслідків дефекту напряду впливає на той об'єм заходів, що необхідно виконати для уникнення цього дефекту. Іншими словами, чим серйозніші можливі наслідки дефекту, тим більше готовність платити за заходи з його усунення. Фактично RCM регламентує застосування технічного обслуговування і ремонту для тракторів не з метою запобігання дефектів як таких, а для уникнення або мінімізації можливих наслідків дефектів. Наслідки в системі оцінюються в балах для кожного результату. До таких негативних наслідків відносять: наслідки для безпеки людей, екології, функціонування підприємства, якості продукції, безперебійного постачання споживача. Особливу роль відіграють прямі затрати на усунення будь-якого дефекту, який може бути виражений не тільки у вигляді затрат на ремонт, але і штрафів, неустойок, тощо. Необхідно наголосити на тому, що особливе значення в RCM надається охороні навколишнього середовища і безпеці життєдіяльності, тобто для дефектів, що загрожують цим двом критеріям бали завжди проставляються найбільші.

На підставі цього аналізування визначаються «найкритичніші активи», а для кожного активу вибираються різні варіанти дій. Відмінність технології RCM від загальноприйнятої практики полягає в тому, що тип дії на трактор вибирається з 4-х програм: реактивної (робота на відмову), превентивної

(планове обслуговування), проактивної (заснованої на пошуку першопричин відмов – тобто організація ремонтів за станом), прогнозової (заснованої на прогнозі з певною надійністю часу виходу з ладу трактора).

Детальний аналіз стану обладнання і ремонтних робіт дозволив зробити несподіваний висновок: ймовірність відмов, як і надійність функціонування виробничих активів, на 85 % не залежать від тривалості нормальної експлуатації. Іншими словами, виконання ТО і Р на основі принципу тимчасових інтервалів є нераціональним для 85 % устаткування.

3.2 Задачі управління якістю трактора на етапах його життєвого циклу

За даними, що отримані в процесі визначення значень показників якості, а також за оцінками якості і технічного рівня трактора, розробники, виробники і експлуатаційники, за необхідності, приймають конкретні управлінські рішення, що направлені на підвищення якості трактора. Реалізація таких управлінських рішень здійснюється через конкретні техніко-економічні заходи і необхідні дії усіх, хто працює з даним трактором на протязі його життєвого циклу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Основні задачі і мета управління якістю на етапах життєвого циклу трактора

Етапи життєвого циклу трактора			
НДР	Проектно-конструкторська і технологічна підготовка виробництва	Виробництво	Експлуатація
Задачі управління якістю			
Прогнозування необхідних якості і технічного рівня трактора. Визначення відповідності показників якості трактора, що розробляється, досягненням науково-технічного прогресу. Здійснення техніко-економічного аналізу. Оформлення карти технічного рівня трактора		Встановлення відповідності фактичних значень показників якості тракторів, що уже виготовлені до початку їх експлуатації, встановленим в нормативно-технічній документації вимогам. Атестація якості трактора.	Встановлення відповідності фактичних значень показників якості в процесі експлуатації вимогам встановленим в НДТ. Виявлення можливості більш повного використання усіх корисних властивостей трактора.

Пряме безпосереднє управління якістю і технічним рівнем трактора здійснюється на основі аналізу його конкретних (одиничних, комплексних, узагальнених і інтегральних) показників, що характеризують досконалість (якість) трактора.

Контрольні питання

1. Які можливі наслідки може мати недотримання періодичності та обсягу технічного обслуговування для ресурсу безвідмовної роботи тракторів?
2. Які конкретні заходи можна вжити для підвищення надійності тракторів під час їх виробництва? Які основні аспекти слід враховувати при розробці таких систем?
3. Яким чином організаційно-технічні заходи в системі технічного обслуговування та ремонту тракторів можуть впливати на загальну ефективність виробництва сільгосппродукції?
4. За якими ознаками можна визначити і охарактеризувати RCM методу?
5. Назвіть основні задачі управління якістю трактора.

Практичне заняття 4

Кваліметрія функціональних, ергономічних і екологічних властивостей трактора

4.1 Підвищення агроекологічних якостей колісних тракторів

Екологічні показники трактора характеризують рівень його шкідливого впливу на зовнішнє середовище в процесі експлуатації.

Використання мобільної сільськогосподарської техніки, зокрема тракторів, недопустимо без скорочення і погіршення основних компонентів природного середовища. При цьому, першочерговою проблемою є підвищення агроекологічних якостей сільськогосподарських тракторів за показниками впливу рушіїв на ґрунт.

Рушії тракторів ущільнюють, руйнують орний і підорний горизонти ґрунту, що становить реальну загрозу порушення екологічної рівноваги ґрунтового покриву і призводить до зниження родючості ґрунту та врожайності сільськогосподарських культур [1]. За останні 30 років маса тракторів збільшилася в 2,5 – 3 рази, тиск на ґрунт їх ходових систем також значно збільшився і досягає 420 кПа та більше. Створюється залишкове ущільнення в орних і в підорних горизонтах ґрунту (на глибині 0,6 – 1,0 метра), що зберігається протягом декількох років [1]. За ДСТУ 4521:2006 «Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт» для агрофону з щільністю $0,9 - 1,0 \text{ г/см}^3$ і вологістю 0,4 – 0,5 НВ регламентується допустимий максимальний тиск ходових систем тракторів на ґрунт не більше 160 кПа. Методи визначення дії на ґрунт ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки рекомендовані ДСТУ 4428:2005 «Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт». Дані методи базуються на способі оцінювання тиску рушія на ґрунт за статичним навантаженням, внаслідок чого не можливо оцінити їх вплив при виконанні трактором технологічного процесу.

Відомо [1], що на ущільнення ґрунту ходовою системою рухомого трактора впливають динамічні вертикальні навантаження, що призводять до

залишкової (дисипативної) і пружної деформації ґрунту. При повторних проходах трактора по попередньому сліду щільність ґрунту внаслідок залишкової деформації на глибині 0,6 м збільшується на 10 – 15 %. Це пояснює причину підвищення ущільнення в підорних горизонтах ґрунту від впливу вертикальних динамічних навантажень рушіїв мобільних машин. Велику небезпеку представляє кумулятивний характер накопичення ущільнюючих впливів в ґрунті і прогресуюче зниження її родючості.

До істотного зниження агроекологічних якостей колісних тракторів призводить буксування їх рушіїв, при якому порушується структура ґрунту, що приводить до ерозійно-небезпечного стану. Обґрунтовано [3], що для запобігання руйнуванню структури ґрунту у весняний період польових робіт максимально допустиме буксування колісних рушіїв тракторів тягових класів 5, 3 та 1,4 повинно становити 15 %, 12 % і 9 % відповідно. У літньо-осінній період значення буксування можуть бути більшими і, відповідно, становити 20 %, 16 % і 13 %.

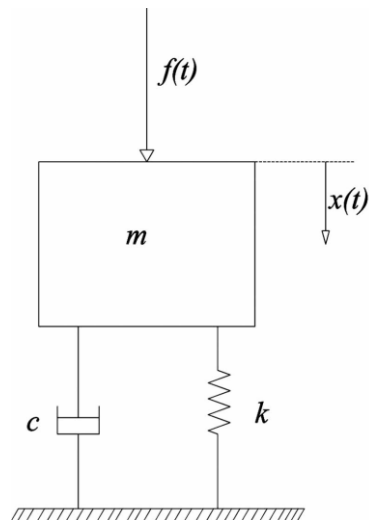
У світовій практиці тракторовикористання, для зниження ущільнюючого впливу ґрунту рушіями колісних тракторів використовують широкопрофільні шини, здвоєні і строєні колеса. Обґрунтовано [3], що колісні трактори тягового класу 5, обладнані одинарними штатними колесами, можуть використовуватися на польових роботах лише в літньо-осінній період. Для експлуатації навесні вони обов'язково мають бути обладнані здвоєними колесами. Дані трактори мають переваги за тягово-енергетичними показниками перед тракторами з одинарними колесами, але поступаються за динамічною напруженістю ґрунту на поворотній смузі [3].

Аналіз відомих досліджень і публікацій показав, що зниження динамічного впливу рушіїв тракторів на ґрунт є основою системного підходу підвищення агроекологічних якостей сільськогосподарських тракторів.

Кваліметрична оцінка агроекологічних якостей сільськогосподарських колісних тракторів передбачає вимірювання показників динамічного впливу ходових систем на ґрунт.

У Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Леоніда Погорілого були проведені теоретичні та експериментальні дослідження з оцінки динамічного впливу на ґрунт ходових систем колісних тракторів від вертикальних коливань, буксування коліс і динамічної напруженості ґрунту при поворотах агрегату.

В основу оцінки вертикальних коливань трактора покладена аналітична модель (рис. 4.1), що складається з точкової маси m , що спирається на безінерційну лінійну пружину K , що має в'язкістний демпфер C .



Маса встановлена таким чином, що вона може переміщуватись під дією сили $f(t)$ тільки в одному напрямку X , тобто система має одну ступінь свободи. У даній моделі пружина K характеризує накопичення енергії

Рис. 4.1 - Аналітична модель вертикальних коливань трактора

системою, а демпфер C – розсіювання енергії. Нерівність накопичення і розсіювання енергії при дії сили визначає динаміку системи, математична модель якої у часі може бути отримана відповідно до другого закону Ньютона до аналітичної моделі. Прирівнюючи внутрішні сили (пружності) і зовнішні (збудження) отримаємо наступну математичну модель динамічної системи:

$$m\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = f(t) \quad (4.1)$$

Дана модель є основою оцінки динаміки трактора.

Рух трактора при виконанні технологічного процесу призводить до виникнення поздовжніх, бічних і вертикальних коливань підресорених і непідресорених мас і коліс трактора. Поздовжні і бічні коливання трактора

призводять до підвищення динамічної напруженості ґрунту внаслідок буксування, юзу рушіїв, а вертикальні коливання є основною причиною динамічного ущільнення ґрунту.

Вертикальні коливання трактора оцінені за динамічною моделлю із врахуванням підресорених m_n і непідресорених мас переднього m_1 і заднього m_2 мостів, сума яких визначає масу трактора M (рис. 4.2).

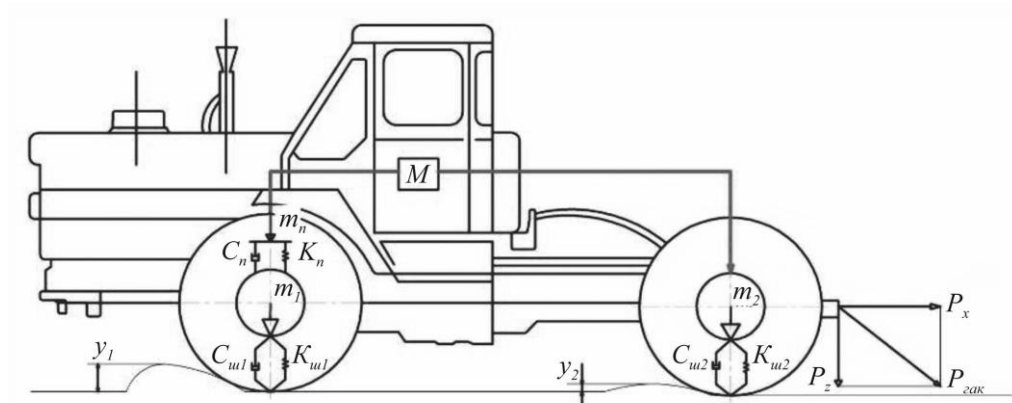


Рис. 4.2 - Динамічна модель вертикальних коливань трактора

Для даної динамічної моделі записано диференціальне рівняння вертикальних коливань трактора при агрегуванні з сільгоспмашиною при тяговому навантаженні $P_{кр}$

$$M_T \ddot{Z} + (C_n + C_{sh}) \dot{Z} + (K_n + K_{sh}) Z - C_n \dot{\xi} - K_n \cdot \xi + P_Z = C_{sh} \dot{y} + K_{sh} y, \quad (4.2)$$

де M_T – маса трактора, кг;

$z, \dot{z}, \ddot{z}$ – вертикальне переміщення, швидкість, прискорення остове трактора відповідно, м, м/с, м/с²;

C_n, C_{sh} – коефіцієнти демпфування підвіски і шин відповідно, Н·с/м;
 K_n, K_{sh} – коефіцієнти жорсткості підвіски і шин відповідно, Н/м;

$\xi, \dot{\xi}$ – вертикальне переміщення і швидкість переміщення переднього мосту відповідно, м, м/с;

P_z – вертикальна складова тягового навантаження, Н;

$y, \dot{y}$ – висота нерівності рельєфу і швидкість її подолання відповідно, м, м/с.

Тиск на ґрунт σ_m коліс переднього і заднього мостів залежить від вертикального динамічного навантаження $G(t)$, що діє на колеса і змінюється при русі трактора, визначається за формулою:

$$\sigma_{m1} = \frac{G_{k1}}{F_{k1}}; \sigma_{m2} = \frac{G_{k2}}{F_{k2}}, \quad (4.3)$$

де F_{k1}, F_{k2} – контурна площа контакту з ґрунтом шини коліс переднього і заднього мостів відповідно, визначена на жорсткій поверхні, м².

Динамічні навантаження переднього G_{k1} і заднього G_{k2} мостів залежать від параметрів підвіски і коліс трактора і визначаються за залежностями:

$$G_{k1} = F_p + F_{ам1} - F_{a1} + m_1 \ddot{\xi}_1; \quad (4.4)$$

$$G_{k2} = F_{a1} + F_{ам2} + m_2 \ddot{\xi}_2 + P_Z \cdot \cos \varphi, \quad (4.5)$$

де F_p – сила пружного елемента підвіски (ресори) передньої вісі, Н;

F_{a1} – сила амортизатора, Н;

$F_{ам1}, F_{ам2}$ – сили від амортизуючих властивостей коліс переднього і заднього мостів, відповідно, Н;

$\ddot{\xi}_1, \ddot{\xi}_2$ – вертикальні прискорення переднього і заднього мостів, відповідно, м/с²;

φ – кут відхилення остову трактора від вертикальної вісі під час руху на нерівностях ґрунту, рад.

Аналіз залежностей (4.4) і (4.5) показує, що динамічні вертикальні навантаження мостів трактора залежать від параметрів підвіски і коліс, тягового навантаження і вертикальних прискорень переднього і заднього мостів.

Для контролю вертикальних прискорень переднього і заднього мостів трактора використовувався розроблений реєстраційно-вимірювальний комплекс (рис. 4.3), що дозволяє реєструвати поздовжні, бічні і вертикальні

прискорення трактора при виконанні технологічного процесу.



Рис. 4.3 - Розміщення вимірювально-реєстраційного комплексу в кабіні трактора ХТЗ-17221

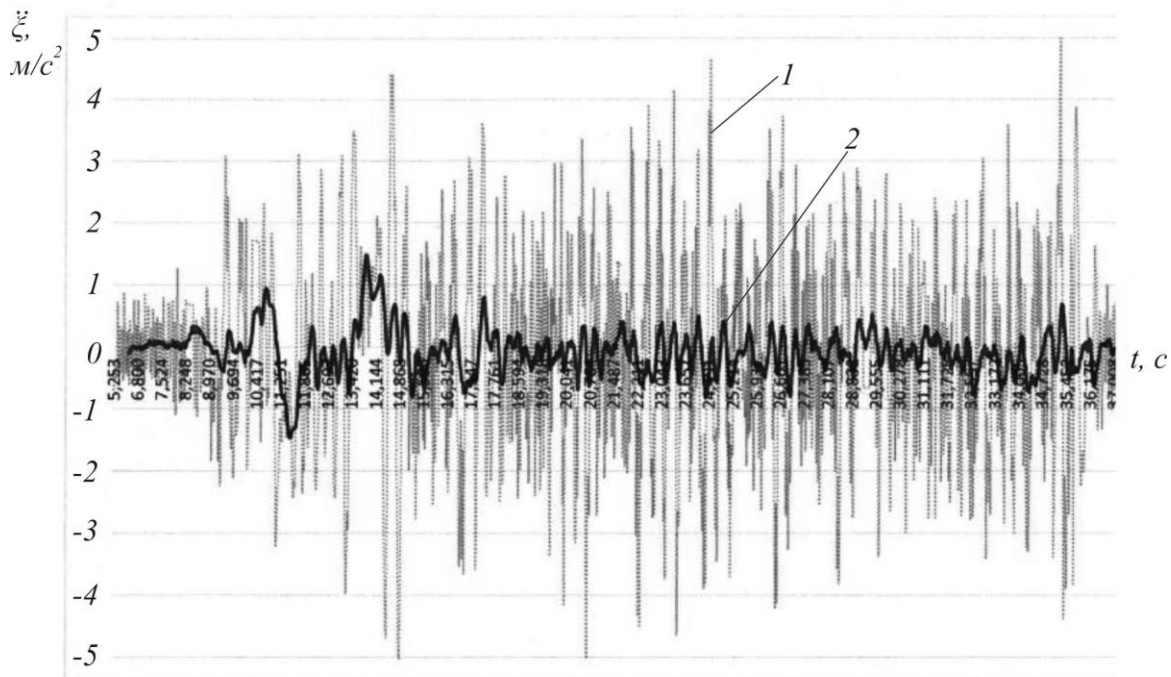
Даний комплекс використовувався раніше для оцінювання тягових властивостей трактора за зміною подовжніх прискорень та стійкості руху за бічними прискореннями відхилення напрямку його руху.

Вертикальні прискорення переднього і заднього мостів при виконанні трактором технологічного процесу свідчать про динамічні навантаження, що діють на ґрунт. Використані для проведення експерименту давачі ММА 7260QT – ємнісні акселерометри з трьома робочими осями і межею вимірювання $\pm 1,5g$, мають вбудований фільтр коригування впливу температури, фільтр нижніх частот і кратних значень і не вимагають додаткових пристроїв. Давачі використовують низьку напругу 2,2-3,6 V, мають високу чутливість 800 В/д, характеризуються гарною стійкістю до перепадів напруги і впливу статичної електрики.

За допомогою даного комплексу були оцінені вертикальні прискорення центру мас трактора, переднього і заднього мостів при агрегуванні трактора ХТЗ-17221 з плугом ПЛН-5-35. У першому випадку використовувався один датчик ММА 7260QT, у другому – два з установкою відповідно в кабіні трактора і на корпусах мостів. Експериментальні дослідження були проведені в літньо-осінній період на орних роботах (агрегат ХТЗ-17221 + ПЛН-5-35) на полі після збирання пшениці (тип ґрунту

– чорнозем середньо-суглинний глибокий при твердості 1,5 МПа і вологості 0,3 – 0,4 НВ в літній і 1,3 МПа, 0,4 – 0,5 НВ в осінній періоди).

У результаті експериментальних досліджень було визначене найбільше прискорення центру мас трактора ХТЗ-17221 при агрегуванні з плугом ПЛН-5-35 при розгоні агрегату, що можна пояснити в основному підвищенням інтенсивності зростання вертикальної складової тягового навантаження P_Z (рис. 4.4). На даних графіках за віссю Z відображено вертикальне прискорення $\ddot{\xi}$ центру мас трактора, X – час t проведення експерименту.



1 – масив $\ddot{\xi}$; 2 – графік $\ddot{\xi}$ з використанням фільтру Калмана

Рис. 4.4 - Загальний вид графіків вертикальних прискорень $\ddot{\xi}$ центру мас трактора ХТЗ-17221 з плугом ПЛН-5-35 під час оранки в літній період

При розгоні агрегату ХТЗ-17221 + ПЛН-5-35 найбільш інтенсивно проявляється частота коливань центру мас трактора в період 10 – 14 с.

Під час виконання трактором ХТЗ-17221 орних робіт експериментально з використанням двох датчиків ММА 7260QT, які встановлюються на корпусах переднього і заднього мостів, отримані їх вертикальні прискорення $\ddot{\xi}_1$ і $\ddot{\xi}_2$ в залежності від швидкості руху агрегату. Розв'язуючи рівняння (4.4) і (4.5) з

використанням програмного середовища MathCad з урахуванням експериментальних даних $\ddot{\xi}_1$ і $\ddot{\xi}_2$, обґрунтовано залежність вертикальних динамічних навантажень переднього і заднього мостів трактора ХТЗ-17221 з плугом ПЛН-5-35 (оранка на глибині 25 – 27 см) від швидкості руху (рис. 4.5).

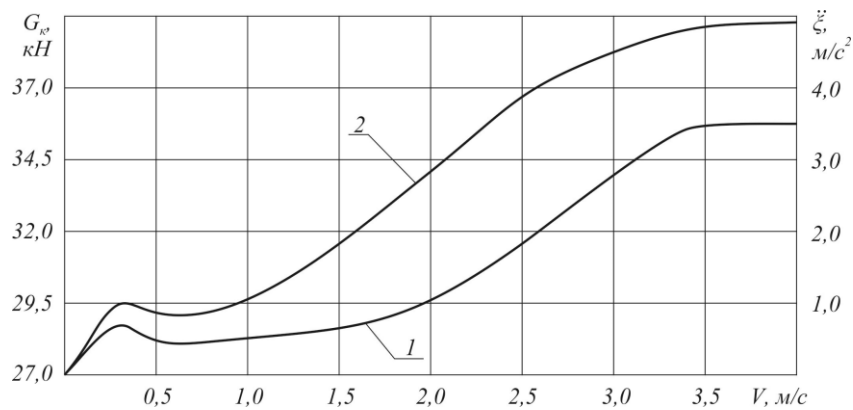


Рис. 4.5 - Зміна вертикальних динамічних навантажень G_k і прискорень $\ddot{\xi}$ переднього (крива 1) і заднього (крива 2) мостів трактора ХТЗ-17221 від швидкості V руху на орних роботах

Аналіз залежностей $G_k=f(V)$ і $\ddot{\xi}=f(V)$ показує, що $\ddot{\xi}_{\max}$ досягається для переднього мосту за $V=3,5$ м/с (12,6 км/год.), заднього – 3,2 м/с (11,5 км/год.), яким відповідають $G_{k1\max} = 35,5$ кН і $G_{k2\max} = 39,0$ кН. За підвищеної вологості ґрунту в осінній період $G_{k1\max}=34,0$ кН і $G_{k2\max}=38,1$ кН. Відмічено також, що в момент розгону трактора ХТ-17221 до швидкості 1,8 км/год. при заглибленні плуга ПЛН-5-35 динамічні навантаження заднього моста зростають більш інтенсивно ніж переднього.

Зі зростанням швидкості руху агрегату завжди $G_{k2}>G_{k1}$, що є наслідком в основному зростання вертикальної складової P_Z тягового навантаження (див. рис. 4.6), яка передається на задній міст трактора.

Тиск на ґрунт σ_m коліс переднього і заднього мостів трактора ХТЗ-17221 при агрегуванні з плугом ПЛН-5-35, який призводить до зміни його щільності і твердості, розраховано за залежностями (4.5) з урахуванням експериментальних значень вертикальних динамічних навантажень G_k і

використанням методики оцінювання ущільнення ґрунту на глибині [3.9], що розроблена Інститутом ґрунтознавства і агрохімії ім. А.Н. Соколовського НААНУ (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Зміна щільності й твердості ґрунту під дією колісних рушіїв трактора
ХТЗ-17221 при агрегуванні з плугом ПЛН-5-35
в літній період**

Глибина, см	Контроль			Щільність за мостами, г/см ³	Твердість за мостами, МПа	
	щільність, г/см ³	твердість, МПа	передній	задній	передній	задній
0 – 10	1,06	0,75	1,18	1,22	1,50	1,68
10 – 20	1,17	1,15	1,24	1,26	1,93	2,05
20 – 30	1,21	1,50	1,27	1,30	2,20	2,34
30 – 40	1,24	1,78	1,30	1,33	2,34	2,48
40 – 50	1,27	2,05	1,33	1,36	2,48	2,64
50 – 60	1,30	2,21	1,36	1,40	2,65	2,80
<i>Примітка:</i> шини серійні 23,1R26; швидкість руху 9,8 км/год.; ґрунт: чорнозем; вологість – 0,3-0,4 НВ, попередник – стерня озимої пшениці						

При експериментальних дослідженнях з визначення впливу системи дії колісних рушіїв на ґрунт, що оцінювався в сліду коліс трактора і ділянці поля між бортами (контрольна ділянка) до проходження плуга за зміною щільності (об'ємної маси) і твердості ґрунту. Повторність експерименту трикратна на довжині гону 100 м.

Аналіз щільності ґрунту в сліду коліс трактора показує, що колеса заднього мосту на глибині більш інтенсивно ущільнюють ґрунт, перевищуючи даний показник контрольної ділянки на глибині 10 см на 15 %, глибше 60 см – на 7,6 %. При цьому, твердість ґрунту зросла в 2,24 і 1,26 рази, відповідно. На глибині ґрунту 0 – 60 см щільність ґрунту в сліду коліс зростає в 1,15 рази, а твердість – в 1,76 рази. Це обумовлює ущільнення ґрунту підорного горизонту на глибині більш ніж 0,6 м. Цьому сприяє також ефект «галоупування» трактора під час руху на гоні, що є наслідком різних за значенням і нестабільністю вертикальних динамічних навантажень і прискорень мостів трактора (див. рис. 4.5). Можна вважати, що у даному випадку трактор працює як трамбувальник ґрунту.

Розв'язання проблеми зниження ступеню дії колісних рушіїв трактора на ґрунт у напрямку забезпечення нормативних значень його щільності й твердості може бути досягнуто за рахунок використання під час роботи тракторного агрегату реєстраційно-вимірювального комплексу (див. рис. 3.4), який дозволяє оцінювати максимальні вертикальні прискорення трактора і його мостів під час виконання технологічного процесу. Коригування швидкісного режиму роботи тракторного агрегату дозволяє виконувати технологічний процес з мінімально допустимими вертикальними динамічними навантаженнями на ґрунт рушіїв трактора.

До значного зниження агроекологічних якостей тракторів призводить буксування їх рушіїв під час виконання технологічного процесу. А саме, під час буксування окрім зниження швидкості руху трактора порушується структура ґрунту і зв'язки між його часточками, що призводить до збільшення глибини занурення рушіїв в ґрунт і до додаткових затрат енергії на утворення колії. Реалізація ведучого моменту рушія (колеса) трактора супроводжується буксуванням, в результаті чого рушій як би переміщується назад на якусь відстань. В цьому полягає фізична сутність буксування рушіїв трактора. Дотична сила тяги рушія зростає з підвищенням буксування до певного значення, після чого відбувається її зниження. Максимальна дотична сила тяги еластичного колеса (шини) досягається під час зниження значенні буксування, що дорівнює 0,15 – 0,20 (15 % – 20 %) на твердій опорній поверхні, 0,22 – 0,24 (22 % – 24 %) на деформованій і більш ніж 0,3 (33 %) для фону «поле під посів» [3.1]. Буксування понад 0,3 суттєво знижує показники роботи агрегату і призводить до недопустимих руйнувань структури ґрунту. Запропоновані [3.8] максимально допустимі буксування колісними рушіями тракторів класів 1,4, 3 і 5 для весняних і літньо-осінніх польових робіт, при яких забезпечуються нормативні тягові показники тракторів і не порушується рушіями структура ґрунту.

Для забезпечення роботи трактора з буксуванням в оптимальних межах необхідний безперервний контроль буксування трактору при виконанні

технологічного процесу. Для вирішення даної проблеми необхідне вимірювання дійсної швидкості трактора. В світовій практиці тракторобудування для вирішення цієї проблеми успішно використовують радари [4].

В Інституті радіофізики і радіоелектроніки НАН України ім. А.Я.Усикова (м. Харків) за участі ХФ УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого розроблено і виготовлено вимірювач буксування трактора при виконанні технологічного процесу. В даному вимірювачі реалізується залежність буксування δ трактора від відношення лінійних швидкостей трактора V_T і обертів ведучого колеса V_K :

$$\delta = 1 - \frac{V_T}{V_K}, \quad (4.6)$$

де $V_K = 3,6 \cdot \left(\frac{L}{T} \right)$, м/с;

L – довжина окружності колеса, м;

T – час, за який колесо здійснює один оберт, с.

Для вимірювання показників V_T і δ використовується радіолокаційний вимірювач швидкості трактора (рис. 4.7), заснований на вимірюванні ефекту Доплера, і контактний вимірювач лінійної швидкості обертання колеса V_K на основі давача Хола.

Радіолокаційний давач здійснює вимірювання доплерівського зсуву частоти при переміщенні радару відносно поверхні руху трактора

$f_d = \frac{2V_p}{\lambda} \cos \alpha$, де V_p – швидкість носія, λ – робоча довжина хвилі радару, α –

кут нахилу променя радару відносно поверхні руху.

У результаті порівняння показань обох давачів, буксування рушіїв трактора обчислюється згідно виразу (4.6).

Перед вимірюваннями виконується процедура калібрування для визначення постійних величин – α і L за якими коригуються результати вимірювань динамічного радіусу кочення колеса.

В результаті експериментальних досліджень трактора ХТЗ-17221 при агрегуванні з плугом ПЛН-5-35 на орних роботах на глибині 25 – 27 см в літній період (вологість ґрунту 0,3 – 0,4 НВ) трактор має буксування 15 %, в осінній період (вологість ґрунту 0,4 – 0,5 НВ) буксування знаходиться в межах 17 – 18 %. Порівняння отриманих результатів з нормативними значеннями за ДСТУ ISO 789-9:2005 «Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 9. Визначення потужності на зчипному брусі (ISO 789-9:1990, IDT)» показало, що похибка вимірювання буксування тракторів при виконанні технологічного процесу не перевищує 2,7 %.

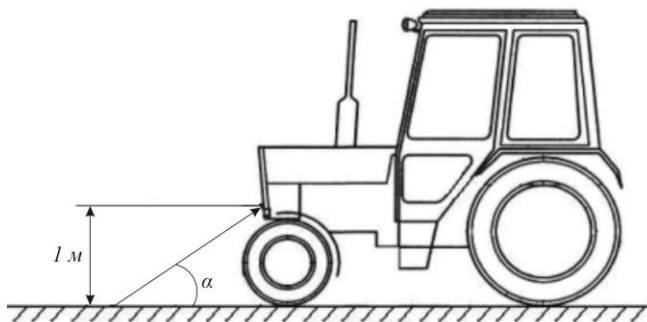
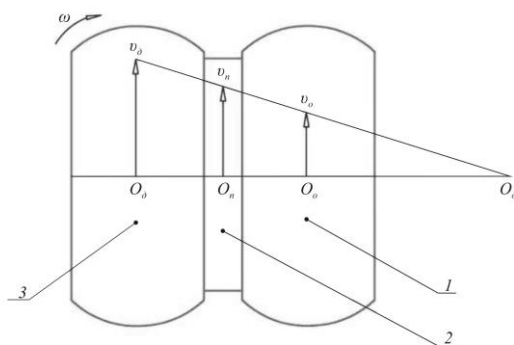


Рис. 4.6 - Розміщення радіолокаційного вимірювача швидкості на тракторі

кінематичні зв'язки за допомогою проставки 2. Найбільш несприятливим, з погляду впливу здвоєних коліс на ґрунт є непрямолінійність руху і особливо повороти і розвороти з малими радіусами.



1, 3 – основне і допоміжне колесо;
2 – проставка

Рис. 4.7 - Схема повороту здвоєних коліс трактора

До суттєвого зниженню агроекологічних якостей тракторів зі здвоєними колесами призводить їх жорстке з'єднання. У відомих технічних рішеннях (рис. 4.7) при здвоюванні основного 1 і додаткового 3 коліс реалізовані жорсткі

Наприклад, при повороті здвоєних коліс з кутовою швидкістю ω поступальні швидкості основного колеса v_o і додаткового v_d щодо їх геометричних центрів O_o і O_d відрізняються від поступальної швидкості v_n геометричного центру O_n . В

даному випадку додаткове колесо котиться з юзом, основне – з буксуванням. Це призводить до циркуляції потужності і до зрізання верхніх шарів ґрунту.

Розв'язання проблеми підвищення агроекологічних якостей здвоєних коліс тракторів може бути досягнуто під час створення опорно-зчіпного пристрою для здвоювання коліс, що дозволяє роздільно передавати крутний момент на основні і додаткові колеса.

При застосуванні здвоєних (строєних) коліс трактора не вирішується повною мірою проблема зниження ущільнення ґрунту від динамічних вертикальних навантажень, хоча ущільнення орного горизонту знижується на 10 – 15 %. Однак, підвищення площі контакту з ґрунтом здвоєних (строєних) коліс трактора призводить до підвищення загальної площі сільгоспугідь, схильних до впливу рушіїв трактора.

Таким чином, зниження динамічного впливу рушіїв тракторів на ґрунт є основою системного підходу підвищення агроекологічних якостей сільськогосподарських тракторів. Для вирішення даної проблеми необхідно зниження вертикальних динамічних навантажень рушіїв трактора на ґрунт, які призводять до збільшення ущільнення в орних і підорних горизонтах ґрунту на глибині більш ніж 0,6 м. При величині максимальних вертикальних прискорень переднього і заднього мостів трактора ХТЗ-17221 на орних роботах в літній період $3,5 \text{ м/с}^2$ та $4,9 \text{ м/с}^2$ динамічні навантаження на ґрунт відповідно дорівнюють 35,5 кН і 39,0 кН, в осінній період – 34,8 кН і 38,1 кН.

Щільність ґрунту в сліду коліс трактора на орних роботах показує, що колеса заднього мосту на глибині більш інтенсивно ущільнюють ґрунт, перевищуючи показники контрольної ділянки на глибині 10 см на 15 %, глибше 60 см – на 7,6 %. При цьому твердість ґрунту зросла в 2,24 і 1,26 рази, відповідно.

Контрольні питання

1. Як ефективно поєднати підвищення агроекологічних якостей з вимогами до продуктивності і надійності колісних тракторів в сільському господарстві?
2. Які основні види забруднень атмосфери виникають внаслідок викидів тракторів під час виконання різних сільськогосподарських робіт?
3. Які технічні та технологічні рішення можуть бути застосовані для зменшення викидів тракторів та покращення екологічної чистоти їхньої роботи?
4. Які можливі наслідки може мати забруднення атмосфери викидами тракторів для здоров'я людей та навколишнього середовища, і як їх можна уникнути або зменшити?

Практичне заняття 5

КВАЛІМЕТРІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАКТОРА

5.1 Кваліметрія гальмівних показників тракторів методом парціальних прискорень

Методологія кваліметрії базується на методі парціальних прискорень [1], що передбачає розкладання сумарного сповільнення при гальмуванні в ряд парціальних сповільнень, які є результатом дії кожної із зовнішніх сил.

Показниками ефективності роботи гальмівних систем є питома гальмівна сила (за стендового методу випробувань) і гальмівний шлях або усталене сповільнення (за дорожнього методу випробувань [5]). Показник питомої гальмівної сили не є достатньо інформативним. Крім того, випробування на стенді в недостатній мірі імітують реальні умови руху, випробування передньої і задньої осей проводяться окремо, що збільшує час проведення випробувань. Необхідно приділяти увагу розвитку методу випробувань мобільних машин в напрямку підвищення відтворюваності і повторюваності випробувань, а також розвитку методів, які дозволять без додаткових розбірно-складальних робіт робити висновок про стан елементів і вузлів гальмівних систем. В даному випадку, кваліметрія гальмівних показників трактора базується на динаміці його гальмування (рис. 5.1) [5.19].

Рівняння динаміки гальмування тракторного поїзда записується в вигляді

$$m_T \dot{V} = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} = \sum_n P_n = P_T, \quad (5.1)$$

де $m_T = \frac{1}{g(G_T + G_{пр})}$ – маса тракторного поїзда, кг;

g – прискорення вільного падіння, $g=9,8 \text{ м/с}^2$;

$G_T, G_{пр}$ – вага трактора і причепа, відповідно, Н;

$P_{T1}, P_{T2}, P_{T3}, P_{T4}$ – сумарні гальмівні сили на осях, Н;

n – кількість осей тракторного поїзда;

P_T – загальна гальмівна сила тракторного поїзда, Н.

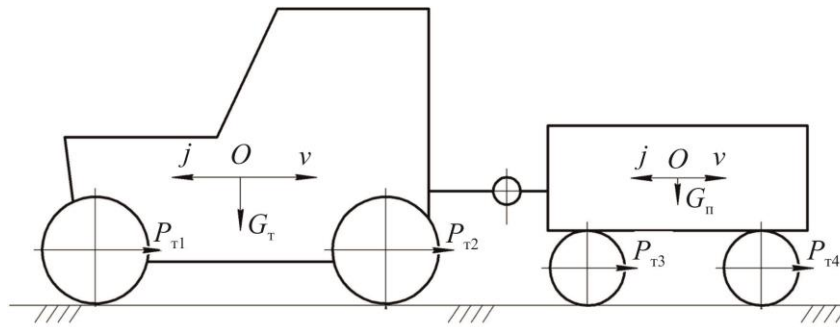


Рис. 5.1 - Схема сил, що діють на тракторний поїзд при гальмуванні

Під час гальмування тракторного поїзду зі всіма працюючими елементами гальмівної системи реалізується парціальне прискорення сповільнення

$$j = \frac{|P_T|\beta_1}{m_T} + \frac{|P_T|\beta_2}{m_T} + \dots + \frac{|P_T|\beta_i}{m_T} + \dots + \frac{|P_T|\beta_n}{m_T}, \quad (5.2)$$

де $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n$ – доля гальмівної сили, що приходить на відповідну гальмівну вісь.

За відмови гальм однієї з осей (або декількох осей) сповільнення тракторного поїзда j буде відрізнятися від номінального $j_{\text{ном}}$ на величину Δj

$$\Delta j = j_{\text{ном}} - \frac{|P_T|}{m_T} \sum_{k=1}^L \beta_k = j_{\text{ном}} - \sum_{k=1}^L j_k^n, \quad (5.3)$$

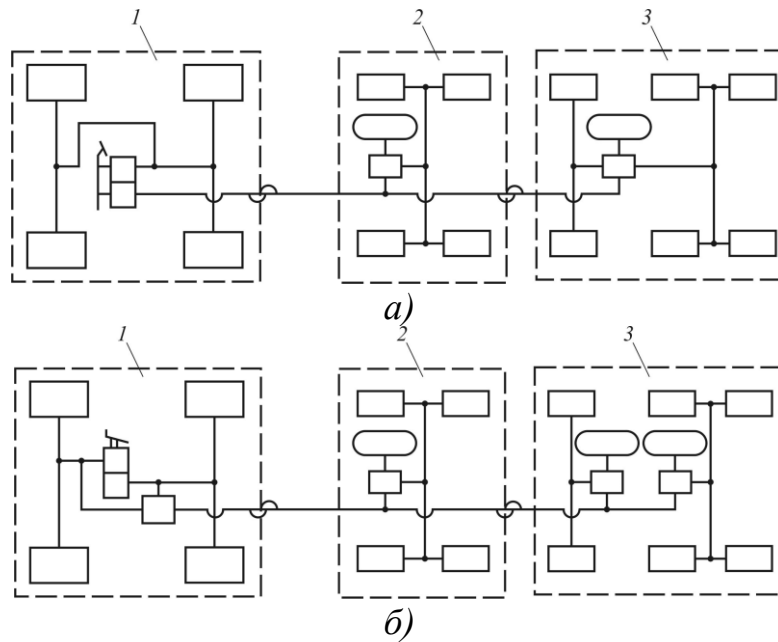
де L – кількість відмовних елементів (осей з відмовними гальмами).

Таким чином, представляється можливим за величини Δj визначити вісь або декілька осей, на яких відмовили гальмівні механізми. В цьому випадку критерієм є різниця між номінальним сповільненням (тобто сповільнення при гальмуванні нового справного трактора) і поточним значенням сповільнення.

5.2 Комплексний метод кваліметрії гальмівної системи тракторного поїзду

Найбільш значимим функціональним елементом ГС є її пневмопривод [5.8], надійна робота якого визначає безпеку руху тракторного поїзду.

Пневматичні гальмівні приводи тракторних поїздів відносяться до пневмомеханічних систем, що виконані за одно контурною і двоконтурною схемами (рис. 5.2).



a – одно контурний на ланках 1, 2 і 3; *б* – двоконтурний на ланках 1 і 3; 1 – трактор; 2 – напівпричіп; 3 – причіп

Рис. 5.2 - Схеми пневматичного приводу ГС тракторного поїзду

Одноконтурний пневмопривод є простим приводом зворотної дії, тобто основну свою задачу гальмування тракторного поїзду він виконує за випуску стисненого повітря. Живлення і керування приводом гальм причепа здійснюється пневмоприводом прямої дії, так як його основна функція виконується за подачі стисненого повітря. У двоконтурних пневмоприводах стиснене повітря подається двома пневмомагістралями: однією (аварійною) постійно подається в ресивери причепа, іншою (гальмівною) – під час гальмування причепа. Друга магістраль в незагальмованому стані причепа постійно з'єднана з атмосферою.

Кваліметрія пневмоприводу ГС виконана на прикладі тракторного поїзду в складі ХТЗ-17221 (вага – m_2g) і причепа ЗПТС-12 (вага – m_3g) (рис. 5.3).

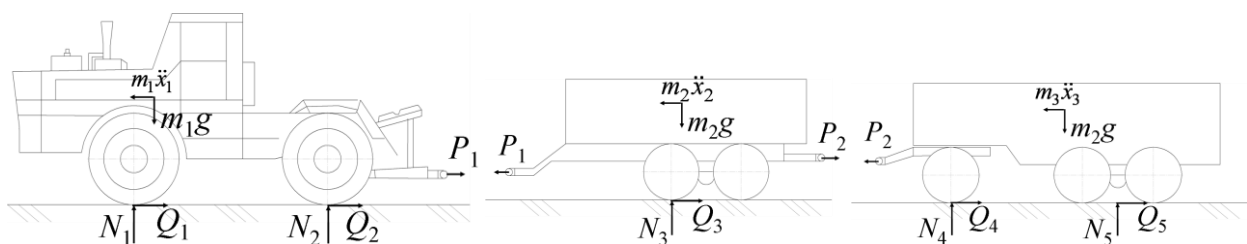


Рис. 5.3 - Розрахункова схема тракторного поїзду

Відповідно до нормативних вимог [1] для гальмівних систем тракторного поїзду встановлені наступні значення сповільнення: $\ddot{x} = 5,5 \text{ м/с}^2$ для робочої і $\ddot{x} = 2,2 \text{ м/с}^2$ для запасної гальмівної системи. При цьому осьові гальмівні сили P_1 і P_2 вибрані таким чином, щоб під час гальмування робочою гальмівною системою з встановленим сповільненням виконувалась умова $\varphi_k = Q_k / N_k = \text{const}$ ($k=1, 2, \dots, 5$), де φ_k – коефіцієнт зчеплення, що реалізується k -ю віссю; Q_k , N_k – гальмівна сила і нормальна реакція від дороги на k -й вісі.

Основу комплексного методу кваліметрії гальмівної системи тракторного поїзду складає аналіз функціональної надійності гальмівної системи. При цьому спочатку оцінюється вплив технічного стану системи на протікання процесу гальмування тракторного поїзду, тобто визначення функціональних станів системи S_j , які викликають появу особливих ситуацій R_i . Відношення між функціональними відмовами гальмівної системи і тракторного поїзду, які можуть виникнути під час гальмування, можна визначити на основі моделювання процесу гальмування, аналізу конструктивних систем, а також результатів лабораторно-дорожніх випробувань.

Виконаний аналіз одноконтурних і двоконтурних пневмоприводів гальмівних систем тракторного поїзду (див. рис. 5.2) показав, що для одноконтурного пневмоприводу характерною є відмова при розгерметизації хоча б одного виконавчого елементу або магістралі перед ним, для двоконтурного – контур, що відмовив автоматично відключається, а другий контур залишається працездатним.

В подальшому виконується аналізування повного комплексу сумісних станів елементів системи з прийнятим числом одночасно допустимих відмов при гальмуванні тракторного поїзду. Такий аналіз дає можливість сформувати матрицю станів системи. Основна особливість цієї матриці полягає в тому, що під час її побудови враховуються не тільки одиничні відмови в гальмівній системі, а і сумісні прояви відмовних станів, якщо таке сполучення відмов

підвищує ранг R_i -ї ситуації, що виникає під час гальмування тракторного поїзду. Інакше комбінації відмовних станів як сумісні не враховуються.

При складанні матриці станів доцільно обмежитись розглядом сумісних станів лише двох відмов – бінарних. У цьому випадку матриця станів досліджуваної системи буде мати вид, показаний в табл. 5.1 і табл. 5.2.

Таблиця 5.1

Матриця станів системи одноконтурного пневмоприводу гальм на усіх ланках тракторного поїзду

S_j	S_1	S_2	S_3	S_4
S_1	R_1	R_3	R_3	R_4
S_2	R_3	R_2	R_3	—
S_3	R_3	R_3	R_2	—
S_4	R_4	—	—	R_3

Таблиця 5.2

Матриця сумісних станів системи двоконтурного пневмоприводу гальм на тракторі з причепом

S_j	S_2	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
S_2	R_2	—	—	—	—	—
S_4	—	R_3	R_4	—	—	—
S_5	—	R_4	R_1	—	—	—
S_6	—	—	—	R_1	—	—
S_7	—	—	—	—	R_1	—
S_8	—	—	—	—	—	R_1

У перший рядок і в перший стовбець матриці заносяться в одній послідовності усі можливі відмовні стани гальмівної системи тракторного поїзду. В клітинках за головною діагоналлю поміщають можливі ситуації, в які потрапляє тракторний поїзд за одиничних відмов у гальмівній системі. Решта діагоналей матриці заповнюються позначенням особливих ситуацій тракторного поїзду, в які він може потрапити у результаті виникнення бінарних відмов у системі.

Як видно із табл. 5.1, у одноконтурного пневмоприводу гальм на усіх ланках тракторного поїзду сумісний прояв двох відмовних станів S_1 і S_4 призводить до аварійної ситуації R_4 , так як при цьому гальмівна система повністю непрацездатна. Якщо одночасно наявні дві відмови S_1 і S_2 або S_1 і S_3 тракторний поїзд потрапляє у ситуацію R_3 , оскільки у цих випадках загальмовується тільки одна ланка потягу.

У двоконтурного приводу гальм на тракторі і причепі аварійна ситуація R_4 виникає внаслідок сумісного прояву відмовних станів S_4 і S_5 (табл. 5.1). В даному випадку ефективність гальмування буде дуже низькою ($\ddot{x} = 0,78 \text{ м/с}^2$),

оскільки загальмовуються колеса лише задньої вісі трактора, під час блокування яких практично завжди відбувається складання тракторного поїзду. Сполучення інших відмовних станів в табл. 5.1 і табл. 5.2 не розглядається, так як вони не перевищують ранг R_i -ї ситуації у відповідності з прийнятою класифікацією.

Заключний етап кваліметрії пневмоприводу гальмівної системи тракторного поїзду націлений на забезпечення його надійності. Цей етап виконується на основі аналізу структурних схем функціональної надійності гальмівного керування тракторного поїзду.

Принцип побудови таких схем полягає в наступному:

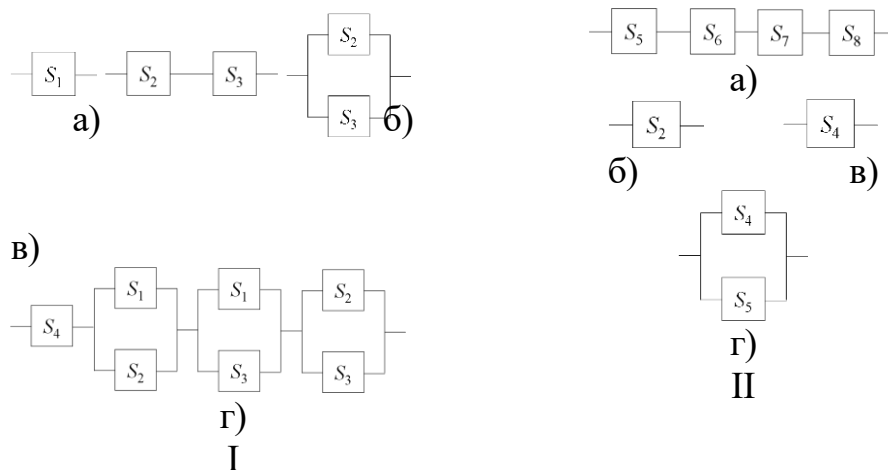
- елементами структурної схеми функціональної надійності системи є її відмовні стани S_j ;

- якщо R_i -а особлива ситуація під час гальмування тракторного поїзду виникає у випадку одиничної відмови в гальмівній системі, то відповідний елемент структурної схеми функціональної надійності входить до неї послідовно.

- якщо R_i -а особлива ситуація виникає під час сумісного прояву відмов у системі, то елементи структурної схеми функціональної надійності, що відповідають цим відмовним станам, утворюють паралельне з'єднання.

Таким чином, відмовні стани S_j , що є причинами особливих ситуацій під час гальмування тракторного поїзду (розташовані в чарунках головної діагоналі стану системи), представляють собою послідовне з'єднання в структурній схемі функціональної надійності системи, а паралельне з'єднання структурної схеми відповідає наявності особливих ситуацій в матриці станів системи, розташованих не на головній діагоналі матриці.

Побудовані у відповідності з викладеним принципом структурні схеми розрахунку функціональної надійності пневматичної гальмівної системи, що відповідають ситуаціям R_1 , R_2 , R_3 і R_4 під час гальмування тракторного поїзду, наведено на рис. 5.4.



I – одноконтурний пневмопривод; II – двоконтурний пневмопривод;
а – R_1 ; б – R_2 ; в – R_3 ; г – R_4

Рис. 5.4 - Структурні схеми розрахунку функціональної надійності пневматичної гальмівної системи тракторного поїзду

На основі даних структурних схем і з урахуванням основних положень теорії надійності [1], отримаємо вираз для визначення числових значень ймовірності появи особливих ситуацій F_{R1} , F_{R2} , F_{R3} і F_{R4} під час гальмування тракторного поїзду внаслідок відмов у його гальмівній системі.

За одноконтурного пневмоприводу гальм на усіх ланках поїзду

$$F_{R1}=F_1;$$

$$F_{R2}=1-(1-F_3);$$

$$F_{R3}=1-(1-F_4)(1-F_1F_2)(1-F_1F_3)(1-F_2F_3);$$

$$F_{R4}= F_1F_4.$$

За двоконтурного пневмоприводу на тракторі і причепі

$$F_{R1}=(1-F_5)(1-F_6)(1-F_7)(1-F_8);$$

$$F_{R2}=F_2;$$

$$F_{R3}=F_4;$$

$$F_{R4}= F_4F_5.$$

Розрахунок ймовірності появи особливих ситуацій під час гальмування тракторного поїзду за отриманими виразами потребує знання числових значень ймовірності появи відмовних станів F_j . Об'єктивні дані дозволяє отримати статистичне оброблення результатів спостережень за відмовами гальмівної системи трактора і причепа в експлуатаційних умовах.

За результатами статистичної обробки відмов гальмівних систем тракторів в умовах експлуатації розраховано ймовірність появи відмов під час функціонування при гальмуванні декількох гальмівних камер.

Ймовірність появи відмови гальм однієї вісі трактора і передньої вісі причепа, що містять у своєму складі дві гальмівні камери кожна:

$$F_5=F_6=F_7=0,005.$$

За наявності в підсистемах чотирьох увімкнених послідовно гальмівних камер маємо

$$F_1=F_2=F_8=1-(1-0,005)^2=0,009975.$$

Аналогічно знаходимо ймовірність появи відмови гальмівної системи із шістьма гальмівними камерами:

$$F_3=1-(1-0,005)(1-0,009975)=0,014925.$$

Розрахована також ймовірність появи відмови підсистеми керування гальмівними приводами напівпричепа і причепа $F_4=0,005$.

Розраховані з урахуванням прийнятих значень F_j ймовірності появи особливих ситуацій під час гальмування тракторного поїзду наведено у табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Результати розрахунку ймовірності появи особливих ситуацій під час гальмування тракторного поїзду

Пневмопривод гальм	Ймовірність появи особливої ситуації				
	F_{R1}	F_{R2}	F_{R3}	F_{R4}	ΣF_i
Одноконтурний	0,009975	0,024750	0,00525	0,000050	0,040025
Двоконтурний	0,024750	0,009975	0,000050	0,00025	0,039730

Як видно із табл. 5.3 у одноконтурного і двоконтурного приводу гальм ймовірність попадання тракторного поїзду під час гальмування в ситуації R_3 і R_4 однакова. Проте, у першому випадку ймовірність виникнення ситуації R_2 (тобто втрати стійкості руху) найбільша. Слід відмітити, що за двоконтурного пневмоприводу сповільнення тракторного поїзду, у випадку попадання його у ситуацію R_1 , вища ніж за одно контурної схеми.

Результати дослідження функціональної надійності гальмівної системи за розглянутим методом є кількісною оцінкою впливу відмов гальмівної системи на активну безпеку тракторного поїзду. У випадку, якщо отримані результати не задовольняють вимогам безпеки руху на основі аналізу структурних схем і рівнянь функціональної надійності можна виділити відмовні стани гальмівної системи, що першочергово впливають на ймовірність попадання тракторного поїзду під час гальмування у визначену особливу ситуацію і визначити функціональні ділянки і елементи системи, надійність яких необхідно підвищити. А саме, визначаючим фактором попадання тракторного поїзду під час гальмування в особливі ситуації R_3 і R_4 буде ймовірність появи відмовного стану S_4 , тобто надійність магістралі керування пневмоприводом гальм причіпного складу.

За заданої конструкції елементів, що характерно для гальмівних систем, можливості підвищення їх безвідмовності обмежені. За цих умов задачу підвищення надійності можна розв'язати за рахунок резервування, тобто застосування додаткових пристроїв і (або) можливостей з метою збереження працездатності системи за відмови одного або декількох її елементів.

Таким чином, кваліметрія пневмоприводу гальмівної системи тракторного поїзду дозволяє не тільки оцінити його якість за надійністю функціонування, а і намітити шляхи його модернізації.

5.3 Алгоритм кваліметрії гальмівного керування трактора

Аналіз несправностей пневмоприводу гальмівного керування тракторів серії ХТЗ-170 за 6000 мотогодин рядової експлуатації показав, що найбільш типові несправності можуть бути об'єднані у наступні групи: втрата герметичності (ПГ), порушення регулювань (НР), засмічення пневмоприводу (ЗП) і інші несправності (ДН) (механічні пошкодження, наявність масла і конденсату), справний стан (ИС).

Під час розрахунку діагностичних вагів станів D_i [5.9] пневмоприводу гальмівного керування будемо виходити із його основних функціональних параметрів (K_j): стабільність мінімального гальмівного шляху (ТП),

забезпечення стійкості прямолінійного (УП) і плавного руху (ПД) під час гальмування, забезпечення погодженості гальмування трактора і причепа (СТ).

Результати розрахунку за формулами (5.81) і (5.82) (див. конспект лекцій) параметрів стану D_i , у тому числі і справного, для різних функціональних параметрів K_j наведено у табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Ймовірнісні ваги ознак стану пневмоприводу гальмівного керування тракторів серії ХТЗ-170

Стан D_i	Функціональний параметр K_j				$P(D_i)$
	ТП	УП	ПД	СТ	
ПГ	0,43	0	0	0,38	0,22
ПР	0,08	0,29	0,05	0,22	0,11
ЗД	0,03	0,08	0,13	0,38	0,04
ДН	0,24	0,01	0,03	0,14	0,15
ИС	0	0	0,02	0,01	0,48
$P(K_j)$	0,36	0,13	0,21	0,30	1,00

Аналіз даних табл. 5.4 показує, що для пневмоприводу гальмівного керування тракторів серії ХТЗ-170 найбільшу ймовірність має справний стан $P(D_{ИС})=0,48$, хоча втрата герметичності має достатньо високу ймовірність $P(D_{ГС})=0,22$. Таким чином, втрата герметичності може бути прийнята за визначаючий параметр стану пневмоприводу гальмівного керування трактора.

За функціональними параметрами K_j найбільшу діагностичну вагу має порушення стабільності мінімального гальмівного шляху $P(K_{ТП})=0,36$ і забезпечення погодженості гальмування трактора і причепа $P(K_{СТ})=0,30$.

Алгоритм кваліметрії гальмівного керування трактора формується за аналогією із суміжними областями техніки [5.10] за відношенням часу пошуку несправності t_n до ймовірності її виникнення P_n , тобто t_n/P_n (табл. 5.5).

**Ймовірність виникнення (P_n) і час пошуку (t_n) несправностей
гальмівного керування тракторів серії ХТЗ-170**

Насправність	Параметри			Шифр
	P_n	t_n	t_n/P_n	
Втрата герметичності	0,22	0,10	0,45	ПГ
Порушення регулювань	0,11	0,25	2,27	НР
Засмічення пневмоприводу	0,04	0,20	5,00	ЗП
Інші несправності	0,15	0,15	1,00	ДН

Процедура пошуку несправностей гальмівного керування тракторів серії ХТЗ-170 повинна починатися з несправностей, що мають найменше відношення t_n/P_n . За табл. 5.24 можна рекомендувати наступний алгоритм кваліметрії гальмівного керування трактора

$\text{ПГ} \rightarrow \text{ДН} \rightarrow \text{НР} \rightarrow \text{ЗП}.$

Тобто процедура пошуку несправностей гальмівного керування тракторів рекомендовано починати з пошуку причини втрати герметичності пневмоприводу і закінчуватися перевіркою засміченості пневмоагрегатів.

Запропонований алгоритм кваліметрії гальмівного керування трактора дозволяє з найменшими затратами часу оцінити якість його функціонування.

Контрольні питання

1. Як проводиться кваліметрія трансмісії трактора, і які основні аспекти технічного стану враховуються при цьому?
2. Які критерії використовуються для оцінки гідроприводу КПП трактора під час кваліметрії?
3. Як проводиться оцінка навісної системи трактора в рамках кваліметрії, і які основні параметри враховуються?
4. Як виконується оцінка гальмівного керування трактора в контексті кваліметрії?

Список використаних джерел

1. Лебедєв А.Т. Монографія «Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів» – Харківська філія УкрНДІПВТ, 2018. – 396 с.
2. Коробко А. І. та ін. Розроблення нестандартизованих технічних засобів для випробувань сільськогосподарських машин та обладнання. *Науково-випробувальні дослідження сільськогосподарської техніки і технологій: розвиток і диверсифікація. Наукове видання. Дослідницьке* : УкрНДІПВТ ім. Леоніда Погорілого, 2018. С. 32–43.
3. Експериментально-аналітичний метод вимірювання кута поперечної статичної стійкості колісних машин / Коробко А. І. та ін. *Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць*. 2016. № 9 (2). С. 49-52.
4. Коробко А. І., Подригало М. А., Шуляк М. Л. Експрес-метод випробувань агрегатів і вузлів приводу активних робочих органів мобільної сільськогосподарської техніки. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2017. № 2 (9). С. 107–112.
5. Коробко А. І., Лебедєв С. А., Козлов Ю. Ю. Нормативне і методичне забезпечення випробувань сільськогосподарських машин. Стан і перспективи. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Науковий журнал*. 2017. № 9. С. 42–49.
6. Korobko, A., Podrigalo, M., Bogomolov, V., Abramov, D., Tarasov, Y., Kholodov, M., Shein, V., Tkachenko, A., Efimchuk, V. “Increasing Energy Efficiency and Improving Dynamic Properties through Improved Vehicle Design Methods,” *SAE Technical Paper*. 2022-01-5076, 2022, doi: 10.4271/2022-01-5076
7. Тракторна енергетика: проблеми та їх розв'язання / А. Лебедєв та ін. *Техніка і технології АПК*. 2011. № 2 (7). С. 4–8.
8. Лебедєв А. Т., Шуляк М. Л., Холодов А. П. Динамічний метод оцінки працездатності тракторного агрегату. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія «Автомобіле-та

тракторобудування» 2022. № 1. С. 67 – 72. DOI: 10.20998/2078-6840.2022.1.08

9. Lebedev A, Shuliak M, Khalin S, Lebedev S, Szwedziak K, Lejman K, Niedbała G, Łusiak T. Methodology for Assessing Tractor Traction Properties with Instability of Coupling Weight. *Agriculture*. 2023; 13(5):977. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050977>

10. Коробко А. І. Науково-методологічні основи забезпечення якості тракторів на стадіях постановки на виробництво та експлуатації з використанням методу парціальних прискорень: дис. ... доктора техн. наук : 05.22.02. Харків, 2023. 375 с.

Шуляк Михайло Леонідович
Лебедєв Анатолій Тихонович
Батюк Людмила Миколаївна

КВАЛІМЕТРІЯ ВИПРОБУВАНЬ ТРАКТОРІВ

**методичні вказівки та рекомендації щодо вивчення
практичних занять**

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: червень, 2024 р. Формат А5: Гарнітура Times New
Roman

Тираж: 100 примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк.
