

**О.В. Смашнюк**

*Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”*

## Обґрунтування періодичності технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів за рівнем надійності їх агрегатів та систем

Визначені основні показники надійності агрегатів і систем зернозбиральних комбайнів “Дон-1500” в понаднормативний термін їх експлуатації. Наведені математичні моделі оптимізації періодичності основних операцій технічного обслуговування, за якими обґрунтовано періодичність їх виконання для зернозбиральних комбайнів “Дон-1500” в залежності від рівня надійності складових його агрегатів та систем.

**зернозбиральний комбайн, надійність, відмова, безвідмовність, технічне обслуговування, періодичність, ремонтпридатність**

Рівень відповідності якості роботи агротехнічним і експлуатаційним вимогам будь-якої машини визначається рівнем її надійності. В даний час значна кількість техніки агропромислового комплексу України перебуває у критичному технічному стані. Аналіз комбайнового парку України свідчить, що машин катастрофічно не вистачає, а наявні – морально і фізично зношені. Відмови старої і спрацьованої техніки в силу фізичних законів через нагромадження пошкоджень неминучі. Тому підвищення безвідмовності та забезпечення якості обслуговування наявних зернозбиральних комбайнів є важливою і актуальною задачею.

Парк зернозбиральних комбайнів, що наявний нині в аграрному секторі виробництва не відповідає потребам сьогодення. Про це свідчать дані щодо технічного стану цих машин. За період з 1991 року їх кількість зменшилась на 55 тисяч одиниць, а рівень їх технічної готовності в період виконання польових робіт знизився до 65 %. В господарствах експлуатується близько 80 відсотків зернозбиральних комбайнів, що відпрацювали по одному і більше нормативних строків експлуатації [1] і підлягають списанню.

Підтримання надійності наявного парку зернозбиральних комбайнів на певному рівні покладено на інженерні служби господарств і забезпечується системою технічного обслуговування і усунення відмов, тому вона є одним із визначальних чинників ефективності використання зернозбиральної техніки. Але, як свідчить досвід, діюча система не завжди узгоджується з потребою у використанні обслуговуючих операцій. При цьому основною причиною падіння технічної готовності при експлуатації зернозбиральних комбайнів є недотримання планово-попереджувальної системи технічного обслуговування і ремонту. Працездатність техніки на 46,5 відсотків залежить від дотримання правил технічного обслуговування в період експлуатації безпосередньо в господарствах.

Відомо, що час безвідмовної роботи машин та інтенсивність відмов залежать від багатьох причин, врахувати які повністю практично нема змоги. До того ж, надійність техніки, залежно від її наробітку, має характер спаду.

Так наробіток на відмову нових зернозбиральних комбайнів “Дон-1500” знаходиться в межах 20-25 мотогодин, на 5-6 році експлуатації – 8-15 мотогодин [2], на 14 році – 6-8 мотогодин.

Проте запроваджена система технічного обслуговування і ремонту не враховує цей факт, періодичність ремонтно-обслуговуючих робіт залишається незмінною. Тому обслуговування елементів машин із заданою періодичністю буде запізним, коли відмова виникає раніше ніж машина відпрацювала регламентований строк. Як наслідок, виникають витрати, пов'язані з форсованим спрацюванням деталей машин, що працюють в умовах відмови елемента. Крім того, незапланований ремонт, внаслідок відмови, потягне за собою значні затрати часу на відновлення працездатності машини, що в напружений час не допустимо. В результаті польові операції в господарствах проводяться із збільшеними строками (майже в 3-4 рази), що негативно відображається на об'ємі виробництва (втрати до 30 %) та якості отримуваної продукції [3]. Це все підтверджує принципові вади регламентного способу обслуговування наявної в господарствах техніки і є однією з основних причин перевитрат коштів на проведення ремонтно-обслуговуючих робіт [4].

Необхідною умовою підвищення рівня надійності зернозбиральних комбайнів і підтримання їх у працездатному стані є своєчасне і якісне виконання технічного обслуговування (ТО) та профілактичних заходів за результатами діагностики протягом періоду експлуатації машин.

Основоположними роботами в створенні наукового напрямку з оптимізації технічного обслуговування в сфері експлуатації і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки стали наукові роботи вчених І.Е. Ульмана, Л.І. Гунера, Г.П. Каплуна, А.М. Крикова, М.П. Малашенко [5-8] та багатьох інших. В теорію оптимізації технічного обслуговування суттєвий вклад внесли вчені В.І. Казарцев, Е.С. Кузнецов, Е.Ю. Барзилович, В.А. Каштанов, Б.С. Іванов [9, 10] та ін. З задачею обґрунтування параметрів ремонтного циклу для машини і правил призначення ремонтно-обслуговуючих робіт для елементів машин пов'язані дослідження вчених А.І. Селиванова, С.С. Черепанова, В.М. Міхліна, А.С. Гальперіна, А.С. Пронікова, Ю.Н. Артемьєва [11-14] та ін.

Встановлення оптимальної періодичності і об'єму робіт становлять основу планування технічного обслуговування машинно-тракторного парку. Аналіз існуючих методів визначення оптимальних термінів проведення технічного обслуговування показує, що в більшості наукових робіт знаходження оптимальної періодичності технічного обслуговування сільськогосподарських машин здійснюється на основі оптимізації за окремо взятим критерієм економічності або надійності.

Але при експлуатації зернозбиральних комбайнів необхідне забезпечення високої ймовірності безвідмовної роботи при їх мінімальному простою. В таких умовах вартісні критерії або часткові показники надійності (ймовірність безвідмовної роботи, коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт готовності), взяті окремо, не можуть бути прийняті в якості критерію при визначенні оптимальної періодичності технічного обслуговування.

В праці [15] зроблена спроба узагальнити методичний підхід до обґрунтування періодичності технічного обслуговування сільськогосподарських машин. А в [16] запропоновані заходи з удосконалення технології технічного обслуговування існуючого парку зернозбиральних комбайнів з метою зменшення трудомісткості виконання технологічних операцій.

Мета даної роботи полягає у визначенні та обґрунтованні оптимальної періодичності технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів в понаднормативний термін експлуатації відповідно до фактичного рівня надійності їх агрегатів та складових підсистем.

За даними багаторічних досліджень нині середній фактичний строк служби зернозбиральної техніки складає 14,3 роки (при нормативі 10 років). Розрахунками

встановлено, що можливі строки служби зернозбиральних комбайнів з урахуванням їх модернізації і форм власності господарств можуть бути продовжені до 18 років для колективних, до 22 для орендних, до 36 для фермерських [17]. В зв'язку з цим постало питання про те, як підтримувати працездатність наявної в господарствах зернозбиральної техніки з мінімальними витратами коштів і часу та якою має бути система їх технічного обслуговування і ремонту.

З метою встановлення можливостей подальшої експлуатації та перевірки розроблених математичних моделей обґрунтування періодичності основних операцій технічного обслуговування були проведені дослідження відмов і несправностей в умовах реальної експлуатації зернозбиральних комбайнів “Дон-1500” як таких, що відпрацювали нормативний термін. В результаті чого встановлено характер і основні причини виникнення відмов [18], визначено основні показники надійності [19, 20].

Надійність зернозбирального комбайна, як складної системи, визначається надійністю складових його агрегатів, вузлів і деталей. Таке з'єднання деталей в теорії надійності називається послідовним, коли відмова окремої деталі приводить до відмови всієї машини. В даному випадку ймовірність безвідмовної роботи комбайна  $P(t)$  визначається за теоремою множення ймовірностей:

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

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -ої складової частини комбайна.

У відповідності з даною формулою можна оцінити ступінь впливу кожного агрегату, вузла чи деталі на надійність комбайна в цілому.

За результатами досліджень були визначені показники безвідмовності (наробіток на відмову), ремонтпридатності (середній час відновлення працездатності) і розраховані коефіцієнти готовності основних агрегатів і підсистем зернозбирального комбайна “Дон-1500” в понаднормативний термін експлуатації (табл. 1).

Таблиця 1 – Показники надійності агрегатів і систем зернозбирального комбайна “ДОН-1500” в понаднормативний термін експлуатації

Назва агрегату чи системи	Кількість відмов		Середнє значення		Коефіцієнт готовності
	шт.	%	наробітку на відмову, мото-год.	часу усунення відмови, год.	
Жатка (підбирач)	3	22	22,4	1,2	0,949
Молотарка	3	21	33,1	2,7	0,925
Обладнання НЧУ	1	5	93,7	0,7	0,993
Двигун	2	11	55,3	5,4	0,911
Трансмісія	1	7	117,6	2,4	0,980
Механічні передачі	2	17	31,3	1,0	0,969
Гідросистема	2	15	53,7	0,7	0,987
Електрообладнання	0,3	2	131,6	0,3	0,998
Комбайн в цілому	14	100	6,5	1,5	0,813

Встановлено, що показники безвідмовності зернозбиральних комбайнів значно нижчі регламентованої періодичності їх технічного обслуговування, яка розрахована для нової надійної техніки. Так, оцінка показників безвідмовності зернозбиральних комбайнів “Дон-1500” за групами складності показала, що наробіток на відмову другої групи складності має найменше значення 9,6 мото-год. Відмови ж першої і третьої груп складності мають значення наробітку відповідно 13,9 мото-год і 36,1 мото-год.

Для обґрунтування періодичності технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів в понаднормативний термін експлуатації відповідно до рівня їх надійності використано підхід, в основу якого покладено забезпечення високої ймовірності безвідмовної роботи при їх мінімальному простою на технічному обслуговуванні і усуненні відмов.

Всі операції, передбачені правилами технічного обслуговування комбайнів, можна об'єднати в такі групи: мийно-очисні, контрольно-оглядові, регульовально-кріпильні, мастильно-заправні. Призначення операцій технічного обслуговування пов'язане з наслідками відмов, тому в залежності від операцій нами використано різні математичні моделі оптимізації періодичності.

З метою забезпечення високої ймовірності безвідмовної роботи при експлуатації зернозбиральних комбайнів з мінімальними простоями на обслуговуванні для визначення періодичності проведення контрольно-оглядових операцій прийнятий комплексний показник, який кількісно оцінюється добутком коефіцієнта технічного використання  $K_{ТВ}$  на ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  [21]:

$$P_o(t) = K_{ТВ} P(t) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Експериментальні дослідження показали, що ймовірність безвідмовної роботи зернозбиральних комбайнів можна описати експоненціальним законом [20], при чому потік відмов в межах сезону експлуатації можна розглядати як простий Пуассонів з характерними йому властивостями, зокрема параметр потоку відмов  $\omega(t)=\text{const}$ .

Таким чином встановлено, що оптимальний період проведення контрольно-оглядових операцій  $t^{ко}$ , який забезпечує найбільшу величину загальної надійності комбайна можна знайти за формулою [21]:

$$t^{ко} = \frac{T_{ОБ}}{2\left(1 + \frac{T_B}{T}\right)} \left( \sqrt{1 + 4 \frac{T}{T_{ОБ}} \left(1 + \frac{T_B}{T}\right)} - 1 \right), \quad (3)$$

де  $T$  – середній наробіток на відмову комбайна;

$T_B$  – середня тривалість усунення відмови, яка обумовлена властивостями ремонтопридатності комбайна;

$T_{ОБ}$  – тривалість технічного обслуговування.

Для забезпечення потрібних значень параметрів технічного стану підсистем комбайна призначені регульовальні операції, періодичність  $t^p$  яких визначимо за відомим параметром потоку відмов  $\omega(t)$  і величиною допустимої ймовірності  $P_o$  знаходження комбайна в справному стані до чергового техобслуговування згідно формули [21]:

$$t^p = -\frac{1}{\omega(t)} \ln P_o. \quad (4)$$

Максимальний ресурс систем, агрегатів чи вузлів комбайна буде при умові, коли мастило і змазки знаходяться в працездатному стані, що можна оцінити ймовірністю безвідмовної роботи і значенням періодичності мастильних операцій  $t^m$ . Оптимальну періодичність виконання даних операцій можна визначити на основі аналізу функції вартості обслуговування, досліджуючи на екстремум вираз середніх затрат [21]:

$$\Pi = \frac{C_{обс} \exp(\omega t)}{1 - \exp(-\omega t)} + \frac{C_v t}{1 - \exp(-\omega t)} - \frac{C_v}{\omega} + C_{обс}, \quad (5)$$

де  $C_{обс}$ ,  $C_v$  – витрати, що пов'язані відповідно з простоєм на обслуговуванні і з усуненням відмов зернозбирального комбайна;

Вираз для визначення оптимального періоду  $t = t^m$  проведення мастильних

операцій, при якому мінімізуються середні сумарні затрати матиме вигляд:

$$\exp(\omega t) - \omega t - \omega \frac{C_{обс}}{C_г} - 1 = 0. \quad (6)$$

В результаті обробки експериментальних даних, отриманих в результаті досліджень в реальних умовах експлуатації, виконана систематизація відмов та визначено невідомі дані, що необхідні для обґрунтування періодичності виконання основних операцій технічного обслуговування. Так, при обґрунтуванні періодичності контрольно-оглядових операцій (КО) були враховані відмови (тип А) наступного характеру: злам, тріщини, розрив, механічні пошкодження. Періодичність виконання регульовальних і кріпильних операцій (РК) встановлювалась за частотою відмов типу В, пов'язаних з розрегулюванням і послабленням кріплень, видовженням, розшаруванням і втратою пружності, порушенням герметичності. При цьому ймовірність знаходження комбайна в технічно справному стані перед черговим обслуговуванням прийнята 0,8. Періодичність проведення мастильно-заправних операцій (МЗ) була оптимізована за відмовами від зношення і корозії (тип С). Отримані значення оптимальної періодичності різних операцій зведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахунок оптимальних параметрів системи технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів „Дон-1500” в понаднормативний термін експлуатації

Назва агрегату чи системи комбайна	Наробіток на відмову для груп відмов, мото-год			Витрати часу на обслуговування, год	Оптимальна періодичність операцій, мото-год		
	А	В	С		КО	РК	МЗ
Жатка (підбирач)	98	81	74	1,2	10	18	12
Молотарка	50	46	65	2,3	9	10	11
Подрібнювач (копнувач)	238	208	81	0,7	13	46	12,5
Двигун	167	67	115	5,4	27	15	15
Трансмісія і ходова система	119	74	70	2,4	16	17	11,5
Гідросистема	76	—	—	0,7	7	—	—
Електрообладнання	315	—	—	0,3	10	—	—

На рисунку як приклад представлено графічне відображення залежності щодо визначення оптимальної періодичності контрольно-оглядових операцій технічного обслуговування молотильної частини зернозбирального комбайна „Дон-1500” в понаднормативний термін експлуатації.

На основі отриманих даних з періодичності проведення основних операцій технічного обслуговування з урахуванням технології їх виконання можна побудувати схему організації поетапного методу техобслуговування зернозбиральних комбайнів „Дон-1500”, що характеризуються низькими показниками надійності, з розподіленою за етапами трудомісткістю.

Застосування науково-обґрунтованої періодичності проведення основних операцій технічного обслуговування в сільськогосподарських підприємствах, де проводились дослідження, дозволило підвищити середній наробіток на відмову зернозбиральних комбайнів майже вдвічі. При цьому коефіцієнт готовності підвищився в середньому на 12 %.

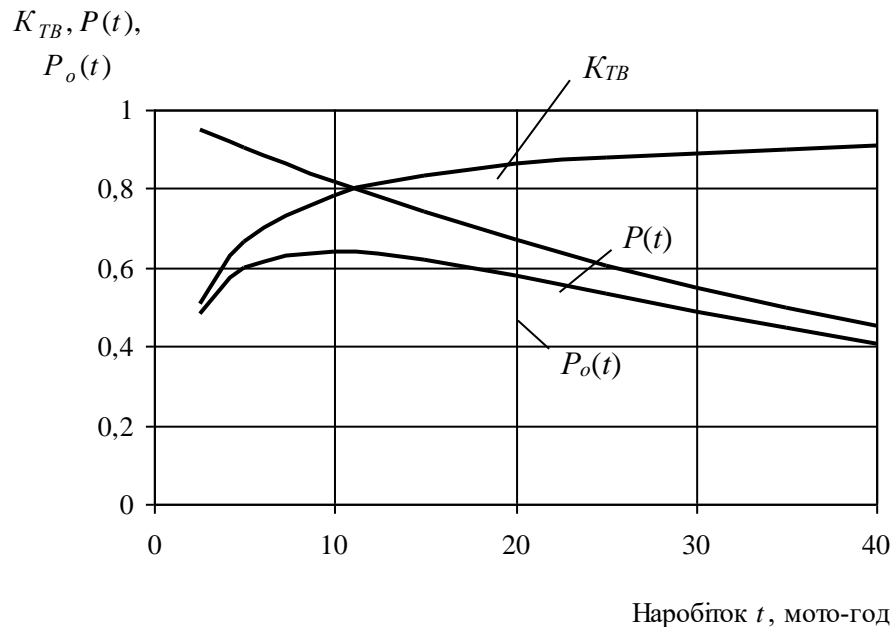


Рисунок – Визначення оптимальної періодичності контрольно-оглядових операцій технічного обслуговування молотарки зернозбирального комбайна „Дон-1500”

На підставі проведених досліджень встановлено, що запроваджена система технічного обслуговування і ремонту із наперед заданою періодичністю обслуговуючих робіт не відповідає потребам сьогодення для зернозбиральних комбайнів, що мають тривалий термін експлуатації. Показники безвідмовності зернозбиральних комбайнів значно нижчі регламентованої періодичності їх обслуговування, яка розрахована для нової надійної техніки. Тому обслуговування складових елементів комбайнів є запізним, відмова виникає раніше ніж машина відпрацювала регламентований строк.

Відповідно до фактичного рівня надійності основних агрегатів та складових підсистем зернозбиральних комбайнів „Дон-1500” визначена оптимальна періодичність виконання операцій технічного обслуговування в понаднормативний термін їх експлуатації з метою забезпечення високої ймовірності безвідмовної роботи при їх мінімальному простою на технічному обслуговуванні і усуненні відмов.

Перевірка отриманих результатів безпосередньо в господарствах показала можливість підвищення показників надійності наявного парку зернозбиральних комбайнів. Зокрема їх технічна готовність підвищилась на 12 %.

*В перспективі подальших досліджень* необхідно розробити схему організації поетапного методу технічного обслуговування і дослідити можливість забезпечення рівномірного завантаження мобільних засобів технічного обслуговування і усунення несправностей при використанні даного методу.

## Список літератури

1. Михайлович Я., Рубець А. Дотримання правил зберігання зернозбиральних комбайнів – гарантія збереження їх техніко-економічних показників // Пропозиція. – 2004. – № 1. – С. 102-103.
2. Демко С.А. Обґрунтування нормативних даних для інженерного менеджменту технічним сервісом на прикладі комбайнів ДОН-1500 // Техніка АПК. – 2001. – № 5-6. – С. 20-21.
3. Арсеньев Г.М. Каледин Г.В. Модель построения системы поддержания технического ресурса сельскохозяйственных машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 6. – С. 21-23.
4. Михайлович Я., Рубець А. Обґрунтування необхідності підвищення ефективності роботи зернозбиральних комбайнів // Пропозиція. – 2003. – № 8-9. – С. 84-86.

5. Ульман И.Е. Эксплуатация и техническое обслуживание МТП. – Труды ЧИМЭСХ, Вып. 65, Челябинск, 1972.
6. Гунер Л.И. Оптимизация системы технического обслуживания машин. – В кн.: Системный анализ и исследование операций. – Новосибирск, 1977.
7. Каплун Г.П. Обеспечение и оптимизация работоспособности сельскохозяйственной техники при комплексном ее использовании. Дис. д.т.н. – Минск, 1980.
8. Криков А.М., Голиков Р.П. Имитационная модель обслуживания зерноуборочных комбайнов. Научные труды Новосибирского СХИ, т. 115, 1978. – с. 10-18.
9. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы. – М.: Сов. радио, 1975. – 136 с.
10. Иванов Б.С. Управление техническим обслуживанием машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 160 с.
11. Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1978. – 248 с.
12. Черепанов С.С. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. – М.: ГОСНИТИ, 1985. – 143 с.
13. Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин. – М.: Колос, 1976. – 288 с.
14. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
15. Роговський І. Методичне обґрунтування періодичності технічного обслуговування сільськогосподарських машин // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛДАУ, 2004. – № 8. – С. 149-157.
16. Роговський І.Л. Удосконалення технології технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів // Збірник доповідей засідання міжнародної конференції „Перспективні технології збирання зернових культур, рису та насіння трав”. – Мелітополь: ТДАТА, 2003. – Вип. 16. – С. 123-127.
17. Халфин М.А., Хисметов Н.З. О сроках службы машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 12. – С. 5-8.
18. Смашнюк О.В., Роговський І.Л. Відмови зернозбиральних комбайнів "Дон-1500" в умовах рядової експлуатації та їх класифікація // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 80. – С. 200-205.
19. Смашнюк О.В. Оцінка коефіцієнта готовності зернозбиральних комбайнів, що відпрацювали амортизаційний термін // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ, 2003. – Випуск 6 (20). Книга 1. – С. 158-163.
20. Смашнюк О.В. Оцінка показників безвідмовності зернозбиральних комбайнів, що відпрацювали нормативний термін експлуатації // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Випуск 24. "Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні". – Харків: ХДТУСГ, 2004. – С. 150-154.
21. Смашнюк О.В. Прогнозування періодичності технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів, що відпрацювали амортизаційний термін // Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". – К.: НАУ, 2003. – Том XV. – С. 339-342.

Определены основные показатели надежности агрегатов и систем зерноуборочных комбайнов "Дон-1500" в сверхнормативный срок их эксплуатации. Приведены математические модели оптимизации периодичности основных операций технического обслуживания, за которыми обоснована периодичность их выполнения для зерноуборочных комбайнов "Дон-1500" в зависимости от уровня надежности составных его агрегатов и систем.

The basic parameters of reliability of units and systems of combine harvesters "Don - 1500" in above permitted standard time of their maintenance are defined. Mathematical models of optimization of periodicity of the basic operations of engineering service behind which periodicity of their execution for combine harvesters "Don - 1500" is justified depending on a level of reliability of its compound units and systems are reduced.

*Одержано 15. 09. 05*