

УДК 631.354.2

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ТРИВАЛОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ НА ЇХ ТЕХНІЧНИЙ СТАН

Демко О.А., аспірант, Демко А.А., к.т.н., Надточій О.В. к.т.н.
(НУБіП України)

Визначено основні теоретичні закономірності впливу тривалості експлуатації зернозбиральних комбайнів ДОН-1500Б на зміну їх технічного стану.

При розробці технологічних карт збирання урожаю не враховується термін експлуатації комбайна і його технічний стан. Не врахування попереднього терміну експлуатації комбайнів і ймовірних значень показників технічного стану приводить до суттєвих прорахунків при прогнозуванні термінів жнив. Для машин коротко сезонного використання найбільш значимими із показників надійності, як ремонтпридатних систем, слугують статистичні або ймовірні значення показників наробітку між черговими відмовами і тривалості простоїв на відмовах. Згідно ДСТУ 3004-94 і ГОСТ 27502-83 комплексним показником роботоздатності відновлювальних систем (об'єктів) використовують коефіцієнт технічної готовності K_t .

Для планів $[NMЧ\Sigma]$ $[NMT\Sigma]$ розраховуємо вибірккову оцінку наробітку на відмову комбайна №1 за термін жнив першого року експлуатації:

$$\hat{T}_0 = \frac{S}{m} = \frac{241}{13} = 18,53, \text{ мотогодин.} \quad (1)$$

Вибіркову оцінку середньої тривалості відновлень:

$$\hat{T}_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{B_i} = \frac{58}{13} = 4,46, \text{ мотогодин.} \quad (2)$$

Точкову оцінку коефіцієнта готовності для комбайна №1 за термін жнив першого року експлуатації розраховуємо за формулою:

$$K_{\Gamma}^1 = \hat{T}_0 / (\hat{T}_0 + \hat{T}_B) = \frac{18,53}{18,53 + 4,46} = 0,81 \quad (3)$$

Середнє значення коефіцієнта готовності для дев'яти комбайнів визначаємо із формули:

$$K_{\Gamma}^1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_{\Gamma_i} = \frac{0,8 + 0,58 + 0,73 + 0,76 + 0,59 + 0,76 + 0,57 + 0,58}{9} = 0,65 \quad (4)$$

Закономірність зниження середнього значення коефіцієнта готовності із зростанням строків експлуатації показано на рис.1 і поліномом четвертої степені:

$$K_{\Gamma_i} = -0,0043x^4 + 0,0784x^3 - 0,5072x^2 + 1,3051x - 0,3009; R^2 = 0,9862.$$

За п'ять років експлуатації після 1993 року значення коефіцієнта готовності знизилося від значення $K_{\Gamma 2} = 0,86$ до $K_{\Gamma 7} = 0,64$, тобто на 26%.

Середньосезонне значення зниження коефіцієнта готовності складало $DK_r=0,044$, або 5,2% щорічно.

Згідно оцінки передбачаємо, що статистичних показників коефіцієнта готовності закономірності зміни із зростанням строків експлуатації близькі до розподілу Вейбулла.

Для другого року експлуатації ЗК визначимо:

1. Стаціонарний коефіцієнт готовності для другого року експлуатації:

$$K_r = \frac{\mu}{\mu + w} = \frac{0.25}{0.25 + 0.040} = 0.86; \quad (5)$$

2. Нестационарний коефіцієнт готовності на зміну роботи:

$$K_r(f_3) = \frac{\mu}{\mu + w} + \frac{w}{\mu + w} e^{-(w+\mu)t_3} = \frac{0.25}{0.25 + 0.040} + \frac{0.040}{0.25 + 0.040} e^{-(0.25+0.040)t_3} = \\ 0.87 + 0.16e^{-3.17} = 0.86 + 0.16 \frac{1}{23.8} = 0.86 + 0.16 * 0.042 = 0.86 + 0.006 = 0.866 \approx 0.87 \quad (6)$$

3. Стаціонарний коефіцієнт оперативної готовності за зміну:

$$K_{0,t}(f_3) = \frac{\mu}{\mu + w} e^{-wt} = 0.86e^{-0.041 \cdot 14} = 0.86e^{0.54} = 0.86 \frac{1}{1.77} = 0.86 \cdot 0.86 = 0.48 \quad (7)$$

4. Нестационарний коефіцієнт оперативної готовності за зміну роботи:

$$K_{0,t}(\tau, t) = \left(\frac{\mu}{\mu + w} + \frac{w}{\mu + w} e^{-(w+\mu)t_3} \right) e^{-wt} = 0.87 * 0.56 = 0.49 \quad (8)$$

Стаціонарний і нестационарний коефіцієнт відрізняється на 0,01, а стаціонарний коефіцієнт готовності (K_r) і стаціонарний коефіцієнт оперативної готовності ($K_{0,t}(t)$) відрізняються $\Delta K_r = K_r - K_{0,t}(t) = 0,86 - 0,48 = 0,39$.

Визначаємо основні характеристики розподілу Вейбулла для коефіцієнта готовності із збільшенням строків експлуатації.

$$\bar{T}_n = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)}{w} - \text{середнє значення наробітку між відмовами.} \quad (9)$$

$$f(t_3) = m\omega(\omega \cdot t)^{m-1} e^{-(\omega t)^m} - \text{щільність розподілу.} \quad (10)$$

$$F(t_3) = 1 - e^{-wt} - \text{функція розподілу імовірності відмов.} \quad (11)$$

$$D\bar{T}_n = \frac{1}{w^2} \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right] - \text{дисперсія.} \quad (12)$$

Розрахунки характеристик розподілу Вейбулла для другого року експлуатації ЗК (як приклад):

$$\bar{T}_{n2} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{27}\right)}{0,04} = \frac{\Gamma(1,34)}{0,04} = \frac{0,8892}{0,04} = 22,23 \text{ мотогод.}$$

$$f_2(t_3) = 2,70 * 0,04(0,04 * 14)^{2,70-1} e^{-(0,04*14)^{2,70}} = 2,7 * 0,04 * 0,373 * 0,82 = 0,033.$$

$$F_2(t_3) = 1 - 2,71^{-(0,04*14)^{2,7}} = 1 - 0,82 = 0,18.$$

$$D\bar{T}_{n2} = \frac{1}{0,04^2} \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{2,7}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,7}\right) \right] = 625 * 0,1289 = 78.$$

Закономірності зміни стаціонарного коефіцієнта готовності і нестационарного коефіцієнта оперативної готовності в залежності від строків експлуатації показані на рис. 1.

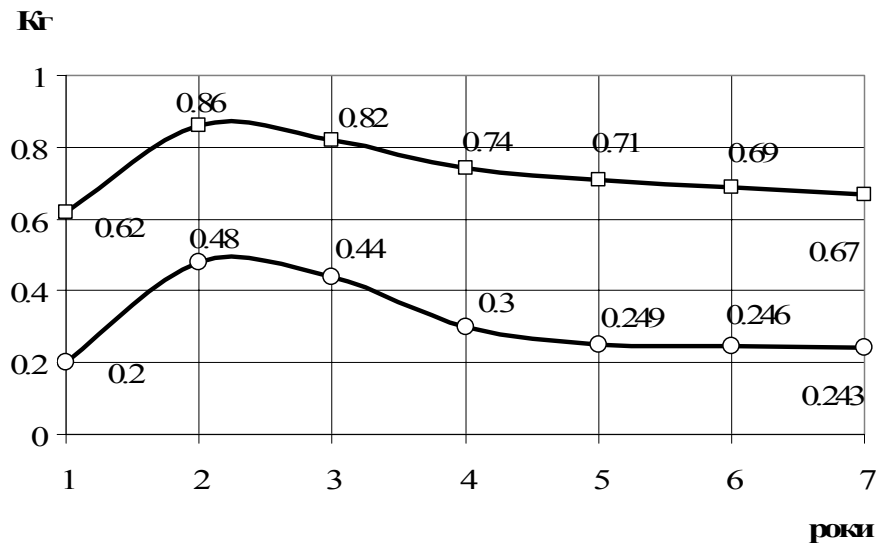


Рисунок 1 – Закономірності зміни стаціонарного коефіцієнта готовності і нестационарного коефіцієнта оперативної готовності. (o- Ког(t) —□-Кг)

Закономірності зміни щільності розподілу К, та функції розподілу імовірності відмови показані на рис 1, 2.

Із рисунка видно, що розбіжність між експериментальними та розрахунковими значеннями Кт (по розподілу Вейбулла не значні (до 3%).

При кількості інформації $N=25$ і відсутності статистичного ряду середнє квадратичне відхилення визначаємо із формули:

$$\sigma_{Kz}^1 = \sqrt{\frac{1}{N-1} (t_i - t_{cp})^2} = \sqrt{0,020} = 0,141. \quad (13)$$

Значення коефіцієнта готовності за термін жнив першого року експлуатації складає: $K_{Kz}^1 = 0,65 \pm 0,141$

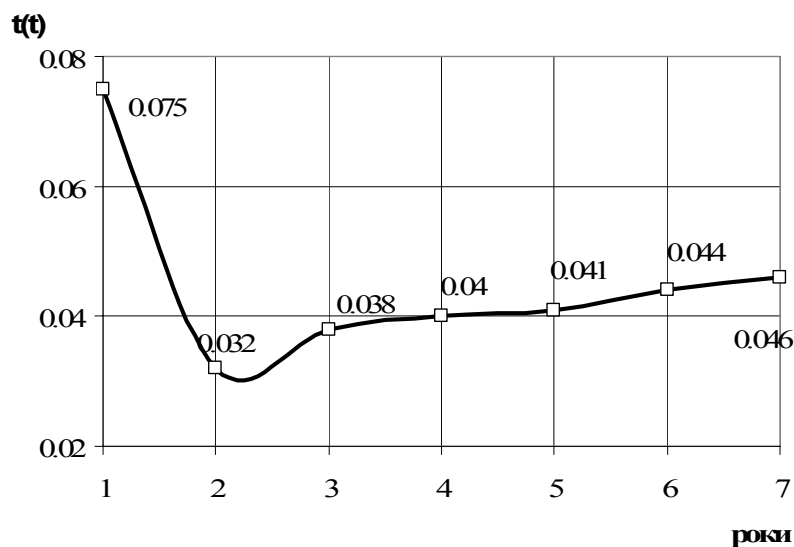


Рисунок 2 – Щільність розподілу значень наробітку між відмовами із збільшенням строків експлуатації

Основні характеристики розподілу Вейбулла роботи комбайнів із збільшенням стоків експлуатації зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Характеристики розподілу Вейбулла роботи комбайнів із збільшенням строків експлуатації

| Показники | Роки експлуатації ЗК | | | | | | |
|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| t_b | 10,79 | 22,93 | 19,65 | 14,42 | 11,65 | 11,21 | 10,3 |
| $t(t)$ | 0,075 | 0,032 | 0,038 | 0,040 | 0,041 | 0,044 | 0,046 |
| $F(t)$ | 0,80 | 0,18 | 0,31 | 0,54 | 0,67 | 0,70 | 0,86 |

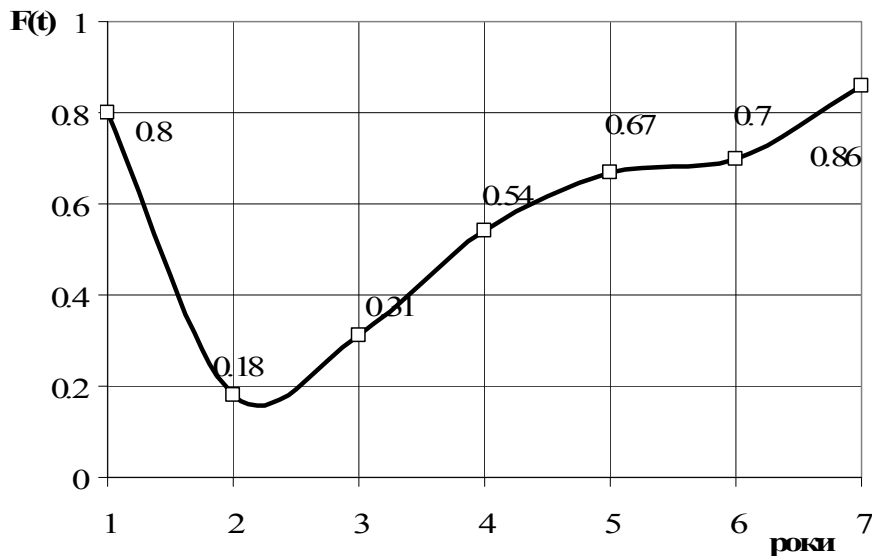


Рисунок 3 – Функція розподілу імовірності відмови протягом зміни із збільшенням строків експлуатації.

Визначимо коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{\sigma_{K_G}^1}{K_G^1} = \frac{0,141}{0,61} = 0,34. \quad (14)$$

По відомому коефіцієнту варіації $y_p=0,34$ із таблиці 2 [2] знаходимо параметри і коефіцієнти розподілу Вейбулла.

$$b=3,22; \quad K_b=0,896; \quad C_b=0,306.$$

Знаходимо параметр зміщення:

$$C = \bar{K}_G - aK_b = 0,61 - 0,418 = 0,198. \quad (15)$$

Визначаємо верхню довірчу границю для коефіцієнта готовності:

$$K_e = (\bar{K}_G - C)^{b \cdot Z_1} + C = (0,61 - 0,198)^{3,22 \cdot 1,14} + 0,198 = 0,412 * 1,04 + 0,198 = 0,63 \quad (16)$$

$$K_H = (\bar{K}_G - C)^{b \cdot Z_3} + C = (0,61 - 0,198)^{3,22 \cdot 0,96} + 0,198 = 0,59.$$

Аналіз темпів зміни показника вибіркової оцінки коефіцієнта готовності дозволяє зробити висновок, що термін довговічності основних агрегатів, систем, механізмів комбайнів вичерпуються строком експлуатації протягом п'яти-шести років та сумарним виробітком 1200-1400 м.-год. при середньому виробітку за сезон 200-280 м.-год. Після зазначеного строку експлуатації в роках та виробітку в м.-год. показник наробітку між відмовами знижується від

25 м.-год. до 12-13 м.-год., тривалість простоїв по відмовах стабілізується в межах 6 годин, а показник коефіцієнта готовності знижується до 0,67...0,64 (рис.4).

Імовірну величину коефіцієнта готовності на термін жнив після другого можна розрахувати по емпіричній залежності:

$$K_{\Gamma_i} = K_{\Gamma_2} \cdot e^{-(0,015+0,005 \cdot x_{\text{ж}})^3} \quad (17)$$

де x – рік експлуатації ЗК.

Наприклад для третього року експлуатації:

$$K_{\Gamma_3} = 0,86 \cdot e^{-(0,015+0,005 \cdot 3)^3} = 0,86 \frac{1}{1,093} = 0,86 \cdot 0,91 = 0,79.$$

Середнє значення зниження коефіцієнта готовності за сезон експлуатації (в межах семи сезонів експлуатації) можна визначити а формулою:

$$\gamma_{Kc} = \frac{K_{\Gamma \max} - K_{\Gamma \min}}{n - 2} = \frac{0,86 - 0,64}{7 - 2} = 0,044 \frac{1}{\text{сезон}}. \quad (18)$$

В межах нормативних затрат на відновлювальні ремонти комбайнів і підтримування їх роботоздатності під час жнив після другого сезону експлуатації спостерігається щорічне зниження коефіцієнта готовності на 0,036.

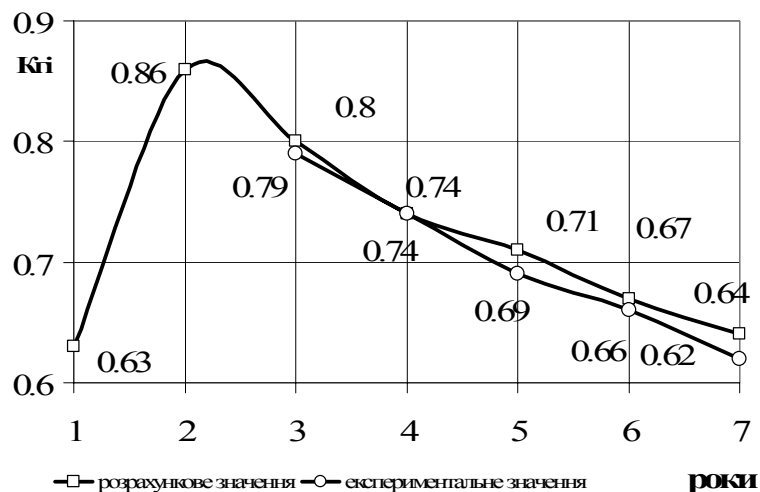


Рисунок 4 – міна коефіцієнтів готовності комбайна в залежності від строків експлуатації

$$\gamma_Q = \frac{Q_{\Gamma \max} - Q_{\Gamma \min}}{n - 2} = \frac{1133 - 605}{7 - 2} = 106 \text{ т/сезон}. \quad (19)$$

Зниження коефіцієнта готовності на 0,01 стає причиною зменшення продуктивності комбайна на 21.2 т/сезон.

Вплив коефіцієнта готовності на продуктивність комбайна визначається через його вплив на коефіцієнт використання часу зміни. Через коефіцієнт готовності визначається введений нами відносний показник технічного стану Z , який входить безпосередньо у рівняння за яким визначається коефіцієнт використання часу зміни. Нами прийнято, що величина Z із зростанням років використання комбайна збільшується лінійно. Зміна відносного показника технічного стану показана на рис. 5.

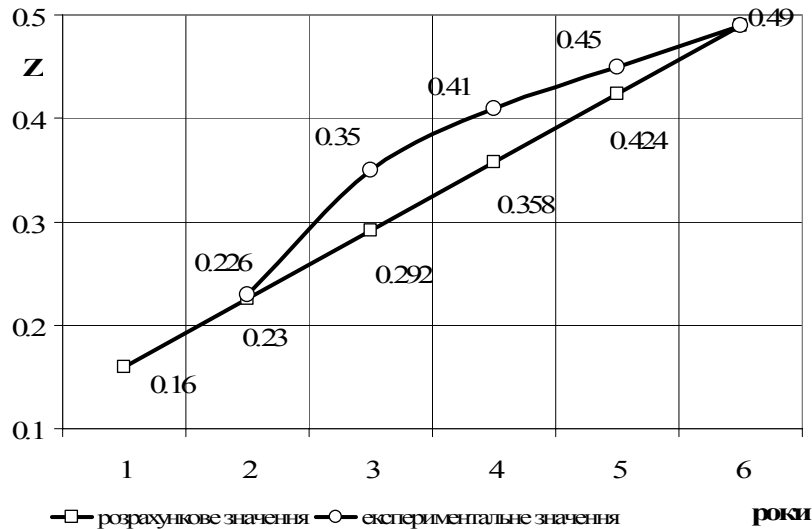


Рисунок 5 – Зміна відносного показника технічного стану 2 із збільшенням строків експлуатації

Продуктивність (в тонах) комбайнів із збільшенням строків експлуатації через зниження коефіцієнта готовності зменшується.

Визначимо питоме зниження продуктивності на одиницю зменшення коефіцієнта готовності:

$$\Delta\gamma = \frac{Q_{2,\max} - Q_{7,\min}}{K_{12,\max} - K_{17,\min}} = \frac{\Delta Q}{\Delta K_{\Gamma} * 100} = \frac{563}{0,18 * 100} 31,3, \text{ т.} \quad (20)$$

За результатами експериментальних досліджень відносний показник технічного стану за строк експлуатації сім років змінюється від значень 0,16 (другий рік експлуатації) до значення 0,49 (сьомий рік експлуатації) рис. 5

За отриманими експериментальними даними чинники, що входять в рівняння мають значення $Z_2=0,16$, $K_2=0,066$, тобто рівняння буде таким:

$$Z=0,16+0,066(n_i-2). \quad (21)$$

де n_i – порядковий номер року експлуатації.

Якщо коефіцієнт готовності ЗК із збільшенням строків експлуатації зменшується, то коефіцієнт відновлення зростає рис. 6. (табл.2)

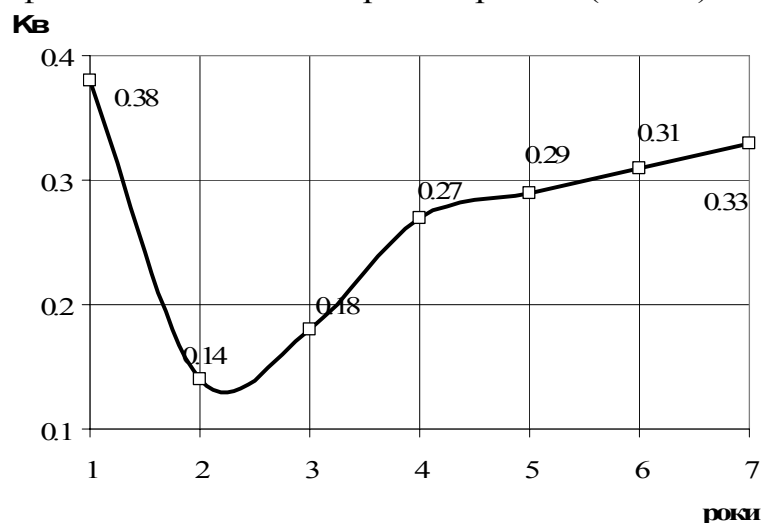


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта відновлення від строків експлуатації ЗК

Таблиця 2 – Зміна технічного стану за строк експлуатації

| Показники | Строки експлуатації | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Експериментальне значення 2 | - | 0.16 | 0.23 | 0.35 | 0.41 | 0.45 | 0.49 |
| Розрахункове значення 2 | - | - | 0.226 | 0.292 | 0.358 | 0.424 | 0.49 |
| Похибка, % | - | - | 1.7 | 19.8 | 14.52 | 6.1 | 0 |

Якщо тривалість простоїв по усуненню відмов після третього року експлуатації змінюється в максимальному значенні на 22%, то коефіцієнт відновлення зростає на 135%.

Висновки. При плануванні термінів жнив необхідно враховувати строк експлуатації комбайнів і вносити поправки в показники продуктивності, враховуючи ймовірне зниження показника технічного стану через коефіцієнт готовності. Визначено, що питоме зниження продуктивності на одиницю зменшення коефіцієнта готовності для комбайнів ДОН-1500А складає ≈ 30 тонн. намолоту ранніх зернових.

Список літератури

1. *Сковородин В.Я.* Справочная книга по надёжности сельскохозяйственной техники [Текст] / *В.Я.Сковородин, Л.В.Тишкин.* – Л., 1985. – 201 с.
2. *Прибытков П.Р.* Безотказность уборочных агрегатов и комплексов [Текст] / *П.Р. Прибытков, В.Р.Скобач.* – Л.: Агропромиздат, 1987. – 205 с.
3. *Табачников А.Г.* Оптимизация уборки зерновых комбайновими агрегатами [Текст] / *А.Г. Табачников.* – М.: Агропромиздат, 1985. – 158 с.
4. *Шор Я.Б.* Таблицы для анализа и контроля надёжности / *Я.Б.Шор, Ф.И. Кузьмин.* – М: Советское радио, 1968. – 283 с.
5. *Демко С.А.* Визначення впливу терміну використання зернозбиральних комбайнів на їх техніко-експлуатаційні характеристики. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / *С.А.Демко.* – Київ. – 2007. – 20 с.

Аннотація

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ НА ИХ ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

Демко А.А., Демко А.А., Надточий А.В.

Определены основные теоретические закономерности влияния длительности эксплуатации на изменение технического состояния зерноуборочных комбайнов ДОН-1500.

Abstract

REGULARITIES OF THE INFLUENCE TO DURATION TO USAGES ZERNOUBOROCHNYH COMBINE ON THEIR TECHNICAL CONDITION

A.Demko, A.Demko, A.Nadtochiy

They are determined main theoretical regularities of the influence to duration to usages on change the technical condition of combine harvesters DON-1500B.