Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 4, 97-104
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.097-104

УДК 633.521:631.358:62-192

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЛЬОНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

А. С. Лімонт

Житомирський агротехнічний коледж, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: lajla2412@ukr.net

Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.
Бібл. 10, рис. 1, табл. 1.

Анотація. Актуальність статті визначається сучасним станом льонарства в країні і важливістю культури льону-довгунця в забезпеченні екологічної, продовольчої, воєнної та медичної безпеки держави. Мета дослідження полягала в поліпшенні ефективності використання льонозбиральних комбайнів (ЛЗК), оцінним показником якої прийнята технологічна надійність цих машин. В якості вимірників технологічної надійності комбайнів визначені коефіцієнт технологічної надійності, наробіток на технологічні відмови впродовж зміни роботи льонозбиральних комбайнових агрегатів (ЛЗКА) та число цих відмов за годину змінного часу агрегатів. Завдання дослідження – з'ясувати вплив тривалості щозмінного технічного обслуговування (ЩТО) комбайнів на вказані вимірники їх технологічної надійності. Дослідження льонозбиральних комбайнів ЛК-4Т в складі відповідних збиральних агрегатів проведені на збиранні виробничих посівів льону-довгунця в умовах великотоварних льоносіючих підприємств Житомирської області в роки усталеного льонарства в Україні.

З використанням засад дисперсійного аналізу нерівномірного однофакторного комплексу на підставі опрацювання листів хронометражних спостережень за використанням ЛЗКА доведена з відповідною ймовірністю значущість впливу тривалості ЩТО ЛЗК на коефіцієнт їх технологічної надійності, тривалість наробітку на технологічні відмови комбайнів впродовж зміни роботи льонозбиральних агрегатів та число технологічних відмов цих машин за годину змінного часу агрегатів. За результатами кореляційно-регресійного аналізу визначено, що із збільшенням тривалості ЩТО комбайнів коефіцієнт їх технологічної надійності і тривалість наробітку на технологічні відмови комбайнів впродовж зміни роботи агрегатів зростають, а число технологічних відмов комбайна за годину змінного часу агрегатів зменшується. З використанням стандартних комп'ютерних програм за допомогою R^2-коефіцієнта визначено прямолінійний характер збільшення коефіцієнта технологічної надійності комбайнів і наробітку впродовж зміни роботи агрегатів на технологічні відмови комбайнів, а також криволінійне зменшення числа технологічних відмов комбайна за годину змінного часу комбайнових агрегатів залежно від тривалості ЩТО комбайнів. За значеннями додатних кутових коефіцієнтів прогностичних рівнянь прямих визначена інтенсивність збільшення коефіцієнта технологічної надійності і наробітку на технологічні відмови комбайнів впродовж зміни залежно від тривалості їх ЩТО. Із збільшенням цієї тривалості число технологічних відмов комбайна за годину змінного часу агрегатів зменшується за рівнянням експоненціальної функції. На підставі сумісного розв'язування апроксимуючих рівнянь зміни числа технологічних відмов залежно від тривалості ЩТО прогнозована мінімальна тривалість цього обслуговування.

З'ясовані прогностичні залежності варто враховувати при опрацюванні нормативно-технічної документації на технічне обслуговування перспективних моделей і зразків льонозбиральних комбайнів, а також організації використання сучасних марок цих машин.

Ключові слова: льонозбиральний комбайн, щозмінне технічне обслуговування, тривалість, технологічна надійність, кореляційний зв'язок, прогнозування.

Постановка проблеми

В сучасних умовах льонарство в Україні зазнало значної кризи і занепаду [1]. Проте льон-довгунець серед сільськогосподарських культур є такою, що відіграє важливу роль в забезпеченні екологічної, продовольчої, воєнної та медичної безпеки держави [2]. Однією з умов відродження льонарства вважають покращення технології збирання льону-довгунця. Найбільш перспективною є комбінована технологія і організація збиральних робіт, яка поєднує роздільне і комбайнове збирання. Визначення деяких умов, що спрямовані на удосконалення використання ЛЗК, є актуальним завданням у вирішенні проблеми механізованого збирання льону-довгунця.

Аналіз останніх досліджень

Високопродуктивне використання комбайнів на збиранні льону-довгунця можливе за умови належної їх технологічної надійності. За розробками акад. Л.В. Погорілого [3] стосовно льонозбиральних комбайнів розглянуті технологічні відмови, що пов'язані із забиванням вибраними стеблами і бур'янами подільників бральних секцій і рівчаків бральних пасів, поперечного транспортера, входу і виходу затискного конвеєра та транспортера вороху. Вибрані стебла можуть затримуватися і нагромаджуватися на розстилальному щиту, порушуючи утворення стрічки розстелюваної соломи. Рослинні рештки налипають, нашаровуються і напресовуються на зуби гребенів очісувального барабана, а стебла намотуються на гребені, спричинюючи порушення якості очісування коробочок і їх транспортування лопатями та викликаючи підвищену витрату потужності на технологічний процес. Означене спричинює підвищений відхід стебел в плутанину, що викликає збільшений їх вміст у воросі та супроводжується нераціональною витратою дизельного палива, електроенергії і теплоти при його сушінні та переробці. Стебла намотуються і на інші обертальні деталі.

Намотування рослинних решток та їх налипання на складові елементи очісувального барабана спричинювало заглухання двигуна трактора від перевантаження в одному випадку, а в іншому були причиною розриву ланцюга привода барабана. У першому випадку затрати часу на усунення відмови становили 1 год 2 хв, а в другому – 1 год і 10 хв. Забивання поперечного транспортера призводило до розриву ланки ланцюга і на усування такої відмови виконавець затрачував 43 хв, в т.ч. власне на заміну ланки – 12 хв.

Для уникнення забивань робочих органів при використанні ЛЗК періодично зупиняють ЛЗКА і очищають робочі органи від часток технологічних матеріалів та інших рослинних решток. Зупинки агрегату визначають час настання технологічної відмови, а тривалість очищення робочих органів – затрати часу на усунення технологічної відмови.

Коефіцієнт кореляції між тривалістю наробітку на технологічну відмову $t_{нв}$ (хв) і тривалістю їх усунення $t_{тв}$ (хв) та навпаки між $t_{тв}$ і $t_{нв}$ має від'ємне значення 0,028 [4]. За t-критерієм Стьюдента кореляційний зв'язок між $t_{тв}$ і $t_{нв}$ та між $t_{нв}$ і $t_{тв}$ неістотний. Емпіричний розподіл наробітку на технологічну відмову за розмахом варіювання (0,3–31,7 хв) зосереджений у більш вузьких межах, ніж розподіл тривалості усунення відмов (0,2–76,6 хв). Середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації розподілу $t_{нв}$ дорівнюють відповідно 8,7 і 7,05 хв та 81,0 %, а розподілу $t_{тв}$ у тій же послідовності відповідно 13,0 і 12,12 хв та 93,2 %. Для кожного з досліджуваних розподілів середні арифметичні значення і середні квадратичні відхилення практично однакові (рівні між собою): 8,7 і 7,05 хв для розподілу наробітку на технологічну відмови та 13,0 і 12,12 хв для розподілу тривалості усунення технологічних відмов. Дослідженнями [4] з'ясовано, що емпіричні розподіли наробітку на технологічну відмову ЛЗК і тривалості усунення технологічних відмов за χ^2-критерієм Пірсона на рівні ймовірності 0,999 описуються експоненціальними розподілами з параметрами відповідно 0,115 і 0,077 1/хв. Збільшення тривалості роботи ЛЗКА до чергової зупинки для очищення робочих органів комбайна від технологічних матеріалів не супроводжується істотною зміною затрат часу на саме очищення. У свою чергу збільшення тривалості очищення робочих органів не викликає збільшення часу беззупинкової роботи ЛЗКА.

Емпіричні розподіли коефіцієнта використання часу зміни τ та продуктивності ЛЗКА за годину змінного часу $W_{ГЗ}$ за скошеністю і пологістю слід вважати відповідно сильноасиметричним і середньоексцесивним та слабкоасиметричним і слабкоексцесивним. За значеннями відношень показників асиметрії і ексцесу до своїх помилок досліджувані розподіли неістотно відхилялися від нормального. Розрахунок χ^2-критерію Пірсона засвідчив, що на рівні значущості 0,05 відсутні підстави для відхилення нульової гіпотези про нормальний закон розподілу коефіцієнта використання часу зміни і продуктивності ЛЗКА за годину змінного часу. Із збільшенням числа технологічних відмов коефіцієнт використання часу зміни і продуктивність ЛЗКА за годину змінного часу мають тенденцію до зменшення. Найкраще наближення експериментальних даних до їх вирівняних значень забезпечувала апроксимація одержаних в результаті спостережень показників рівняннями експоненціальних функцій (R^2=0,486 для зміни τ і R^2=0,574 для $W_{гз}$). Експоненціальні функції описують явища і процеси, які при збільшенні аргументу наближаються до певного асимптотичного значення результативної ознаки. Проте асимптоту краще з'ясувати шляхом апроксимації експериментальних даних рівнянням гіперболи. У разі апроксимації зміни τ залежно від $n_{вг}$ рівнянням гіперболи (R^2=0,478) її асимптота становить 0,32. Якщо ж апроксимувати зміну $W_{гз}$ залежно від $n_{вг}$ також рівнянням гіперболи (R^2=0,309), то її асимптота дорівнює 0,27 га/год і є ознакою прогнозованого зниження продуктивності ЛЗКА із збільшенням числа технологічних відмов ЛЗК.

Якщо прогнозувати зміну τ і $W_{гз}$ залежно від $n_{вг}$ за рівняннями прямих (R^2-коефіцієнти відповідно дорівнюють 0,477 і 0,538), то в межах досліджуваної зміни числа відмов їх збільшення на одиницю спричинює зниження коефіцієнта використання часу зміни і продуктивності ЛЗКА на 0,12 відповідних одиниць розмірності. За відсутності технологічних відмов ЛЗК можна забезпечити використання ЛЗКА з коефіцієнтом використання часу зміни 0,79 або 0,91 та продуктивністю за годину змінного часу 0,69 або 0,88 га/год. Перші значення наведених ознак характеризують прогнозовані показники у разі оцінювання їх зміни за рівняннями прямих, а другі – за експоненціальними функціями. Забезпечити прогнозовані показники використання ЛЗКА можна

за умови вирощування і збирання вирівняного і незабур'яненого стеблостою льону-довгунця, вибору відповідних швидкості руху агрегату і висоти брання ЛЗК та здійснення технологічних регулювань комбайна відповідно до характеристик густоти стояння і параметрів рослин.

До вимірників технологічної надійності машин відносять і коефіцієнт технологічної надійності та наробіток на технологічні відмови [3], а за дослідженнями А.П. Соломкіна [5] надійність машин залежить і від рівня технічного обслуговування. Проте щодо льонозбиральних комбайнів такі питання не знайшли належного висвітлення в літературних джерелах [6].

Мета досліджень

Мета дослідження полягала в поліпшенні ефективності використання ЛЗК, оцінними показниками і вимірниками якої визначені коефіцієнт технологічної надійності комбайнів, наробіток на технологічні відмови ЛЗК впродовж зміни ЛЗКА та число цих відмов за годину змінного часу ЛЗКА. Завдання дослідження – з'ясувати вплив тривалості ЩТО комбайнів на визначені вимірники технологічної надійності.

Об'єкт дослідження – використання ЛЗКА у складі тракторів класу 1,4 та ЛЗК ЛК-4Т і тракторних причепів 2ПТС-4М в технологічному процесі збирання виробничих посівів льону-довгунця у великотоварних льоносіючих підприємствах Житомирської області в роки усталеного льонарства в Україні.

Предметом дослідження були закономірності впливу тривалості ЩТО ЛЗК на коефіцієнт технологічної надійності, наробіток на технологічні відмови комбайнів впродовж зміни ЛЗКА та число технологічних відмов ЛЗК за годину змінного часу агрегатів.

Матеріали і методи дослідження наведено в попередніх публікаціях і зокрема [4], в яких, крім іншого, охарактеризовано передзбиральний стан стеблостою льону-довгунця за його густотою, вирівняністю і морфологічними ознаками стебел та вказана методика обробки одержаних експериментальних даних. Розмір статистичної вибірки при прогнозуванні коефіцієнта технологічної надійності ЛЗК становив 27, наробітку на технологічні відмови – 21 і числа технологічних відмов – 7 пар відповідних результативних і факторіальної ознак, що відповідало кількості досліджуваних агрегато-змін.

Результати досліджень

Важливо було з'ясувати чи впливає тривалість ЩТО ЛЗК на вимірники технологічної надійності комбайнів, якщо впливає, то визначити значущість цього впливу. Це вирішено на засадах дисперсійного аналізу нерівномірного однофакторного комплексу [7]. Значущість впливу тривалості ЩТО ЛЗК на технологічну надійність визначена за F-критерієм, що являє відношення факторіальної дисперсії до дисперсії, зумовленої впливом неврахованих випадкових факторів, яку називають випадковою помилкою. Спостережуваний (розрахунковий) F-критерій порівнюють з критичним (табличним), оскільки його значення табульовані для декількох рівнів надійності [8]. Входами в таблицю квантилів F-розподілу є значення числа ступенів вільності для чисельника (більшої дисперсії) і числа ступенів вільності для знаменника (меншої дисперсії). Якщо розрахунковий F-критерій не менший від табличного для визначених чисел степенів вільності чисельника і знаменника на відповідній ймовірності, то вплив тривалості ЩТО ЛЗК на оцінний вимірник технологічної надійності слід визнати значущим. Результати дисперсійного аналізу щодо з'ясування значущості впливу тривалості ЩТО ЛЗК на оцінні вимірники технологічної надійності наведені в табл. 1. З аналізу таблиці простежується, що вплив тривалості ЩТО ЛЗК на коефіцієнт їх технологічної надійності, наробіток на технологічні відмови ЛЗК впродовж зміни ЛЗКА та число технологічних відмов комбайна за годину змінного часу агрегату значущий з ймовірністю відповідно 0,90 та 0,95 і 0,75.

Для з'ясування напряму впливу тривалості ЩТО ЛЗК $T_{ЩТО}$ (хв) на зміну коефіцієнта технологічної надійності комбайнів $k_{тн}$, наробітку на технологічні відмови $T_{нв}$ (хв) впродовж зміни роботи ЛЗКА та числа технологічних відмов $n_{вг}$ за годину змінного часу роботи ЛЗКА здійснили кореляційно-регресійний аналіз експериментальних даних. Дослідження показали, що коефіцієнти кореляції між $k_{тн}$ та $T_{нв}$ і $T_{ЩТО}$ мають додатні значення відповідно 0,274 і 0,186 за кореляційних відношень в тій же послідовності 0,325 і 0,541. Між $n_{вг}$ і $T_{ЩТО}$ виявлений від'ємний кореляційний зв'язок з коефіцієнтом кореляції мінус 0,807 за кореляційного відношення $n_{вг}$ по $T_{ЩТО}$, що дорівнює 0,699. Отже, із збільшенням тривалості ЩТО $k_{тн}$ і $T_{нв}$ зменшуються, а $n_{вг}$ зростає. Щоб визначитися з характером зменшення і зростання досліджуваних вимірників технологічної надійності, здійснили перевірку лінійності цих зв'язків за t-критерієм Стьюдента [9]. Розрахунки показали, що за значеннями коефіцієнтів кореляції і з урахуванням числа рівнів градації фактора спостережувані (розрахункові) t-критерії для оцінювання зміни $k_{тн}$ та $T_{нв}$ і $n_{вг}$ залежно від $T_{ЩТО}$ дорівнюють відповідно $t_р$=0,49 та 0,33 і 3,05. Табличні значення t-критерію на рівні значущості 0,05 за числа ступенів вільності 3 і 5 дорівнюють відповідно $t_т$=3,18 і 2,57. Порівняння розрахункових і табличних t-критеріїв засвідчило, що для залежностей $k_{тн}=f(T_{ЩТО})$ і $T_{нв}=f(T_{ЩТО})$ лінійну модель регресії слід вважати такою, яка не узгоджується з експериментальними даними, а для залежності $n_{вг}=f(T_{ЩТО})$ – узгоджується.

Таблиця 1. Результати дисперсійного аналізу щодо з'ясування значущості впливу тривалості щозмінного ЩТО ЛЗК на оцінні вимірники їх технологічної надійності.

Table 1. Analysis of variance results to determine the significance of the impact of the duration of the VTL variable on the evaluation of the measures of their technological reliability.

Джерело мінливості	Сума квадратів	Число ступенів вільності	Середній квадрат	*F*-критерій				
				Розрахунковий $F_р$	табличний $F_т$ на ймовірності *P* [8]			
					0,75	0,90	0,95	0,99
Коефіцієнт технологічної надійності ЛЗК								
Тривалість ЩТО	0,064	4	0,0160	2,65	1,45	2,22	2,82	4,31
Помилка	0,133	22	0,00604					
Сума	0,197	26						
Наробіток на технологічні відмови ЛЗК впродовж зміни роботи агрегату								
Тривалість ЩТО	37,42	4	9,355	4,72	1,50	2,33	3,01	4,77
Помилка	31,68	16	1,980					
Сума	69,10	20						
Число технологічних відмов ЛЗК за годину змінного часу роботи агрегату								
Тривалість ЩТО	0,616	2	0,308	2,23	2,00	4,32	6,94	18,0
Помилка	0,551	4	0,138					
Сума	1,167	6						

Продовжимо пошук характеру зв'язку між досліджуваними результативними і факторіальною ознакою. Для цього скористаємося інформацією, що наведена в [10]. В праці [10] для з'ясування характеру зв'язку пропоновано використати різницю квадратів кореляційного відношення і коефіцієнта кореляції. Якщо визначена різниця квадратів цих показників не перевищує 0,1, то припущення про прямолінійну форму кореляційних зв'язків вважають виправданим. За дослідженням зв'язку $k_{тн}$ та $T_{нв}$ і $n_{вг}$ з $T_{ЩТО}$ одержали, що різниця квадратів кореляційних відношень і коефіцієнтів кореляції в досліджуваних зв'язках в наведеній щойно послідовності становила 0,031 та 0,258 і –0,163. Отже, за цією оцінною ознакою зміна $k_{тн}$ і $n_{вм}$ залежно від $T_{ЩТО}$ має відбуватися за прямими, а $T_{нв}$ від $T_{ЩТО}$ – за криволінійною залежністю.

В тій же праці [10] питання про лінійність зв'язку пропоновано розв'язувати обчисленням критерію z, що являє добуток трьох співмножників, з яких один – це число 0,742, а два інші являють корінь квадратний з числа рівнів градації фактора і квадратний корінь з різниці квадратів кореляційного відношення і коефіцієнта кореляції. Якщо визначений критерій z менший 2, то досліджувану залежність вважають лінійною. За розрахунками стосовно залежностей $k_{тн}=f(T_{ЩТО})$ та $T_{нв}=f(T_{ЩТО})$ і $n_{вг}=f(T_{ЩТО})$ визначений критерій z дорівнював відповідно 0,67 та 1,96 і 1,56. Отже, за критерієм z всі досліджувані залежності слід вважати лінійними.

Щоб остаточно з'ясувати питання про характер і форму зв'язку $k_{тн}$, $T_{нв}$ та $n_{вг}$ і $T_{ЩТО}$ вирівнювали експериментальні значення результативних ознак за рівняннями прямих, криволінійних залежностей у вигляді степеневих, логарифмічних і експоненціальних функцій та гіперболами з визначенням для кожної з апроксимуючих залежностей значення R^2-коефіцієнта. Таке вирівнювання здійснено з використанням стандартних комп'ютерних програм і за максимальним значенням R^2-коефіцієнта визначали прогностичну функцію зміни оцінних вимірників технологічної надійності ЛЗК залежно від тривалості їх ЩТО.

З'ясовано, що коректніше прогнозувати зміну коефіцієнта технологічної надійності $k_{тн}$ ЛЗК залежно від тривалості їх ЩТО $T_{ЩТО}$ (хв) рівнянням прямої з додатним кутовим коефіцієнтом, яка у порівнянні з іншими апроксимуючими залежностями забезпечила найкраще наближення вирівняних і експериментальних значень досліджуваного вимірника технологічної надійності ЛЗК. Модельне рівняння прямолінійної регресії $k_{тн}$ на $T_{ЩТО}$ з визначеними оцінними показниками сили і якості кореляційного зв'язку має вигляд:

$$k_{тн}=0{,}59 + 0{,}00163\ T_{ЩТО} \quad (1)$$

при r=0,274; η=0,325; R^2=0,748; $\lambda_{пв}$=0,055; $S_у$=0,183 і $k_д$=0,075,

де r – коефіцієнт кореляції між коефіцієнтом технологічної надійності (результативна ознака) і тривалістю ЩТО (факторіальна ознака) ЛЗК;

η – кореляційне відношення результативної ознаки на факторіальну;

R^2 –коефіцієнт, що визначає міру наближення експериментальних значень результативної ознаки до вирівняних за рівнянням регресії;

$\lambda_{пв}$ – відношення основної помилки вирівнювання експериментальних значень результативної ознаки (тут коефіцієнта технологічної надійності ЛЗК) апроксимуючою функцією до середнього значення досліджуваної (результативної) ознаки;

$S_у$ – помилка рівняння регресії, яку визначали за середнім квадратичним відхиленням значень результативної ознаки і коефіцієнтом кореляції або кореляційним відношенням залежно від характеру зв'язку (прямо- чи криволінійного);

$k_д$ – коефіцієнт детермінації, що визначає силу впливу факторіальної ознаки (тут тривалості ЩТО ЛЗК) на зміну результативної.

За значеннями коефіцієнта кореляції і кореляційного відношення зв'язок між ktн і ТЩТО умовно можна вважати слабким [7] і за значенням R2-коефіцієнта вірогідність цього зв'язку немала. Вирівнювання експериментальних значень ktн рівнянням (1) слід вважати задовільним , оскільки λпв не перевищує 0,1. Помилка рівняння (1) менша різниці найбільшого і найменшого значення ktн в статистичній вибірці цього вимірника технологічної надійності ЛЗК. За значенням коефіцієнта детермінації варіація коефіцієнта технологічної надійності ЛЗК на 7,5 % причинно зумовлена впливом тривалості ЩТО комбайнів, а на 92,5 % варіація ktн зумовлена впливом випадкових неврахованих факторів [7].

За значенням кутового коефіцієнта рівняння (1) прямолінійної регресії збільшення тривалості ЩТО ЛЗК на 10 хв в межах досліджуваної її зміни призводить до підвищення коефіцієнта технологічної надійності ЛЗК із заокругленням майже на 0,02. Якщо ж прогнозувати зміну ktн залежно від ТЩТО рівнянням сповільнено зростаючої степеневої функції (R2=0,522). то за такої зміни ktн цей коефіцієнт при збільшенні ТЩТО сповільнено зростає і може сягати відповідного граничного значення. Це значення за асимптотою рівняння гіперболи у разі прогнозування зміни ktн залежно від ТЩТО такою залежністю (R2=0,302) становить 0,74. З аналізу рівняння гіперболи випливає, що при збільшенні ТЩТО ЛЗК до 25 хв ktн комбайнів інтенсивно зростає, а з подальшим збільшенням ТЩТО до 50 хв темп зростання ktн уповільнюється. Збільшення ТЩТО від 50 і далі до 100 хв викликає занадто сповільнене підвищення ktн.

Прогнозовану залежність наробітку Тнв (хв) на технологічні відмови ЛЗК впродовж зміни роботи ЛЗКА від тривалості ТЩТО (хв) доречно з урахуванням інших апроксимуючих функцій подати також рівнянням прямої з додатним кутовим коефіцієнтом, яке має такий вигляд:

$$Тнв=193,64 + 0,56\ ТЩТО \qquad (2)$$

при r=0,186; η=0,541; R2=0,219; λпв=0,160; Sy=67,9 хв і kд=0,035.

З рівняння (2) і оцінних показників кореляційного зв'язку Тнв і ТЩТО простежується, що цей зв'язок також умовно можна вважати слабким, але дещо меншої вірогідності і з більшим значенням показника оцінювання вирівнювання експериментальних значень Тнв опрацьованою апроксимуючою залежністю та меншим значенням коефіцієнта детермінації. За визначеного коефіцієнта детермінації варіація досліджуваного наробітку тільки на 3,5 % причинно зумовлена впливом тривалості ЩТО ЛЗК, а за кутовим коефіцієнтом рівняння (2) збільшення ТЩТО на 10 хв викликає збільшення наробітку на технологічні відмови ЛЗК впродовж зміни роботи ЛЗКА майже на 6 хв.

Якщо прогнозувати зміну Тнв залежно від ТЩТО ЛЗК рівнянням сповільнено зростаючої степеневої функції (R2=0,168) і за рівнянням гіперболи (R2=0,150), то Тнв може досягти якогось граничного значення, яке за асимптотою гіперболи може становити майже 257 хв. Вважаємо, що таке слід враховувати при опрацюванні нормативів ЩТО ЛЗК.

На рис. 1 наведені розраховані за опрацьованими кореляційними таблицями середньогрупові значення ТЩТО і відповідні їм середні значення ktн і Тнв та модельні лінії прямолінійної регресії, що побудовані за рівняннями (1) і (2). Порівняно невеликий кут нахилу цих ліній до осі абсцис є ознакою незначного впливу тривалості ЩТО ЛЗК на ktн і Тнв.

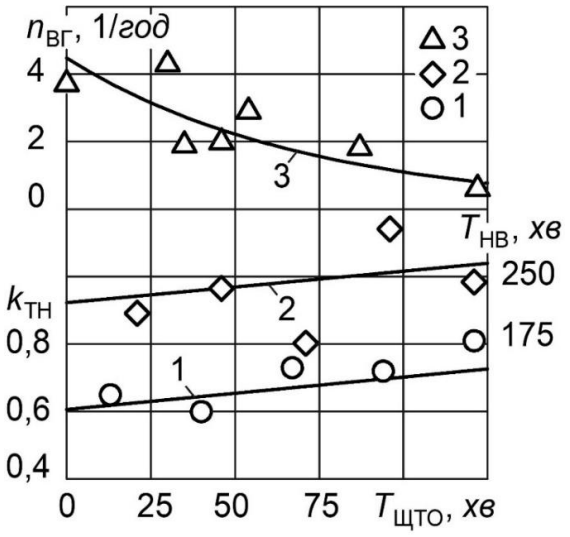

Рис. 1. Вплив тривалості щозмінного технічного обслуговування $T_{ЩТО}$ льонозбиральних комбайнів на показники технологічної надійності цих машин:
1 – коефіцієнт технологічної надійності льонозбиральних комбайнів $k_{тн}$; 2 – наробіток на технологічні відмови $T_{тв}$ (хв) льонозбиральних комбайнів впродовж зміни роботи льонозбирального комбайнового агрегату; 3 – число технологічних відмов $n_{вг}$ льонозбирального комбайна за годину змінного часу роботи льонозбирального комбайнового агрегату

Fig. 1. Influence of the duration of daily maintenance of the THB of the flax harvesters on the technological reliability of these machines:
1 – coefficient of technological reliability of flax harvesters $k_{тн}$; 2 – work time on technological failures $T_{тв}$ (min) of the combine harvesters during the change of operation of the flax harvester unit; 3 – number of technological failures $n_{вг}$ of the combine harvester for an hour of variable working time of the flax harvester unit

Криволінійний характер кількісної зміни числа технологічних відмов $n_{вг}$ ЛЗК за годину змінного часу ЛЗКА залежно від тривалості ЩТО комбайнів за здійсненими розрахунками щодо максимального наближення до експериментальних значень досліджуваного вимірника технологічної надійності

описується сповільнено спадаючою експоненціальною функцією, яка після визначення відповідних коефіцієнтів має вигляд:

$$nвг=4,48exp(0,0141ТЩТО) \quad (3)$$

при r=–0,807; η=0,699; R2=0,749; λпв=0,340; Sy=0,900 і kд=0,489.

За оцінними показниками кореляційного зв'язку nвг і ТЩТО досліджуваний зв'язок найбільш тісний за значеннями коефіцієнта кореляції і кореляційного відношення та коефіцієнта R2, що визначає вірогідність апроксимації експериментальних значень nвг рівнянням (3). Проте значення показника оцінювання вирівнювання експериментальних даних nвг експоненціальною функцією (3) виявилося найбільшим у порівнянні з іншими, що досліджувалися в цьому повідомленні, зв'язками. В той же час за значенням коефіцієнта детермінації варіація числа технологічних відмов комбайна за годину змінного часу роботи агрегату майже на 50 % причинно зумовлена впливом тривалості ЩТО ЛЗК.

З рівняння експоненціальної зміни nвг залежно від ТЩТО і його графічного подання (крива 3 на рисунку) простежується, що із збільшенням ТЩТО число технологічних відмов має сягати відповідного асимптотичного зниження. Значення асимптоти з рівняння гіперболи, за яким можливо прогнозувати зміну nвг залежно від ТЩТО (R2=0,207) , дорівнює 2,2. Якщо прогнозувати зміну nвг залежно від ТЩТО рівнянням сповільнено спадаючої степеневої функції (R^2=0,355), то інтенсивність зменшення $n_{вг}$ значно уповільнюється із збільшенням $T_{ЩТО}$ понад 50 хв. Якщо ж прогнозувати зміну $n_{вг}$ залежно від $T_{ЩТО}$ рівнянням прямої з від'ємним кутовим коефіцієнтом (R^2=0,652), то за значенням цього коефіцієнта із збільшенням $T_{ЩТО}$ на 10 хв в межах досліджуваної її зміни число технологічних відмов зменшується на 0,25. Сумісне розв'язування рівнянь прогнозованої зміни $n_{вг}$ залежно від $T_{ЩТО}$ (рівняння прямої, сповільнено спадаючих експоненціальної і степеневої функцій та гіперболи) засвідчило, що мінімальна тривалість ЩТО ЛЗК має бути обмежена 25 хв. За інтенсивністю зменшення $n_{вг}$ залежно від $T_{ЩТО}$ максимальна тривалість ЩТО ЛЗК може бути обмежена 50 хв.

Висновки

1. На підставі дисперсійного аналізу експериментальних даних значущість впливу тривалості щозмінного технічного обслуговування льонозбиральних комбайнів на коефіцієнт їх технологічної надійності, наробіток на технологічні відмови комбайнів впродовж зміни роботи льонозбиральних комбайнових агрегатів і число технологічних відмов комбайнів за годину змінного часу доведена з ймовірністю відповідно 0,90 та 0,95 і 0,75.

2. Дослідженнями з'ясовано, що залежно від тривалості щозмінного технічного обслуговування льонокомбайнів зміна коефіцієнта їх технологічної надійності і наробітку на технологічні відмови впродовж зміни роботи льонозбиральних агрегатів відбувається за прямими з додатними кутовими коефіцієнтами та числа технологічних відмов комбайна за годину змінного часу за сповільнено спадаючою експоненціальною функцією.

3. За прогнозованою зміною вимірників технологічної надійності льонозбиральних комбайнів висловлені пропозиції щодо тривалості їх щозмінного технічного обслуговування. В перспективі з'ясовані залежності варто враховувати при розробці нормативно-технічної документації на технічне обслуговування опрацьовуваних моделей і зразків льонозбиральних комбайнів та організації використання сучасних марок цих машин.

Список літератури

1. *Приймачук Т. Ю., Штанько Т. А., Ковальов В. Б.* Розвиток галузі льонарства в Україні. Вісник аграрної науки. 2017. № 7. С. 68–75.

2. *Лімонт А.* Льон-довгунець і конкурентоспроможність льонарства та його відродження. Техніка і технології АПК. 2016. № 11 (86). С. 14–20.

3. *Погорелый Л. В.* Инженерные методы испытания сельскохозяйственных машин. Киев: Тэхника, 1991. 157 с.

4. *Лімонт А. С., Добранський С. С.* Елементи ремонтопридатності і технологічної надійності льонозбиральних комбайнів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машиню Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦУНТУ, 2017. Вип. 47. Ч. 1. С. 139–158.

5. *Соломкин А. П.* Влияние качества обслуживания на надежность машин. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1977. № 7. С. 4–7.

6. *Лімонт А. С., Плужніков О. Б.* Технологічна надійність і щозмінне технічне обслуговування льонозбиральних комбайнів. Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали першої Міжнар. наук.-практ. конф., 17–19 квітня 2019 р. Кропивницький: ЦУНТУ, 2019. С. 110–112.

7. *Дмитриев Е. А.* Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. Москва: Изд-во Москов. ун-та, 1972. 292 с.

8. Основные принципы планирования эксперимента / пер. с англ. Т.И. Голиковой, Е. Г. Коваленко, Н. Г. Микешиной; под ред. В. В. Налимова. Москва: Мир, 1967. 407 с.

9. *Герасимович А. И.* Математическая статистика: учеб. пособ. для инж.-техн. и эконом. спец. втузов. Минск: Вышэйш. шк., 1983. 279 с.

10. *Венецкий И. Г., Венецкая В. И.* Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе: справочник. Москва: Статистика, 1979. 448 с.

References

1. *Pryimachuk T. Iu., Shtanko T. A., Kovalov V.B.* (2017). Development of the flax industry in Ukraine. Bulletin of agrarian science. № 7. 68–75.

2. *Limont A.* (2016). Flax flax and the competitiveness of flax growing and its regeneration. AIC technology and technology. № 11 (86). 14–20.

3. *Pogorelyi L. V.* (1991). Engineering Methods of Testing Agricultural Machines. Kiev: Technology, 157.

4. Limont A. S., Dobransky S. S. (2017). Elements of maintainability and technological reliability of flax harvesters. Design, production and operation of agricultural machinery National interagency scientific and technical collection. Kropyvnytskyi: TsUNTU. Vol. 47. Part 1. 139–158.

5. Solomkin A. P.(1977). Influence of quality of service on reliability of cars. Mechanization and electrification of socialist agriculture. № 7. S. 4–7.6.

6. Limont A. S., Pluzhnikov O. B. (2019). Technological reliability and constant maintenance of flax harvesters. Improving the reliability of machines and equipment. Increase of Machine and Equipment Reliability: First International Materials. Research Practice Conf., April 17–19, 2019. Kropyvnytskyi: TsUNTU, 110–112.

7. Dmitriev, E. A. (1972). Mathematical statistics in soil science: textbook. help Moscow: Moscow Publishing House. Univ. 292.

8. Golikova, Y. U., Kovalenko, E. G., Mikeshina N. G. (1967). Basic principles of experiment planning / trans. with English. Y. U. Golikova, E. G. Kovalenko, N. G. Mikeshina; ed. V. V. Nalimov. Moscow: The World, 407.

9. Gerasimovich A. I. (1983). Mathematical statistics: textbook. help for engineering-technical. and economy. spec. high schools. Minsk: Come out. Shk., 279.

10. Venetsky I. G., Venetskaya V. I. (1979). Basic mathematical and statistical concepts and formulas in economic analysis: a reference book. Moscow: Statistics. 448.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЛЬНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А. С. Лимонт

Аннотация. Актуальность статьи определяется современным состоянием льноводства в стране и важностью культуры льна-долгунца в обеспечении экологической, продовольственной, военной и медицинской безопасности государства. Цель исследования состояла в улучшении эффективности использования льноуборочных комбайнов, оценочным показателем которой принята технологическая надежность этих машин. В качестве измерителей технологической надежности комбайнов определены коэффициент технологической надежности, наработка на технологические отказы в течение смены работы льноуборочных комбайновых агрегатов и число таких отказов в час сменного времени агрегатов. Задача исследования – определить влияние длительности ежесменного технического обслуживания комбайнов на указанные измерители их технологической надежности. Исследования льноуборочных комбайнов ЛК-4Т в составе соответствующих уборочных агрегатов проведены на уборке производственных посевов льна-долгунца в условиях крупнотоварных льносеющих предприятий Житомирской области в годы устойчивого льноводства в Украине.

С использованием принципов дисперсионного анализа неравномерного однофакторного комплекса на основе обработки листов хронометражных наблюдений за использованием льноуборочных комбайновых агрегатов доказана на уровне соответствующей вероятности значимость влияния длительности ежесменного технического обслуживания льноуборочных комбайнов на коэффициент их технологической надежности, длительность наработки на технологические отказы комбайнов в течение смены работы льноуборочных агрегатов и число технологических отказов этих машин в час сменного времени агрегатов. В результате корреляционно-регрессионного анализа определено, что с увеличением длительности ежесменного технического обслуживания комбайнов коэффициент их технологической надежности и длительность наработки на технологические отказы комбайнов в течение смены работы агрегатов возрастают, а число технологических отказов комбайна в час сменного времени агрегатов уменьшается. С использованием стандартных компьютерных программ и с помощью R^2-коэффициента определен прямолинейный характер увеличения коэффициента технологической надежности комбайнов и наработки в течение смены работы агрегатов на технологические отказы комбайнов, а также криволинейное уменьшение числа технологических отказов комбайна в час сменного времени комбайновых агрегатов в зависимости от длительности ежесменного технического обслуживания комбайнов. По значениям положительных угловых коэффициентов прогностических уравнений прямых определена интенсивность увеличения коэффициента технологической надежности и наработки на технологические отказы комбайнов в течение смены в зависимости от продолжительности их ежесменного технического обслуживания. С увеличением этой длительности число технологических отказов комбайнов час сменного времени агрегатов уменьшается по уравнению экспоненциальной функции. На основании совместного решения аппроксимирующих уравнений изменения числа технологических отказов в зависимости от длительности ежесменного технического обслуживания спрогнозирована минимальная длительность этого обслуживания.

Полученные прогностические зависимости следует учитывать при разработке нормативно-технической документации на техническое обслуживание перспективных моделей и образцов льоноуборочных комбайнов, а также организации использования современных марок этих машин.

Ключевые слова: льноуборочный комбайн, ежесменное техническое обслуживание,

длительность, технологическая надежность, корреляционная связь, прогнозирование.

PREDICTION OF TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF THE FLAX HARVESTERS

A. S. Limont

Abstract. The topicality of the paper is envisaged by the present-day state of flax growing in the country, as well as by the importance of flax cultivation in ensuring the ecological, foodstuffs, military and medical security of the state. The investigation is aimed at improving the efficiency of using flax harvesters whose technological reliability proves to be the evaluation index of these machines. The coefficients of technological reliability, the technological mean-time-between-failures of flax harvesting units within the shift and the number of such failures for these units within the period of replacement were taken as the indicators of technological reliability. The research is also aimed at determining the effects of the duration of shift-based servicing on the above indicators of their technological reliability. The investigation into ЛК-4Т flax harvesters as part of the corresponding harvesting units is carried out in time of harvesting fiber flax industrial sowings under the conditions of large-scale flax sowing enterprises of Zhytomyr oblast in the period of well-balances flax cultivation in Ukraine.

The use of the principles of the dispersion analysis of the irregular unifactor complex on the basis of handling the checklists of step-watch reading of the use of flax harvesting units has made it possible to prove on the level of the corresponding probability the importance of the effects of shift-based servicing of flax harvesters on the coefficient of their technological reliability, the duration of the mean-time-between-failures within the period of replacement of flax harvesting units and the number of the mean-time-between-failures of these units. The results of the correlation and regression analysis make it possible to establish that the increase in the duration of the shift-based servicing of harvesters results in the increase in the coefficients of their technological reliabilities and in the duration of the operation time of harvesters in the period of shift-based work of units, the number of technological mean-time-between-failures in the period of shift-based time decreasing. The use of standard software and R^2-coefficient makes it possible to determine the linear character of increasing the coefficient of technological reliability of harvesters and of the operation time within the shift and its effects of the mean-time-between-failures of harvesters, as well as the curvelinear decrease in the number of technological mean-time-between-failures of harvester in the shift period of harvester units depending on the duration of the shift-based servicing of harvesters. When using the values of positive angular coefficients of predicted equalized straight lines, the author succeeds in determining the intensity of increasing the coefficient of the technological reliability and operation time and its effects on the technological mean-time-between-failures within the shift time depending on the duration of their shift-based servicing. The increase in this duration the number of the technological mean-time-between-failures of the harvester during the shift time of units results in the decrease according to the equation of the exponential function. On the basis of the joint solution of the approximating equations related to the change in the number of the technological mean-time-between-failures depending on the duration of shift-based servicing the minimum duration of this servicing is determined.

The prediction dependences obtained must be taken into account for developing the technical rules and regulations for servicing the promising models and samples of flax harvesters, as well as for using the up-to-date brands of these machines.

Key words: flax harvester, shift-based servicing, duration, technological reliability, correlation dependence, prediction.

А. С. Лімонт ORCID 0000-0002-3597-9365.