

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РЕЗЕРВУВАННЯ

Boyko A.I., Bondarenko A.V., Dumenko K.N.
Mykolayiv State Agrarian University, Ukraine

Krylova Street 17, Mykolayiv 54040, Ukraine

Анотація. Наведено результати теоретичних досліджень для комплексної оцінки загального стану і тенденцій змін надійної роботи кукурудозбиральних машин. Побудована стохастична модель станів і переходів підсистем при пасивному резервуванні.

Ключові слова: пасивне резервування, граф станів, інтенсивність відмов, інтенсивність відновлень.

ВСТУП

В аграрному секторі економіки України інтенсивними темпами відбувається процес деіндустріалізації виробництва, погіршується забезпеченість сільськогосподарських підприємств новою сучасною технікою, запасними частинами, паливо-мастильними матеріалами. Особливо важливо це при великому рівні зношеності машин. На теперішній час біля 85...95 % кукурудозбиральних комбайнів відпрацювали свій ресурс і підтримуються в роботоздатному стані в період збирання тільки за рахунок ремонтних робіт [2].

На теперішній час парк кукурудозбиральної техніки в сільськогосподарських підприємствах країни складається в основному з причіпних комбайнів ККП-3, самохідних КСКУ-6 та приставок ППК-4, КМД-6 (на 85 %) який вже морально і фізично застаріли. На сьогоднішній день темпи спрацьованості існуючого парку кукурудозбиральної техніки на порядок перевищують темпи її оновлення. Внаслідок цього значно збільшується сезонне навантаження на збиральну техніку в 5...7 разів, розтягуються строки їх експлуатації, що приводить у свою чергу до зростання тривалості збирання та приносить щорічні втрати врожаю до 650...800 тис. Парк кукурудозбиральних комбайнів за останні роки катастрофічно скоротився до критичної межі в 2,6 тис. штук [6, 7].

Якщо проаналізувати, в якому стані знаходиться зараз в Україні сільськогосподарське машинобудування, особливо це питання стосується збиральної техніки, її відповідність міжнародним вимогам якості, стандартизації і сертифікації, то можна побачити, що якість будь-якої машини або комбайна є ще дуже низькою. Як і в недалекому минулому так і зараз надійність і довговічність сучасних сільськогосподарських машин значно поступається світовим стандартам.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Надійність збиральної машини в значній мірі залежить від технологічного

процесу, закладеного в основу її розробки [3]. Прийняті в нашій країні технологічні схеми збирання кукурудзи основані на концентрації великої кількості операцій, викликаних необхідністю одночасного збору в процесі збирання двох видів продуктів (качанів і листостеблової маси). Тому вітчизняні кукурудозбиральні машини мають велику кількість механізмів, що підвищує ймовірність технічних відмов. Ці особливості обмежують можливість різкого підвищення продуктивності при збиранні кукурудзи.

Вирішуючи завдання підвищення надійності кукурудозбиральних машин, часто розглядають його надійність в цілому, що ускладнює відшукування прихованих резервів в окремих його механізмах. Для забезпечення необхідного рівня надійності всієї збиральної машини необхідне використання додаткових міроприємств у вигляді застосування необхідних технічних та організаційних робіт, ґрунтуючись на відповідних дослідженнях. Пошук технічних рішень, направлених на підвищення якісних показників роботи кукурудозбиральних машин та збільшення продуктивності в цілому, передбачає встановлення ряду додаткових робочих органів і пристроїв, що інтенсифікують проходження технологічного процесу. При цьому внесені доповнення в конструкції безумовно ускладнюють їх. На привід додаткових елементів витрачається частина потужностей, що збільшує енергоємність процесу, однак і продуктивність збиральних машин дещо збільшується. При цьому принципових успіхів на рівні досягнення компромісу між встановленням додаткових елементів, збільшенням енерговитрат і ускладненням конструкції, що знижує її надійність очікувати не доводиться [4]. За 20 років незалежності України не прийнято на виробництво жодного зразка кукурудозбирального комбайна або приставки, повністю відсутні, будь-які фундаментальні дослідження пов'язані з проблемою надійності даного виду техніки, майже зовсім відсутні нові оригінальні технічні рішення, які стосуються аналізуемого напрямку.

Деякі проблеми визначення функції готовності підсистем зернозбиральної техніки в умовах старіння та розвитку бази технічного обслуговування присвячено дослідження [1], де побудований відповідний граф і стохастична математична модель станів і переходів для систем "машина-технічне обслуговування". Але в даному дослідженні зовсім не приділено уваги ненавантаженому (холодному) резервуванню з метою забезпечення необхідного рівня надійності існуючого сучасного парку збиральних машин.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На сьогоднішній день в світовій практиці пасивне (холодне) резервування знаходить все більше поширення в забезпеченні необхідного рівня надійності сучасної сільськогосподарської техніки. Воно включає в себе необхідну номенклатуру і кількість деталей в запасні частини, ресурс яких менший за загальний ресурс машин. До цього виду резервування можна також віднести різні види регулювань, що передбачуються в конструкціях машин і обумовлюються внаслідок зношування деталей, вібрації, припрацювань, переточування тощо.

Таким чином, необхідність пасивного резервування продиктована природнім процесом експлуатації і втратою їх роботоздатності внаслідок правлення тих чи

інших видів пошкоджень. Однак відновлення роботоздатності машин залежить не тільки від конструктивно передбаченої їх ремонтпридатності і наявності запасних елементів, а також від технічного оснащення, використання передових методів діагностування, кваліфікації персоналу, бази ремонту і технічного обслуговування. Таким чином підтримка машин у роботоздатному стані є комплексне завдання, вирішення якого залежить не тільки від конструкцій машин, але також і від стану сфери ремонту і технічного обслуговування. В представленому зв'язку техніки і сфери її обслуговування може розглядатися як єдина система, функціонування якої є необхідною умовою досягнення необхідного рівня роботоздатності кукурудзозбиральної техніки.

В реальній експлуатації машини завжди старіють фізично – це обумовлено процесами зношування, втоми, корозії, забивання тощо. Проходження цих процесів неминуче приводить до зниження рівня роботоздатності, який може бути охарактеризований величиною інтенсивностей відмов. В той же час ремонтно-обслуговуюча база технічного сервісу машин може знаходитись в різних можливих станах від зменшення потенціалу і можливостей (старіння) до розвитку обумовленого впровадженням новітніх технологій і методик технічного обслуговування і ремонту.

Для комплексної оцінки стану і тенденцій змін в загальному рівні забезпечення надійної роботи машин, особливо сезонного призначення, необхідно розглянути цілісну систему "машина – технічне обслуговування" в динаміці зміни їх характеристик. Однією з поширених ситуацій еволюції розвитку представлені системи можуть бути події, коли при загальному природному старінні техніки ремонтна обслуговуюча база залишається на певному досягнутому рівні свого стану. Тоді в умовах наявності пасивних резервувань окремих вузлів і деталей граф станів і переходів такої системи може бути представленим наступною побудовою (рис. 1).

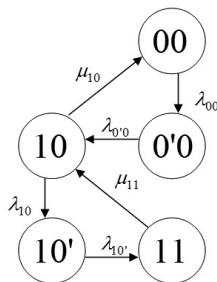


Рис. 1. Граф станів і переходів системи при пасивному резервуванні, старіючій техніці і незмінному рівні сфери технічного обслуговування

Fig. 1. Graph states and transitions of the passive reservation, aging techniques and constant field maintenance

Дана система починає працювати з роботоздатного стану "00", поки основний елемент, який включений в роботу та додатковий (резервний) є справними. В процесі експлуатації навантажений включений елемент може відмовити і тоді елемент переходить в стан "10". Він характеризується тим, що перший (основний) елемент відмовив, а другий (резервний) справний і вся система залишається роботоздатною. Однак такий перехід можливий через проміжний стан "0'0", який штучно вводиться в опис системи, як фіктивний для спрощення вирішення завдання математичної формалізації роботи системи коли інтенсивності її переходів із стану в стан є величинами змінними [y].

Із стану "10", коли система може працювати тільки на резервному елементі вона перейде в стан повної відмови "11", через другий проміжний стан "10'". В результаті дій по відновленню елементів системи з нероботоздатного стану "11" переходить в роботоздатний "10" при відновленні одного з елементів, або в повністю роботоздатний початковий "00" при відновленні обох елементів (основного і резервного).

На представленому графі стрілками показані можливі переходи, які відбуваються з інтенсивностями λ_i і μ_i . Причому λ_i – характеристики є інтенсивностями відмов, а μ_i – характеристики інтенсивностями відновлень.

Таким чином система при пасивному резервуванні має два роботоздатних стани "00" і "10" і один нероботоздатний "11", що характеризує її відмову.

Поведінка досліджуємої системи може бути описана аналітично за допомогою відповідної системи диференціальних рівнянь. Невідомими в цих рівняннях є ймовірності знаходження системи в тому чи іншому стані, а переходи із стану в стан відбуваються під дією потоків подій зв'язаних з відмовами і відновленнями елементів. Особливістю даного опису є те, що інтенсивності втрати роботоздатності не є величинами постійними. Вони змінюються в часі або наробітки внаслідок старіння технічної підсистеми. Саме тому для вирішення поставленого завдання вводиться два проміжних фіктивних стани, які дають можливість розглядати потоки подій як проміжні і застосовують для складання і вирішення рівнянь відповідний математичний апарат.

Система рівнянь динамічного балансу ймовірностей (рівнянь Колмогорова), що відповідає системі з пасивним ненавантаженим резервуванням і графу станів і переходів представлено на рис. 1 записується наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} P_{00}(t) = -\lambda_{0'0} P_{00}(t) + \mu_{10'} P_{10}(t); \\ \frac{d}{dt} P_{0'0}(t) = +\lambda_{0'0} P_{00}(t) + \mu_{10'} P_{0'0}(t); \\ \frac{d}{dt} P_{10}(t) = +\lambda_{0'0} P_{0'0}(t) + \mu_{11'} P_{11}(t) - \mu_{1'0} P_{10}(t) - \lambda_{1'0} P_{10}(t); \\ \frac{d}{dt} P_{10'}(t) = -\lambda_{1'0} P_{10}(t) - \lambda_{1'0'} P_{10'}(t); \\ \frac{d}{dt} P_{11}(t) = -\lambda_{1'0'} P_{10'}(t) + \mu_{11'} P_{11}(t). \end{cases} \quad (1)$$

Нормованою умовою до представленої системи є рівність:

$$P_{00}(t) + P_{0'0}(t) + P_{10}(t) + P_{10'}(t) + P_{11}(t) = 1 \quad (2)$$

Правомірно допустити, що система починає свою роботу з роботоздатного стану, коли всі елементи справні. Тоді за початкову умову можна прийняти наступні рівності ймовірності станів:

$$P_{00}(t) = 1; P_{0'0}(t) = 0; P_{10}(t) = 0; P_{10'}(t) = 0; P_{11}(t) = 0. \quad (3)$$

Для спрощення подальшого вирішення системи диференціальних рівнянь представимо її в перетвореннях Лапласа:

$$\begin{cases} S\varphi_{00}(S) = -\lambda_{00'}\varphi_{00}(S) + \mu_{10}\varphi_{10}(S) + 1; \\ S\varphi_{0'0}(S) = \lambda_{00'}\varphi_{00}(S) + \lambda_{0'0}\varphi_{0'0}(S); \\ S\varphi_{10}(S) = \lambda_{0'0}\varphi_{0'0}(S) + \mu_{11}\varphi_{11}(S) - \mu_{10}\varphi_{10}(S) - \lambda_{10}\varphi_{10}(S); \\ S\varphi_{10'}(S) = \lambda_{10'}\varphi_{10}(S) + \lambda_{10'}\varphi_{10'}(S); \\ S\varphi_{11}(S) = \lambda_{10'}\varphi_{10'}(S) + \mu_{11}\varphi_{11}(S). \end{cases} \quad (4)$$

Нормуюча умова (2) в перетвореннях Лапласа представляється виразом:

$$\varphi_{00}(S) + \varphi_{0'0}(S) + \varphi_{10}(S) + \varphi_{10'}(S) + \varphi_{11}(S) = \frac{1}{S} \quad (5)$$

або

$$S\varphi_{00}(S) + S\varphi_{0'0}(S) + S\varphi_{10}(S) + S\varphi_{10'}(S) + S\varphi_{11}(S) = 1 \quad (6)$$

Введемо в третє рівняння системи (4) замість $S\varphi_{10'}(S)$ його значення з нормованої умови (6). Тоді система рівнянь перетвориться до наступного вигляду:

$$\begin{cases} S\varphi_{00}(S) = -\lambda_{00'}\varphi_{00}(S) + \mu_{10}\varphi_{10}(S) + 1; \\ S\varphi_{0'0}(S) = \lambda_{00'}\varphi_{00}(S) + \lambda_{0'0}\varphi_{0'0}(S); \\ S\varphi_{10}(S) = 1 - S\varphi_{00}(S) - S\varphi_{0'0}(S) - S\varphi_{10'}(S) - S\varphi_{11}(S); \\ S\varphi_{10'}(S) = \lambda_{10'}\varphi_{10}(S) + \lambda_{10'}\varphi_{10'}(S); \\ S\varphi_{11}(S) = \lambda_{10'}\varphi_{10'}(S) + \mu_{11}\varphi_{11}(S). \end{cases}$$

Внаслідок групування членів і перетворень система рівнянь набуває вигляду:

$$\begin{cases} (S + \lambda_{00'})\varphi_{00}(S) - \mu_{10}\varphi_{10}(S) = 1; \\ (S + \lambda_{0'0})\varphi_{0'0}(S) - \lambda_{00'}\varphi_{00}(S) = 0; \\ S\varphi_{10}(S) + S\varphi_{00}(S) + S\varphi_{0'0}(S) + S\varphi_{10'}(S) + S\varphi_{11}(S) = 1; \\ (S + \lambda_{10'})\varphi_{10'}(S) - \lambda_{10'}\varphi_{10}(S) = 0; \\ (S + \mu_{11})\varphi_{11}(S) - \lambda_{10'}\varphi_{10'}(S) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Завданням даного дослідження є встановлення невідомих, якими є ймовірності характеристик станів системи. Через їх визначення відкривається можливість виявлення основних показників надійності і зміни їх в процесі експлуатації технічних систем, якими є кукурудзозбиральні комбайни.

Згідно правила Крамера ймовірності станів для розглядуємих систем можуть бути визначені як відношення:

$$\varphi(S)_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}, \quad (8)$$

де: Δ_i – визначник (детермінант) системи рівнянь (7) для її невідомої,

Δ – визначник системи рівнянь (7).

Таким чином на початку дослідження доцільно встановити знаменник виразу (8).

Розширеним визначником отриманої системи рівнянь (7) є:

$$\Delta = \begin{vmatrix} S + \lambda_{00} & 0 & -\mu_{10} & 0 & 0 \\ -\lambda_{00} & S + \lambda_{0'0} & 0 & 0 & 0 \\ S & S & S & S & S \\ 0 & 0 & -\lambda_{10} & S + \lambda_{00'} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_{10'} & S + \mu_{11} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (9)$$

Після перетворень та переходу до третього рангу скорочено можна записати:

$$\Delta^{(1)} = (S + \lambda_{00'}) \Delta^{(1,1)}$$

$$\Delta^{(3)} = -\lambda_{00} \Delta^{(3,1)} - (S + \lambda_{0'0}) \Delta^{(3,2)}$$

Отримані матриці третього рангу $\Delta^{(1,1)}$ і $\Delta^{(3,2)}$ допускають вирішення згідно правила Саррюса маємо:

$$\Delta^{(1,1)} = \begin{vmatrix} S & S & S \\ -\lambda_{10} & S + \lambda_{10'} & 0 \\ 0 & -\lambda_{10'} & S + \mu_{11} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} S & S \\ -\lambda_{10} & S + \lambda_{10'} \\ 0 & -\lambda_{10'} \end{vmatrix} = S(S + \lambda_{10'}) (S + \mu_{11}) +$$

$$+ S(-\lambda_{10})(-\lambda_{10'}) - (S + \mu_{11})(-\lambda_{10})S = S(S + \lambda_{10'})(S + \mu_{11}) + S\lambda_{10}\lambda_{10'} + (S + \mu_{11})\lambda_{10}S.$$

Таким чином усі компоненти, що задають матрицю Δ визначені. Підставляючи складові та виконуючи перетворення скорочено можна записати:

$$\Delta = aS^5 + bS^4 + cS^3 + dS^2 + eS. \quad (10)$$

Подальші зворотні перетворення Лапласа передбачають розкладення багаточлену (10) на множники. Для виконання цієї операції перепишемо (10) у вигляді рівняння п'ятого ступеня:

$$aS^5 + bS^4 + cS^3 + dS^2 + eS = 0 \quad (10^a)$$

$$S(aS^4 + bS^3 + cS^2 + dS + e) = 0.$$

Отримане рівняння розпадається на два. Корінь перший з них дорівнює $S_1 = 0$. Для знаходження інших коренів необхідно вирішити рівняння четвертого ступеня:

$$aS^4 + bS^3 + cS^2 + dS + e = 0. \quad (11)$$

Воно допускає аналітичне розв'язання відносно невідомої S . Згідно (11) корені співпадають з коренями 2^x квадратних рівнянь виду:

$$S^2 + (b + A) \frac{S}{2} + \left(y + \frac{by - d}{A} \right) = 0, \quad (12)$$

$$\text{де } A = \pm\sqrt{8y + b^2 - 4c},$$

у – любий дійсний корінь додаткового кубічного рівняння:

$$8y^3 - 4cy^2 + (2bd - 8e)y + e(4c - b^2) - d^2 = 0 \quad (13)$$

Вирішуючи дане рівняння, після перетворень, отримаємо:

$$\Delta = (S - S_1)(S - S_2)(S - S_3)(S - S_4)(S - S_5).$$

Аналізуючи отриманий результат, виходячи з зворотних підстановок $\alpha, \beta \rightarrow a, b, c, z, d, e \rightarrow \mu_{ij}, \lambda_{ij}$, можна стверджувати, що значення коренів визначаються величини інтенсивності відмов і відновлень (λ, μ) . При цьому коефіцієнт (b) вміщує λ і μ в першому ступені, (c) – в другому, а (d) – в третьому. Тобто порядок значення коефіцієнтів у рішеннях рівнянь S_i слід вважати близьким до порядку величин λ, μ – характеристик. Це важливий результат для визначення можливостей спрощення виразів без суттєвої втрати точності отримуваних результатів в практиці аналізу надійності розглядуваних пасивно резервуємих систем.

Однак слід зауважити, що крім робото здатного стану "00" в розглядує мій системі з пасивним не навантаженим резервуванням є ще один робото здатний стан "10". Він відповідає ситуації, коли перший робочий елемент системи відмовив, а другий вступив замість нього в роботу і в цілому система продовжує експлуатуватися. Це потребує відповідних врахувань при визначенні загальних комплексних показників надійності. Тому для їх визначення необхідно розглянути і другий робото здатний стан "10" системи.

Враховуючи, що робото здатними станами є два стани розглядуємої системи "00" і "10", які і визначають готовність її до роботи в загальному функція готовності дорівнює сумі ймовірностей знаходження системи в цих станах. Тоді можна записати:

$$K_r(t) = P_{00}(t) + P_{10}(t). \quad (14)$$

На підставі (14) функція готовності $K_r(t)$ представляється сумою:

$$K_r(t) = \exp(-S_4 t) \left(D_{00} + D_{10} + \exp(-S_5 t) (E_{00} + E_{10}) - \frac{1}{S_4 S_5} \left[L - \frac{2}{3} (\lambda_{00} \lambda_{10} + \lambda_{00} \mu_{11} + \lambda_{00} \lambda_{10}) \right] \right). \quad (15)$$

Таким чином отримана функція готовності пасивно резервуємих систем в умовах старіння механічних систем кукурудзозбиральних машин. Фізично вона відображує динаміку зміни ймовірності безвідмовної роботи системи при поступовому накопиченні пошкоджень.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених теоретичних досліджень отримана функція готовності систем з ненавантаженим пасивним резервуванням в умовах старіння механічних систем кукурудзозбиральних машин, що в свою чергу дає можливість оцінити з позиції надійності складну ситуацію, яка склалася останнім часом при експлуатації

кукурудозбиральної техніки, а також вирішити важливе першочергове завдання з прогнозування надійної, безвідмовної роботи старіючої техніки під час проведення збиральних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко А.І. Дослідження функції готовності механічних систем при накопичуванні пошкоджень / А.І. Бойко, К.М. Думенко // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: збірник наукових праць ДНУ. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2010. — Вип.14. — С. 72-78.
2. Погорілий Л.В. Зернозбиральна техніка: проблеми, альтернативи, прогноз / Л.В. Погорілий, С.М. Коваль // Техніка АПК. — 2003. — № 7. — С.4—7.
3. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем / И.А. Ушаков. — М.: Дрофа, 2008. — 239 с.
4. Некипоренко В.И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность) / В.И. Некипоренко. — М. : Советское радио, 1977. — 214 с.
5. Войтюк В. Вплив строків експлуатації на модель зміни працездатності зернозбиральних комбайнів / В. Войтюк, А. Демко, С. Демко // Техніка АПК. — 2005. — № 8. — С. 14—18.
6. Статистичний щорічник України за 2010 рік. Державний комітет статистики України / За ред. О.Г. Осаулєнка. — К.: Видавництво «Консультант», 2011. — 585 с.
7. Тихоненко О.В. Забезпеченість сільського господарства зернозбиральною технікою як запорука ефективності зернового господарства / О. В. Тихоненко // Економіка АПК. — 2008. — № 7. — С. 36—41.
8. Кузьмин В.В. Фундаментальные особенности процесса резания пищевых продуктов лезвийным инструментом / В.В. Кузьмин, В.В. Пелєнко // Межвузовский сборник научных трудов «Теория и практика разработки и эксплуатации пищевого оборудования». — СПбГУНиПТ 2007 — С. 56.
9. Доспєхов Б.А. Методика полевого опыта. — М.: Агропромиздат, 1985.
10. Бутєнин, Н.В. Курс теоретической механики / Н.В. Бутєнин, Я.Л. Луш, Д.Р. Меркин. Т. 2. — М.: Наука, 1985.
11. Шатилов К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орєхов и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1981. — 224 с.
12. Красниченко А.В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / А.В. Красниченко. — М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. — 860 с.
13. Ярцева М.Б. Методика математического планирования эксперимента / М.Б. Ярцева. — М. : Наука, 1973. — 140 с.
14. Трєтяк Л.Н. Обработка результатов наблюдений: учебное пособие / Л.Н. Трєтяк. — Оренбург: ГОУ УГО, 2004. — 171 с.
15. Гребєнюк Г.І. Енергетична оцінка та шляхи зниження енергомісткості робочих органів кукурудозбиральних машин // Вісник аграрної науки Причорномор'я. — Вип. 3. — 1998. — с. 126—130.

THEORETICAL STUDY OF RELIABILITY ENGINEERING IN USE MAIZE RESERVATION

Summary. The results of theoretical researches are resulted for the complex estimation of the common state and tendencies of changes of reliable work of machines for collection of corn. The stochastic model of the states and transitions of subsystems is built at the passive reserving.

Key words: Graph states, resulted, stochastic model.