

УДК 629.144.2.004.5

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ РОБОТОЗДАТНОСТІ ТА ОБГРУНТУВАННІ СКЛАДУ ЗБИРАЛЬНИХ МАШИННО-ТРАНСПОРТНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**Д. П. Домуші, О.С. Яворський, А.В. Остапенко**

*Одеський державний аграрний університет,*

**Ю.І. Єнакієв**

*Інститут дослідження ґрунту, аграрних технологій та захисту рослин  
"Н. Пушкарів", Софія, Болгарія*

*В дослідженнях наведені методика і результати технічного та технологічного забезпечення роботоздатності збиральної техніки, обґрунтування термінів проведення збиральних робіт з допустимими втратами урожаю, оптимізації структури та складу технологічних і транспортних ланок збиральних комплексів. Основним критерієм оцінки ефективності функціонування комплексів прийнятий мінімум сумарних енерговитрат на збирання одиниці площі.*

**Ключові слова:** енергозбереження, збирання зернових, комбайн, транспортний засіб, машинно-транспортний комплекс, робото здатність, ймовірний стан, обґрунтування складу, модель.

**Вступ.** Ресурсозбереження при виконанні збиральних робіт можливо забезпечити шляхом забезпечення оптимальної тривалість збирання зернових культур, яка залежить від наявності, технічного стану й робото здатності збиральної техніки, транспортних засобів, організації роботи збиральних машинно-транспортних комплексів, погодних умов й інших факторів.

**Проблема.** Збирання всіх площ зернових культур в господарствах не можна здійснити за короткий період повного досягання із-за обмежень продуктивності збиральної техніки. Тому збирання приходить починати до наступу повного досягання і закінчувати після його.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** При аналізі наукових досліджень та розробок з технічного та технологічного забезпечення робото здатності техніки збиральних машинно-транспортних комплексів, методів оптимізації технологічних процесів збирання, структури та складу збиральної техніки, виявлено, що існуючі наукові розробки присвячені в основному рішення окремих задач без врахування взаємозв'язку системи технічного та технологічного обслуговування, процесу збирання зернових культур та природно-виробничих умов. Дослідження надійності та робото здатності техніки збиральних машинно-транспортних комплексів при експлуатації розглядається в багатьох дослідженнях [1,2,3] та ін.. В даних дослідженнях вказуються, що час роботи машин має імовірний характер не тільки між імовірними відмовами, але і між плановими технічними обслуговуваннями та ремонтами. Проблеми організації технологічного та технічного обслуговування та ремонту техніки складних сіль-

ськогосподарських машин приділяється велика увага також в економічно розвинутих країнах [5,6]. Технічне та технологічне обслуговування комбайнів, транспортних засобів, здійснюються фермерами або в ремонтних майстернях. Ремонт комбайнів, транспортних засобів виконують фермери, дилери та фірми-виробники. У США і ряді європейських країн зростають обсяги обслуговуючих та ремонтних робіт, що виконуються на фермах [6].

**Мета досліджень.** Зменшення витрат ресурсів підвищенням робото здатності зернозбиральної техніки - комбайнів та транспортних засобів за рахунок зменшення часу простоїв з технічних та технологічних причин з обґрунтуванням структури та складу збиральних машинно-транспортних комплексів із урахуванням перебування техніки у різних станах.

**Результати досліджень.** При дослідженні роботи зернозбиральної техніки - комбайнів та транспортних засобів тривалість збирання зернових визначаємо критерієм мінімуму збитків. Втрати урожаю до повного досягання  $B_{y1}$  і після його  $B_{y2}$  визначаємо з виразів:

$$B_{y1} = K_1 Y_p \int_0^{S_0} \left( \frac{1}{W_d} - \frac{1}{G_o} \right) dS.; \quad B_{y2} = K_2 Y_p \int_0^{S-S_0} \left( \frac{1}{W_d} - \frac{1}{G_o} \right) dS.; \quad (1)$$

де  $S_d$  - площа, на якій урожай збирається до повного досягання та визначається за умов  $dB/dS = 0$ .

Сумарні втрати врожаю зернових із-за відхилення термінів збирання від моменту повного досягання складають:

$$B_{сум} = B_1 + B_2 = \frac{Y_p K_2 S^2}{2} \left( \frac{1}{W_c} - \frac{1}{G_o} \right) \cdot C, \quad (2)$$

де  $C = 1 + \frac{K_1 K_2}{(K_1 + K_2)^2} - \frac{2K_2}{K_1 + K_2} + \frac{K_2^2}{(K_1 + K_2)^2}$ ,  $Y_p$  - найбільша урожай-

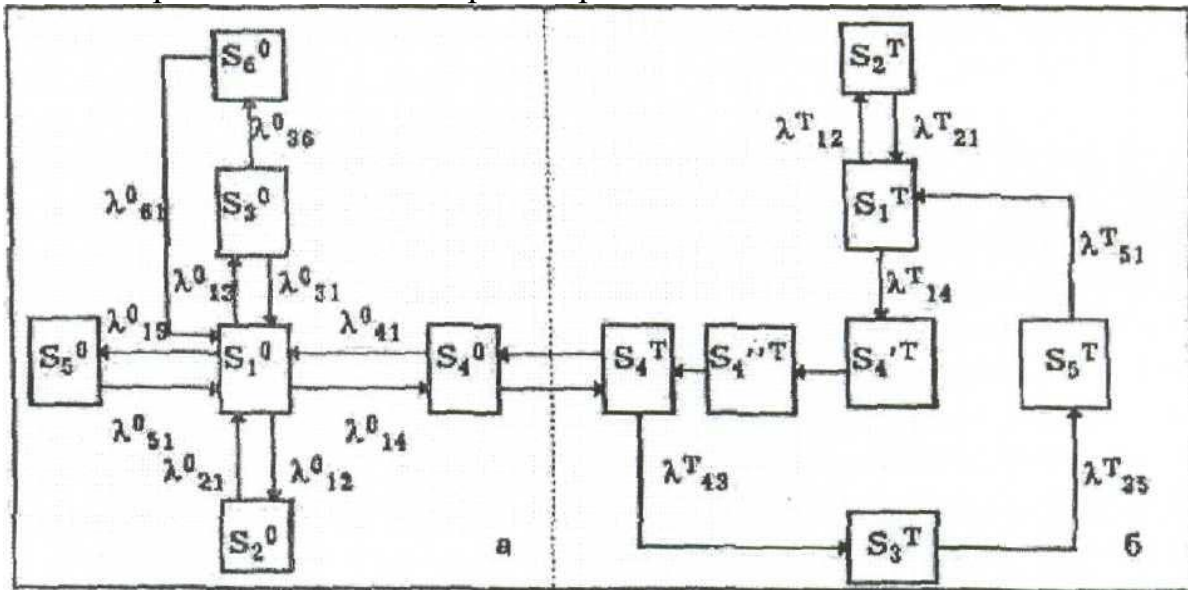
ність при повному досягання зернових т/га;  $K_1, K_2$  - інтенсивність втрат урожаю до наступу повного досягання та після його, діб<sup>-1</sup>;  $S$ - площа, на якій проводиться збирання, га;  $W_d$  - добова продуктивність комбайнів, га/добу;  $G_o$  - темп настання готовності полів до збирання, га/добу.

Добовий темп проведення збиральних робіт при допустимій величині втрат урожаю  $[B]$  повинен бути рівним:

$$W_d = \frac{0,5K_2SG_oC}{G_o[B] + 0,5K_2SC}, \quad (3)$$

За допомогою величини  $W_d$  знаходимо число комбайнів постійно перебуваючих в стані роботи, як відношення  $W_d$  та годинної продуктивності комбайна на протязі часу чистої праці за зміну. Структура та склад збиральних машинно-транспортних комплексів визначаємо з врахуванням знаходження комбайнів та транспортних засобів в різному стані в період праці. Збирально-транспортний процес з причин дії різних факторів є випадковим в ймовірному чи статистичному розумінні і розглядається як замкнена сіть ланцюгів Маркова. Потік вимог

при взаємодії утворюють і комбайни і транспортні засоби. Переходи комбайнів і транспортних засобів від стану до стану наведені на рисунку 1 у вигляді графа стана збиральних машинно-транспортних комплексів - ЗМТК.



**Рис. 1.** Граф стану ЗМТК : а) підграф стану комбайнів; б) підграф стану ТЗ.

В розрахункову модель введені слідуєчи стани комбайнів і транспортних засобів - ТЗ:  $S_1$  - робота комбайна (ТЗ) в загоні ( їздки без вантажу);  $S_2$  - простої комбайна (ТЗ) з причини технічного відказу;  $S_3$  - комбайн (ТЗ) виконує повороти (їздки з вантажем);  $S_4$  - знаходження комбайна (ТЗ) в стані технологічного обслуговування;  $S_4^T, S_4''^T$  - стан ТЗ при технологічному обслуговуванні його декількома комбайнами почергово до повного задоволення його можливостей (місткість кузова);  $S_5$  - простої комбайна (ТЗ) із-за технологічного відказу (із-за розвантаження);  $S_6$  - комбайн виконує технологічні переїзди. Ймовірність знаходження комбайнів і ТЗ в кожному стані визначаємо шляхом дослідження системи диференційних рівнянь Колмогорова:

$$\frac{dm_1}{dt} = \lambda_{21}m_2 + \lambda_{31}m_3 + \lambda_{41}m_4 + \lambda_{51}m_5 + \lambda_{61}m_6 - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15})R(m_1)$$

$$\frac{dm_2}{dt} = \lambda_{12}R(m_1) - \lambda_{21}m_2; \frac{dm_3}{dt} = \lambda_{13}R(m_1) - (\lambda_{31} + \lambda_{36})m_3; \quad (4)$$

$$\frac{dm_4}{dt} = \lambda_{14}R(m_1) - \begin{cases} \lambda_{41}m_4; \text{ nпу} & m_4 \leq m_4^T \\ \lambda_{41}m_4^T; \text{ nпу} & m_4^T m_0 > m_4 > m_4^T \end{cases}; \frac{dm_5}{dt} = \lambda_{15}R(m_1) - \lambda_{51}m_5; \frac{dm_6}{dt} = \lambda_{36}m_3 - \lambda_{61}m_6;$$

$$\frac{dm_1^T}{dt} = \lambda_{21}^T m_2^T + \lambda_{51}^T m_5^T - (\lambda_{12}^T + \lambda_{14}^T) m_1^T; \frac{dm_2^T}{dt} = \lambda_{12}^T R(m_1^T) - \lambda_{21}^T m_2^T; \frac{dm_3^T}{dt} = \lambda_{43}^T m_4^T - \lambda_{35}^T m_3^T;$$

$$\frac{dm_4^T}{dt} = \lambda_{14}^T R(m_1^T) - \lambda_{43}^T m_4^T; \frac{dm_5^T}{dt} = \lambda_{35}^T m_3^T - \lambda_{51}^T m_5^T;$$

де  $m_{i(j)}, m^T_{i(j)}$  - число комбайнів і транспортних засобів в  $i$ -му і  $j$ -му стані,  $\lambda_{ji} m_j, \lambda_{ij} m_i$  - інтенсивність переходу із  $j$ -го стану в  $i$ -й стан і навпаки.

З урахуванням виробничих нормувальних умов ( $\sum P_i = 1$ ) визнаємо склад комбайнового і транспортних ланок як

$$\begin{aligned}
 N^0 &= \sum m_i \text{ и } N^T = \sum m_i^T: \\
 m_2 &= \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{21}} m_1; m_3 = \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{31} + \lambda_{36}} m_1; m_4 = \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{41}} m_1; \\
 m_5 &= \frac{\lambda_{15}}{\lambda_{51}} m_1; m_6 = \frac{\lambda_{36}\lambda_{13}}{\lambda_{61}(\lambda_{31} + \lambda_{36})} m_1; \\
 m_2^T &= \frac{\lambda_{12}^T}{\lambda_{21}^T} m_1^T; m_3^T = \frac{\lambda_{43}^T \lambda_{14}^T m_1^T}{\lambda_{35}^T \lambda_{43}^T}; m_4^T = \frac{\lambda_{14}^T}{\lambda_{43}^T} m_1^T; \\
 m_5^T &= \frac{\lambda_{35}^T \lambda_{43}^T \lambda_{14}^T}{\lambda_{51}^T \lambda_{35}^T \lambda_{43}^T} m_1^T.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Визначення складу та структури збиральних машинно-транспортних комплексів за схемою ймовірних процесів Маркова і динаміки середніх дозволяє врахувати ймовірний характер умов експлуатації комплексів. Для виконання збиральних робіт в оптимальні агротехнічні терміни необхідно проводити ремонтно-технічне обслуговування (РТО) та резервування системи. При виході з ладу якогось комбайна його відправляють до ремонту. При наявності готового резервного комбайна  $X_p$ , комбайн, який відмовив замінюється і ЗМТК продовжує працювати без втрат продуктивності. Для такого стану система диференціальних рівнянь в сталому режимі може бути представлено системою алгебраїчних рівнянь:  $(m + \alpha x)\lambda P_0 = \mu P_1$ ;

$$[(m + \alpha(x - i))\lambda + i\mu]P_i = (i + 1)\mu P_{i+1} + (m + \lambda(x - i + 1))\lambda P_{i-1}; \quad (i = 1, 2, \dots, r) \tag{6}$$

$$[(m + \alpha(x - i))\lambda + r\mu]P_i = r\mu P_{i+1} + (m + \alpha(x - i + 1))\lambda P_{i-1}; \quad (x + 1 > i > r)$$

$$r\mu P_{x+1} = m\lambda P_x.$$

Рішаючи рівняння знаходимо ймовірність перебування системи  $P_i$ , в кожному з станів ( $i = m + 1$ ) з врахуванням надійності резервного комбайна ( $\alpha$ ). Знання  $P_i$  дозволяє оцінити завантаження постів РТО та їх раціональне число ( $r$ ) з тим, щоб комбайни при очікуванні ремонту не простоювали більш допустимої величини. Ефективність функціонування ЗМТК при холодному резервуванні [2] визначається показником  $P_{ef}$ :

$$P_{ef} = \frac{\exp\left\{-\frac{t_{pu}}{t_o}\left[1 - A(1 - \beta)\frac{t_{1n}}{rt_{no}}\right]\right\}}{\left(1 + \frac{t_{nu}}{t_{pu}}\right)\left\{1 + \frac{t_e}{t_o}\left[1 - A(1 - \beta)\frac{t_{1n}}{rt_{no}}\right]\left[\Delta V + (1 - \Delta V)\exp\left(-\frac{t_{nu}}{t_o}\right)\right]\right\}}. \tag{7}$$

Показник  $P_{ef}$  представлено параметрами надійності комбайнів: ( $t_o$ - наробіток на відмову, год.,  $t_b$  - середній час відновлення працездатного стану, год.,  $d = A(1 - \beta)$  - коефіцієнт, який характеризує запобігання відмови); параметрами системи експлуатації ( $r$ -число постів РТО,  $t_{no}$ ,  $t_{1n}$ - час проведення профілактичних обслуговувань ланкою та одним робітником, відповідно,

$t_{\text{шц}} / t_{\text{рц}}$  - співвідношення між тривалістю підготовчого та робочого циклів). За моделями (6) і (7) проводиться обґрунтування необхідного числа  $X_p$  і способу РТО, які забезпечують вимогу значення ймовірності безвідмовної роботи збиральних машин. Оцінка ефективності експлуатаційного забезпечення надійності функціонування ЗМТК з врахуванням відновлення та резервування проводиться за технічними, енергетичними та екологічними показниками. До технічних показників відносять параметри: продуктивність і надійність праці ЗМТК. Основним критерієм оцінки ефективності функціонування системи з врахуванням результатів досліджень [4] прийнятий мінімум сумарних енерговитрат на збирання одиниці площі:

$$\sum E = \frac{\left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l x_{ijk} E_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l x_{ijk} E_{жк} + \sum_{l=1}^t x_{ijk} Q_n E_b \right]}{\Omega} \rightarrow \min \quad (8)$$

де  $X_{ijk}$  - обсяг роботи, виконуємий усіма засобами і -го типу на j -му виробничому процесі в k -й період, га;  $E_{ij}$  - сукупні витрати енергії засобами і -го типу на j -му процесі, Мдж/га;  $E_{жк}$  - витрати живої праці, Мдж/га;  $Q_n$  - норма витрати палива на одиницю площі, кг/га;  $E_b$  - енергетичний еквівалент палива, МДж/кг;  $\Omega$  - обсяг виконуємих робіт, га.

За мінімумом цільової функції (8) при допустимих втратах урожаю визначаємо оптимальну структуру та склад збиральних машинно-транспортних комплексів, спосіб організації ремонтно-технічного обслуговування та резервування в різних умовах.

**Висновки.** 1. Існуючі методи організації технологічного процесу збирання зернових культур не забезпечують вимагаємого рівня безвідмовної роботи техніки збиральних машинно-транспортних комплексів, що сприяє збільшенню матеріальних, грошових та енергетичних витрат. 2. Розроблена модель оптимізації енергетичних витрат при технологічному та технічному забезпечення роботоздатності техніки збиральних машинно-транспортних комплексів, яка дозволяє: оптимізувати структуру та склад збиральних машин та транспортних засобів з урахуванням ймовірного характеру їх взаємодії; обґрунтувати методи організації ремонтно-технічного обслуговування збиральних машин з визначенням раціональних варіантів резервування техніки та запасних частин. 3. При реалізації запропонованої моделі енергозбереження при експлуатаційному забезпеченні роботи здатності зернозбиральних комбайнів та транспортних засобів - простої техніки скорочуються на 25-30%, приведені затрати коштів на збирання зерна з одного гектара і скорочення терміну збирання знижуються на 10-12%, а економія енергії досягає від 950 до 1050 МДж/т.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Анилович В. Я., Карпов В. Г. Обеспечение надежности сельскохозяйственной техники. - Киев: Техника, 1989. - 125 с.

2. Артемьев Ю. Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве.- Москва: Колос, 1981. - 239 с.
3. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
4. Домуці Д. П., Єнакієв Ю.І. Обґрунтування експлуатаційного забезпечення працездатності збиральних технологічних комплексів //Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. пр. Одеського ДАУ/ Технічні науки. – Одеса: ОДАУ, 2016- №80 . – С.46-51.
5. Баутін В.М., Аронов Е.Л. Організаційно-економічні аспекти технічного обслуговування фермерських господарств США: Обзорн. інф./ ВНПТЕІагропром.-М .: 1991. - 57с .
6. Methodes modernes d'organisation de la maintenance de l'entretien et de la reparation des machines dans les grandes entreprises agricoles: Rapport № 118 / AGRI / МЕСН - Neu Jork: Nations Unies, 1987. - 27 p.

### **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ОБОСНОВАНИИ СОСТАВА УБОРОЧНЫХ МАШИННО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Домуци Д.А., Яворський О.С, Остапенко А.В., Єнакієв Ю.І.

**Ключевые слова:** энергосбережение, сбор зерновых, комбайн, транспортное средство, машинно-транспортный комплекс, работоспособность, вероятное состояние, обоснование состава, модель.

#### **Резюме**

*В исследованиях приведены методика и результаты технического и технологического обеспечения работоспособности уборочной техники, обоснования сроков проведения уборочных работ с допустимыми потерями урожая, оптимизации структуры и состава технологических и транспортных звеньев уборочных комплексов. Основным критерием оценки эффективности функционирования комплексов принят минимум суммарных затрат энергии на уборку единицы площади.*

### **ENERGY-SAVINGS AT PROVIDING OF CAPACITY AND GROUND OF COMPOSITION OF HARVEST MACHINE-TRANSPORT COMPLEXES**

Domuschy D.P., Yvorskyi O.S., Ostapenko A.V., Enakiev Y.I.

**Key words:** energy-savings, collection of grain-growing, combine, transport vehicle, machine-transport complex, capacity, credible state, ground of composition, model.

#### **Summary**

*To researches methodology and results are driven technical and technological providing of capacity of harvest technique, grounds of terms of realization of harvest works with the possible losses of harvest, optimization of structure and composition of technological and transport links harvest complexes. The basic criterion of estimation of efficiency of functioning of complexes is accept a minimum of total expenses of energy on cleaning up of unit of area.*