

7. Lysych M.N. Using CAD to support the design and strength parameters of tillers / M.N. Lysych, M.L. Shabanov, P.V. Zakharov // Modern problems of science and education. - 2013. - № 48. - S. 16-26.

8. Lysych M.N. The simulation of the operation of the cultivator when encountering an obstacle / M.N. Lysych, P.V. Zakharov // Bulletin of the Saratov State Agrarian University. – Saratov, 2011. – № 3. – S. 32-36.

9. Magomedov A.A. Integrated finite element analysis in KOMPAS-3D / A.A. Magomedov, A.A. Alekhin // CAD/CAM/CAE Observer N 8 (60). – 2010. – S.73-78.

10. Zamriy A.A. Designing and calculating using the finite elements analysis method in APM Structure 3D environment - M.: APM, 2010.- 376 s.

ENGINEERING ANALYSIS OF THE PARTS OF AGRICULTURAL MACHINES USING MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

Vyhvatniuk R.V.

Summary

The advantages of engineering analysis systems when designing agricultural machines are considered in the article. A stressed-strained cultivator post state has been conducted by means of engineering analysis, implemented in ARM FEM module being integrated into the CAD KOMPAS-3D automated designing system, using the finite element method. The influence of elements type - 4-node or 10-node tetrahedral and having the maximum length of the element was considered. The results of modeling the load and strain rack cultivator - in particular, the dependence of the maximum equivalent stress and maximum values of total linear movement in the model depending on the angle of application of force and its magnitude. The conclusion has been made that a wide range of opportunities offered by CAD KOMPAS-3D with built-in module ARM FEM, can significantly improve the quality of the design of agricultural machines and decrease time spent for their designing.

Key words: engineering analysis system, finite elements method, cultivator, post, simulation, load.

УДК 631.348

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ НАДІЙНИСНОЇ СТРУКТУРИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Войтік А.В., к.т.н., доц.,*

Невзоров А.В., к.т.н., доц.,

Дідур В.В., к.т.н.

Уманський національний університет садівництва

м. Умань, Україна

Тел.: +380683511797

e-mail: 2andrey2@ua.fm

* Публікується по рекомендації: акад. МААО, д.т.н., проф. Дідур В.А.

Анотація. У статті наведена методика раціонального розрахунку та підбору надійнішої структурної схеми зразка сільськогосподарської техніки на прикладі трактора Т-150 як на стадіях виробництва та і експлуатації з використанням методу врівноваження чутливостей системи за його структурними елементами. Метою даного дослідження є рекомендації з підвищення показників надійності певних елементів зразка сільськогосподарської техніки (на прикладі трактора Т-150) вказаним вище методом на всіх етапах життєвого циклу. Для досягнення цієї мети необхідно і достатньо вирішити оптимізаційну задачу відносно показників безвідмовності та витрат між окремими структурними елементами трактора на періодах виробництва та експлуатації з використанням згаданого методу врівноваження чутливостей системи за цими структурними елементами, що впливають на надійність системи.

Ключові слова: показники безвідмовності, сільськогосподарська техніка, чутливість, резервування, експлуатація.

Постановка проблеми. Трактор сам по собі являє складну систему, яку можна описати як таку, що складається з послідовно з'єднаних елементів з точки зору надійності. Відомо, що для підвищення показників безвідмовності такої системи необхідно підвищувати показники безвідмовності кожного з її елементів. Цього можна досягти технологічними методами, шляхом резервування або ж комбінуючи обидва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття «чутливість системи» достатньо повно описане у роботі [1]. Воно означає співвідношення швидкості зміни показників безвідмовності до зміни її вартості за умови зміни цих параметрів лише за рахунок показників надійності системи. Проте, з підвищенням показників надійності, виникає необхідність у зниженні собівартості самої машини, забезпечуючи цим самим зниження витрат на її експлуатацію.

У загальному випадку така задача може бути вирішена такими відомими методами, як метод перебору, метод невизначених множників Лагранжа, метод динамічного програмування, метод градієнтів, метод найшвидшого спуску тощо [1-3, 5]. У даній статті розглядається метод врівноваження чутливостей окремих елементів системи. У якості критерію оптимальності використовується мінімум сумарних витрат на періодах виробництва та експлуатації за умови, що основний показник безвідмовності – час наробітку до відмови – за період, що розглядається, не перевищить деякої заданої величини [2, 4].

Мета дослідження. Для прикладу, здійснимо розрахунки на прикладі трактора Т-150, прогнозуючи імовірність його безвідмовної роботи (ІБР) з використанням оптимального резервування окремих деталей та вузлів.

Цікавими з точки зору аналізу є такі часткові задачі:

1) за критеріями мінімуму витрат на періоді проектування забезпечити ІБР системи до заданого значення $P_{\text{зад}}$; 2) отримати максимально можливу ІБР за наявних витрат $C_{\text{зад}}$.

У даній статті буде розглянуто розв'язок лише першої задачі.

Основна частина. Вважатимемо, що за даними випробувань апріорно відомий аналітичний опис функції ІБР трактора $P(t)$ та вартість усієї системи C : $P = p(p_1; p_2; \dots p_n)$; $C = c(p_1; p_2; \dots p_n)$, де p_i – ІБР i -го елемента системи.

Чутливість системи по i -му елементу можна представити у вигляді співвідношення $I_i \frac{dP}{dC} \Big|_{\Delta p_i} = \frac{\partial P / \partial p_i}{\partial C / \partial p_i}$, де $\partial P / \partial p_i$ - чутливість показника безвідмовності системи

по i -му елементу; $\partial C/\partial p_i$ - чутливість вартості системи до зміни показника безвідмовності i -го елемента.

Оптимальним законом розподілу показників безвідмовності між елементами системи є такий, при якому чутливості системи за кожним з елементів наближаються до оптимального значення чутливості $I_s \approx I_{\text{опт}}$. Це буде відповідати значенню ІБР $P_{\text{зад}}$. У такому випадку, підвищуючи показники безвідмовності усіх елементів системи в рівних межах, є можливим досягти нового оптимального розподілу при новому (вищому) значенні ІБР.

У табл. 1 наведено вихідні дані для проведення розрахунків.

Таблиця 1 – Вихідні дані за показниками безвідмовності та вартості основних систем трактора Т-150 (за цінами 2012 р.)

Найменування вузла (агрегату)	Інтенсивність відмов, 1/год	Наробіток на відмову, год	Початкова ім-ть безвідмовної роботи, p_{0i}	Витрати на виро-во, грн..	Витрати на експлуатацію, грн.	Сумарні витрати, грн.
Двигун	0,000706	1416	0,494	51224	62834	114058
Трансмсія	0,00027	3704	0,763	55730	64260	119990
Муфта зчеплення	0,000329	3040	0,72	4730	5264	9994
Ходова система	0,000149	6711	0,862	16216	21903	38119
Несуча система	0,0000696	14368	0,933	11667	13781	25448
Гідро начіпна система	0,00027	3704	0,763	7059	8100	15159
Електрообладнання	0,000266	3759	0,766	7880	8778	16648
По трактору в цілому	0,0020996	426	0,127	154496	184920	339466

При визначенні даних, наведених у табл. 1, було враховано роботу трактора протягом $t = 1000$ год. (середній сезонний наробіток) та зроблено припущення про експоненціальний розподіл показників безвідмовності усіх із вказаних вузлів та агрегатів (нормальний період експлуатації).

ІБР системи (трактора) загалом за умови послідовного з'єднання елементів є добутком імовірностей безвідмовної роботи кожного з агрегатів:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t). \quad (1)$$

Для нашого прикладу така імовірність протягом сезону роботи трактора є досить низькою і складає 0,127 (12,7%).

Поставимо задачу підвищити ІБР від рівня вихідної ($P_{\text{вих}} = 0,127$) до заданого рівня $P_{\text{зад}} = 0,5$ шляхом резервування окремих агрегатів.

Відомо, що ІБР за умови $(m-1)$ -кратного резервуванні розраховується як:

$$p_i = 1 - (1 - p_{0i})^{mi}. \quad (2)$$

Очевидно, вартість такого резервованого агрегату зросте у порівнянні з початковою вартістю у кількість разів, що відповідає кратності резервування:

$$c_i = m_i \cdot c_{0i}. \quad (3)$$

З урахуванням (2) і (3) можна записати:

$$c_i = c_{0i} \cdot \ln(1 - p_i) / \ln(1 - p_{0i}). \quad (4)$$

Вартість системи в цілому складе $C = \sum_{i=1}^N c_i = \sum_{i=1}^N c_{0i} \cdot \ln(1 - p_i) / \ln(1 - p_{0i})$. Чутливість системи за i -м елементом буде визначатись як

$$I_i = \left. \frac{dP}{dC} \right|_{\Delta p_i} = \frac{\left[\ln \frac{1}{1 - p_{0s}} \right] \cdot P_{\text{зад}} (1 - p_s)}{p_s \cdot c_{0i}}. \quad (5)$$

Введемо позначення:

$$x_i = 1 - p_i / p_i; \quad b_i = \frac{P_{\text{зад}} \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - p_{0i}} \right)}{c_{0i}}. \quad (6)$$

У такому разі для двигуна трактора отримаємо $b_{\text{дв}} = \frac{0,5 \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,494}}{51224} = 6,64 \cdot 10^{-3}$. Аналогічним чином отримаємо показники для інших систем трактора і занесемо їх до табл. 2.

Таблиця 2 – Результати обчислень врівноваження чутливостей систем трактора Т-150

Найменування вузла (агрегату)	b_i	x_i при I_0	Імовірність безвідмовної роботи p_i при I_0
Двигун	$6,64 \cdot 10^{-3}$	0,536	0,651
Трансмсія	$1,30 \cdot 10^{-2}$	0,275	0,784
Муфта зчеплення	$1,34 \cdot 10^{-2}$	0,026	0,974
Ходова система	$6,10 \cdot 10^{-2}$	0,058	0,945
Несуча система	$11,60 \cdot 10^{-2}$	0,031	0,970
Гідроначійна система	$10,20 \cdot 10^{-2}$	0,035	0,966
Електрообладнання	$9,20 \cdot 10^{-2}$	0,039	0,963
По трактору в цілому	-	-	0,424

У такому разі вираз (5) для чутливості системи за різними елементами може бути записаний у формі $I_i = x_i \cdot b_s$.

Далі, виникає необхідність вирівнювання чутливостей кожної з i -х систем (агрегатів) до рівня оптимальної чутливості I_0 , при якій забезпечується заданий рівень імовірності безвідмовної роботи системи $P_{\text{зад}}$: $P_{\text{зад}} = \prod_{i=1}^N p_i$, або, з урахуванням (6)

$$P_{\text{зад}} = \prod_{i=1}^N 1 / (1 + x_i).$$

В результаті отримуємо систему з $n+1$ рівнянь з $n+1$ невідомими. Після досить нескладних математичних перетворень отримаємо:

$$P_{\text{зад}} = \prod_{i=1}^N \frac{1}{1 + I_0/b_s}. \quad (7)$$

З отриманого виразу знаходимо:

$$I_0 = \frac{1/P_{\text{зад}} - 1}{\sum_{i=1}^N (1/b_i)}. \quad (8)$$

Відповідно до (8) методом ітерацій визначаються поступові наближення I_{m0} . Ітерації продовжуються до тих пір, поки не буде забезпечено співвідношення $\prod_{s=1}^N p_s \approx P_{\text{зад}}$. Для трактора Т-150 за вихідними даними, наведеними у табл. 1 з використанням описаної методики, отримаємо результати обчислень, які занесемо до табл. 3.

Додаткова вартість забезпечення заданих показників безвідмовності у процесі виробництва і експлуатації трактора Т-150 включає такі складові:

- застосування модернізованих елементів з підвищеними надійнісними показниками;
- селекційний підбір комплектуючих деталей, що забезпечують загальну стандартизацію виробу;
- резервування деталей, елементів та вузлів (у тому числі – шляхом комплектування ними ремонтний майстерень та підприємств);
- розробка нових технологій при проектуванні і виробництві машини;
- утримання підрозділів по контролю показників надійності.

Таблиця 3 – Прогнозовані показники надійності та підвищення вартості трактора Т-150 при застосуванні методики

Найменування вузла (агрегату)	x_i при I_0	Імовірність безвідмовної роботи p_i при I_0	Наробіток на відмову, год.	m_i після округлення	$c=c_{0i} \cdot m_i$, грн.
Двигун	0,421	0,704	2846	2	102448
Трансмісія	0,216	0,882	5110	1	55730
Муфта зчеплення	0,021	0,98	48600	3	14190
Ходова система	0,046	0,956	22310	2	32432
Несуча система	0,024	0,976	41890	2	23334
Гідроначїпна система	0,027	0,973	97030	3	21177
Електрообладнання	0,03	0,971	33550	3	23610
По трактору в цілому	-	0,528	1566	-	272921

Висновки.

1. При підвищенні показників безвідмовності (імовірності безвідмовної роботи та, відповідно, середнього часу наробітку до відмови) втричі із застосуванням запропонованої у статті методики, підвищення початкової вартості трактора складає 1,78 рази.

2. Мінімізація витрат на виробництво та експлуатаційні витрати для розглянутого виробу лише за рахунок оптимальної декомпозиції за системами дозволяє на 50% підвищити показники безвідмовності без застосування додаткових витрат.

Виходячи з викладеного, можна підсумувати те, що запропонована у статті методика підвищення надійності технічних систем із застосуванням підходу врівноваження чутливості їх окремих елементів (вузлів, агрегатів) має гарні перспективи розвитку, особливо в умовах обмеженого фінансування галузей народного господарства, у тому числі і аграрної сфери.

ЛІТЕРАТУРА

1. Breipol M. A Unite Allocation of Required Component Reliability // Proc. & -th. Nat. Symposium on Reliability and Quality Control in Electronics. - 1961. Vol. 1.
2. Анилович В.Я., Полянский А.С. Техничко- економическая оптимизация при обеспечении надёжности техники // Тракторная энергетика в растениеводстве / Сб. науч. тр. ХГТУСХ, Октябрь 20, 2001.- С. 10-20.
3. Кулаков Н.Н., Загоруйко А.С. Методы оценки повышения надежности технических изделий по технико-экономическим показателям.-М., 1968.-142 с.
4. Надежность машин: Учеб. пособие / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев / Под ред. Д.Н. Решетова. - М.: Высш. шк., 1988. - 238 с.
5. Кузьмин Ф.И. Задачи и методы оптимизации показателей надежности. - М.: Советское радио, 1972. - 224 с.
6. Галузевий стандарт України 74.3-37-148:2004 «Випробування сільськогосподарської тех- ніки. Показники надійності та методи їх оцінки»

BIBLIOGRAPHY

1. Breipol M. A Unit Allocation of Required Component Reliability // Proc. & -th. Nat. Symposium on Reliability and Quality Control in Electronics. - 1961. Vol. 1.
2. Anilovich V.Ya., Polianskyi A.S. Technic and economic optimization when providing reliability of technical equipment // Tractor power engineering in plant growing / Col. of scient. papers. HGTUSH, October 20,2001.-S. 10-20.
3. Kulakov N.N., Zagoruiko A.S. Methods for technical products reliability increasing evaluation.- M., 1968.-142 s.
4. Machines Reliability: Teaching aid / D.N. Reshetov, A.S. Ivanov, V.Z. Fadeiev / Ed. by D.N. Reshetov. - M: High school. HQ., 1988. - 238 s.
5. Kuzmin F.I. Tasks and optimization methods for indicators reliability. - M .: The Soviet radio, 1972. - 224 s.
6. Industry Standard 74.3-37-148 of Ukraine: 2004 "Agricultural Technical Equipment Testing. Indicators of reliability and methods of their evaluation".

METHOD OF DETERMINING THE OPTIMAL STRUCTURE RELIABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY

Voitik A.V., Nevzorov A.V., Didur V.V.

Summary

The methodology of rational calculation and choosing the reliable structural scheme for agricultural machinery in case of T-150 tractor both at the stages of production and operation using the method of system sensitivities balancing as for its structural elements has been given in the article. The purpose of the given research is to improve recommendations of reliability performance for certain elements of the sample of agricultural machinery (at the example of T-150 tractor) by means of above mentioned method at all the stages of its life cycle. To achieve this goal it is necessary and sufficient to solve the optimization problem of reliability indices and performance relative costs between different structural elements in tractor

production and operation periods using the method mentioned as for system sensitivities balancing according to these structural elements that affect the system reliability.

Key words: performance reliability, agricultural machinery, farming, sensitivity, provisioning, maintenance.

УДК 64.069.08

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Невзоров А.В., к.т.н., доц. *

Ковальчук Ю.О., к.т.н., доц.

Кутковецька Т.О.

Уманський національний університет садівництва

м. Умань, Україна

Тел.: +380683511797

e-mail: 2andrey2@ua.fm

Анотація. У даній статті пропонується методика оцінки показників надійності сільськогосподарських машин для випадку, коли їх час відновлення складає незначну частину від часу загального циклу їх роботи. Наведено приклади розрахунку імовірності безвідмовної роботи машин на підставі статистичних даних про їх експлуатацію. Далі у роботі будемо розглядати такі відмови, що не потребують значного часу на їх усунення та відновлення працездатності машин (наприклад, заміна терморегуляторів, незначний ремонт електрообладнання, заміна фільтра тощо).

Необхідно відзначити, що сільськогосподарські машини дуже різноманітні як за цільовим призначенням, так і за конструктивними особливостями. Вони містять у своєму складі як чисто механічні вузли (вали, редуктори, підшипники і т.д.), так і електромеханічні (генератори, стартери), а також широкий набір засобів сучасної електроніки (особливо стосовно систем керування сучасних зразків сільськогосподарської техніки).

Ключові слова: сільськогосподарські машини, підвищення показників надійності, наробіток до відмови, інтенсивність відмов, параметр потоку відмов.

Постановка проблеми. Надійність сільськогосподарських машин, що насамперед забезпечується у процесі їх проектування та виробництва, повинна бути підтриманою на потрібному рівні на фазі експлуатації. Часто постають питання під час проходження цієї фази щодо модернізації окремих вузлів та агрегатів з метою виконання згаданої задачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потрібно відмітити окремі особливості забезпечення необхідного рівня показників надійності техніки та шляхів їх підвищення в період експлуатації [1 - 3]:

* Публікується по рекомендації: акад. МААО, д.т.н., проф. Бабіцького Л.Ф.