

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАШИНЫ НА ПОТЕРИ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Сергей Шевченко

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко
Ул. Артема 44, Харьков, Украина. E-mail: khstua@lin.com.ua*

Sergey Shevchenko

*Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture
St. Artem 44, Kharkiv, Ukraine. E-mail: khstua@lin.com.ua*

Аннотация. Получены зависимости числовых характеристик потерь урожая (математическое ожидание, дисперсия, коэффициент вариации) от числовых характеристик длительности восстановления машины после отказа. При этом учтено влияние времени возникновения отказа на потери продукции. Анализ выполнен для линейной и параболической зависимостей уменьшения коэффициента реализации биологического потенциала растений от времени выполнения технологической операции.

Ключевые слова: растениеводство, машина, надежность, отказ, длительность восстановления, числовые характеристики, урожай.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Увеличение продолжительности выполнения технологических операций вследствие отказов сельскохозяйственных машин и машинно-тракторных агрегатов (далее – машин) приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур [2, 3, 14, 16].

Методы определения потребности в машинах (с учетом их надежности) при планировании сельскохозяйственных работ приведены в [4, 5, 12, 14]. При этом учитывались лишь средние потери времени на восстановление машин после отказов и потери урожая. Однако при оптимизации системы по усредненному значению показателя качества следует также устанавливать вероятностное ограничение на его предельно-допустимое значение [11]. Применительно к растениеводству в качестве такого ограничения целесообразно применять вероятность того, что потери урожая не превзойдут допустимое значение [20]. Аналогичная задача возникает и при обосновании системы технического обслуживания машин [8].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ работ [1, 3, 9, 10, 15, 21] показал, что исследования надежности преимущественно направлены на определение их коэффициентов готовности и технического использования. Но эти показатели надежности характеризуют машины и системы их технического обслуживания безотносительно к поставленным задачам. Однако для аграрного предприятия важен анализ их пригодности для выполнения производственных задач, что требует оценивания возможных потерь урожая вследствие отказов машин [18].

В [2, 16] получены выражения для расчета вероятности безотказной работы технологических комплексов на протяжении заданного времени и их коэффициента готовности. В [14] разработана методика и осуществлено компьютерное имитационное моделирование выполнения технологического процесса комплексами машин, которые отличаются, в частности, надежностью. В [9] получена зависимость коэффициента эксплуатационной надежности комплекса машин в зависимости от их надежности при различном количестве машин в ненагруженном резерве.

Влияние продолжительности технологических операций на коэффициент реализации биологического потенциала (КРБП) растений исследованы в [7, 13, 14].

Взаимосвязь объема работ и производительности машин при условии выполнения работ в заданные агротехнические сроки с гарантированной вероятностью определено в [6].

В [20] разработана методика определения соответствия технологических комплексов машин производственному заданию. Решение принимается по результатам вычисления вероятности того, что выпуск продукции будет большим, чем минимально-допустимое значение, и сравнения этой ве-

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАШИНЫ НА ПОТЕРИ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

роятности с пороговым значением.

Нерешенной частью проблемы является получение вероятностных зависимостей потерь продукции растениеводства от показателей надежности сельскохозяйственной техники. При использовании современных высоконадежных машин или при сравнительно небольших возделываемых площадях вероятность возникновения нескольких отказов при выполнении технологической операцией одной машиной мала. В этих случаях можно полагать, что при выполнении технологической операции произойдет не более одного отказа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – определение зависимостей числовых характеристик коэффициента реализации биологического потенциала растений от числовых характеристик длительности восстановления машины после отказа.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В работе [17] показано, что при линейной зависимости КРБП растений от времени зависимость потерь урожая от продолжительности восстановления агрегата и времени наступления отказа выражается следующей формулой:

$$\Delta k = \tau k_1 (1 - \varphi), \quad (1)$$

где: Δk – уменьшение КРБП растений вследствие отказа,

τ – продолжительность восстановления агрегата, с,

k_1 – коэффициент пропорциональности в линейной зависимости КРБП растений от продолжительности технологической операции, 1/с,

φ – доля обработанной площади поля до момента возникновения отказа.

Поскольку продолжительность восстановления машины и доля обработанной площади поля до момента возникновения отказа являются случайными величинами, то уменьшение КРБП растений вследствие отказа также является случайной величиной, которую целесообразно характеризовать числовыми характеристиками.

Определим математическое ожидание уменьшения коэффициента реализации биологического потенциала растений вследствие отказа:

$$M[\Delta k] = \int_0^1 \int_0^{\tau_{\max}} \tau k_1 (1 - \varphi) f(\tau) d\tau d\varphi. \quad (2)$$

$$M[\Delta k] = \frac{k_1 M[\tau]}{2}, \quad (3)$$

где: τ_{\max} – продолжительность восстановления агрегата, при которой КРБП растений уменьшается до нуля,

$f(\tau)$ – плотность вероятности продолжительности восстановления агрегата, 1/с.

Дисперсию уменьшения КРБП растений вследствие отказа определим по формуле:

$$D[\Delta k] = M[\Delta k^2] - (M[\Delta k])^2. \quad (4)$$

Для этого необходимо определить квадрат математического ожидания уменьшения КРБП растений вследствие отказа:

$$M[\Delta k^2] = \int_0^1 \int_0^{\tau_{\max}} \tau^2 k_1^2 (1 - \varphi)^2 f(\tau) d\tau d\varphi, \quad (5)$$

$$M[\Delta k^2] = \frac{k_1^2 M[\tau^2]}{3}. \quad (6)$$

Это позволяет, с учетом (3), определить дисперсию уменьшения КРБП растений вследствие отказа согласно (4):

$$D[\Delta k] = k_1^2 \left(\frac{M[\tau^2]}{3} - \frac{(M[\tau])^2}{4} \right). \quad (7)$$

Используя формулы (3) и (7), определим коэффициент вариации КРБП растений вследствие отказа:

$$v_{\Delta k}^2 = \frac{D[\Delta k]}{(M[\Delta k])^2} = \frac{\frac{M[\tau^2]}{3} - \frac{(M[\tau])^2}{4}}{\left(\frac{M[\tau]}{2}\right)^2}, \quad (8)$$

$$v_{\Delta k} = \sqrt{\frac{4v_{\tau}^2 + 1}{3}}. \quad (9)$$

Следовательно, коэффициент вариации КРБП превышает коэффициент вариации продолжительности восстановления машины. График зависимости (9) показан на рис. 1.

При экспоненциальном законе распределения продолжительности восстановления агрегата, который зачастую применяется при анализе надежности машин:

$$v_{\Delta k} = \sqrt{\frac{5}{3}} \approx 1,3. \quad (10)$$

При увеличении вариации продолжительности восстановления агрегата коэффициент пропорциональности между коэффициентами вариации указанной величины и КРБП растений уменьшается:

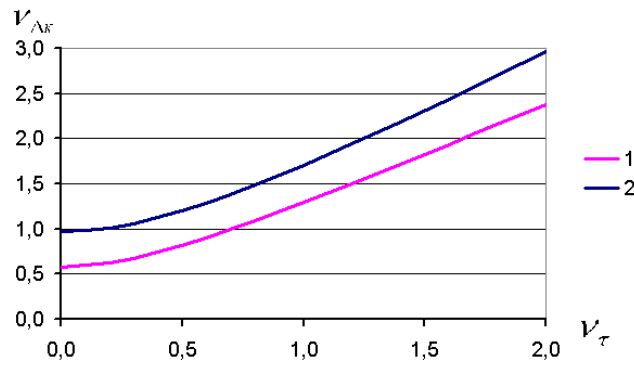


Рис. 1. Зависимость коэффициента вариации потерь урожая от коэффициента вариации продолжительности восстановления машины: 1 – линейная аппроксимация зависимости коэффициента реализации биологического потенциала растений от времени выполнения технологической операции; 2 – параболическая аппроксимация зависимости коэффициента реализации биологического потенциала растений от времени выполнения технологической операции

$$v_{\Delta\kappa} \approx \frac{2}{\sqrt{3}} v_{\tau}. \quad (11)$$

Получим зависимости числовых характеристик потерь КРБП растений при квадратичной зависимости этого коэффициента от времени выполнения операции.

При отсутствии отказов:

$$\kappa_0 = \frac{1}{S} \int_0^S \kappa(s) ds = \left\| \begin{matrix} s = W t \\ ds = W dt \end{matrix} \right\| = \frac{1}{T} \int_0^T \kappa(t) dt, \quad (12)$$

где: κ_0 – КРБП растений при отсутствии отказов при выполнении технологической операции,

S – площадь поля, m^2 ,

W – производительность машины, m^2/c ,

t – время, c .

С учетом квадратичной зависимости КРБП растений от времени выполнения операции:

$$\kappa(t) = 1 - k_2 t^2, \quad (13)$$

преобразуем (12):

$$\kappa_0 = \frac{1}{T} \int_0^T (1 - k_2 t^2) dt = 1 - \frac{k_2 T^2}{3}. \quad (14)$$

Принимая, что при выполнении технологической операции произошел лишь один отказ, определим зависимость КРБП растений от длительности восстановления машины и от момента возникновения отказа. Для

этого будем рассматривать выполнение технологической операции в два этапа: до отказа (интервал времени $[0, \varphi \cdot T]$, где $0 \leq \varphi < 1$) и после восстановления, которое длится время τ (интервал времени $[\varphi \cdot T + \tau, T + \tau]$):

$$\kappa = \frac{1}{T} \left(\int_0^{\varphi T} \kappa(t) dt + \int_{\varphi T + \tau}^{T + \tau} \kappa(t) dt \right), \quad (15)$$

$$\kappa = 1 - \frac{k_2 T^2}{3} - k_2 \tau (1 - \varphi) (\tau + T(1 + \varphi)), \quad (16)$$

где: κ – КРБП растений при возникновении отказа при выполнении технологической операции.

Определим уменьшение КРБП растений вследствие отказа:

$$\Delta\kappa = \kappa_0 - \kappa, \quad (17)$$

$$\Delta\kappa = k_2 \tau (1 - \varphi) (\tau + T(1 + \varphi)). \quad (18)$$

Полагая, что продолжительность восстановления меньше, чем время выполнения технологической операции при отсутствии отказов, упростим (18):

$$\Delta\kappa = \tau (1 - \varphi^2) T k_2. \quad (19)$$

Определим математическое ожидание уменьшения КРБП растений (19) вследствие отказа:

$$M[\Delta\kappa] = \int_0^1 \int_0^{\tau_{\max}} \tau (1 - \varphi^2) T k_2 f(\tau) d\tau d\varphi, \quad (20)$$

$$M[\Delta k] = \frac{2k_2 T M[\tau]}{3}. \quad (21)$$

Определим квадрат математического ожидания уменьшения КРБП растений (18) вследствие отказа:

$$M[\Delta k^2] = \int_0^1 \int_0^{\tau_{\max}} (\tau(1-\varphi^2) T k_2)^2 f(\tau) d\tau d\varphi, \quad (22)$$

$$M[\Delta k^2] = \frac{13k_2^2 T^2 M[\tau^2]}{15}. \quad (23)$$

Это позволяет, с учетом (21), определить дисперсию уменьшения КРБП растений вследствие отказа согласно (4):

$$D[\Delta k] = \frac{13k_2^2 T^2 M[\tau^2]}{15} - \left(\frac{2k_2 T M[\tau]}{3} \right)^2. \quad (24)$$

Используя формулы (21) и (24), определим коэффициент вариации КРБП растений вследствие отказа:

$$v_{\Delta k}^2 = \frac{39}{20} \cdot \frac{M[\tau^2]}{(M[\tau])^2} - 1. \quad (25)$$

Выразим коэффициент вариации КРБП растений вследствие отказа через коэффициент вариации длительности восстановления (см. рис. 1):

$$v_{\Delta k} = \sqrt{\frac{39v_{\tau}^2 + 19}{20}}. \quad (26)$$

Формулы (21, 24, 26) были получены при допущении, что продолжительность восстановления меньше, чем время выполнения технологической операции при отсутствии отказов. Если же продолжительность восстановления превышает время выполнения технологической операции при отсутствии отказов (например, из-за значительной длительности доставки запасных частей), то формулу (18) можно упростить следующим образом:

$$\Delta k = k_2 \tau^2 (1 - \varphi). \quad (27)$$

В этом случае

$$M[\Delta k] = \frac{k_2 M[\tau^2]}{2}, \quad (28)$$

$$M[\Delta k^2] = \frac{k_2^2 M[\tau^4]}{3}, \quad (29)$$

$$D[\Delta k] = \frac{k_2^2 M[\tau^4]}{3} - \left(\frac{k_2 M[\tau^2]}{2} \right)^2. \quad (30)$$

Если четвертый центральный момент времени восстановления, входящий в (29), неизвестен, то он может быть вычислен с

использованием величин асимметрии и эксцесса указанного времени. Это позволит вычислить коэффициент вариации КРБП растений вследствие отказа по формуле (4).

ВЫВОДЫ

Получены зависимости числовых характеристик потерь урожая (математическое ожидание, дисперсия, коэффициент вариации) от числовых характеристик длительности восстановления машины после отказа. При этом учтено влияние времени возникновения отказа на потери продукции. Перспективным направлением дальнейших работ является обоснование требований к качеству диагностирования машин, применяемых в растениеводстве (в частности, путем акустико-эмиссионного диагностирования пар трения [19]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Aleksandrovskaia L. N., Afanasev A. P., Lisov A. A. 2001. *Sovremennye metody obespecheniia bezotkaznosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem.* – М : Logos, – 208.
2. Anilovich V. Y., Grinchenko A. S., Savchenko V. B., Lupandina A. P. 1996. *Bezotkaznost i nadezhnost tekhnologicheskikh kompleksov / Vestnik KGTUSK. Povishenie nadezhnost vosstanavlivaemikh detalei mashin.* – 20–25.
3. Boyko A., Dumenko K. 2011, *Research on reliability of subsystems of grain harvesting combine / TEKA Kom. Mot. i Energ. Roln.* – OL PAN, 11, 5–11.
4. Grachev R. Y. 2007. *Povishenie effektivnosti ekspluatatsii mashin tekhnologicheskogo kompleksa metodom chastichnogo rezervirovania (na primere kulturteknicheskikh rebot) Avtoref. dis...d-ra tekhn. nauk: 05.20.01 / Moskovskii gos. un-t prirodoobustroistva.* / М. – 18.
5. Koniuszy A. A 2008. *New method of usability evaluation of agricultural tractors based on optimum working index [OWI] // TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.* – OL PAN, 8a, 93–99.
6. Kozachenko O. V. 2008. *Problemi resursozberzhennia u cil'crjgospodarskikh agregatakh / Kharkiv : Tornado.* – 272.
7. Kovtun Y. I., Mazorenko D. I., Pastukhov V. I., Dzholos P. A. 2000. *Agrokvalimetriia / Za*

- red. D. I. Mazorenka, Y. I. Kovtuna. – Kharkiv : RVP "Original". – 312.
8. Kushnarev L. I. 2003. Sovershenstvovanie tekhnicheskogo servisa mashinno-traktornogo parka MTS : monografiia / M. : MGAU im. V. P. Goriachkina, – 136.
9. Matveevskiy V. R. 2002. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem / M.: MGIEM, – 113.
10. Chornovol M. I., Cherkun V. Y., Aulin V. V. ta in. 2010. Nadiinist' sil's'kogospodars'koi tekhniki: Pidruchnik / Za zag. red. M. I. Chornovola. –Kirovograd: KOD, – 320.
11. Avduevskii V. S. 1988. Nadezhnost i effektivnost v tekhnike : Spravochnik: V 10 t. M. Mashinostroenie, T. 3. Effektivnost tekhnicheskikh sistem / Pod obsch. red. V. F. Utkina, Y. V. Kriuchkova. – 328.
12. Pazova T. H., Dzuhanov V. B. 2011. Obosnovanie sostava parka mashin mashinno-tekhnologicheskoi stantsii / Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia selskogo khoziaistva, – №10. – 2–3.
13. Pastukhov V. I. 2002. Yakist' mekhanizovanikh tekhnologichnikh operatdii i biopotentsial pol'ovikh kultur : naukovi rekomendatsii dlia pratsivnikiv mekhanizovanogo roslinnitstva / Kharkiv : Ranok-NT, –124.
14. Pastukhov V. I. 2006. Obruntuvannia optimalnikh kompleksiv mashin dlia mekhanizatsii pol'ovikh robit: Avtoref. dis...d-ra tekhn. nauk: 05.05.11 / KNTUSG. – Kharkiv, –38.
15. ReliaSoft Corp. 2006. Economical Life Model for Repairable Systems / Reliability HotWire. —№6.
16. Savchenko V. B. 2001. Zabezpechennia nadiinosts sil's'kogospodars'kikh mashin i tekhnologichnikh kompleksiv : Avtoref. dis...kand. tekhn. nauk: 05.05.11 / KDTUSG. – Kharkiv, – 18.
17. Shevchenko S. A. 2010. Doslidzhennia vplivu vidmovi tekhniki na koefitsient realizatsii biologichnoho potentsialu roslin / Visnik KNTUSG. Problemi tekhnichnoi ekspluatatsii mashin. Sistemotekhnika i tekhnologii lisovogo kompleksu. Kh. : KNTUSG, Vipusk 94. – 22–25.http://archive.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vkhdusg/2010_94/22.pdf
18. Shevchenko S. A. 2010. Issledovanie vliianiia pokazatelei nadezhnosti sel'skokhoziaistvennoi mashini na veroiatnost' vipolnenia tekhnologicheskoi operatsii s zadanim kachestvom. Visnik KNTUSG. Problemi nadiinosti mashin i zasobiv mekhanizatsii sil's'kogospo-darskogo virobnitstva. – Kharkiv: KNTUSG, – Vipusk 100. – 54–58. http://archive.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vkhdusg/2010_100/09.pdf
19. Shevchenko S. A. 2012. Klasifikatsiia ta obruntuvannia vimog do akustyko-emisiinikh oznak defektiv par tertia mehanizmiv. Visnik KNTUSG. Problemi tekhnichnoi ekspluatatsii mashin. –Kharkiv : KHNTUSG, – Vipusk 121. - 159-163. http://archive.nbu.gov.ua/portal/Natural/Vkhdusg/2012_121/162.pdf
20. Shevchenko S. A. 2010. Analiz vlianiia nadezhnosti mashin tekhnologicheskogo kompleksa na veroiatnost' vipolnenia proizvodstvennogo zadania / Vestnik GGTU im. P. O. Sukhogo. – Gomel : GGTU, –№4. – 30–36. www.gstu.by/sites/default/files/issues/vestnik/2010-04.pdf
21. Voytyuk V. 2007 An analysis of operational reliability of the work of a technical object / V. Voytyuk // TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. - OL PAN, 7, 261–265.

INVESTIGATION OF INFLUENCE OF RECOVERY MACHINE DURATION ON LOSS OF PLANT PRODUCTION

Summary. The dependencies of the numerical characteristics of crop losses (expected value, variance, coefficient of variation) from numerical characteristics of duration recovery of the machine after failure are obtained. At the same time take into account the impact of a failure on the loss of production.

The analysis is performed for linear and parabolic dependencies reduce the coefficient of the biological potential of plants from the time of the of technological operation.

Key words: plant growing, machine, reliability, failure, duration of recovery, numerical characteristics, harvest.