

Шевченко С.А.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
ім. Петра Василенка
e-mail: Serg.Shevchen@gmail.com

**ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО
НЕДОВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ АГРЕГАТИВ
ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ЗА СТАНОМ ЗА
НАЯВНОСТІ ІНКУБАЦІЙНОГО ЕТАПУ
РОЗВИТКУ ДЕФЕКТУ**

УДК 631.3:62-192

Розроблено методика визначення середнього недовикористаного ресурсу агрегатів, які превентивно замінюють за результатами діагностування. Методика дає змогу визначити недовикористаний ресурс залежно від порогу превентивної заміни, математичного сподівання та коефіцієнту варіації швидкості розвитку дефекту. Залежності одержані для випадків лінійного та експоненціального збільшення розміру дефекту (або діагностичної ознаки) з напрацюванням.

Ключові слова: агрегат, дефект, інкубаційний етап, швидкість розвитку, діагностування, превентивна заміна, ресурс.

Постановка проблеми

Перспективним шляхом зменшення втрат врожаю та скорочення експлуатаційних витрат є технічне обслуговування машин рослинництва за станом. Оскільки при цьому здійснюється превентивна заміна агрегатів (або окремих елементів) за результатами діагностування, то їх ресурс використовується не повністю. Величина залишкового ресурсу залежатиме від багатьох факторів, таких як поріг превентивної заміни, швидкість розвитку дефекту тощо. Оскільки недовикористаний ресурс впливає на економічну ефективність обслуговування за станом, то при оптимізації параметрів обслуговування (періодичність, поріг превентивної заміни) виникає потреба визначати середній залишковий ресурс агрегатів, які превентивно замінюють.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При оптимізації обслуговування механічних систем за станом виходять з певних припущень щодо динаміки їх деградації. Залежно від виду реалізацій процесу деградації їх можна поділити на моделі, які ґрунтуються на застосуванні елементарної випадкової функції [1, 2] і моделі, що використовують стохастичні припущення (наприклад, [3, 4]). Звернемо увагу на те, що в обох різновидах моделей вважається відомим початкове значення параметра, який характеризує стан об'єкта (тобто, початковий розмір дефекту), а процес деградації починається при введенні об'єкта в експлуатацію і триває без суттєвої зміни інтенсивності.

Однак, такі моделі не відображують динаміку розвитку дефектів зі значним інкубаційним етапом (наприклад, піттинг). При піттингу початковий розмір дефекту є випадковим, а напрацювання до завершення інкубаційного етапу має багаторазовий розкид. З багатьох причин доцільно приймати рішення щодо необхідності заміни чи подовження експлуатації за результатами одного вимірювання діагностичного параметра, не здійснюючи визначення його тренду. В [5] наведено залежність параметра потоку відмов після діагностування та превентивної заміни агрегатів, розмір дефекту яких перевищував поріг превентивної заміни. Однак, при цьому не визначався залишковий ресурс таких агрегатів.

Отже, невирішеною частиною проблеми є визначення залишкового ресурсу превентивно замінених агрегатів, які відмовляють внаслідок дефекту з тривалим інкубаційним етапом.

Метою даного дослідження є визначення залежності середнього недовикористаного ресурсу агрегатів, які відмовляють внаслідок дефекту з тривалим інкубаційним

етапом, замінених за результатом діагностування.

Методика дослідження

Використаємо наступну модель розвитку дефекту і виникнення відмови:

- потік дефектів, які виникають, є найпростішим;
- розмір дефекту зростає з певною випадковою швидкістю, яка лишається незмінною протягом усього часу розвитку дефекту;
- якщо при діагностуванні розмір дефекту перевищує поріг превентивної заміни, агрегат замінюють на новий;
- якщо розмір дефекту досягає порога коригувальної заміни, то настає відмова.

Досліджування здійснимо, застосовуючи методи теорії ймовірностей. Для спрощення розрахунків приймемо, що діагностування відбувається на початку відліку часу ($t = 0$).

Визначення середнього недовикористаного ресурсу при збільшенні розміру дефекту за лінійним законом

Визначимо середній недовикористаний ресурс агрегату, заміненого внаслідок перевищення порогу превентивної заміни на момент діагностування. Часову діаграму розвитку дефекту наведено на рис. 1.

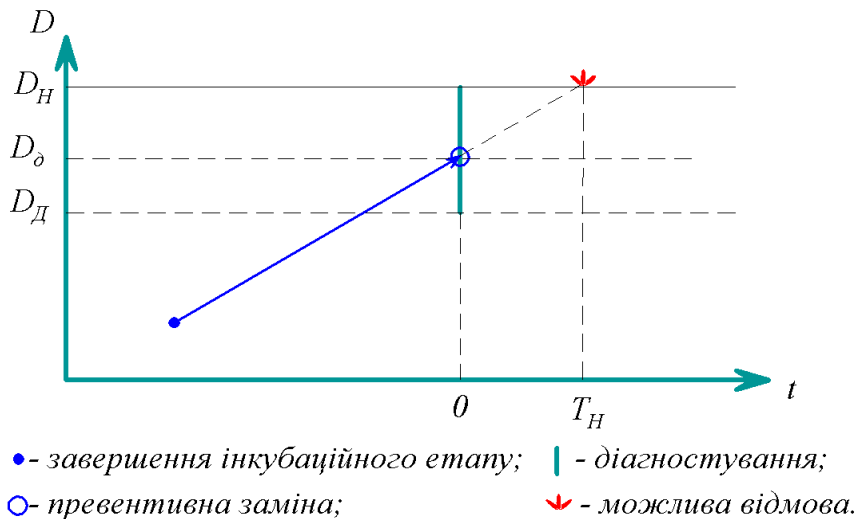


Рис. 1. Часова діаграма лінійного розвитку дефекту

Обчислити недовикористаний ресурс заміненого агрегату за умови, що дефект розвивається з певною швидкістю:

$$T_H(D_0, V) = \frac{D_H - D_0}{V}, \quad (1)$$

де T_H – недовикористаний ресурс, год;

D_0 – розмір дефекту на момент діагностування;

V – швидкість розвитку дефекту, 1/ год;

D_H – розмір дефекту при настанні відмови (порог коригувальної заміни).

Для визначення середнього недовикористаного ресурсу здійснимо усереднення за швидкістю розвитку дефекту та розміром дефекту на момент діагностування (в межах від порогу превентивної заміни до порогу коригувальної заміни):

$$\bar{T}_H = \int_{D_D}^{D_H} f_D(D) \left(\int_0^{\infty} T_H(D,V) f_V(V) dV \right) dD, \quad (2)$$

де \bar{T}_H – середній недовикористаний ресурс, год;

D – розмір дефекту;

D_D – допустиме значення розміру дефекту (поріг превентивної заміни);

f_D – щільність імовірності розміру дефекту агрегатів, превентивно замінених за результатами діагностування;

f_V – щільність імовірності швидкості розвитку дефекту.

За умови лінійного збільшення розміру дефекту матиме місце рівномірний розподіл розмірів дефектів агрегатів, які превентивно замінюють. Отже:

$$f(D_o) = \frac{1}{D_H - D_D}, \quad D_o \in [D_D, D_H], \quad (3)$$

$$\bar{T}_H = \int_{D_D}^{D_H} \frac{1}{(D_H - D_D)} \left(\int_0^{\infty} \frac{D_H - D_o}{V} f_V(V) dV \right) dD_o. \quad (4)$$

Розглянемо швидкість розвитку дефекту як розподілену за логарифмічно нормальним законом:

$$f_V(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_V V} \exp \left(-\frac{(\ln V - \ln m_V)^2}{2\sigma_V^2} \right), \quad (5)$$

де m_V – параметр масштабу логарифмічно нормального розподілу швидкості розвитку дефекту;

σ_V – параметр форми логарифмічно нормального розподілу швидкості розвитку дефекту.

В цьому випадку:

$$\bar{T}_H = \exp(\sigma_V^2 / 2) \frac{D_H - D_D}{2 m_V}. \quad (6)$$

Переходячи від параметра форми логарифмічно нормального розподілу швидкості розвитку дефекту до її коефіцієнту варіації, одержимо:

$$\bar{T}_H = \exp \left(\frac{\ln(1 + v_V^2)}{2} \right) \frac{D_H - D_D}{2 m_V} = (1 + v_V^2) \frac{D_H - D_D}{2 M[V]}. \quad (7)$$

Дослідимо вплив коефіцієнту варіації швидкості розвитку дефекту на середній недовикористаний ресурс. Для цього проаналізуємо функцію:

$$k_{v_V}(v_V) = 1 + v_V^2, \quad (8)$$

де k_{v_V} – співвідношення середньої недовикористаної частки ресурсу при певному значенні варіації швидкості розвитку дефекту та при нульовій варіації цієї швидкості.

Графік залежності (8) показано на рис. 2.

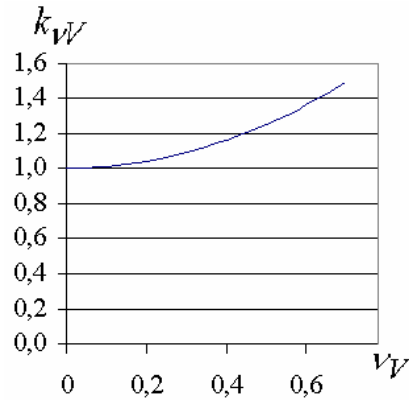


Рис. 2. Вплив варіації швидкості розвитку дефекту на середній недовикористаний ресурс агрегатів при лінійному розвитку дефектів

Визначення середнього недовикористаного ресурсу агрегатів при збільшенні розміру дефекту за експоненціальним законом

Швидкість розвитку дефекту розглядатимемо як розподілену за логарифмічно нормальним законом. Часову діаграму розвитку дефекту наведено на рис. 3.

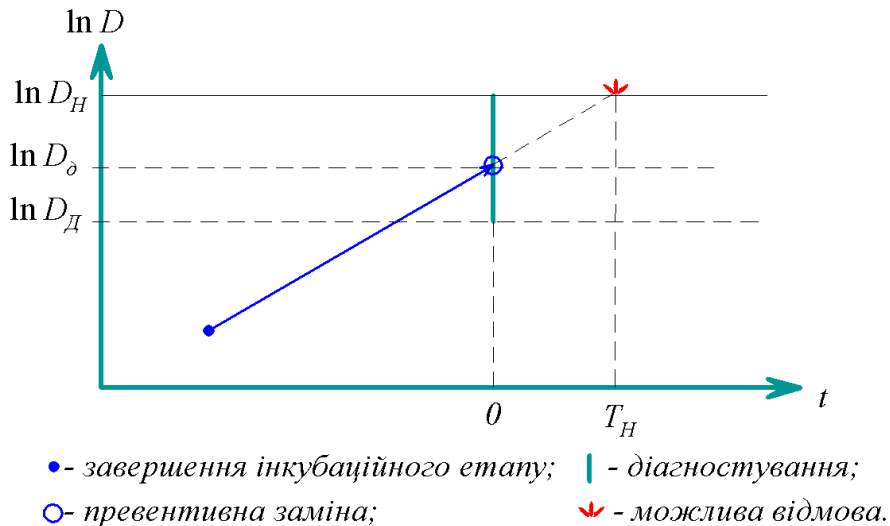


Рис. 3. Часова діаграма експоненціального розвитку дефекту

Припустимо, на момент діагностування дефект мав певний розмір, що перевищував поріг превентивної заміни. Визначимо недовикористаний ресурс заміненого агрегату за умови, що дефект розвивається з певною швидкістю:

$$T_H(D, V) = \frac{\ln D_H - \ln D}{V} . \quad (9)$$

Для визначення середнього недовикористаного ресурсу здійснимо усереднення за швидкістю розвитку дефекту та розміром дефекту на момент діагностування (в межах від порогу превентивної заміни до порогу коригувальної заміни):

$$\bar{T}_H = \int_{D_D}^{D_H} f_D(D) \left(\int_0^{\infty} T_H(D, V) f_V(V) dV \right) dD . \quad (10)$$

Для подальших перетворень необхідно визначити щільність імовірності розмірів дефектів, які призвели до заміни агрегатів. Виходячи з того, що розмір дефекту (у логарифмічних одиницях) збільшується лінійно, матиме місце рівномірний розподіл логарифмів розмірів дефектів:

$$f(\ln D) = \frac{1}{\ln D_H - \ln D_D}, \quad D \in [D_D, D_H]. \quad (11)$$

З цього рівняння знайдемо щільність імовірності розподілу розмірів дефектів:

$$f_D(D) = f(e^{\ln D}). \quad (12)$$

Використовуючи методику визначення щільності ймовірності функції від випадкової величини, одержимо:

$$f_D(D) = \frac{1}{(\ln D_H - \ln D_D) D}. \quad (13)$$

Отже, застосовуючи (13) до (10), одержимо:

$$\begin{aligned} \bar{T}_H &= \int_{D_D}^{D_H} \frac{1}{(\ln D_H - \ln D_D)} \left(\int_0^\infty \frac{\ln D_H - \ln D}{V D} f_V(V) dV \right) dD = \\ &= \frac{\exp(\sigma_V^2 / 2)}{2 m_V} \cdot \frac{\ln^2 D_H - 2 \ln D_H \ln D_D + \ln^2 D_D}{\ln D_H - \ln D_D} = \frac{\exp(\sigma_V^2 / 2)}{2 m_V} \cdot \ln \frac{D_H}{D_D}. \end{aligned} \quad (14)$$

Перейдемо в (14) від швидкості розвитку дефекту до відповідної сталої часу:

$$m_V = \frac{1}{\mathbf{M}[\tau_L] (1 - v_V^2)}, \quad (15)$$

$$\bar{T}_H = \frac{\exp(\sigma_V^2 / 2) m_\tau (1 - v_V^2)}{2} \cdot \ln \frac{D_H}{D_D}. \quad (16)$$

Для спрощення використання цієї формули виразимо параметр форми логарифмічно нормального розподілу швидкості розвитку дефекту через коефіцієнт варіації зазначеної швидкості:

$$\bar{T}_H = m_\tau \frac{\exp\left(\frac{\ln(1 + v_V^2)}{2}\right)}{2} \cdot (1 - v_V^2) \ln \frac{D_H}{D_D} = m_\tau \frac{(1 - v_V^2) \sqrt{1 + v_V^2}}{2} \cdot \ln \frac{D_H}{D_D}. \quad (17)$$

Для наочного представлення залежності (17) виділимо у ній функцію від коефіцієнту варіації швидкості розвитку дефекту і співвідношення порогів коригувальної та превентивної замін:

$$K_D = \frac{D_H}{D_D}, \quad (18)$$

$$\bar{T}_H(K_D, v_V) = m_\tau k_H(K_D, v_V), \quad (19)$$

$$k_H(K_D, v_V) = \frac{(1 - v_V^2) \sqrt{1 + v_V^2}}{2} \cdot \ln K_D, \quad (20)$$

де K_D – співвідношення порогів корегувальної і превентивної замін;

k_H – співвідношення недовикористаної частки ресурсу і математичного очікування сталої часу розвитку дефекту.

Графік залежності (20) наведено на рис. 4.

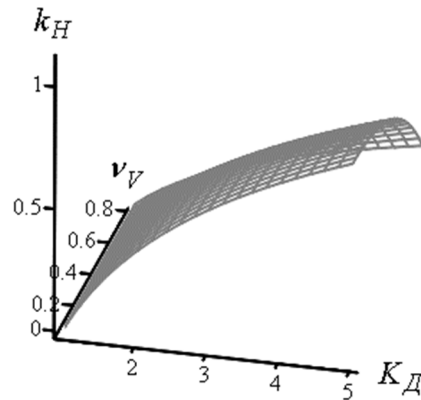


Рис. 4. Залежність співвідношення недовикористаної частки ресурсу і математичного очікування сталої часу розвитку дефекту від співвідношення порогів корегувальної і превентивної заміни K_D і коефіцієнту варіації швидкості розвитку дефекту v_V

Дослідимо вплив коефіцієнту варіації швидкості розвитку дефекту на досліджуване співвідношення недовикористаної частки ресурсу і математичного очікування сталої часу розвитку дефекту. Для цього аналізуватимемо функцію:

$$k_{v_V}(v_V) = (1 - v_V^2) \sqrt{1 + v_V^2}, \quad (21)$$

де k_{v_V} – коефіцієнт, що характеризує залежність співвідношення недовикористаної частки ресурсу і математичного очікування сталої часу розвитку дефекту від варіації швидкості розвитку дефекту.

Графік залежності (21) наведено на рис. 5.

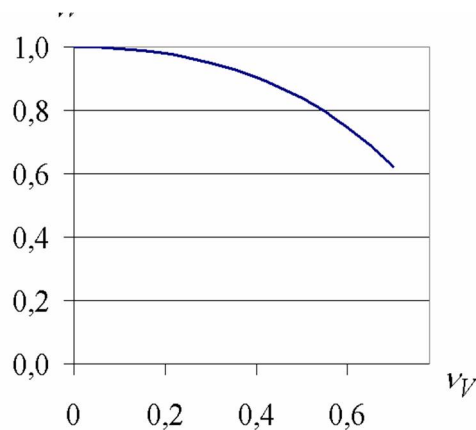


Рис. 5. Вплив варіації швидкості розвитку дефекту на середній недовикористаний ресурс агрегатів при експоненціальному розвитку дефектів

Висновок

Отже, визначені залежності середнього недовикористаного ресурсу агрегатів превентивно замінених агрегатів, які відмовляють внаслідок дефектів з тривалим інкубаційним етапом, від порогу превентивної заміни, швидкості розвитку дефекту та коефіцієнту варіації цієї швидкості.

При цьому потік дефектів розглядався як стаціонарний. Однак, попередні діагностування призводитимуть до зміни потоку дефектів. Тому перспективним напрямком подальших досліджень є визначення впливу періодичності діагностування на недовикористаний ресурс агрегатів.

Література

1. Диагностика и техническое обслуживание машин / А.Д.Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов и др. –М.: Издательский дом «Академия», 2008. –432 с.
2. Frangopol D.M. Probabilistic Models for Life-Cycle Performance of Deteriorating Structures: Review and Future Directions / D.M. Frangopol, M.-J. Kallen, J. M. van Noortwijk // Progress in Structural Engineering and Materials. 2004. – N 6. – 197–212.
3. Grall A. A condition-based maintenance policy for stochastically deteriorating systems / A. Grall, C. Berenguer, L. Dieulle // Reliability Engineering and System Safety. 2002. – N 76. –167-180.
4. Letot C. Dynamic reliability degradation based models and maintenance optimization. / C. Letot, P. Dehombreux // Presented at 9th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics. – Brussels, 2012, 9-10-11 May.
5. Шевченко С. А. Підвищення надійності машин методом превентивної заміни елементів при наявності інкубаційного періоду розвитку дефектів / С. А. Шевченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічний сервіс машин для рослинництва. – 2014. – Вип. 145. – С. 198–202.

Summary

Shevchenko S.A. Determination of average unused unit's resource at condition-based maintenance as presence of incubation phase defect

The method of determining the average unused unit's resource are preventively replaced on the results of diagnostics. The method allows to determine unused resource depending on the threshold of preventive replacement, expectation and coefficient of variation rate of the defect. Dependence obtained for the cases of linear and exponential increase of the defect (or diagnostic signs) of operating time.

Key words: unit, defect, incubation stage, growth rate, diagnosing, preventive replacement, resource.

References

1. Diagnostika i tehničeskoe obslužhivanie mashin / A.D.Anan'in, V. M. Mihlin, I. I. Gabitov i dr. –М.: Izdatel'skij dom «Akademija», 2008. –432 s.
2. Frangopol D.M. Probabilistic Models for Life-Cycle Performance of Deteriorating Structures: Review and Future Directions / D.M. Frangopol, M.-J. Kallen, J. M. van Noortwijk // Progress in Structural Engineering and Materials. 2004. – N 6. – 197–212.
3. Grall A. A condition-based maintenance policy for stochastically deteriorating systems / A. Grall, C. Berenguer, L. Dieulle // Reliability Engineering and System Safety. 2002. – N 76. – P. 167-180.
4. Letot C. Dynamic reliability degradation based models and maintenance optimization. / C. Letot, P. Dehombreux // Presented at 9th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics. – Brussels, 2012, 9-10-11 May. – P. 1–9.
5. Shevchenko S. A. Pidvyshhennja nadijnosti mashyn metodom preventyvnoi' zaminy elementiv pry najavnosti inkubacijnogo periodu rozvytku defektiv / S. A. Shevchenko // Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka. Tehničnyj servis mashyn dlja roslynnictva. – 2014. – Vyp. 145. – S. 198–202.