

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АГРЕГАТОВ МАШИН ПРИ
НАЛИЧИИ ИНКУБАЦИОННОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ
ДЕФЕКТА**

Шевченко С.А. к.т.н., доц.

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко*

Разработана методика оптимизации периода диагностирования агрегатов машин, которая может применяться при отказах вследствие питтинга. Методика учитывает убытки от отказа, затраты на упреждающую замену, стоимость диагностирования.

Постановка проблемы. Эксплуатационная надежность машин, используемых в сельском хозяйстве, зависит от своевременного технического диагностирования [1]. Для эффективного предотвращения отказов машин необходимы методики диагностирования, регламентирующие, в частности, его периодичность.

Анализ последних исследований и публикаций. Допустимые значения размеров деталей и зазоров, а также периодичность диагностирования определяют путем вероятностного прогнозирования изнашивания деталей. При этом полагают, что изменение структурного и диагностического параметров с наработкой происходит линейно (или по степенному закону) и начинается после приработки деталей при вводе машины в эксплуатацию [2, 3].

Нерешенной частью проблемы является обоснование межконтрольного интервала при наличии продолжительного инкубационного этапа развития дефекта (по завершению которого начинается его быстрое развитие), что характерно для отказов подшипников качения и зубчатых передач вследствие питтинга.

Целью данной работы является разработка методики оптимизации периодичности диагностирования при выявлении дефектов, которым свойственна инкубационная стадия развития. При этом решение о необходимости упреждающей замены принимается на основании одного измерения диагностического параметра (без определения его тренда).

Модель развития дефекта и предотвращения отказа. Полагаем, что в своем развитии дефект последовательно пребывает на двух стадиях - инкубационной стадии (накопление подповерхностных поврежде-

ний) и стадии развития (рост поверхностных повреждений). Дефекты, пребывающие на инкубационной стадии развития, не могут быть выявлены при диагностировании. После завершения инкубационного этапа дефект характеризуется случайным размером и далее развивается со случайной скоростью. Этап развития дефекта завершается отказом узла в момент достижения дефектом граничного размера (что соответствует достижению граничного значения диагностического параметра). На этапе развития дефекта он может быть обнаружен при диагностировании. При этом, если диагностический параметр превышает допустимое значение, выполняется упреждающая замена узла (агрегата) и отказ предотвращается.

Определение потерь при ремонтах по потребности и по состоянию. Рассмотрим два варианта ремонта – по потребности и по техническому состоянию (по результатам диагностирования). Для каждого варианта определим потери за весь срок службы (с учетом затрат на реновацию) и соответствующие удельные потери на единицу времени:

$$\Pi_{\Pi} = \frac{C_{Aep}(1+k_{P\Pi})}{\bar{T}}, \quad (1)$$

где Π_{Π} – удельные потери при ремонте по потребности, грн; C_{Aep} – цена агрегата, грн; $k_{P\Pi}$ – коэффициент, характеризующий дополнительные затраты при ремонте по потребности; \bar{T} – средний ресурс, с.

Рассмотрим полную группу событий, возможных при ремонте по состоянию (аварийный ремонт и упреждающая замена) и определим средние удельные потери с учетом вероятностей указанных событий:

$$\begin{aligned} \Pi_C(\Delta T) = P(\Delta T) \left(\frac{C_{Aep}(1+k_{P\Pi})}{\bar{T}} + \frac{C_D}{\Delta T} \right) + \\ + (1-P(\Delta T)) \left(\frac{C_{Aep}(1+k_{PC})}{\bar{T}k_T} + \frac{C_D}{\Delta T} \right), \quad (2) \end{aligned}$$

где Π_C – удельные потери при ремонте по состоянию, грн; P – вероятность отказа; ΔT – периодичность диагностирования, с; k_{PC} – коэффициент, характеризующий дополнительные затраты при ремонте по состоянию; k_T – коэффициент использования ресурса при ремонте по состоянию; C_D – затраты на диагностирование, грн.

Полагая, что этап развития дефекта и периодичность диагностирования существенно меньше среднего ресурса, примем, что при ремонте по состоянию ресурс используется практически полностью. Преобразу-

ем (2):

$$P_C(\Delta T) = \frac{C_{Aep}}{T} \left(\frac{k_D}{\Delta T / T} + P(\Delta T)(1 + k_{PI}) + (1 - P(\Delta T))(1 + k_{PC}) \right), \quad (3)$$

где k_D – соотношение затрат на диагностирование и стоимости агрегата.

Определение вероятностей отказов. Параметр потока отказов полагаем постоянным. Определим вероятность отказа при ремонте по потребности за промежуток времени, равный периодичности диагностирования:

$$p_{II} = 1 - \exp(-w\Delta T), \quad (4)$$

где p_{II} – вероятность отказа на межконтрольном интервале при ремонте по потребности; w – параметр потока отказов, 1/с.

Определим вероятность отказа при ремонте по состоянию, используя зависимость снижения параметра потока отказов от времени и допустимого значения диагностического параметра [4] (диагностирование осуществляется в момент времени $t = 0$):

$$k_w(t) = \frac{1}{2} + \Phi_0 \left(\ln \left(\frac{m_V t}{D_{II} - D_D} \right); \sigma_V \right), \quad (5)$$

$$p_C = 1 - \exp \left(-w \int_0^{\Delta T} k_w(t) dt \right), \quad (6)$$

где k_w – коэффициент уменьшения параметра потока отказов; D_{II} – предельное значение диагностического параметра; D_D – допустимое значение диагностического параметра; m_V , σ_V – соответственно, параметр масштаба и параметр формы логарифмически нормального закона распределения скорости роста дефекта; p_C – вероятность отказа на межконтрольном интервале при ремонте по состоянию.

Для уменьшения вероятности отказа следует использовать минимально-возможное допустимое значение диагностического параметра, обеспечивающее выявление дефекта на этапе развития. Используя (4, 5), определим вероятность упреждающей замены на межконтрольном интервале:

$$p_3 = p_{II} - p_C, \quad (7)$$

где p_3 – вероятность упреждающей замены на межконтрольном интервале.

Определим вероятность отказа при ремонте по состоянию из (7):

$$\frac{p_3}{p_c} = \frac{1-P}{P}, \quad (8)$$

$$P = \frac{p_c}{p_{\Pi}} = \frac{1 - \exp(-w \int_0^{\Delta T} k_w(t) dt)}{1 - \exp(-w \Delta T)} \approx \frac{\int_0^{\Delta T} k_w(t) dt}{\Delta T}, \quad (9)$$

Задача оптимизации периодичности диагностирования. Определим отношение затрат при ремонте по потребности и ремонту по состоянию:

$$K(D_{\Pi}) = \frac{\Pi_c(\Delta T)}{\Pi_{\Pi}} = \frac{k_d}{\Delta T / T} + \frac{P(\Delta T)(1 + k_{\Pi\Pi}) + (1 - P(\Delta T))(1 + k_{PC})}{1 + k_{\Pi\Pi}}, \quad (10)$$

где K – коэффициент уменьшения затрат.

Сформулируем задачу оптимизации периодичности диагностирования;

$$\begin{cases} K(\Delta T) \rightarrow \min \Rightarrow \Delta T_{\text{opt}} \\ K(\Delta T_{\text{opt}}) < 1 \end{cases}, \quad (11)$$

где ΔT_{opt} – оптимальный период диагностирования, с.

В качестве примера расчета по предложенной методике, на рис.1 приведены зависимости коэффициента уменьшения затрат при переходе от ремонта по потребности к ремонту по состоянию от периода диагностирования.

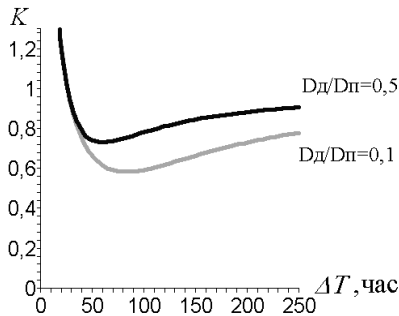


Рис. 1. Зависимость уменьшения затрат от периодичности диагностирования при $m_V = 0.01$ год., $\sigma_V = 0,7$, $\bar{T} = 3000$ час, $k_d = 0.05$,

$$k_{\Pi\Pi} = 7, k_{PC} = 1.$$

Вывод. Разработанная методика предназначена для оптимизации периодичности диагностирования агрегатов, отказывающихся вследствие

пittingа. При этом использовано предположение о экспоненциальном росте диагностического параметра с наработкой, что характерно для интенсивности вибрации и акустической эмиссии. Перспективным направлением дальнейших работ является совместная оптимизация периодичности диагностирования и допустимого значения диагностического параметра.

Список использованных источников

1. Надійність сільськогосподарської техніки: / М.І. Чорновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін; За заг. ред. М.І. Чорновола. –Кіровоград: КОД, 2010. – 320 с.
2. Диагностика и техническое обслуживание машин [учебник] / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов, А.В. Неговора, А.С. Иванов – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 215 с.
3. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов. – Харьков: ХНАДУ, 2004. –292 с.
4. Шевченко С.А. Підвищення надійності машин методом превентивної заміни елементів при наявності інкубаційного періоду розвитку дефектів // Вісник ХНТУСГ. Технічний сервіс машин для рослинництва. - 2014. -Вип. 145. -С. 198-202.

Анотація

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ АГРЕГАТИВ МАШИН ПРИ НАЯВНОСТІ ІНКУБАЦІЙНОГО ЕТАПУ РОЗВИТКУ ДЕФЕКТУ

Шевченко С.А.

Розроблено методіку оптимізації періоду діагностування агрегатів машин, що може застосовуватися при відмовах внаслідок пітінга. Методіка враховує збитки від відмови, витрати на превентивну заміну, вартість діагностування.

Abstract

OPTIMIZATION OF DIAGNOSING PERIOD OF AGGREGATES MACHINES AT PRESENCE OF INCUBATION STAGE OF DEFECT

Shevchenko S.A.

The optimization technique of period diagnosing of aggregates machines, that can be used in case of pitting, is developed. Method takes into account the losses due to failure, advance replacement costs, the cost of diagnosis. Technique can be used in vibration diagnosing and AE diagnosing of units.