

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ ТРАНСМИССИИ
МЕТОДОМ ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

Приймак А.В., к.т.н., доц., Чернявский В.Н., к.т.н., с.н.с.
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

Циба Н.В., асп.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

В работе разработана статистическая модель принятия решения о выборе диагностического признака технического состояния агрегатов трансмиссий на основе информации, получаемой в эксплуатации, а также результатов применения эмиссионного спектрального анализа.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими программами. Снижение финансирования отраслей народного хозяйства, которое происходит в настоящее время, не снимает с них задач поддержания парка имеющихся технических систем в исправном состоянии. Одним из основных показателей нахождения техники в исправном состоянии является коэффициент технической готовности. Обеспечение требуемых значений данного показателя, особенно при проведении наиболее ответственных работ, является важнейшей задачей, что требует глубокого изучения проблемы с использованием методологии системного подхода. При этом основными принципами, положенными в основу данного подхода должны быть: комплексность изучения проблемы; своевременность проведения мероприятий по анализу надежности парка техники, диагностированию технического состояния отдельных образцов техники; оперативность разработки рекомендаций и корректирования программ технического обслуживания; обеспечение адаптивности проводимого комплекса мероприятий под меняющиеся условия использования техники и др.

Бесспорно, эффективность всей системы указанных мероприятий зависит от полноты имеющейся информации о фактическом техническом состоянии основных агрегатов транспортных и технических систем (далее агрегатов транспортных систем (АТС), а следовательно и от возможностей используемых методов диагностирования технического состояния последних. В тоже время существующие методы контроля технического состояния АТС характеризуются недостаточной информативностью и, очень часто, низкой достоверностью получаемых результатов, что требует их комплексного использования совместно с другими методами. Это влияет на стоимость контроля и величину трудозатрат, повышая, таким образом, стоимость технического обслуживания АТС. В связи с этим задача разработки

высокоэффективных и неразрушающих методов диагностики технического состояния АТС является актуальной, а ее решение представляет собой важную научную задачу.

Выполненный анализ научной литературы позволил установить, что среди неразрушающих методов контроля наиболее приемлемым для диагностики технического состояния АТС является метод эмиссионного спектрального анализа (ЭСА) масла [1 - 6]. Он нашел широкое применение при оценке технического состояния таких сложных технических систем, как тяговый подвижной состав железнодорожного транспорта и авиационные двигатели. Для оценки же состояния других систем он практически не используется, хотя, как свидетельствуют результаты исследований, метод позволяет выявить до 94% неисправностей, обеспечивая при этом точность диагностирования до 85% [2].

В связи с этим основной целью данной статьи является разработка методики принятия решения о техническом состоянии АТС базирующийся на использовании статистической информации получаемой в процессе выполнения ЭСА масла.

Основные положения материала статьи. Сегодня, по утверждению ведущих специалистов в области диагностирования состояния сложных технических систем, метод ЭСА масла является одним из перспективных методов диагностирования технического состояния, а также прогнозирования остаточного ресурса АТС [4-6]. Его применение в процессе выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту АТС позволит, по словам тех же специалистов, принимать решение о состоянии объектов эксплуатации за 7-8 минут, основываясь лишь на информации о наличии и концентрации в масле конкретных химических элементов (включений) [7].

Вообще состав включений может быть самым разнообразным и зависит, в первую очередь, от состава конструкционных материалов, из которых выполнены те или иные АТС. Однако если конкретизировать задачу и рассматривать отдельные классы технических систем, которые наиболее широко используются в народном хозяйстве, то номенклатуру химических элементов включений можно существенно сузить. Так, если рассматривать агрегаты трансмиссии тракторов, то наиболее часто встречающимися включениями здесь являются: Cu, Fe, Cr, Ni, C, P, Co.

Учитывая, что АТС очень часто применяются в условиях повышенной запыленности, также в качестве включения следует рассмотреть повышенное содержания в масле пыли (Si), где Si играет двойственную роль – причина износа и индикатора износа. Наличие остальных элементов и их количество в масле свидетельствуют о наличии и динамике протекания процессов износа и деградации непосредственно в узлах трения АТС [5, 6]. Поэтому представляет интерес выявление зависимостей между соответствующими характеристиками включений и техническим состоянием АТС, номенклатура которых согласно ГОСТ 27.002-89 и ДСТУ 2860-94 приведена на рис.1.

Данные зависимости могут быть получены путем соотношения состава и концентрации химических элементов включений на разных стадиях

эксплуатации АТС с результатами их дефектации. При этом должен быть четко известен диагностический признак перехода между состояниями, который не может быть получен из анализа всей номенклатуры химических элементов, входящих в состав включений, ввиду получения чрезвычайно большого количества допустимых решений.

Для выхода из данной ситуации авторами предлагается применить известные подходы и методы теории статистических решений [10-12]. Ожидается, что в результате их применения удастся сузить существующее множество решений за счет исключения из анализа части химических элементов включений (стратегий исследователя) и сформировать диагностические признаки перехода объектов АТС из одного технического состояния в другое.

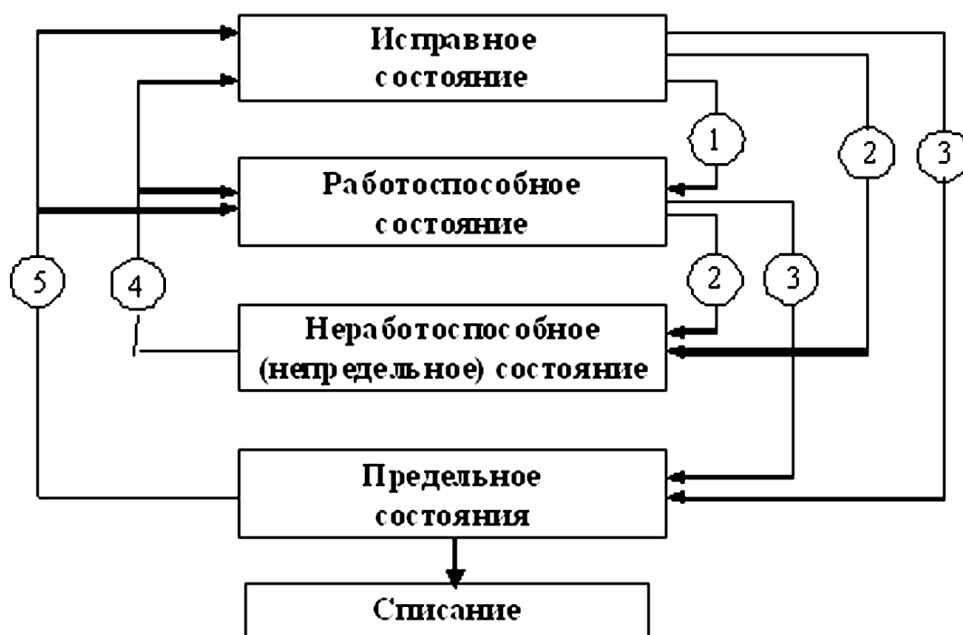


Рис.1 Схема основных технических состояний и событий объектов:

1 – повреждение; 2 – отказ; 3 – переход в предельное состояние; 4 – восстановление; 5 – ремонт

Выполним постановку задачи и представим сказанное выше соответствующей статистической моделью принятия решения.

Пусть имеется конечное число исследуемых химических элементов, концентрация которых изменяется в зависимости от перехода АТС из одного технического состояния в другое. Обозначим через S_i соответствующие состояния АТС. При этом $i=1..m$ соответствует номеру конкретного состояния, которое может быть идентифицировано при дефектации АТС. Соответствующее включение, выявляемое в процессе ЭСА масла, обозначим символом \mathcal{E}_j , где $j=1..n$. Таким образом, в самом простом случае статистическую модель принятия решения можно представить в виде матрицы размерности $[m,n]$, элементами которой, говоря языком теории статистических

игр, должны выступать «значения потерь». Обозначим их, как q_{ij} . Определение соответствующих потерь позволяет диагносту предпринимать действия (выбирать в качестве индикатора технического состояния АТС одно или несколько включений), которые являются наилучшими в конкретных условиях.

Такой подход является справедливым в случае наличия полной информации о возможных состояниях АТС в каждом конкретном случае. Однако нам известен лишь их возможный перечень (см. рис. 1). Из опыта эксплуатации, а также на основании обработки статистической информации, полученной при дефектации N -го, достаточно большого количества АТС, может быть получена дополнительная информация о распределении вероятностей нахождения однотипных агрегатов в том или ином техническом состоянии. Обозначим их P_i^s .

Определение данных вероятностей может быть выполнено по формуле:

$$P_i^s = n_i / N, \quad \sum_{i=1}^m P_i^s = 1 \quad (1)$$

где: n_i – количество агрегатов, находящихся в i -м состоянии.

Выше было сказано, что одним из основных показателей, который характеризует переход АТС из одного технического состояния в другое, является изменение концентраций соответствующих включений в масле (k_j).

Но реализация того или иного значения концентрации носит вероятностный характер. Исходя из этого, логичным будет принять в качестве элементов соответствующей матрицы игры значения математических ожиданий, того или иного значения концентрации химических элементов, которые составляют множество решений диагноста.

Однако вычисление математических ожиданий концентраций включений по каждому техническому состоянию выполняется на основе различного числа измерений, что в соответствии с [13] дает основание усомниться в их равнозначности. В этом случае данные значения математических ожиданий должны входить в матрицу с учетом весов, которые могут быть получены из выражения:

$$p_{ij} = (\sigma_{ij}^2)^{-1}, \quad (2)$$

где: σ_{ij} – значение среднеквадратического отклонения концентраций j -го включения по i -му техническому состоянию.

В тоже время значения концентрации включений, соответствующих каждому из определенных выше технических состояний агрегатов, является также случайной величиной, зависящей от условий эксплуатации последних, характеристик методов анализа и количества данных, которые используются для принятия решения, что вводит дополнительную неопределенность в сам процесс его выработки. Таким образом, требуется дополнительная информация,

которая может быть получена в процессе анализа результатов ЭСА масел для агрегатов находящихся в различных технических состояниях.

В качестве данной информации предлагается использовать частоту выявления приращений концентраций соответствующих химических элементов при переходе объектов в разные технические состояния. При этом формула для получения данных частот будет иметь вид:

$$v_{ij}^{\Delta} = \begin{cases} l_{ij}^{\Delta} / N_i^s, & \Delta k_i > 0 \\ 0, & \Delta k_i = 0 \end{cases}, \quad \sum_{i=1}^m v_{ij}^{\Delta} = 1 \quad (3)$$

где: l_{ij}^{Δ} – количество проявлений j -го элемента при i -м техническом состоянии агрегата;

N_i^s – количество агрегатов, отнесенное к i -му техническому состоянию;

Δk_i – приращение концентрации i -го химического элемента.

С учетом дополнения матрицы игры значениями величин, представленных выражениями (1)-(3), получим модель принятия решения о выборе конкретных включений в качестве диагностических признаков технического состояния АТС, вид которой представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Пространство выборок при решении задачи определения технического состояния АТС

| Основные технические состояния (ТС) | Вероятность нахождения в ТС | Стратегии диагноста | | | | Исходы эксперимента, Δk_i | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------|----------|----------|----------|-----------------------------------|-------------------|----------|-------------------|
| | | q_1 | q_2 | ... | q_j | v_1^{Δ} | v_2^{Δ} | ... | v_j^{Δ} |
| Состояние S_1 | P_1^s | q_{11} | q_{12} | ... | q_{1j} | v_{11}^{Δ} | v_{12}^{Δ} | ... | v_{1j}^{Δ} |
| Состояние S_2 | P_2^s | q_{21} | q_{22} | ... | q_{2j} | v_{21}^{Δ} | v_{22}^{Δ} | ... | v_{2j}^{Δ} |
| \vdots | | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots |
| Предельное состояния S_i | P_i^s | q_{i1} | q_{i2} | ... | q_{ij} | v_{i1}^{Δ} | v_{i2}^{Δ} | ... | v_{ij}^{Δ} |

В модели q_{ij} определяется как:

$$q_{ij} = k_{ij} \times (\sigma_{ij}^2)^{-1}. \quad (4)$$

Поскольку в данном случае величины q_{ij} характеризуют наличие включений в масле и при ухудшении технического состояния АТС их величина априори должна возрастать, то для приведения модели к классическому виду перед значениями данных величин должны быть поставлены знаки « \leftarrow » [11].

В такой постановке задача принятия решения о выборе соответствующего включения в качестве диагностического признака может быть сведена к принятию решения в статистической игре с одним экспериментом. Однако следует заметить, что непосредственное ее решение требует анализа огромного

числа стратегий диагноста, которое уже при количестве анализируемых технических состояний АТС «4» и количестве включений (анализируемых химических элементов) равное «5» будет равняться:

$$h = m^n = 4^5 = 1024.$$

Для упрощения решения задачи при нахождении оптимальных стратегий диагноста, может быть использован подход, который детально изложен в работе [12] и базируется на использовании апостериорного распределения вероятностей. Данный подход позволяет организовать процедуру принятия решения таким образом, что число стратегий диагноста останется прежним и равным $h = m \times n$.

Остается открытым вопрос о выборе правила поиска решений. В той же работе [12], а также в работе [4] рассматривается несколько подходов: выбор минимаксной стратегии, использование метода максимального правдоподобия, минимального риска и др. Однако по нашему мнению наиболее перспективными в данном случае является применение Байесовского принцип принятия наилучшего решения, а также использование критерия Гурвица [10, 11].

В первом случае может быть обеспечено принятие решения относительно одного химического элемента, изменение которого при переходах в различные состояния будет максимальным. Во втором же случае имеется возможность расширить диапазон элементов, относительно которых будет принято положительное решение за счет вариации коэффициентом доверия.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. 1. В работе разработана статистическая модель принятия решения о выборе диагностического признака технического состояния АТС на основе информации, получаемой в эксплуатации, а также результатов применения ЭСА.

2. Даная математическая модель является основой методики принятия решения о техническом состоянии АТС т.к. позволяет выявить связь между техническим состоянием объекта и изменением количества включений в масле.

3. Использование разработанной модели в составе методики принятия решения о техническом состоянии АТС позволит получать исходные данные для оперативного контроля состояния отдельных агрегатов, а также для последующего прогнозирования их остаточного ресурса.

Список использованных источников

1. Рекомендации по внедрению диагностической системы управления состоянием дизелей тепловозов и дизель-тепловозов по результатам анализа масла. Введены 23.10.2009г. – 32 с.
2. Сиротин Н.Н. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей / Н.Н. Сиротин, Ю.М. Коровкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 279 с.
3. Терёк Т. Эмиссионный спектральный анализ: в 2 т.Т.1 / Т. Терёк,

- Й. Мика, Э. Гегуш. – М.: Мир, 1982. – 423 с.
4. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
 5. Погорелый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники / Л.В. Погорелый, В.Я. Анилович. – К.: Феникс, 2004. – 208 с.
 6. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. – М.: Колос, 1984. – 335 с.
 7. Кеба И.В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей / И.В. Кеба. – М.: Транспорт, 1980. – 248 с.
 8. ГОСТ – 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. [введ. 1989-11.15]. М.: Госуд-й комитет по стандартам, 1989. – 40 с.
 9. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [чинний від 1996-01.01] К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 53 с.
 10. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
 11. Бажин И.И. Информационные системы менеджмента / И.И. Бажин. – М.: ГУ-ВШЭ, 2000. – 688 с.
 12. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики / Ю.М. Коршунов. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
 13. Щигольев Б.М. Математическая обработка наблюдений. – М.: ГИ ФМЛ, 1962. – 343 с.

Анотація

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АГРЕГАТИВ ТРАНСМІСІЇ МЕТОДОМ ЕМІСІЙНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Приймак А., Чернявський В., Циба М.

В роботі розроблена статистична модель прийняття рішення про вибір діагностичної ознаки технічного стану агрегатів трансмісій на основі інформації, одержуваної в експлуатації, а також результатів застосування емісійного спектрального аналізу.

Abstract

A MATHEMATICAL MODEL OF DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF THE DRIVE TRAIN BY EMISSION SPECTRAL ANALYSIS

A. Priymak, V. Chernyavskiy, N. Tsiba

Statistical model of the decision on the choice of a diagnostic sign of the technical state of aggregates of transmissions on the basis of information obtained in the operation and results of emission spectral analysis was developed in the article.