УДК 629.083

В.В. Аулин, А.В. Гринькив, С.В. Лысенко

Кировоградский национальный технический университет
Кировоград, Украина

СВЯЗЬ ИНФОРМАЦИОНОЙ ЭНТРОПИИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Приведен метод объективной оценки показателей надежности, который дает возможность определять и рассматривать варианты структурного взаимодействия и изменения технического состояния транспортных средств. В качестве основы объективной оценки взята информационная энтропия Шенона, приведены такие показатели надежности как коэффициент готовности и неготовности и возможный и формулы их расчета.

Ключевые слова: транспортное средство, надежность агрегатов, информационная энтропия, количество информации, вероятность, наработка, коэффициент готовности, коэффициент неготовности, система контроля.

При рассмотрении вопросов надежности и технического состояния агрегатов транспортных средств (ТС) важное значение приобретает переменчивостьсоответствующей информации. Поскольку такие ТС,ихагрегаты являются открытыми системами, то реакции в них свидетельствуют об изменении диагностической информации [1].

Выход из строя агрегатов ТС, замена в них деталей, ремонт, расширение через внедрение новых элементов - все это приводит к изменению показаний надежности агрегатов, а, следовательно, и диагностической информации об их технических состояниях. При принятии решений о поддержке надежности работы ТС и его агрегатов, фактически решается задача управления техническим состоянием. При этом управляющие устройства отслеживают, обрабатывают, накапливают полезную диагностическую информацию о технических состояниях агрегатов, повышая уровень их организации и надежности, а также ТС в целом.

В процессе эксплуатации ТС наблюдается структурные изменения в агрегатах, которые имеют вероятностнуюприроду, поскольку поведение факторов влияния также вероятностное.Исследуя через обработку информации структуру агрегатов, можно добиться уменьшения отклонений от нормальных значений факторов влияния и показателей надежности, обеспечивая их эволюционное развитие и стабильность.

Целенаправленный сбор и интегрирование диагностической информации, отображающей техническое состояние агрегатов ТС, является условием формирования видоизмененной их структур. Поддержание высокого уровня надежности агрегатов ТС, при наличии внутренних и внешних факторов, путем изменения алгоритма функционирования через выбор конкретной структуры свидетельствует об их поступательном изменении технического состояния агрегатов ТС при наработке.

Анализ надежности агрегатов свидетельствует о преимуществе использования структурных моделей. При этом речь идет о так называемой структурной надежности, которая представляется в виде ориентированных графов с соединёнными дугами - последовательно и параллельно. При этом дуга отображает на графе элемент агрегата с параметрами: вероятность безотказной работы или отказа; коэффициент готовности или неготовности; время восстановления; частота отказов и т.д..

Методы структурной надежности агрегатов ТС можно использовать при определении показателей безотказности их работы и их потоковой связи с изменением технических состояний ТС. Однако это не дает возможностисудить о структурных изменениях в ТС и возможных путяхих развития. Если к этому приобщить теорию функциональной надежности, то возникают осложнения в согласовании параметров, т.е. есть необходимость в математической формализации задачи.

Для решения этой задачи желательно использовать методологию выборочного отображения и отбор информации о поведении надежности агрегатов и ТС в целом, которые позволяют рассматривать их технические состояния и правильно принимать решение направленные на динамику изменения. На основе этого можно предложить математическую модель определения количества информации о структурном содержании агрегатов и ТС в целом, с использованием информационной энтропии, которая определяется по формуле Шенона.

Возможности применения формулы Шенона обусловливается необходимостью определения величины информации: если множество возможных сообщений конечное, то число сообщений или любую монотонную функцию от этого числа можно рассматривать как меру информации [2].При этом информационная энтропия равна:

$$I = -\sum_{j=1}^{n} p_j \log p_j , \quad \sum_{j=1}^{n} p_j = 1 , \qquad (1)$$

гдеp_i- вероятность появления события из общего числа событий n, играющая определяющую роль в качестве меры количества информации.

Более общее выражение для информационной энтропии имеет вид:

$$I = -\sum_{j=1}^{n} p_j \log_m p_j, \qquad \sum_{j=1}^{n} p_j = 1, \qquad (2)$$

гдеp_j- вероятность события (сигналу) со значением j, m - количество вариантов, которое можно принимать сигнал. При m=*2*, имеем:

$$I = -(p \log_2 p + q \log_2 q), \quad p + q = 1, \qquad (3)$$

где*p*- вероятность появления сигнала в потоке информации,*q=1 - p*-вероятность его отсутствия. Формула (3) дает определение количества информации от одного элемента системы.

Если система имеет*n*– элементов, то формула (3) приобретает вид:

$$I = -\sum_{i=1}^{n} (p_i \log_2 p_i + q_i \log_2 q_i). \qquad (4)$$

Формула дает возможность определить величину информации о техническом состоянии агрегатов и ТС в целом. Вместе с тем по величине информации невозможно определить степень надежности информации к восстановлению, к выполнению функции передачи энергии от генерирующих источников к потребителям. Но в любую открытую систему, в том числе агрегаты и ТС, с внешней среды регулярно вносится энергия (информация), необходимая для сохранения высокого уровня надежности.В реальных условиях функционирования агрегатов, ТС, информация, которая приходит от каждого элемента указывает на соотношениеp>>q. Полученная в результате расчета величина информации свидетельствует о том, что агрегат или ТС работает надежно, а для оценки технического состояния применяется выражение (4).

Если не ограничиваться возможностями определения величины информации через вероятность поступления события, то можно выйти за пределы структурного содержания агрегатов ТС[4,5], учитывая при этом дополнительные возможности их функционирования. Тогда можно пользоваться выражением (2) при условии, что двоичные числа в основании логарифма могут представлять, что угодно.Вместе с темколичествопредставленное двоичным числом несет информацию [3], величина которой определяется выражением:

$$I = -\sum_{k=1}^{n} (p_k \log_2 p_k + q_k \log_2 q_k), \qquad (5)$$

где k - количество цифр при кодировке величины показателя надежности ТС.

Несмотря на важность формул (2) и (5) в задачах определения величины информации о состоянии системы, предварительно следует оцифровывать ее показатели, что накладывает определенные трудности,т.е. следует учитывать зависимые события, например для систем с последовательно соединенными элементами.

В теории структурной надежности ТС целесообразно использовать ряд показателей, среди которых коэффициенты готовности и неготовностивосстанавливаемых элементов, агрегатов и ТС в целом:

$$K_г = \frac{\overline{t_0}}{\overline{t_0} + \overline{t_в}} \ ; \qquad K_н = 1 - K_г \, , \qquad (6)$$

где$K_г$, $K_н$- коэффициенты готовности и неготовности, $\bar{t}_0$ и $\bar{t}_в$ - средние наработки на отказ и время восстановления элемента системы.

Вероятность безотказной работы, связанной с коэффициентом готовности равна:

$$p(t) = K_г + K_н \exp(-\frac{t}{K_г K_н}); \quad q(t) = 1 - p(t)\, , \qquad (7)$$

где p(t) и q(t) - функции вероятности готовности и неготовности агрегатов или ТС в целом.

Заметим, что через определенное время переходного процесса функций вероятностей становятся ровными коэффициентам:

$$\lim_{t \to \infty} p(t) = K_г \ ; \qquad \lim_{t \to \infty} q(t) = K_н \, . \qquad (8)$$

Анализ длительности переходного процесса показывает,что его величина небольшая по отношению к длительности эксплуатации элемента, агрегата и ТС. В большинстве расчетов уровня надежности длительностью переходного процесса можно пренебречь из-за того, что большинство агрегатов ТС имеют высоконадежные элементы. Процесс изменения работоспособного технического состояния на неработоспособноес последующим восстановлением элементов является потоковым. При этом поток отказов равняется сумме потоков отказов отдельных элементов (агрегатов),что является характеристикой простого потока. Самый простой поток отказов сложных высоконадежных элементов агрегатов и ТС владеет определенными свойствами стационарногопуассоновского потока, для которого характерным является редкое появление отказов. Их число в период нормальной эксплуатации приближается к постоянной величине и степень влияния отказов на надежность всей системы практически одинаковое.

Для стационарного потока интенсивность отказов является постоянной величиной $\lambda(t)=\lambda=const$. При этом средняя наработка на отказ равняется:

$$\bar{t}_0 = 1/\lambda, \text{ или } \overline{t_0} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} t_{0j} \, , \qquad (9)$$

где m - число исправных состояний элемента за период наблюдения, t_{0j} - время пребывания элемента в рабочем состоянии.

Среднее время восстановления работоспособного состояния элемента(агрегата) равно:

$$\bar{t}_в = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_{вi} \, , \qquad (10)$$

где n - число восстановлений за период наблюдения; $t_{вi}$ - время восстановления при i-ом отказе.

Моменты восстановления также образуют поток, аналогичный потоку отказов с интенсивностью отказовμ.Поскольку за отказом элемента следует его восстановление, то поток восстановлений можно считать стационарным:μ(t)=μ=const, тогда среднее время восстановления элемента равняется: $\bar{t}_в = 1/\mu$.Используя показателиλиμдля технического состояния агрегатов ТС, имеем:

$$K_г + K_н = \frac{\overline{t_0}}{\overline{t_0 + t_в}} + \frac{\overline{t_в}}{\overline{t_0 + t_в}} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = 1. \qquad (11)$$

Таким образом, при определении количества информацииоструктурных изменений ТС, которые относятся к стационарным пуассоновским процессам отказа и восстановления элементов, возможно применение средних величин продолжительности наработки $\bar{t}_0$ и восстановления $\bar{t}_в$.

Применение $\bar{t}_0$и$\bar{t}_в$ взамен piq удобнее, поскольку в системах контроля и учета поведения ТС оперируют промежутками времени. Чтобы определить количество информации от данного элемента, (агрегата) достаточно в (4) выполнить замену показателя. Если рассматривается поведение всей системы, то возможное использование формулы (1) при условии, что отказы элементов независимы. При выполнении расчетов для эксплуатации систем достаточным является лишь фиксация промежутка времени пребывания элемента в каждом из возможных состояний. В случае диагностирования агрегатов ТС процесс определения величины информации усложняется из учета возможных движений энергоресурсов.

Если цепь агрегатов состоит из n - зависимых элементов, то они соединены последовательнои энергия распространяется в одном направлении. Каждому i-елементу структуры приписывается средние значения на отказ $\bar{t}_0$ и время восстановления$\bar{t}_в$. Имеяэти показатели, определяются коэффициенты готовности и неготовности для каждого элемента и сети в целом.

Структура отказов одних элементов от других с учетом распределения энергетического потока снизу вверх представлена на рис. 1.

<table>
<tr><td>$\overline{t_{03}}'$</td><td>$\overline{t_{в3}}$</td><td>$\overline{t_{в2}}$</td><td>$\overline{t_{в1}}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\overline{t_{02}}'$</td><td>$\overline{t_{в2}}$</td><td>$\overline{t_{в1}}$</td></tr>
<tr><td colspan="3">$\overline{t_{01}}'$</td><td>$\overline{t_{в1}}$</td></tr>
</table>

Рис. 1 Распределение времени восстановления и наработки на отказ структуры из трех последовательно соединенных элементов цепи агрегата

В представленной структуре показателей не учитывается вероятность наложения событий. В этом случае коэффициенты для цели элемента агрегата можно определить по формулам для коэффициентов готовности или не готовности последнего в цепи (по пути потока) элемента:

$$K_{гп} = \frac{\bar{t}_{on} - \sum_{i=1}^{n-1} \bar{t}_{вi}}{\bar{t}_{on} + \bar{t}_{вп}} = \frac{\bar{t}_{on}'}{\bar{t}_{on} + \bar{t}_{вп}} \quad ; \qquad (11)$$

$$K_{нп} = 1 - K_{гп} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{вi}}{\bar{t}_{on} + \bar{t}_{вп}} = \frac{\bar{t}_{вi}'}{\bar{t}_{on} + \bar{t}_{вп}} \, . \qquad (12)$$

Для любого і-го элемента в цепи последовательно соединенных элементов эти коэффициенты равны:

$$K_{гi} = \frac{\bar{t}_{oi} - \sum_{i=1}^{i-1} \bar{t}_{вi}}{\bar{t}_{oi} + \bar{t}_{вi}} \, ; \, K_{нi} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{вi}}{\bar{t}_{oi} + \bar{t}_{вi}} . \qquad (13)$$

Используя теорему умножения из теории вероятности, имеем для ТС:

$$K_{г} = \prod_{i=1}^{n} K_{гi} \quad ; \qquad K_{н} = 1 - \prod_{i=1}^{n} K_{гi} . \qquad (14)$$

Таким образом, связь информационной энтропии с показателями надежности дает возможность использовать их расчеты, которые можно использовать, базируясь на информации о техническом состоянии агрегатов их элементов для определения уровня эксплуатационной надежности ТС и технического состояния при прогнозировании работоспособности.

Список литературы

1. Аулін В.В. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки/ В.В.Аулін, А.В.Гриньків, С.В.Лисенко та ін.// Вісник ХНТУСГім.Петра Василенка. – Вип.158./Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків, 2015. – С.252-262
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики: Пер. с англ. – М.: Изд. иностр. литературы, 1963 – 825с.
3. Хармут Х. Применение методов теории информации в физике/ Пер. с англ. – М.:Мир, 1989 – 344с
4. Дулесов А.С. Применения статистической меры информации в задаче потребления энергии/ А.С.Дулесов, Е.А.Ускова// Перспективная науки – Тамбов: Тамбов принт, - 2010 - №1(03) – С. 70-72
5. Дулесов А.С. Применение формулы Шеннона и геометрического обобщения для определения энтропии/ А.С. Дулесов, С.В.Швец, В.И.Хрустальов// Перспективи науки . – Тамбов : Тамбов принт. – 2010 - №3(05). – С. 94-97