

Дослідження проблем кінематики, динаміки, міцності та надійності машин і їх вузлів

УДК 621-192:519.2

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОКСОВЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ОШИБОК ОПЕРАТОРА

Парфенюк А.С., Костина Е.Д., Костин В.И., Булатов А.А.
(ДонНТУ, ОАО «Коксохимпроект», г.Донецк, Украина)

Введение

Проблема состоит в том, что в настоящее время не разработаны четкие рекомендации по расчету человеко-машинных систем и, в частности, для условий коксохимического производства. Это в полной мере касается систем, включающих машины, обслуживающие коксовые печи, и операторов, которые управляют этими машинами, поскольку операторы допускают ошибки, приводящие к аварийным отказам, доля которых составляет 25-75 % всех отказов. Поэтому важно разработать методику расчета такой системы с учетом аварийных отказов, вызванных ошибками операторов.

В этом направлении ведутся исследования [1-5], в частности предприняты попытки, которые позволили получить некоторые статистические характеристики эксплуатационной надежности систем «оператор – машина», однако они не позволяют прогнозировать надежность человеко-машинных систем и оптимизировать процедуру поиска наиболее эффективных мероприятий.

Интенсивность отказов человеко-машинных систем определяется, в основном, ошибками человека – оператора, который подвержен влиянию множества зачастую плохо изученных и неизученных факторов. В данной работе поставлена цель исследования надежности такой системы методом информационной энтропии, что, по нашему мнению, хорошо подходит для решения задач с большим количеством случайных воздействий на искомую функцию. В качестве искомой функции выбрана вероятность безотказной системы $P(t)$.

Основная часть

Информационная энтропия используется в качестве критерия правдоподобия - максимуму энтропии отвечает наиболее вероятный ответ на поставленную задачу при наличии имеющейся достоверной, но не всегда полной информации [6, 7]. При этом ее величина является мерой неопределенности, которая связана с состоянием системы и ожидаемой надежностью ее функционирования. Максимум информационной энтропии характеризует систему в ее наиболее вероятном состоянии. Применение информационного подхода позволяет в форме статистического вывода получить результат, который следует истолковывать как наиболее правдоподобный.

Рассмотрим применимость этого метода к оценке надежности системы «оператор-машина». Допустим, что надежность машины – это макроуровень, а микроуровень – операции, выполняемые отдельными элементами (устройствами). Процесс возникновения отказов элементов зависит от очень многих факторов (свойств материала, качества изготовления, режима работы, условий эксплуатации и др.) и носит случайный характер. В то же время надежность системы характеризуется рядом показателей (безотказность, долговечность и т.д.), которые можно оценить с некоторой определенностью.

Подобно любой задаче вероятностного характера, достоверность результатов, получаемых на основе теории информации, будет тем выше, чем больше объем выборки. Под выборкой в системах макроуровня чаще всего выступает число элементов, которое должно быть велико (порядка $10^3 - 10^4$ и более). При этом достоверность получаемых результатов оказывается очень высокой. А так как нас интересует сложный технический объект, состоящий из тысяч элементов, то уровень достоверности также ожидается высоким.

С другой стороны, в качестве большого числа элементов системы можно считать повторение однотипных операций или циклов работы механизмов и устройств коксовых машин, которые в течение нескольких лет обслуживают батареи коксовых печей. При этом число циклов насчитывает многие тысячи, и они происходят с участием оператора-машиниста. Следовательно, метод вполне можно применять для анализа таких систем с целью компенсации ошибок операторов и защиты машин от поломок. Таким образом, применение информационного метода для оценки надежности сложных систем и технических устройств с большим числом элементов или же с повторением большого числа однотипных операций вполне правомерно.

На основании статистических исследований, установлено, что доля ошибок операторов в отказах машин значительно выше, чем доля отказов для многих механических механизмов и устройств коксовых машин.

Использование информационного подхода связано с принципом максимизации информационной энтропии [6, 7]:

$$H(t) = - \int_0^{\infty} f(t) \ln f(t) dt \rightarrow \max .$$

Состояние системы в этом случае характеризуется как наиболее вероятное при формулировании ограничений, препятствующих ее переходу в состояние равновесия. Эти ограничения записываются в виде усредненных характеристик формализма Джейнса.

В задачах надежности это условие описывается в виде нормировки вероятностей для i -го состояния системы:

$$\sum_i p_i = 1.$$

и среднего значения или математического ожидания T :

$$\sum_i p_i T_i = T_{\bar{n}\delta},$$

где T_{cp} – средняя наработка на отказ, которая может быть как постоянной величиной, так и меняться по определенному закону в процессе эксплуатации объекта.

Для непрерывного множества состояний:

$$\int_0^{\tau} p_i(t) dt = 1,$$

$$\int_0^{\tau} t p_i(t) dt = T_{\bar{n}\delta},$$

где τ – срок службы системы.

Приведенные положения свидетельствуют, что величина вероятности p_i удовлетворяет принятым ограничениям. Совместным решением уравнений из почти бесконечного числа возможных распределений вероятностей определяется одно, которое является наиболее достоверным.

Оптимизацию надежности систем целесообразно начинать с повышения надежности в эксплуатации наиболее ненадежных элементов и подсистем. Таковой является, в нашем случае, подсистема "оператор - механизм съема двери" на коксовыталкивателе.

Эффективным направлением повышения надежности функционирования человеко-машинных систем является разработка и применение способов и средств компенсации последствий неизбежных ошибок операторов. На практике такая оптимизация означает приведение показателей надежности системы в соответствие с требованиями графиков технического обслуживания и ремонтов (ТОиР).

Функционирование системы характеризуется функцией распределения вероятностей безотказной работы $P(t)$:

$$0 \leq t \leq \tau.$$

Величине $P(t)$ соответствует плотность вероятности $f(t)$, определяемая как

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}.$$

Плотность вероятности должна удовлетворять ряду условий:

– условию нормировки:

$$\int_0^{\tau} f(t) dt = 1; \quad (1)$$

– отказ системы (или остановка на плановый ремонт) наступает только по истечению времени наработки T :

$$\int_0^{\tau} t f(t) dt = 3T, \quad (2)$$

где значение T для данного конкретного случая принимаем равным величине межремонтного периода на основании фактического графика ТОиР коксовой машины. Учитывая, что периодичность профилактического ремонта механизма съема двери в три раза больше, чем для всей машины, принимаем время наработки равное $3T$. Для коксовыталкивателя $T = 22$ ч. При этом $\tau \gg \underline{T}_{cp}$. Например, для рассматриваемой подсистемы $\tau = 131280$ ч.

– величина вероятности безотказной работы системы в начальный момент времени характеризуется значением коэффициента готовности:

$$P(0) = \hat{E} \bar{\alpha}.$$

Величина K_2 для рассматриваемой системы равна 0,977.

При значении времени t значение вероятности равно $P(t)$.

Используя формализм Джейнса, можно считать наиболее вероятными такие значения $f(t)$, которые обеспечивают максимальную величину информационной энтропии.

Максимизируя функцию $H(t)$ совместно с уравнениями (1) и (2) и используя метод неопределенных множителей Лагранжа, получим:

$$f_i(t)[\ln f_i(t) + 1 + (\mu_0 - 1) + \lambda_0 t] dt = 0,$$

где $(\mu_0 - 1)$ и λ_0 – множители Лагранжа при ограничениях (1) и (2) соответственно.

Упрощением получаем необходимое условие максимума энтропии:

$$\ln f_i(t) + \mu_0 + \lambda_0 t = 0.$$

Откуда

$$f_i(t) = e^{-\lambda_0 t - \mu_0}.$$

После подстановок определяем μ_0 :

$$\int_0^{\tau} f(t) dt = \int_0^{\tau} e^{-\lambda_0 t - \mu_0} dt = \frac{e^{-\lambda_0 t - \mu_0}}{-\lambda_0} \Big|_0^{\tau} = \frac{e^{-\mu_0} (e^{-\lambda_0 \tau} - 1)}{-\lambda_0} = 1.$$

Величиной $e^{-\lambda_0 \tau}$ ввиду того, что τ очень большая величина, пренебрегаем:

$$e^{-\lambda_0 \tau} \approx 0.$$

Тогда

$$e^{-\mu_0} = \lambda_0; \quad -\mu_0 = \ln \lambda_0.$$

После подстановок определим

$$\begin{aligned} f(t) &= e^{-\lambda_0 t} \cdot e^{\ln \lambda_0} = \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}; \\ \int_0^{\tau} t f(t) dt &= \int_0^{\tau} \lambda_0 t e^{-\lambda_0 t} dt = \frac{\lambda_0 e^{-\lambda_0 t}}{\lambda_0^2} (-\lambda_0 t - 1) \Big|_0^{\tau}; \\ e^{-\lambda_0 \tau} (-\lambda_0 \tau - 1) + 1 &= 3\lambda_0 T. \end{aligned}$$

Преобразовывая с учетом $e^{-\lambda_0 \tau} \approx 0$, получим:

$$\lambda_0 3T = 1; \quad \lambda_0 = \frac{1}{3T},$$

и определим:

$$\mu_0 = \ln 3T; \quad f(t) = \frac{1}{3T} e^{-\frac{t}{3T}}.$$

После подстановок с учетом граничных условий получим выражение для вероятности безотказной работы системы для значения времени t :

$$dP(t) = f(t)dt;$$

$$\int_{P(t)}^{\hat{E}_{\bar{a}}} dP(t) = \int_0^t f(t)dt = \frac{1}{3T} \int_0^t e^{-\frac{t}{3T}} dt;$$

$$\hat{E}_{\bar{a}} - P(t) = \frac{1}{3T} (-3T) e^{-\frac{t}{3T}} + 1.$$

Отсюда определяем $P(t)$:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{3T}} - (1 - K_{\bar{a}}). \quad (3)$$

Формула представляет собой математическую зависимость вероятности безотказной работы подсистемы от времени ее функционирования t .

Для данной подсистемы "оператор - механизм съема двери" с учетом исходных данных зависимость приобретает вид:

$$P(t) = e^{-0,0153 t} - 0,023.$$

Отличие уравнения (3) от экспоненциального заключается лишь в наличии выражения в скобках, учитывающего начальные условия функционирования.

Полученная математическая зависимость имеет логическое обоснование. Действительно, экспоненциальное распределение характеризуется постоянством величины интенсивности отказов $\lambda = 1/3 T$, которое и вытекает из условия (2).

Выводы

Информационный подход можно использовать для решения различных задач надежности. Метод позволяет обнаружить расхождение с традиционными статистическими оценками надежности, установить необходимые мероприятия для компенсации ошибок операторов, приводящих к поломкам механизмов машины и получить более простым способом оценку надежности сложных систем, управляемых операторами.

В этих работах вполне применим информационный подход, поскольку технические аспекты надежности для таких систем трудно разграничить с влиянием на надежность человеческого фактора. Информационный подход в данном случае позволяет без детального исследования причин ошибочных действий операторов прогнозировать оценку надежности системы как наиболее вероятную.

Список литературы: 1. Власов Г.А., Саранчук В.И., Чуищев В.М., Ошовский В.В. Системный анализ коксохимического производства. – Донецк: Східний видавничий дім, 2002. – 296 с. 2. Саранчук В.И., Власов Г.А., Чуищев В.М. и др. Надежность работы коксовых машин // Кокс и химия, 1999. № 10. – С. 34-40. 3. Саранчук В.И., Власов Г.А., Чуищев В.М. и др. Надежность коксохимического производства как системы // Кокс и химия, 2000. № 3. – С. 28-32. 4. Власов Г.А., Гайдаенко А.С., Парфенюк А.С., Топоров А.А. Продление ресурса и повышение техногенной безопасности основных конструкций на коксохимических предприятиях // Кокс и химия, 2001. № 5. – С. 36-38. 5. Власов Г.А., Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Топоров А.А., Артюх В.Г. К вопросу защиты коксовых машин от поломок // Защита металлургических машин от поломок: Сб. научн. тр. – Вып. 4. – Мариуполь: ПГТУ, 1999. – 316 с. 6. Вильсон А. Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с. 7. Энтропийные методы моделирования в химической технике / Под ред. В.П. Майкова. – М.: Изд-во МИХМа, 1981. – 160 с.

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ КОКСОВИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ПОМИЛОК ОПЕРАТОРА

Парфенюк О.С., Костіна О.Д., Костін В.І., Булатов О.А.

Показано ефективність методу інформаційної ентропії під час аналізу надійності технічних систем. Як приклад визначена надійність людино-машинної системи «оператор - коксова машина» й отримано рівняння, що дозволяє визначити ймовірність безвідмовної роботи системи.

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОКСОВЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ОШИБОК ОПЕРАТОРА

Парфенюк А.С., Костина Е.Д., Костин В.И., Булатов А.А.

Показана эффективность метода информационной энтропии при анализе надежности технических систем. В качестве примера определена надежность человеко-машинной системы «оператор – коксовая машина» и получено уравнение, позволяющее определить вероятность безотказной работы системы.

ANALYSIS OF OPERATE RELIABILITY OF COKE MACHINES WITH ERROR CHECK OF THE OPERATOR

Parfenjuk A.S., Kostina E.D., Kostin V.I., Bulatov A.A.

Efficiency of a method of informational entropy is shown at the assaying of reliability of engineering systems. In the capacity of an instance reliability of the system «the operator - the coke machine» is determined and the equation is received, allowing to define a probability of survival of the system.

Рецензент: д.т.н., проф. Неченаєв В.Г.