ЛИТЕРАТУРА

1. www.cogeneration.ru
2. Клименко В.Н., Мазур А.И, Сабашук П.П. Когенерационные системы с тепловыми двигателями (Справочное пособие). Ч. – К.: 2008. – 560 с.
3. Клименко В.Н. Проблемы когенерационных технологий в Украине // Промышленная теплотехника. – 2001. – Т.23. – № 4-5. – С. 106–110.
4. Коломейко Д. А., Корнеев И. Ю. Анализ энергетической эффективности когенерационной установки фирмы «WILSON» типа PG1250B // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т.27, №3. – С. 46– 9.
5. www.perkins.com
6. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок. Методика определения. ГКЛ 34.02.305-2002. Минтопэнерго Украины. Киев. – 2002.
7. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації (Долінський А.А., Басок Б.І., Базєєв Е.Т., Пироженко І.А., колективна монографія). – К.: Т. 1-2. – 2007. – 828 с.
8. Сборник показателей эмиссии (удельных выбросов) загрязняющих веществ в атмосферный воздух различными производствами. Донецк: УкрНТИ, т. 1. - 2004. – 184 с.

Получено 15.01.2009 г.

УДК 621.391

Драганов Б.Х.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ БУЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ И ТЕОРИИ СРЕДНЕГО ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

Викладено метод оцінки надійності технічних установок на основі булевих моделей. Показано, що даний метод особливо зручний для визначення надійності енергетичних систем.

Изложен метод оценки надежности технических установок на основе булевых моделей. Показано, что данный метод особо удобен для определения надежности энергетических систем.

The method of estimation of reliability of technical options is expounded on the basis of boole models. It is determined that the expounded method is especially comfortable for determination of reliable energy power systems.

$p(t)$ – вероятность функционирования системы;
R − вероятность безотказной работы системы;
$S(y)$ − функция работоспособности;
T − проработка системы;
t – время;
y − булева переменная

Индексы:
i − номер ребра;
j – номер узла (вершины);
s – параметр системы.

При оценке эффективности функционирования технических систем важную роль играют многие факторы. В общем случае различают следующие критерии оценки: технические, энергетические, экономические показатели, показатели надежности. Надежность, которая реализуется у изделия, зависит от концепции разработки установки, культуры производства и последующей квалифицированной эксплуатации до некоторого предельного состояния.

Для расчета по надежности анализируемой системы могут быть привлечены разные методические подходы: теория марковских цепей, марковских и полумарковских процессов, концепция параметрической чувствительности, оценка среднего остаточного ресурса, математический аппарат булевой модели [1-7].

В последнее время для анализа надежности технических устройств обращаются к математической модели теории графов, которая оказывается весьма естественной и удобной для описания структур и технических систем с взаимными коммуникационными связями. Напомним, что графом называется абстрактная математическая система, состоящая из двух множеств – вершин (узлов) и ребер (дуг) и отображения инцидентности множества вершин в множество ребер [8].

Анализ и расчет систем, отображенных в виде соответствующих графов, основывается на булевой функции. Заметим, что булева функция – это функция, аргументы которой, как и сама функция, принимают значения из двухэлементного множества (0, 1) [9].

Рассмотрим систему, состоящую из конечного числа элементов (подсистем). Для каждого элемента допускается лишь два возможных состояния – полной работоспособности и полного отказа. Точно также предполагается, что и система может находиться лишь в двух состояниях – полной работоспособности и полного отказа.

Работоспособность или отказ системы определяется состоянием ее элементов. Предполагается выполнение следующего свойства монотонности: если система функционирует, когда отказало некоторое подмножество M_1 ее элементов, то система должна функционировать также и в том случае, если отказало подмножество $M_2 \subset M_1$ элементов.

Указанная модель функционирования системы приспособлена к применению аппарата булевой функции. Состояние системы и каждого элемента можно описать с помощью булевых переменных, которые принимают значение 1 (в случае работоспособности) и 0 (в случае отказа).

Состояние системы определяется структурой функции работоспособности системы (булевой функцией) переменных $x_1, x_2, ..., x_n$, которая задается в виде

$$S(x_1, x_2, ..., x_n) = \begin{cases} 1, \textit{если система функционирует}, \\ 0, \textit{если система отказывает}. \end{cases}$$

Иногда оказывается целесообразным наряду с булевой переменной x рассматривать и ее отрицание – переменную $\bar{x}$, которая оказывается определенной в той же области значений, что и x; при этом в силу определения $\bar{x}$ реализации x и $\bar{x}$ никогда не совпадают.

Рассмотрим возможные варианты расчета булевых функций работоспособности систем. При этом будем исходить из положений, что любую исходную структурную схему расчета надежности можно проанализировать методом узловых потенциалов независимо от того, представлена ли эта схема в виде плоского графа или нет.

Вариант минимальных путей. В данном случае граф, соответствующий структурной схеме расчета надежности, является связным, причем каждое ребро связывает два различных узла.

В теории графов путь – это незамкнутый ориентированный маршрут без повторяющихся дуг. Связностью графа G называется наименьшее число вершин, удаление которых приводит к несвязанному или тривиальному графу. Из определения следует, что связность несвязанного графа равна 0, а связность связного графа, имеющего точку сочленения, равна 1. Для связного графа характерно то, что каждая пара различных вершин соединяется, по крайней мере, одной цепью.

Граф в общем случае может состоять из n ветвей и k узлов, которые можно пронумеровать в любой последовательности. Ради удобства будем обозначать всегда начальный узел как (k –1)-й, а конечный – как k-й. Между начальным и конечным узлами структурной схемы расчета надежности вводится фиктивная, нулевая ветвь.

Топологию структурной схемы расчета надежности отражает матрица инцидентности узлов и ветвей A, элементы которой $a_{ij}, 1 \le j \le k$ определяются следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } j-\text{й узел связан с } i-\text{й ветвью}, \\ 0, \text{ если } j-\text{й узел не связан с } i-\text{й ветвью} \end{cases} \quad (1)$$

Вариант минимальных разрезов. Заметим, что разрез связного графа – это множество ребер, удаление которых приводит к несвязному графу. Пусть в анализируемом графе имеется m замкнутых контуров. Рассмотрим два контура, соответственно $(m-1)$-й и m-й контуры.

Технология структурной схемы надежности отображается в матрице инцидентности контуров и ребер, элементы которой S_{ij}, $1 \le i \le m$, $1 \le j \le n$ определяются следующим образом:

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } i-\text{ое ребро принадлежит } j-\text{му контуру}, \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Для диагональных элементов $m_{ii} = 1$ ($i = 1, ..., m$), в то время как остальные элементы $m_{ii'}$ $(i \ne i', i', i = 1, ..., m)$ определяются булевой суммой функций отказа всех ребер, прямо разделяющих i-й, i'-й замкнутые контуры.

Вариант, основанный на положениях деревьев отказов. Деревья отказов являются ориентированными графами со структурой в виде дерева, для которой характерно наличие некоторого главного события H. Наступление этого события соответствует отказу системы. Укажем, что дерево – это связной неориентированный ациклический граф. В частности, дерево не имеет петель и кратных ребер.

С помощью деревьев отказов можно определить булевые функции работоспособности системы. В основу анализа деревьев отказов положим булевую переменную y_j вида

$$y_j = \begin{cases} 1, \text{ если } j-\text{е событие наступило}, \\ 0, \text{ если } j-\text{е событие не наступило}, \end{cases} \quad (2)$$

и соответственно H вида

$$H = Y(y_1, y_2, ..., y_n) = H(y) =$$

$$= \begin{cases} 1, \text{ если главное событие наступило}, \\ 0, \text{ если главное событие не наступило.} \end{cases} \quad (3)$$

Справедливо также соотношение

$H(y) = 1 - S(y)$.

Надежность всей системы при самой общей постановке вопроса определяется следующими зависимостями.

Состояние системы описывается случайным процессом $S(t)$, который в любой момент времени $t \ge 0$ может принимать значения 0 или 1. Обозначим вероятность функционирования системы через $p_S(t)$. Вероятность работоспособности (функционирования) системы в момент t равна

$$p_S(t) = P[S(t=1)] = E[S(t)]; \quad (4)$$

В силу предполагаемой монотонности функции работоспособности системы следуют соотношения

$$p_S(0) = 1, \quad (5)$$

$$p_S(t) = P(T_S > t) = R_S(t), \; t \ge 0, \quad (6)$$

где через T_S обозначена наработка системы, а через $R_S(t)$ – вероятность ее безотказной работы.

Из всех имеющихся методов расчета надежности наиболее приемлем подход, основанный на оценке среднего остаточного ресурса [6, 7].

Пусть объект проработал в течение времени τ. Тогда вероятность его безотказной работы на интервале $[\tau, t]$ определяется

$$P(t/\tau) = \frac{P(\tau + t)}{P(\tau)}, \quad (7)$$

где $P(\tau)$ – вероятность безотказной работы объекта на интервале $[0, \tau]$; $P(\tau+t)$ – вероятность безотказной работы объекта на интервале $[0, \tau+t]$; $P(t/\tau)$ – условная вероятность безотказной работы на интервале $[\tau, \tau+t]$, при условии, что объект безотказно проработал в интервале [0, τ].

Средний остаточный ресурс $T(\tau)$ определяется в виде:

$$T(\tau)=\int_0^{\infty}P(t/\tau)dt. \qquad (8)$$

С учетом равенства (4) получим

$$T(\tau)=\int_0^{\infty}\frac{P(\tau+t)}{P(\tau)}dt.$$

Сделав замену переменных $\tau+t=x$, получим

$$T(\tau)=\frac{1}{P(\tau)}\int_0^{\infty}P(x)dx. \qquad (9)$$

Запишем соотношение (9) в следующем виде

$$T(\tau)=\frac{\int_0^{\infty}P(x)dx-\int_0^{\tau}P(x)dx}{P(\tau)}.$$

Учитывая, что $\int_0^{\infty}P(x)dx=T_0$,

где T_0 – средний ресурс объекта, получим

$$T(\tau)=\frac{T_0-\int_0^{\tau}P(x)dx}{P(\tau)}. \qquad (10)$$

Рассмотрим несколько способов вычисления интеграла

$$J=\int_0^{\tau}P(x)dx$$

в соотношении (10), когда он не берется в квадратурах.

Заметим, что в силу теоремы о среднем

$$\int_0^{\tau}P(x)dx=\tau P^*, \qquad (11)$$

где P^* – некоторое значение $P(x)$, при изменении x от 0 до τ величина P^* изменяется от 1 до $P(\tau)$.

В этом случае

$$T(\tau)=\frac{1}{P(\tau)}\left[T_0-\tau P^*\right]. \qquad (12)$$

Запишем следующее тождество:

$$\int_0^{\tau}P(x)dx=\tau\int_0^{\tau}\frac{P(x)}{\tau}dx,$$

но выражение $\int_0^{\tau}\frac{P(x)}{\tau}dx$ представляет собой математическое ожидание функции $P(x)$ при условии, что x есть равномерно распределенная величина в интервале $[0, \tau]$.

Поэтому

$$\int_0^{\tau}P(x)dx=\tau\langle P(x)\rangle, \qquad (13)$$

где $\langle P(x)\rangle$ – символ математического ожидания.

Из сравнения соотношений (11) и (13) видно, что

$$P^*=\langle P(x)\rangle.$$

Выражение (12) в этом случае принимает вид

$$T(\tau)=\frac{1}{P(\tau)}\left[T_0 \quad \tau\langle P\rangle\right]. \qquad (14)$$

Значение $P^*=\langle P(x)\rangle$ приближенно можно найти статистическим моделированием. Для этого производится N реализаций равномерно распределенной в интервале $[0, \tau]$ случайной величины X. Для этих реализаций вычисляется N значений $P(x_i)$. Соответственно

$$P^*=\sum_{i=1}^{N}\frac{P(x_i)}{N}.$$

Из соотношения (10) можно получить следующую нижнюю оценку:

$$T(\tau)\ge\frac{T_0-\tau}{P(\tau)}.$$

При линейной аппроксимации функции $P(x)$ в интервале [0, τ] получим приближенную формулу

$$T(\tau)\approx\frac{1}{P(\tau)}\left[T_0-\frac{\tau}{2}\left(1+P(\tau)\right)\right]. \qquad (15)$$

Теория графов и, соответственно, метод булевой модели широко используется при анализе и синтезе энергетических систем. Элементы построенной при этом матрицы индиденций записываются в виде булевой функции. Можно сделать вывод, что метод, основанный на булевой модели, целесообразно использовать при оценке надежности технических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежность технических систем: Монография / Переверзев Е., Алпатов А., Даниев Ю., Новак П. – Днепропетровск: Пороги, 2002. – 396 с.
2. Нормирование надежности технических систем: Монография / О.В. Берестнев, Ю.Л. Солитерман, А.М. Гоман. – Мн.: УП "Технопринт", 2004. – 266 с.
3. Ушаков И.А., Гадасин В.А. Анализ надежности структурно-смежных систем. – М.: Знание, 1976.
4. Райншке К. Модели надежности и чувствительности систем. Перевод с нем. – М.: Мир, 1979. – 452 с.
5. Томович Р., Вукобратович М. Общая теория чувствительности. – М.: Советское радио, 1972.
6. Садыхов Г.С. Теоретические основы остаточно дискретного ресурса технических объектов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1999. – № 3. – С. 102-108.
7. Садыхов Г.С., Савченко В.П. Оценка остаточного ресурса изделий с использованием физической модели аддитивного накопления повреждений // Докл. РАН. – 1995. – № 4. – С. 469–472.
8. Харари Ф. Теория графов. – М.: Мир, 1973. – 300 с.
9. Новиков П.С. Элементы математической логики. – М.: Физматгиз, 1973.

Получено 10.02.2009 р.

УДК 621.311.2:331.82

Богуслаев В.А.

ОАО «Мотор Сич»

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ШАХТНОГО МЕТАНА

Представлено інформацію про стан справ в Україні з утилізацією шахтного метану, описано досвід та технологію його використання в якості палива газотурбінних електростанцій з виробленням електричної та теплової енергії.

Представлена информация о состоянии вопроса в Украине с утилизацией шахтного метана, описаны опыт и технология его использования в качестве топлива газотурбинных электростанций с выработкой электрической и тепловой энергии.

The article provides information on the situation with mine methane disposal in Ukraine and describes the experience and technology of using methane as fuel for gas-turbine power-generating sets producing electrical and heat energy.

Цена каждого добытого в Украине миллиона тонн угля – четыре человеческих жизни. За годы независимости в украинских шахтах погибло более трех с половиной тысяч человек, а искалеченных – в несколько раз больше.

Опасностей, которым подвергаются наши шахтеры на рабочих местах, много. Но главной из них, как и раньше, остается **шахтный газ - метан**. Взрывы и выбросы метана – вот причина многих крупномасштабных аварий на угольных предприятиях.