

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ "НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ"

Все естественные и общественные науки, использующие математический аппарат, по сути занимаются математическим моделированием: заменяют реальный объект его математической моделью и затем изучают последнюю. Математическое моделирование — процесс построения и изучения математических моделей. Под математическим моделированием будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и задач исследования объекта и требуемой достоверности и точности решения этой задачи.

Одной из наиболее острых проблем в процессе работы машин и механизмов на производстве является – наработка на отказ. Нарботка на отказ это технический параметр, характеризующий надёжность ремонтируемого прибора, устройства или технической системы. Средняя продолжительность работы устройства между ремонтами показывает какая наработка в среднем приходится на один отказ. Выражается обычно в часах, километрах пробега, циклов включений.

Нарботка до отказа измеряется статистически, путём испытания множества приборов, или вычисляется методами теории надёжности.

$$T = 1/m \cdot \sum t_i$$

где  $t_i$  — наработка  $i$ -го объекта между отказами;  $m$  — число отказов.

Среднее время безотказной работы (средняя наработка на отказ)  $T_0$  — для невосстанавливаемых (неремонтируемых) систем это математическое ожидание времени работы системы до отказа:

$$T_0 = M = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t dP(t)$$

где пределы несобственного интеграла изменяются от 0 до  $\infty$ , так как время не может быть отрицательным;

$f(t)$  — плотность вероятности возникновения отказов системы или её невосстанавливаемого элемента;

$P(t)$  — вероятность безотказной работы в интервале времени  $0 < t < T$ .

Вероятность  $P(t)$  связана с плотностью вероятности возникновения отказов системы или её невосстанавливаемого элемента следующим образом:

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

Проинтегрировав выражение для  $T_0$  по частям, получим:

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

Графически полученное выражение для  $T_0$  представлено на рисунке 1, как площадь под графиком вероятности безотказной работы  $P(t)$  от времени  $t$ . В начальный момент вероятность  $P(t)=1$ . В конце времени работы системы вероятность  $P(t)=0$ .

Если наработка выражена в единицах времени, то принимается среднее время безотказной работы. Для периода от наработки  $t_1$  до наработки  $t_2$  наработка на отказ определяется равенством

$$T \cong \frac{t_2 - t_1}{m_{cp}(t_2) - m_{cp}(t_1)}$$

где  $m_{cp}$  — среднее число отказов (на изделие) для некоторого числа однотипных изделий до наработки  $t_i$  ( $i = 1, 2$ ), найденное опытным путём.

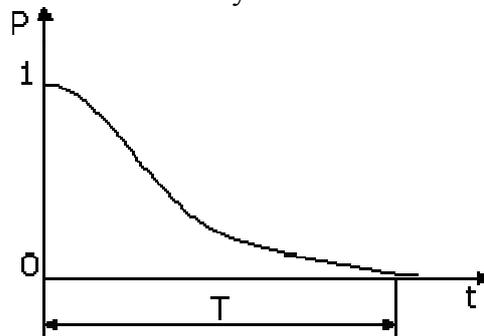


Рисунок 1 – График вероятности безотказной работы  $P(t)$

Покажем методику расчета наработки на отказ цифровых устройств релейной защиты (ЦРЗА). В технической документации практически всех отечественных ЦРЗА содержится информация о средней наработке на отказ  $T_0$  - показателе, включенном в номенклатуру показателей надежности в РД [3, 4].

С момента ввода в эксплуатацию первых отечественных ЦРЗА прошло более 10 лет, что позволило накопить достаточный объём статистических данных о числе и видах отказов устройств. Наличие статистики позволяет оценить значения наработки на отказ по статистическим данным, как это рекомендовано в разделе 3.6 руководящего документа [3]. Аналогичный подход обоснован в статье [5].

Для проведения контрольных испытаний на надежность на основании информации, получаемой по данным эксплуатации, был выбран план испытаний [NMS] по стандарту [6] при экспоненциальном распределении наработок на отказ. Согласно выбранному плану испытаний последовательно вводят в эксплуатацию  $N$  блоков. После отказа (получения замечаний по работе) блок ремонтируют на предприятии-изготовителе (обозначено буквой М в плане испытаний) и продолжают эксплуатировать. По результатам расчётов показателя надежности принимают решение (в плане испытаний обозначено буквой S) о его соответствии значению, указанному в документации на блок. Согласно приведенным в стандарте [6] рекомендациям, при испытаниях с восстановлением объектов объём выборки (в данном случае – количество находящихся в эксплуатации объектов) не регламентируется.

Однако для контроля полученных результатов было определено минимальное количество блоков, которое должно находиться в эксплуатации в тот или иной момент времени. Для этого использовалось соотношение:

$$N_{min} = T_{max}/t_i \quad (1)$$

где  $T_{max}$  – предельная суммарная наработка  
 $t_i$  – продолжительность испытаний.

Продолжительность испытаний блоков  $t_i$  была определена по формуле:

$$t_i = \text{Дот1} - \text{Д} - (t_{вэ} + t_{рем}) \quad (2)$$

где  $\text{Дот1}$  – дата отгрузки первого блока типа А или Б;  
 $\text{Д}$  – дата окончания испытаний;  
 $t_{вэ}$  – промежуток времени, прошедший от даты отгрузки до даты ввода в эксплуатацию;  
 $t_{рем}$  – среднее значение времени, затрачиваемого на транспортировку блока к изготовителю и обратно, а также на ремонт [2].

Более сложно было получить сведения о дате ввода в эксплуатацию каждого блока. Для получения этой информации использовалось три источника.

Один из них – "Уведомления о вводе блока" (вкладыш в паспорте блока). Заполнение вкладыша потребителем с указанием места и даты ввода блока в эксплуатацию предусматривает увеличение срока гарантии на изделие. Использование этого источника позволило получить сведения о дате ввода [3] в эксплуатацию и месте установки для 6% процентов от общего числа выпущенных предприятием блоков ЦРЗА типа А и для 8,1% для блоков ЦРЗА типа Б. Сравнивая эти цифры, следует учитывать, что в документацию этих блоков вкладыш "Уведомление о вводе блока" был введен в разное время.

Вторым источником получения информации о месте и дате ввода в эксплуатацию есть те или иные претензии потребителей к работе блоков. [3]

Третьим источником информации о месте и дате ввода блоков в эксплуатацию являются ответы на рассылаемые в эксплуатирующие предприятия запросы.

При проведении испытаний минимальное количество объектов, находящихся в эксплуатации, было рассчитывается для всех значений переменных величин – рисков потребителей, наработки на отказ и т.п.

Фактическая наработка каждого блока, по работе которых не было претензий от потребителя, но была информация о дате ввода в эксплуатацию, определялась по выражению:

$$T_i = D - D_{от\ i} - t_{в\ 1} \quad (3),$$

где  $D$  – дата, на которую рассчитывалось значение наработки  $i$ -го блока;

$D_{от\ i}$  – дата отгрузки  $i$ -го блока потребителю;

$t_{в\ 1}$  – среднее время от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков по работе которых не было высказано замечаний до момента  $D$ .

Эта же формула использовалась для определения фактической наработки блоков, для которых отсутствует информация о дате ввода в эксплуатацию, и по работе которых не было замечаний

Фактическая наработка блоков, по работе которых у потребителей были претензии, определялась по формуле, в которой учтены затраты времени на его транспортировку к изготовителю и ремонт:

$$T_i = D - D_{от\ i} - (t_{в\ 2} + t_{рем}) \quad (4)$$

де  $t_{в\ 2}$  – среднее время от отгрузки до ввода в эксплуатацию блоков по работе которых были высказаны замечания до моменту  $D$ .

В соответствии с рекомендациями стандарта [6] все замечания потребителей по работе блоков, находящихся в эксплуатации, были разделены на две группы – признанные производителем и не признанные производителем. При дальнейших рассмотрении учитывались только замечания по работе блоков, признанные производителем.

Литература:

1. Международный электротехнический словарь. Глава 448. Защита энергетических систем. IEC 60050-448.
2. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007, 549 с.
3. РД 34.35.310-97. Общие требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. М.: ОРГРЭС, 1997 (с изменением №1).
4. Захаров О.Г. Корректировка требований к надежности цифровых устройств релейной защиты, автоматики и сигнализации// Материал размещен по адресу: <http://olgezaharov.narod.ru/RD/nadezhnostj.pdf>
5. Дворин В.М. Оценка показателей надежности радиоэлектронных систем.//Радиотехника, 1999, №1, С. 87.
6. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.