

УДК 621.31

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Сытник Т.В., магистр гр. ЭПм-201, 1 курс

Научный руководитель: Шевченко А.А., старший преподаватель  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Характерной особенностью современной экономики нашей страны является совершенствование управлением и повышение эффективности работы производств. Эффективность работы производства напрямую связана с оптимизацией надежности, ремонта, межремонтного технического обслуживания и сроков службы оборудования.

При комплексной механизации и автоматизации производственных процессов с одной стороны ненадежная работа отдельных звеньев приводит к снижению производительности всей технологической цепи, с другой стороны – чрезмерное повышение надежности отдельных элементов и технологического комплекса в целом не всегда может быть экономически оправдано из-за значительных затрат. Возникает задача оптимизации надежности, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации установок [1].

Исторически сложилось так, что задача надежности всегда рассматривалась на стадии проектирования. По мере увеличения сложности систем, возникала необходимость решения задачи повышения надежности работы электроустановок на стадии эксплуатации. Сегодня, надежность работы электрооборудования в процессе эксплуатации, тесно связана с *теорией надежности*. Теория надежности рассматривает:

закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности машин, механизмов, аппаратов и приборов;

влияние внешних и внутренних воздействий на процессы в технических устройствах;

методы количественного определения сравнительной оценки надежности;

мероприятия по повышению надежности при конструировании производстве машин, а также способы поддержания необходимого уровня их надежности в процессе эксплуатации [1,2].

Одним из основных понятий теории надежности является формулировка состояния *отказа*. Надежность оборудования обуславливается его безотказностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью, а также долговечностью его частей.

Современное электроэнергетическое оборудование постоянно подвергается комплексному воздействию сильных электромагнитных, электриче-

ских, тепловых полей и электродинамических нагрузок, последствием чего является образования в нем различных дефектов, неисправностей и возникновение **отказов**. Чтобы определить техническое состояние электроустановки, необходимы систематические проверки – **диагностирование**. Перед технической диагностикой ставятся три типа задач:

**1. Задачи диагноза (техническая диагностика)** - определение технического состояния объекта диагностирования в данный момент времени. В процессе технической диагностики контролируется работоспособность объекта диагностирования – проверяется соответствие значений диагностических признаков требованиям техдокументации и на основании этого определяется вид технического состояния объекта.

**2. Задачи прогноза (техническая прогностика)** - прогнозирование изменения состояния объекта диагностирования. Происходит посредством изучения изменения диагностических параметров под влиянием различных воздействий (внешних, внутренних) и дальнейшего предсказания значений диагностических параметров в будущий момент времени. Например, прогнозирование остаточного ресурса электроустановки или срока её службы.

**3. Задачи генетики (происхождение, возникновение, процесс формирования)** - определение технического состояния объекта в некоторый момент прошлого – поиск места и определение причины возникновения дефекта [3].

При решении задачи прогнозирования используют зависимости диагностического признака от времени, при этом диагностический признак имеет случайный характер. Обычно используют методы: **экстраполяции** или **классификации**.

**Экстраполяция** - это реализация принципа переноса тенденций прошлого поведения исследуемой системы, на поведение её в будущем. Результаты наблюдения за исследуемой системой анализируются, далее выводится аналитическое выражение, которое связывает итоги наблюдения и экстраполяцию.

**Классификация** – обнаруживает общие черты в различных объектах и определяет их известному классу, который характеризуется общей тенденцией изменения состояния объекта диагностирования с течением времени.

Решение задач прогнозирования дает возможно получить следующие результаты для диагностируемого объекта:

1. Обнаружить узлы объекта диагностики, у которых в ближайшее время ощутимо изменится работоспособность
2. Осуществить подготовку запасных элементов.
3. Обосновать количество и объема резервных элементов.
4. Установить сроки профилактических работ.

В процессе диагностирования используют параметры или характеристики, которые несут в себе информацию об изменении состояния объекта диагностирования – **диагностические признаки**. В качестве диагностических параметров используют: сопротивление изоляции блоков электроустановок,

интенсивность ЧР (частичных разрядов), температура, вибрация, ток несимметрии, мощность потерь, уровень напряженности электромагнитного поля [4,5].

Обычно на диагностические параметры накладывают ограничения с одной или с двух сторон:

$$\begin{aligned} \Pi_i &> \Pi_i(\text{н}); \\ \Pi &< \Pi(\text{в}); \\ \Pi_i(\text{н}) &< \Pi_i < \Pi_i(\text{в}), \end{aligned}$$

где  $\Pi_i$  - диагностический параметр;  $\Pi_i(\text{н})$ ,  $\Pi_i(\text{в})$  - нижняя и верхняя границы допустимых значений диагностического параметра.

Для выполнения поставленных задач в процессе технического диагностирования, используют следующие характеристики:

**Динамическая характеристика** – физическая величина зависит от времени (частоты).

**Статическая характеристика** – величина исследуемого параметра не зависит от времени (частоты).

Существует несколько критериев количественной оценки отклонения текущей характеристики от номинальной:

- **Критерий среднего отклонения:**

$$\Delta_1(x) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} [f_T(x) - f_H(x)] dx,$$

Где  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – длительность интервала, на котором оценивается отклонение,  $f_T(x)$ ,  $f_H(x)$  - текущая и номинальная характеристики объекта диагностирования.

- **Критерий среднеквадратичного отклонения:**

$$\Delta_2(x) = \sqrt{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} [f_T(x) - f_H(x)]^2 dx},$$

- **Критерий равномерного приближения, оценивающий максимальное отклонение на интервале  $[x_{\max}, x_{\min}]$ :**

$$\Delta_3(x) = \max [f_T(x) - f_H(x)].$$

Текущая  $f_T(x)$ , и номинальная  $f_H(x)$  характеристики мало отличаются друг от друга на всем интервале оценки, если максимальное отклонение мало. Условие работоспособности электроустановки можно записать в виде:

$$\Delta i(x) < \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  - допустимое отклонение;  $i = 1, 2, 3$  – критерий оценки [6].

Если указанное неравенство выполняется для всех точек рассматриваемой характеристики, то объект диагностирования признается работоспособным.

В результате анализа закономерности изменения состояния системы можно предвидеть поведение контролируемой системы (рис.1). Те параметры, которые контролируются в ходе процесса – описывают систему как функцию времени [7].

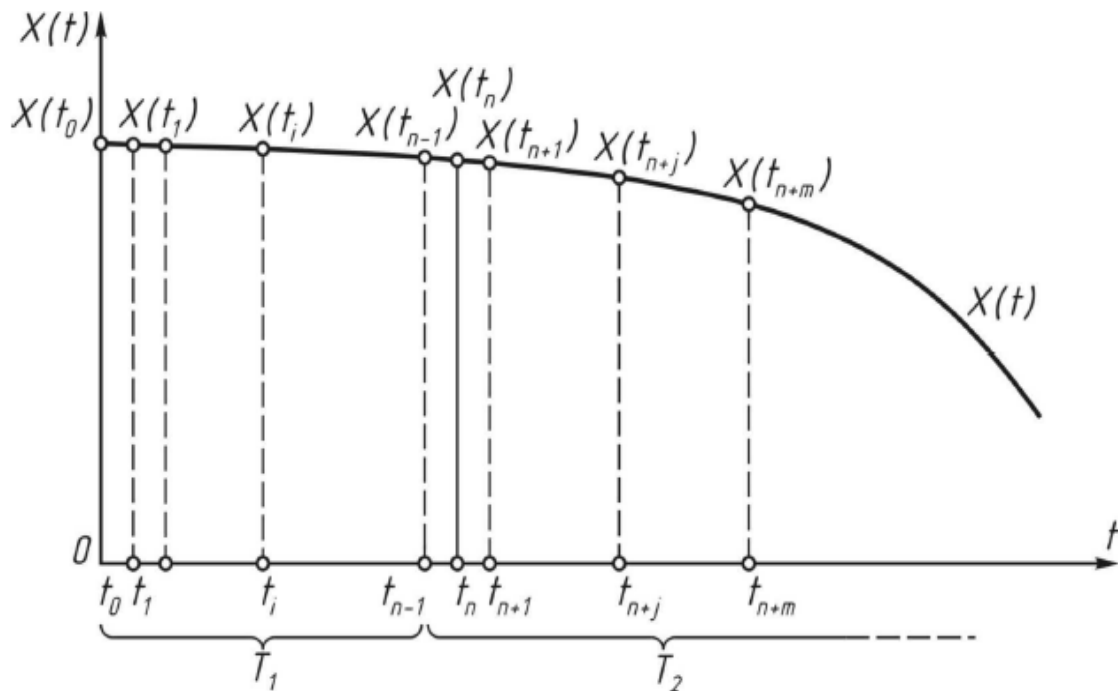


Рис. 1. Изменение контролируемого параметра во времени:  $X(t)$  – контролируемый параметр,  $t_{n+1}, t_{n+2}, \dots, t_{n+m}$  - момент времени в будущем;  $t_n, t_{n-1}, \dots, t_0$  - момент времени в прошлом.

Исходя из того, того какой математический аппарат используется, можно выделить следующие виды прогнозирования:

1) **Аналитическое прогнозирование.** При таком прогнозировании используют такие методы как: метод моделирования, метод степенных полиномов, градиентные методы и метод обобщенного параметра.

Например, для прогнозирования поведения контролируемой системы и анализа закономерности изменения её состояния, используют интерполяционный полинома Лагранжа:

$$F_L(t) = \frac{t - t_1}{t_0 - t_1} X_0(t) + \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} X(t_1),$$

где  $X(t)$  – значения наблюдаемой функции;  $t_0, t, t_1$  – промежуточные значения аргумента функции.

При предельном изменении контролируемых параметров работоспособность системы утрачивается (рис. 2), происходит изменение соответствующей ей контролируемой функции.

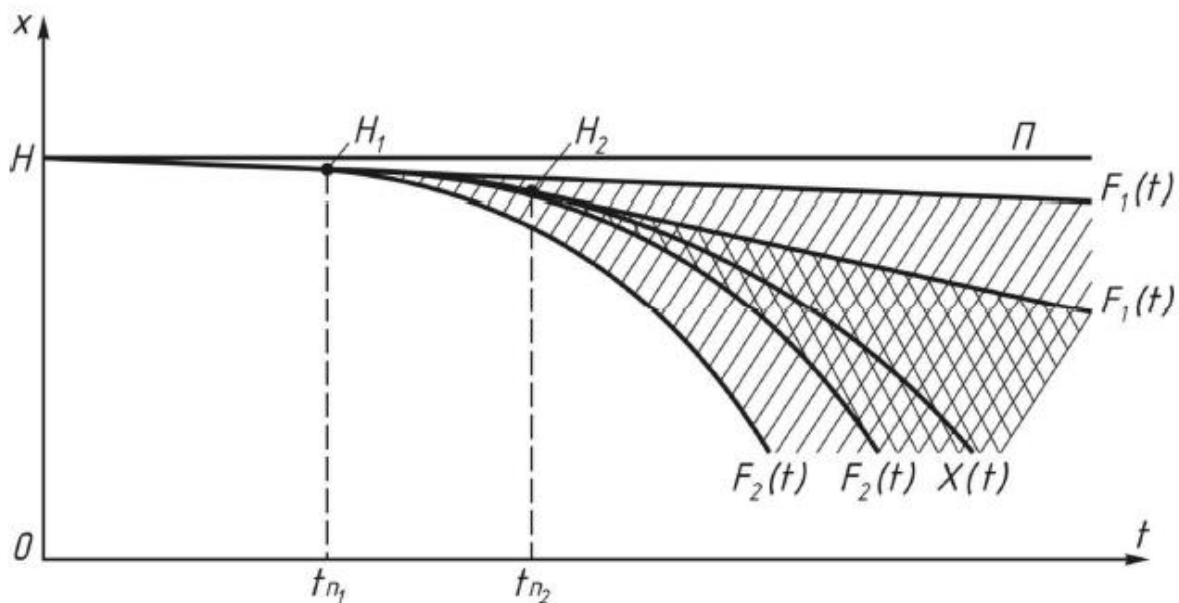


Рис. 2. Зона прогнозирования:  $F_1(t)$  - полином первой степени;  $F_2(t)$  - полином второй степени.

Кривые изменения состояния системы ограничены сверху прямой НП. Полиномы первой и второй степени образуют зону прогнозирования, внутри которой находится контролируемая функция, то есть контролируемая функция изменения состояния элементов системы лежит в границах, выраженных полиномами  $F_1(t)$  и  $F_2(t)$ .

2) **Статистическая классификация.** Метод в основе которого лежит теория распознавания образов.

3) **Вероятностное прогнозирование.** Метод использует положения теории вероятности: вероятностные неравенства и планирование экспериментов [8].

Задача повышения надежности технического состояния электроустановок, комплексная задача, требующая системного подхода, в решении которой большую роль играет правильный выбор методов прогнозирования.

Прогнозирование технического состояния электроустановок, является одной из главных задач технической диагностики электроустановок, поскольку анализ закономерности изменения состояния системы даёт возможность предугадать поведение и состояние контролируемой системы.

Мы видим, что существующие современные методы прогнозирования, рассматривая контролируемые параметры системы, хорошо решают задачу прогнозирования изменения состояния системы, и отличаются друг от друга

применяемым математическим аппаратом и различными подходами к решению задачи.

### Список литературы:

1. Сандлер Дж. Техника надежности систем / Дж. Сандлер. – М.: Наука, 1966. – 298 с.
2. Бескровный Н.Т. Экономика и оптимизация надежности и ремонта горношахтного оборудования / Н.Т. Бескровный. – М.: Недра, 1974. – 213 с.
3. Козлов А.Н. Диагностика электрооборудования высокого напряжения: учебное пособие / А.Н. Козлов. – Благовещенск, АмГУ, 2013. – 44 с.
4. Калявин В.П. Надежность и диагностика элементов электроустановок: учебное пособие / В.П. Калявин, Л.М. Рыбаков. – Спб.: Элмор, 2009. – 336 с.
5. Правила эксплуатации электроустановок. – 7-е издание. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
6. Кувшинов А.А., Тараканов В.П. Диагностика технического состояния электрооборудования в системах электроснабжения: практикум / А.А. Кувшинов, В.П. Тараканов. – Тольяти: ТГУ, 2016. – 90 с.
7. Базыль И. М. Прогнозирование технического состояния электрооборудования систем электроснабжения / И. М. Базыль // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2011. – № 6-1. – С. 89-93.
8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2001. – 479 с.