

УДК 621

Голованов Игорь Григорьевич,
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»
тел.: 89149082473

Маслихов Павел Александрович,
обучающийся кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Туратбек Уулу Эрлан,
обучающийся кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

Бельдягина Наталья Петровна,
обучающаяся кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ИМЕЮЩЕГО БОЛЬШОЙ СРОК НАРАБОТКИ

Golovanov I.G., Maslihov P.A., Turatbek U.A., Beldjagina N.P.

STUDY OF THE RELIABILITY OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM, HAVING A LARGE PERIOD OF WORKING

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы анализа надёжности электрооборудования системы электроснабжения, имеющего большой срок наработки близкий к назначенному ресурсу или его превышающий.

Ключевые слова: надёжность, срок службы, электрооборудование, система электроснабжения, параметры системы.

Abstract. The article deals with the questions of reliability analysis of electrical systems with long term developments close to the assigned resource or it exceeding.

Keywords: dependability, durability, electrical equipment, electrical distribution system, system settings.

Силовые трансформаторы, высоковольтные выключатели и средства защиты от перенапряжений, являются основными элементами подстанции. Самым дорогим и основным элементом подстанции является силовой трансформатор. Большинство из перечисленного оборудования много лет работает в различных климатических условиях и подвергаются внешним и внутренним воздействиям электромагнитной и механической природы, что приводит к износу электрооборудования, и как следствие к его отказу. Статистические исследования [4], проведённые за рубежом, показывают, что вероятность отказа масляного трансформатора составляет 0,0062 аварии в год. Другими словами, это означает, что в энергосистеме, состоящей из 160 масляных трансформаторов, возможно, по крайней мере, одна авария в год. С другой стороны, характерной тенденцией современной отечественной электроэнергетики является нарастание степени изношенности основного силового электрооборудования и недостаточные темпы его обновления. Пик

ввода силового электрооборудования приходится на период с 1976 по 1990 г. [2]. Степень изношенности силового оборудования по некоторым оценкам достигает от 60 до 70 %, а темпы обновления составляют 5 % в год [2]. Такое состояние дел в электроэнергетике накладывает соответствующие требования к эксплуатирующему персоналу по обеспечению заданной надёжности работы силового электрооборудования подстанции. Качественный ремонт и применение современных методов эксплуатации, основанных на диагностике технического состояния силового электрооборудования подстанции, позволят обеспечить бесперебойную работу электроприёмников потребителей электрической энергии, уменьшить расходы на эксплуатацию и ремонт электрооборудования и продлить срок его службы. В настоящее время при анализе надёжности электрооборудования всё большее значение приобретают разработки моделей параметрической надёжности, в которых моделируется процесс изменения параметров во времени электрообору-

дования, системы электроснабжения. Вероятностные характеристики этого процесса могут быть определены на любой стадии разработки и эксплуатации электрооборудования. Основными особенностями научного аспекта проблемы надёжности электрооборудования системы электроснабжения являются [3]:

- учёт фактора времени, поскольку оценивается изменение начальных характеристик электрооборудования в процессе эксплуатации;

- сочетание вероятностных методов с закономерностями физических процессов;

- прогнозирование возможного изменения состояния объекта при его использовании;

- сопоставление связи надёжности электрооборудования с показателями её качества и работоспособности.

Как любая прикладная наука, надёжность использует математические и естественные науки. Для решения задач надёжности используется теория вероятностей, математическая статистика, теория случайных процессов, информатика, методы теории автоматического управления, теории массового обслуживания и другие прикладные науки. Второй теоретической основой надёжности являются результаты тех естественных наук, которые изучают физико-химические процессы повреждения и нарушения работоспособности электрооборудования. Теория надёжности позволяет решить следующие основные задачи [3].

На этапе проектирования электрооборудования – расчёт сроков службы основных элементов электрооборудования, прогнозирование надёжности работы электрооборудования.

На этапе производства электрооборудования – создание системы управления качеством и надёжностью, обеспечение надёжности технологического процесса изготовления, разработка методов испытания.

На этапе эксплуатации электрооборудования – разработка рациональной системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования, создание методов и средств для диагностирования состояния электрооборудования в процессе эксплуатации. При работе электрооборудования на него действуют различные виды энергии, которые вызывают различные процессы, изменяющие его состояние. Особую роль играют

процессы старения или состояние материалов, из которых создано электрооборудование, и является причиной изменения во времени её выходных параметров. Для решения этой задачи необходимо моделировать процессы старения, представляя их в виде аналитических выражений. Повреждение изоляции электрооборудования зачастую приводит к отказу системы электроснабжения. Математическая модель отказа – это базовая информация для расчёта и прогнозирования надёжности работы электрооборудования. Если эта модель построена на статистических данных, накопленных в результате эксплуатации электрооборудования системы электроснабжения, расчёты надёжности получаются достоверными и могут применяться для анализа. При изношенном в процессе эксплуатации электрооборудовании важно определить, в каком состоянии его изоляция. Известно, что срок ресурса любого электрооборудования зависит от состояния его изоляции. Срок службы изоляции класса В при температуре нагрева её до 120 °С составляет около 15 лет, а при нагреве до 140 °С, сокращается до 2 лет [1]. Поэтому важно знать природу и закономерности процессов старения, когда электрооборудование износилось и выработало свой ресурс. Один из путей получения информации о состоянии изоляции электрооборудования – это моделирование процессов старения. Моделирование процессов старения базируется на основных физических законах, описывающих изменение основных свойств и состояния материалов, так и на опытных данных, полученных при испытаниях и исследованиях электрооборудования. В большинстве случаев в электрооборудовании системы электроснабжения изменение выходных параметров во времени носит нелинейный характер, что связано в первую очередь с физикой процесса старения. Такой процесс, как износ изоляции проводников электрооборудования от воздействия температуры окружающей среды, нелинеен и зависит от времени. Ещё большая нелинейность выходного параметра во времени будет в том случае, если это изменение связано с несколькими разнохарактерными процессами старения. В общем случае, если известны математическое ожидание изменения выходного параметра X во времени $M_x(t)$ и его дисперсия $D_x(t)$, то вероятность безотказной работы изделия при рассеивании параметра по нормальному закону

распределения в данный момент времени $t = T$ может быть определена как

$$P(t) = \Phi \left[\frac{X_{\max} - \alpha_0 - M_x(t)}{\sqrt{D_x(t)}} \right]$$

Тепловые процессы старения в изоляции электрооборудования системы электроснабжения подчиняются экспоненциальному закону, поэтому выражение для изменения параметра этого оборудования имеет вид

$$X(t) = A \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right) \right],$$

где A – установившееся значение параметра (при $t \rightarrow \infty$),

α – тепловая постоянная, зависящая от конструкции оборудования и материалов.

Тогда математическое ожидание определяется

$$M_x(t) = \alpha_0 + \bar{A} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right) \right],$$

где \bar{A} – математическое ожидание параметра A , который имеет рассеивание по нормальному закону.

Если среднеквадратическое отклонение параметра σ_x также изменяется по экспоненциальному закону с параметрами σ_x и α_0 , т.е.

$$\sigma_x(t) = \sigma_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right) \right],$$

то вероятность безотказной работы определяется

$$P(t) = \Phi \left[\frac{X_{\max} - \alpha_0 - \bar{A} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right) \right)}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_0^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right) \right)^2}} \right].$$

Более широкие возможности для расчёта имеют методы моделирования деградации выходного параметра, построенные на основе тех же моделей отказов. В ряде случаев для электрооборудования системы электроснабжения существует опасность возникновения как постепенных, так и внезапных отказов. Если они проявляются как независимые события и вероятность безотказной работы для постепенного и независимых отказов известны (соответственно $P_n(t)$ и $P_v(t)$), то значение $P(t)$ для сложного события может быть определено по теореме умножения вероятностей. Применение моделей параметрических отказов, отражающих физику процесса потери работоспособности электрооборудования системы электроснабжения и вероятностную природу старения изоляции, позволяет оценить области изменения состояний выходных параметров во времени и, следовательно, определить показатели надёжности. В основе любой модели отказа электрооборудования лежит физика процесса старения, и чем более объективно отражает данная закономерность изменения, происходящие в материале изделия, тем с большей достоверностью можно обеспечить прогноз по надёжности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дыбленко И.И., Некрасов Ф.П., Черных А.Г. Электроэнергетика. Электрические станции и подстанции систем электроснабжения. Ч1: / АГТА. – Ангарск, 2004. – 286 с.
2. Михеев Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2008. – 304 с.
3. Проников А.С. Параметрическая надёжность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
4. Belanger, M. Transformer diagnosis: Part 1. A statistical justification for preventative maintenance / M. Belanger / Electricity today. – 1999. - N6. – P. 15 -17.