Федеральное агентство по ооразованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального

образования "Ивановский государственный энергетический университет

имени В.И. Ленина"

На правах рукописи

АНДРЕЕВ

Дмитрий Александрович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Специальность 05.14.02

Электростанции и электроэнергетические системы

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н. Назарычев А.Н.

Иваново 2006

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ 10

1.1. Анализ эксплуатационной надежности электрооборудования 10

1.2. Анализ методов расчета показателей надежности электрооборудования..25

1.3. Оценка точности и достоверности показателей надежности

электрооборудования 32

1.4. Влияние условий эксплуатации на технический ресурс электрооборудования ...40

1.5. Выводы по первой главе 50

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕСУРСА

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ....52

2.1. Основные положения оценки технического ресурса

электрооборудования 53

2.2. Модель оценки технического ресурса электрооборудования с учетом

воздействия эксплуатационных факторов 62

2.3. Определение параметров модели оценки технического ресурса

электрооборудования и значений эквивалентных эксплуатационных факторов 73

2.4. Исследование чувствительности математической модели оценки технического ресурса электрооборудования к изменению точности исходных

данных 78

2.5. Анализ погрешностей модели оценки технического ресурса

электрооборудования 90

2.6. Выводы по второй главе 95

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ....97

3.1. Связь показателей долговечности и безотказности

электрооборудования 98

3.2. Математическая модель оценки показателей безотказности

электрооборудования 104

3.3. Математическая модель оценки показателей безотказности

электрооборудования на заданном интервале наработки 115

3.4. Исследование чувствительности математической модели оценки

показателей безотказности электрооборудования к изменению точности исходных данных 131

3.5. Определение обобщенных показателей надежности.

Гамма-процентный ресурс 133

3.6. Выводы по третьей главе 136

ГЛАВА 4. МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ 138

4.1. Модели расчета технического ресурса и показателей безотказности

высоковольтных выключателей 139

4.2. Модели расчета технического ресурса и показателей безотказности

силовых трансформаторов 155

4.3. Модели расчета технического ресурса и показателей безотказности

асинхронных электродвигателей 185

4.4. Выводы по четвертой главе 205

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 208

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 211

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕСУРСА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ

ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 225

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ И КЛАССОВ

НАПРЯЖЕНИЯ 228

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО АСИНХРОННЫМ

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМ 230

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. АКТЫ И СПРАВКИ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ 233

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка показателей надежности электрооборудования является одной из важнейших задач в энергетике. Актуальность рассмотренных в диссертационной работе проблем связана с высоким уровнем износа и нарастанием темпов старения электроэнергетического оборудования, а также, в основном, по экономическим причинам своевременного замещения его на новое после полной сработки технического ресурса. Следовательно, надежность систем электроэнергетики определяется действующим электрооборудованием, которое сработало или в ближайшее время полностью сработает свой ресурс и поэтому требует повышенного внимания.

Проведенные в диссертационной работе исследования можно рассматривать как комплексное решение проблемы количественной оценки показателей надежности электрооборудования с учетом воздействия эксплуатационных факторов, режимов и условий работы. Решенные в работе задачи позволяют перейти к системе технического обслуживания и ремонта электрооборудования и управлению процессом его эксплуатации в зависимости от полученных значений показателей надежности.

Практическое значение полученных результатов состоит в создании моделей и алгоритмов, направленных на обеспечение надежности электрооборудования энергообъектов на основе количественного определения показателей безотказности и долговечности, а также выявления их взаимосвязи.

Результатом диссертационной работы является усовершенствование известных методов и разработка новых моделей оценки показателей долговечности и безотказности электрооборудования, что позволит обеспечить эффективность функционирования объектов электроэнергетики. Наиболее существенные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Проведен анализ эксплуатационной надежности электрооборудования электрических станций и подстанций, который показал, что снижение надежности работы электрооборудования связано с процессами старения, условиями и режимами работы. Рассмотрено влияние условий эксплуатации электрооборудования на его технический ресурс. Показано, что отсутствие учета эксплуатационных факторов, реальных режимов и условий работы при определении интенсивности отказов электрооборудования приводит к существенному снижению точности и достоверности результатов расчета показателей надежности. Обоснована необходимость определения показателей надежности с учетом условий эксплуатации электрооборудования.

2. Разработаны основные положения оценки технического ресурса электрооборудования в единицах измерения, соответствующих его технологическому назначению, учитывающие воздействие различных эксплуатационных факторов, условий и режимов работы. Получены общие расчетные выражения для определения фактического сработанного и остаточного ресурса электрооборудования в зависимости от воздействия тепловых, электрических, механических и химических эксплуатационных факторов. На этой основе предложен подход к управлению режимами эксплуатации электрооборудования с учетом его надежного функционирования на интервале наработки требуемого объема.

3. Показана аналитическая взаимосвязь показателей безотказности и долговечности электрооборудования. Сформулированы основные положения определения показателей безотказности с учетом технического состояния электрооборудования, а также условий и режимов его работы.

4. Разработаны математические модели оценки показателей безотказности электрооборудования, отличающиеся от существующих учетом технических показателей эксплуатации, которые характеризуют воздействующие факторы в различных условиях и режимах работы. Получены выражения для количественного определения вероятностей безотказной работы и отказа. Определены области применения полученных выражений с учетом функций изменения эксплуатационных факторов, интенсивности отказов и законов распределения вероятностей безотказной работы и отказа.

5. Для повышения точности и обоснованности принимаемых решений на основе разработанных математических моделей оценки технического ресурса и показателей безотказности различных типов электрооборудования предложено использовать в качестве обобщенных показателей надежности гамма-процентный ресурс и фактический сработанный ресурс с учетом закона распределения и статистики отказов. Обоснован подход к их определению.

6. Исследована чувствительность математических моделей оценки показателей надежности электрооборудования к изменению точности исходных данных. Произведена оценка влияния абсолютной погрешности средств измерения величины эксплуатационных факторов на точность определения фактического сработанного ресурса и вероятностей безотказной работы и отказа.

7. На основании общих моделей оценки показателей надежности электрооборудования, а также экспериментальных и статистических данных получены частные математические модели оценки технического ресурса и показателей безотказности высоковольтных выключателей, силовых трансформаторов, асинхронных электродвигателей. Получены выражения для определения фактического сработанного и остаточного ресурса, вероятностей безотказной работы и отказа данных видов электрооборудования на произвольном отрезке наработки (от начала эксплуатации) или на заданном интервале наработки при условии, что до него электрооборудование сработало некоторый фактический ресурс.

На основе реальных данных эксплуатации проведены расчеты численных примеров по определению показателей долговечности и безотказности с учетом воздействия эксплуатационных факторов, условий и режимов работы для электрооборудования различных типов и классов напряжений: вакуумных и элегазовых выключателей, силовых масляных трансформаторов, асинхронных электродвигателей. Достоверность полученных результатов подтверждается данными эксплуатации и ремонта этих видов электрооборудования.