Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального

образования "Ивановский государственный энергетический университет

имени В.И. Ленина"

На правах рукописи

ПЕДРО Антонио

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ И ВЫБОР СИСТЕМЫ РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АНГОЛЫ

Специальность 05.14.02

Электрические станции и электроэнергетические системы

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

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

Иваново 2009

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АНГОЛЫ 11

1.1. Общие сведения о развитии электроэнергетики Анголы

за последние 10 лет 11

1.2. Схемы и состав электротехнического оборудования основных энергосистем

Анголы 14

1.3. Анализ эксплуатационной надежности электрооборудования Анголы 21

1.4. Влияние условий эксплуатации на технический ресурс электрооборудования34

1.5. Влияние климатических факторов внешней среды Анголы на техническое

состояние электрооборудования 45

1.6. Обзор методов расчета показателей надежности электрооборудования 60

1.7. Выводы по первой главе 66

ГЛАВА 2. МОДЕЛИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АНГОЛЫ 69

2.1. Общие положения по расчету надежности электрооборудования на основе

оценки технического состояния структурных элементов 69

Узел 72

СЛАБОЕ НАЖАТИЕ ПРУЖИН КОНТАКТНЫХ ПАР 80

2.2. Основы расчета технического ресурса и показателей безотказности

электрооборудования 86

2.3. Адаптация методов расчета технического ресурса электрооборудования и

вероятностей безотказной работы и отказа к утяжеленным условиям эксплуатации в республике Ангола 93

2.4. Модель расчета технического ресурса и показателей безотказности электрооборудования с учетом влияния климатических факторов внешней среды 102

2.4. Выводы по второй главе 112

ГЛАВА 3. ВЫБОР СТРАТЕГИИ РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ АНГОЛЫ 114

3.1. Общая формулировка проблемы поддержания технического состояния электрооборудования в процессе эксплуатации. Стратегии ремонтов и их

характеристика 114

3.2. Анализ действующей в Анголе системы аварийных ремонтов

электрооборудования 127

3.3. Совершенствование математических моделей для различных 132

стратегий ремонта электрооборудования 132

3.4. Методика выбора рациональной стратегии 141

ремонтов электрооборудования энергосистем Анголы 141

3.5. Выводы по третьей главе,,,,,,,,,,,,.,.,..,,,,.,,,,,,,,,.,,,, 149

ГЛАВА 4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АНГОЛЫ 151

4.1. Примеры расчета технического ресурса электрооборудования,

эксплуатируемого в Анголе, в зависимости от климатических условий на примере силовых трансформаторов 151

4.2. Примеры моделей для расчета ресурса силовых кабелей с учетом

утяжеленных условий эксплуатации в Анголе 158

4.3. Примеры расчета технического ресурса и показателей безотказности

изоляционных конструкций при воздействии перенапряжений 171

4.4. Примеры расчета технического ресурса высоковольтных выключателей при

воздействии токов короткого замыкания 180

4.5. Примеры оценки показателей надежности асинхронных электродвигателей в

зависимости от температурных условий эксплуатации 188

4.6. Выводы по четвертой главе 198

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 200

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 203

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в диссертационной работе исследования можно рассматривать как решение важной народно-хозяйственной проблемы для энергетики Анголы по выбору системы ТОиР электрооборудования и количественной оценке показателей надежности с учетом утяжеленных режимов работы и воздействия климатических факторов внешней среды в условиях реальной эксплуатации. Наиболее существенные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Проведен анализ эксплуатационной надежности электрооборудования электроэнергетической системы Анголы, который показал, что снижение надежности работы электрооборудования связано с отсутствием системы ТОиР, процессами старения, утяжеленными режимами работы и особенностями воздействия климатических факторов. Рассмотрено влияние утяжеленных режимов работы и климатических факторов на техническое состояние электрооборудования. Обоснована необходимость учета при расчете показателей надежности воздействия на электрооборудование утяжеленных рабочих токов, температуры, влажности и концентрации агрессивной среды. Показана актуальность для условий Анголы решения этой задачи, что приведет к увеличению точности и достоверности

і

результатов определения показателей надежности электрооборудования.

2. Разработаны классификации основных структурных элементов и их дефектов для высоковольтных выключателей, силовых трансформаторов и электродвигателей. Усовершенствована математическая модель расчета фактического сработанного и остаточного ресурса электрооборудования с учетом воздействия утяжеленных эксплуатационных факторов. Математическая модель адаптирована применительно к условиям эксплуатации в энергосистемах Анголы. Получены расчетные выражения для определения фактического сработанного и остаточного ресурса электрооборудования в зависимости от воздействия утяжеленных тепловых, электрических, механических и химических эксплуатационных факторов.

3. Разработаны математические модели оценки фактического сработанного и остаточного ресурса электрооборудования, работающего в энергосистемах Анголы и подвергающихся в процессе эксплуатации воздействию климатических факторов температуры, влажности и концентрации агрессивной среды.

4. На основании моделей оценки показателей надежности электрооборудования, а также экспериментальных и статистических данных определены математические модели расчета технического ресурса, вероятности безотказной работы и отказа для высоковольтных выключателей, силовых трансформаторов, асинхронных электродвигателей, изоляционных конструкций, кабелей.

5. Разработаны и усовершенствованы математические модели проведения технической эксплуатации электрооборудования для различных стратегий ремонтов на основе целевой функции средних суммарных затрат на проведение ТОиР, которая более полно учитывает все составляющие: затраты на проведение диагностирования, профилактического ТОиР и аварийного ремонта; значения показателей надежности и вероятностной характеристики назначения ремонта по результатам технической диагностики. Получены модели целевой функции и предложена их классификация для различных стратегий ТОиР, учитывающая характер проявления отказов и результаты технической диагностики.