

**А.Н. Назарычев, А.А. Пугачёв,
А.И. Потапов, С.П. Высогорец**

**МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ
И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

Учебное пособие

Под общей редакцией
д.т.н., профессора А.Н. Назарычева

**Санкт-Петербург
2023**

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ	10
1.1. Характеристика повреждаемости силовых трансформаторов	10
1.2. Характеристика повреждаемости высоковольтных вводов	12
1.3. Характеристика повреждаемости измерительных трансформаторов	13
1.4. Характеристика повреждаемости вращающегося электрооборудования	13
1.5. Характеристика повреждаемости коммутационных аппаратов	15
1.6. Анализ повреждаемости кабельных линий 6–35 кВ	16
1.7. Повреждаемость опорных и подвесных изоляционных конструкций	19
1.8. Анализ повреждаемости воздушных линий электропередачи	21
1.8.1. Общая характеристика повреждений и их причин в высоковольтных линиях электропередачи	21
1.8.2. Виды коротких замыканий	22
1.8.3. Виды повреждений при однофазном замыкании на землю	27
1.9. Основные дефекты, повреждения и опасные воздействия на силовой транс- форматор	32
1.9.1. Опасные воздействия на силовой трансформатор	32
1.9.2. Основные виды дефектов и повреждений силовых трансформаторов ...	35
1.10. Характеристика повреждаемости оборудования при различных режима за- земления нейтрали сети	41
1.10.1. Режим изолированной нейтрали	43
1.10.2. Заземление нейтрали через дугогасящий реактор	50
1.10.3. Глухое заземление нейтрали	52
1.10.4. Резистивное заземление нейтрали	53
Вопросы для самопроверки	56
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ	58
2.1. Общие положения неразрушающего контроля и технической диагностики электрооборудования	58
2.2. Общая характеристика методов технического диагностирования электро- оборудования	64
2.3. Технические средства неразрушающего контроля и диагностирования электрооборудования	65
2.3.1. Классификация средств диагностирования	65
2.3.2. Технические требования к средствам диагностирования	70
2.4. Общие принципы теплового контроля. Тепловизионный (инфракрасный) контроль электроэнергетического оборудования	74
2.5. Метод хроматографического анализа растворенных в масле газов	90
2.6. Методы физико-химического анализа	96
2.7. Метод вибродиагностики	104
2.8. Контроль электрооборудования методом частичных разрядов	112
2.9. Метод магнитной структуроскопии	117

2.10. Акустические методы контроля	119
2.11. Радиационный метод диагностики	127
2.12. Методы контроля изоляции	131
2.12.1. Метод контроля диэлектрических характеристик изоляции	131
2.12.2. Метод измерения сопротивления изоляции	132
2.12.3. Ультразвуковой метод контроля изоляции	132
2.12.4. Метод ультрафиолетового контроля изоляции	133
2.13. Электрофизический метод контроля	133
2.14. Автоматизированные системы диагностирования электрооборудования ...	134
2.15. Методы прогнозирования технического состояния электрооборудования .	138
Вопросы для самопроверки	140
ГЛАВА 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ	141
3.1. Современные методы определения дефектов силовых трансформаторов ...	141
3.2. Комплексная диагностика силовых трансформаторов	151
3.3. Диагностика механического состояния обмоток трансформатора методом частотного анализа	154
3.4. Определение коэффициента трансформации силовых трансформаторов ...	156
3.5. Правила проведения диагностирования	162
3.6. Методы и средства мониторинга технического состояния трансформаторов	163
3.6.1. Основные технические характеристики онлайн газоанализаторов	163
3.6.2. Установка приборов мониторинга на оборудование	169
3.6.3. Приборы для индикации неисправностей (одногазовые датчики)	170
3.6.4. Приборы автоматической диагностики неисправностей (мультигазо- вые датчики)	172
3.6.5. Интерфейсы обмена данными средств мониторинга	177
3.6.6. Опыт применения систем мониторинга газов в масле трансформаторов	178
3.6.7. Комплексные системы онлайн мониторинга и диагностирования мощ- ных силовых трансформаторов и подстанции в целом	184
3.7. Технология автоматизированного мониторинга и восстановления изоляции трансформаторов под нагрузкой	189
3.7.1. Факторы, влияющие на характеристики изоляции и обоснование акту- альности внедрения автоматизированной системы восстановления изоляции (АСВИ) маслонаполненных трансформаторов под нагрузкой	189
3.7.2. Назначение, конструкция и принцип работы АСВИ	191
3.7.3. Опыт применения АСВИ типа «TRANSEC» на объектах энергетики	198
Вопросы для самопроверки	202
ГЛАВА 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	203
4.1. Характеристика методов и средств мониторинга состояния высоковольт- ных воздушных линий (ВЛ) электропередачи	203
4.1.1. Общая характеристика мониторинга состояния высоковольтных линий электропередачи	203
4.1.2. Проверка трассы ВЛ	207

4.1.3. Контроль проводов и грозозащитных тросов	208
4.1.4. Контроль линейной арматуры и изоляции	213
4.1.5. Опыт эксплуатации полимерных изоляторов	215
4.1.6. Методы эксплуатационного контроля изоляторов	215
4.2. Методы и средства контроля повреждений ВЛ	219
4.3. Контроль повреждений с использованием входных преобразователей тока и напряжения	220
4.4. Автономные микропроцессорные системы контроля повреждений ВЛ	223
4.5. Многофункциональные микропроцессорные устройства контроля повреждений ВЛ	228
4.5.1. Устройства релейной защиты и определения места повреждений	228
4.5.2. Устройства регистрации аварийных процессов и определения места повреждений (ОМП)	228
4.6. Математическое моделирование определения места повреждения на ВЛ по параметрам аварийных режимов	234
4.7. Методы ОМП для одноцепной ВЛ	245
4.7.1. Характеристика повреждения в одноцепной ВЛ	245
4.7.2. Метод ОМП по токам и напряжениям в начале и конце ВЛ	247
4.7.3. Метод реактансметра	250
4.7.4. Метод L-метра	251
4.7.5. Компенсационный метод	252
4.7.6. Итерационный метод полного сопротивления	256
4.8. Методы ОМП для двухцепной ВЛ	260
4.8.1. Характеристика повреждений для двухцепной ВЛ	260
4.8.2. Метод ОМП по разности токов	261
4.8.3. Метод ОМП по напряжениям и токам в начале и в конце двухцепной ВЛ	263
4.8.4. Метод реактансметра для двухцепной ВЛ	265
4.8.5. Метод L – метра для двухцепной ВЛ	266
4.8.6. Компенсационный метод для двухцепной ВЛ	266
4.8.7. Итерационный метод полного сопротивления для двухцепной ВЛ	267
4.9. Учет реактивной проводимости ВЛ	268
4.9.1. ОМП в одноцепной ВЛ	268
4.9.2. ОМП в параллельных линиях	270
4.9.3. ОМП в линии с ответвлениями	275
4.10. Программа определения места повреждения на ВЛ	278
Вопросы для самопроверки	284
КРАТКИЙ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ, РЕСУРСУ И НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ	285
Литература	312