

# ДИСПЕТЧЕРСКИЙ АНАЛИЗ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ. КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА

АВТОР:

Ю.Я. ЛЮБАРСКИЙ,  
Д.Т.Н.,  
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

**А**нализ нештатных ситуаций является одной из сложнейших и важнейших задач диспетчерского управления электрическими сетями. Особый класс таких за-

дач — диспетчерский оперативный анализ, при котором оперативный и диспетчерский персонал должен сформулировать предположения (а в идеальном случае — заключения) о сути нештатной ситуации.

**Ключевые слова:** диспетчерское управление электрическими сетями промышленных предприятий; экспертные системы; анализ нештатных ситуаций.



Современный диспетчерский пульт управления электроэнергетической системой. Диспетчерский центр контроля Китайской государственной электрической сети в г. Джиуджунанг

## ВВЕДЕНИЕ

Полученные в основном в АО «НТЦ ФСК ЕЭС» результаты по автоматизации оперативного диспетчерского анализа нештатных (в том числе аварийных) ситуаций в электрических сетях промышленных предприятий [1, 5, 7, 8, 9] нуждаются в систематизации в рамках единой концепции.

Анализ нештатных ситуаций можно условно разделить, по крайней мере на два основных направления:

- полный «релейный» анализ ситуации, выполняемый специалистами-релейщиками с целью фиксировать возможные неисправности устройств релейной защиты и автоматики;
- оперативный диспетчерский анализ ситуации для дежурного персонала (условно этот вид анализа будем называть диспетчерским экспресс-анализом).

Инструкции по ликвидации и предотвращению аварий в электрической части энергосистем [2] относятся прежде всего к экспресс-анализу.

## ОБЪЕКТНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ПАНС

Работы НТЦ ФСК ЕЭС в области оперативного диспетчерского анализа были начаты для отдельного объекта (подстанции Чагино), где в качестве АСУ ТП используются системы фирмы Siemens. «Лист событий», формируемый в этом АСУ ТП, является излишне длинным — в нем может содержаться несколько десятков записей. Анализ такого списка сложен для дежурного персонала подстанции и чреват «человеческими» ошибками. Можно использовать в ФСУ ТП специальные фильтры для выделения только событий,

важных для конкретного анализа. Но тогда перед анализом дежурный персонал должен выполнить специальную операцию — смену фильтра — еще один возможный источник ошибок в условиях дефицита времени. Кроме того, в ЛС АСУ ТП непосредственно фиксируются не все нужные для диспетчерского анализа технологические нарушения (такие, как отказ выключателя, отказ УРОВ, затягивание срабатывания выключателя).

Для определения и описания ситуаций на уровне энергообъекта промышленного предприятия необходимо дополнить АСУ ТП этого энергообъекта специальной экспертной системой ПАНС (подстанционный анализ ситуации), а в дальнейшем развить эти системы для уровня электрической сети (например ПМЭС) — системы САНС. Эти экспертные системы основаны на разработанной ВНИИЭ инструментальной системе МИМИР [3].

В инструментальной системе МИМИР принято представление БД семантическими сетями. Можно выделить два основных раздела БД:

- топологическая модель «первичной» электрической сети;
- логическая модель релейной защиты и автоматики РЗА.

Топологическая модель в обобщенном виде может быть представлена на рис. 1 (с. 60), модель РЗА — на рис. 2 (с. 63).

База данных устроена таким образом, что обращение к ней из программы может иметь вид вопроса на ограниченном естественном языке со словарем из элементарных понятий БД.

Например, вопрос «РЗА ЗТ, события срабатывание?» дает в качестве ответа указание на множество сработавших защит трансформаторов.

База данных в МИМИР дополнена системой программ на ограниченном естественном языке, имитирующих диспетчерские рассуждения на основе технологических правил из инструкции [2].

В результате получается язык программ-рассуждений, на котором легко задавать логику диспетчерских рассуждений.

Правила, на основе которых функционирует экспертная система ПАНС, определяются логикой работы РЗА. Например, если зафиксировано срабатывание защиты линии электропередачи, экспертная система определяет, на отключение каких выключателей действует эта защита, все ли ранее включенные выключатели из этого множества отключились. Для неотключившихся выключателей фиксируется событие «отказ выключателя» и проверяется, было ли срабатывание УРОВ этого выключателя и т. п.

В другой, более сложной ситуации при срабатывании защит трансформаторов необходимо определить, имеются ли дефектные выключатели, и какой тип дефекта (отказ, затяжка) имеет место (неотключившиеся выключатели перед опробованием погашенных шин напряжением нужно отключить, «разобрать» их схему разъединителями с нарушением блокировки, а для «затянувшихся» выключателей схема разбирается после опробования шин). Факт затяжки может быть логически установлен в рассуждении — УРОВ дефектного выключателя срабатывает до его отключения.

Результаты работы ПАНС могут составлять основу для доклада дежурного подстанции, направляемого сетевому диспетчеру при возникновении нештатной ситуации. Опыт испытаний ПАНС на подстанции Чагино положителен.

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ



Рис. 1

Для отображения результатов работы экспертной системы используется отображение системы КАСКАД-НТ [4].

## СИСТЕМА АНАЛИЗА ДЛЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ САНС

Развитие системы для электрической сети (система САНС) [5] позволяет выявлять поврежденные элементы оборудования, отключенные элементы, обесточенные

участки сети, отказы в срабатывании релейных защит, отказы и затыжки отключений выключателей. Система дополнена, в частности, такой достаточно сложной функцией анализа, как ситуация дальнего резервирования [6]. При таком анализе экспертная система сначала определяет «погашенные» шины подстанций и отключившиеся линии, затем — срабатывание защит на подстанции с погашенными шинами и на смежных присоединениях. Учитываются ступени сработавших защит линий. На подстанции, где имелось повреждение, вызвавшее ситуацию дальнего резервирования,

защита работает первой ступеню, а на смежных подстанциях — последними ступенями. В качестве примера [7] рассмотрен фрагмент электрической сети после короткого замыкания на одной из линий и выведенном из работы УРОВ одного из выключателей этой линии.

Приведем синтезированное экспертной системой САНС текстовое описание ситуации:

**- контроль дальнего резервирования**  
**Анализ ситуации дальнего резервирования**

**Ситуация: ДАЛЬНЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ**

**Предположительно повреждение оборудования**  
**ВЛ 110 кВ Волконка-Головинка**  
**Срабатывание РЗА**  
**Головинка ВЛ Волконка ступ. 1**  
**Срабатывание защиты линии**  
**РЗЛ Волконка ВЛ 110 кВ Волконка-Головинка**  
**Отказ выключателя**  
**Волконка В 110 кВ Головинка**  
**НЕТ УРОВ**  
**Работа РЗА на смежных подстанциях**

Для «ручного» анализа диспетчером эта ситуация является весьма сложной: защиты работали на пяти подстанциях, на четырех подстанциях отключились выключатели, причем на одной подстанции (Волконка) нет отключений, эта подстанция полностью обесточилась. Экспертная система САНС дает исчерпывающее технологическое описание ситуации, понятное диспетчеру.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РАССУЖДЕНИЙ В СОВЕТЧИКЕ ДИСПЕТЧЕРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С помощью специальных программ-рассуждений и на основе технологических инструкций [2] можно формировать тексты советов по действиям диспетчерского персонала, необходимым в определенных ситуациях (и прежде всего в аварийных и предаварийных ситуациях).

Пример формирования совета:

**-Срабатывание защиты**  
**ДЗТ Волконка Т-1 16 МВА**  
**-резервная защита трансформатора**  
**срабатывание УРОВ после срабатывания**  
**защиты трансформатора**  
**УРОВ Волконка Волконка В 110 Т-1**  
**-дефектный выключатель**  
**Волконка В 110 Т-1**  
**отказ отключения выключателя**  
**-СОВЕТ: отключить вручную.**  
**- если выключатель не отключается,**  
**с разрешения диспетчера**  
**- отключить линейные и шинные**  
**разъединители этого выключателя**  
**- с нарушением блокировки без-**  
**опасности**  
**Волконка**  
**Нет резервного трансформатора**  
**Трансформатор отключен резервной**  
**защитой**  
**-Срабатывание защиты**  
**УРОВ Волконка Волконка В 110 Т-1**  
**-Возможная неисправность вы-**  
**ключателя**  
**Волконка В 110 Т-1**  
**Отказ отключения**  
**На подстанции**  
**Волконка**  
**работе УРОВ непосредственно**  
**предшествует работа защиты**  
**трансформатора**  
**ДЗТ Волконка Т-1 16 МВА**  
**Волконка Т-1 16 МВА**  
**Погашение шин**  
**Волконка I СШ 110**  
**-отключены НЕ ВСЕ выключатели**  
**присоединений, связанных с дан-**  
**ной СШ**  
**-не отключился выключатель**  
**Волконка В 110 Т-1**  
**учтено ручное отключение неот-**  
**ключившегося выключателя**  
**-если выключатель отключается,**  
**то с разрешения диспетчера**  
**-опробовать — толчком подать на-**  
**пряжение на погашенные шины**  
**-включить выключатель**  
**Волконка В-110 ВЛ Лазаревская**  
**-при успешном опробовании СШ**  
**включить выключатели**  
**Волконка ОВ-110**  
**Волконка В110 ВЛ Якорная щель**

**Волконка Т-1 10кВ**  
**СОВЕТ: Вывести в ремонт для осмот-**  
**ра и устранения повреждения**  
**- трансформатор**  
**Волконка Т-1 16 МВА**  
**- и выключатель**  
**Волконка В 110 Т-1**

## ТРЕНАЖЕР АНАЛИЗА НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

Использованию САНС в качестве онлайн-системы-советчика препятствует пока практически полное отсутствие в ЕНЭС оперативной передачи информации о срабатывании защит с подстанций в диспетчерские центры.

При этом важный этап деятельности диспетчера — анализ ситуации, возникшей в результате технологических нарушений, работы релейной защиты и автоматики, автоматического отключения оборудования — этот этап сейчас совершенно не охвачен существующими тренажерными системами.

Применительно к деятельности дежурного диспетчера ЦУС и ОДС электрических сетей анализ ситуации должен включать, по крайней мере, умение выявлять поврежденные элементы оборудования (например, короткие замыкания на линиях), отключенные элементы оборудования, обесточенные участки сети, отказы в срабатывании релейных защит, отказы и «затягивания» отключений выключателей. Этот анализ диспетчер должен уметь производить на основе имеющейся оперативной информации: отображения в ОИК электрических схем с получаемыми от систем телемеханики положениями выключателей и значениями параметров, доклады дежурного персонала подстанций (срабатывания РЗА, переключения выключателей). Анализ ситуации производится в условиях дефицита

**ИЗ СТАНДАРТА СТО  
(О 26.09.2005) «ПРАВИЛА  
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ РАЗВИТИЯ  
И ЛИКВИДАЦИИ НАРУШЕНИЙ  
НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ  
ЭНЕРГОСИСТЕМ»**

**Авария в энергосистеме** — нарушение нормального режима всей или значительной части энергетической системы, связанное с повреждением оборудования, временным недопустимым ухудшением качества электрической энергии или перерывом в электроснабжении потребителей.

**Нормальный режим энергосистемы** — режим энергосистемы, при котором все потребители снабжаются электрической энергией в соответствии с договорами и диспетчерскими графиками, а значения технических параметров режима энергосистемы и оборудования находятся в пределах длительно допустимых значений, имеются нормативные оперативные резервы мощности и топлива на электростанциях.

**Аварийный режим энергосистемы** — режим энергосистемы с параметрами, выходящими за пределы требований технических регламентов, возникновение и длительное существование которого представляет недопустимую угрозу жизни людей, повреждения оборудования и ведет к ограничению подачи электрической и тепловой энергии в значительном объеме.

**Послеаварийный режим энергосистемы** — режим, в котором энергосистема находится после локализации аварии до установления нормального или вынужденного режима.

времени, а «человеческие» ошибки при таком анализе могут быть чреваты тяжелыми последствиями. «Ручная» подготовка соответствующих тренировок достаточно трудоемка. Поэтому для проверки и поддержания соответствующей квалификации диспетчерского персонала целесообразна разработка специального тренажера анализа нештатных ситуаций. Поэтому разработка излагаемого направления была ориентирована на создание тренажера анализа нештатных ситуаций. Отсутствие или неполнота оперативной информации о срабатывании защит не является помехой при реализации тренажера — здесь сигналы срабатывания РЗА реализуются в имитационном режиме.

Использование Советчика в тренажерном варианте имеет и самостоятельное практическое значение: открывается возможность эффективного контроля и повышения квалификации диспетчерского персонала. Только после всесторонней проверки в тренажерной среде функций разработанный на базе МИМИР советчик может быть включен в онлайн-овую работу.

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ  
К ТРЕНАЖЕРУ АНАЛИЗА  
НЕСТАТНЫХ СИТУАЦИЙ АНС**

Тренажер АНС предназначен для использования в диспетчерских службах электрических сетей и в центрах подготовки персонала.

Основные функции тренажера:

- компьютерная поддержка подготовки сетевых противоаварийных тренировок (удобное задание ремонтных схем и «тестовых» повреждений);
- автоматизированная проверка умений диспетчерского персонала анализировать ситуации, связанные с технологическими

повреждениями в электрических сетях.

**Простота подготовки тренировок.** Для подготовки тренировки инструктор должен задать только ремонтируемое оборудование, оборудование с технологическим повреждением (например, линию с коротким замыканием), отказавшие выключатели (с указанием — отказ или затягивание отключения).

**Естественность предъявления ситуации тренируемому.** Коммутационное состояние схемы отображается на оперативной схеме (как в режимных тренажерах), списки событий предъявляются пообъектно — тем самым имитируется поступление докладов от дежурного персонала подстанций.

**Автоматизм анализа ситуации.** В АНС должен производиться автоматический анализ ситуации, заданной при подготовке тренировки. При этом используется топологическая модель сети, модель РЗА и правила логического вывода, в имитируемой при тренировке ситуации определяются возможные технологические нарушения (в частности, короткие замыкания), отказавшие в отключении выключатели, сработавшие элементы оборудования, отделившиеся районы сети. Результаты анализа автоматически формируются в форме протокола.

**Удобство выполнения тренировок.** После сообщения тренируемого об окончании ознакомления с подготовленной инструктором ситуацией тренажерная система задает ему ряд вопросов, например: указать (предположительно) поврежденный элемент оборудования, задать работу защит, указать, если необходимо, отказы или «затягивания» выключателей, указать работу АПВ и УРОВ, указать отключения оборудования и изменения положения выключателей.

По результатам ответов тренируемого автоматически должно формироваться тренировочное описание ситуации.

**Объективность оценки результатов тренировки.** Тренажерная система должна автоматически сравнивать правильное описание ситуации (результат автоматического анализа) с тренировочным описанием. В результате сравнения должен формироваться Протокол оценки, содержащий определения правильных ответов тренируемого, указание ошибок и автоматическое выставление штрафных баллов за тренировку.

**ЗАДАНИЕ УСЛОВИЙ ТРЕНИРОВКИ**

При задании в АНС условий тренировки руководитель тренировки задает:

- ремонтный режим сети (ремонты шин, ЛЭП, трансформаторов, выключателей);
- отключения выключателей от противоаварийной автоматики;
- поврежденный элемент оборудования (например, ЛЭП с коротким замыканием);
- отказы или «затягивания» в срабатывании выключателей.

Задания ремонтов производятся выбором по меню оборудования автоматически необходимых коммутаций в первичной схеме и в цепях РЗА (например, при выводе в ремонт одной системы шин подстанции с переводом присоединений и защит на оставшуюся в работе систему шин). При задании ремонтов в базу данных экспертной системы используется механизм автоматической имитации ремонтных заявок.

**ИМИТАЦИЯ ДОКЛАДОВ  
С ПОДСТАНЦИЙ**

В процессе анализа ситуации формируется список — «Лист событий», содержащий тексты сообщений о срабатываниях РЗА и переключениях выключателей. Для имитации сообщений от персонала подстанций в процессе общесетевой тренировки этот список автоматически «разбирается» на списки сообщений от отдельных подстанций. Эти имитации докладов тренируемый может вызывать по именам подстанций.

**ПРОЦЕСС ТРЕНИРОВКИ**

После ознакомления с тренировочной ситуацией участники тренировки опрашиваются тренером для выявления правильности распознавания ими ситуации.

**ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЗА**

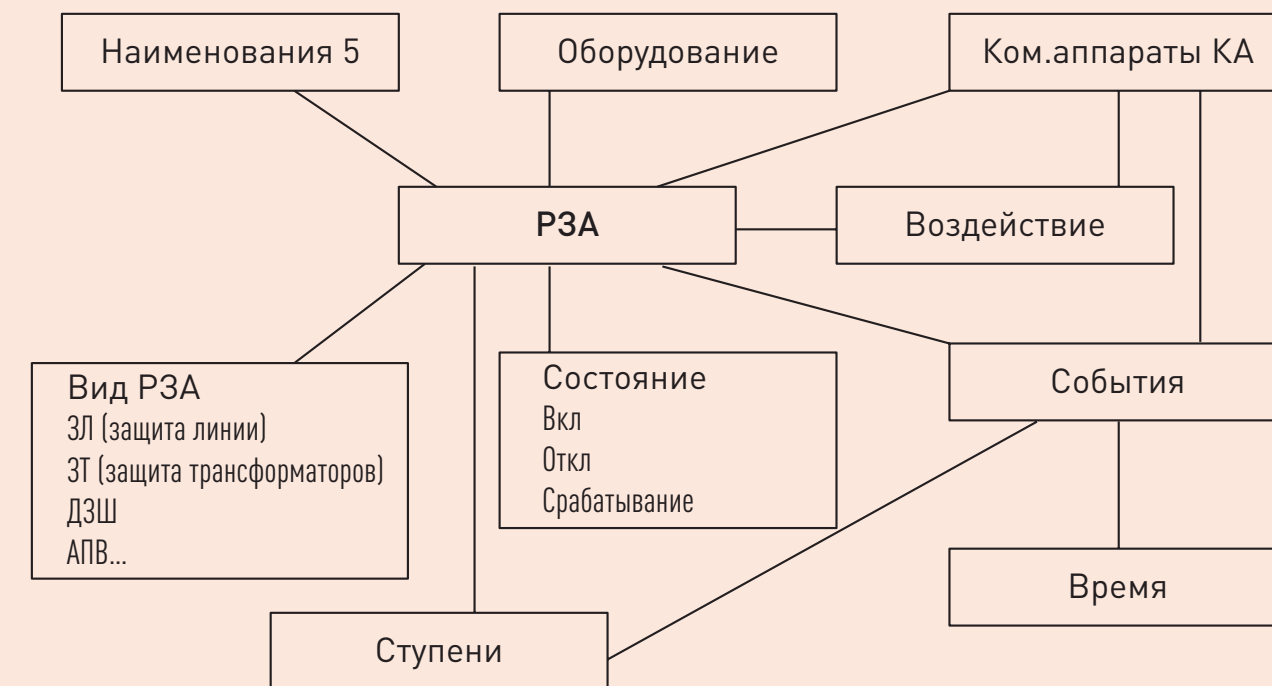


Рис. 2

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ПОВРЕЖДЕНИЙ В РАСПРЕДЕ- ЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Возможности развития технологии экспертных систем в области оперативного диспетчерского анализа для более сложных логических задач показывает решение задачи построения системы-советчика диспетчера по локализации и устранению нарушений в работе распределительных электрических сетей 0,38–20 кВ [9]. Технология решения этого класса задач задана в инструктивном материале [10].

Решение о порядке ликвидации нарушения диспетчер должен принимать с учетом наличия и местонахождения персонала сетевых предприятий, возможности привлечения смежных организаций и потребителей, схемы сети, наличия транспорта и возможности проезда, погодных условий, степени ответственности отключенных потребителей. От своевременности и безошибочности решений оперативного персонала при ликвидации аварий зависит эффективность и качество работы сетевого предприятия. Поэтому целесообразна разработка программ-

ного комплекса для планирования действий по обнаружению повреждений, включая управление перемещениями оперативно-выездных бригад ОВБ. Задача является многофакторной — наряду с развитием семантических структур для задания топологии сети (задание наличия телеуправления выключателей, расположения и показаний фиксирующих приборов ФИП, расположения указателей поврежденного участка линий) требуется геоинформационная часть — граф дорог с указанием их протяженности и связи с подстанциями.

Результирующий план должен содержать действия по анализу электрических схем, но предусматривать выполнение этих действий в таком порядке, чтобы минимизировать число и «километраж» перемещений ОВБ (в зависимости от начального расположения ОВБ). В соответствии с этими условиями разрабатываются специальные программы-рассуждения. Предусматривается и тренажерный режим, когда тренируемый пользователь «вручную» задает план локализации повреждения, который в контрольном режиме сравнивается с эталонным планом, составленным автоматизированной системой.

## ВЫВОДЫ

Целесообразно включение в состав АСДУ подстанций и электрических сетей интеллектуальных подсистем, использующих технологию экспертных систем. Эти подсистемы, основные функции которых рассмотрены в данной статье, содержат семантические структуры для описания топологии объектов управления и специальные программы-рассуждения, основанные на технологических инструкциях. Интеллектуальные подсистемы обеспечивают компью-

терную поддержку оперативного персонала по анализу нештатных ситуаций в объектах управления. Кроме функций систем-советчиков, обеспечивается важная новая функция — построение диспетчерских тренажеров анализа нештатных ситуаций, обеспечивающих проверку и поддержание необходимой квалификации диспетчерского персонала электрических сетей. При этом тренажерная функция обеспечивается даже при дефиците или отсутствии оперативной информации о работе РЗА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированный диспетчерский анализ нештатных ситуаций в электрических сетях. / С.В. Анашкин, С.В. Карташев, Ю.Я. Любарский, А.Г. Мирошкин. Электрические станции, 2013, №9. с. 49-3.
2. Инструкция по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем. М.: Издат-во ЭНАС 2004.
3. Ю.Я. Любарский. Интеллектуальные информационные системы. М. Наука, 1990.
4. М.А. Рабинович. Отображение оперативной информации. Комплекс КАСКАД-НТ.2.0. М.: изд-во ЭНАС, 2004.
5. С.В. Анашкин, С.К. Каковский, С.В. Карташев, Ю.Я. Любарский, А.Г. Мирошкин. Тренажер для диспетчерского персонала электрических сетей. Электрические станции, 2014, №2 с. 2–6.
6. И.Р. Таубес. Устройство резервирования отказа выключателя. М: Энергоатомиздат, 1988.
7. С.К. Каковский, Ю.Я. Любарский. Программная система — советчик для управления электрическими сетями. Электрические станции. 2016 №2 с. 35–39.
8. Ю.Я. Любарский Интеллектуальные модели рассуждений в в советчике диспетчера электрических сетей. Электрические станции. 2017 №3 с. 35–39.
9. В.Д. Власюк, С.К. Каковский, Ю.Я. Любарский. Автоматизация поиска повреждений в распределительных электрических сетях. Электрические станции. 2015 №4 с. 29–36.
10. Типовая инструкция по ликвидации нарушений в работе распределительных электрических сетей 0,38–20 кВ с воздушными линиями электропередачи. ТИ 34-70-058-86.

# ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

На правах рекламы

АВТОР:

С.В. МИЛОВАНОВ,  
К.Э.Н.

Как известно, присутствие электрических разрядов (коронных и дуговых) на высоковольтном электрооборудовании свидетельствует о следующих неисправностях: наличии конструктивных дефектов, неправильной установке оборудования, повреждении или загрязнении оборудования, потере передаваемой электроэнергии.

Электрические разряды вызывают повреждение расположенного рядом оборудования, что в результате приводит к сокращению срока эксплуатации, внеплановому отключению подачи электроэнергии при отказе аппаратуры, увеличению потерь передаваемой электроэнергии из-за корродированной или поврежденной поверхности проводников. В свою очередь, потери передаваемой электроэнергии повышают стоимость ее выработки, а увеличение реальной стоимости работ в связи с преждевременной заменой и связанными с ней трудозатратами напрямую влияют на экономические показатели предприятия.

**К**омпания «ПАНАТЕСТ» более 20 лет специализируется на поставках оптических систем

Невозможность обнаружения разрядов приводит к потерям передаваемой электроэнергии, сокращению срока эксплуатации аппаратуры, перерывам в подаче электроэнергии, что снижает экономическую эффективность предприятия.

Современные средства диагностики — это двух- или трехспектральные УФ-дефектоскопы, например, бесконтактный УФ-дефектоскоп SonoCAM 8, который объединяет в себе три различные камеры — ИК-камеру, нечувствительный к солнечному излучению УФ-дефектоскоп и видеоканеру, представленную моделью SONY с высокими техническими характеристиками.

Положительный экономический эффект УФ-метода диагностирования электрооборудования можно проиллюстрировать на примере его применения на предприятии ООО «Энергонефть Томск». За первые два года использования УФ-дефектоскопа было осмотрено менее 70 % оборудования, при этом количество отказов

диагностики, которые повышают рентабельность энергетических компаний, снижают эксплуатационные издержки.

сократилось вдвое по сравнению с предыдущим периодом.

В дальнейшем при 100 %-м контроле оборудования количество дефектов, требующих устранения, значительно уменьшилось. Это говорит о положительной динамике состояния оборудования благодаря проведенным мероприятиям по устранению дефектов, найденных с помощью УФ-метода. Улучшение состояния было достигнуто на оборудовании всех классов напряжения, что безусловно положительно сказалось на сроке эксплуатации аппаратуры и свело перерывы в подаче электроэнергии практически к нулю, напрямую влияя на экономические показатели компании и ее финансовую устойчивость.



[www.panatest.ru](http://www.panatest.ru)  
[www.corocam-uv.ru](http://www.corocam-uv.ru)  
[www.uvirco.com](http://www.uvirco.com)  
+7 (495) 789-37-48