

УДК 621.31.027.3

И.В. Сарычев

## ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В 60-70-е года шел бурный рост промышленности Кузбасса, вместе с которой развивалась и электроэнергетика. Численность подстанций и высоковольтных сетей в «Кузбассэнерго» только за два десятилетия увеличилась более чем втрое. За период 1960 - 1980 гг. количество подстанций напряжением 35 – 500 кВ увеличилось с 56 до 172, воздушных линий электропередач (ВЛ) напряжением 35 кВ - с 672 до 2012 км., ВЛ-110 кВ - с 480 до 2130 км. На сегодняшний день построено ВЛ-220 кВ общей протяженностью 985 км., ВЛ-500 кВ - 311 км (рис.1).

По сравнению с этим за два последних десятилетия количество подстанций и ВЛ напряжением 35-500 кВ возросло на четверть. Кризис в экономике страны отразился и в электроэнергетике. В связи с недостаточным финансированием за последние годы замена старого

высоковольтного электрооборудования практически не ведётся. Всё оборудование, которое устанавливалось в 60-80-е годы, выработало свой ресурс, так как в соответствии с инструкциями по эксплуатации заводов изготовителей срок эксплуатации высоковольтного электрооборудования составляет 25 лет [3].

Но, несмотря на это, сейчас вместо замены проводятся капитальные ремонты трансформаторов и выключателей, устаревших морально и физически. Кроме того, из-за отсутствия на предприятиях достаточной комплектации запасными частями и материалами капитальные ремонты проводятся в неполном объеме. Например, при проведении капитального ремонта высоковольтного выключателя типа МКП-110 кВ по технологической карте [4] на данный вид работы из шести

моторов и выключателей, устаревших морально и физически. Кроме того, из-за отсутствия на предприятиях достаточной комплектации запасными частями и материалами капитальные ремонты проводятся в неполном объеме. Например, при проведении капитального ремонта высоковольтного выключателя типа МКП-110 кВ по технологической карте [4] на данный вид работы из шести

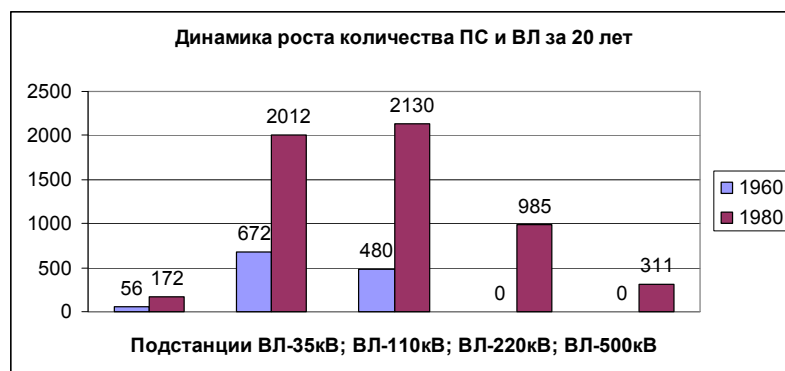


Рис.1. Диаграмма роста количества подстанций и ВЛ-35-500 кВ в 1960-1980 гг.

Таблица 1

### Достоверность диагностики силовым трансформаторам

Параметр	Масло	Активная часть	Обмотки	Ввода	РПН	Внешний контакт	Система охлажден	Примечание
Пробивное напряжение масла	д			д	д			
Влагосодержание	д			д	д			
Тангенс угла диэлектрических потерь	д			д	д			
Кислотное число	д			д	д			
Газовая хроматография	д		д	п	д			Требуется наработки
Вибродиагностика		д	п					Требуется наработки
Тепловизионный контроль		п	т	д		д	д	Требуется наработки
Мембранная фильтрация	п	т	п	т	т			Требуется наработки
Частичные разряды		т	т	п				

Обозначения: пробел - не диагностируется; т - результат требует подтверждения другими методами; п - желательно подтверждение другими методами; д - результат достаточно достоверный

дугогасительных камер необходимо заменить две с худшими характеристиками. Реально их не меняют или производят замену вышедших из строя камер не новыми, а находившимися длительное время в эксплуатации (с демонтированных выключателей).

По этим же нормам контактную систему выключателя при обнаружении дефектов необходимо менять. Из-за отсутствия материальной базы этого не делают, контакты растачивают и устанавливают вновь и так далее. Всё это снижает надёжность оборудования.

Проводить капитальные ремонты электрооборудования из-за высокой стоимости запасных частей нецелесообразно. Так, замена высоковольтных вводов типа БМВ-110 кВ на выключателе МКП-110 кВ ценой 160-180 тыс. рублей за ввод (в количестве 6 штук) превышает цену нового маломасляного выключателя типа ВМТ-110 кВ или элегазового выключателя типа ВГТ-110 кВ ценой в 600 - 1000 тыс. рублей.

Проблемой проведения капитальных ремонтов электро-

оборудованию или его замены является высокая стоимость высоковольтного оборудования и его запасных частей как российского, так и зарубежного производства. В зарубежной практике от проведения капитальных ремонтов оборудования предприятия, эксплуатирующие сети, отказываются вообще. Они эксплуатируют электрооборудование до изменения его характеристик ниже допустимых норм или до его отказа, затем производят его замену. Такому экономическому подходу способствует, естественно, высокая надёжность и качество производства зарубежного высоковольтного электрооборудования. Гарантийный срок зарубежных предприятий изготовителей на такое оборудование составляет до десяти лет, а иногда он распространяется на весь срок эксплуатации, это характерно для SIEMENS, ABB, OLDHAM. Естественно, эксплуатирующим предприятиям выгоднее покупать такое дорогостоящее электрооборудование, с высокими показателями надёжности, которое требует минимума затрат в период экс-

плуатации, что в конечном счёте к концу срока эксплуатации себя окупает полностью.

Системы постоянной диагностики улучшают эксплуатацию электрооборудования. Современные зарубежные высоковольтные выключатели и силовые трансформаторы оснащены системами мониторинга. Они реагируют на любые изменения характеристик оборудования, находящегося в работе. Например, у выключателей контролируется состояние контактной системы, замеряется переходное сопротивление, нагрев контактов и т.д. В работе трансформаторов контролируется состояние трансформаторного масла, сопротивление изоляции и т.п. Любое изменение характеристик передается обслуживающему персоналу, что позволяет предупредить отказ такого электрооборудования. Всё это - и качество электрооборудования, и его постоянный мониторинг - позволяет добиться высокого показателя надёжности энергоснабжения и качества передаваемой электроэнергии.

Российские предприятия не производят такого надёжного

Таблица 2

Повреждения трансформаторов

№	Повреждение	%	Диагностика (без вскрытия)	Развитие процесса	последствия	Способ устранения
1	Вводы	16,7	Прямая	Быстрое	Большие повреждения трансформатора	Замена вводов
2	Активная часть	15,8	Косвенная	Быстрое	Большие повреждения трансформатора	Замена обмоток, приобретение нового транс-ра
3	Переключающие устройства	27,5	Прямая	Быстрое/медленное	Средние повреждения	Ревизия, ремонт или замена
4	Течи масла	16	Прямая	Быстрое/медленное	Нет, при работе газовой защиты при значительной потере масла	Устранение
5	Навесное оборудование	15	Прямая	Быстрое/медленное	Нет, при условии своевременного обнаружения	Ремонт, замена
6	Охлаждение, циркуляция	8,3	Прямая	Быстрое	Нет, при условии своевременного отключения от защит	Ремонт, замена

оборудования, но, несмотря на это, цены на него велики. Российское оборудование не оснащено системами мониторинга. Поэтому, чтобы восполнить этот недостаток некоторые российские НИИ разрабатывают приборы диагностики. Например, Иркутский институт систем энергетики «СКБ электротехнического приборостроения» производит приборы контроля выключателей (ПКВ). Для диагностирования высоковольтных выключателей таким прибором их необходимо выводить из работы в ремонт. Сама диагностика очень зависит от человеческого фактора, правильности подключения датчиков, проведения замеров и т.д. Несмотря на это, большинство предприятий, эксплуатирующих высоковольтные выключатели, по положительным результатам диагностики ПКВ отказываются от проведения капитальных ремонтов, продлевая срок эксплуатации до следующей диагностики.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих надежность и безопасность эксплуатации электроустановок, является своевременное выявление дефектов до наступления катастрофического отказа. Однако, одна из ключевых задач в проблемах оценки состояния электроустановок - анализ условий возникновения и развития дефектов исследована слабо. Так, например, количество отказов в электроустановках по неустановленным причинам колеблется от 20 до 40 %.

Достоверность диагностики самого дорогостоящего оборудования - силовых трансформаторов по результатам 5-летнего

исследования в ОАО «Кузбассэнерго» представлена в табл. 1.

Требуются наработки - не существует точных критериев. Нужно сравнение результатов периодического контроля одного и того же оборудования, разных трансформаторов одного типа, соблюдение технологии и опыт проводящих диагностику и анализ.

По этим исследованиям на трансформаторах, отработавших свой срок, повреждения развиваются в течении нескольких лет – 20%, от нескольких часов до нескольких месяцев – 40%, быстрое развитие повреждения – 40%. Таким образом, периодический контроль в ряде случаев не в состоянии предотвратить аварии. Определяющими факторами являются срок службы и условия эксплуатации (нагрузка трансформатора, сквозные токи короткого замыкания).

Статистика повреждений трансформаторов за 5 летний период, с достаточной точностью приведена в табл. 2. Наибольшие повреждения и большие последующие затраты составляют первые 3 позиции. Периодичность контроля согласно «Объемов и норм испытаний электрооборудования» недостаточна для диагностики быстро развивающихся повреждений. Диагностика состояния изоляции обмоток опирается на данные хромотографического анализа и должна сравниваться с предыдущими анализами по этому же трансформатору

Особый интерес представляют исследования воздействий перенапряжений на условия возникновения и развития дефектов. Разработок, посвя-

щенных перенапряжениям, проведено достаточно много, но в подавляющем большинстве они посвящены решению задач защищенности оборудования, а не физике процессов в конструктивных узлах. Вместе с тем аварийность оборудования во многом определяется воздействиями перенапряжений.

Основным видом внутренних повреждений трансформаторов являются витковые короткие замыкания (КЗ). Причинами таких повреждений являются старение изоляции и распрессовка обмоток, вызывающие процессы, указанные в табл. 3.

Из перечисленных выше факторов внешними являются перегрузки и перенапряжения, возникающие в высоковольтной сети. Для анализа физических процессов в высоковольтной сети на современном этапе используют цифровые осциллографы, которые ведут постоянную цифровую запись показаний тока и напряжения в установленных точках. Но такими современными осциллографами оснащены немногие подстанции, на большинстве подстанций установлены осциллографы самозаписывающие аварийный режим на фотобумагу. Эти приборы ведут запись показаний только в начальный момент развития аварии, по их показаниям можно определить правильность работы средств релейной защиты и автоматики, но развитие предаварийного режима и мониторинга сети на основе анализе этих данных сделать невозможно. Переходным звеном являются регистраторы аварийных событий. Они ведут цифровую запись аварийных

Таблица 3

Причины и процессы вызывающие внутренние повреждения

Причина	Процессы
Старение изоляции.	Срок службы трансформатора, Исходное качество изоляции, Качество масла, Нагрузки и перегрузки, (величина тока, продолжительность), Прогреве при ремонтах,
Распрессовка обмоток.	Низкое качество заводской опрессовки обмоток, Сквозные токи КЗ, (величина ударного тока, повторные КЗ).

режимов, что способствует более глубокому изучению аварийной ситуации, но не позволяет провести анализ предаварийного режима.

Анализ работы современных цифровых осциллографов и моделирование перенапряжений позволяет проектировать защиты от внутренних и грозовых

перенапряжений в высоковольтных сетях различного исполнения и назначения. Этому предшествуют расчеты электромагнитных переходных процессов, позволяющие, в том числе, сформулировать требования к коммутационной аппаратуре и к аппаратным мерам защиты от перенапряже-

ний. Широкое использование достаточно мощной вычислительной техники позволяет в настоящее время существенно повысить достоверность этих расчетов путем более полного моделирования как самих процессов, так и коммутирующих и защитных аппаратов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Е.А., Зубков А.С., Кадомская К.П. Повышение достоверности математического моделирования электромагнитных процессов в сетях средних классов напряжений. Материалы международной научно-технической конференции «Перенапряжения и надёжность эксплуатации электрооборудования». Выпуск 1. СПб: Минэнерго. - 2003. -246 с.
2. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. - РД 153-34.3-35.125-99.-РАО "ЕЭС России".- СПб: Изд-во ПЭИПК. - 1999. - 353 с.
3. Выключатель масляный серии МКП. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИБКЖ.674143,001 ТО. – М. – 1989. -62 с.
4. Типовые технологические карты на капитальный и текущий ремонт электрооборудования распределительных устройств электростанций и подстанций на напряжение 6-500 кВ.- Союзтехэнерго.- М. – 1981. – 96 с.

□ Автор статьи:

Сарычев  
Игорь Викторович  
аспирант, старший преп. каф. электроснабжения горных и промышленных предприятий

УДК 621.3.015.38

И.В. Сарычев

### АНАЛИЗ ОТКЛЮЧЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ КЕМЕРОВСКОГО РАЙОНА

В 1936 г. завершилось строительство линии электропередач Белово – Прокопьевск напряжением 110 кВ. Стали работать в параллель на общую электрическую сеть ТЭЦ КМК и Кемеровская ГРЭС. Это был ввод первой воздушной линии 110 кВ и начало создания энергетической системы Кузбасса.

За семьдесят лет мощность энергосистемы возросла многократно, в настоящее время в эксплуатации находятся 224 электроподстанции высокого напряжения и более 30 тысяч км. воздушных линий электропередач.

На сегодняшний день протяженность воздушных линий (ВЛ) составляет: 110 кВ – 2814 км., в то время как ВЛ 500 кВ –

311 км., ВЛ 220 кВ – 985 км., и ВЛ 35 кВ – 2683 км. Эти данные наглядно показаны на рис. 1.

Наиболее протяженна сеть 110 кВ - это составляет 41% от общей сети воздушных линий электропередач, 35 кВ – 39%, 220 кВ – 15%, 500 кВ – 5%.

По данным статистики ОАО

«Кузбассэнерго» за последние 10 лет в энергосистеме произошло 3300 отключений воздушных линий 35 кВ и выше. Из них на ВЛ 500 кВ – 136 отключений, на ВЛ 220 кВ – 252 отключения, в то время как на ВЛ 110 кВ произошло 2055 отключений, оставшаяся часть

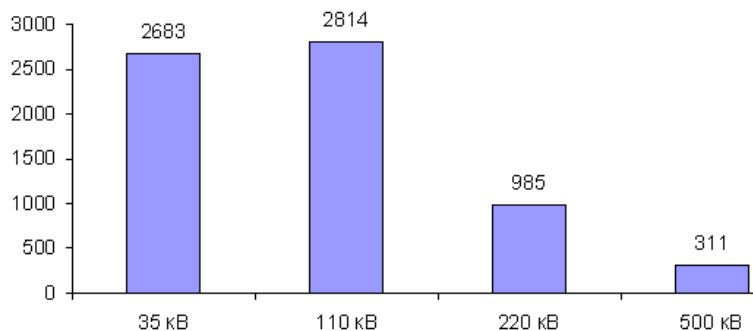


Рис.1. Диаграмма протяженности воздушных линий