

енты мощности машины  $\cos\varphi$  для каждой фазы отдельно.

Тогда средневзвешенный коэффициент мощности определяется по формуле:

$$\cos\varphi_{\text{ср}} = \frac{P_{1A} \cos\varphi_A + P_{1B} \cos\varphi_B + P_{1C} \cos\varphi_C}{P_{1A} + P_{1B} + P_{1C}}$$

И как показали проведенные эксперименты, коэффициент мощности при номинальной нагрузке после предлагаемого способа частичного ремонта по сравнению с новым двигателем изменился незначительно – с 0,82 до 0,83. Его повышение связано с уменьшением индуктивной и увеличением активной составляющих сопротивления поврежденной фазы.

Все вышеизложенное позволило сделать следующие выводы:

1. Коэффициент полезного действия двигателя после ремонта по сравнению с паспортными данными снижается незначительно.
2. Коэффициент мощности машины остается практически неизменным.
3. Предлагаемый способ ремонта позволяет сократить время простоя технологической линии.
4. По сравнению со способом частичного ремонта без добавочного сопротивления предлагаемый способ является более целесообразным, так как потери в машине намного меньше и, таким образом, работа АД становится более экономичной.

## **СОСТОЯНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Сердешнов А.П., Усов Г.Г., Кожарнович Г.И.,

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г.

Минск

В настоящее время в Белорусской энергосистеме находится в эксплуатации более 224,6 тыс. км линий электропередачи напряжением 0,38-10 кВ и почти 69

тысяч трансформаторных подстанций и распределительных пунктов напряжением 6-10/0,4 кВ общей установленной мощностью 13860 МВА. Однако надо учитывать, что в основном данные сети были сформированы до 1970 года по более дешевым, но ненадежным Союзным нормам технического проектирования сетей. Поэтому традиционно электрическая сеть этого класса напряжения является наиболее слабым элементом в системе внешнего электроснабжения [1].

По надежности электроснабжения потребительских электрических сетей наносится значительный урон, как за счет недоотпуска электроэнергии, срыва технологических процессов, так и вследствие порчи сельскохозяйственной продукции. Значителен также срок устранения отказов, требующих значительных трудозатрат. Особенно это проявляется во время стихийных явлений, в результате которых происходят массовые повреждения сетей с погашением потребителей [1].

В связи с этим ежегодно растет объем износа оборудования эксплуатируемого в энергосистеме. Физический износ достигает 65-70%. Это касается и силовых масляных трансформаторов (СМТ) с высшим напряжением 6-10 кВ мощностью до 630 кВА [2].

Согласно «Нормам испытания электрооборудования и инструкциям заводов изготовителей» трансформаторы подвергаются большому количеству различных проверок и испытаний, при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте. Сроки проведения проверок и ремонтов жестко устанавливаются независимо от физического состояния. Также в ряде энергосистем дополнительно используются новые средства диагностики состояния трансформаторов.

Анализ результатов собранного материала позволяет сделать заключение, что наиболее характерные повреждения, которые возникают в масляных трансформаторах: пробой изоляции обмоток, недоработка конструкций, скрытые дефекты изготовителей, нарушения правил транспортировки, технологии монтажа, отступления от правил эксплуатации. Ухудшение технического состояния, естественно, влияет на надежность работы трансформаторов.

Проведенные исследования условий эксплуатации трансформаторов в сельских электрических сетях показали, что при эксплуатации в масляных трансформаторах выявляются три основные группы: исправные – отсутствие повреждений; условно работоспособные – имеющие повреждения, но к моменту контроля к аварийному отказу за время эксплуатации не приведшие, а требующие своевременного проведения восстановительного ремонта; аварийные – выявлены повреждения, которое запрещает дальнейшую эксплуатацию.

Если исключить контроль, то следует рассчитывать только на две группы: исправные и аварийные. В первом случае будут выполняться ремонтные работы, во втором, вывод трансформатора из работы и проведение аварийного ремонта.

Необходимо учитывать, что значительное количество трансформаторов установлено на открытом воздухе и работает в повторно кратковременном режиме в условиях повышенной влажности окружающей среды. С течением времени происходит увлажнение и снижение электрических свойств изоляции. При резкой загрузке, возможно «распаривание» твердой изоляции трансформатора состоящей в основном из волокнистых материалов (картон, бумага), которое ведет к резкому снижению сопротивления и возможному пробое.

Анализ поврежденных трансформаторов проведенный на Минском заводе «Белэнергоремналадка» показал, что основной причиной отказов является пробой изоляции обмоток, а причина пробоев объясняется переувлажнением и старением твердой изоляции до истечения нормативного срока службы [3]. До 30% всех повреждений приходится на преждевременное нарушение изоляции обмоток распределительных трансформаторов работающих в южных районах Украины [4].

Принимая во внимание, что срок службы трансформаторов близок к нормативному, или превышает его, одним из мероприятий способствующих снижению количества отказов и повышению надежности работы является профилактическая сушка твердой изоляции трансформаторов.

Сушка является одним из важнейших технологических процессов производства трансформаторов. Она имеет целью удаление влаги из твердой изоляции, для обеспечения более высокой электрической прочности. При содержании влаги в изоляции трансформатора, равном 2% от сухого веса, старение происходит в 10 раз быстрее, чем при влагосодержании 0,3%, при влагосодержании 4% в 45 раз быстрее [5].

Увлажнение изоляции – процесс неизбежный, а с увеличением продолжительности эксплуатации трансформаторов износ изоляции ускоряется. Влажность, температура и время – одно из основных причин по которой снижается качество изоляции СМТ в сельских электрических сетях. Причем, чем выше содержание влаги, тем интенсивнее идет процесс старения.

Как видно из табл. 1, при номинальной и постоянной в течение года нагрузке изоляция силового трансформатора изнашивается на одну треть от уровня своего нормативного износа, определяемого при температуре окружающей среды, равной  $+20^{\circ}\text{C}$ . Для условий города Минска такая средняя температура окружающей среды характерна лишь для одного месяца в году, т.е. в течение 1/12 года. Если принять во внимание значение годовой эквивалентной температуры, равной  $+10^{\circ}\text{C}$ , то относительный износ изоляции за год составит 0,425 (или 3726,8 часа), что в 1,27 раза больше, чем в случае использования значений температуры окружающей среды, характерной для отдельных периодов года [2].

Если в течение года иметь постоянную нагрузку трансформатора, равную 1,1 номинальной, то вместо положенных 25 лет ресурс изоляции будет израсходован за 18,8 года [2].

Сейчас нет практически способов защиты масляных трансформаторов 10/0,4 кВ сельских сетей от повреждений, связанных с повышенным содержанием влаги в твердой изоляции. Твердая изоляция трансформаторов подвергается тепловым, механическим и электрическим воздействиям. На нее оказывают влияние окружающая среда. Перечисленные факторы ухудшения состояния изоляции могут развиваться постепенно и действовать одновременно. По мере

старения электроизоляции, количество выделяющейся воды увеличивается. Контроль находящихся в эксплуатации сельских трансформаторов установленных в потребительских подстанциях осуществляется традиционными методами.

Таблица 1

Относительный износ изоляции силовых трансформаторов мощностью 25-630 кВА в установившемся режиме при коэффициенте загрузки, равном единице

Износ изоляции	$\Theta_1, ^\circ\text{C}$ при $\Theta_c, ^\circ\text{C}$ , равной					
	-5	0	+5	+11	+18	+20
	Декабрь Январь Февраль	Март Ноябрь	Апрель Октябрь	Май Сентябрь	Июнь Август	Июль
	73,0	78,0	83,0	89,0	96,0	98,0
За сутки, $F_c$ , час	1,33	2,38	4,22	8,40	19,0	24,0
За группы суток, $F_{ст}$ , час	119,7	145,18	257,42	512,4	1159,0	744
За год $F_g$ , час	2937,7					
Относительный износ изоляции $F_g$ за год	0,33					

Известны наиболее применяемые способы сушки твердой изоляции активной части трансформаторов: потерями короткого замыкания, потерями в собственном баке, токами нулевой последовательности. Поэтому, при выборе методов сушки в конкретных эксплуатационных условиях необходимо подходить как к его рациональности, так и к энергоэкономичности. Последнее обстоятельство может быть одним из главных в условиях увеличения стоимости электроэнергии и при хозрасчете.

Данные способы сушки твердой изоляции активной части трансформаторов требуют разборки и демонтажа, применения специального оборудования, повышенных трудозатрат и расхода электроэнергии. Нагревать обмотку трансформатора током при сильном увлажнении опасно из-за возможности ее пробоя.

Поэтому в БГАТУ разработан способ сушки твердой изоляции силовых масляных трансформаторов [6]. Этот способ является удачной комбинацией

наиболее часто используемых в производстве методов. Предложенный способ соединяет положительные стороны методов удаления влаги из твердой изоляции масляных трансформаторов потерями в собственном баке, токами нулевой последовательности и токами короткого замыкания. В нем имеет место положительный градиент тепла, так как по отношению к окружающей среде поток тепла от потерь в стали магнитопровода и в обмотках соединенные по схеме нулевой последовательности направлен от центра к баку, так же как направлен поток влаги из изоляции активной части трансформатора.

Проводимые эксперименты показали, что предложенный способ удаления влаги из твердой изоляции масляного трансформатора дает возможность получить высококачественную сушку, значительно сократив время сушки, исключить необходимость в дополнительных устройствах питания с нестандартным напряжением, понизить расход электроэнергии, незначительные затраты труда.

#### Вывод

Наличие СМТ в эксплуатации с увлажненной изоляцией проблема не только техническая, но и экономическая. Для повышения эксплуатационной надежности и продления расчетного срока эксплуатации трансформаторов в сельских электрических сетях необходима профилактическая сушка твердой изоляции. Применение сушки комбинированным методом сократит до минимума неоправданные материальные потери, связанные с выводом СМТ в длительный ремонт с большими трудовыми и энергетическими затратами. Разработанный способ удаления влаги может применяться на месте установки, в мелких ремонтных мастерских и на электротехнических заводах при изготовлении трансформаторов. Способ прост, обеспечивается высокая эффективность сушки, энергоэкономичен, что позволяет рекомендовать его для практического применения.

#### Литература

1. Концепция развития электрических сетей.- Мн., с. 43-60., 2001г.

2. М.А. Короткевич. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей.- Мн.: ЗЭО Техноперспектива, 2003.

3. А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов. Сушка твердой изоляции трансформаторов комбинированным методом. // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве. Труды 4-й Международной научно-технической конференции. Ч.1. М.: ВНИИЭСХ 2004.

4. С.А. Ермалаев и др. Защита трансформаторного масла от увлажнения. – МЭСХ №11,1985г.

5. А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов. Повышение надежности работы силовых масляных трансформаторов эксплуатируемых в сельских электрических сетях. // Перспективы и направления развития энергетики АПК. Материалы Международной научно-технической конференции. Мн.: 2006.

6. Патент 2156 РБ. Способ удаления влаги из твердой изоляции трансформаторов / А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов и др. - №2 (17). – С.14.

## **К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАНДАРТОВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Сердешнов А.П., Шевчик Н.Е.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»;

Солдатенко А.А., Шевчик А.Н.,

ГУ «НИПТИхлебопродукт» г. Минск

Проведенный сравнительный анализ действующего в Республике Беларусь и в большинстве стран СНГ ГОСТ 13109-97 «Требования к качеству «Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения» и нормативного документа DIN EN 50160 «Показатели качества электрической энергии» по вопросам области применения, нормативных ссылок, определений, обозначений и сокращений, показателей качества электроэнергии,