

# СУШКА ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ

А. П. СЕРДЕШНОВ, к.т.н.; Г. Г. УСОВ (БАТУ)

**Ц**ель работы: повышение надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей путем улучшения условий эксплуатации силовых трансформаторов сельских ТП.

Силовые масляные трансформаторы общего назначения I-II габаритов в сельских электрических сетях составляют наиболее многочисленную группу и являются самыми надежными из всех элементов сети. Но надежность указанных трансформаторов достигается только при тщательном соблюдении всех норм правильной организации работы, определенных Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) [1]. Высокие требования к строжайшему выполнению норм ПТЭ диктуются также специфической особенностью сельских сетей: расположением трансформаторных подстанций. Чаще всего они находятся вдали и от организаций, занимающихся их эксплуатацией, и от специализированных ремонтных предприятий. Вот почему выход из строя силовых трансформаторов наносит экономике Республики Беларусь (РБ) значительный урон, как за счет недоотпуска электроэнергии, так и вследствие порчи сельскохозяйственной продукции. Значителен также срок устранения отказов.

Проведенные исследования условий эксплуатации трансформаторов сельских ТП показали, что нормы эксплуатации, по некоторым показателям, во многих случаях далеки от допустимых.

## 1. Количество трансформаторов и ремонт их повреждений, за 1995 - 1999 гг. (Предприятие "Белэнергоремналадка")

Номинальная мощность Sn, кВА	Общее кол-во ремфонда тр-ров, шт	Повреждения			
		Замена обмоток ВН, НН, шт	Замена обмотки НН, шт	Замена обмотки ВН, шт	Ремонт мех. части Трансформатора, шт
25	450	215	62	123	50
40	236	114	33	56	33
63	198	89	32	53	24
100	335	160	50	79	46
160	270	128	55	62	25
250	191	91	38	44	18
400	123	61	14	36	12
630	81	35	14	25	7
1000	55	24	4	18	9
Итого шт.	1939	917	302	446	224
%	100	47,29	15,58	25,58	11,55

где ВН - обмотки высшего напряжения, НН - обмотки низшего напряжения.



При проведении этих исследований учитывалось, что в сетях работают трансформаторы различных мощностей, напряжений, с различными схемами соединения обмоток.

Многолетние наблюдения, выполненные в 11 районах РБ в последние годы (1990-1999 г.г.), показали, что в среднем за год от общего количества силовых трансформаторов, находящихся в эксплуатации, выходит из строя 5-7%, причем во многом причины отказов у них общие.

Анализ повреждений, приведенных в табл.1 по данным одного из крупнейших ремонтных заводов республики - "Белэнергоремналадка" (г.Минск), показал, что основной причиной отказов трансформаторов является пробой

изоляции обмоток. По этой причине поступили в ремонт более 80% трансформаторов от общего числа отказавших.

В свою очередь причины пробоев объясняются, в основном, переувлажнением и связанным с этим ускоренным старением изоляции обмоток.

Причем, чем выше содержание влаги, тем интенсивнее идет процесс старения. И если при содержании влаги в твердой 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[2].

Контроль изоляции трансформаторов, находящихся в эксплуатации на сельских потребительских подстанциях, осуществляется традиционными методами: измерением ее параметров (сопротивления, тангенса угла диэлектрических потерь и др.) и испытанием трансформаторного масла в объеме, установленном ПТЭ.

Анализ результатов собранного материала позволяет сделать заключение, что в силовых трансформаторах сельских ТП происходит систематическое ухудшение состояния изоляции и многие из них подходят к критическому сроку эксплуатации или уже находятся в нем. При этом все они могут быть разделены на две основные группы:

- трансформаторы, в которых нет развития повреждения (они составляют большинство);
- трансформаторы, в которых есть основания предполагать наличие развивающегося повреждения (их число, в среднем, составляет около 20-23%).

Проведенные учащенные замеры параметров изоляции силовых трансформаторов последней группы дают возможность считать, что, как правило, развитие в них повреждений связано в первую очередь с повышенным содержанием влаги в твердой изоляции.

В самом деле, при резких изменениях нагрузки, а, следовательно и нагрева изоляции, влага, вследствие парообразования, в лучшем случае разрыхляет целлюлозу кабельной бумаги и других элементов такой изоляции. При коротких же замыканиях, так как парообразование носит ударный характер, происходит ее механическое разрушение. И в первом, и во втором случаях создаются благоприятные условия для ускоренного старения изоляции и ее электрического пробоя, особенно при к.з. в электрической сети.

Исследованиями также установлено, что там, где силовые трансформаторы не имеют герметизации, из-за несовершенства осушителей воздуха, происходит постоянное увеличение содержания влаги в трансформаторном масле, по причине адсорбирования ее из воздуха. Особенно если ТП расположено в лесистой местности или вблизи болот и крупных водоемов. Установлено также, что количество влаги в трансформаторном масле зависит и от сезона: в весенние и осенние месяцы ее больше, чем в летние и зимние, а также от коэффициентов загрузки и заполнения суточного графика нагрузки трансформаторов: содержание влаги в масле возрастает обратно пропорционально падению этих показателей.

В свою очередь, в процессе влагообмена, связанного при работе трансформатора с изменением

нагрева отдельных его элементов, увеличивается количество влаги в твердой части изоляции. Это происходит вследствие миграции ее из масла.

Все вышеизложенное ставит под сомнение одно из положений ПТЭ в отношении контроля состояния изоляции трансформаторов, а именно:

"В трансформаторах до 630 кВ\*А проб масла не отбирается"... Такой огульный подход, без учета особенностей конструкций трансформаторов сельских ТП и условий их работы, мягко сказать, недостаточно обоснован. По нашему мнению, к вопросу о контроле состояния изоляции трансформаторов сельских ТП надо подходить дифференцированно, с учетом экономической целесообразности. Необходимо четко установить, для каких ТП положение ПТЭ рационально, а для каких желательно, все-таки в течение года, ввести отбор проб масла. При этом сроки отбора должны быть в достаточной степени обоснованы. Обязательно следует учесть: особенности конструкций трансформаторов, их мощности, время установки в эксплуатацию, место расположения ТП, стоимость проведения работ по отбору проб, сезон, загрузку трансформатора, коэффициент заполнения среднего суточного графика его работы, остаточный ресурс, возможен учет и других показателей. Такая работа, конечно, потребует дополнительных исследований.

Правильно организованный контроль силовых трансформаторов позволит для восстановления диэлектрических свойств переувлажненных электроизоляционных материалов, своевременно проводить их сушку. Это, в свою очередь, повысит надежность работы ТП и сократит до минимума неоправданные материальные потери, связанные с выводом трансформаторов в длительный ремонт с большими трудовыми и энергетическими затратами.

Необходимость проведения сушки оценивается согласно ГОСТу и в соответствии с "Нормами испытания электрооборудования" [3].

К настоящему времени разработано немало способов сушки твердой изоляции активной части трансформаторов. Поэтому, вполне естественно, что при выборе метода сушки в конкретных эксплуатационных условиях подходят с учетом его рациональности, так как каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Наибольшее применение в сельской электрификации получили: потерями короткого замыкания, потерями в собственном баке, потерями от токов нулевой последовательности [4].

Если необходимо высушить активную часть без ее разборки, то удобным способом сушки является метод короткого замыкания. Он основан на нагреве изоляции обмоток высшего и низшего напряжения токами, проходящими непосредственно по проводам обмоток. Для этого одну из обмоток замыкают накоротко, а на другую подают напряжение ко-

роткого замыкания, которое приведено на паспорте данного трансформатора.

Основные достоинства: простота метода, малое напряжение, совпадающие градиент выхода тепла и влаги, не требуется разборка трансформатора. Основные недостатки: необходимо наличие источника питания с нестандартным напряжением (к тому же, в нем имеет место дополнительная потеря электроэнергии), сушка производится при наличии масла, отсюда пониженная температура сушки и ее длительность, ускоренное старение изоляции.

Самым распространенным способом сушки трансформаторов в сельских сетях является способ потерями в собственном баке. Бак силового трансформатора утепляют асбестовым полотном, листовым асбестом, материей из стекловолокна, можно использовать и другие негорючие материалы. Толщину теплоизоляции выбирают в зависимости от условий окружающей среды.

Поверх изоляции укладывают намагничивающую обмотку. Изолированный провод накладывают непосредственно на тепловую изоляцию. Во избежание порчи проводов, индукционную обмотку можно выполнять и голым проводом, закрепленным на изолирующих стойках, на расстоянии, исключающем замыкания при удлинении и провисания провода от нагрева. Чтобы добиться более равномерного нагрева бака, витки в нижней и верхней частях бака должны располагаться с меньшим шагом по сравнению со средней. Однофазную обмотку наматывают в одну сторону. Направление намотки фаз трехфазной обмотки чередуют: верхнюю часть обмотки (фазу А) и нижнюю (фазу С) в одну сторону, а среднюю часть (фазу В) - в другую. Подключают к обмотке источник стандартного переменного тока с напряжением 220 или 380 В.

Нагрев изоляции вызывается потерями от вихревых токов в стальном баке трансформатора, создаваемых магнитным потоком при протекании тока в намагничивающей обмотке. От бака тепло передается активной части.

Основные достоинства метода: сушка может выполняться на месте установки трансформатора, использование стандартного напряжения (следовательно, не требуется дополнительное устройство-источник переменного тока), простота, сушка может проводиться без трансформаторного масла (нет ускоренного его старения). Основные недостатки: наличие намагничивающей обмотки, что требует дополнительных затрат труда и материалов, градиент тепла и выход влаги встречный, наличие воздушной подушки между выемной

частью и баком, что обуславливает длительность разогрева выемной части и сушку, повышение мощности и расход электроэнергии.

Сушка токами нулевой последовательности основана на нагреве обмоток, протекающими по ним токами и за счет потерь от вихревых токов, возникающих в ее ферромагнитных конструкциях, в том числе и стенках бака, при их намагничивании под действием переменного магнитного поля.

Магнитное поле создается рабочими обмотками одного из напряжений (безразлично ВН или НН) трансформатора, соединенными так, чтобы магнитные потоки, создаваемые протекающими по ним токами, совпадали во всех стержнях магнитопровода как по величине, так и по направлению. В таком случае оно будет замыкаться через стержни магнитопровода, стенки бака, крышку и обратно на стержни. Обмотки, не используемые для создания магнитного поля, остаются разомкнутыми. Бак трансформатора утепляется.

Основные достоинства: возможность сушки в эксплуатации непосредственно на рабочем месте, положительный градиент тепла т.е. потоки тепла от потерь в стали и в обмотках направлены от центра активной части к баку, так же, как и поток влаги, воздушная подушка между активной частью транс-

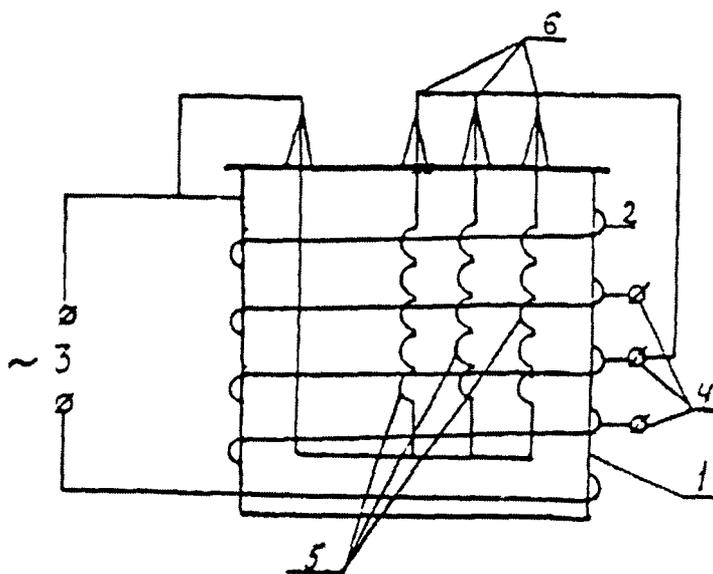
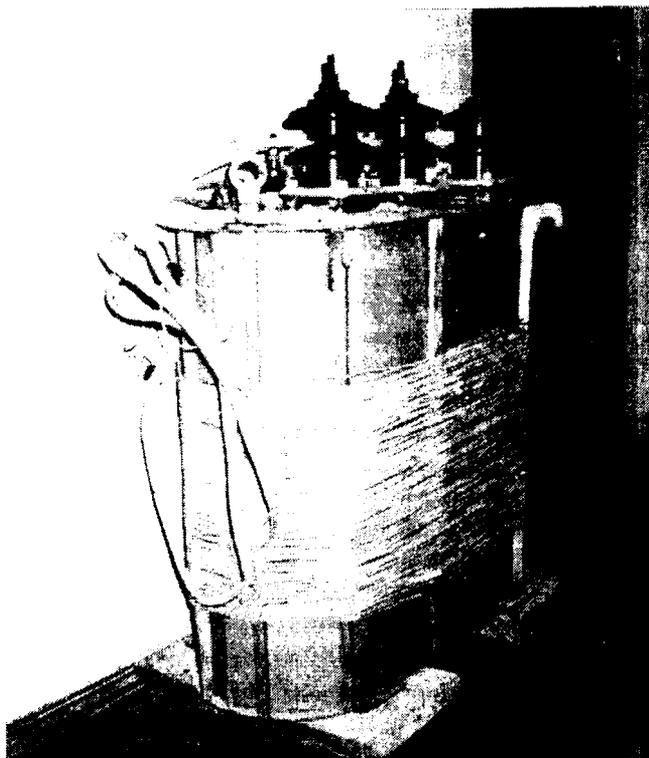


Рис 1. Схема сушки изоляции трансформатора комбинированным способом.

форматора и баком играет роль теплоизоляции, что сокращает время сушки и расход электроэнергии на нее.

Основные недостатки: необходимость наличия источника питания нестандартного напряжения, необходимость распаивания соединения одной из



*Рис. 2. Сушка трансформатора ТМ-25/10 комбинированным способом.*

обмоток трансформатора при соединении их в "треугольник" или "зигзаг" и пайки после сушки.

Как следует из изложенного, каждый способ имеет свой ряд присущих ему серьезных недостатков, которых хотелось бы избежать. В поисках простого, эффективного и экономичного метода сушки группой сотрудников кафедры электроснабжения сельского хозяйства Белорусского государственного аграрного технического университета разработан новый способ сушки твердой изоляции силовых трансформаторов [5]. Он по существу является удачной комбинацией всех трех наиболее используемых в производстве методов.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе удаления влаги из изоляции трансформатора (рис. 1), при котором на его бак 1 наматывается намагничивающая обмотка 2, питающаяся от источника стандартного напряжения переменного тока 3, от отпайки 4 требуемое нестандартное напряжение подается на одну из обмоток трансформатора 5, включенных по схеме нулевой последовательности, через вводы 6.

Предложенный способ соединяет положительные стороны методов удаления влаги из твердой изоляции силового трансформатора потерями в собственном баке, токами нулевой последовательности и токами короткого замыкания. Имеет место положительный градиент тепла, так как по отношению к окружающей среде, поток тепла от потерь в стали магнитопровода и в обмотках, соединенных по схе-

ме нулевой последовательности, направлен от центра к баку, также как направлен поток влаги из изоляции активной части трансформатора. Ликвидируется отрицательное воздействие воздушной подушки между баком и выемной частью, что сокращает время на разогревание трансформатора и потерь тепла. Бак, разогреваемый потоками нулевой последовательности и намагничивающей обмоткой, становится тепловым барьером между выемной частью и окружающей средой, что снимает необходимость в установке специальной теплоизоляции.

Проведенные эксперименты показали, что предлагаемый комбинированный способ удаления влаги из твердой изоляции силовых трансформаторов дает возможность получить высококачественную ее сушку, значительно сократив время сушки и понизив расход электроэнергии на эту операцию, исключить необходимость в дополнительных устройствах питания с нестандартным напряжением.

В заключение следует отметить, что разработанный метод может применяться не только в эксплуатации, но также и в ремонтных мастерских и даже при изготовлении трансформаторов на электротехнических заводах.

#### Выводы:

1. Положение Правил технической эксплуатации в пункте отбора проб масла трансформаторов мощностью до 630 кВ необходимо пересмотреть.
2. Определение рациональных сроков отбора проб трансформаторного масла в эксплуатации требует дополнительных исследований.
3. Предлагаемый новый способ удаления влаги из твердой изоляции трансформаторов прост, не требует дополнительных устройств с нестандартным напряжением, дает возможность проводить сушку по месту установки трансформатора, обеспечивает высокую эффективность сушки, снижает время проведения сушки и расход электроэнергии на ее проведение.

#### Литература

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Бажанов С.А., Воскресенский В.Ф. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения. - М.: Энергия, 1977.
3. Нормы испытания электрооборудования. - М.: Атомиздат, 1978.
4. А.А. Пястолов, И.М. Райхлин. Ремонт трансформаторов I и II габаритов. - М.: Энергия, 1977.
5. Патент 2156 РБ. Способ удаления влаги из твердой изоляции трансформатора /А.П. Сердешнов и др. - АБ №2 (17), 1998. С.14.