

## Мировые тенденции развития трансформаторного оборудования (по итогам 45-й сессии СИГРЭ)

ЛАРИН В.С.

С 24 по 29 августа 2014 г. в Париже (Франция) состоялась 45-я Генеральная сессия Международного Совета по большим электрическим системам (СИГРЭ).

В СИГРЭ работы по трансформаторному направлению проводит исследовательский комитет (ИК) А2 «Трансформаторы», в сферу деятельности которого входят трансформаторы (силовые, преобразовательные, фазоповоротные и пр.), электрические реакторы (шунтирующие, токоограничивающие, сглаживающие и пр.) и компоненты к ним (вводы, переключающие устройства, вспомогательное оборудование).

Основные направления деятельности ИК А2 «Трансформаторы» затрагивают все стадии жизненного цикла трансформаторного оборудования [1]:

подготовку технических требований и закупку, экономические аспекты;

проектирование, производство и испытания;

эксплуатацию, надежность, безопасность и экологичность;

обслуживание, диагностику, мониторинг и ремонт.

В настоящее время в рамках ИК А2 «Трансформаторы» действуют следующие рабочие группы:

**A2.37** «Исследование надежности трансформаторов»;

**A2.38** «Тепловое моделирование трансформаторов»;

**A2.40** «Длительное подавление сульфида меди и оценка риска»;

**A2/D1.41** «Изоляция трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения — проводимость масла»;

**A2.42** «Транспортирование трансформаторов»;

**A2.43** «Надежность трансформаторных вводов»;

**A2.44** «Интеллектуальный мониторинг состояния трансформаторов»;

**A2.45** «Исследование повреждений трансформаторов и послеаварийный анализ»;

**A2-D1.46** «Практический опыт применения маркеров старения трансформаторов»;

**D1-A2.47** «Новые возможности хроматографического анализа растворенных газов»;

**A2.48** «Шунтирующие реакторы»;

**A2.49** «Оценка состояния»;

**A2.50** «Эффект распределенных источников энергии»;

**A2-D1.51** «Частичные разряды»;

**A2-C4.52** «Высокочастотные модели трансформаторов и реакторов».

В рамках 45-й сессии СИГРЭ по тематике ИК А2 «Трансформаторы» состоялись следующие мероприятия: закрытое заседание комитета, постер-сессия комитета, дискуссионное заседание комитета и заседания рабочих групп ИК А2 «Трансформаторы».

Всего в рамках комитета А2 на 45-й сессии СИГРЭ было принято 37 докладов (два из которых позднее были отозваны) по следующим предпочтительным темам.

1. Передовая практика управления ресурсом (16 докладов):

индикатор состояния как инструмент для оценки состояния, применения ранжирования парка трансформаторов по состоянию и важности;

передовой опыт стратегий обслуживания и новых инвестиций, маркеров старения твердой изоляции, онлайн-мониторинга и диагностики, роль анализа причин повреждений при вскрытии трансформаторов;

методики минимизации последствий от наиболее значимых событий, требования и практика использования резервных трансформаторов.

2. Трансформаторы специального применения (11 докладов):

применение фазоповоротных, преобразовательных, промышленных, морских/подводных трансформаторов, регулируемых шунтирующих реакторов и пр.;

технические требования, проектирование, изготовление и испытания;

характеристики, надежность, эксплуатация и обслуживание.

3. Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий (8 докладов):

опыт с новыми изоляционными жидкостями, газами и твердыми диэлектриками (обслуживание, характеристики, диагностика, затраты полного срока эксплуатации), улучшенные материалы и технологии для обмоток и магнитопровода;

опыт с новыми технологиями для компонентов (высоковольтных вводов, устройств регулирования напряжения и др.);

опыт и применение трансформаторов с высоко-температурной сверхпроводимостью.

Полный перечень и краткое содержание докладов 45-й сессии СИГРЭ по комитету А2 «Трансформаторы» представлены в [2]. В данной статье представлены результаты обобщения мировых тенденций развития трансформаторного оборудования, сделанного на основе анализа материалов и мероприятий 45-й сессии СИГРЭ.

### Инновационные исследования и решения, представленные на 45-й сессии СИГРЭ

По итогам обобщения материалов, представленных на 45-й сессии СИГРЭ, можно отметить следующие ключевые инновационные исследования и решения.

#### 1. Передовая практика управления ресурсом.

1.1. Применение индексов состояния и ранжирование трансформаторов для принятия решений о продлении эксплуатации или замене оборудования (доклады А2-101, А2-103, А2-105, А2-107, А2-116). В последнее время в разных странах мира отмечается большее количество исследовательских работ по этому направлению, что вызвано следующими обстоятельствами:

значительная часть эксплуатируемых трансформаторов имеют срок эксплуатации более 30 лет, при этом предельный срок эксплуатации трансформаторов оценивается равным 40–45 лет; например, в докладе А2-101 [3] в компании Hydro-Québec (Канада) свыше 50% эксплуатируемых трансформаторов имеют «возраст» более 30 лет (рис. 1,а); в докладе А2-107 [4] представлены соответствующие данные по компании TERNА (Ита-

лия), у которой также имеется большое число трансформаторов со сроком эксплуатации свыше 30 лет (рис. 1,б);

несмотря на проводимые плановые замены трансформаторов из-за финансовых ограничений в целом происходит дальнейшее увеличение «возраста» парка трансформаторов.

В этих условиях имеет огромное значение стратегия замены трансформаторов по их фактическому состоянию и ранжирование трансформаторов по критериям вероятности их отказа и объему последствий, связанных с выходом из строя этих трансформаторов.

Для ранжирования трансформаторов по их состоянию все большее применение находят индексы состояния (Health Index — HI), характеризующие вероятность отказа и определяемые по совокупности показателей (состояние изоляции, устройств регулирования напряжения и вводов; влагосодержание, результаты хроматографического анализа растворенных газов; показатели надежности отдельных компонентов и пр.).

1.2. Послеаварийный анализ трансформаторов, исследования состояния изоляции при утилизации отработавших трансформаторов для развития и повышения достоверности оценок состояния и остаточного ресурса (доклады А2-102, А2-106, А2-108, А2-109, А2-114). Как известно, состояние изоляционной системы трансформаторов и степень ее старения могут быть определены путем оценки степени полимеризации твердой изоляции. Вместе с тем, в трансформаторах наиболее нагретыми элементами активной части, как правило, являются обмотки, а именно верхние витки винтовых обмо-

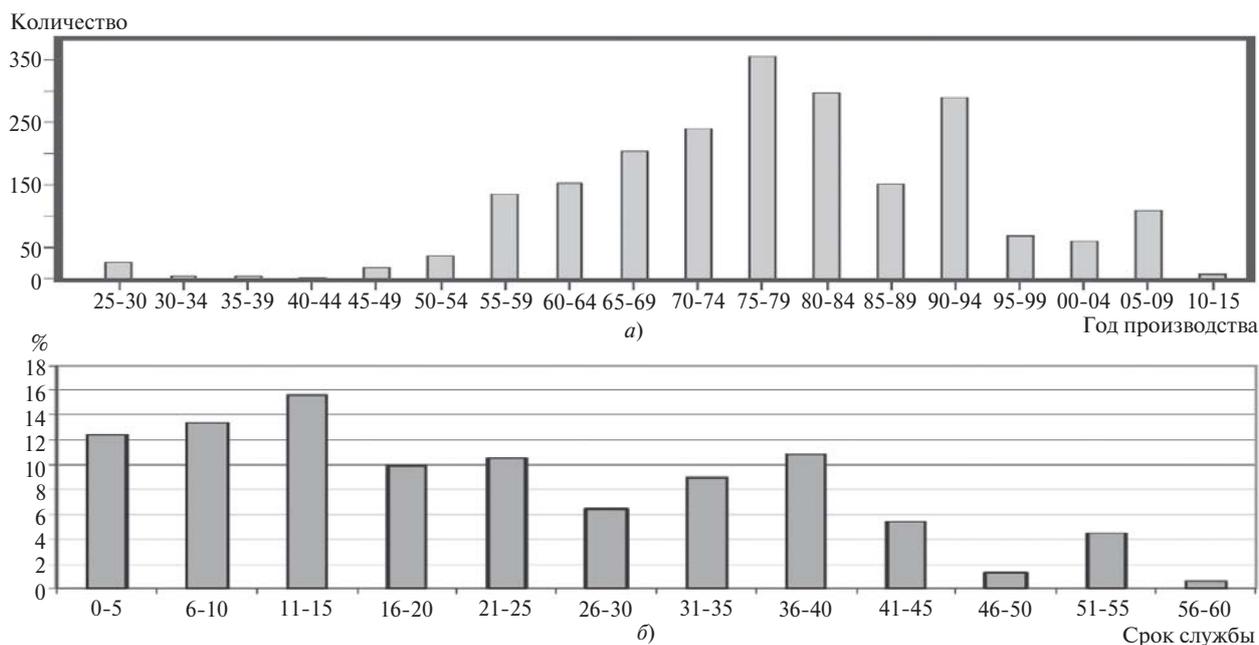


Рис. 1. «Возрастной» состав парка трансформаторов: а — компании Hydro-Québec [3]; б — компании TERNА [4]

ток и верхние катушки катушечных обмоток. Таким образом, для оценки фактического состояния твердой изоляции наиболее показательным является анализ проб витковой изоляции обмоточных проводов, что затруднено на практике, поскольку обмотки снаружи закрыты цилиндрами и угловыми шайбами главной изоляции, кроме того, отбор проб витковой изоляции может привести к снижению электрической прочности и последующему повреждению продольной изоляции обмоток.

В связи с этим усилия мировой науки направлены на развитие косвенных методов определения состояния твердой изоляции с помощью «маркеров старения», под которыми подразумеваются растворенные в масле химические соединения, образующиеся в результате старения твердой изоляции. Для развития этих косвенных методов огромную практическую важность приобретают исследования проб масла и твердой изоляции утилизируемых трансформаторов, отработавших нормированный срок эксплуатации, для получения ценной диагностической информации, сравнения содержания «маркеров старения» и результатов оценки степени полимеризации.

**2. Применение специального трансформаторного оборудования.** **2.1. Испытания масштабных макетов для подтверждения стойкости при КЗ силовых трансформаторов большой мощности (доклад А2-201) [5].** В докладе представлен опыт подтверждения стойкости при коротких замыканиях (КЗ) трансформатора большой мощности, испытания которого затруднены из-за технических ограничений испытательных лабораторий, выполненные путем испытания масштабного макета трансформатора. Испытания макета проведены по требованию энергокомпании EDF (Франция) в рамках приемки генераторных трансформаторов мощностью 570 МВА в части стойкости при КЗ.

Испытанный макет трансформатора содержит все основные элементы активной части реального трансформатора, определяющие стойкость трансформатора при КЗ, включая обмотки, прессующую систему, отводы и пр. Реальный трансформатор имеет двухстержневое исполнение активной части, и для упрощения конструкции макета в нем воспроизведен лишь один стержень с обмотками. За исключением высоты обмоток другие основные размеры, в том числе размеры проводов, радиальные размеры обмоток, — такие же, как в реальном трансформаторе. Высота обмоток в макете составляет примерно четверть высоты обмоток реального трансформатора. С учетом указанных отличий эквивалентная мощность (около 46 МВА) макета существенно меньше мощности реального трансформатора.

Для подтверждения стойкости при КЗ макета были проведены две серии испытаний. В первой серии выполнены испытания согласно стандартной процедуре испытаний на стойкость при КЗ по МЭК 60076-5. Во второй серии для получения коэффициентов запаса конструкции было проведено испытание до разрушения, в котором ток от опыта к опыту увеличивали с шагом в несколько процентов. По итогам разборки макета после испытаний выявлены возникшие повреждения (скручивание обмотки НН и деформация верхнего витка из транспонированного провода в месте его выхода из обмотки) и предложены меры по усилению конструкции.

**2.2. Исследования и решения по специальному трансформаторному оборудованию.** На 45-й сессии СИГРЭ также был представлен ряд докладов, отражающих ключевые решения, направления исследований и наработки по инновационным видам трансформаторного оборудования:

преобразовательные трансформаторы для задач постоянного тока высокого напряжения (доклады А2-204, А2-208);

фазоповоротные трансформаторы для регулирования потоков мощности (А2-202, А2-205, А2-207);

регулируемые и управляемые шунтирующие реакторы (А2-206, А2-211);

трансформаторы для морских платформ, используемые в схемах выдачи мощности от морских ветровых электростанций (А2-209).

**3. Применение новых материалов с целью повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности и энергоэффективности.** По этой предпочтительной теме 45-й сессии СИГРЭ можно отметить следующие ключевые инновационные исследования и решения:

применение жидких диэлектриков, альтернативных традиционному трансформаторному маслу, например натуральных эфиров (доклады А2-301, А2-302, А2-306, А2-307);

повышение класса напряжения сухих трансформаторов до 72,5 кВ и выше, разработка сухих трансформаторов для применения в сетях среднего и высокого напряжения (доклад А2-304);

применение прорывных решений по активным материалам на основе высокотемпературной сверхпроводимости (доклад А2-303).

### **Пилотные проекты, представленные на 45-й сессии СИГРЭ**

Среди пилотных проектов, представленных на 45-й сессии СИГРЭ по тематике комитета А2 «Трансформаторы», следует отметить следующие.

**1. Фазопоротные трансформаторы 400 кВ 1800 МВА (доклад А2-207 [6]).** Трансформаторы установлены на ПС Foggia и Villanova компании TERNА (Италия) для управления потоками мощности. Произведены компанией Tamini, имеют проходную мощность 1800 МВА, номинальное напряжение 400 кВ, фазовый сдвиг  $\pm 17,5^\circ$ ,  $\pm 33$  ступени.

Каждый фазопоротный трансформатор состоит из последовательного трансформатора (транспортные габаритные размеры: 11200' 4745' 4400 мм; транспортная масса без масла 290 т; масса масла 85 т) и трансформатора возбуждения (транспортные габаритные размеры: 10810' 4382' 5100 мм; транспортная масса без масла 295 т; масса масла 110 т).

**2. Регулируемые шунтирующие реакторы 420 кВ 90–200 Мвар (доклад А2-211 [7]).** Регулируемые шунтирующие реакторы с номинальным напряжением 420 кВ трехфазного исполнения установлены на ПС 420 кВ компании Statnett (Норвегия). Сообщается о разработке двух исполнений с возможностью регулирования мощности в диапазонах 90–200 Мвар и 120–200 Мвар. Особенностью конструкции реакторов данного типа является применение сетевой обмотки с большим числом ответвлений и устройства регулирования под нагрузкой (РПН) для изменения индуктивности шунтирующего реактора. Такой способ изменения индуктивности реактора определяет более простую конструкцию и более низкую стоимость по сравнению с управляемым шунтирующим реактором, но при этом обеспечивает сравнительно медленное быстрое действие.

**3. Управляемый шунтирующий реактор 500 кВ 180 Мвар (доклад А2-206 [8]).** В докладе представлены основные параметры, описание конструкции, результаты заводских испытаний, а также результаты уникальных полевых испытаний на подстанции «Нелым» (Россия) управляемого шунтирующего реактора (УШР) напряжением 500 кВ трехфазной мощности 180 Мвар разработки ОАО «ПК ХК Электрозавод» (рис. 2). УШР имеет однофазное исполнение и в сборе состоит из трех однофазных электромагнитных частей, заземляющего реактора, подмагничивающего устройства и системы управления. Изменение индуктивности реактора проводится путем подмагничивания магнитных систем активных частей постоянным напряжением, подаваемым в нейтрали сетевых обмоток. Отмечено, что согласно результатам испытаний УШР обладает низким уровнем потерь (около 600 кВт при номинальной мощности) и гармоник (около 2%) и высоким быстродействием (время перехода от нулевой к полной мощности при форсировке возбуждения – не более 0,3 с).



Рис. 2. Управляемый шунтирующий реактор напряжением 500 кВ мощностью на фазу 60 Мвар на подстанции «Нелым»

**4. Взрыво- и пожаробезопасная ПС 69 кВ внутри стадиона (доклад А2-304 [9]).** Подстанция 69 кВ футбольного стадиона Fonte Nova (Бразилия) построена к Чемпионату мира по футболу 2014 г. и расположена непосредственно под трибунами стадиона (рис. 3). Питается от кабельной линии напряжением 69 кВ и снабжает стадион и окрестные районы города. На подстанции применены гибридное КРУЭ напряжением 69 кВ и сухой трансформатор АВВ HiDry<sup>72</sup>, имеющий номинальную мощность 25000 кВА, наибольшее рабочее напряжение 72,5 кВ и напряжения обмоток высшего / низшего напряжений 69/(11,95, 13,8) кВ.

Регулирование напряжения сухого трансформатора 69 кВ выполнено на стороне высшего напряжения с помощью устройства РПН, диапазон регулирования  $+4/-12$  ступеней по 1,25%. Устройство РПН имеет основную воздушную изоляцию, для коммутации тока в нем применены вакуумные дугогасительные камеры.

Обмотки высшего напряжения сухого трансформатора – с литой изоляцией, имеют сравни-



Рис. 3. Закрытая подстанция стадиона Fonte Nova и сухой трансформатор 69 кВ, 25 МВА

тельно высокий уровень изоляции (испытательное напряжение полного грозового импульса 380 кВ, испытательное кратковременное переменное напряжение 140 кВ), вплотную приблизившийся к уровню изоляции трансформаторов класса напряжения 110 кВ.

### Вопросы на дискуссионном заседании ИК А2 «Трансформаторы»

В ходе дискуссионного заседания комитета А2 «Трансформаторы» представителями разных стран были сделаны сообщения, обобщающие представленные доклады и отражающие современное состояние развития трансформаторостроения. По указанным выше трем предпочтительным темам были рассмотрены следующие вопросы:

#### 1. Передовая практика управления ресурсом:

опыт онлайн-мониторинга состояния вводов и устройств РПН;

ошибочная интерпретация данных системами мониторинга и повышение надёжности оценки состояния оборудования;

длительная эксплуатация и надёжность датчиков систем мониторинга;

опыт применения и сравнения индексов состояния трансформаторов;

объём данных, необходимый для оценки индексов состояния трансформаторов;

проведение анализа повредившихся трансформаторов для получения ценной диагностической информации.

#### 2. Трансформаторы специального применения:

фактически требуемые параметры фазопоротных трансформаторов и их сравнение с параметрами, указываемыми при заказе трансформаторов;

требования, которые следует указывать в заказе, чтобы избежать излишне завышенную стоимость трансформаторов;

воспроизводимость при заводских испытаниях распределения напряжений, соответствующего воздействию переходных перенапряжений в эксплуатации;

исключение насыщения магнитной системы фазопоротного трансформатора в эксплуатации;

требования к быстродействию управляемых и регулируемых шунтирующих реакторов;

опыт применения и количество установленных единиц управляемых и регулируемых шунтирующих реакторов;

особенности испытаний на стойкость при КЗ масштабных макетов генераторных трансформаторов и сетевых автотрансформаторов большой мощности.

### 3. Практический опыт использования нетрадиционных материалов и технологий:

влияние влаги на диэлектрические свойства натуральных эфиров;

влияние натуральных эфиров на степень полимеризации целлюлозной изоляции;

возможные риски при включении трансформаторов, заполненных натуральными эфирами, при температуре окружающего воздуха минус 20 °С и ниже;

допустимое остаточное содержание минерального масла при перезаливке трансформаторов натуральными эфирами и характеристики получаемой смеси;

опыт подтверждения температуры наиболее горячей точки и потерь в высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) трансформаторах, вызванных добавочными потерями от магнитного поля в ВТСП проводниках обмоток;

электродинамическая стойкость сухих трансформаторов с литой изоляцией обмоток напряжением 69 кВ мощностью 25 МВА и более.

### Мероприятия с участием комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ в 2015–2016 гг.

Индикатором тенденций развития мирового трансформаторостроения могут служить предпочтительные темы следующих мероприятий в рамках комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ – коллоквиума ИК А2 (2015 г.) и 46-й сессии СИГРЭ.

**Коллоквиум ИК А2 СИГРЭ.** Следующий коллоквиум комитета А2 «Трансформаторы» запланирован на период с 20 по 25 сентября 2015 г. в Шанхае (Китай), и для него утверждены следующие предпочтительные темы:

1. *Оборудование и компоненты для трансформаторов сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока:*

технические характеристики, конструирование, изготовление и испытание;

ограничения при транспортировке, особенности установки и ввода в эксплуатацию;

надёжность, эксплуатация и обслуживание;

особенности шунтирующих реакторов сверх- и ультравысокого напряжения.

2. *Технологии для оборудования подстанций будущего и активно-адаптивных сетей (совместно с комитетами А3 и В3):*

оборудование высокого напряжения с использованием инновационных эффективных и экологически чистых дугогасящих сред и изоляционных материалов;

оптимизация проектов подстанций, практики эксплуатации и обслуживания и оборудования в

части эффективности, компактности, уровня шума, стоимости, низких эксплуатационных расходов;

улучшенное управление коммутационными аппаратами и другие меры снижения воздействий в сети и взаимодействия между оборудованием высокого напряжения и электрической сетью;

увеличение применения полупроводниковых технологий и сверхпроводимости.

**3. Лучшее использование существующего парка трансформаторов:**

техника управления ресурсом, оценки критичности, ранжирование парка трансформаторов;

улучшение методов мониторинга состояния и диагностики и испытаний на месте установки;

влияние более суровых погодных условий и новые экологические требования;

методы снижения повышенных воздействий на старые трансформаторы.

**46-я сессия СИГРЭ.** В период с 21 по 26 августа 2016 г. в Париже (Франция) состоится 46-я сессия СИГРЭ, в рамках которой по комитету А2 «Трансформаторы» запланировано рассмотрение докладов по следующим предпочтительным темам.

**1. Новые достижения в диагностике и мониторинге:**

инновационная и лучшая практика интерпретации данных и оценки состояния, как использовать результаты для прогноза, практические примеры и истории успешной оценки состояния;

использование информации из диагностики, мониторинга, обслуживания и эксплуатации для стратегического управления парком трансформаторов;

технические характеристики, интеграция и управление систем мониторинга для обеспечения эффективного использования данных.

**2. Трансформаторы ультравысокого напряжения и компоненты:**

технические характеристики, конструкция, материалы, требования и средства для производства и испытаний;

ограничения при транспортировке, установка, ввод в эксплуатацию, надежность, эксплуатация и обслуживание;

особенности шунтирующих реакторов.

**3. Обмотки трансформаторов:**

конструкция, производственные процессы, применение и характеристики различных типов обмоток и материалов, опыт с новыми изоляционными материалами;

опыт и оценка механических (силы при КЗ и вибрации при нагрузке), тепловых и изоляционных характеристик и эффективности обмоток;

влияние старения и практик обслуживания на характеристики обмоток.

С программой, тематиками заявленных докладов и другой информацией о 46-й сессии СИГРЭ можно ознакомиться на официальном сайте СИГРЭ (<http://www.cigre.org/Events/Session/Session-2016>).

**Выводы.** По итогам 45-й сессии по комитету А2 «Трансформаторы» СИГРЭ можно отметить следующие ключевые направления развития и наиболее обсуждаемые вопросы в области трансформаторного оборудования.

**1. Практика управления ресурсом трансформаторов:**

применение индексов состояния и ранжирование трансформаторов для принятия решений о продлении эксплуатации или замене оборудования;

послеаварийный анализ, исследование состояния изоляции при утилизации отработавших трансформаторов для повышения достоверности оценки их состояния и остаточного ресурса.

**2. Повышение надежности эксплуатируемого трансформаторного оборудования:**

развитие систем мониторинга и повышение их эффективности;

определение допустимых перегрузок силовых трансформаторов;

восстановление трансформаторов после стихийных бедствий.

**3. Применение специального трансформаторного оборудования:**

масштабных макетов для подтверждения стойкости при КЗ мощных силовых трансформаторов;

фазопоротных трансформаторов для регулирования потоков мощности;

регулируемых и управляемых шунтирующих реакторов.

**4. Применение новых материалов с целью повышения экологичности, взрыво- и пожаробезопасности и энергоэффективности:**

применение жидких диэлектриков, альтернативных традиционному трансформаторному маслу (например натуральных эфиров);

повышение класса напряжения сухих трансформаторов вплоть до 110 кВ, разработка сухих трансформаторов для применения в сетях среднего и высокого напряжения;

применение прорывных решений по активным материалам (высокотемпературной сверхпроводимости).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Rajotte C.** Presentation of CIGRE activities on Power Transformers: <http://a2.cigre.org/what-is-SC-A2>

2. **Ларин В.С.** Исследовательский комитет А2 «Трансформаторы». — Энергетика за рубежом, 2015, № 1–2, с. 33–52.

3. **Picher P., Boudreau J.-F., Manga A., Rajotte C., Tardif C., Bizier G., Di Gaetano N., Garon D., Girard B., Hamel J.-F., Proulx S.** Use of Health Index and Reliability Data for Transformer

Condition Assessment and Fleet Ranking. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-101.

4. **Scatiggio F., Fraioli A., Iuliani V., Pompili M.** Health Index: the TERNA's Practical Approach for Transformers Fleet Management. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-107.

5. **Leber G., Passath H., Ryadi M., Hurlet P.** Short Circuit Verification for a 570 MVA, 420 kV single-phase GSU-Transformer by SC-Withstand Tests on a Mock-up Unit. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-201.

6. **Iuliani V., Di Giulio A., Palone F., Rebolini M., Zunino S., Ubaldini M., Badini S., Cannavale G., Del Carro M., Lombini L., Caprio G., Vitiello A., Albani P.L., Ferrari F.** New Phase Shifting Transformers in the Italian transmission network. Design, manufacturing, testing and electromagnetic transients modelling. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-207.

7. **Bengtsson C., Ryen K., Rui O.A., Olsson T.** Variable Shunt Reactors: Applications and System Aspects. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-211.

8. **Makarevich L., Mastryukov L., Ivakin V., Kovalev V., Suldin N.** Controlled shunt reactor 500 kV 180 MVA with new design. Field experience at NELYM substation. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-206.

9. **Carlen M., Berrogain M., Cameroni R., Spiranelli M.** Dry-type subtransmission transformer: compact and safe indoor substations. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-304.

[23.04.15]

*Автор: Ларин Василий Серафимович окончил Институт электроэнергетики МЭИ (ТУ) в 2004 г. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка эффективного метода расчета внутренней изоляции силовых трансформаторов». Начальник отдела трансформаторов ФГУП ВЭИ, регулярный член Исследовательского комитета А2 «Трансформаторы» СИГРЭ и представитель Российского национального комитета СИГРЭ в комитете А2 СИГРЭ.*

*Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 8, pp. 20–26.*

## World Trends in Transformer Equipment (at the End of the 45th Session CIGRE)

V.S. LARIN

### REFERENCES

1. **Rajotte C.** Presentation of CIGRE activities on Power Transformers: <http://a2.cigre.org/what-is-SC-A2>

2. **Larin V.S.** *Energetika za rubezhom – in Russ. (Power engineering abroad)*, 2015, No. 1–2, pp. 33–52.

3. **Picher P., Boudreau J.-F., Manga A., Rajotte C., Tardif C., Bizier G., Gaetano N. Di., Garon D., Girard B., Hamel J.-F., Proulx S.** Use of Health Index and Reliability Data for Transformer Condition Assessment and Fleet Ranking. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-101.

4. **Scatiggio F., Fraioli A., Iuliani V., Pompili M.** Health Index: the TERNA's Practical Approach for Transformers Fleet Management. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-107.

5. **Leber G., Passath H., Ryadi M., Hurlet P.** Short Circuit Verification for a 570 MVA, 420 kV single-phase GSU-Transformer by SC-Withstand Tests on a Mock-up Unit. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-201.

6. **Iuliani V., Di Giulio A., Palone F., Rebolini M., Zunino S., Ubaldini M., Badini S., Cannavale G., Del Carro M., Lombini L., Caprio G., Vitiello A., Albani P.L., Ferrari F.** New Phase Shifting Transformers in the Italian transmission network. Design, manufacturing, testing and electromagnetic transients modeling. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-207.

7. **Bengtsson C., Ryen K., Rui O.A., Olsson T.** Variable Shunt Reactors: Applications and System Aspects. — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-211.

8. **Makarevich L., Mastryukov L., Ivakin V., Kovalev V., Suldin N.** Controlled shunt reactor 500kV 180MVA with new design. Field experience at NELYM substation — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-206.

9. **Carlen M., Berrogain M., Cameroni R., Spiranelli M.** Dry-type subtransmission transformer: compact and safe indoor substations — 45th CIGRE Session, Paris (France), 2014, report A2-304.

*Author: Larin Vasily Serafimovich (Moscow, Russia) — Cand. Sci. (Eng.), Head of the Transformers Department of the All-Russian Electrotechnical Institute, the Regular member of the Research Committee F2 «Transformers» CIGRE and the Representative of the Russian National Committee CIGRE in the Committee A2 CIGRE.*

