

- синхронный генератор работает весьма эффективно только в узких пределах при номинальном режиме его нагружения «5»;
- анализируя изменение градиента нарастания температуры синхронного генератора можно заключить, что его допустимое значение не должно превышать 1 °С/мин;
- для повышения надежности работы синхронного генератора требуется техническое обслуживание контактной группы и подшипников электромашинного аппарата и замена проводников ввода электропитания на больший диаметр.

#### Л и т е р а т у р а

1. Алиев, И. И. Электрические машины / И. И. Алиев. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2014. – 448 с.
2. Антонов, Ю.Ф. Сверхпроводниковые топологические электрические машины / Ю. Ф. Антонов, Я. Б. Данилевич. – М. : Физматлит, 2009. – 368 с.
3. Изоляция электрических машин / ред. Ю. В. Багaley. – М. : ВНИИЭМ, 2012. – 143 с.
4. Торшин, В. В. Логическая электродинамика как новый подход к созданию физических эффектов, электрических машин и технических систем / В. В. Торшин, Ф. Ф. Пащенко, Л. Е. Круковский. – М. : Либроком, 2012. – 354 с.
5. Образовательный сайт. – Режим доступа: <https://engineeringsolutions.ru/motorcontrol.Electricmachine>.
6. Кацман, М. М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому проводу / М. М. Кацман. – М. : Академия, 2011. – 256 с.
7. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированные системы управления и надежность в электроэнергетике» специальности «Электроэнергетика». – Рудный : РИИ, 2019. – 72 с.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОТОКА ОТКАЗОВ ОБОРУДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА В СТРАНАХ СНГ**

**А. В. Макрецкий**

*Рудненский индустриальный институт, Республика Казахстан*

Научный руководитель К. С. Рыспаев

Силовые трансформаторы являются основными элементами электрических сетей и систем, которые определяют существенную часть эксплуатационной надежности и экономичности срока службы трансформатора. Отключения при авариях, дефекты и повреждения приводят к затратам, убыткам и моральному износу оборудования.

По данным эксплуатации силовых трансформаторов в Российской энергосистеме на сегодняшний день 40 % оборудования подстанций напряжением 110–220 кВ прослужили более 25 лет, 35 % – 15–25 лет, около 25 % – менее 15 лет [1]. По данным эксплуатации известно, что наибольший процент технологических нарушений трансформаторного оборудования приходится на период его эксплуатации от 20 до 30 лет.

Большая часть технологических нарушений связана с повреждениями маслонеполненных вводов, обмоток и устройств регулирования. Поломка усовершенствованных трансформаторов составляет около 0,2 %, в сравнении с выпусками трансформаторов 80-х годов – превышает 1 % [1].

Основные повреждения силовых трансформаторов в эксплуатации – это повреждения:

- обмоток;
- высоковольтных вводов;
- устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) [2].

Причинами повреждений являются:

- развитие дефектов под влиянием эксплуатационных факторов;
- ошибочные или недостаточные действия при монтаже, ремонте и эксплуатации.

Как можно увидеть на рис. 1, основная доля причин повреждения трансформаторов приходится на обслуживающий персонал, сюда же входит несвоевременный капитальный ремонт трансформаторов. Далее по частоте причин выходят ошибки персонала при эксплуатации трансформаторов, брак от завода-изготовителя и только 11 % приходится на старение трансформаторов.

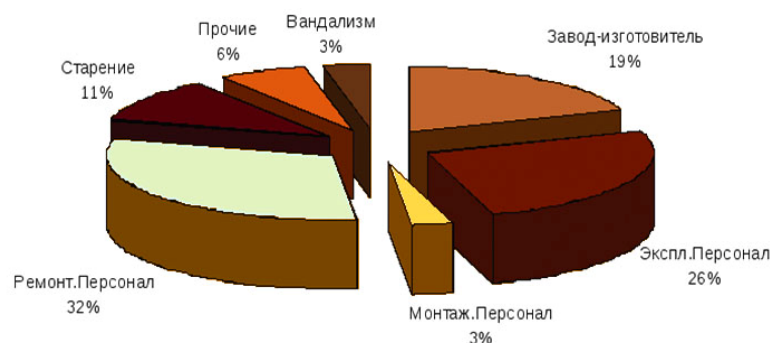


Рис. 1. Причины повреждения трансформатора

На работу трансформатора влияют не только ненормальные режимы работы энергосистемы, но и сильные воздействия извне. Основные неисправности трансформаторов в Российской энергосистеме приведены в табл. 1 [3].

Таблица 1

### Основные неисправности трансформаторов

Элемент трансформатора	Возможные неисправности	Причины возникновения неисправностей
Обмотки	Витковое замыкание	Старение изоляции, постоянные перегрузки, динамические усилия при коротких замыканиях
Замыкание на корпус (пробой), междуфазное короткое замыкание	Старение изоляции, увлажнение масла или снижение его уровня, внутренние и внешние перенапряжения, деформация обмоток вследствие прохождения больших токов короткого замыкания	–
Обрыв	Отгорание выводных концов обмоток из-за низкого качества соединения или электродинамических усилий при коротком замыкании	–
Переключатель регулирования напряжения	Отсутствие контакта	Нарушение регулировки переключателя

Окончание табл. 1

Элемент трансформатора	Возможные неисправности	Причины возникновения неисправностей
Оплавление контактной поверхности	Термическое воздействие на контакты токов короткого замыкания	–
Неплотное прилегание подвижного контакта к неподвижному	Ослабление контактных соединений переключателя	–
Вводы	Электрический пробой на корпус	Трещины в изоляторах вводов, понижение уровня масла в трансформаторе
Магнитопровод	«Пожар стали»	Нарушение изоляции между листами или стяжными болтами
Бак и арматура	Протекание масла из сварных швов, фланцев и крана	Нарушение целостности сварных швов, плотности фланцевых соединений, повреждение прокладки крана в месте соединения с фланцем

В Белорусской энергосистеме самым слабым звеном являются силовые трансформаторы с высшим напряжением 35 кВ и 110–330 кВ из-за длительного срока эксплуатации 30–50 лет и низкой эффективности их диагностирования.

За последние 8 лет известны следующие аварийные ситуации:

- в июле 2017 г. взрыв ввода 220 кВ на Минской ТЭЦ-3, а в сентябре 2017 г. взрыв трансформатора напряжения 110 кВ на Минской ТЭЦ-4;
- взрыв ввода 330 кВ с RIP-изоляцией в Полоцких электрических сетях в апреле 2018 г.;
- возгорание маслонаполненного ввода 330 кВ и трансформатора на ОАО «Белорусский металлургический завод» в июне 2018 г.;
- повреждение трансформатора 110 кВ на ПС «Фестивальная–110 кВ» г. Гомеля в декабре 2019 г.

В табл. 2 представлены дефекты и их доля в общих отказах силовых трансформаторов в Белорусской энергосистеме [4].

Таблица 2

#### Дефекты и доля отказов по их причине в силовых трансформаторах

Вид дефекта	Процент отказов от общего их количества, %
Электрические дефекты устройств РПН	38,7
Механические повреждения устройств РПН	5,37
Электрические частичные разряды	11,82
Выгорание шинных отводов	8,6
Дефекты термического характера	7,52

Окончание табл. 2

Вид дефекта	Процент отказов от общего их количества, %
Дефекты масляной системы охлаждения	5,38
Повреждения стержневых шпилек	4,35
Переток масла из бака устройства РПН в бак трансформатора	4,3
Обрыв и выгорание шинки заземления	3,23
Витковое замыкание в обмотках	3,22
Деформация обмотки	2,16
Образование короткозамкнутых контуров	2,15
<i>Итого</i>	100

Из табл. 2 следует, что повреждения устройств РПН составляют 44 %, локальные перегревы составляют 26 %, электрические частичные разряды составляют ~12 %.

При сравнительном анализе потока отказов трансформаторов в российской и белорусской энергосистеме, да и в целом в энергосистемах стран СНГ можно выделить основные причины отказов: ошибки при установке, монтаже, ремонте и эксплуатации трансформаторов; несвоевременный капитальный ремонт трансформатора и, как следствие, развитие дефектов под влиянием эксплуатационных факторов; моральный износ установок.

#### Литература

1. Хлыстиков, А. В. Проблемы надежности работы силовых трансформаторов / А. В. Хлыстиков, И. В. Игнатьев // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 3. – С. 117–120.
2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-neispravnosti-i-metody-diagnostirovaniya-silovyh-transformatorov-v-usloviyah-ekspluatatsii>.
3. Режим доступа: <http://www.format-energo.ru/repair/defects/>.
4. Грунтович, Н. В. Экспертные системы управления энергоэффективностью и энергетической безопасностью / Н. В. Грунтович // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. – 2014. – № 4. – С. 16.

## ИНТЕГРАЦИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ОБОРУДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

С. Ж. Доскенова

*Рудненский индустриальный институт, Республика Казакстан*

Научный руководитель К. С. Рыспаев

Сперва давайте ответим на такой вопрос: что такое энергия? Энергией мы называем то что, без чего невозможно существовать не только человечеству, но и всему живому на земле. Вот поэтому вопросы, связанные с использованием различных источников энергии и их воздействия на среду, которая нас окружает, будут стоять перед нами всегда. Будь это гидроэлектростанция, атомная энергетика, солнечные батареи или ветерогенераторы, они вряд ли когда нибудь потеряют свою актуальность и важность.

От каждого из источников энергии, известного нам, дается возможность получать несколько видов энергии одновременно. К примеру, солнце. Солнце – источник