

10. Москальчук Л. Н., Баклай А. А., Леонтьева Т. Г. Радиоактивное загрязнение почв Японии и проблема их реабилитации //Сосны НАН 2015. 234-242с.
11. Комиссаров М.А., Огура М. Распределение и миграция радиоцезия в склоновых ландшафтах через 3 года после аварии на АЭС Фукусима-1// Почвоведение, 2017, № 7, с. 886–896.

УДК 621.311.42

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

*Люкию Елена Сергеевна*

*Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, г. Томск*

E-mail: esl18@tpu.ru

## RASINF SAFETY IN THE EXPLOITATION OF TRANSFORMER SUBSTATIONS

*Liukiiu Elena Sergeevna*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** статья посвящена повышению безопасности при эксплуатации трансформаторных подстанций. Производился анализ факторов и причин, способных вызвать взрыв трансформатора. Описана вероятностная модель развития событий, которые могут привести к взрыву трансформаторной подстанции. С помощью метода экспертных оценок определены наиболее возможные причины взрыва трансформатора и предложены мероприятия по повышению безопасности.

**Abstract:** the paper is devoted to improving the safety in the operation of transformer substations. The analysis of the factors and causes that could cause the explosion of the transformer was made. A probabilistic model of the development of events that can lead to an explosion of a transformer substation has been built. Using the method of expert assessments, the most possible causes of a transformer explosion were identified and measures to improve safety were proposed.

**Ключевые слова:** трансформаторная подстанция, трансформатор, оценка риска, взрыв трансформатора.

**Keywords:** transformer substation, transformer, risk assessment, transformer explosion.

В современном мире существование человечества практически невозможно без электрической энергии. В науке, промышленной деятельности, быту и во многих других отраслях электрическая энергия играет немаловажную роль. Отличительной особенностью электроэнергетики является её способность перерастать в другие виды энергии, например, в тепловую или механическую. Трансформаторные подстанции преобразуют энергию высшего напряжения в более низкое или наоборот. Соответственно данные подстанции бывают повышающими или понижающими.

В данной статье рассматривается трансформаторная подстанция, расположенная на территории г. Томск. Данная трансформаторная подстанция предназначена для преобразования электрической энергии напряжением 110 кВ в напряжение 35 кВ и 10 кВ.

Основное функциональное назначение – объект производственного назначения. Основными технологическими процессами в рамках производства являются прием, передача, трансформация и перераспределение электрической энергии.

В качестве метода исследования был выбран вероятностный метод. С помощью данного метода можно представить исходные события, которые в дальнейшем могут привести к чрезвычайной ситуации.

В ходе исследования были построены «дерево неисправностей» и «дерево событий» и сформирована диаграмма «галстук-бабочка».

Одной из наиболее распространённых причин аварий является удар молнии, из-за которого возможна перегрузка трансформатора. Повреждение проводов или оборудования в различных местах сети может привести к взрыву. Коррозия металла и износ с течением времени ослабляют изоляцию проводов трансформатора, а также других его компонентов, что может привести к выходу трансформатора из строя.

Избыточного тепла или искры достаточно, чтобы воспламенить минеральное масло в трансформаторе. При горении минеральное масло создает избыточное давление внутри герметичного трансформатора, что в конечном итоге приводит к разрыву сосуда с потоком искр и пламени.

Характер эксплуатации трансформаторной подстанции не предполагает хранение, использование, переработку, транспортировку или уничтожение взрывопожароопасных, аварийно химически опасных, биологических и радиоактивных веществ и материалов. Однако в технологическом процессе силовых трансформаторов участвует трансформаторное масло, которое является пожароопасным веществом.

Причины аварий на комплектных трансформаторных подстанциях:

- Ошибки электротехнического персонала.
- Некачественный ремонт или монтаж.
- Неисправность системы защиты трансформаторной подстанции.
- Неправильное заземление.

При грозовом ударе молнии происходит резкое повышение напряжения, поэтому в короткое время может произойти выход трансформатора из строя, что приведет к его взрыву. При накоплении электростатики в сухой среде образуется сильное электростатическое поле, разряд которого может повысить напряжение электросети кратковременно [1].

Трансформатор может выйти из строя по причине коррозии металла, течи минерального масла из сварного шва, наличие замыкания, воспламенения минерального масла в трансформаторе, некачественного ремонта/монтажа, а также по причине неисправности системы защиты трансформаторной подстанции.

Коррозия металла в трансформаторе происходит из-за воздействия окисляющего масла на металл, а межкристаллитная коррозия происходит от длительной вибрации в трансформаторе.

Течь минерального масла из сварного шва может происходить по причине некачественных сварных швов, некачественно уплотненной прокладки, механических воздействий, недостаточно притертой коробки в корпусе крана. Минеральное масло в трансформаторе может воспламениться из-за наличия искры и повышенной температуры в трансформаторе. В летний период тополиный пух забивает жалюзийные решетки в трансформаторе, следовательно, нарушаются условия охлаждения и трансформаторное масло начинает нагреваться.

Незаземленные токоведущие части, некачественный ремонт, недостаточно подтянутые контакты, плохая регулировка приводов коммутаторов, подача напряжения на неисправное оборудование, заводские дефекты оборудования, все эти причины являются некачественным ремонтом/монтажом оборудования.

На неисправную систему защиты трансформатора влияет незаземленные токоведущие части, неисправный молниеотвод, ненастроенная сетевая отсечка, несрабатывание токовой защиты в определенное время, неисправность средств автоматического ввода резерва, а также не включение аварийного вводного выключателя и отсутствие контроля перегрева обмотки трансформатора.

Выход трансформатора из строя также возможен по причине замыкания в частях трансформатора. Витковое замыкание в трансформаторе происходит при естественном старении и износе изоляции, систематических перегрузках, динамических перегрузках. Междупазное короткое замыкание возникает при увлажненном минеральном масле, перенапряжения в трансформаторе, а также при деформации обмотки в трансформаторе.

Метод экспертных оценок состоял из следующих этапов:

- создание опросного листа;
- опрос экспертов;
- обработка и представление полученных данных;
- анализ полученных данных.

В таблице представлены причины, которые были предложены экспертам для оценки рисков.

Таблица – Опросный лист

№	Событие	Балл
<b>Коррозия металла</b>		
1	Межкристаллитная коррозия из-за длительной вибрации активной части трансформатора	
2	Воздействие окисляющего трансформаторного масла на металл	
<b>Течь минерального масла из сварного шва</b>		
3	Некачественное уплотнение в прокладке	
4	Некачественный сварной шов	
5	Нарушение сварного шва от механических воздействий	
6	Недостаточно притерта коробка в корпусе крана	
<b>Замыкание в рабочих частях трансформатора</b>		
7	Витковое замыкание	
8	Междуфазное замыкание	
<b>Воспламенение минерального масла в трансформаторе</b>		
9	Наличие искры	
10	Повышенная температура в трансформаторе (Перегрузка трансформатора (высокое напряжение в первичной обмотке))	
11	Повышенная температура в трансформаторе (Некачественный сердечник в трансформаторе)	
12	Повышенная температура в трансформаторе (Низкий уровень минерального масла)	
13	Низкий уровень минерального масла (Механическое повреждение целостности бака для трансформаторного масла)	
14	Низкий уровень минерального масла (Неисправный маслоуказатель)	
15	Повышенная температура в трансформаторе (Нарушение условий системы охлаждения в результате попадания тополиного пуха в жалюзийные решетки трансформатора)	
<b>Некачественный ремонт/монтаж</b>		
16	Незаземлённые токоведущие части	
17	Подача напряжения на неисправное оборудование	
18	Плохая регулировка приводов коммутаторов	
19	Недостаточно подтянутые контакты	
20	Заводские дефекты оборудования	
<b>Неисправность системы защиты трансформаторной подстанции</b>		
21	Незаземлённые токоведущие части	
22	Ненастроенная сетевая отсечка	
23	Несрабатывание токовой защиты в определенное время	
24	Неисправность средств автоматического ввода резерва	
25	Не включение аварийного вводного выключателя и отсутствие контроля перегрева обмотки трансформатора	

Экспертам было необходимо определить вероятность выхода трансформатора из строя по 5-бальной шкале:

1. балл – очень низкая, скорее всего не произойдет (1-20 %);
2. балла – низкая, маловероятно, что произойдет (21-40 %);
3. балла – средняя, вероятно, что произойдет (41-60 %);
4. балла – высокая, скорее всего произойдет (61-80 %);
5. баллов – очень высокая, произойдет раньше, чем ожидается (81-100 %).

С помощью программного пакета STATISTIKA производился статистический анализ.

Наименьший ранг был присвоен наименее вероятному событию, наибольший ранг – наиболее вероятному событию. В зависимости от количества сравниваемых объектов в значительной мере проявляется надежность и точность результатов. Чем меньше объектов, тем выше их различимость, по мнению эксперта. Таким образом, возможно надежное установление ранга объекта [3].

После проведения ранжирования был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла и проведен тест Фридмана. Коэффициент конкордации Кендалла находится в пределах от 0 до 1 и показывает степень согласованности мнений экспертов. Чем выше коэффициент, тем мнения экспертов являются более согласованными.

В результате расчета коэффициент конкордации составил 0.93, следовательно, степень согласованности мнений и степень надежности полученных оценок высокая.

Наиболее вероятным событием является событие 13, наименее вероятным события 1, 2, 9.

Результаты проведенного анализа представлены на рисунке.

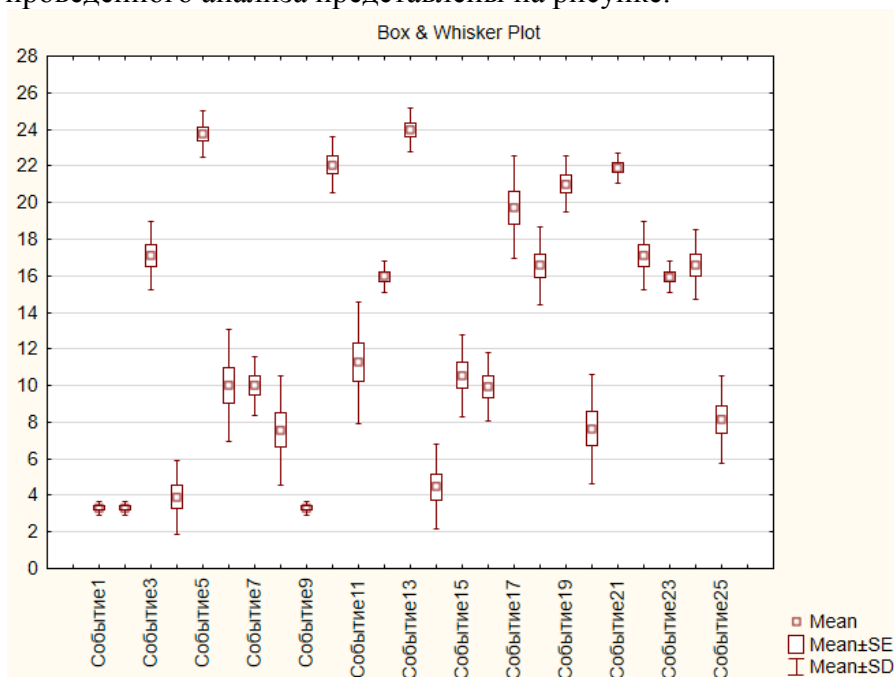


Рисунок – Графическое представление результатов экспертной оценки опросного листа

Исходя из графических данных, события можно разделить на 3 группы:

- наиболее вероятные события: 21, 10, 5, 13. К ним относятся: незаземленные токоведущие части, низкий уровень минерального масла (механическое повреждение целостности бака), перегрузка трансформатора (высокое напряжение в первичной обмотке), течь минерального масла из сварного шва (нарушение сварного шва от механических воздействий);
- наименее вероятные события: 1, 2, 9. К ним относятся: межкристаллитная коррозия из-за длительной вибрации активной части трансформатора, воздействие окисляющего трансформаторного масла на металл, наличие искры;
- остальные события являются событиями средней вероятности.

#### Список литературы

1. Перенапряжение в сети [Электронный ресурс] / URL: <https://www.asutpp.ru/chto-takoe-perenaprjazhenie-v-seti.html> (Дата обращения: 15.10.2020 г.)
2. ГОСТ Р 58771-2019 Менеджмент риска. Технологии оценки риска.
3. С.Д. Бешелев, Ф.Г.Гурвич Экспертные оценки. - М: Наука, 1973.