

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.А. Жуков

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
236022, Россия, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: zhukov.dmitry@mail.ru

Дан анализ возрастной структуры подстанций и трансформаторов 110 кВ как наиболее важных элементов региональной электроэнергетической системы, от которых зависит надежное электроснабжение объектов рыбохозяйственного комплекса. Приведены результаты анализа существующих методов определения достижения трансформаторами 110 кВ предельного состояния и методов расчета надежности подстанций 110 кВ.

рыбохозяйственный комплекс, трансформатор, трансформаторная подстанция, надежность электроснабжения, отказ

Объекты рыбохозяйственного комплекса Калининградской области, включающего в себя рыбоводобывающие и рыбоперерабатывающие предприятия, транспортный флот и обслуживающую инфраструктуру, распределены по территории региона. Поставки электрической энергии указанным объектам, а также остальным потребителям, в требуемом количестве в необходимое место обеспечивает электрическая сеть напряжением 60 – 110 кВ. Ее конфигурация выполнена по кольцевой схеме, преимуществом которой является то, что повреждение любой линии не приводит к отключению потребителей. Нормальная схема электрических соединений подстанции (ПС) 110 кВ О-17 Рыбный порт, от которой осуществляется электроснабжение Калининградского морского рыбного порта и Калининградского морского торгового порта, приведена на рис. 1.

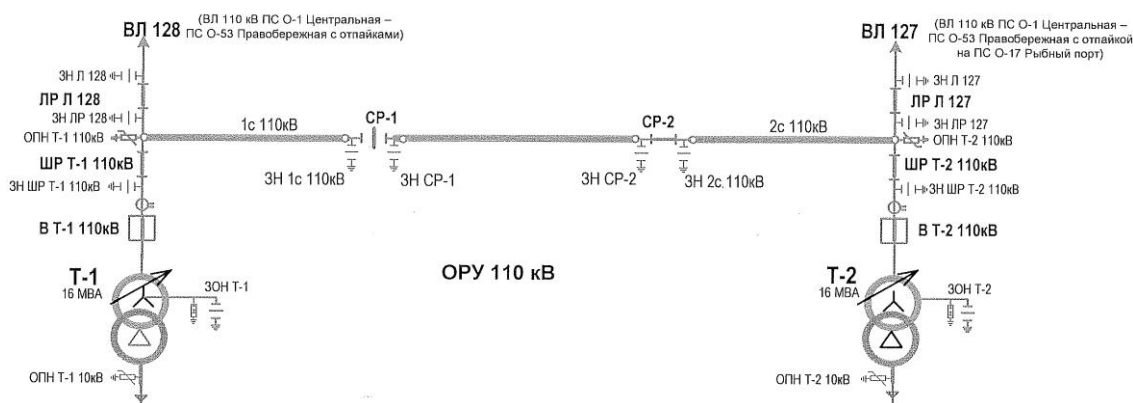


Рис. 1. Нормальная схема электрических соединений ПС 110 кВ О-17 Рыбный порт
Fig. 1. Normal single-line diagram transformer substation 110 kV O-17 Rybnuy port

Практически все высоковольтные трансформаторные подстанции (ПС) 110 кВ имеют двухстороннее питание, а также частичное резервирование по сетям среднего напряжения. Таким образом, от надежной работы электрической сети 60 – 110 кВ и ее основных элементов зависит устойчивое и бесперебойное функционирование регионального рыбохозяйственного комплекса.

В электроэнергетической системе (ЭЭС) Калининградской области эксплуатируются 4 ПС 60 кВ и 60 ПС 110 кВ. На всех подстанциях, за исключением пяти, для обеспечения требований по электроснабжению потребителей I и II категории надежности установлены два трансформатора. Большая часть ПС и ВЛ 110 кВ находится на балансе ОАО «Янтарьэнерго».

Анализ возрастных характеристик ПС 60-110 кВ показал, что на текущий момент на 40 % эксплуатируемых ПС основное оборудование установлено 40 и более лет назад (рис. 2).

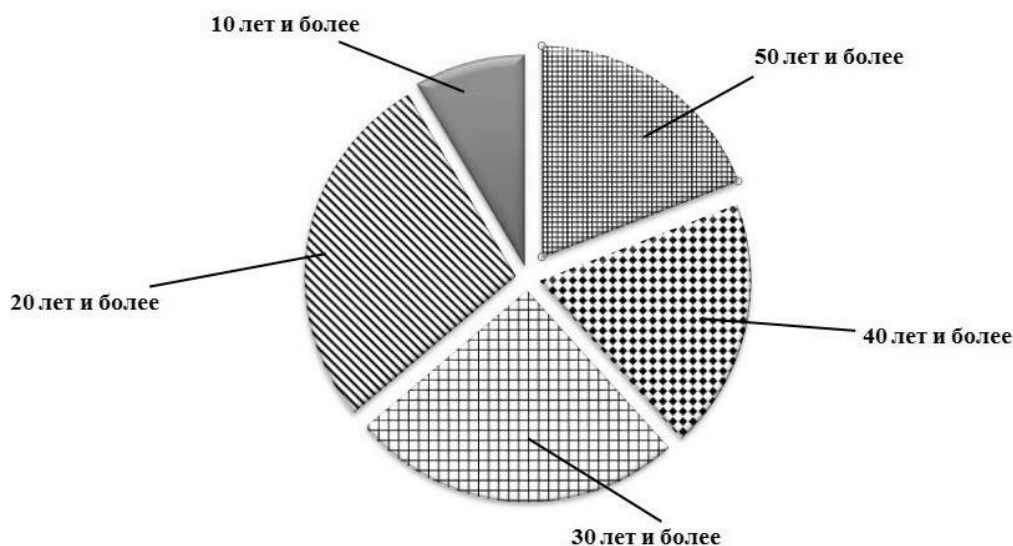


Рис. 2. Структура подстанций 60-110 кВ ОАО «Янтарьэнерго» с учетом возрастных характеристик основного оборудования

Fig. 2. The structure of 60-110 kV substations of "Yantarenergo" age-appropriate characteristics of the basic equipment

В ЭЭС Калининградской области установлены более 120 трансформаторов 60-110 кВ. Надежностью их работы определяется продолжительность нежелательных отключений объектов рыбохозяйственного комплекса Калининградской области. Замена поврежденного трансформатора напряжением 60 – 110 кВ является более трудоемкой и требующей значительных временных затрат процедурой, чем замена любого другого оборудования на ПС или связывающих их ВЛ 110 кВ. Поэтому целесообразно более подробно рассмотреть данный вид оборудования.

Анализ возрастной структуры парка трансформаторов 110 кВ позволил установить, что 33 % трансформаторов находится в эксплуатации от 20 до 30 лет,

25 % – от 30 до 40 лет, а 15 % – от 40 до 50 лет. Данные по возрастной структуре трансформаторов сведены в табл. 1.

Таблица 1. Возрастная структура трансформаторов 110 кВ
Table 1. The age structure of 110 kV transformers

Срок эксплуатации трансформаторов 110 кВ, лет	Доля от общего количества трансформаторов, %
Менее 10	20
От 10 до 20	7
От 20 до 30	33
От 30 до 40	25
От 40 до 50	14
Более 50	1

Стандартами, действовавшими на момент выпуска трансформаторов 110 кВ, нормативный срок службы устанавливался на уровне 25 лет [1, 2]. Поэтому можно сделать вывод, что более 70 % от общего количества указанного оборудования ПС 110 кВ требует замены, так как оно выработало свой эксплуатационный ресурс или он подходит к завершению.

Электросетевой комплекс 60 кВ, сформированный в довоенный период, функционирует в западной части области и включает в себя линии электропередачи, ПС О-7 Приморск, ПС О-8 Янтарный, ПС О-28 Карьер и ПС О-36 Балтийск, осуществляет электроснабжение Балтийского грузового района морского порта Калининград. На всех перечисленных подстанциях установлены силовые трансформаторы, срок эксплуатации которых на текущий момент составляет более 25 лет.

На основании анализа работ [3-7] установлено, что базовый элемент, определяющий предельное состояние трансформатора 110 кВ, – это обмотки, показателем технического состояния которых является износ изоляции. Существующие методики по определению состояния изоляции, физико-химические свойства которой ухудшаются со временем под воздействием повышенных температур, предусматривают в отношении трансформатора комплекс сложных работ, сопровождающихся, как правило, выводом его из работы. Однако результаты не могут дать однозначное заключение о достижении трансформатором предельного состояния. Для этого необходима дополнительная комплексная оценка прошлых и перспективных условий работы трансформатора. Таким образом, на сегодняшний день с практической точки зрения отсутствует возможность получения объективных данных о техническом состоянии каждого трансформатора Калининградской ЭЭС.

Выше указывалось, что на пяти ПС 110 кВ в ЭЭС Калининградской области установлено по одному силовому трансформатору. Поэтому надежное электроснабжение потребителей от таких питающих центров зависит не только от износа трансформатора 110 кВ, но и от надежной работы главной схемы соединений элементов подстанции при ее различных состояниях в процессе эксплуатации. Далее проведем анализ существующих методов оценки надежности

электроэнергетических установок с целью определения наиболее подходящего метода для оценки надежности ПС 110 кВ.

Наибольшее распространение получили следующие методы [8]:

- аналитический;
- логико-вероятностный;
- таблично-логический.

Аналитический метод (АМ) – позволяет провести количественную оценку надежности электрической схемы любой сложности. Он заключается в определении количественных вероятностных значений показателей надежности для расчета следующих случаев надежности: полное погашение схемы, разрыв транзита; оценка возможных недоотпусков электроэнергии при частичных отказах схемы [9].

Недоотпуски электроэнергии и ограничения мощности для состояния частичных и полного отказов определяются по следующим формулам:

$$W_{нед} = \sum P_{дефи} t_{дефи} = \sum P_{дефи} K_{ПСi} T, \quad (1)$$

где $W_{нед}$ – суммарный недоотпуск электроэнергии, кВт.ч; $t_{дефи}$ – время вынужденного простоя системы, ч; $P_{дефи}$ – дефициты мощности для i -го расчетного случая, кВт; $K_{ПСi}$ – коэффициент вынужденного простоя i -го расчетного случая, T – анализируемый период по надежности, ч;

$$P_{огр} = \sum P_{дефи} K_{ПСi}, \quad (2)$$

где $P_{огр}$ – суммарное ограничение мощности, кВт.

Логико-вероятностный метод (ЛВМ) оценки надежности систем с помощью деревьев событий является методом, в котором структурная модель системы описывается средством математической логики, а количественная оценка надежности производится с помощью теории вероятностей [10].

На основе графа дерева событий дается логическое описание отказов в системе. При этом работоспособность обозначается X , а отказ \bar{X} . Пример описания отказов приведен с использованием выражения:

$$\bar{X}_c = \bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \vee \bar{X}_4 \wedge \bar{X}_5 \vee \bar{X}_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_5 \vee \bar{X}_1 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_5, \quad (3)$$

где \wedge – знак конъюнкции; \vee – знак дизъюнкции; \bar{X} – обозначение отказа.

Переход от логических переменных к вероятностным осуществляется подстановкой соответствующих алгебраических знаков операции:

$$q_c = q_1 q_2 + q_4 q_5 + q_2 q_3 q_5 + q_1 q_3 q_5. \quad (4)$$

Преимущества ЛВМ заключаются в том, что он применим при любой логической структуре системы, а также при любых распределениях наработки на отказ. Вместе с тем используя данные метода, не всегда удастся составить логическую функцию работоспособности или отказа, соответствующую

рассматриваемой системе. ЛВМ слишком громоздкий для сложных систем преобразования.

Таблично-логический метод (ТЛМ) применяется в тех случаях, когда разнообразие отказов рассматриваемой системы велико и до начала исследования нет возможности определить, какие виды отказов и аварий могут возникнуть при тех или иных внутренних возмущениях [10].

При расчетах данным методом вероятность нахождения ремонтных элементов в плановом и восстановительном ремонтах находится по формуле [8]

$$q_{pj} = \frac{\omega \cdot T_v + \mu \cdot T_p}{8760}, \quad (5)$$

где ω – табличный параметр потока отказов электрооборудования, 1/год; T_v – среднее время восстановления, ч; μ – частота плановых ремонтов электрооборудования, 1/год; T_p – продолжительность капитального ремонта, ч; 8760 – количество часов в году.

Вероятность нахождения схемы в нормальном (рабочем) состоянии для n ремонтных элементов находится по формуле

$$q_{p.o} = 1 - \sum_1^n q_{pj}, \quad (6)$$

где $\sum_1^n q_{pj}$ – сумма коэффициентов, характеризующих вероятность нахождения оборудования в плановом и восстановительном режимах.

Анализ указанных выше методов оценки надежности электроэнергетических систем и установок показал, что ТЛМ позволяет более полно оценивать надежность схемы электроэнергетических установок и выявлять все виды возможных аварий, возникающих при наложении событий отказов и повреждениях элементов главной схемы на ремонтные и эксплуатационные режимы. Поэтому его наиболее целесообразно применять при расчете надежности ПС 110 кВ.

В данной статье по результатам анализа возрастной структуры силовых трансформаторов 60 – 110 кВ установлено, что более 70 % трансформаторов в ЭЭС Калининградской области уже отработали нормативный срок службы, либо он завершается. В связи с этим требуется реализуемая на практике методика, которая позволит в сжатые сроки с высокой точностью определить вероятность отказа каждого трансформатора в региональной ЭЭС. Разработка такой методики является актуальной научной задачей. В совокупности с расчетом надежности ПС 110 кВ ТЛМ позволит получить данные о текущей надежности электроснабжения объектов рыбохозяйственного комплекса Калининградской области и выработать ряд мер, направленных на ее повышение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 11677–85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 11677–75; введ. 1986–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 39 с.
2. ГОСТ 687–78. Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 687–70, ГОСТ 688–67; введ. 1980–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 108 с.
3. О надежности силовых трансформаторов электрических сетей / М.Ю. Львов [и др.] // Электрические станции. – 2005. – № 11. – С. 69–75.
4. Оценка предельного состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов / М.Ю. Львов [и др.] // Электрические станции. – 2008. – № 1. – С. 44–49.
5. Нормирование показателей для оценки износа изоляции обмоток силовых трансформаторов / М.Ю. Львов [и др.] // Электрические станции. – 2002. – № 7. – С. 51–54.
6. Методологические аспекты оценки степени старения изоляции обмоток силовых трансформаторов по измерению степени полимеризации / Б.В. Ванин [и др.] // Электрические станции. – 2001. – № 1. – С. 35–39.
7. Львов, М.Ю. Старение целлюлозной изоляции обмоток силовых трансформаторов в процессе эксплуатации / М.Ю. Львов // Электрические станции. – 2004. – № 10. – С. 26–29.
8. Околович, М.Н. Проектирование электрических станций: учебник для вузов / М.Н. Околович. – М.: Энергоиздат, 1982. – 400 с.
9. Савина, Н.В. Теория надежности в электроэнергетике: учеб. пособие для вузов / Н.В. Савина. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – 229 с.
10. Гук, Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок: производственное издание / Ю.Б. Гук. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. – 224 с.

RELIABILITY ANALYSIS OF HIGH VOLTAGE SUBSTATIONS THAT SUPPLY ELECTRICITY OBJECTS FISHING INDUSTRY KALININGRAD REGION

D.A. Zhukov

In article the analysis the age structure of the substations and 110 kV transformers, which are the most important elements of the power system of Kaliningrad region. Describes results the analysis of methods for calculating the reliability of transformer substations 110 kV that supply electricity objects fishing industry.

fishing industry, transformer, transformer substation, supply reliability, failure

