

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СЕТЕВЫХ И БЛОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

О.И. Карандаева

г. Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет

PERFORMANCE OF DAMAGEABILITY OF NETWORK AND BLOCK TRANSFORMERS OF JOINT-STOCK COMPANY "MAGNITOGORSK IRON AND STEEL WORKS"

O.I. Karandaeva

Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University

Выполнено распределение по периодам ввода в эксплуатацию сетевых трансформаторов подстанций и трансформаторов энергоблоков тепловых электростанций ОАО «ММК». Показано, что более половины трансформаторов напряжением 35 кВ и выше находится в эксплуатации сверх нормативного срока. Выполнен анализ удельной повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов. Сделан вывод о целесообразности их дальнейшей эксплуатации при условии внедрения диагностического оборудования.

Ключевые слова: силовой трансформатор, эксплуатация, продолжительность, программа, повреждаемость, неисправности, диагностика.

Allocation on the periods of commissioning of network transformers of substations and transformers of power-generating units of thermal power stations of Joint-stock company "MISW" is fulfilled. It is shown that more than half of transformers with voltage of 35 kW and more are in service after expiration of the operation period. The analysis of specific damageability of network and block transformers is performed. The conclusion on the necessity of their further maintenance under condition of implementation of the diagnostic equipment is drawn.

Keywords: power transformer, maintenance, duration, the program, damageability, derangements, diagnostic operation.

Оценка надежности и прогнозирование остаточного ресурса силовых трансформаторов, длительное время находящихся в эксплуатации на электростанциях и подстанциях металлургического предприятия, являются важными задачами, обеспечивающими недопустимость снижения уровня безопасности энергетических объектов при значительном израсходовании ресурса оборудования.

Целью проводимых исследований является определение перспектив продления сроков эксплуатации и приоритетов обновления силового электрооборудования исходя из опыта, накопленного в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). Одной из задач является оценка наиболее изношенного класса трансформаторов с учетом общепринятой классификации по уровням подводимого напряжения. Прежде чем приступить к анализу технического состояния трансформаторов

целесообразно определить их «возрастные» показатели, выявить характерные неисправности. Ставится задача анализа технического состояния трансформаторов подразделений управления главного энергетика (УГЭ) ОАО «ММК» с учетом разбиения на «возрастные» группы, определяемые с момента ввода в эксплуатацию.

«Возрастные» показатели трансформаторов

Составлена база данных трансформаторов, находящихся в эксплуатации на подстанциях и трех основных тепловых электростанциях (ТЭС) ОАО «ММК»: ЦЭС, ТЭЦ, ПВЭС. На рис. 1 представлена диаграмма, характеризующая распределение по периодам ввода в эксплуатацию сетевых трансформаторов подстанций и трансформаторов энергоблоков ТЭС. На рис. 2 представлены диаграммы, характеризующие процент трансформа-

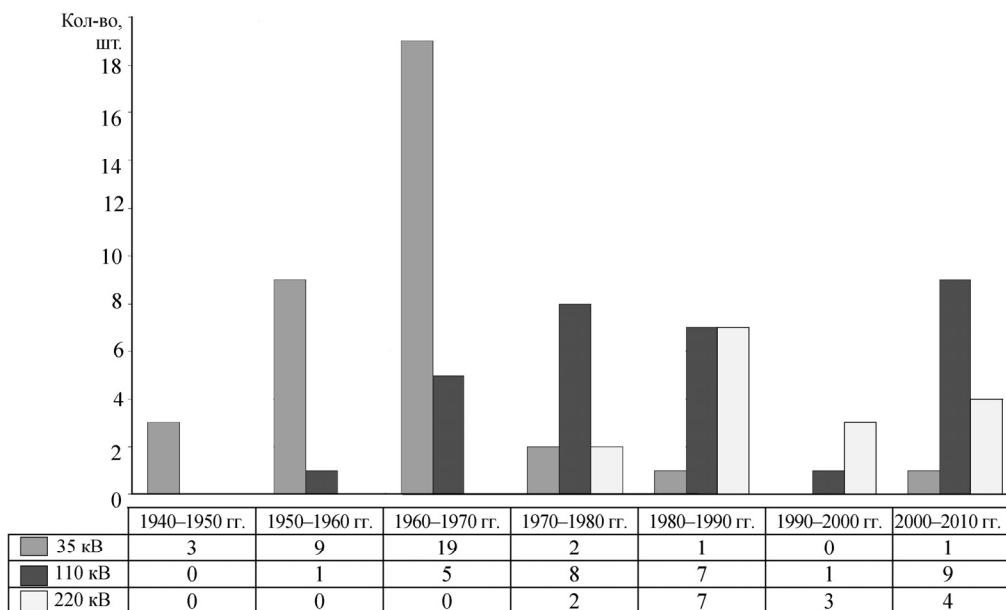


Рис. 1. Распределение трансформаторов подстанций УГЭ ОАО «ММК» по периодам ввода в эксплуатацию

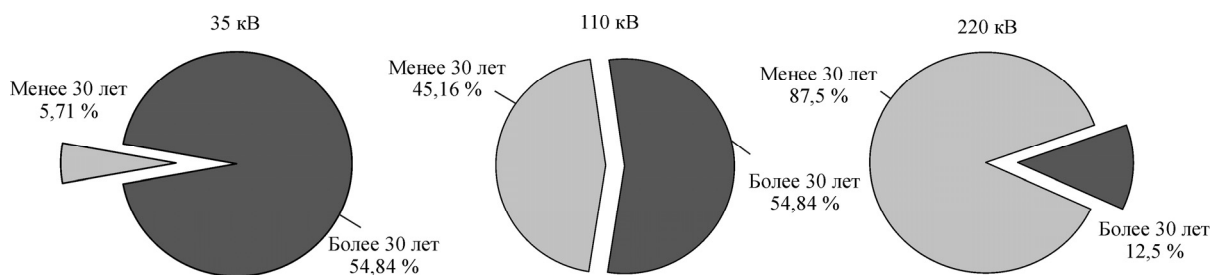


Рис. 2. Процент сетевых трансформаторов, находящихся в эксплуатации более 30 лет

торов, отработавших более 30 лет, с разделением по классам подводимого напряжения. Как следует из диаграмм, средняя продолжительность их эксплуатации значительно превышает нормативный срок (25 лет). Это предопределяет необходимость анализа повреждаемости трансформаторов с целью выявления характерных неисправностей, определения и внедрения мероприятий по продлению срока их службы.

Разработка программного модуля

Для оптимизации процесса сбора и обработки информации об отказах силовых трансформаторов разработана программа для ЭВМ [1]. Данная программа формирует архив отказов, выполняет статистическую обработку архивных данных и рассчитывает среднее время наработки на отказ. Основной алгоритм программы приведен на рис. 3. Ввод данных осуществляется непосредственно в программе (блок 1). Данные вводятся в следующем формате – YYYYMMDD.NN.Cause, где YYYYMMDD – дата возникновения отказа: год, месяц и число, введенные без пробелов; NN – номер трансформатора либо энергоблока, в котором произошел отказ трансформатора; Cause – причина

отказа, представляющая собой строку длиной до 50 символов.

Данные сохраняются в файле архива Archive.dat. На экран выводится следующая информация о файле архива: имя файла, количество записей в нем, первая и последняя даты (блок 2). Ввод данных осуществляется до тех пор, пока оператор не ответит положительно на запрос об обработке данных (блок 3). В случае положительного ответа выполняются сортировка и обработка сохраненных данных по дате: определяется суммарное число отказов в течение каждого года, а также распределение этих отказов по клетям. Затем рассчитываются статистические показатели (математическое ожидание и дисперсия) для каждого года. Отсортированные статистические данные сохраняются в файлах SortArchive.dat и StatData.dat, соответственно (блоки 4–5). На следующем этапе аналогичная статистическая обработка данных осуществляется по номеру трансформатора. Данные сохраняются в файлах SortTrans.dat и StatTrans.dat (блок 6).

Кроме представленного алгоритма в программе реализованы алгоритмы обработки данных

об отказах по фактору времени и номеру трансформатора обработки данных по месту возникновения отказа, подпрограммы интерфейса пользователя.

Разработанное программное обеспечение применено для анализа технического состояния трансформаторов, находящихся в ведении УГЭ ОАО «ММК» (более 250 ед.). Результаты рекомендовано использовать при планировании и проведении ремонтов. Ниже кратко представлены результаты применения программы для оценки состояния сетевых и блочных трансформаторов.

Анализ повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов

Основные причины значимых повреждений силовых трансформаторов в эксплуатации связаны с повреждениями обмоток, высоковольтных вводов, устройств РПН как из-за развития дефектов под влиянием эксплуатационных факторов, так и из-за ошибочных или недостаточных действий при монтаже, ремонте и эксплуатации. Анализ повре-

ждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ мощностью 63 МВА и более, эксплуатируемых на ТЭС ОАО «ММК» и в промышленных электросетях, выполненный по методике [2], показывает, что удельное количество технологических нарушений в работе указанного парка оборудования составляет до 2 % в год, при этом около 0,6 % в год составляет удельная повреждаемость трансформаторов, сопровождавшаяся внутренними короткими замыканиями.

В табл. 1 и на рис. 4 представлено распределение трансформаторов, выведенных в ремонт в течение последних 5 лет, с распределением по продолжительности эксплуатации. Исходные данные приняты из диаграммы (рис. 1), информация по ремонтам собрана по материалам УГЭ и ООО «Электроремонт». На рис. 5 приведена кривая удельной повреждаемости (количества трансформаторов, отключенных действием защит или выведенных персоналом по аварийной заявке) в зависимости от срока эксплуатации, построенная по данным табл. 1.

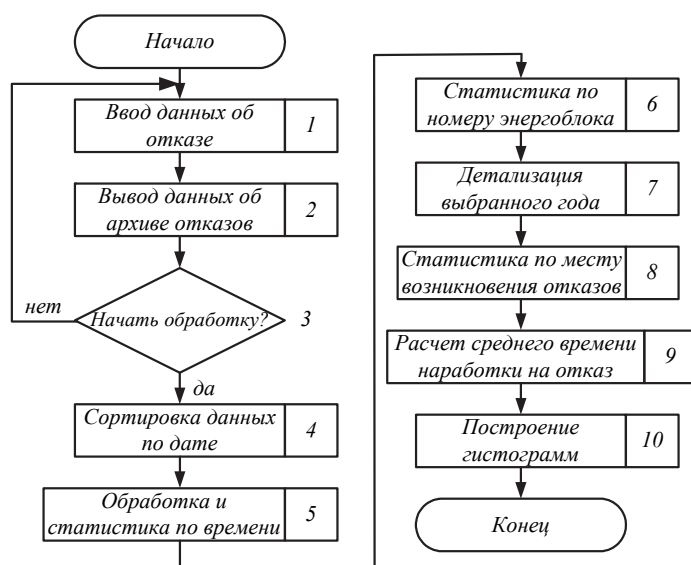


Рис. 3. Основной алгоритм программы сбора и статистической обработки данных об отказах

Таблица 1
Удельная повреждаемость трансформаторов в зависимости от продолжительности эксплуатации

Продолжительность эксплуатации, лет	Кол-во трансформаторов, ед.	Выведенные в ремонт за 5 лет, ед.	Удельная повреждаемость, %
Менее 10	38	14	7,3
10–20	9	1	2,2
20–30	35	5	2,8
30–40	45	9	4,0
40–50	77	28	7,2
50–60	36	16	8,9
Более 60	11	5	9,1
Всего	251	78	6,2

На рис. 6 приведены зависимости удельной повреждаемости блочных и сетевых трансформаторов напряжением 110 кВ мощностью 63 МВА и выше от срока эксплуатации. После 35 лет эксплуатации наблюдается резкий рост повреждаемости в парке блочных трансформаторов. Это связано с тем, что по сравнению с сетевыми трансформаторами они имеют более высокие нагрузки, что приводит к росту температуры и ускорению физи-

ко-химических процессов, вызывающих деградацию и истощение ресурса изоляции.

Следует подчеркнуть, что характер зависимостей, представленных на рис. 5, 6, соответствует классической фундаментальной зависимости числа отказов при функционировании различных технических систем, которая характеризуется периодами приработки, стабильным функционированием и старением. Из характеристики, приведенной

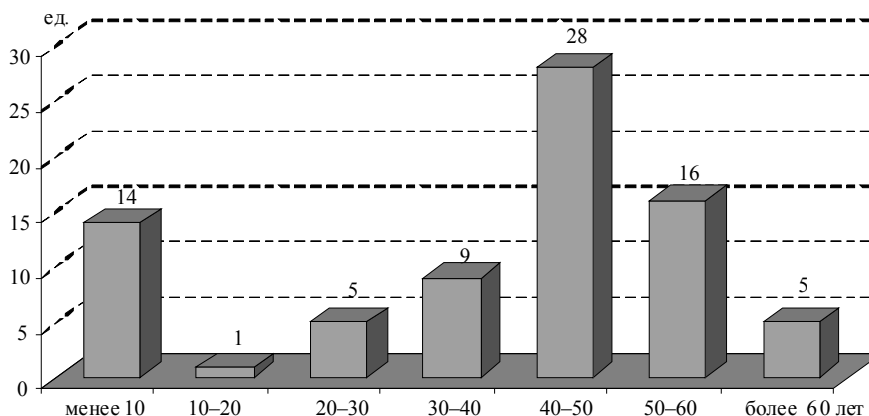


Рис. 4. Количество трансформаторов, выведенных в ремонт

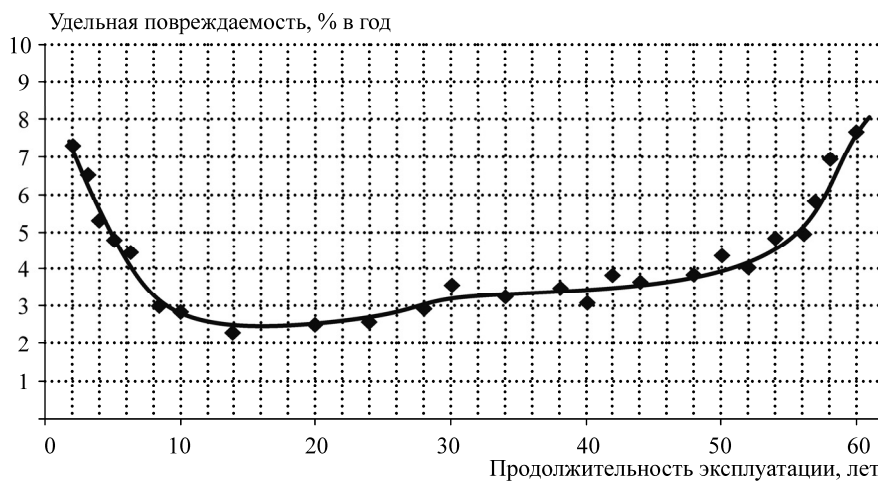


Рис. 5. Зависимость удельной повреждаемости трансформаторов от срока эксплуатации

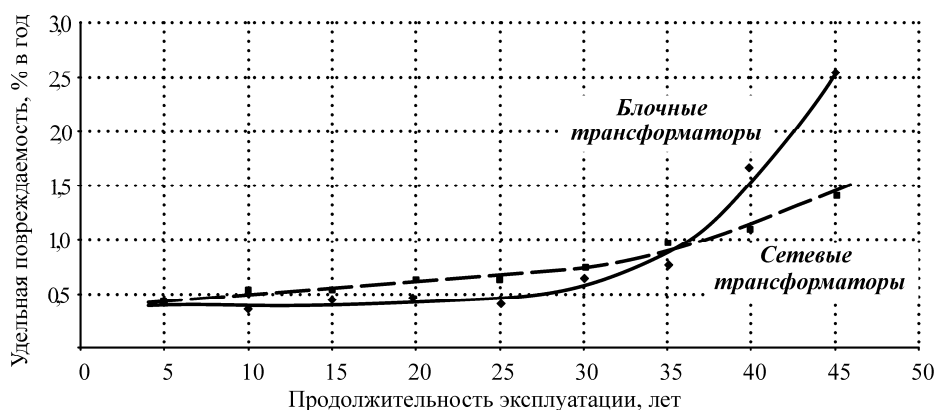


Рис. 6. Характеристики удельной повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов

на рис. 5, видно, что относительно высокие значения удельной повреждаемости трансформаторов, независимо от их типа, имеют место в период эксплуатации до 5 лет, что связано с приработкой оборудования и проявлением, в основном, скрытых заводских дефектов и дефектов монтажа, а также после примерно 40 лет, что обусловлено значительным вкладом фактора старения оборудования. Отклонения от идеальной (горизонтальной) кривой в период стабильной эксплуатации (в данном случае 10–40 лет) объясняются статистическим разбросом реальных результатов.

Характерные неисправности силовых трансформаторов

Наиболее тяжелым повреждением трансформатора является внутреннее короткое замыкание (КЗ). Как показал анализ, внутренние КЗ имели место в 80 % случаев повреждений обмоток, в 89 % случаев повреждений высоковольтных вводов, в 25 % повреждений РПН и в 36 % повреждений прочих узлов. Основными причинами технологических нарушений, сопровождавшихся внутренними КЗ, являются (в % от общего количества повреждений трансформаторов, сопровождавшихся внутренними КЗ):

- износ изоляции обмоток – 17 %;
- пробой изоляции отводов, нарушения контактного соединения отвода обмотки, замыкание

на ярмовую балку магнитопровода и корпус бака – 14 %;

- пробой внутренней изоляции высоковольтных вводов – 15 %;
- повреждения РПН – 12 %.

Характерные повреждения для сетевых трансформаторов:

- пробой внутренней изоляции высоковольтных вводов – 48 %;
- износ изоляции обмоток – 12 %;
- пробой изоляции обмоток – 7 %.

Проведено исследование причин и условий возникновения повреждений в силовых трансформаторах центральной электростанции (ЦЭС) за период с 2004 по 2010 год (табл. 2). Распределения повреждений по основным узлам с учетом срока эксплуатации представлены в табл. 3. Как видно из таблицы, повреждения обмоток имеют место у трансформаторов с любыми сроками эксплуатации, для РПН наибольшее число повреждений у трансформаторов со сроками эксплуатации 10–30 лет, для высоковольтных вводов – после 10 лет эксплуатации. Однако имеющиеся данные не позволяют сделать оценку зависимости повреждаемости трансформаторов от срока эксплуатации, так как для этого необходимо учитывать число эксплуатируемых трансформаторов в каждом диапазоне времени службы.

Проведенные исследования, а также оценка

Таблица 2

Силовые трансформаторы ЦЭС

Расположение и назначение	Станционный номер	Тип и завод изготовитель	Заводской номер	Год выпуска /срок эксплуатации (лет)
П/ст-110кВ энергоблок	Тр-р №1	ТРДН - 40000 / 110-76У1, г. Тольятти	9835	1978 / 30
П/ст-110кВ система	Тр-р №2	ТРДЦН - 63000 / 110-76У1, г. Тольятти	13580	1983 / 25
П/ст-110кВ система	Тр-р №3	ТРДЦН - 63000 / 110-76У1, г. Тольятти	11964	1981 / 27
П/ст-110кВ энергоблок	Тр-р №4	ТДЦНГУ - 80000, г. Москва	927673	1968 / 40
П/ст-110кВ система	Тр-р №5	ТРДН - 63000 / 110-У1, г. Москва	1482839	2000 / 8
П/ст-110кВ система	Тр-р №6	ТРДН - 63000 / 110-У1, г. Москва	1573104	1998 / 10

Таблица 3

Распределения повреждений силовых трансформаторов по основным узлам с учетом срока эксплуатации

Узел	Распределение повреждений с учетом срока эксплуатации, %			
	10 лет	10–20 лет	20–30 лет	более 30 лет
Обмотка	14,7	15,9	14,7	18
Магнитопровод	3,6	0	0	0
Система охлаждения	1,2	9	8	0
РПН	7,5	18	13,5	6
Течь масла	7,8	10,2	12	6,9
Высоковольтные вводы	9,6	23,4	24	19,8
Другие причины	55,6	23,5	27,8	49,3

технического состояния трансформаторного парка со стороны обслуживающего персонала цехов и подразделений УГЭ позволяют сделать вывод об относительно низком росте повреждаемости трансформаторов даже при длительных сроках эксплуатации. Практически все блочные трансформаторы и большая часть сетевых, по предварительной оценке, могут находиться в эксплуатации. Однако продолжение эксплуатации оборудования, выработавшего свой ресурс, требует проведения дополнительных периодических диагностических испытаний. Необходимы использование современных методов средств технической диагностики и внедрение соответствующего оборудования.

Выводы

1. Представлено распределение силовых трансформаторов подстанций и собственных электростанций ОАО «ММК» по возрастным группам. Показано, что продолжительность эксплуатации более 90 % трансформаторов на напряжение 35 кВ и около 54 % трансформаторов на напряжение 110 кВ превышает 30 лет.

2. Разработаны алгоритм и программное обеспечение, реализующие методику идентификации неисправностей на основе сбора и статистиче-

ской обработки информации. Показано, что силовые трансформаторы на напряжение 110 кВ относятся к группе, имеющей самую высокую частоту появления повреждений.

3. Анализ распределения повреждений по основным узлам трансформаторов показал, что наибольшую повреждаемость имеют: обмотки – 17 %, высоковольтные вводы – 15 %, устройства РПН – 12 %.

4. Подтверждена возможность дальнейшей эксплуатации трансформаторов при использовании современных методов технической диагностики и внедрения соответствующего диагностического оборудования.

Литература

1. *Расчет показателей надежности электрооборудования: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011611131 / А.С. Карандаев, Ю.Н. Кондрашева, К.Э. Одинцов, О.И. Карандаева. – Заявл. 07.12.2010, № 2010617723; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, 03.02.2011.*

2. *Львов, М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше / М.Ю. Львов // Электричество. – 2010. – № 2. – С. 27–31.*

Поступила в редакцию 01.06.2011 г.

Карандаева Ольга Ивановна – доцент кафедры электротехники и электротехнических систем, ФГБОУ ВПО «МГТУ», тел. 8 (3519) 29-84-16, E-mail: oikaran@mail.ru.

Karandaeva Olga Ivanovna – an assistant professor of the Electrical Engineering and Electro-technical Systems Department, Magnitogorsk State Technical University, tel.: 8 (3519) 29-84-16, E-mail: oikaran@mail.ru.