

# Принцип формирования оценки технического состояния электрооборудования на подстанциях<sup>1</sup>

ХАЛЬЯСМАА А.И., ДМИТРИЕВ С.А., КОКИН С.Е., ГЛУШКОВ Д.А., ОСОТОВА М.В.

*В настоящее время система оценки технического состояния (ОТС) высоковольтного оборудования на подстанциях (ПС) является основной составляющей систем управления техническими активами электросетевого предприятия и внедряется с целью снижения издержек на эксплуатацию, ремонты, мониторинг и диагностику данного оборудования. Вопрос ОТС электрооборудования на ПС является одной из актуальных задач для электросетевого комплекса в России. Это связано с тем, что большая часть оборудования на ПС используется сверх своего нормативного срока эксплуатации, что приводит к ухудшению стабильности показателей качества оборудования и требует повышенного внимания при эксплуатации и применения различных методов контроля его состояния. Рассмотрены вопросы формирования принципов оценки технического состояния высоковольтного оборудования на подстанциях для автоматизированных систем управления техническими активами сетевых предприятий. Представлен механизм создания гибридной сети на основе методов нечеткой логики и искусственных нейронных сетей. Рассмотрена методология определения технического состояния высоковольтного оборудования на основе функций принадлежности.*

*Ключевые слова: сетевые компании, гибридные сети, оценка технического состояния, функция принадлежности*

В настоящее время для многих сетевых предприятий ведется разработка различных автоматизированных систем оценки технического состояния (ОТС), но большинство из них требуют установки дополнительных систем мониторинга (или отдельных датчиков) и т.д., что, в свою очередь, ведет к увеличению затрат на внедрение таких систем. Более того, не всегда и не на всех подстанциях (ПС) существует экономическая, а иногда и техническая возможность установки дополнительных систем мониторинга (или отдельных датчиков), особенно на ПС, расположенных в небольших городах или поселках. Поэтому сегодня перед сетевыми компаниями стоит задача создания максимально экономичной и максимально достоверной системы ОТС высоковольтного оборудования на ПС.

**Метод решения.** В статье предложено формировать систему ОТС высоковольтного оборудования на ПС на основе статистических данных технической диагностики и испытаний, регламентированных РД 34.45-51.300-97 и другими нормативными документами, которые в России являются обязательными (без установки дополнительных систем мониторинга).

Для моделирования автоматизированных систем ОТС высоковольтного оборудования на ПС используют различные математические аппараты. По мнению авторов, для решения данной задачи требуется использование такого математического ме-

тода, который бы не просто обеспечивал достоверность и точность результатов, но и в связи со сложностью и многокритериальностью самой задачи ОТС не перегружал бы систему избыточными данными.

Наиболее оптимальным вариантом для решения такой задачи является использование гибридных сетей, а именно совместное использование методов нечеткой логики и искусственных нейронных сетей (ИНС). Применение методов нечеткой логики объясняется тем, что ОТС электрооборудования на ПС можно рассматривать как прикладную задачу, при решении которой приходится оперировать не только численными данными, но и лингвистическими, например такими как «состояние оборудования» и т.д. Градация состояний, их количество и представление могут быть различны в зависимости от назначения. Использование методов ИНС, в свою очередь, обусловлено их основным преимуществом — возможностью обучения (самообучения), что позволяет значительно сократить размер «базы знаний» (входных параметров) и уменьшить размерность самой задачи, а значит увеличить скорость работы системы в целом.

Применение методов ИНС и нечеткой логики в энергетике России сегодня ограничено в основном прогнозированием нагрузки (электропотребления) и оценкой устойчивости энергосистем. Между тем использование гибридных сетей для решения ОТС высоковольтного оборудования, по мнению авторов, является достаточно обоснованным и актуальным [1].

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке УрФУ в рамках реализации Программы развития УрФУ для победителей конкурса «Молодые ученые УрФУ».

В России в настоящее время большинство автоматизированных систем ОТС электрооборудования чаще всего формируется на местах на основе экспертных оценок (ЭО), а именно персоналом на самих объектах (ПС) и уже после этого вносятся в единую автоматизированную систему как часть «базы знаний» (базы правил). Такая реализация объясняется большим количеством данных, поступающих в единую автоматизированную систему с каждого объекта, и необходимостью достаточно высокой скорости их обновления. В данном случае ЭО носят субъективный характер и при наличии нескольких экспертов требуют какого-либо алгоритма для расчета итоговой оценки, вследствие чего встает вопрос о степени достоверности такой системы.

Реализация гибридных сетей для решения задачи ОТС высоковольтного оборудования на ПС выглядит следующим образом: для определения функции принадлежности используют нечеткие множества, а в качестве дефазификатора выступает ИНС [2]. Такая структура позволяет воспользоваться преимуществами обоих методов и при решении задачи ОТС, гибридные сети позволяют избавиться от «масштабности» исходных данных и сделать базу данных более компактной, а базу знаний (правил) более эффективной.

На рис. 1 представлена укрупненная блок-схема реализации гибридного алгоритма обучения модуля нечеткого управления.

Авторами разработана система ОТС высоковольтного оборудования для ПС на напряжения до 220 кВ. Для ОТС высоковольтного оборудования ПС для каждого вида оборудования создается свой алгоритм обучения модуля нечеткого управления на основе данных технической диагностики и испытаний, в результате которого определяется состояние для каждого объекта ПС: РУ 220 кВ; РУ 110 кВ; РУ 35 кВ; РУ 10 кВ; силовой трансформатор; линии электропередачи (воздушные линии и кабельные линии); трансформатор собственных нужд; реакторы; система РЗА.

Такие объекты как РУ относятся к разряду комбинированных объектов, каждый из которых в свою очередь состоит или из отдельных единиц, или из комбинации единиц, таких как:

- коммутационные аппараты (выключатели, разъединители);
- секции шин;
- измерительные трансформаторы (трансформаторы тока, трансформаторы напряжения);
- ограничители перенапряжения.

Каждая единица состоит из компонентов, например для силового трансформатора это – магнитопровод;

- обмотки;
- трансформаторное масло;

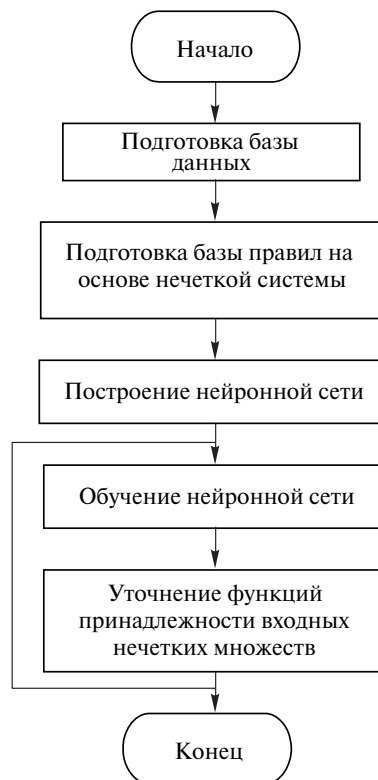


Рис. 1. Блок-схема гибридного алгоритма обучения модуля нечеткого управления

- высоковольтные вводы;
- система регулирования напряжения;
- система охлаждения;
- бак и вспомогательные системы.

Таким образом, алгоритм обучения модуля нечеткого управления в данном случае используется для ОТС оборудования на трех этапах:

- на этапе ОТС каждой единицы оборудования (с учетом своих собственных компонентов);
- ОТС комбинированных объектов;
- на этапе ОТС объектов всей ПС.

Последний этап выполняется для обобщенной (интегральной) оценки всей ПС.

**Полученные результаты.** Перед построением ИНС для системы ОТС высоковольтного оборудования первоочередной задачей является задача определения функции принадлежности объекта исследования к какой-либо категории состояния. Это необходимо для создания базы правил, которая впоследствии будет регулироваться (уточняться) нейронной сетью в ходе обучения (с помощью весовых коэффициентов).

В расчетной части представлена методология определения функциональных состояний высоковольтного оборудования, которая, в свою очередь, является априорной задачей для любой системы ОТС.

Одним из возможных методов определения характеристических функций принадлежности является метод с использованием лингвистических пе-

ременных, т.е. с использованием качественных оценок состояния оборудования. Классификация состояния оборудования по техническому состоянию выполняется с помощью функций принадлежности  $RL$ -типа [3].

Согласно [4] введем четыре основных состояния оборудования с точки зрения технического состояния работоспособности:

исправное состояние  $D_1$ , когда оборудование полностью отвечает всем техническим требованиям; исправное состояние всегда является работоспособным;

неисправное, но работоспособное (или просто работоспособное) состояние  $D_2$ , когда техническим требованиям соответствуют лишь те свойства объекта, которые характеризуют его способность выполнять заданные функции;

неисправное и неработоспособное состояние, но ремонтпригодное, или просто неработоспособное состояние  $D_3$ , когда оборудование не может выполнять заданные функции, но его работоспособность может быть восстановлена путем проведения ремонта, который технически возможен и экономически целесообразен;

неработоспособное и неремонтпригодное, или предельное состояние  $D_4$ , когда проведение ремонта технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Данные состояния  $D_1, D_4$ , образующие общее множество, описывающее работоспособность объекта (оборудования), можно задать нечеткими треугольными функциями принадлежности  $\mu(x) \in R @ [0;1]$ , где  $R$  – множество действительных чисел;  $x$  – нечеткая нормализованная оценка, выставляемая показателю работоспособности объекта в зависимости от его соответствия нормальному эксплуатационному состоянию.

Содержательно функции принадлежности (рис. 2) характеризуют следующее. Чем в большей степени показатель работоспособности обладает рассматриваемым свойством, тем ближе к единице должно быть значение истинности соответствующего нечеткого состояния работоспособности. И, наоборот, чем в меньшей степени показатель работоспособности обладает рассматриваемым свойством, тем ближе к нулю должно быть значение истинности этого нечеткого состояния.

Оценки  $x_i$  по какому-либо критерию принимают значения на интервале  $X = [0;1]$ . При полном соответствии эксплуатационного параметра нормальному состоянию  $X$  принимает значение 0, при однозначном несоответствии – 1.

Построение функций принадлежности выполняется исходя из ранга состояния – определённому исправному состоянию  $D_1$  присваивается ранг, рав-

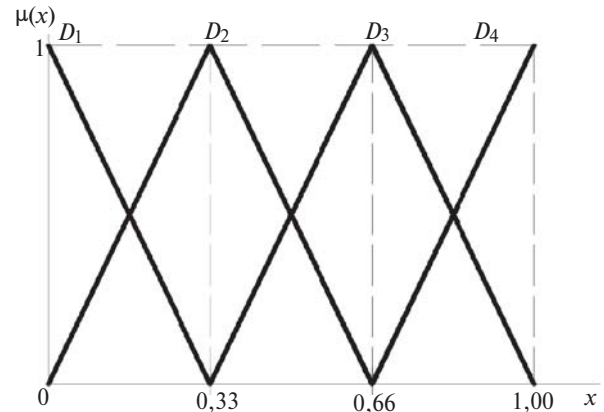


Рис. 2. Характеристические функции принадлежности состояниям  $D_1, D_4$

ный 0, тогда как определённому неисправному  $D_4$  ранг, равный 3.

В качестве критериев выступают показатели технической диагностики и испытаний и экспертные оценки квалифицированного персонала. Для силовых трансформаторов (220 кВ) доступными параметрами являются показатели, представленные в табл. 1.

Каждый показатель обладает четким эксплуатационным диапазоном, ограниченным минимальным и/или максимальным граничными значениями рабочей области, выход за границы которого может быть признан как отклонение от нормально-го технического состояния.

Таблица 1

Номер параметра	Показатель ОТС	Значение показателя	
		max	min
1	Водород ( $H_2$ ), % об.	0,01	–
2	Метан ( $CH_4$ ), % об.	0,01	–
3	Этилен ( $C_2H_4$ ), % об.	0,01	–
4	Этан ( $C_2H_6$ ), % об.	0,005	–
5	Ацетилен ( $C_2H_2$ ), % об.	0,001	–
6	Диоксид углерода ( $CO_2$ ), % об.	0,6	–
7	Оксид углерода (CO), % об.	0,05	–
8	Диоксид углерода/ Оксид углерода ( $CO_2/CO$ )	13	5
9	Влагосодержание, г/г	25	–
10	Концентрация присадки «ИОНОЛ», %	–	0,1
11	Пробивное напряжение, кВ	–	45
12	Кислотное число, мгКОН/г	0,25	–
13	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	–	125
14	Класс промышленной чистоты	13	–
15	Тангенс масла при 90 °С, %	10	–
16	Степень полимеризации, ед.	–	250

17	Влагосодержание твердой изоляции, %	2	–
18	Сопротивление изоляции $R_{60}$ обмотки ВН/СН/НН при последних испытаниях, приведенное к 20 °С, Мом	–	300
19	Изменение $R_{60}$ обмотки ВН/СН/НН, %	–	-50
20	Тангенс изоляции обмотки ВН/СН/НН при последних испытаниях, приведенный к 20 °С, %	1	–
21	Изменение тангенса изоляции обмотки ВН/СН/НН, %	50	–
22	Максимальное различие $R$ постоянному току одноименных ответвлений разных фаз обмотки ВН/СН/НН на номинальном положении РПН, %	2	-2
23	Различие $Z_{кз}$ обмотки по фазам, максимальное из измеренных, %	3	-3

24	Отличие потерь холостого хода от исходных, %	30	–
25	Пробивное напряжение масла из бака РПН, кВ	–	25
26	Влагосодержание масла из бака РПН, г/т	30	–
27	Максимальное различие $R_{обм}$ одноименных ответвлений разных фаз РПН, %	2	-2
28	Максимальное различие $R_{обм}$ одноименных ответвлений разных фаз ПБВ, %	2	-2

В простейшем случае нормализованные показатели работоспособности могут быть определены по правилам, представленным в табл. 2.

Обобщенная оценка и принадлежность тому или иному состоянию определяются на основе средневзвешенной балльной оценки нормализованных значений с использованием шкалы Саати [1, 3, 5, 7]. Шкала Саати учитывает степень важности состояния.

Таблица 2

Показатель	Значение показателя		Правило
	максимальное	минимальное	
$x_1$	0,01% об.	–	if $x_1 < 0,01$ then $X_{n1} = 0$ , else $X_{n1} = 1$
$x_2$	0,01% об.	–	if $x_2 < 0,01$ then $X_{n2} = 0$ , else $X_{n2} = 1$
$x_3$	0,01% об.	–	if $x_3 < 0,01$ then $X_{n3} = 0$ , else $X_{n3} = 1$
$x_4$	0,005% об.	–	if $x_4 < 0,005$ then $X_{n4} = 0$ , else $X_{n4} = 1$
$x_5$	0,001% об.	–	if $x_5 < 0,001$ then $X_{n5} = 0$ , else $X_{n5} = 1$
$x_6$	0,6% об.	–	if $x_6 < 0,6$ then $X_{n6} = 0$ , else $X_{n6} = 1$
$x_7$	0,05% об.	–	if $x_7 < 0,05$ then $X_{n7} = 0$ , else $X_{n7} = 1$
$x_8$	13% об.	5	if $x_8 < 13$ and $x_8 > 5$ then $X_{n8} = 0$ , else $X_{n8} = 1$
$x_9$	25 г/т	–	if $x_9 < 25$ then $X_{n9} = 0$ , else $X_{n9} = 1$
$x_{10}$	–	0,1%	if $x_{10} > 0,1$ then $X_{n10} = 0$ , else $X_{n10} = 1$
$x_{11}$	–	45 кВ	if $x_{11} > 45$ then $X_{n11} = 0$ , else $X_{n11} = 1$
$x_{12}$	0,25 мгКОН/г	–	if $x_{12} < 0,25$ then $X_{n12} = 0$ , else $X_{n12} = 1$
$x_{13}$	–	125 С	if $x_{13} > 125$ then $X_{n13} = 0$ , else $X_{n13} = 1$
$x_{14}$	13	–	if $x_{14} < 13$ then $X_{n14} = 0$ , else $X_{n14} = 1$
$x_{15}$	10%	–	if $x_{15} < 10$ then $X_{n15} = 0$ , else $X_{n15} = 1$
$x_{16}$	–	250 ед.	if $x_{16} > 250$ then $X_{n16} = 0$ , else $X_{n16} = 1$
$x_{17}$	2%	–	if $x_{17} < 2$ then $X_{n17} = 0$ , else $X_{n17} = 1$
$x_{18}$	–	300 МОм	if $x_{18} > 300$ then $X_{n18} = 0$ , else $X_{n18} = 1$
$x_{19}$	–	-50%	if $x_{19} > -50$ then $X_{n19} = 0$ , else $X_{n19} = 1$
$x_{20}$	1%	–	if $x_{20} < 1$ then $X_{n20} = 0$ , else $X_{n20} = 1$
$x_{21}$	50%	–	if $x_{21} < 50$ then $X_{n21} = 0$ , else $X_{n21} = 1$
$x_{22}$	2%	-2%	if $x_{22} < 2$ and $x_{22} > -2$ then $X_{n22} = 0$ , else $X_{n22} = 1$

$x_{23}$	3%	-3%	if $x_{23} < 3$ and $x_{23} > -3$ then $X_{n23}=0$ , else $X_{n23}=1$
$x_{24}$	30%	—	if $x_{24} < 30$ then $X_{n24}=0$ , else $X_{n24}=1$
$x_{25}$	—	25 кВ	if $x_{25} > 25$ then $X_{n25}=0$ , else $X_{n25}=1$
$x_{26}$	30 г/т	—	if $x_{26} < 30$ then $X_{n26}=0$ , else $X_{n26}=1$
$x_{27}$	2%	-2%	if $x_{27} < 2$ and $x_{27} > -2$ then $X_{n27}=0$ , else $X_{n27}=1$
$x_{28}$	2%	-2%	if $x_{28} < 2$ and $x_{28} > -2$ then $X_{n28}=0$ , else $X_{n28}=1$

В табл. 3 показан пример расчета ОТС трех силовых трансформаторов 110 кВ с использованием приведенной ранее технологии.

Таблица 3

Показатель, ед. изм.	Значение показателя (нормализованное) для трансформаторов		
	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$x_1$ , % об.	0,009 (0)	0,015 (1)	0,015 (1)
$x_2$ , % об.	0,009 (0)	0,01 (1)	0,01 (1)
$x_3$ , % об.	0,007 (0)	0,06 (1)	0,06 (1)
$x_4$ , % об.	0,003 (0)	0,06 (1)	0,06 (1)
$x_5$ , % об.	0 (0)	0,0009 (0)	0,0009 (0)
$x_6$ , % об.	0,06 (0)	0,4 (0)	0,4 (0)
$x_7$ , % об.	0,003 (0)	0,04 (0)	0,04 (0)
$x_8$ , % об.	10 (0)	14 (1)	14 (1)
$x_9$ , г/т	20 (0)	20 (0)	20 (0)
$x_{10}$ , %	0,2 (0)	0,2 (0)	0,1 (1)
$x_{11}$ , кВ	50 (0)	46 (0)	46 (0)
$x_{1,2}$ мгКОН/г	0,2 (0)	0,2 (0)	0,2 (0)
$x_{13}$ , °С	160 (0)	121 (1)	121 (1)
$x_{14}$	10 (0)	10 (0)	10 (0)
$x_{15}$ , %	9 (0)	9 (0)	9 (0)
$x_{16}$ , ед.	300 (0)	260 (0)	230 (1)
$x_{17}$ , %	1 (0)	1 (0)	1 (0)
$x_{18}$ , МОм	350 (0)	330 (0)	330 (0)
$x_{19}$ , %	-40 (0)	-40 (0)	-40 (0)
$x_{20}$ , %	0,5 (0)	0,5 (0)	0,5 (0)
$x_{21}$ , %	30 (0)	40 (0)	40 (0)
$x_{22}$ , %	1 (0)	1 (0)	3 (1)
$x_{23}$ , %	0 (0)	-1 (0)	3 (1)
$x_{24}$ , %	5 (0)	20 (0)	20(0)
$x_{25}$ , кВ	30 (0)	25 (1)	25 (1)
$x_{26}$ , г/т	20 (0)	25 (0)	25 (0)
$x_{27}$ , %	0 (0)	0 (0)	0 (0)
$x_{28}$ , %	0 (0)	1 (0)	2 (1)
Обобщенная оценка	$D_1$ (0)	$D_3$ (0,7)	$D_4$ (0,84)

Очевидно, что при полном соответствии показателей нормальному рабочему диапазону трансформатор  $T_1$  получил оценку 0, соответствующую исправному состоянию. Трансформатор  $T_2$  при несоответствии по семи показателям признан находящимся в неисправном, неработоспособном, но в ремонтпригодном состоянии  $D_3$ , оценка которого равна 0,7. Трансформатор  $T_3$  не соответствует по 12 показателям и принадлежит состоянию  $D_4$  – неработоспособное и неремонтпригодное. Оценка последнего 0,84 с принадлежностью области  $D_4$ . Полученные результаты ОТС силовых трансформаторов соответствуют эксплуатационным данным.

**Вывод.** Введенные характеристические функции принадлежности позволяют определить степень принадлежности тому или иному техническому состоянию по одному или нескольким показателям технического состояния. Обобщенная количественно-качественная ОТС определяется с использованием средневзвешенной балльной оценки с применением прогрессивной шкалы, снижающей дисперсию конечного результата.

Представленный анализ выполнен на основе статистических данных технической диагностики и испытаний высоковольтного оборудования без использования дополнительных методов мониторинга (установки дополнительных датчиков). Данный подход является первым шагом к созданию интеллектуальной системы управления техническими активами электросетевого предприятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хальясмаа А.И., Дмитриев С.А., Кокин С.Е., Осотова М.В. Вопросы реализации оценки технического состояния силового оборудования на электрических подстанциях. – Известия Университета им. В.И. Вернадского, 2013, № 1(45), с. 289–299.
2. Flores W.C., Mombell E.E., Jardini J.A. Expert system for the assessment of power transformer insulation condition based on type-2 fuzzy logic systems. Expert Systems with Applications: – An International Journal, 2011, vol. 38, pp. 8119–8127.
3. Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A., Eroshenko S.A. Membership functions for the formation of the electrical equipment state estimation for power stations and substations. – Advanced Materials Research, 2013, vol. 805–806. pp. 663–666.
4. Давиденко И.В., Осотов В.Н. Системы диагностирования высоковольтного маслонаполненного силового электрооборудования. – Екатеринбург: Изд. УГТУ-УПИ, 2013, 117 с.

[20.04.14]

Авторы: Хальясмаа Александра Ильмаровна в 2008 г. окончила электротехнический факультет

Уральского государственного технического университета – УПИ (УГТУ–УПИ). Аспирант, ассистент кафедры «Автоматизированные электрические системы» Уральского федерального университета (УрФУ).

**Дмитриев Степан Александрович** в 2002 г. окончил электротехнический факультет УГТУ–УПИ. В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию «Мониторинг системы электроснабжения мегаполиса на основе объектно-ориентированной графовой модели». Доцент кафедры «Автоматизированные электрические системы» УрФУ.

**Кокин Сергей Евгеньевич** в 1978 г. окончил электротехнический факультет Уральского политехнического университета. *Elektrichestvo (Electricity)*, 2014, No. 10 pp. 22–27.

ческого института. В 2014 г. защитил докторскую диссертацию «Энергоинформационные модели функционирования и развития систем электроснабжения больших городов». Заместитель директора по науке и инновациям кафедры «Автоматизированные электрические системы» УрФУ.

**Глушков Даниил Александрович** в 2007 г. окончил электротехнический факультет УГТУ–УПИ. Старший преподаватель кафедры УрФУ.

**Осотова Марина Викторовна** в 1996 г. окончила электротехнический факультет УГТУ–УПИ. Заместитель главного инженера по развитию филиала ОАО «МРСК Урала» – «Свердловэнерго».

## The Principle for Forming an Assessment of Electrical Equipment Technical State at Substations

A.I. HAL'YASMAA, S.A. DMITRIEV, S.E. KOKIN, D.A. GLUSHKOV, and M.V. OSOTOVA

*At present, the system for estimating the technical state of high-voltage equipment at substations is the main component of systems for managing the technical assets of an electric network enterprise and is put in use in order to reduce the costs for operation, repairs, monitoring, and diagnostics of this equipment. The question of assessing the technical state of electrical equipment at substations is one of topical issues for the electric network facilities in Russia. This is connected with the fact that the major part of equipment at substations is used beyond its assigned service life. As a result, the equipment quality indicators become less stable; more attention has to be paid to equipment during its operation, and various methods for monitoring the state of equipment must be applied. Matters concerned with establishing the principles for estimating the technical state of high-voltage equipment at substations for computer-aided systems of managing the technical assets of network enterprises are considered. A mechanism for setting up a hybrid network using the methods of fuzzy logic and artificial neural networks is presented. A methodology for determining the technical state of high-voltage equipment on the basis of membership functions is considered.*

Key words: assessment of technical state, network companies, hybrid networks, membership function

### REFERENCES

1. Khal'yasmaa A.I., Dmitriyev S.A., Kokin S.Ye., Osotova M.V. *Izvestiya Universiteta im. B.I. Vernadskogo (News of the University named Vernadskii V.I.)*, 2013, No. 1(45), pp. 289–299.
2. Flores W.C., Mombell E.E., Jardini J.A. Expert system for the assessment of power transformer insulation condition based on type-2 fuzzy logic systems. *Expert Systems with Applications: – An International Journal*, 2011, vol. 38, pp. 8119–8127.
3. Khalyasmaa A.I., Dmitriyev S.A., Eroshenko S.A. Membership functions for the formation of the electrical equipment state estimation for power stations and substations. – *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 805–806. pp. 663–666.
4. Davidenko I.V., Osotov V.N. *Sistemy diagnostirovaniya vysokovol'nogo maslonapolnennogo silovogo elektrooborudovaniya (High-Voltage Oil-Filled Electric Power Equipment Diagnostic Systems)*. Ekaterinburg. Publ. «Ural State Technical University», 2013, 117 p.

*Authors: Khal'yasmaa Aleksandra P'marovna (Ekaterinburg, Russia) graduated from the Electrical engineering department of the Ural State Technical University (USTU–UPI) in 2008. She is a postgraduated student and assistant in the department «Automated electrical systems» (AES), the Ural Federal University (UrFU).*

*Dmitriyev Stepan Aleksandrovich (Ekaterinburg, Russia) graduated from the Electrical engineering department of the USTU–UPI in 2002. In 2007 he received the degree Cand. Techn. Sci. He is a Associate Professor in the Department AES, the UrFU.*

*Kokin Sergei Yevgen'yevich (Ekaterinburg, Russia) graduated Electrical engineering department of the Ural Polytechnic Institute in 1978. In 2014 he received the degree Doctor Techn. Sci. He is a Deputy Head of the Department AES, the UrFU.*

*Glushkov Daniil Aleksandrovich (Ekaterinburg, Russia) graduated from the Electrical engineering department of the USTU–UPI in 2007. He is senior lecturer in the Department «High voltage technique» of the UrFU.*

*Osotova Mirina Viktorovna (Ekaterinburg, Russia) graduated of the USTU–UPI in 1996. She is a Chief engineer in JSC «MRSK Ural – Sverdlovenergo».*