

ბიზნეს-ინჟინერინგი ენერგეტიკაში

ძალური ტრანსფორმატორში განვითარებადი დეფექტების განსაზღვრის ალგორითმი

თენგიზ მუსელიანი
გიორგი ჭყონია
ირაკლი მგერელაძე

ძალური ტრანსფორმატორის დაძველების პროცესში მისი იზოლაცია განიცდის მთელ რიგ ფიზიკო-ქიმიურ ცვლილებებს. ამ დროს გამოიყოფა დაშლის პროდუქტები – მყარი, თხევადი და აირისებრი ნივთიერებები. ცელულოზისაგან დაშნადებული მყარი საიზოლაციო მასალები (ქაღალდი და მუყაო) ნელი დაძველების დროს გამოყოფენ აირებს. მათ რიცხვშია წყალბადი და დაბალმოლეკულური ნახშირწყალბადები, ასევე ნახშირბადის ჟანგი და ორჟანგი, რომლებიც წარმოიქმნებიან ცელულოზის დაჟანგვისას. აირები წარმოიშობა ასევე ზეთის დაძველებისას. ამასთან, აირის გამოყოფის ინტენსივობა დამოკიდებულია: ელექტრული ველის დაძაბულობასა და ზეთის ქიმიურ შემადგენლობაზე, ობიექტის მუშაობის რეჟიმზე; ექსპლუატაციის ხანგრძლივობაზე; გამოყენებულ მასალებზე და მთელ რიგ ფაქტორებზე. მათი გათვალისწინებაც ყოველთვის ადვილი არ არის. გამოყოფილი აირების რიცხვში გარდა ნახშირის ჟანგისა CO და ორჟანგისა CO_2 , გვაქვს ასევე წყალბადი H_2 , მეთანი CH_4 , ეთანი C_2H_6 , ეთილენი C_2H_4 და აცეტილენი C_2H_2 [1].

აირების ზეთში ხსნადობა პროპორციულია გარეშე წნევისა და $20-100^\circ\text{C}$ ტემპერატურის დიაპაზონში ტემპერატურის წრფივი ფუნქციისა. მაგალითად, წყალბადისათვის ზეთში ხსნადობა მოცულობაში 7%-ია, აზოტისა-8,6%, ჰაერისა- 10,3%, მეთანისა-30%, აცეტილენისა - 400% და ა.შ.

იზოლაციის დარღვევის დროს, რომელიც დაკავშირებულია დაზიანების არსებობასთან აირების გამოყოფის ინტენსივობის პროცესი მკვეთრად იზრდება. ასევე შეიძლება შეიცვალოს აირების შემადგენლობა და მათი თანაფარდობა.

დადგენილია, რომ ტრანსფორმატორის დეფექტის თითოეულ სახეს შეესაბამება აირების განსაზღვრული ნაკრები და მათი თანაფარდობა [2].

განვითარებადი დეფექტების შეზახებ ცოდნის ბაზა შეიცავს მრავალ წესს, რომელთაგან თითოეული ხასიათდება ნდობის კოეფიციენტით. ცოდნის

ბაზის საფუძველს შეადგენს რეკომენდაციები [3].

წესების ნდობის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მასში შემავალი პარამეტრების განსაზღვრულობაზე. თუ ერთი ან რამდენიმე პარამეტრი განსაზღვრული არ არის, მაშინ წესების ნდობის კოეფიციენტი მცირდება, რაც აისახება ამ წესების გაუქმებით საბოლოო შედეგზე.

მაგალითად, ინფორმაციის მთლიანი მოცულობა სისტემაში მიეწოდება მაშინ, როცა ცნობილია ყველა აირის კონცენტრაციები. ამასთანავე ნებისმიერი აირის რიცხვითი მნიშვნელობების გვერდით შესაძლებელია არსებობდეს შემდეგი შემთხვევები:

- აირი საერთოდ არ არსებობს;
- არის აირის მცირე რაოდენობა (კვალი);
- აირის არსებობა ან არ არსებობა განსაზღვრული არ არის.

უკანასკნელი შემთხვევა არის იმ წესის ნდობის კოეფიციენტის ცვლილების მიზეზი, რომელშიც შედის შესაბამისი აირი.

დამუშავებული ალგორითმი იძლევა საშუალებას მივიღოთ დიაგნოზი იმ შემთხვევაშიც კი, როცა ერთი აირი მაინც ნამდვილად არის დაფიქსირებული, ხოლო დანარჩენების მიმართ არ გვაქვს მკაფიო ინფორმაცია. ბუნებრივია, რომ ამ შემთხვევებში ფაქტიური და პროგნოზირებადი დეფექტების თანხვედრის აღბათობა მცირდება.

ტრანსფორმატორის დიაგნოსტიკის პროცესში რამდენიმე გაზომვის არსებობისა მიმდევრობით ჩაირთვება ახალი წესები და ხდება დეფექტების თანდათანობითი დაზუსტება. მიღებულია, რომ ტრანსფორმატორის ერთი აირის კონცენტრაციის ზღვრული დასაშვები მნიშვნელობის გადაჭეპების დროსაც კი გააჩნია დეფექტი.

თითოეული ტრანსფორმატორი დეფექტის შემწნევის დროს დგება კონტროლის ქვეშ. სიტუაციის დაზუსტების მიზნით ხუთი დღის შემდეგ ტარდება განმეორებითი ანალიზი. მორიგი ანალიზის დადებითი შედეგის (არ არის დეფექტი) შემთხვევაში

ბიზნეს-ინჟინერინგი. №2. 2012.

დაფიქსირდება ტრანსფორმატორში მიმდინარე პროცესების ნორმალიზაცია და ტრანსფორმატორი ავტომატურად მოიხსნება კონტროლიდან.

დეფექტის პროგნოზირებასთან ერთად ფორმირდება ტრანსფორმატორის ტექნიკური მომსახურების შემდგომი ღონისძიებები. ამ დროს დაწერილებით ანალიზდება დეფექტის განვითარების ტექნოლოგია, რომელიც ხასიათდება ნიშნებით 0 ან 1.

მაგალითისათვის, განვიხილოთ დეფექტის განვითარების ტექნოლოგია ტრანსფორმატორში აირების ზღვრული კონცენტრაციის ანალიზის შემოხვევისათვის.

1. ტრანსფორმატორში ანალიზის მომენტში დეფექტების არსებობის აღმრიცხველი აღნიშნით PI-ით. (თუ ტრანსფორმატორში ადგილი აქვს ზეთის ზღვრული კონცენტრაციის გადაშეტებას, მაშინ იგი ტოლია 0, ხოლო თუ არა – 1);
2. ერთი აირის მაინც კონცენტრაციის ზრდის სიჩქარე თვეში 10 %-ზე მეტია - P2 (0 - ზრდა ნაკლებია 10 %-ზე, 1- ზრდა მეტია 10 %-ზე);
3. მოცემულ ტრანსფორმატორში ზედიზედ დეფექტების შემწნევის რაოდენობა - P3 (0- შემწნეული დეფექტების რაოდენობა ნაკლებია ან ტოლი 2-ზე, 1- მეტია 2-ზე);
4. ერთი აირის მაინც კონცენტრაციის თვეში ზრდის სიჩქარის 10%-ზე მეტი ზრდის ზედიზედ შემოხვევების რაოდენობა - P4 (0- კონცენტრაციის ზრდის სიჩქარე შემწნეულია

ნაკლები ან ტოლი 2-ზე, 1- მეტი 2-ზე);

5. აირების ზრდის დაჩქარება - P5 (0-პროგრესირებადი ზრდის რაოდენობა ყოველი შემდგომი გაზომვისას ნაკლებია ან ტოლი 1-ზე, 1- მეტია 1-ზე);
6. ფაქტორების არსებობა, რომლებიც ხელს უწყობენ აირების კონცენტრაციის გაზრდას -PP6 (0-ფაქტორებს აქვს ადგილი, 1-ფაქტორები არ არის);
7. ფაქტორების არსებობა, რომლებიც ხელს უწყობენ აირების კონცენტრაციის შემცირებას -PP7 (0- ფაქტორებს აქვს ადგილი, 1-ფაქტორები არ არის);
8. ზეთის უკანასკნელ სინჯში აცეტილენის ძირითადი აირის სახით არსებობა - P8 (0- არ არის ძირითადი აირი, 1- არის ძირითადი აირი);
9. ზეთის უკანასკნელ სინჯში ნახშირბადის ჟანგისა და ორჟანგის ძირითადი აირის სახით არსებობა -P9 (0- სინჯში ეს აირები არ არის, 1- სინჯში არის ერთი აირი მაინც);

მაგალითი. ჩავატაროთ TPDH-40000/110 ძალოვანი ტრანსფორმატორის დიაგნოსტიკური ანალიზი ცხრილი #1-ში მოყვანილი ზეთის ერთეულოვან მოცულობაში აირების კონცენტრაციის მნიშვნელობები წინა და უკანასკნელი გაზომვების შედეგების მიხედვით.

ანალიზი ჩატარებულია მეორეჯერ, დეფექტის პირველი შემწნევიდან ერთი თვის შემდეგ.

ცხრილი #1.

ზეთის ერთეულოვან მოცულობაში აირების კონცენტრაციის მნიშვნელობები

თარიღი	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
01.03.2011	0.002	0.01	0.001	0.02	0.7	განუსაზღ.	0.4
01.04.2011	0.003	0.02	0.02	0.05	განუსაზღ.	განუსაზღ.	0.5

პირველ რიგში უნდა განესაზღვროთ აირების ზღვრული, ზღვრული, ფარდობითი კონცენტრაციისა და კონცენტრაციის ცვლილების აბსოლუტური და ფარ-

დობითი სიჩქარეები. ყველა ეს პარამეტრი განსაზღვრულია ნორმებითა და ფორმულებით, ლიტერატურა [1]-ის მიხედვით მათი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. #2-ში.

ცხრილი #2.

ნორმებით განსაზღვრული პარამეტრები

პარამეტრი	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
ზღვრული კონცენტრაც.	0.0005	0.0005	0.00005	0.0005	0.0005	0.005	0.005
ზღვრული კონცენტრაც	0.01	0.01	0.001	0.01	0.005	0.02	0.3
ფარდობითი კონცენტრაცია	0.3	2	19.9	5	განუსაზღ.	განუსაზღ.	1.67
კონცენტრაციის ცვლილების აბსოლუტური სიჩქარე	0.010	0.1071	0.2036	0.321	განუსაზღ.	განუსაზღ.	0.107
კონცენტრაციის ცვლილების ფარდობითი სიჩქარე	53.571	107.143	2035.7	160.71	განუსაზღ.	განუსაზღ.	26.78

ბიზნეს-ინჟინერინგი პერაპტიკაში

ცხრილი #2-ის მონაცემების საფუძველზე ფარდობითი კონცენტრაციის მნიშვნელობების მიხედვით ზღუდა აირის კონცენტრაციის ხასიათის განსაზღვრა. როგორც ამ ცხრილის ფარდობითი კონცენტრაციის სტრიქონიდან ჩანს: H_2 - აირის მახასიათებელი აირი მცირე შემცველობით; CH_4 და C_2H_4 - აირიან მახასიათებელი აირები მაღალი შემცველობით; C_2H_2 და CO_2 - ძირითადი აირებია; C_2H_6 და CO აირები არ არსებობენ.

როგორც ცხრილი #2-დან ჩანს, ოთხი აირის (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , CO_2) ფარდობითი კონცენტრაციის მნიშვნელობები აღემატება ზღვრულ მნიშ-

ვნელობებს. ამ დროს მიმდინარეობს ყველა აირის კონცენტრაციის ზრდა 10%-ზე მეტი აბსოლუტური სიჩქარით. მაშასადამე, სახეზეა განვითარებადი დეფექტის არსებობა. განვითარებადი დეფექტის არსებობის შემდეგ შემუშავებული უნდა იქნეს რეკომენდაციათა კრებული. ერთი მხრივ დეფექტის დამახასიათებელ ნიშნებსა და მისი განვითარების პროცესს, ხოლო მეორეს მხრივ დეფექტის გამოვლენის დაზუსტებისა და შედეგების ლოკალიზაციის რეკომენდაციების ნაკრებს შორის არსებობს გარკვეული კავშირი, რომელიც მოყვანილია ცხრილი #3-ში.

ცხრილი #3.

კავშირი ნიშანთა ნაკრებსა და რეკომენდაციების ნაკრებს შორის

ნიშანთა ნაკრები									რეკომენდაციების ნაკრები					
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	18	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	11	14	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1	1	3	9	14	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1	0	0	3	10	15	18	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	5	6	7	9	14	0
1	0	1	1	0	1	0	0	0	3	4	9	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	9	15	0	0	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	2	3	15	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	1	1	2	3	19	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	3	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	10	9	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	1	1	2	3	10	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	18	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	3	9	14	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	1	1	2	15	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	14	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	15	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	3	9	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	1	1	3	10	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	1	1	2	15	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1	0	3	9	14	0	0	0
1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	1	3	14	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0	1	3	14	0	0	0	0
<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
1	1	1	0	1	1	1	0	1	2	15	0	0	0	0

დეფექტის განვითარების თითოეული სიტუაცია ერთმნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ნიშნების სიას. ჩვენს მიერ მოყვანილ მაგალითში:

- ადგილი აქვს ზღვრული კონცენტრაციის გადაჭარბებას, მაშასადამე $P1=1$.
- აირების კონცენტრაციის ზრდის სიჩქარე

ბიზნეს-ინჟინერინგი. №2. 2012.

- მეტია 10 %-ზე, მაშასადამე $P2=1$.
- შემწეული დეფექტების რაოდენობა ტოლია 2, მაშასადამე $P3=0$.
 - სიჩქარის 10 %-ზე მეტად გადაჭარბების რაოდენობა ტოლია 1, მაშასადამე $P4=0$.
 - ნიმუშში პირველად იქნა დაფიქსირებული აირების ზრდის მაქსიმალური სიჩქარე, მაშასადამე $P5=0$.
 - არ ჩატარებულა ისეთი ღონისძიებანი, რომლებიც ხელს უწყობდნენ აირების კონცენტრაციის ზრდას, მაშასადამე $P6=1$.
 - არ ჩატარებულა ისეთი ღონისძიებანი, რომლებიც ხელს უწყობდნენ აირების კონცენტრაციის შეცირებას, მაშასადამე $P7=1$.
 - აცვტილენი ნიმუშში ძირითადი აირია, მაშასადამე $P8=1$.
 - ნიმუშში ადგილი აქვს CO ან CO_2 , მაშასადამე $P9=1$.
- მიღებული ნიმუშების სიას ცხრილი #3-ში შეესაბამება ქვემოთ მოცემულ სტრიქონს, რომლის გასწვრივ მოცემულია საჭირო ღონისძიებების ნომრები #2 და #3. ამ ნომრების მიხედვით ზეთში გახსნილი აირების შედეგების საფუძველზე კონკრეტული გამოცდების პრიორიტეტულ ჩატარებაზე რეკომენდაციები მოცემულია ცხრილი #4-ში. ამ ცხრილიდან აირჩევა ჩასატარებელი ღონისძიებები: ტრანსფორმატორების დაგეგმილი გამოყვანა მუშაობიდან (#2) და ზეთში გახსნილი აირების გახშირებული ანალიზის ჩატარება (#3).
- რეკომენდაციები კონკრეტული გამოცდების პრიორიტეტულ ჩატარებაზე ზეთში გახსნილი აირების შედეგების საფუძველზე მოცემულია ცხრილში #4.

ცხრილი #4.

ზეთში გახსნილი აირების შედეგების საფუძველზე კონკრეტული გამოცდების პრიორიტეტულ ჩატარებაზე რეკომენდაციები

#	რეკომენდაციები
1	ტრანსფორმატორების დაუყონებლივ გამოყვანა მუშაობიდან
2	ტრანსფორმატორების დაგეგმილი გამოყვანა მუშაობიდან
3	ჩატარდეს ზეთში გახსნილი აირების გახშირებული ანალიზი
4	შევაძლწმით სორბენტის მდგომარეობა პაერსაშრობში
5	შევაძლწმით ზეთის ტუმბოს მდგომარეობა
6	შევაძლწმით გადაღების შესაძლებლობა (ერთდროულად ავიღოთ ზეთის სინჯები ტრანსფორმატორისა და გადამრთველის ავზებიდან)
7	ჩავატაროთ ზეთის დეგაზაცია
8	საქმის კურსში ჩავაყენოთ დაწესებულების ქვედანაყოფი
9	გავანალიზოთ წინა ექსპლუატაციის პირობები
10	მოვხსნათ ზეთში გახსნილი აირების გახშირებული ანალიზის კონტროლი
11	ჩავატაროთ ზეთში გახსნილი აირების ანალიზის კონტროლი ჩვეულებრივი პერიოდულობით
12	შევადართ მსგავსი ტრანსფორმატორების კონცენტრაციებს
13	შევატყობინოთ ქარხანა-დამამზადებელს
14	ტრანსფორმატორი დაგვეყენოთ კონტროლის ქვეშ
15	გავზომოთ გრაგნილების ომური წინაღობა
16	ჩავატაროთ ანალიზი ინფრაწითელი ტექნიკის გამოყენებით
17	გავზომოთ უქმი სელის დანაკარგები
18	ჩავატაროთ ზეთის ქიმიური ანალიზი
19	გავზომოთ ტენ და იზოლაციის კომპლექსური გამტარობა
20	გავზომოთ მოკლედ შერთვის წინაღობა
21	გავზომოთ ზეთის ტენ
22	ვაწარმოთ ნაწილობრივი განმუხტვის ელექტრული გაზომვები
23	ვაწარმოთ ნაწილობრივი განმუხტვის აკუსტიკური გაზომვები
24	გავზომოთ იზოლაციის წინაღობა
25	გავზომოთ იზოლაციის წინაღობა
26	ჩავატაროთ ვიზუალური კონტროლი
27	ავიღოთ ზეთის სინჯები კონტაქტორისა და ტრანსფორმატორის ავზებიდან

ზეთში გახსნილი აირების ანალიზი დეფექტის სახის შესახებ ვერ იძლევა სრულ გარანტიას და პრაქტიკულად ვერ წარმოადგენს ინფორმაციას მისი ადგილმდებარეობის შესახებ, ამიტომ საჭიროა ჩატარდეს სხვა გამოცდებიც. კერძოდ, უნდა განისაზღვროს აირების კონცენტრაციის მახასიათებელი ფარდობა. ამ მახასიათებლის განსაზღვრა ხდება ცხრილი #2-ის ფარდობითი კონცენტრაციის სტრიქონის მონაცემების მიხედვით.

$D1 = 0,4$ წარმოადგენს ფარდობას ($CH_4/C_2H_4 = 2/5$);

$D2 = 6,66667$ წარმოადგენს ფარდობას ($CH_4/H_2 = 2/0,3$);

$D3 =$ განუსაზღვრელია წარმოადგენს ფარდობას (C_2H_4/C_2H_6);

$D4 =$ განუსაზღვრელია წარმოადგენს ფარდობას (CO_2/CO).

ნიმუშში აირების არსებობისას მათი კონცენტრაციისა და ზრდის სიჩქარის მნიშვნელობის, ასევე კონცენტრაციის ფარდობითი მახასიათებლების ანალიზის დროს კონცენტრაციის მახასიათებელი ფარდობის უდიდესი მთელი რიცხვია 6. ზუსტი დიაგნოზის განსაზღვრისათვის ამ ნომრის მიხედვით წინასწარი დეფექტების ცხრილი #5-დან პოულობენ მის დასახელებას: დაბალი ტემპერატურის თერმული დეფექტი. ამის შემდეგ მოიყვანება მიზეზები, რომელთა შედეგია პროგნოზირებადი დეფექტი:

– მიღებისა და მილთაშორისი სივრცის გაჭუჭყიანება;
– გამაციებელი მილების დაბინძურება.
ამის შემდეგ დგება გამოცდის ოქმი.
დეფექტების განმეორებით შეძენევის შემთხვევაში ისმება წინასწარი დიაგნოზი ცხრილი #5-ში მოცემული ნაკრებიდან.

ცხრილი #5.

დეფექტების სახეები

#	დეფექტის სახე
1	ზეთის დამკვლვა
2	ნაწილობრივი განმუხტვები ენერგიის დაბალი სიმკვრივით
3	ნაწილობრივი განმუხტვები ენერგიის მაღალი სიმკვრივით
4	მცირე სიმძლავრის განმუხტვები
5	დიდი სიმძლავრის განმუხტვები
6	დაბალი ტემპერატურის თერმული ეფექტი
7	დაბალი ტემპერატურის დიაპაზონში თერმული ეფექტი
8	საშუალო ტემპერატურის დიაპაზონში თერმული ეფექტი
9	მაღალი ტემპერატურის თერმული ეფექტი

შემდგომში დეფექტის ხასიათი ზუსტდება ცხრილი #6-ის მონაცემებით, თუ რამ შეიძლება გამო-

იწვიოს აღნიშნული დეფექტი.
ამრიგად ძალური ტრანსფორმატორში განვითარებადი დეფექტის სახე, მისი გამომწვევი მიზეზი და მოსალოდნელი შედეგი.

ცხრილი #6.

დაზუსტებული დეფექტების სახეები

#	დეფექტის სახე
1	დენგამტარი ნაწილების ან ჩონჩხის კონტრუქციის ელემენტების გადახურება
2	ჩონჩხის კონტრუქციის ელემენტების გადახურება
3	მყარი იზოლაციის გადახურება
4	ელექტრული განმუხტვები მყარ იზოლაციაში
5	ნაწილობრივი განმუხტვები ზეთში
6	ნაპერსკლური და რკალური განმუხტვები ზეთში
7	დეფექტი გაციების სისტემაში
8	ზეთის დამკვლვა
9	დეფექტი გადამრთველ მოწყობილობაში

რებადი დეფექტის დადგენის მიზნით შემუშავებული იქნა სპეციალური ალგორითმი, რომელიც საშუალებას იძლევა საკმარის სიზუსტით განესაზღვროთ

განვითარებადი დეფექტის სახე, მისი გამომწვევი მიზეზი და მოსალოდნელი შედეგი.

**The algorithm for determining of developing
defects in power transformer**

T.Museliani, G.Chkonia, I.Megrelidze

Summary

To determine a defect in the power transformer developed a special algorithm, that makes it possible to sufficient precision determine the form of developing the defect, its causes and the expected result.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Сви М.П. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. –М. Энергоатомиздат. -1992. -240 С.
2. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. ВНИИЭ.- 1998.- 88 с.
3. РД 34.46. 302-89. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов по результатам хроматического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов. ВНИИЭ.- 1989.- 28 с.