

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ირაკლი ვახტანგაძე

ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის
რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია, შიფრი 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივნისი, 2015

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ირაკლი ვახტანგაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის“ ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი: რამინ ჩიხლაძე

რეცენზენტი: ვახტანგ გიორგობიანი

რეცენზენტი: არჩილ კობტაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2015

ავტორი: ირაკლი ვახტანგაძე
დასახელება: „ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით“
ფაკულტეტი : ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის
ხარისხი: დოქტორი
სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

ნაშრომი ეძღვნება ჩემს მშობლებს

რეზიუმე

ირაკლი ვახტანგაძის დისერტაცია „ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით“ ეხება ენერგეტიკის აქტუალურ საკითხს, ექსპლუატაციის განმავლობაში ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის პრობლემას.

პირველ თავში განხილულია ტრანსფორმატორის ზეთის მიღება და დანიშნულება. განხილულია ტრანსფორმატორის ზეთის მახასიათებლები და ნაჩვენებია, მახასიათებლების ცვლილება საექსპლუატაციო ფაქტორების გავლენით. მოყვანილია ნახაზი, რომელზეც ნაჩვენებია, მინარევებისგან განმედილი ტრანსფორმატორის ახალი ზეთის IGD-ს დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

განხილულია ექსპლუატაციის განმავლობაში ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების მიმდინარეობა ელექტრული ველის და მეტალების კატალიზატორული ზემოქმედებით.

მეორე თავში აღწერილია ტრანსფორმატორის ზეთის მინარევებისგან განმედილი ფიზიკური მეთოდის სახეები: მჟავურ-ტუტოვანი განმედა, ჰიდროგანმედა – წყალბადით დამუშავება, სიმკვრივეებს შორის სხვაობით განმედა (ცენტრიფუგირება), გაფილტვრა და აღწერილია თითოეული მეთოდის არსი და მოცემულია შესაბამისი ნახაზები, ცხრილები.

განხილულია ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის სილიკაგელით რეგენერაციის მეთოდი, მოცემულია პროცესის პრინციპიალური სქემა. აღწერილია ტრანსფორმატორის ზეთის გამოხდის მეთოდები: ზეთის კარბამიდნული დეჰარაფინიზაცია, ზეთის ადსორბენტული გამოხდა, ზეთის სელექციური გამოხდა, მოცემულია თითოეული მეთოდის პრინციპიალური სქემები და უპირატესობა.

მოყვანილია გუმბრინის თიხის გამოყენების პერსპექტივები ტრანსფორმატორის ზეთის სარეგენერაციოდ. განხილულია გუმბრინის თიხების ფოროვანი სტრუქტურული თავისებურება, რომელიც განაპირობებს მის მაღალ სარეგენერაციო თვისებას.

მესამე თავში განხილულია ტრანსფორმატორის ზეთში ტემპემცველობის განსაზღვრის მეთოდი, მოცემულია ზეთში გახსნადი წყლის ზღვრული მნიშვნელობის განსაზღვრის და კონდენსაციის წერტილში ტემპემცველობის ფორმულები. მოცემულია ფიშერის მეთოდით ზეთში წყლის შემცველობის განსაზღვრის დანადგარი და მისი მახასიათებლები.

წარმოდგენილია დიელექტრიკული დანაკარგების და დიელექტრიკული შეღწეადობის განსაზღვრის მეთოდები, მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთის

დიელექტრიკული დანაკარგების და შეღწევადობის შერინგის ბოგირით გაზომვის სქემა და აღწერილია ამ სქემის ელემენტები.

განხილულია ტრანსფორმატორის ზეთის კუთრი წინააღმდეგობის განსაზღვრის მეთოდი. წარმოდგენილია პრინციპული სქემა, ტრანსფორმატორის ზეთის მუჟავური რიცხვის და წყალში ხსნადი მუჟავების და ტუტეების განსაზღვრის მეთოდის.

მეოთხე თავში მოცემულია გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის პროცესი, წარმოდგენილია გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურის და არევის სიჩქარის განსაზღვრის ცდა. ცდის საშუალებით დადგენილია გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის $\epsilon_{\text{გნ}}^{\text{90}}$ და მუჟავური რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე. განსაზღვრულია გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის მსუბუქად, საშუალოდ და ძლიერ დაძველებული ზეთების მახასიათებლები. ცდის საშუალებით განსაზღვრულია რეგენირებული ზეთის ელექტრული, ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

მიღებული შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის 10% გუმბრინის თიხით ოთხი საათის განმავლობაში რეგენერაციისას, რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები აკმაყოფილებენ რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს, ხოლო საშუალოდ დაძველებული ზეთისთვის 20% გუმბრინის თიხით რეგენერაციისას, აკმაყოფილებენ რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს, რაც შეეხება ძლიერ დაძველებული ზეთის 4 საათის განმავლობაში რეგენერაციისას, მიღებული ზეთის ყველა მახასიათებელი არ აკმაყოფილებს რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას ე.ი. ასეთი ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით გაძნელებულია.

მიღებული შედეგების ანალიზით გამოტანილია მეცნიერული ღირებულების დასკვნები და პრაქტიკული მნიშვნელობის რეკომენდაციები.

Abstract

The current dissertation “Outdated transformer oil regeneration using the clay Gumbrini” by Irakli Vakhtangadze refers to the latest energy issue, the problems of regeneration of outdated transformer oil during the exploitation.

The first chapter deals making and prescript of transformer oil. It's considered transformer oil features and changing of features by the influencing of exploitation factors are shown. There is shown the picture, where is describes dependence of $\text{tg}\delta$ of new transformer oil clean of admixtures on the temperature.

It's considered outdateding process of the transformer oil by the influencing of the electrical field and catalysts of metals during the exploitation.

The second chapter describes physical methods of cleaning of the transformer oil from admixtures: sour-alkaline cleaning, hydro cleaning – cultivation by the hydrogen, cleaning by the difference of the density (centrifuge), filtering and there are described inwardness of each cleaning method as well as their schemes and tables.

It's considered the regeneration method of outdated transformer oil using the silicagel, there is shown principal scheme of this process. Also there is considered kinds of distilling of transformer oil: carbamide dewaxing of oil, absorbent distillation, selective distillation and there are presented each methods principal scheme and their benefits.

There are presented perspectives of using clay Gumbrini for regeneration of transformer oil. It is considered porous structure of clay Gumbrini which ensures its high regeneration feature.

The third chapter deals determination method of containment of moisture of transformer oil, there are shown formulas for calculation of limit value of oil-soluble water and moisture in at the condenser point. There is presented the detection device of containment water in the oil by Fisher method and there are shown its features.

There are presented determination methods of dielectric loss and dielectric permittivity, as well as measurement scheme of dielectric loss and dielectric permittivity using the Shering Bridge and described the elements of the scheme.

It's considered the method for determination the specific resistance of transformer oil. There is represented the principal scheme of determination method of acid degree value of transformer oil, water-soluble acids and alkali.

The fourth chapter describes the regeneration process of outdated transformer oil using the clay Gumbrini, where the experiment of determination of optimum temperature and mixing speed for regeneration of outdated transformer oil using clay Gumbrini are shown. As a result of experiment it is established $\text{tg}\delta_{90}$ of regenerated oil using the clay Gumbrini in regeneration process and dependence of acid degree value on the temperature of regeneration. Characters of slightly, moderately and heavily outdated transformer oil regenerated by clay Gumbrini are defined. Dependence of electrical, physical and chemical features of regenerated oil on duration of regeneration process are defined by the experiment.

Analysis of the results demonstrated that in case of regeneration of slightly outdated oil by using 10% clay Gumbrini during 4 hours as well as in case of regeneration of moderately outdated oil by using 20% clay Gumbrini, characters of regenerated oil are compatible with the norms of demand of regenerated oil. As for heavily outdated transformer oil, 4 hours of regeneration process is not sufficient in order to satisfy requirements for all characters of oil. So, regeneration of heavily outdated oil by clay Gumbrini is difficult.

According to the results obtained from the analysis conclusions of scientific value recommendations of practical significance have been made.

შინაარსი

	რეზიუმე -----	v
	Abstract -----	vii
	შინაარსი -----	ix
	ცხრილების ნუსხა-----	xi
	ნახაზების ნუსხა -----	xii
	შესავალი -----	14
	ლიტერატურის მიმოხილვა-----	17
თავი 1	ამოცანის დასმა -----	21
§ 1.1	ტრანსფორმატორის ზეთის მიღება და დანიშნულება-----	21
§ 1.2	ტრანსფორმატორის ზეთის მახასიათებლები -----	28
§ 1.3	ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველება -----	35
§ 1.4	მინარევები დაძველებულ ზეთში -----	40
თავი 2	ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის განმენდის მეთოდები -----	48
§ 2.1	ტრანსფორმატორის ზეთის მინარევებისგან განმენდის ფიზიკური მეთოდები -----	48
§ 2.2	ტრანსფორმატორის ზეთის სილიკაგელით რეგენერაცია-----	53
§ 2.3	ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის გამოხდა -----	56
§ 2.4	გუმბრინის გამოყენების პერსპექტივები ტრანსფორმატორის ზეთის სარეგენერაციოდ -----	60
თავი 3	ტრანსფორმატორი ზეთის ელექტრული, ქიმიური და ფიზიკური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები -----	64
§ 3.1	ტენზომეტრების განსაზღვრა -----	64
§ 3.2	დიელექტრიკული დანაკარგების და დიელექტრიკული შეღწევადობის განსაზღვრა -----	67
§ 3.3	ტრანსფორმატორის ზეთის კუთრი წინაღობის განსაზღვრა -----	73
§ 3.4	ტრანსფორმატორის ზეთის მუჟაური რიცხვის და წყალში ხსნადი მუჟების და ტუტეების განსაზღვრის მეთოდი -----	76
§ 3.5	ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის განსაზღვრა -----	80
§ 3.6	ტრანსფორმატორის ზეთის ფერის განსაზღვრა -----	85
§ 3.7	ტრანსფორმატორის ზეთის ნორმები -----	90
თავი 4	ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით-----	96
§ 4.1	გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურის და არევის სიჩქარის დადგენა -----	96
§ 4.2	რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები -----	102

§ 4.3	რეგენირებული ზეთის ელექტრული მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე -----	107
§ 4.4	რეგენირებული ზეთის ფიზიკური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე -----	114
§ 4.5	რეგენირებული ზეთის ქიმიური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე -----	117
§ 4.6	რეგენირებული ზეთის მახასიათებლების დამოკიდებულება გუმბრინის თიხის კონცენტრაციაზე -----	120

ცხრილების ნუსხა

ცხრ. 1	ნახშირწყალბადები ტრანსფორმატორის ზეთში -----	25
ცხრ. 2	ფილტრების ტიპები და მათი პარამეტრები -----	51
ცხრ. 3	გამოხდილი წყლის სიმკვრივე (ρ) და ზედაპირული დაჭიმულობა (σ) სვადასხვა ტემპერატურაზე -----	83
ცხრ. 4	ნორმატიული დოკუმენტის მიხედვით საექსპლუატაციო ზეთის მახასიათებლები -----	91
ცხრ. 5	ნორმატიული დოკუმენტის მიხედვით რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები -----	93
ცხრ. 6	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის პარამეტრების დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე -----	98
ცხრ. 7	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის მახასიათებლები -----	104
ცხრ. 8	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის საშუალოდ დაძველებული ზეთის მახასიათებლები -----	105
ცხრ. 9	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ძლიერ დაძველებული ზეთის მახასიათებლები -----	106
ცხრ. 10	ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის 10% გუმბრინის თიხით 4 საათის განმავლობაში რეგენერაციას, რეგენირებული ზეთის პარამეტრები -----	121

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1	მინარევებისგან განმწმენდილი ტრანსფორმატორის ახალი ზეთის $\epsilon_{\text{გ}}$ დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 1 – მუავით და 2 – ადსორბენტებით განმწმენდილი -----	32
ნახ. 2	ტრანსფორმატორის ახალ ზეთში მყარი იზოლაციიდან მინარევების გახსნა -----	39
ნახ. 3	წყლის მდგომარეობის ცვლილება ტრანსფორმატორის ზეთში -	43
ნახ. 4	მყარი მინარევები ტრანსფორმატორის აქტიური ნაწილის ზედაპირზე -----	45
ნახ. 5	მყარი იზოლაციის მოცულობაში შეღწეული ზეთის დაძველების პროდუქტები -----	46
ნახ. 6	დაძველების შედეგად ზეთის ფერის ცვლილება -----	46
ნახ. 7	ფილტრები სხვადასხვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორისთვის--	51
ნახ. 8	ტრანსფორმატორის ზეთის ადსორბენტური განმწმენდის პრინციპული სქემა -----	53
ნახ. 9	მუაური რიცხვის დამოკიდებულება ადსორბციის დროზე-----	55
ნახ. 10	ფხვნილური მასის მქონე გუმბრინი -----	63
ნახ. 11	კულომეტრული ტიტრატორი-----	66
ნახ. 12	ტრანსფორმატორის ზეთის დიელექტრიკული დანაკარგების და შეღწევალობის შერინგის ბოგირით გაზომვის გამარტივებული სქემა -----	69
ნახ. 13	თხევადი დიელექტრიკების ρ , $\epsilon_{\text{გ}}$ და ϵ_{r} განსასაზღვრავი უჯრედი	74
ნახ. 14	ტრანსფორმატორის ზეთის წყალში ხსნადი მუავეების განსაზღვრის სქემა -----	78
ნახ. 15	სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის განსაზღვრის სქემა -----	81
ნახ. 16	ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის გასაზომი ხელსაწყო -----	82
ნახ. 17	კალორიმეტრის ოპტიკური სქემა -----	87
ნახ. 18	კალორიმეტრის საერთო ხელი -----	87
ნახ. 19	გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის $\epsilon_{\text{გ}90}$ დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე.-----	99
ნახ. 20	გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის მუავეური რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე -----	100
ნახ. 21	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების $\epsilon_{\text{გ}90}$ დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე -----	109

ნახ. 22	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების φ_{90} დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე -----	110
ნახ. 23	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ვერმანის კოეფიციენტის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე -----	112
ნახ. 24	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ზედაპირული დაჭიმულობის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე -----	115
ნახ. 25	20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების მჟავური რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე ----	118

შესავალი

კვლევის აქტუალობა. ექსპლუატაციაში ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველება და მისი თვისებების გაუარესება სხვადასხვა ფაქტორების ზემოქმედებით ხდება. თუ დაძველების პროცესი ხანგრძლივად მიმდინარეობს, მაშინ შესაძლებელია თვისებები იმდენად გაუარესდეს, რომ ზეთი ექსპლუატაციისთვის უვარგისი გახდეს.

ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების მექანიზმებია, ნახშირბადის ატომებს შორის ორმაგი კავშირის განწყვეტა, ან სუსტად ბმული რადიკალების ქიმიურ რეაქციაში შესვლა უნებბადის მოლეკულებთან. შედეგად ზეთის დაჟანგვის პროდუქტები წარმოიქმნება.

ექსპლუატაციის დროს ტრანსფორმატორის ზეთის საიზოლაციო მახასიათებლები უარესდება, კერძოდ იზრდება დიელექტრიკული დანაკარგები და ორგანული მუჟავების რაოდენობა, მცირდება კუთრი წინაღობა და გამრღვევი ძაბვა. ე.ი. ტრანსფორმატორის ზეთები ძველდებიან, თუ დაძველების პროცესი ხანგრძლივად მიმდინარეობს, მაშინ შესაძლებელია თვისებების იმდენად გაუარესება, რომ ზეთი ექსპლუატაციისათვის უვარგისი გახდეს.

ბუნებრივი თიხების ერთ-ერთ ნაირსახეობას გუმბრინი წარმოადგენს, რომელიც დღეისათვის ახლადგამოხდილი ზეთის გასაწმენდად გამოიყენება, ხოლო დაძველებული ზეთებისთვის, ჯერ არ გამოუყენებიათ, ამის გამო მიღებული შედეგები აქტუალურია, როგორც მეცნიერული ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით.

ექსპლუატაციითვის გამოუსადეგარ ზეთ ახლით ცვლიან ან რეგენერაციას უტარებენ. ეს უკანასკნელი ეკონომიურად უფრო გამართლებულია. ამასთანავე თუ სარეგენერაციოდ ძვირადღირებული სილიკატების მაგივრად ბუნებრივ თიხებს გამოვიყენებთ, მაშინ უფრო კარგ ეკონომიურ ეფექტს მივიღებთ.

მეცნიერული სიახლე. ტრანსფორმატორის ზეთს დაძველების პროდუქტებისაგან განთავისუფლება საწყის თვისებებს ნაწილობრივ უბრუნებს. ამ პროცესს ზეთის აღდგენა (რეგენერაცია) ეწოდება. ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციის მრავალი მეთოდი არსებობს, მაგრამ უცხოეთის სხვადასხვა განვითარებულ ქვეყნებში ფართო გამოყენება ჰპოვა ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციამ ბეტონიტური თიხების საშუალებით. ბეტონიტური თიხის ერთ-ერთ ნაირსახეობას გუმბრინი წარმოადგენს.

ჩვენ მიზნად დავისახეთ ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების სარეგენერაციოდ ქართული წიაღისეული - გუმბრინის თიხა გამოგვეყენებინა, რომელიც წინასწარ დაქუცმაცების და შრობის შემდეგ სხვადასხვა ხარისხით დაძველებულ ზეთში ზეთის წონის 20%-ის რაოდენობით ემატებოდა.

გუმბრინი ბუნებაში მოიპოვება გააქტიურებული სახით და გამოიყენება ბაქოს ნავთობგადამამუშავებელ ქარხნებში, ნავთობისგან გამოხდილი ფრაქციის მინარევებისგან გასაწმენდად, მაგრამ ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისათვის გუმბრინის გამოყენება აქამდე შესწავლილი არ იყო.

გუმბრინს ფოროვანი სტრუქტურა გააჩნია, ამ ფორებში ზედაპირული მუხტია, რომელიც ზეთის დაძველების დიპოლურ პროდუქტებს იზიდავს და შთანთქავს მათ. რეგენერაცია დაფუძნებულია, მის თვისებაზე, საკუთარ ზედაპირზე შეინარჩუნოს ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების პროდუქტები, რომლებიც ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებებს წარმოადგენენ და ისინი ნამუშევარ თიხასთან ერთად გამოიყოფიან, რითაც ზეთის თვისებები უმჯობესდება.

შედეგები. ამგვარად, პირველად საქართველოში მოხდა გუმბრინის თიხის გამოყენება ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის სარეგენერაციოდ და შესწავლილ იქნა რეგენირებული ზეთის თვისებების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე და თიხის კონცენტრაციაზე, დადგინდა რეგენერაციის ოპტიმალური პირობები. გუმბრინის თიხის გამოყენებით მოხდა ტრანსფორმატორის ძლიერ, საშუალოდ და მსუბუქად დაძველებულ ზეთების რეგენერაცია.

ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის 10% გუმბრინის თიხით 4 საათის განმავლობაში რეგენერაციას, რეგენირებული ზეთის ყველა საკონტროლო პარამეტრის სიდიდე რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს. მაგრამ საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთის რეგენერაციას აღნიშნული პირობა, რომ შესრულდეს აუცილებელია გუმბრინის თიხის კონცენტრაცია ორჯერ - 20%-მდე გაიზარდოს. რაც შეეხება ძლიერ დაძველებულ ზეთს, მისი რეგენერაცია 25% გუმბრინის თიხითაც კი შეუძლებელია, ამ პირობებში რეგენირებული ზეთის უმეტესი პარამეტრიც რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს, მაგრამ ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრიც, როგორცაა ზედაპირული დაჭიმულობა და მჟავური რიცხვი ნორმას აღემატება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ტრანსფორმატორის ძლიერ დაძველებული ზეთების გუმბრინის თიხით რეგენერაცია გაძნელებულია და სარეგენერაციოდ უნდა გამოვიყენოთ 25%-ზე მეტი გუმბრინის თიხა, რაც ეკონომიურად გამართლებული არ არის.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის თემატურ სემინარებზე და მოწონებულ იქნა ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ. აგრეთვე, წარმოდგენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა ღია საერთაშორისო №82 სამეცნიერო კონფერენციაზე 2014 წელი, ენერგეტიკის სექცია.

პუბლიკაციები. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია სტატიები საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში.

ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება 126 გვერდისაგან. იგი შეიცავს შესავალს, ოთხ თავს, დასკვნასა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას.

ლიტერატურის მიმოხილვა

1. Литштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М. „Энергоатомиздат”. 1993, გვ. 295.

განხილულია ტრანსფორმატორის ზეთის მიღების მეთოდები და მახასიათებლები. ზეთის დაძველების მიზეზები და დაძველების პროდუქტების წარმოქმნის მექანიზმები. დაძველების პროდუქტების გავლენა ტრანსფორმატორის ზეთის ფიზიკურ, ელექტრულ და ქიმიურ მახასიათებლებზე. აღწერილია ზეთის დაძველების სხვადასხვა მექანიზმები და დაძველების პროცესის 20 მიმდინარეობაზე ტემპერატურის, ელექტრული ველის და ტენის გავლენა. აქვე ნაჩვენებია ტრანსფორმატორის დასამზადებლად გამოყენებული ლითონების კატალიზატორული როლი ზეთის დაძველების პროცესზე, რის შედეგადაც მეტალ-ორგანული შენაერთები წარმოიქმნება. მეტალ-ორგანული შენაერთების შეღწევის მექანიზმი მყარი იზოლაციის მოცულობაში და ცელულოზის მოლეკულის დესტრუქციის მექანიზმი.

2. Брай И.В. Регенерация трансформаторных масел. М. „Химия”, 1972. გვ. 164.

აღწერილია ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციის ფიზიკური და ქიმიური მეთოდები. აქვე განხილულია დაძველების პროდუქტების სტრუქტურა და ქიმიური შემადგენლობა. ნაჩვენებია ზეთის რეგენერაციის ხარისხზე დაძველების პროდუქტების შემადგენლობის გავლენა.

3. ჩიხლაძე რ. იზოლაციის ელექტრული გამოცდა და დიაგნოსტიკა. “საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი” 2010წ. 293გვ.

მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთს მიღების პროცესი და აღწერილია მისი დანიშნულება, ასევე ნაჩვენებია ტრანსფორმატორის ზეთის დადებითი და

უარყოფითი მხარეები. მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთის განმენდის სხვადასხვა საშუალებები: მუავერ-ტუტოვანი, სელექციური, ჰიდროგანმენდა და ადსორბენტებით განმენდა. ნაჩვენებია ტრანსფორმატორის ზეთში სხვადასხვა ნახშირწყალბადების პროცენტული შემადგენლობა.

4. რ.ჩიხლაძე, ი.ვახტანგაძე, ე.ჩიხლაძე, „გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე“ ურნალი „ენერჯია“, 2015, №1(73).

მოცემულია გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე. წარმოჩენილია გუმბრინის თიხით, ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისას, ტემპერატურის, არევის სიჩქარის და გუმბრინის თიხის კონცენტრაციის ოპტიმალური სიდიდის განსაზღვრა.

5. რ.ჩიხლაძე, ი.ვახტანგაძე, ე.ჩიხლაძე, „გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე“ ურნალი „ინტელექტუალი“, 2015, №28.

მოცემულია გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე, ასევე მოცემულია, შემდეგი ნახაზები: 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ზედაპირული დაჭიმულობის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე და 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების მუავერი რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე. საბოლოოდ მოყვანილია დასკვნა, რომ გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისას, რეგენირებული ზეთის ყველა ფიზიკური მახასიათებელი უმჯობესდება, მაგრამ ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის, სინათლის სხივის გარდატეხის მაჩვენებლის და ფერის ცვლილება, უფრო

საგრძობია, ვიდრე ზეთის სიმკვრივის ცვლილება და მაქსიმალური ეფექტი რეგენერაციის პირველი ორი საათის განმავლობაში მიიღწევა.

6. ი.ვახტანგაძე, „ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია“, ჟურნალი „ენერჯია“, 2014, №4(72).

მოცემულია, გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე, ასევე მოცემულია, შემდეგი ნახაზები: 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების $t_{გდ90}$ დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე, 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის ρ_{90} დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე და 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ვერმანის კოეფიციენტის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე. საბოლოოდ მოყვანილია დასკვნა: რეგენერაციის ხანგრძლივობის გაზრდით რეგენირებული ზეთის ელექტრული მახასიათებლები უმჯობესდება და რეგენერაციის მაქსიმალური ეფექტი ოთხი საათის განმავლობაში მიიღწევა.

7. Михеев Г.М. Трансформаторное масло. м. 2003. 102გვ.

მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთის მახასიათებლები, აღწერილია თითოეული მახასიათებლით და მათი მნიშვნელობები. მოცემულია მინარევებისგან განმედილი ტრანსფორმატორის ახალი ზეთის $t_{გდ}$ ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ნახაზი.

8. Липштейн Р. А., Шахнович VI. И., Трансформаторное масло, Изд. «Энергия», 1968.

მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების პროცესი და დაძველების პროცესის დამაჩქარებელი მიზეზები, ასევე მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთში მინარევების სახეები, მათი წარმოშობის მიზეზები და მათი გავლენა ზეთის თვისებებზე.

მოცემულია დაძველების შედეგად ტრანსფორმატორის ზეთის ფერის ცვლილების ნახაზი, მსუბუქად, საშუალოდ და ძლიერ დაძველებული ზეთებისთვის.

9. Шашки н П. И., Брай И.В. Регенерация отработанных нефтяных масел, Изд. «Химия», 1970.

მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთის მინარევებისგან განმნდის ფიზიკური მეთოდები. წარმოდგენილია დაძველებული ზეთის სილიკაგელით რეგენერაციის პრინციპული სქემა.

10. ГОСТ 7822-75 Определение влагосодержания количественно.

მოცემულია ტრანსფორმატორის ზეთში ტენზომეტრის განსაზღვრის მეთოდი და მოცემულია კუთრი ტენზომეტრის საანგარიშო ფორმულა. ასევე წარმოდგენილია ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველებისას ტენზომეტრის ცვლილების მიმდინარეობა.

თავი 1. ამოცანის დასმა

1.1 ტრანსფორმატორის ზეთის მიღება და დანიშნულება

ელექტროსაიზოლაციო სისტემის ერთ-ერთ განუყოფელ ნაწილს თხევადი საიზოლაციო მასალები – ზეთები წარმოადგენს. წარმოშობის მიხედვით ბუნებრივ და ხელოვნურ ზეთებად იყოფა.

ბუნებრივი საიზოლაციო ზეთები ნავთობის გადამუშავების პროდუქტებია და მათ ტრანსფორმატორის, საკაბელო და საკონდენსატორო ზეთები განეკუთვნება.

ხელოვნური ზეთები, გარკვეული მოთხოვნების დაკმაყოფილების მიზნით ხელოვნური გზით არის მიღებული და მათ შედარებით კარგი ელექტროსაიზოლაციო და თბური თვისებები გააჩნია, მაგრამ ძვირადღირებულია.

თავდაპირველად ტრანსფორმატორები დაბალი ძაბვის იყო და ზეთის დანიშნულებას მაგნიტოგამტარის და იზოლაციის ატმოსფეროს ზემოქმედებისგან დაცვა და აქტიური ნაწილის გაცივება წარმოადგენდა.

მუშა ძაბვის ზრდასთან ერთად ტრანსფორმატორის ზეთს ელექტრული იზოლაციის შექმნის და ელექტროტექნიკური ქაღალდის გაუღენტვის ფუნქციაც დაემატა. რადგან მისი ელექტრული სიმტკიცე 5-10-ჯერ აღემატება ჰაერის ელექტრულ სიმტკიცეს, ამით ტრანსფორმატორის ზეთის გამოყენებით ელექტროტექნიკური მონაცობილობების გაბარიტი საგრძნობლად შემცირდა და საიზოლაციო სისტემის მუშა ძაბვა გაიზარდა.

ტრანსფორმატორის ზეთის მეორე დანიშნულება – კონვექციის საშუალებით სითბოს გამოტანა ტრანსფორმატორის გრაგნილიდან და

გარემოზე გადაცემა. ელექტრომონოცილობების სიმძლავრის გაზრდისას აღმოჩნდა, რომ ტრანსფორმატორის ზეთი სხვადასხვა ხელშემწყობი პირობების საშუალებით ამ ფუნქციას კარგად ასრულებს. [1]

ექსპლუატაციისას ტრანსფორმატორის ზეთის საიზოლაციო მახასიათებლები საგრძნობლად უარესდება, ხოლო თბური თვისებები შედარებით ნაკლებად მცირდება და ეს შემცირებაც ელექტრული თვისებების გაუარესების გამომწვევ მიზეზებთანაა დაკავშირებული. ამის გამო, საექსპლუატაციო ნორმებში უფრო მეტი ყურადღება ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრულ მახასიათებლებს ეთმობა.

თავდაპირველად ტრანსფორმატორის ზეთი ზემოთაღნიშნული ორი ფუნქციის შესასრულებლად გამოიყენებოდა, მაგრამ გასული საუკუნის 70-იან წლებში აღმოჩნდა, რომ ტრანსფორმატორის გრაგნილში მიმდინარე მოვლენების მახასიათებელი პროდუქტები ზეთში კარგად იხსნება. ე.ი. ზეთი ამ მოვლენების მახასიათებელი ინფორმაციის გრაგნილიდან გამოტანის როლს ასრულებს. ამგვარად, ტრანსფორმატორის ზეთი ენერგომონოცილობების საიზოლაციო სისტემის არა მარტო განუყოფელი, არამედ ამ მონოცილობის მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის მატარებელიც არის.

ძალიან ტრანსფორმატორებში, ავტოტრანსფორმატებსა და რეაქტორებში ტრანსფორმატორის ზეთი ზემოთ აღნიშნულ სამივე ფუნქციას ასრულებს, ხოლო საზომ ტრანსფორმატორებში, ძაბვის შემყვანებში, კაბელებსა და კონდესატორებში ზეთს, შეფერხებული მოძრაობის გამო, სითბოგადატანის ფუნქცია შეზღუდული აქვს. რაც შეეხება ზეთიან ამომრთველებს, აქ ზეთის რკალჩამქორბი და ელექტროსაიზოლაციო თვისებებია მნიშვნელოვანი. [2]

დადებით თვისებებთან ერთად ტრანსფორმატორის ზეთს მთელი რიგი არასასურველი თვისებები აქვს, კერძოდ, მიღების ტექნოლოგიის სირთულე, ტოქსიკურობა, მავნე გავლენა გარემოზე და წყვის უნარი.

ტრანსფორმატორის ზეთი ნავთობის ფრაქციული გამოხდის პროდუქტია. გამოხდის ტემპერატურა 300°C -დან 400°C -მდე იცვლება. ზოგჯერ მიღებული პროდუქტის რაოდენობის გაზრდის მიზნით გამოხდის ტემპერატურულ დიაპაზონს 280°C -დან 430°C -მდე ადიდებენ. მიღებულ პროდუქტს სხვადასხვა სახის განმენდას უტარებენ და შემდეგ დაჟანგვის საწინააღმდეგო მისართს – იონოლს უმატებენ.

იონოლს ძირითადად რუსული წარმოების ზეთები შეიცავენ, ხოლო ევროპული ტექნოლოგიით დამზადებული ზეთები, უმეტეს შემთხვევაში, დაჟანგვის საწინააღმდეგო მისართის გარეშე გამოიყენება.

გამოხდის შემდეგ გამოყენებული განმენდის მეთოდის მიხედვით ტრანსფორმატორის ზეთები იყოფა:

1. მჟავურ-ტუტოვანი განმენდით მიღებულ ზეთებად. რაც გამოხდილი ფრაქციის კონცენტრირებული გოგირდმჟავით დამუშავებაში გამოიხატება. ნარჩენი მჟავის ზეთისგან მოსაცილებლად, ზეთს ტუტით ამუშავებენ და შემდეგ წყლის გარეცხვას და შრობას უტარებენ;
2. სელექციური (არჩევითი) გამხსნელით განმენდა. ამ შემთხვევაში გამხსნელი ისეა შერჩეული, რომ ის ხსნის ზეთის არასასურველ მინარევებს და ხსნართან ერთად გამოაქვს. ამ სახის გამხსნელად ძირითადად ფენოლი გამოიყენება.
3. ჰიდროგანმენდით – წყალბადით დამუშავებით. მიღებული ზეთები. კატალიზატორსა და 400°C -მდე ტემპერატურის მქონე ზეთში

40 ატმოსფეროს წნევით წყალბადი შეჰყავთ, რომელიც ზეთის არასასურველ მინარევების ჰოდროკრეკინს ახდენს.

4. ადსორბენტებით განმენდილი ზეთის მილებისას თრაქციის ისეთი თიხებით დამუშავება ხდება, რომლებიც მინარევების ადსორბციას ახდენს და გაფილტვრის შემდეგ ზეთიდან ამ მინარევებთან ერთად გამოცალკევდება.

განმენდის მიზანია გამოხდის შემდეგ დარჩენილი ისეთი მინარევების მოცილება, რომლებიც ამცირებენ ზეთის მდგრადობას (სტაბილურობას) მოლეკულური ჟანგბადის დაბალ ტემპერატურაზე. ასეთ მინარევებს უჯერი ნახშირწყალბადები აზოტი და გოგირდის შენაერთები, ასფალტფისოვანი ნივთიერებები, მყარი ნახშირწყალბადები და სხვა ნაერთები მიეკუთვნება.

ტრანსფორმატორის ზეთი სხვადასხვა ნახშირწყალბადების ნარევის წარმოდგენს (ცხრილი №1), რომლის სტრუქტურულ-ჯგუფურ შემადგენლობაში არომატური, ნათეთენური და პარაფინული ნახშირწყალბადები შედიან. [3]

ტრანსფორმატორის ზეთის შემადგენლობაში მყოფი პარაფინული და ციკლოფარაფინული ნახშირწყალბადები (C_p) ნაჯერ ნახშირწყალბადებს წარმოადგენს ე.ი ნახშირბადის ატომებს შორის ორმაგი კავშირი არ გააჩნიათ, რაც მაღალ მდგრადობას და დაბალ ქიმიურ აქტივობას განაპირობებს.

ცხრილი №1 ნახშირწყალბადები ტრანსფორმატორის ზეთში

№	დასახელება	შემცველობა %
1.	პარაფინები	40-60
2.	ნაფთენები	35-55
3.	არომატული ნახშირწყალბადები	2-20
4.	ასფალტ-ფისოვანი ნივთიერებები	<1
5.	გოგირდშემცველი ნაერთები	<1
6.	აზოტშემცველი ნაერთები	<0.8
7.	დაჟანგვის საწინააღმდეგო მისართი (იონოლი)	0.2-0.5

პარაფინული ნახშირწყალბადების დიდი შემცველობა ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტულ თვისებებზე აუარესებს, ასევე დაბალდტემპერატურული თვისებების გაუარესებასაც იწვევს. პარაფინულ ნახშირწყალბადებს ფეთქის მაღალი ტემპერატურა გააჩნია და მათ დიდი შემცველობა ლითონის ზედაპირზე ორმაგ შრეს წარმოქმნის, რომლის ერთი ნაწილი ლითონის ზედაპირს უძრავად ეკვრის, ხოლო მეორე შედარებით მოძრავია, ეს კი ზემოთ აქტიური ნაწილის გაცეცხვას აფერხებს. ნაფთენური ნახშირწყალბადები ტრანსფორმატორის ზეთის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს. ისინი საუკეთესო დიელექტრიკული თვისებებით ხასიათდება, გააჩნია ტვმ-ს ძალიან მცირე მნიშვნელობა, რომელიც ტემპერატურის მიხედვით თითქმის არ იცვლება, მაგრამ ქიმიურად არასტაბილურია. მაღალი ტემპერატურისას რეაქციაში შედის უანგბადსა და წყლის მოლეკულებთან.

არომატული ნახშირწყალბადები ტრანსფორმატორის ზეთის თვისებებზე საგრძნობ გავლენას ახდენს. არომატული ნახშირწყალბადები როგორც ნეიტრალური, ასევე დიპოლური მოლეკულებისაგან შედგება.

ნეიტრალური მოლეკულების მქონე არომატული ნახშირწყალბადები ტრანსფორმატორის ზეთში შემავალ ყველა ნახშირწყალბადზე მეტად სტაბილურია. დიპოლური მოლეკულების მქონე არომატული ნახშირწყალბადები კი ზეთის ტენზიონის ზრდის და ტენზიმცველობას ადიდებს, ხოლო ექსპლუატაციისას ადვილად ძველდება და დიდი რაოდენობით შლამს წარმოქმნის.

აღნიშნულის გარდა, ტრანსფორმატორის ახალი ზეთი სხვა ნახშირწყალბადებსაც შეიცავს, რომელთა საერთო რაოდენობა განმდინების მიუხედავად 0.1%-მდეა. ასეთი ნახშირწყალბადებია: გოგირდის შენაერთები, მყარი პარაფინები, ასფალტ-ფისოვანი ნაერთები და სხვა. ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების შედეგად მათი შემცველობა იზრდება.

ამ ნივთიერებების რაოდენობა ტრანსფორმატორის ზეთის ფერს განსაზღვრავს. თუ ისინი მცირე რაოდენობისაა, მაშინ ზეთი ღია ან თითქმის უფეროა, ხოლო მათი რაოდენობის გაზრდით ზეთი უფრო მუქი ხდება, ე.ი. ფერი ზეთის დაძველების შესახებ გარკვეულ ინფორმაციას იძლევა.

ტრანსფორმატორის ზეთი ნეიტრალურ დიელექტრიკს წარმოადგენს, მაგრამ ელექტრული ველის და ტემპერატურის მოქმედებით რეაქციაში შედის სპილენძთან, რკინისათან, კალასთან და ტრანსფორმატორის ავში მყოფ სხვა ლითონებთან, რის შემდეგაც ლითონორგანული შენაერთები წარმოიქმნება. ეს კი ზეთის ტენზიონის გაზრდას იწვევს.

ტრანსფორმატორის ზეთის საექსპლუატაციო თვისებებს მისი ფიზიკური, ელექტრული, ქიმიური და დაჟანგვის მიმართ სტაბილურობის

მახასიათებელი პარამეტრები განსაზღვრავს. ამ მახასიათებლების სიდიდეები სხვადასხვა სტანდარტით არის განსაზღვრული, ხოლო ექსპლუატაციაში მათი ცვლილების შესაძლო ზღვარს საექსპლუატაციო ნორმატიული დოკუმენტი აღგენს.

ტრანსფორმატორის ზეთს დიდი რაოდენობით აირების შთანთქმა შეუძლია, კარგად დეგაზირებული ზეთი ნორმალურ წნევაზე მისი მოცულობის ტოლ ჰაერს შთანთქავს. ატმოსფერული აზოტი ზეთის თვისებებზე გავლენას არ ახდენს, ხოლო უანგბადი ზეთის აქტიურ დაუანგვას იწვევს.

მდგომარეობის მიხედვით ტრანსფორმატორის ზეთი ახალ, საექსპლუატაციო, ექსპლუატაციისთვის გამოუსადეგარ (ნამუშევარ) და აღდგენილ ზეთებად იყოფა.

ნავთობის გადამუშავებით დამზადებულ ელექტროსაიზოლაციო ზეთს, რომელიც შესაბამისი სტანდარტის მოთხოვნებს აკმაყოფილებს და გარკვეული გადამუშავების შემდეგ ელექტრომონციობილობებში გამოიყენება, ტრანსფორმატორის ახალ (ნედლ) ზეთს უწოდებენ.

ექსპლუატაციაში მყოფ ელექტრომონციობილობის ზეთს, რომელიც საექსპლუატაციო ნორმის “ნორმალური მდგომარეობის” მოთხოვნებს აკმაყოფილებს, საექსპლუატაციო ზეთი ეწოდება.

თუ ექსპლუატაციაში მყოფი ზეთის ერთი ან რამოდენიმე მახასიათებელი პარამეტრიც საექსპლუატაციო ნორმის “ზღვრულ დასაშვებ” მნიშვნელობას არ აკმაყოფილებს, მაშინ ზეთი ექსპლუატაციისთვის გამოუსადეგარია და საექსპლუატაციო ნორმის მიხედვით, მისი ექსპლუატაცია დაუშვებელია.

ექსპლუატაციიდან გამოყვანილ ზეთს, რომლის მახასიათებლები გადამუშავების შედეგად გაუმჯობესდა და შესაბამის მოთხოვნებს აკმაყოფილებს, აღდგენილ (რეგენირებულ) ზეთს უწოდებენ.

1.2 ტრანსფორმატორის ზეთის მახასიათებლები

ტრანსფორმატორის ზეთი ქიმიური მრეწველობის პროდუქტია. ექსპლუატაციისას მისი თვისებები და ქიმიური შემადგენლობა გარკვეულ ცვლილებას განიცდის, რაც ზეთის ფიზიკურ, ქიმიურ და ელექტრულ მახასიათებლებზეც აისახება. ამიტომაც, ზეთის სრული შეფასება მრავალი მახასიათებლის განსაზღვრას მოითხოვს.

1. ტრანსფორმატორის ზეთის სიმკვრივე გვიჩვენებს 1მ^3 მოცულობის მქონე ზეთის წონას კგ-ში. როგორც წესი, ნავთობპროდუქტების სიმკვრივე დენსიმეტრით 20°C ტემპერატურაზე იზომება და D_{20} -ით აღნიშნავენ. განსხვავებულ ტემპერატურაზე გაზომვის შემთხვევაში მიღებული D_t სიდიდით D_{20} -ის გაანგარიშებისთვის მენდელეევის ფორმულას იყენებენ:

$$D_{20} = D_t[1+a(t-20)] \quad (1)$$

სადაც, a ტრანსფორმატორის ზეთი მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტია და $a = 0,00066 \frac{1}{\text{გრად}}$.

ტრანსფორმატორის ზეთის სიმკვრივე $800-890\text{კგ/მ}^3$ ფარგლებში იცვლება. ზედა ზღვარი იმ პირობითაა შენარჩუნებული, რომ დაბალ ტემპერატურაზე ზეთში ცინულის წარმოქმნისას ცინული ზეთში ზედაპირზე არ უნდა ამოტივტივდეს.

ზეთის სიმკვრივე ქიმიური შემადგენლობით არის განპირობებული და ზეთის სახასიათო პარამეტრია. რაც მეტია ზეთში არომატული და ნათეთნური ნახშირწყალბადები, მით მეტია სიმკვრივე.

ექსპლუატაციაში ზეთის სიმკვრივის ზრდა მისი დაძველების ნიშანია.

2. ტრანსფორმატორის ზეთის ფერი მასში ასფალტფისოვანი ნაერთების არსებობითაა განპირობებული. რაც კარგადაა განმენდილი ზეთი, მით ღია ფერისაა. ტრანსფორმატორის ახალი ზეთის ფერი სპეციალური ხელსაწყო საშუალებით განისაზღვრება და 0.5-1.5 ბალამდე იცვლება.

ექსპლუატაციის განმავლობაში ზეთის ფერის მატება მასში დაძველების პროდუქტების არსებობითაა განპირობებული.

3. ტრანსფორმატორის ზეთის სიბლანტე დამოკიდებულია ტემპერატურასა და ზეთის სტრუქტურულ შემადგენლობაზე. თუ ზეთი დიდი სიბლანტისაა, ის ზეთსავალ არხებში ძნელად მოძრაობს და გაცივების ეფექტიც ნაკლებია.

ექსპლუატაციის განმავლობაში ზეთის სიბლანტის მატება ზეთში მინარევების წარმოქმნასა და დაძველებაზე მიუთითებს.

4. ტრანსფორმატორის ზეთის სითბოგამტარობას და სითბოტევადობას ზეთის შემადგენლობა და სიმკვრივე განსაზღვრავს. ისინი მნიშვნელოვანი მახასიათებლებია ზეთის გაცივების უნარის შესაფასებლად, საექსპლუატაციო ზეთებისათვის არ განისაზღვრება.

5. ტრანსფორმატორის ზეთის ფეთქის ტემპერატურა ($t_{ფ}$) სპეციალურ დახურულ ტიგელში განისაზღვრება. ახალი ზეთისთვის მისი სიდიდე $135^{\circ}C$ აღემატება. ფეთქის ტემპერატურა ზეთის ცალკეულ ფრაქციების აორთქლების უნართაა განპირობებული და გვიჩვენებს იმ ტემპერატურას, რომელზეც ზეთის ორთქლის წნევა ატმოსფერულ წნევას აღემატება. რაც უფრო კარგად არის განმენდილი ზეთი ადვილად აორთქლებადი ფრაქციებისგან, მით მეტია $t_{ფ}$.

ექსპლუატაციისას $t_{\text{ფ}}$ -ს შემცირება ზეთის დაძველებაზე და მასში ადვილად აორთქლებადი ფრაქციების წარმოქმნაზე მიუთითებს.

6. ტრანსფორმატორის ახალი ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობა 40-50კნ/მ ზეთში პოლარული ნაწილაკების არსებობითაა განპირობებული. ექსპლუატაციისას ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირება ზეთის დაძველების დაწყებაზე მიუთითებს. მისი შემცირება ტრანსფორმატორის ზეთის სხვა მახასიათებლებზე ადრე გამოავლენს ზეთში პოლარული ნაწილაკების წარმოქმნას, ე.ი. ზეთის დაძველების დაწყებას.

7. აირშემცველობა, ტენშემცველობა და მექანიკური მინარევების რაოდენობა ტრანსფორმატორის ახალი ზეთისთვის არ ისაზღვრება, რადგან გამოყენების წინ ახალ ზეთს სხვადასხვა სახის დამუშავებას უტარებენ. ეს მახასიათებლები ექსპლუატაციაში მყოფი ზეთებისთვისაა მნიშვნელოვანი და ზეთის მდგომარეობის მასახისათებელ პარამეტრებს წარმოადგენს.

8. გარდატეხის მაჩვენებელი (n) სინათლის სხივის სიჩქარის ცვლილებას ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლისას ახასიათებს და ტრანსფორმატორის ახალი ზეთისთვის ერთ-ერთ მაიდენტიფიცირებელ პარამეტრს წარმოადგენს, ხოლო ექსპლუატაციაში მყოფი ზეთისთვის, ვერმანის კოეფიციენტის საშუალებით, ზეთის დაველების ხარისხის განმსაზღვრელია. გარდატეხის მაჩვენებლის გაზრდა ზეთის დაძველებაზე მიუთითებს.

ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრულ მახასიათებლებს ელექტრული სიმტკიცე, ფარდობით დიელექტრიკული შეღწევადობა, კუთრი წინაღობა, ვერმანის კოეფიციენტი და დიელექტრიკული დანაკარგები წარმოადგენს.

ზეთის მწარმოებელი ქარხანა ელექტრული პარამეტრებიდან მხოლოდ დიელექტრიკულ დანაკარგებს ითვალისწინებს, ხოლო საექსპლუატაციო ნორმებით ყველა ელექტრული პარამეტრის სიდიდის განსაზღვრაა აუცილებელი.

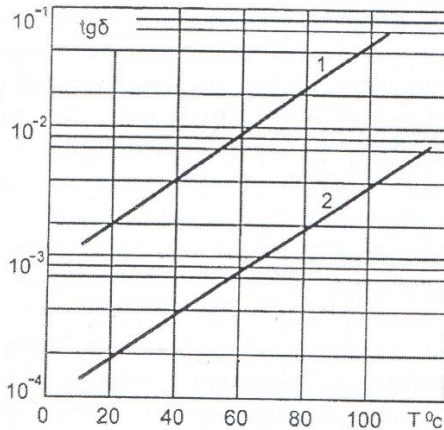
9. ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული სიმტკიცე სპეციალური ხელსაწყოთა საშუალებით სტანდარტულ ელექტროდთა სისტემაში განისაზღვრება, სადაც ელექტროდებს შორის მანძილი 2.5მმ-ის ტოლია. მას ამ შუალედში მოთავსებული ზეთის გამრღვევ ძაბვას ($u_{გამ.}$) უწოდებენ და კილოვოლტებით გამოსახავენ. მისი სიდიდე ენერგომონოცილობის ძაბვის კლასით არის განსაზღვრული და სპეციალურ ნორმებშია მითითებული. ამ ნორმებშია მითითებული საექსპლუატაციოდ მომზადებული ახალი ზეთის, ექსპლუატაციაში მყოფი და რეგენირებული ზეთის U-გამ. სიდიდეები, ძაბვის კლასიდან გამომდინარე.

10. ტრანსფორმატორის ზეთის $\epsilon_{გ}$ და კუთრი წინაღობა (ρ), ურთიერთდაკავშირებული პარამეტრებია.

ტრანსფორმატორის ახალ ზეთს ტენისა და მინარევების მოცილების შემდეგ $90^{\circ}C$ ტემპერატურაზე კუთრი წინაღობის დიდი მნიშვნელობა ($> 10^{12}$ ომი) და $\epsilon_{გ}$ -ს მცირე სიდიდე (0.2%) გააჩნია. ექსპლუატაციისას ეს პარამეტრებიც ცვლილებას განიცდის და მათი სიდიდე ელექტრომონოცილობის მუშა ძაბვის სიდიდის მიხედვით საექსპლუატაციო ნორმით არის განსაზღვრული.

ტრანსფორმატორის ზეთის $\epsilon_{გ}$ სიდიდეზე დიდ გავლენას ტენი და მინარევები ახდენს. მინარევებისგან განმედილი ახალი ზეთის $\epsilon_{გ}$ სიდიდე ტემპერატურის გაზრდით სწორხაზოვნად იზრდება, რაც ელექტროგამტარობის სწორხაზოვნად ზრდითაა განპირობებული.

თუ ტრანსფორმატორის ზეთში მინარევებია, მაშინ $\epsilon_{გ}$ შედარებით მეტია, ვიდრე ახალი ზეთი და $\epsilon_{გ}$ -ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მრუდი არასწორხაზოვანია. ამ დამოკიდებულებაზე $\epsilon_{გ}$ მკვეთრი ზრდა იმ მინარევების აქტივაციითაა განპირობებული, რომლებიც ზეთის ელექტროგამტარობას განაპირობებს.



ნახ №1 მინარევებისგან გაწმენდილი ტრანსფორმატორის ახალი ზეთის $\text{tg}\delta$ დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 1 – მუჟავათი და 2 – ადსორბენტებით გაწმენდილი.

11. ტრანსფორმატორის ახალი ზეთი თხევად ნეიტრალურ დიელექტრიკს წარმოადგენს, რომლის ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა 20°C ტემპერატურაზე 2.5-ზე ნაკლებია და ტემპერატურის ზრდით სწორხაზოვნად მცირდება. თუ ზეთი ძლიერ დაძველებულია ან დიდი რაოდენობით ტენსა და მინარევებს შეიცავს, მაშინ ϵ_r სიდიდე უფრო მეტია, ვიდრე ახალი ზეთის და ტემპერატურის მიხედვით სწორხაზოვნად არ იცვლება.

12. ვერმანის კოეფიციენტი ტრანსფორმატორის ზეთში დიპოლური ნაწილაკების არსებობას გამოავლენს და ზეთის ხარისხის შემათავსებელი პარამეტრია.

ტრანსფორმატორის ზეთის ქიმიური მახასიათებლებიდან მნიშვნელოვანია მუჟავური რიცხვი, წყალში ხსნადი მუჟავების რაოდენობა და დაჟანგვის საწინააღმდეგო მისართის – იონოლოს შემცველობა.

13. ტრანსფორმატორის ზეთის მუჟავური რიცხვის, კალიუმის ჰიდროქსიდის (KOH), იმ რაოდენობას გამოსახავს, მილიგრამებში, რომლებიც ერთ გრამ ტრანსფორმატორის ზეთში არსებული მუჟავური ნაერთების გასანეიტრალებლად საჭირო. მისი განზომილებაა გრამი KOH/1გრამ ზეთზე.

ახალი ზეთი ძალიან მცირე რაოდენობის მუჟავურ ნაერთებს შეიცავს, შესაბამისად, მისი მუჟავური რიცხვიც მცირეა (<0.01გრამი KOH/1გრამ) ექსპლუატაციაში ზეთის დაძველების შედეგად მუჟავური რიცხვი იზრდება და მისმა სიდიდემ შესაძლოა “ზღვრულ დასაშვებ” მნიშვნელობასაც (0.25გრამი KOH/1გრამ ზეთზე) გადააჭარბოს. ასეთი ზეთის გამოყენება ყოველად დაუშვებელია, რადგან მუჟავე ზეთი მყარ იზოლაციას აზიანებს.

14. ტრანსფორმატორის ახალ ზეთში წყალში ხსნადი მუჟავეები თითქმის არ არის, მაგრამ ექსპლუატაციაში ზეთი დაჟანგვის შედეგად წარმოიქმნება. თუ დაჟანგვის შედეგად წარმოქმნილი მუჟავეების მოლეკულაში ნახშირბადის ატომები რიცხვი ოთხს არ აღემატება, მაშინ ისინი წყალში ხსნადებია, ასეთებია: ძმარმუჟა, ჭიანჭველამუჟა, ერბომუჟა და სხვა. ისინი ელექტრული ველისა და ტემპერატურის მოქმედებით მყარ იზოლაციას აზიანებს.

15. ტრანსფორმატორის ზეთში დაჟანგვის საწინააღმდეგო მისართი ჟანგვის პროცესების შესანელებლად, ან დაჟანგვით წარმოქმნილი პროდუქტები, ისეთ მდგომარეობაში გადასაყვანად გამოიყენება, როდესაც ისინი ზეთის თვისებებზე გავლენას ვერ ახდენს.

ორივე შემთხვევაში ის ზეთს დაჟანგვის მიმართ სტაბილურობას ანიჭებს, მაგრამ მისი კონცენტრაცია დროთა განმავლობაში მცირდება. ამ სახის მისართები ზეთში იონოლის სახელით არის ცნობილი.

იონოლის რაოდენობა ტრანსფორმატორის ახალ ზეთში, ზეთის წონის 0.4%-ს არ აღემატება, საექსპლუატაციო ზეთისთვის კი ნაკლებია. მისი

რაოდენობის დადგენა სვადასხვა მეთოდებით შეიძლება, მაგრამ ყველაზე გავრცელებულია თხელშრული ქრომატოგრაფიული მეთოდი.

16. ტრანსფორმატორის ზეთის დაჟანგვის მიმართ მდგრადობის შეფასება მისი ხანგრძლივი ექსპლუატაციისთვისაა მნიშვნელოვანი. ამის გამო, ზეთის გამოცდის დაჩქარებული მეთოდი შემუშავეს, რომელთა არსი შემდეგია: ზეთს სპეციალურ მოწყობილობაში $130 - 155^{\circ}C$ -მდე აცხელებენ. მასში სპილენძის ფირფიტას ათავსებენ და 14-120 საათის ან მეტი დროის განმავლობაში ჟანგბადს ატარებენ, ე.ი. აძველებენ. [4]

გამოცდის დამთავრების შემდეგ ზეთი მჟავურ რიცხვს და დაძველების შედეგად წარმოქმნილი შლამის რაოდენობას საზღვრავენ. აგრეთვე ათვისებენ სპილენძის ფირფიტის ზედაპირის მდგომარეობას. ასეთი გამოცდა ისეთივე შედეგს იძლევა, რასაც ზეთი 20-25 წლის განმავლობაში ნორმალური ექსპლუატაცია.

დაჟანგვის მიმართ სტაბილურობის შემოწმება, ახალ ან რეგენირებულ ზეთს უტარდება და შედეგები ზეთის სერთიფიკატშია ასახული.

1.3 ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველება

ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველება მასზე ტემპერატურის, ელექტრული ველის და მეტალების კატალიზატორული ზემოქმედებით მიმდინარეობს. წყალი და უანგბადი დაძველების პროცესს კიდევ უფრო აჩქარებს. თუ ელექტრომონწყობილობის ჰერმეტიზაცია დარღვეულია ან ზეთს სპეციალური დაცვა არ გააჩნია, მაშინ მასში ჰაერთან ერთად უანგბადი ადვილად აღწევს. რეაქციაში შედის ზეთის მოლეკულებთან და დიპოლურ მოლეკულებს წარმოქმნის. ეს მოვლენა ზეთის დაუანგვის სახელით არის ცნობილი.

დაუანგვის პროდუქტები ზეთის ყველა მახასიათებლის გაუარესებას და მყარი იზოლაციის დაშლას იწვევს. ამ მოვლენის შესამცირებლად ტრანსფორმატორის ზეთს ანტიდამუანგავ მისართს იონოლს ან აგიდოლ-ს უმატებენ.

ზეთის დაძველების პროცესის მიმდინარეობაზე მნიშვნელოვან გავლენას თვით ზეთის შემადგენლობა ახდენს, რაც მეტია ზეთში ნაფტენური და არომატული ნახშირწყალბადები, მით ზეთი სტაბილურია დაუანგვის მიმართ. მაგრამ მათი გაზრდა ზეთის სხვა საექსპლუატაციო მახასიათებლების გაუარესებას იწვევს.

დაძველების პროცესში მცირდება ზეთის გამრღვევი ძაბვა და კუთრი წინაღობა. იზრდება დიელექტრიკული დანაკარგები და დიელექტრიკული შეღწევადობა.

ფიზიკური მახასიათებლებიდან იზრდება სიმკვრივე, გარდატეხვის და ვერმანის კოეფიციენტები და ზეთის ფერი უფრო მუქი ხდება, ხოლო ზედაპირული დაჭიმულობა მცირდება.

ქიმიური მახასიათებლებიდან იზრდება ზეთის მჟავური რიცხვი, ტენზომცველობა და წყალში ხსნადი მჟავების და ტუტეების რაოდენობა.

დაძველებით წარმოქმნილი ზეთში უხსნადი მყარი ნაწილაკები მექანიკური მინარევების რაოდენობას ზრდიან. ზეთში მათი ხსნადობა, რა თქმა უნდა ტემპერატურაზეა დამოკიდებული.

ზეთის დაძველება ხანგრძლივი პროცესია. როგორც დაკვირვებებმა აჩვენა, ეს პროცესი ტემპერატურის გაზრდით ინტენსიურად მიმდინარეობს. ძირითადად ზეთის დაუანგვით გამოიხატება. დაუანგვის პროცესს ხელს უწყობს სინათლის სხივი, ტემპერატურა, ზეთში გახსნილი უანგბადი, ხოლო კატალიზატორის როლს სპილენძი და სხვა მეტალების ასრულებენ.

უანგბადის არყოფნის შემთხვევაში ზეთის დაუანგვის პროცესი პრაქტიკულად არ მიმდინარეობს, მაგრამ უანგბადი მყარი იზოლაციის დაძველების შედეგად გამოიყოფა. უანგბადი თვით ზეთის მოლეკულების დაშლით ან მყარ იზოლაციაში ნაწილობრივი განმუხტვის შედეგად წარმოიქმნება. ამგვარად ტრანსფორმატორის ზეთში უანგბადი ყოველთვის არსებობს. ზეთის დაუანგვის პროცესში აგრეთვე ბმული და გახსნილი წყლის მოლეკულების უანგბადი მონაწილეობს. ამგვარად ზეთის დაუანგვის პროცესიც ზეთის ექსპლუატაციის მახასიათებელი მოვლენაა და რამოდენიმე ეტაპად მიმდინარეობს. [5]

ექსპლუატაციისას ტრანსფორმატორის ზეთის დაუანგვის საწყის პერიოდს საინკუბაციო პერიოდს უწოდებენ. ის ახალ ზეთში დაბალ ტემპერატურაზე ($30-60^{\circ}\text{C}$) მიმდინარეობს. ამ დროს ზეთის მოლეკულებს უანგბადი უკავშირდება, მაგრამ დაძველების პროდუქტები არ გამოიყოფა. ზეთის მოლეკულებთან უანგბადის კავშირის ან რამოდენიმე ცვლილების აღმოსაჩენად სხვადასხვა ფიზიკურ და ქიმიურ მეთოდებს მიმართავენ. ტრანსფორმატორის ზეთის

ანალიზისთვის გამოყენებული თანამედროვე ტექნიკური მეთოდებით ცვლილების გამოვლენა შეუძლებელია.

ინკუბაციის პერიოდი სხვადასხვა წარმოშობის ზეთებისთვის განსხვავებულია და მას ზეთის შემადგენლობა განაპირობებს. ტემპერატურის გაზრდით და სპილენძის კატალიზატორული მოქმედებით ინკუბაციის პერიოდის ხანგრძლივობა მცირდება.

შემდგომ ეტაპზე ზეთში დაჟანგვის მდგრადი პროდუქტების წარმოქმნა იწყება, როგორცაა დაბალმოლეკულური ორგანული მჟავები და ტუტეები, ორგანული ზეჟანგები, წყალი, შლამი, ნალექი და ზეთში უხსნადი სხვა პროდუქტები.

ამ პერიოდს დაჟანგვის ძირითად პერიოდს უწოდებენ. ამ ეტაპზე დაჟანგვის პროდუქტების მაქსიმალური რაოდენობა წარმოიქმნება, მაგრამ მათი მცირე ზომების გამო ისინი ზეთში შეტივტივებული არიან და შლამის სახით ნალექი ნაკლებად გამოიყოფა. ამ ეტაპზე ზეთის ყველა პარამეტრი მცირედ უარესდება, ზეთი უფრო მუქი ხდება და დაძველებისას წარმოქმნილი ორგანული მჟავების და ტუტეების კონცენტრაციის გაზრდით ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობა მცირდება.

დაჟანგვის პროცესი ზრდადი ინტენსიურობით უწყვეტად მიმდინარეობს, თვლიან, რომ დაჟანგვა ძირითადად ეგრეთწოდებულ “სუსტ რგოლებზე” ხდება და მათი რაოდენობის შემცირებით დაჟანგვის ძირითადი ეტაპიც მთავრდება და დაჟანგვის ინტენსივობა შედარებით ნაკლებია.

დაჟანგვის საბოლოო პერიოდში დაჟანგვის ინტენსივობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე ძირითად პერიოდში. ამასთანავე, ძირითად პერიოდში წარმოქმნილი მცირე ზომის ნაწილაკები ერთმანეთთან კოვალენტურ კავშირს ამყარებს და ნალექი ინტენსიურად გამოიყოფა. ამ პერიოდში აგრეთვე

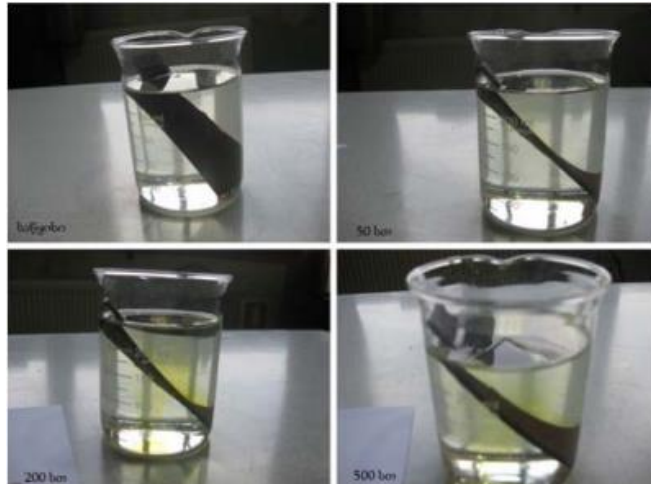
ფენოლოური ნაერთები წამოიქმნება, რომლებიც ზეთის და მყარი იზოლაციის დაძველების პროდუქტებია.

წარმოქმნილი ნალექი არა მარტო ზეთის მახასიათებლებს აუარესებს, არამედ აქტიური ნაწილის ზედაპირიდან სითბოგადაცემას ამცირებს, ხოლო ზოგჯერ ზეთსავალ არხებს კეტავს. ამასთანავე წარმოქმნილი ორგანული მჟავები მყარი იზოლაციის დესტრუქციას და დაძველებას იწვევს.

ტრანსფორმატორის ახალი, ან რეგენირებული ზეთის დაუანგვისადმი მდგრადობის შესაფასებლად სხვადასხვა მეთოდები გამოიყენება. ექსპლუატაციაში წარმოქმნილი დაუანგვის პროდუქტებით, საექსპლუატაციო ზეთის მახასიათებლების ცვლილება ყოველმხრივ შესწავლილია, მაგრამ მყარი იზოლაციაში გახსნილი დაძველების პროდუქტების, ან რემონტის შემდეგ ელექტრომონტობილობაში დარჩენილი ზეთის დაძველების პროდუქტები, ახალი, ან რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები იცვლება და მასში დაძველების პროცესის მიმდინარეობის შესწავლას მოითხოვს.

ახალი ან რეგენირებული ზეთის გარემონტებულ ელექტრომონტობილობაში ჩასხმისას, მყარ იზოლაციაში და აქტიური ნაწილის ზედაპირზე დარჩენილი ზეთის დაძველების პროდუქტების დიფუზიის და ზეთის მოძრაობით თანდათან იხსნება. ამ პროცესს ტემპერატურა უწყობს ხელს.

თუ ზეთი მხოლოდ სითბური კონვექციით მოძრაობს, მაშინ დაძველების პროდუქტების გახსნა შედარებით ნელა მიმდინარეობს და გახსნის პროცესს მინარევების დიფუზია განაპირობებს. ხოლო ზეთის იძულებითი მოძრაობისას ეს პროცესი ძლიერდება.



ნახ №2 ტრანსფორმატორის ახალ ზეთში მყარი
იზოლაციიდან მინარევების გახსნა

ნახ №2-ზე ნაჩვენებია ტრანსფორმატორის ახალ ზეთში მინარევების გახსნის პროცესის მიმდინარეობა $80 \pm 5^{\circ}C$ ტემპერატურაზე, როდესაც ზეთი არ მოძრაობს. ამასთანავე დაძველებულზეთიანი ტრანსფორმატორიდან ბარიერული იზოლაციის ნაჭერი ავიღეთ, ახალი ზეთით გავრეცხეთ და შემდეგ ახალ ზეთში მოვათავსეთ. პირველ ეტაპზე (50სთ) მინარევების გახსნა ნელი ტემპით მიმდინარეობს. ზეთის ფერ არ იცვლება, რაც მყარი იზოლაციიდან მინარევების ზედაპირზე დიფუზიით გამოსვლის პროცესისთვის საჭირო დროით აიხსნება. მეორე ეტაპზე (500სთ) ზედაპირთან ახლოს მყოფი მინარევები კავშირს ამყარებენ ზეთის მოლეკულებთან და გახსნის სიჩქარე იზრდება. ზეთის ფერი იცვლება. გარკვეული დროის შემდეგ, როდესაც მყარ იზოლაციაში და ზეთში მყოფი მინარევებს შორის წონასწორობა მყარდება, მაშინ ზეთში და მყარ იზოლაციაში მყოფი მინარევების კონცენტრაციები (მათ შორის წყალი) უცვლელია, მაგრამ ზეთის ან მყარი იზოლაციის ტემპერატურის შეცვლით ეს წონასწორობა ირღვევა.

500 საათის განმავლობაში ზეთის ფერი უმნიშვნელოდ შეიცვალა, მაგრამ ეს მარტივი ცდა აჩვენებს, რომ მინარევების მყარი იზოლაციის მოცულობიდან ზეთში გახსნა გარკვეულ დროს საჭიროებს, ხოლო აქტიური ნაწილის ზედაპირზე მყოფი მინარევები შედარებით ადრე იხსნებიან.

1.4 მინარევები დაძველებულ ზეთში

ტრანსფორმატორის ზეთში მყოფ ყველა ნივთიერებას, რომელიც ზეთის თვისებების გაუარესებას იწვევს, ტრანსფორმატორის ზეთის მინარევებს უწოდებენ. ისინი ზეთის მდგომარეობას განსაზღვრავს და მათი კლასიფიკაცია, წარმოშობის, აგრეგატული მდგომარეობის და ელექტროგამტარობის მიხედვით წარმოებს.

წარმოშობის მიხედვით მინარევები შეიძლება იყოს, ნავთობისგან ტრანსფორმატორის ზეთის მიღების ტექნოლოგიით განპირობებული, ან ზეთში ექსპლუატაციისას წარმოქმნილი. ტრანსფორმატორის ახალი - ნედლი ან რეგენირებული ზეთი ექსპლუატაციის დაწყებამდე სათანადო მომზადებას განიცდის და დეგაზაციის და ფილტრაციის გზით მინარევებს იმ ღონემდე ამცირებენ, რომ ის ახალი ზეთის საექსპლუატაციო ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს. თვლიან, რომ ასეთი ზეთი სუფთაა და მცირე რაოდენობით მინარევებს შეიცავს. ისინი ზეთის თვისებებზე უმნიშვნელო გავლენას ახდენენ.

როდესაც მინარევები ექსპლუატაციაში ზეთის დაძველებით წარმოიქმნება, მათ დაძველებით წარმოქმნილ მინარევებს უწოდებენ. გარკვეულ ზღვრამდე, ისინი ზეთის თვისებებს ნაკლებად ცვლიან. აგრეგატული მდგომარეობის მიხედვით მინარევები აირად, თხევად და მყარ (მექანიკურ) მინარევებად იყოფა.

აირად მინარევებს ზეთში გახსნადი აირები წარმოადგენენ. ცნობილია, რომ ტრანსფორმატორის ზეთში აირები კარგად იხსნებიან და მათი ელექტრული სიმტკიცე ზეთის ელექტრულ სიმტკიცესთან შედარებით 10-ჯერ ნაკლებია.

ტრანსფორმატორის ზეთში გახსნილ აირებს ძირითადად ჰაერი მიეკუთვნება, რომელიც თავისუფალი სუნთქვის მქონე ელექტრომონცობილობაში და ჰერმეტიკულ მონცობილობებში ჰერმეტიზაციის დარღვევის შემთხვევაში ატმოსფეროდან აღწევს ის ძირითადად აზოტს (N_2), უანგბადს (O_2) და ნახშირორჟანგს (CO_2) შეიცავს.

ამ აირებიდან ყველაზე ნაკლები ელექტრული სიმტკიცე ნახშირორჟანგს გააჩნია, მაგრამ უანგბადი სხვა ფაქტორებთან ერთად ტრანსფორმატორის ზეთის დაუანგვას და ქაღალდის დაძველებას უწყობს ხელს. აზოტი კი ინერტულია და ზეთის თვისებებს თითქმის არ ცვლის.

ტრანსფორმატორის ზეთში თხევად მინარევს წყალი წარმოადგენს, რომლის სიმკვრივე ზეთის სიმკვრივეზე მეტია და ზეთში ცუდად იხსნება, მაგრამ ზეთის ელექტრულ მახასიათებლებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს. ზეთში გახსნილ წყალს ზეთის ტენემცველობას უწოდებენ და მას ერთ ტონა ზეთში გახსნილი წყლის გრამებში გამოსახული რაოდენობით (გრ H_2O ტონა ზეთში) ან ppm-ში გამოსახავენ.

ტრანსფორმატორის საექსპლუატაციოდ მომზადებულ ზეთში წყლის რაოდენობა ძალიან მცირეა 10 ppm-ს არ აღემატება, ხოლო ექსპლუატაციისას კი ჰერმეტიკულ მონცობილობებში 25 გრამამდე იზრდება.

ჰერმეტიკულ ელექტრომონცობილობებში წყალი ტრანსფორმატორის ზეთის და ელექტროტექნიკური ქაღალდის მოლეკულების დაძველებით დაშლის შედეგად წარმოიქმნებიან, ხოლო თავისუფალი სუნთქვის მქონე

მონყობილობებში ტენშთანთქავი მონყობილობების გაუმართავობის გამო აღწევნ.

ელექტრომონყობილობის ტრანსფორმატორის ზეთში წყლის მოლეკულები ზეთის მოლეკულებთან ბმულ, მოლეკულებს შორის გახსნილ და მონყობილობის ავზის ძირში მყოფად იყოფიან. შესაბამისად ასეთ წყალს ბმულ, გახსნილს და თავისუფალ წყალს უწოდებენ.

წყლის მოლეკულა ძლიერ დიპოლურია. ის ზეთის მოლეკულებთან დიპოლურ კავშირს ამყარებს, რომლის დასაშლელად დიდი ენერგიაა საჭირო და ასეთის წყლის გავლენა ტექნიკური სისუფთავის ზეთის თვისებებზე უმნიშვნელოა. ის თავს უაღრესად სუფთა ზეთებში იჩენს.

რადგან წყლის მოლეკულის ზომა ზეთის მოლეკულებს შორის არსებული სივრცის თანაზომადია, ის ამ სივრცეს იკავებს და მოლეკულებს უკავშირდება, მაგრამ ელექტრული ველის მოქმედებით ადვილად გადაადგილდება და ზეთის ყველა ელექტრული მახასიათებლების გაუარესებას იწვევს.

ზეთის ტემპერატურის მიხედვით ბმული და გახსნილი წყალი ერთგვარ თერმოდინამიკურ წონასწორობაში იმყოფებიან და გარკვეულ პირობებში ერთი სახიდან მეორეში გადადიან.

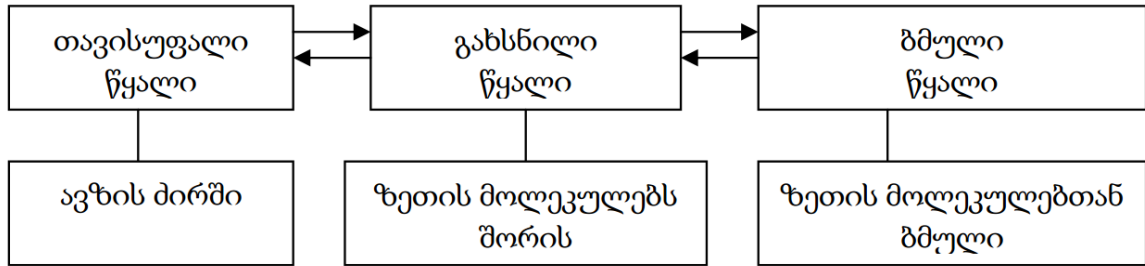
თავისუფალი წყალი ტრანსფორმატორის ზეთის მოლეკულებთან დაკავშირებული არ არის და ის ელექტრომონყობილობის ავზის ძირშია დაგროვილი და თვალთ ადვილად შესამჩნევია. ზოგჯერ ავზის ძირზე დაგროვილ მყარ მინარევებთან ემულსიას წარმოქმნის.

კაპიტალური რემონტის ჩატარების პროცესში ჰერმეტიკული ელექტრომონყობილობების ავზის ძირზე, ზოგჯერ რამოდენიმე ათეული ლიტრი თავისუფალი წყალი აღმოუჩნიათ.

ზეთის ტემპერატურის გაზრდით მასში წყლის მოლეკულების ხსნადობა იზრდება შესაბამისად თავისუფალი წყალი გახსნილში გადადის, ხოლო

ტემპერატურის შემცირებისას კი პირიქით. ე.ი. მსგავსად გახსნილი და ბმული წყლისა თავისუფალ და გახსნილ წყალს შორისაც არსებობს გარკვეული თერმოდინამიკური წონასწორობა.

საბოლოოდ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ტემპერატურის გაზრდით წყლის მოლეკულები შემდეგი სქემით მოძრაობენ (ნახ №3).



ნახ №3 წყლის მდგომარეობის ცვლილება ტრანსფორმატორის ზეთში

არსებობს მოსაზრება, რომ თავისუფალი წყალი გარკვეულ პირობებში პირდაპირ ბმულ წყალში გადადის, რაც ნაკლებად ცვლის ტრანსფორმატორის ზეთის თვისებებს, მაგრამ მიუთითებს გახსნილი წყლის დიდ რაოდენობაზე.

ტრანსფორმატორის ზეთის ტენშემცველობის განსაზღვრის ყველა არსებული მეთოდი ძირითადად გახსნილი წყლის რაოდენობის დადგენას ითვალისწინებს, ხოლო ბმული წყალი ტენშემცველობაში საერთოდ არ აისახება, ხოლო თავისუფალი წყალი კი ტენშემცველობის განსაზღვრაში ძალიან მცირედ აისახება.

ამასთანავე გასათვალისწინებელია წყლის მოლეკულის კავშირი მყარი მინარევების დიპოლურ მოლეკულებთან.

ელექტრული ველის მოქმედებით თხევადი და აირადი მინარევების ნაწილაკები ფორმას ადვილად იცვლიან და ელექტრული ველის გასწვრივ ორიენტაციას იღებენ, ე.ი. დამატებით დიპოლურ მომენტს იძენენ.

ამდაგვარად, თხევადი და აირადი მინარევებიდან ტრანსფორმატორის ზეთის თვისებებზე ყველაზე მნიშვნელოვან გავლენას წყალი ახდენს.

ტრანსფორმატორის ზეთში მყარ მინარევებს ისეთი მინარევები მიეკუთვნება, რომლებიც ზეთში ან წყალში არ იხსნებიან, თუ მათი სიმკვრივე ტრანსფორმატორის ზეთის სიმკვრივის ტოლია, მაშინ ისინი თავისუფალი წყალი გახსნილი წყალი ბმული წყალი ავზის ძირში ზეთის მოლეკულებს შორის ზეთის მოლეკულებთან ბმული შეტივტივებული არიან ზეთში, ხოლო მეტი სიმკვრივის ნაწილაკები კი ავზის ძირზე და აქტიური ნაწილაკების ზედაპირზე შლამის სახით დაილექებიან. ზეთის იძულებითი კონვექციის შემთხვევაში ზეთის ნაკადი მათ წარიტაცებს და ზეთთან ერთად მოძრაობენ.

ტრანსფორმატორის ზეთში მყარ მინარევებს ლიტერატურაში მექანიკურ მინარევებს უწოდებენ.

ელექტროგამტარობის მიხედვით ისინი ელექტროგამტარ და დიელექტრიკულ მასალებად, ხოლო წარმოშობის მიხედვით ზეთის ან მყარი იზოლაციის დაძველებით წარმოქმნილს ან ზეთის თანმხლებ მინარევებად იყოფიან. [6]

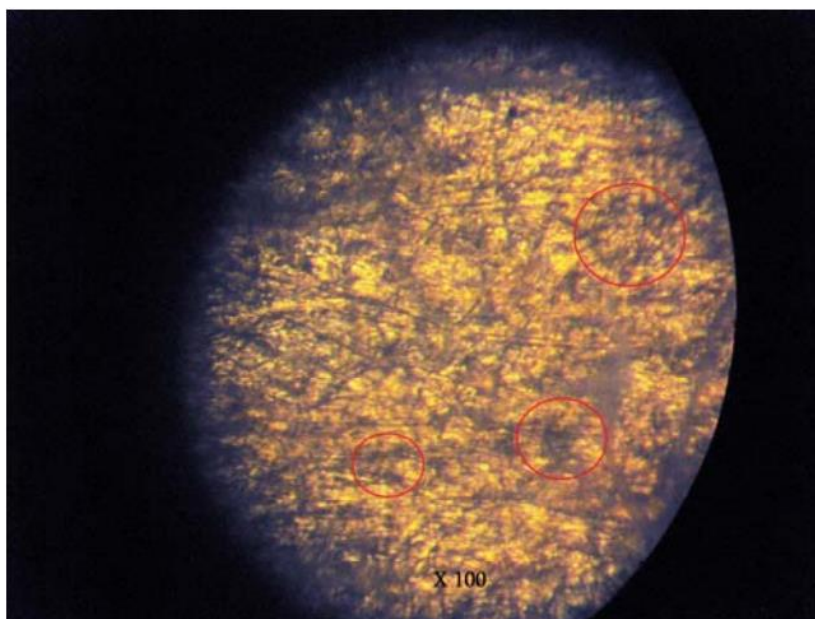
დაძველების შედეგად წარმოქმნილი მყარი პროდუქტები, როგორცაა ზეთში უხსნადი მეტალორგანული შენაერთები, უხსნადი ფისები და სხვა. შლამის სახით (ნახ №4) ტრანსფორმატორის აქტიური ნაწილის ზედაპირთან კოვალენტურ კავშირს ამყარებენ, ზედაპირს მჭიდროდ ეკვრიან და ძირითადად სითბოგადაცემის კოეფიციენტს ამცირებს, ხოლო მყარი იზოლაციის ზედაპირზე დაგროვებისას ნაწილობრივი განმუხტვების განვითარების ხელსაყრელ პირობებს ქმნიან. ელექტრული ველის მოქმედებით ისინი მყარი იზოლაციის მოცულობაშიც აღწევს (ნახ №5) და მისი ელექტროსაიზოლაციო თვისებების მნიშვნელოვან გაუარესებას იწვევენ.

ზეთში ხსნადის დაძველების პროდუქტები მნიშვნელოვნად ცვლის, როგორც ზეთის ფიზიკურ, ასევე ელექტრულ და ქიმიურ მახასიათებლებს. ამ მოვლენის მაჩვენებელია საექსპლუატაციო ზეთის ფერის მნიშვნელოვანი ცვლილება (ნახ N°6).

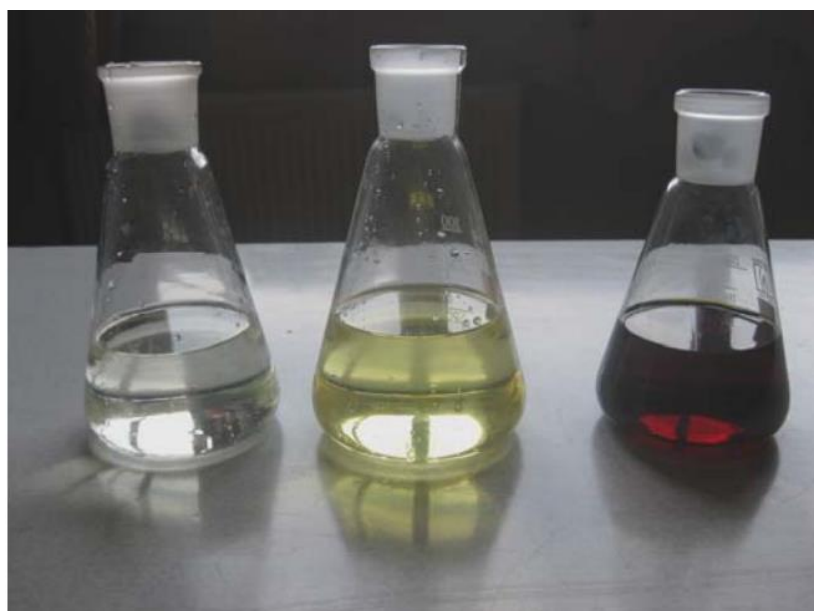
ტრანსფორმატორის მყარი იზოლაციის, კერძოდ ელექტროტექნიკური ქაღალდის ან მუყაოს ბოჭკოები დაძველების შედეგად ზეთში მცირე რაოდენობით გადადის. ისინი რა თქმა უნდა საიზოლაციო თვისებების არიან. მაგრამ დიპოლური აგებულებით ხასიათდებიან. მცირე ტენზემცველობის ზეთის ელექტრულ თვისებებს პრაქტიკულად ვერ ცვლის,



ნახ N°4 მყარი მინარევი ტრანსფორმატორის აქტიური ნაწილის ზედაპირზე



ნახ №5 მყარი იზოლაციის მოცულობაში შეღწეული ზეთის დაძველების პროდუქტები



ნახ №6 დაძველების შედეგად ზეთის ფერის ცვლილება

ა - ახალი, ბ - სუსტად და გ - ძლიერ დაძველებული

მაგრამ თუ ზეთის ტენშემცველობა მაღალია, მაშინ მათი წყლის მოლეკულები უკავშირდება და ელექტრულ ველში მოხვედრისას ისინი წყლის

მოლეკულებთან ერთად მაღალი გამტარობის არხს წარმოქმნის, რითაც გარღვევის ხელსაყრელი პირობა იქმნება.

ბოლო წლებში ჩვენი ქვეყნის ენერგოსისტემაში მაღალი დაბვის მონოპოლიზაციის რემონტი ინტენსიურად მიმდინარეობს. მათში მყოფი ზეთები იმდენად დაძველებულია, რომ უმეტესი მათგანის რეგენერაცია პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამის გამო რემონტის შემდეგ ახალი ზეთები გამოიყენება.

ამ ზეთების საექსპლუატაციო გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მათი თვისებები ექსპლუატაციის დაწყებიდან რამოდენიმე წლის განმავლობაში საგრძნობ ცვლილებას განიცდის, რაც ჩვენს მიერ დასახულ მიზანს აქტუალურს ხდის და მიღებულ შედეგებს პრაქტიკული გამოყენება ექნება.

თავი 2. ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის გაწმენდის მეთოდები

2.1 ტრანსფორმატორის ზეთის მინარევებისგან გაწმენდის ფიზიკური მეთოდები

ტრანსფორმატორის ზეთის ექსპლუატაციის პირობიდან გამომდინარე შესაძლებელია დაძველებული ზეთი, ადვილად ან რთულად აღსადგენი იყოს, აქედან გამომდინარე არსებობს ზეთის აღდგენის სხვადასხვა მეთოდი, მაგრამ საზღვარგარეთ რეგენერაციისათვის სხვადასხვა სახის ბეტონიტურ თიხებს იყენებენ, რომლის ერთ-ერთ ნაირსახეობას გუმბრინი და ასკანთიხა წარმოადგენს. გუმბრინი წარმოადგენს დაფეკილ თიხას, რომელიც ზეთის დაძველების პროდუქტების აღსორბციის (შთანთქმის) მაღალი დონით ხასიათდება.

დღესდღეისობით ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციის მრავალი მეთოდი არსებობს, მაგალითად:

1. მჟავურ-ტუტოვანი გაწმენდა. რაც გულისხმობს გოგირდმჟავით დამუშავებას.
2. ჰიდროგაწმენდა – წყალბადით დამუშავება.
3. სიმკვრივეებს შორის სხვაობით გაწმენდა (ცენტრიფუგირება).
4. გაფილტვრა.

ექსპლუატაციის ფაქტორების ზემოქმედებით, ზეთი განიცდის დაძველებას, რის შემდეგაც ზეთში წარმოიქმნება: მეტალორგანული

მინაერთები, ორგანული მუჟავები, ასფალტ-თვისოვანი ნაერთები, წყალი და სხვა. ისინი ზეთის მახასიათებლის მნიშვნელოვან ცვლილებას იწვევენ და მათი რაოდენობის გაზრდის გაგრძელებისას ზეთი ექსპლუატაციისთვის უვარგისი ხდება. [7]

ტრანსფორმატორის ზეთში დაძველების შედეგად წარმოქმნილი მინაერთების მოლეკულების უმეტესობა დიპოლური ან სუსტად დიპოლური აგებულების არის. შედეგად ისინი ერთამანეთს ზეთის მოლეკულებით უკავშირდებიან. თუ მინაერთების მოლეკულებს შორის ვან დერ-ვალსური კავშირი მყარდება, მაშინ ისინი შედარებით დიდი ზომის ნაწილაკებად ერთიანდებიან და ტრანსფორმატორის კონსტრუქციაზე და ავზში შლამის სახით ილექებიან.

როგორც ვხედავთ ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის აღდგენა, ზეთიდან სხვადასხვა სახის და თვისებების მქონე ნივთიერებების მოცულობას გულისხმობს.

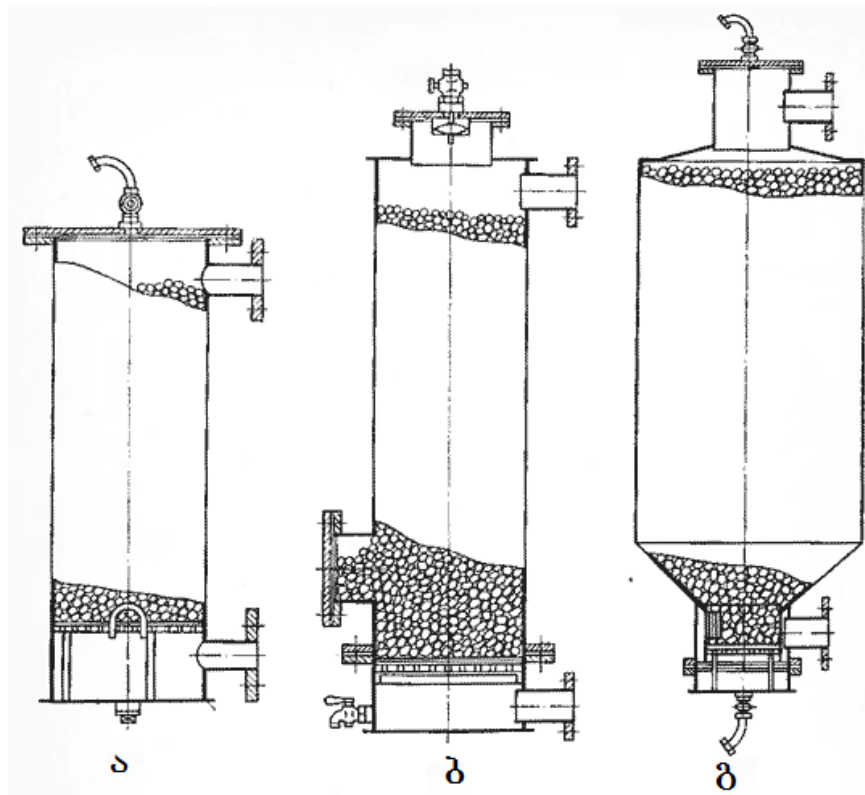
ფიზიკური მეთოდით ტრანსფორმატორის ზეთის აღდგენა ზეთის და მინარევების ფიზიკური თვისებებს შორის სხვაობას ემყარება.

დალექვა, დაძველებული ზეთის დანმენდის ერთ-ერთი უმარტივესი მეთოდია. ემყარება ზეთიდან იმ ნაწილაკების დალექვას, რომელთა სიმკვრივე ზეთის სიმკვრივეს აღემატება. ასეთია ნაწილაკებია: გახსნილი ან თავისუფალი წყალი, მყარი მექანიკური მინარევები და სხვა. უძრავ მდგომარეობაში მყოფ ზეთში მიზიდულობის ძალის მოქმედებით ნაწილაკები ჭურჭლის ფსკერზე თანდათანობით ეშვებიან და ლექს წარმოქმნიან. დალექვა ზეთიდან დიდი ზომის ნაწილაკებს გამოყოფს და რეგენერაციის შემდგომ ეტაპებს აადვილებს. ამ პროცესის მიმდინარეობისას ზეთზე გარეშე შემოქმედება აუცილებელი არ არის, განსახორციელებლად მარტივია, მაგრამ ის ზეთიდან ზეთში ხსნად ნაწილაკებს ვერ გამოყოფს და ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიმდინარეობს.

დალექვის სიჩქარე მინარევების და ზეთის სიმკვეთრეთა შორის სხვაობაზე და ზეთის სიბლანტეზე დამოკიდებული. რაც მეტია ეს სხვაობა და რაც ნაკლებია ზეთის სიბლანტე, მით მინარევების დალექვა ინტენსიურია. ტემპერატურის გაზრდით სიბლანტე მცირდება, მაგრამ დაწდომის ოპტიმალურ ტემპერატურად $35-40^{\circ}\text{C}$ მიღებული, რადგან ნაკლებ ტემპერატურაზე ზეთის სიბლანტე მაღალია და დალექვის პროცესი შეფერხებულია, ხოლო მაღალ ტემპერატურაზე დაწდომის პროცესს ზეთის მოლეკულების აღმავალი ნაკადი და წყლის აორთქლებული მოლეკულების მოძრაობას აფერხებს.

სიმკვრივეებს შორის სხვაობით განმნდა (ცენტრიფუგვა) დიდი სიჩქარით მბრუნავ, სითხეში მინარევების ნაწილაკებზე ცენტრიდანული ძალის მოქმედებაზე არის დაფუძნებული. რაც მეტია მათი სიმკვრივე, ზეთის სიმკვრივესთან შედარებით მით მეტი ცენტრიდანული ძალა მოქმედების სიდიდე. დანალექი ნივთიერებები ჭურჭლის გარეთა კედელზე ილექებიან ან სპეციალური ტიხრებით გამოიყოფიან. ბრუნვის სიხშირის გაზრდით ცენტრიფუგით განმნდის სიჩქარე იზრდება, განმნდის მაქსიმალური ეფექტი $40-60^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე მიიღწევა, უფრო მაღალი ტემპერატურის შენარჩუნება ზეთის ბრუნვასთან ერთად გაძნელებულია.

გაფილტვრა ერთ-ერთი გავრცელებული მეთოდია და მინარევების და ფიცრის ელემენტური უჯრედის ზომებს შორის სხვაობას ემყარება. ფილტრი იჭერს ყველა იმ მყარ ნაწილაკს, რომლის ზომები ფილტრის ელემენტური უჯრედის ზომებს აღემატება. ე.ი. გაფილტვრა თხევადი მინაერთების ზეთისგან გამოყოფას ვერ ახერხებს. პროცესის პრინციპული სქემა მოცემულია ქვემოთ:



ნახ №7 ფილტრები სხვადასხვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორისთვის

- ა) მოცემულია ფილტრი მცირე სიმძლავრის ტრანსფორმატორისათვის.
- ბ) მოცემულია ფილტრი საშუალო სიმძლავრის ტრანსფორმატორისათვის.
- გ) მოცემულია ფილტრი დიდი სიმძლავრის სიმძლავრის ტრანსფორმატორისათვის.

ცხრილი №2 ფილტრების ტიპები და მათი პარამეტრები

Тип фильтра	Высота, ММ	Диаметр, мм	Емкость по силикагелю, р кг	Тип фильтра	Высота, мм	диаметр, мм	Емкость по силикагелю. кг
0-1	450	100	1,0	I	1000	160	10
0-2	505	140	2,5	II	1000	260	25
0-3	508	180	5,0	III	1000	360	50
0-4	685	200	7,5	IV	1000	440	75
0-5	735	220	10,0	V	1000	510	100
1	1000	300	35	VI	1000	600	125
2	1000	350	48	VII	1000	670	150
3	1000	400	60	VIII	1000	720	175
				IX	1000	775	200

გაფილტვრის პროცესი ფილტრის მასალის მიხედვით ზედაპირული და მოცულობით გაფილტვრად იყოფა. ზედაპირული გაფილტვრისას მინარევები ფილტრის ზედაპირზე გროვდებიან. ამ შემთხვევაში ფილტრი ლითონის სხვადასხვა სახის ბადეს, ქსოვილს, ქალაღს, ან მუყაოს წარმოადგენს და ზეთიდან მცირე ზომის ნაწილაკების ($d < 5$ მკმ) გამოყოფა გაძლიერებულია.

ტრანსფორმატორის ზეთის გასაწმენდად ძირითადად ზედაპირული ფილტრები გამოიყენება. პროცესის დასაჩქარებლად ზეთი ფილტრში რამოდენიმე ატმოსფერული წნევით გაედინება.

ზეთის შრობის ერთ-ერთ ნაირსახეობას წარმოადგეს ვაკუუმირება, კერძოდ, ტრანსფორმატორის ზეთის $120-140^{\circ}\text{C}$ -მდე გაცხელებისას, ზეთიდან გახსნილი წყალი და ადვილად აორთქლებული მინარევები ორთქლის სახით გამოიყოფა, მაგრამ ზეთი შეიძლება დაიწვას. ამასთანავე დიდია ენერჯის ხარჯი.

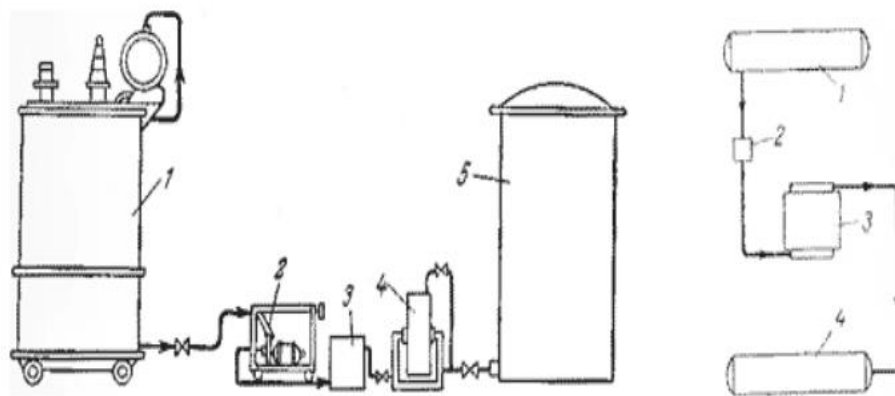
ცნობილია, რომ წნევის შემცირებით წყლის აორთქლების ტემპერატურა მცირდება და 25მმ. ვერცხლის წყლის სვეტის წნევაზე წყალი 20°C ტემპერატურაზე ინტენსიურად აორთქლდება. ამ შრობის გათვალისწინებით ზეთისგან ადვილად აორთქლებადი მინარევების მოშორება ვაკუუმირებით უფრო ადვილია, ვიდრე შრობით.

ვაკუუმირების პროცესის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით ტრანსფორმატორის ზეთის შრობას (80°C) ვაკუუმის პირობებში ზეთის გაფრქვევით ატარებენ. ტრანსფორმატორის ზეთისგან წყლის მოლეკულების გამოყოფა, ანუ შრობა მეტად ეფექტურია წყლის შთანთქმის უნარის მქონე ხელოვნური და ბუნებრივი ცეოლიტების გამოყენებით. ცეოლიტების სტრუქტურაში მოლეკულებს შორის არსებობს ფორები, რომლის ზომები წყლის მოლეკულის თანაზომადია და ფორების შიგა ზედაპირს თავისუფალი მუხტი გააჩნია. წყლის მოლეკულები ადვილად აღწევენ

ფორებში და ზედაპირულ მუხთან დიპოლურ კავშირს ამყარებენ. 1 გრამ ცეოლიტის 0,2-0,4 გრამი წყლის შთანთქმა შეუძლია და შთანთქმულ მოლეკულებს ხანგრძლივად ინარჩუნებს, ამასთანავე გამოყენებული ცეოლიტის აღდგენა-რეგენერაცია ადვილია, რაც მის ეფექტურობას ზრდის.

2.2 ტრანსფორმატორის ზეთის სილიკაგელით რეგენერაცია

აღსორბციის ეფექტურობას აღსობენტის ბუნება განაპირობებს, თუ მოლეკულის სტრუქტურაში ძირითადად ალუმინის უნგია, მაშინ ის ტრანსფორმატორის ზეთიდან დაბალმოლეკულურ ორგანულ მუავებს შთანთქავს, ხოლო ფისოვან ნივთიერებებს ნაკლებად გამოყოფს. როდესაც აღსორბენტის კაუბადის მოლეკულას შეიცავს, მაშინ აღსორბენტი ზეთიდან ასტალურ-ფისოვან ნივთიერებებს გამოყოფს, ხოლო ორგანული მუავების აღსორბცია კი ნაკლებად ხდება.



ნახ №8 ტრანსფორმატორის ზეთის აღსორბენტური განმნდის პრინციპული სქემა

1 – ტრანსფორმატორი. 2 – ფილტრი. 3 – ელექტროგამახურებელი. 4 –
ადსორბენტი. 5 – ტევადობა, ზეთისათვის.

სინთეზურ ადსორბენტებს ძირითადად სილიკაგელი, ალუმინის უანგი და ალუმინსილიკატური კატალიზატორი მიკუთვნება.

სილიკაგელი, სპეციალური ტექნოლოგიით მიღებული კაუბადის უანგია, რომლის ფორების ზომებს და ფართს მიღების ტექნოლოგია განაპირობებს. ტრანსფორმატორის ზეთის აღსადგენად მსხვილფორიანი მარკის სილიკაგელი გამოიყენება, რომლის ფორების ჯამური ფართი ერთი გრამი სილიკაგელითვის 400-500 მმ² –ს შეადგენს.

მითითებული თვისებების მქონე თიხების ტრანსფორმატორის ზეთის აღსადგენად გამოყენება გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან დაიწყო და დღესაც გრძელდება. ამასთანავე თიხის თვისებების გაუმჯობესებას სხვადასხვა სახის აქტივაციის ან რამოდენიმე თიხის ნარევით ახდენს.

ალუმინის უანგი, სპეციალური დამუშავების შემდეგ ალუმინის აქტიური უანგის სახელითაა ცნობილი, მისი ფორების ფართი 300-400 მმ² ერთ გრამ ნივთიერებაზე, ხოლო ფორების დიამეტრიც 25-55 A^o აღწევს. ამის გამო ის ტრანსფორმატორის ზეთიდან დაბალმოლეკულურ მჟავებს ეფექტურად გამოყოფს.

ალუმინსილიკატური კატალიზატორი ძირითადად კაუბადის (85%) და ალუმინის (8%) უანგეულების ფორიანი სტრუქტურის ნარევს წარმოადგენს. უანგეულების შეკავშირების და ადსორბციული თვისებების გაზრდის მიზნით მას სხვადასხვა მეტალების (Fe, Ca, Mg) უანგეულებს უმატებენ. [8]

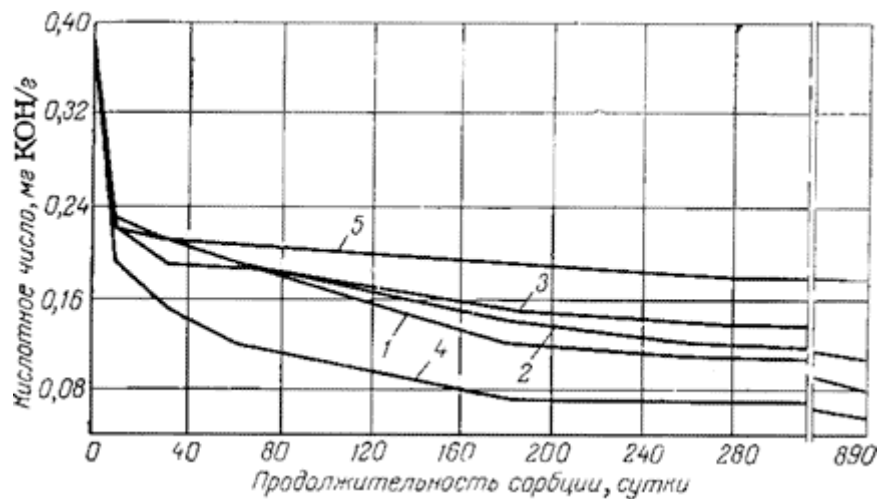
სინთეზური ადსორბენტებით ტრანსფორმატორის ზეთის გაწმენდა კარგ შედეგს იძლევა, მაგრამ მათი მაღალი ღირებულების გამო მათი გამოყენება შეზღუდულია.

ბუნებრივ ადსორბენტებს, ადსორბციის თვისებების მქონე ბუნებაში არსებული ფოროვანი სტრუქტურის მქონე ბუნებრივი მასალები მიეკუთვნებიან. მოპოვების შემდეგ მათი გადამუშავება ძირითადად აბსორციული თვისებების გაზრდას – გააქტიურებას მოიცავს.

ტრანსფორმატორის ზეთის სარეგენერაციოდ კარგ შედეგს ბოქსიტების გამოყენება იძლევა. ბოქსიტი ხასიათდებიან კარგი ადსორბციის თვისებებით. დამტკიცებულია, რომ დიდი ტემპერატურული ინტერვალის დროს ბოქსიტების ადსორბციის თვისება მცირდება.

ისინი 70% თიხამინას შეიცავენ და მათში სხვა უანგეულებთან ერთად Al_2O_3 ფოროვან, ამორფულ მდგომარეობაშია. ბოქსიტებიდან წყლის გამოღვენა 500-700 ტემპერატურაზე გაცხელებით ხდება.

ასეთი წესით მომზადებული თეთრი ბოქსიტები ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთიდან ეფექტურად შთანთქავენ მუაური თვისებების მქონე დაძველების პროდუქტებს და აბსორციული თვისებებით ალუმინის აქტიურ უანგს უტოლდებიან, მაგრამ ზეთის გაწმენდის ხანგრძლივობა რამოდენიმე ასეულ დღეს შეადგენს.



ნახ №9 მუაური რიცხვის დამოკიდებულება ადსორბციის დროზე. ნახაზზე 1,2 – თეთრი ბოქსიტი; 3,4 – აქტიური ალუმინის ოქსიდი; 5 – სილიკაგელი KCK.

ტრანსფორმატორის ზეთის მუაური რიცხვის შემცირებასათვის ზიკვესკის თიხას შედარებით ჯობია სილიკაგელი, ხოლო წყლის მუაური რეაქციის ჩამოშორებისთვის ზიკვესკის თიხას და სილიკაგელს დაახლოებით ერთიდაიგივე შედეგი აქვთ. ზიკვესკის თიხა და სილიკაგელი ტრანსფორმატორის ზეთში კარგად ამცირებს დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხეს tგდ და აქტიურობის მხრივ უმჯობესია, ვიდრე ალუმინის ოქსიდი.

2.3 ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის გამოხდა

ნავთობის ფრაქცია და მისგან ტრანსფორმატორის ზეთის მიღება, წარმოადგენს პარაფინული, ნაფთენური და არომატული ნახშირწყალბადების რთულ ნარევეს. ნახშირწყალბადები აქტიური ორმაგი კავშირით ზეთში თითქმის არ არის, ისინი ასევე არ გვხვდება ნავთობის ფრაქციაში. მაგრამ აღნიშნული ნახშირწყალბადები მცირე რაოდენობით შეიძლება წარმოიქმნას სხვა კლასის ნახშირწყალბადების გაფართოებისას, ნავთობნედლეული დისტილიზაციის დროს.

უჯერი ნახშირწყალბადები შეიძლება წარმოიქმნას ელექტრული ველის ზემოქმედებით, მუშაობის პროცესში. ნავთობის ზეთის ფრაქციების ერთ-ერთი ყველაზე ძირითად კომპონენტს პარაფინული ნახშირწყალბადები წარმოადგენს, რომელთა რაოდენობა ზეთში აღწევს 50-70 % და მეტს. ნავთობის შემადგენლობიდან და მისი გამოხდის დონიდან გამომდინარე, რომლისგანაც დამზადებულია ზეთი, ის შესაძლებელია შედგებოდეს მცირე რაოდენობით ფისური ნივთიერებებისგან და ორგანული მუაუებისგან.

ტრანსფორმატორის ზეთის გამოხდა შესაძლებელია სხვასხვა მეთოდების საშუალებებით: მჟავურ-ტუტოვანი გამოხდა, კარბამიდური დეჰარაფინიზაცია, ადსორბენტული გამოხდა.

ზეთის მჟავურ-ტუტოვანი გამოხდა.

ტრანსფორმატორის ზეთის მჟავურ-ტუტოვანი განმენდა მდგომარეობს, ტრანსფორმატორის დისტილატის დამუშავებაში გოგირდ მჟავით, რომელიც ანეიტრალურებს ტუტეს. მჟავურ-ტუტოვანი გამოხდის ტექნოლოგია სხვასხვა ქარხნებში ძირითადად ერთიდაიგივე ხასიათისაა, მაგრამ ქიმიური შემადგენლობისა და გამოხდის სიღრმეზე დამოკიდებულებით შესაძლებელია გამოხდის მეთოდში რაიმე ცვლილების შეტანა.

ტრანსფორმატორის ზეთის გამოხდისათვის ძირითადად იყენებენ 92-96% გოგირდმჟავას. თავდაპირველად აწვდიან დაახლოებით 0.5% მჟავას დისტილატის გამოხდისთვის. ამ წინასწარ ოპერაციას აქვს დიდი მნიშვნელობა, რამეთუ, მასზე არის დამოკიდებული შემდგომი გამოხდის ეფექტურობა. პირვანდელ დისტილატს შეიძლება შეიცავდეს გარკვეული რაოდენობით ტენს და იმ შემთხვევაში, თუ თავდაპირველადვე ეგრევე მოვანოდებთ მას საჭირო მჟავის კონცენტრაციას, ეს ტენი შესაძლებელია აღმოჩნდეს საკმარისი იმისათვის, რომ შეამციროს მჟავის კონცენტრაცია და გამოიწვიოს ეფექტურობის შესამჩნევი შემცირება. დისტილატის გამოხდის შემდეგ, აწვდიან ზეთს გოგირდმჟავის პირველ პორციას (4%) და უშვებენ გუდრონს, აღნიშნულ ოპერაციას იმეორებენ ორჯერ. შერევის ხანგრძლივობა არის დაახლოებით 1.5 საათი, ხოლო რეაქცია მიმდინარეობს დაახლოებით 12-14 საათი. გოგირდმჟავის საერთო რაოდენობა ტრანსფორმატორის დისტილატის გამოშრობისთვის აღწევს 6-15%.

მჟავისა და ზეთის ნარევის შემდგომ ამუშავებენ ტუტის გამხსნელით, გაზრდილ ტემპერატურაზე: დამუშავებას იწყებენ 65°C ხოლო შემდეგ

ტემპერატურას წევნ 80-85⁰C -მდე. ტუტის კონცენტრაცია არის 2.5-2.8%. ტუტით დამუშავების შემდეგ ნარჩენებს და ზეთის ტუტის ნარევს რამოდენიმეჯერ რეცხავენ მცირე კონცენტრაციის ტუტით, ხოლო შემდეგ წყლით. გარეცხილ ზეთს შემდეგ აშრობენ 75-85⁰C ტემპერატურაზე, ატარებენ მასში გაცხელებულ ჰაერს. შემდეგ ზეთს წმენდენ გამწმენდი თიხების საშუალებით 90-95⁰C ტემპერატურაზე, ამის შემდეგ ზეთისა და ადსორბენტის ნარევს ფილტრავენ ფილტპრესში.

ზეთის კარბამიდული დეჰარაფინიზაცია.

ბოლო რამოდენიმე წელია, რაც ახორცილებენ ზეთის დისტილატების დეჰარაფინიზაციას. ეს პროცესი რეკომენდირებულია მსუბუქ სატრანსფორმატორო ზეთებისათვის.

კარბამიდული დეჰარაფინიზაციისას წარმოიქმნება მყარი კომპლექსი, რომელიც შედგება კარბამიდის მოლეკულებისაგან და მაღალისისქის-სიბლანტის პარაფინული ნახშირწყალბადისგან. შემდგომ აღნიშნულ კომპლექსს ფილტრავენ ზეთისგან. ტრანსფორმატორის დისტილატის დეჰარაფინიზაცია მიმდინარეობს საკმაოდ ეფექტურად. მიღებული ზეთს აქვს 40-დამ 50⁰C ტემპერატურა. კარბამიდული დეჰარაფინიზაციის შემდგომ, ზეთს უტარებენ მჟავურ-ტუტოვან გამოშრობას.

ზეთის ადსორბენტული გამოხდა.

ტრანსფორმატორის ზეთის ერთ-ერთ ყველაზე დამოუკიდებელ მეთოდს მიკუთვნება ადსორბენტული უწყვეტი, ურთიერთსაწინააღმდეგო დინებიანი გამოხდა. პროცესის არსს წარმოადგენს მოძრავი ადსორბენტი, რომელიც უწყვეტი კონტაქტირებული გამავალი დინებით მოძრაობს გამოსაშრობ ზეთში, ზეთი მოძრაობს ადსორბენტის მოძრავ ფენას შორის. გამოხდილი პროდუქტის სიბლანტის შესამცირებლად აზავებენ ბენზინში. ადსორბენტის როლში შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას, სილიკაგელი, ალუმინსილიკატის

კატალიზატორი და გრანულებიანი მასის გამწმენდი თიხები, გრანულები ზომით 0.25-0.50 მმ.

ტრანსფორმატორის ზეთის განმენდა მოძრავი ადსორბენტით ეკონომიკურად რენტაბელურია, რამეთუ მრავალჯერ ხდება ადსორბენტის რეგენერაცია და გამოხდა მათი შემდგომი გამოყენებისათვის.

ზეთის სელექციური გამოხდა

ზეთის სელექციური გამოხდა მდგომარეობს ტრანსფორმატორის დისტილატიდან არასასურველი კომპონენტების სელექციური (არჩევითი) გამხსნელით განმენდაში. ამ შემთხვევაში გამხსნელი ისეა შერჩეული, რომ ის ხსნის ზეთის არასასურველ მინარევებს და ხსნართან ერთად გამოაქვს. ამ სახის გამხსნელებს ძირითადად ფენოლი გამოიყენება.

სელექციური განმენდის ტექნოლოგია შემდეგია: ატმოსფერულ-ვაკუუმურ მილში ტრანსფორმატორის დისტილატს ფენოლურ განმენდას უტარებენ, შემდეგ ატარებენ დაბალტემპერატურულ დეჰარაფინიზირებულ რაფინატში, რის შემდეგაც დეჰარაფინირებულ ზეთს წმენდენ გამწმენდი თიხებით. ფენოლი ტრანსფორმატორის დისტილატიდან გამოაქვს ფისები, აქტიური გოგირდოვანი ნაერთები და სხვა. ფენოლით გამოხდილ ტრანსფორმატორის ზეთს უმატებენ ანტიდამუანგავ მისართს, რამეთუ მის გარეშე ზეთი ვერ აკმაყოფილებს დაჟანგვის მიმართ სტაბილურობის მოთხოვნას.

ზეთის ჰიდროგანმენდა

კატალიზური ჰიდროგანმენდა წარმოადგენს გოგირდოვანი ნივთიერებებისგან განმენდის პროგერესულ მეთოდს. [9]

ჰიდროგანმენდით – წყალბადით დამუშავებით. მიღებული ზეთები. კატალიზატორსა და 400°C -მდე ტემპერატურის მქონე ზეთში 40 ატმოსფეროს წნევით წყალბადი შეჰყავთ, რომელიც ზეთის არასასურველ მინარევების ჰიდროკრეკინს ახდენს.

2.4 გუმბრინის გამოყენების პერსპექტივები ტრანსფორმატორის ზეთის სარეგენერაციოდ

გამწმენდი თიხები, რომელიც გამოსადეგარია ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციისათვის, არის მრავალ ქვეყანაში, ესენია: საქართველო, უკრაინა, რუსეთი, ბელორუსია, და ა.შ.

თიხების ტრანსფორმატორის ზეთის აღსადგენად გამოყენება გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან დაიწყო და დღესაც გრძელდება, მაგალითად ყოფილი საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში ფართო გამოყენება, ზეკევის, ფულეროვის, ნალჩიკინის და სხვა ტიპის ნამარხმა თიხებმა კპოვა, ისინი დღესაც გამოიყენება ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციისთვის.

საქართველოში მოიპოვება სხვასახვა სახის ბეტონიტური თიხები - ასკანთისა და გუმბრინი. ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისათვის ასკანთისის ეფექტურობა შესწავლილია პრაქტიკული ცდებით, გუმბრინი აღსორბცის მაღალი ხარისხით ხასიათდება, მას დაახლოებით იგივე თვისებები გააჩნია, რაც ზეკევისა და ასკანთისას. გუმბრინი გამოიყენება ბაქოს ნავთობგადამამუშავებელ ქარხანაში, ნავთობისგან გამოხდილი ტრანსფორმატორის ზეთის ფრაქციის მინარევებისგან გასაწმენდად, მაგრამ ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისათვის გუმბრინის გამოყენება შესწავლილი არ არის.

გუმბრინს ფოროვანი სტრუქტურა გააჩნია, ამ ფორებში ზედაპირული მუხტია, რომელიც ზეთის დაძველების დიპოლურ პროდუქტებს იზიდავს და შთანთქავს მათ. რეგენერაცია დაფუძნებულია თვისებაზე, საკუთარ ზედაპირზე შეინარჩუნოს ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების პროდუქტები, რომლებიც

ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებებს წარმოადგენენ და ისინი ნამუშევარ თიხასთან ერთად გამოიყოფიან, რითაც ზეთის თვისებები უმჯობესდება.

გამწმენდი თვისებებით სხვადასხვა თიხები ხასიათდება, რომელთა ქიმიური შემადგენლობა მრავალფეროვანია (კაოლინური, მონტმორილონიტური თიხა). აღნიშნული თიხებიდან ყველაზე დიდი გამოყენება ნამარხმა თიხამ ჰპოვა. აღნიშნული თიხები 75-88% სილიციუმის, 5-12 % ალუმინის ჟანგეულებისგან შედგება. რაც უფრო დიდი არის ფარდობა სილიციუმი / ალუმინი, მით მაღალია და აქტიურია თიხის გამწმენდი თვისებები.

ნამარხი თიხა ფოროვანი ადსორბენტია, რომელშიც დიდი დიამეტრის ფორები სჭარბობს. რაც მათ მაღალ გამწმენდუნარიანობას განაპირობებს. გამწმენდი თიხების ზედაპირის კუთრი ფართის სიდიდე 100-300 მ²/გ. ზემოთაღნიშნული თიხებიდან, ნავთობპროდუქტების რეგენერაციისათვის დიდი გამოყენება ზეკვევის თიხამ ჰპოვა, რაც მისმა ადსორბციის მაღალმა მაჩვენებელმა განაპირობა. ამიტომ, სხვა რომელიმე თიხების შესწავლისას, იგი, როგორც ეტალონი გამოიყენება.

გუმბრინს ზედაპირზე გახსნილი ფორები გააჩნია, რომელშიც დაუკომპენსირებელი მუხტია. ამ მუხტსა და ზეთის დაძველების პროდუქტის ზედაპირულად აქტიურ მოლეკულებს შორის კულონური ურთიერთქმედებით სუსტი კავშირი მყარდება, რაც დაძველების პროდუქტების ფორების ზედაპირთან შეჭიდებას განაპირობებს. რეგენერაციის პროცესის დამთავრების შემდეგ დაძველების პროდუქტები ადსორბენტან ერთად ზეთიდან გამოცალკევდება. ზედაპირული მუხტის და ნაწილობრივ ფართის გაზრდის მიზნით ბუნებრივ ადსორბენტებს სხვადასხვა სახის გააქტივებას უტარებენ.

ბეტონიტურ თიხაში (გუმბრინი) მინერალს ქერცლისმაგვარი ფორმა აქვს, რომლის სიგრძე 1000, ხოლო სისქე 30 მილიმიკრონს არ აღემატება. მისი კრისტალური მესერი სამშრიან ელემენტარულ პაკეტს წარმოადგენს. ორი

გარეგანი შრე კაუბადის და ჟანგბადის ნაერთებისაგან შემდგარი ტეტრაედია, რომელთა შორის ალუმინ-ჟანგბადისგან შექმნილი ოქტაედური შრეა მოთავსებული. გარეგანი შრეების ტეტრაედების წვეროები ერთმანეთისკენ არის მიმართული მათ შორის კი ოქტაედრია მოთავსებული. პაკეტებს შორის წყლის მოლეკულების რაოდენობა პაკეტებს შორის მანძილის სიდიდეს განაპირობებს, რომელიც 9-დან 28 ანგსტრემამდე იცვლება. ამით აიხსნება ბეტონიტური თიხების (გუმბრინი) წყლის დიდი შთანთქმის და ზოგიერთ იონებთან მიმოცვლითი რეაქციის უნარი. ეს კი ბეტონიტური თიხებით სხვადასხვა სახის ცხიმების და ნავთობპროდუქტების ფერის შეცვლის – გათეთრების საშუალებას იძლევა.

გუმბრინი გააქტივებულია ბუნებრივ მდგომარეობაში და არ საჭიროებს რაიმე დამუშავებას და პერსპექტიულია ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციისთვის.

გუმბრინის გამოყენებით ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციისას, უმნიშვნელოვანეს ტექნოლოგიურ პარამეტრს წარმოადგენს განმდის ტემპერატურა და გუმბრინის ტრანსფორმატორის ზეთთან შერევის ხანგრძლივობა.

ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციისას, ზეთში არსებული დაძველების პროდუქტების რაოდენობიდან გამომდინარე რეგენერაციის პროცესში, ზეთისა და გუმბრინის ნარევი ტემპერატურა 65°C -დან 85°C -მდე და რეგენერაცია 1-3 დღე-ღამის განმავლობაში მიმდინარებს. ტემპერატურის სიდიდე ემსახურება იმას, რომ რეგენერაციის პროცესში ზეთს ქონდეს საჭირო სიბლანტე, რათა ადვილად მოძრაობდეს გუმბრინის ფენაში.

ზეთის სიბლანტეზე დამოკიდებულია, დაძველების პროდუქტების და სხვა მინარევების შთანთქმის სიჩქარე (რაც უფრო დიდია ზეთის სიბლანტე, მით მეტია რეგენერაციის დრო). ასევე დაძველების პროდუქტების შთანთქმა მით უფრო და სწრაფად მიმდინარეობს, რაც უფრო მცირე მარცვლიანია გუმბრინი ე.ი ზეთთან

შეხების დიდი ფართი გააჩნია, ამით რეგენერაციის დრო მცირდება. ამასთანავე დაკავშირებით ფართოდ გამოიყენება ფხვნილური მასის მქონე თიხები.



ნახ №10 ფხვნილური მასის მქონე გუმბრინი

თავი 3. ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული, ქიმიური და ფიზიკური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები

3.1 ტენემცველობის განსაზღვრა

ახალი ტრანსფორმატორის ზეთი წარმოადგენს არაპოლარული თხევადი ნახშირწყალბადების ნარევს, რომლებიც იყოფიან სამ ჯგუფად: არომატული ნახშირწყალბადები, ნათენური ნახშირწყალბადები და პარაფინული ნახშირწყალბადები. ზეთის ყველა ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრები, ექსპლუატაციური თვისებები, დამოკიდებულია აღნიშნული ნახშირწყალბადების პროცენტული რაოდენობაზე.

ტრანსფორმატორის ზეთის ტენემცველობა დამოკიდებულია ზეთში წყლის გახსნის ინდივიდუალურ შესაძლებლობებზე და ექსპლუატაციის ტემპერატურაზე. ზეთის ტენემცველობა იმყოფება დინამიურ ბალანსში თანაბარი ტემპერატურის დროს, ტემპერატურის ზრდისას, ზეთში იზრდება, იხსნება წყლის რაოდენობა, აღნიშნული წყალი მიეკუთვნება ზეთში არსებულ არომატულ ნახშირწყალბადების ჯგუფს, რომლებიც ქიმიურად შედარებით აქტიური არიან, ხოლო რაც შეეხება ნათენურ და პარაფინულ ნახშირწყალბადებს, ისინი მიეკუთვნებიან ნეიტრალურ ჯგუფს და პრაქტიკულად არ ხსნიან წყალს. [10]

ზეთის არომატული ნახშირწყალბადების შემადგენლობიდან გამომდინარე საზღვრავენ გახსნადი წყლის ზღვრულ მნიშვნელობას, სხვადასხვა ტემპერატურაზე. ტრანსფორმატორის ზეთის ზღვრული კუთრი ტენემცველობა იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$C(t) = (229.9 + 9.812XC_A) \times 10^{(4.862 - 0.0182XC_A)(1 - \frac{343}{t+273})} \quad (2)$$

სადაც,

$C(t)$ – ტრანსფორმატორის ზეთის ტენზემცველობა არის (კუთრი გახსნადობა) მიმდინარე ტემპერატურაზე, C_A – ზეთში არსებული არომატული ნახშირწყალბადები %. t – მიმდინარე ტემპერატურა. იმ შემთხვევაში თუ ცნობილია, ზეთში გახსნადი წყლის, ზეთში არსებული არომატული ნახშირწყალბადების რაოდენობა, შესაძლებელია გამოთვლილ იქნას ტენზემცველობის კონდენსაციის წერტილი შემდეგი ფორმულით:

$$t = \frac{343}{\frac{\lg[C(t)/(229.9+9.812XC_A)}{(4.862+0.0812XC_A)}}} - 273 \quad (3)$$

ტენზემცველობა, ტრანსფორმატორის ზეთში ზრდის ზეთის ელექტროგამტარობას და დიელექტრიკულ დანაკარგებს და ასევე ამცირებს ზეთის ელექტრომდგრადობას. სხვა მხრივ, ტენს შეუძლია შეაკავოს ზეთში მუხტების გენერაცია. ტრანსფორმატორის ზეთი, რომელიც შეიცავს წყალს 10 მკგრ/გ, ითვლება მშრალად. ტრანსპორტირებისას ტენზემცველობა შეიძლება გაიზარდოს 35 მკგრ/გ.

ახალ ტრანსფორმატორის ზეთში არომატული ნახშირწყალბადები პრაქტიკულად მთლიანად იმყოფება გახსნილ მდგომარეობაში, ხოლო ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველებისას ტენის დიდი ნაწილი იმყოფება არაგაუხსნელ მდგომარეობაში.

დროის მანძილზე, გაუხსნელი წყალი შეიძლება გაიხსნას ზეთში, ხოლო განაზღვრულ პირობებში ემულსიური წყალი შეიძლება გაიხსნას ზეთში:

ა) ტრანსფორმატორის ზეთის ტემპერატურის გაზრდით (იმ შემთხვევაში, თუ გახურების წყაროა - გრაგნილი).

ბ) ელექტრული ველის ზემოქმედებით (ვითარდება პოლარული კავშირები, წყლის მოლეკულებსა და პოლარულ ნაერთებს შორის).

ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტროსაიზოლაციო თვისებების გაუარესების თვალსაზრისით, ემულსიური წყალი წარმოადგენს წყლის ერთ-ერთ ყველაზე საშიშ ფორმას.

ზეთში წყლის შემცველობის განსაზღვრის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებულ მეთოდს რეაქტიული ფიშერის მეთოდი წარმოადგენს. მისი მოქმედების არსს წარმოადგენს ქიმიური დამუანგველ-აღმდგენელი რეაქცია, რომელიც ეფუძნება ურთიერთმოქმედებას იოდისა და გოგორდის გაზის შორის, წყლის თანხლებით. აღნიშნული მეთოდი რეალიზებულია კულომეტრული ტიტრატორის მსგავს დანადგარში, რომელიც ქვემოთ არის მოცემული:



ნახ №11 კულომეტრული ტიტრატორი

დანადგარის მახასიათებლებია:

- სრულად ავტომატიზირებული ზეთის ტენის განსაზღვრა, კარლ ფიშერის მეთოდით.
- წყლის აბსოლუტური კონცენტრაცია 10მკგ-დან 200მკგ-მდე.

- ტეტრაედული უჯრედი, იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იყოს წყლის მინიმალური კონცენტრაციის დადგენა მოცემულ ზეთში.

3.2 დიელექტრიკული დანაკარგების და დიელექტრიკული შელწევადობის განსაზღვრა

ტრანსფორმატორის ზეთის დიელექტრიკული დანაკარგების (tg δ) სიდიდე ზეთის საექსპლუატაციო მდგომარეობის ძირითადი მახასიათებელია.

ექსპლუატაციაში მყოფი ზეთის (tg δ) სიდიდის გაზრდა ზეთის დაძველების, მასში სხვადასხვა სახის მინარევების ან მყარი იზოლაციის დაძველების პროდუქტების არსებობის მაჩვენებელია.

ტრანსფორმატორის ზეთის (tg δ) განსაზღვრა, სტანდარტის მოთხოვნის მიხედვით დამზადებულ იმავე უჯრედსა და თერმოსტატში წარმოებს, რომლითაც ზეთის წინააღმდეგობა განისაზღვრება.

უჯრედის მომზადება და ზეთით შევსება ანალოგიურია. დაშვებულია (tg δ) და R $_v$ სიდიდეების პარალელურად განსაზღვრა.

(tg δ) სიდიდის გაზომვა ცვლადი ძაბვის ბოგირით (P5026) გაზომვის პირდაპირი სქემით (ნახ №12) ტემპერატურის დამყარებიდან 10 წუთის შემდეგ წარმოებს.

ტრანსფორმატორის ზეთის დიელექტრიკული დანაკარგების (tg δ) განსაზღვრა 50 ჰერცი ძაბვის მოქმედებით ხდება. უჯრედში ელექტრული ველის დაძაბულობა 1კვ/მმ ტოლი უნდა იყოს, რადგან უჯრედის გამზომ და მაღალძაბვიან ელექტროდს შორის მანძილი 2 ± 0.1 მმ ტოლია, ამის გამო, (tg δ)-ს

გაზომვის სქემაზე მიწოდებული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა 2 კილოვოლტის ($\pm 3\%$) ტოლია.

ტრანსფორმატორის ზეთის (tg δ) და C სიდიდის განსაზღვრა ცვლადი ძაბვის ბოგირის - შერინგის ბოგირის საშუალებით წარმოებს და უდანაკარგო ტევადობაზე C_0 , გამოსაკვლევი საიზოლაციო სისტემის (tg δ და C) შედარების მეთოდს ემყარება.

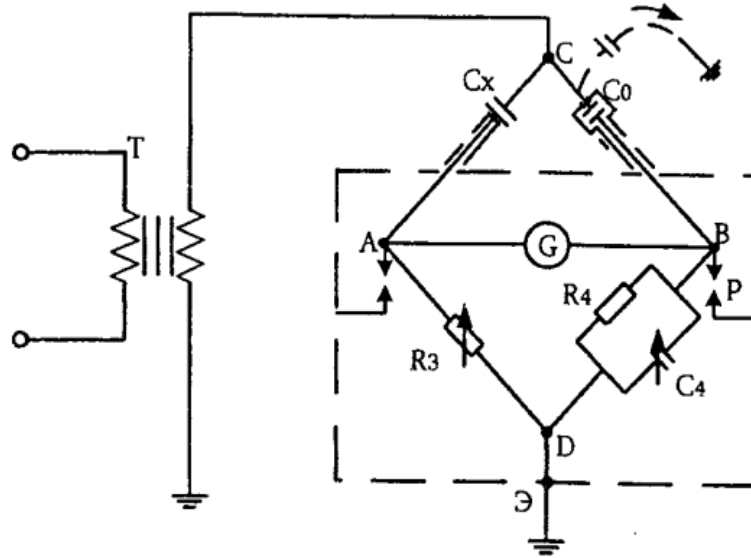
შერინგის ბოგირის ოთხი მხარიდან (ნახ №12) ორი ტევადურ მხარს წარმოადგენს და გამოსაკვლევი C_X (ჩვენს შემთხვევაში გამზომი უჯრედი) და სანიმუშო C_0 , ტევადობისგან შედგება. ეს ტევადობები ერთმანეთს ელექტრულად C წერტილში უკავშირდება, რომელზეც პირდაპირი სქემით გაზომვის შემთხვევაში მაღალი ძაბვა მოქმედებს.

ბოგირის ორი დანაჩენი მხარი რეზისტორულ-ტევადურ მხარს წარმოადგენს. ერთი პარალელურად ჩართული მრავალსაფეხურიანი R_4 წინალობის და ცვლადი ტევადობის მქონე C_4 კონდენსატორისგან შედგება მეორე მხარეს მრავალსაფეხურიანი ცვლადი წინალობის მქონე რეზისტორი R_3 წარმოადგენს.

ეს ორი მხარი ერთმანეთს ელექტრულად ბოგირის D წერტილში უკავშირდება.

გაზომვის სქემის D წერტილს ხელსაწყოს ეკრანის პოტენციალი აქვს და დამინების სისტემასთანაა დაკავშირებული.

შერინგის ბოგირის ტევადური და რეზისტორულ-ტევადური მხარების ელექტრულად დაკავშირება წონასწორობის A და B წერტილებში ხდება. ბოგირის წონასწორობის ინდიკაცია ამ წერტილებს შორის ჩართული ნულინდიკატორის (G) საშუალებით წარმოებს.



ნახ №12 ტრანსფორმატორის ზეთის დიელექტრიკული დანაკარგების და შეღწევადობის შერინგის ბოგირით გაზომვის გამარტივებული სქემა.

სქემის ელემენტების დაზიანების შემთხვევაში A და B წერტილი მაღალი პოტენციალის ქვეშ აღმოჩნდება. ხელსაწყოს დაცვის მიზნით, ამ წერტილებსა და ეკრანს შორის განმუხტველებია ჩართული.

ბოგირის წონასწორობის შემთხვევაში, ე.ი. როდესაც A და B წერტილებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ნულის ტოლია, შემდეგი პირობა სრულდება:

$$R_x \cdot C_x = R_4 \cdot C_4 \quad (4)$$

ზემოთ განხილულის თანახმად გამოსაკვლევი სისტემის დიელექტრიკული დანაკარგები $\text{tg}\delta$ შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$\text{tg}\delta = \frac{R_x}{X_{C_x}} = \omega \cdot R_x \cdot C_x, \quad (5)$$

ე.ი

$$\text{tg}\delta = \omega \cdot R_4 \cdot C_4 \quad (6)$$

თუ R_4 სიდიდე მუდმივია, მაშინ გამოსაკვლევი საიზოლაციო სისტემის $tg\delta$ სიდიდე C_4 სიდიდის დადგენით განისაზღვრება. ტრანსფორმატორის ზეთის $tg\delta$ უგანზომილებო სიდიდეა, მაგრამ პრაქტიკული გამოყენების მიზნით მას პროცენტებში გამოსახავენ, ე.ი.

$$tg\delta\% = tg\delta \cdot 100\% \quad (7)$$

ბოგირის წონასწორობის შემთხვევაში, გამოსაკვლევი საიზოლაციო სისტემის ტევადობა C_x , ბოგირის R_4 და R_3 წინააღობების სიდიდე და C_0 ეტალონურ ტევადობას შემდეგი ფორმულით უკავშირდება:

$$\frac{C_x}{C_0} = \frac{R_4}{R_3}, \text{ ე.ი. } C_x = \frac{R_4}{R_3} C_0$$

მიღებული შედეგების სიზუსტეს R_3 , R_4 და C_0 ბოგირის ძირითადი ელემენტების სიზუსტე და ტემპერატურის სტაბილურობა განაპირობებს.

გარე ელექტრომაგნიტური ველებისგან დაცვის მიზნით ბოგირის ყველა ელემენტი და შემაერთებელი კაბელები ელექტრული ეკრანით არის დაცული. ამასთან, გასაზომ ობიექტთან დამაკავშირებელ კაბელებს ეკრანის მიმართ დიდი წინააღობა და თითქმის ნულოვანი მნიშვნელობის $tg\delta$ და C გააჩნდა.

გაზომვის სქემაში მაღალძაბვიან ელექტროდს „C“ წერტილის საშუალებით მაღალი ძაბვა მიეწოდება, ხოლო გამზომი ელექტროდი და ეკრანი, შესაბამისად, ცვლადი ძაბვის ბოგირის „ C_x “ და „ Σ “ მომჭერებს უერთდება.

$tg\delta$ სიდიდის ხელსაწყოზე ათვლა უჯრედებზე მაღალი ძაბვის მოქმედებიდან სამი წუთის შემდეგ 0,01% სიზუსტით წარმოებს.

სათანადოდ მომზადებული, ზეთით შეუვსებელი უჯრედი გაზომვის სქემას უკავშირდება და შესაბამისი ძაბვის მოქმედებით, ოთახის და გაზომვის ტემპერატურაზე $tg\delta_0$ და C_0 სიდიდეები იზომება. თუ ცარიელი უჯრედის $tg\delta_0$

სიდიდე ტემპერატურის $15 - 35^{\circ}\text{C}$ -ის ინტერვალში $0,01\%$ -ს აღემატება, მაშინ უჯრედი სუფთა არ არის და ტგდ-ს გაზომვა დაუშვებელია.

ტგდ სიდიდეს ერთი და იგივე ტემპერატურაზე, ორი სხვადასხვა პორცის ზეთზე, სათანადოდ მომზადებულ ორ უჯრედში ან ერთი და იგივე უჯრედში, სათანადოდ გასუფთავების და შემოწმების შემდეგ ორჯერ ზომავენ. ორივე შემთხვევაში უმცირესი უდიდესისგან 15% -ზე მეტად არ უნდა განსხვავდებოდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, გაზომვას ამ მოთხოვნის დაკმაყოფილებამდე აგრძელებენ.

ტგდ გაზომვის შედეგად ამ ორი მნიშვნელობიდან უმცირესი სიდიდე ითვლება.

თუ ტგდ სიდიდის განსაზღვრა სხვადასხვა ტემპერატურაზე წარმოებს, ან საჭიროა ტგდ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულების განსაზღვრა, მაშინ გაზომვას უმცირესი ტემპერატურიდან იწყებენ.

ტრანსფორმატორის ზეთი თხევად ნეიტრალურ დიელექტრიკს მიეკუთვნება. ახალი ზეთის ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა (ϵ_r) 20°C ტემპერატურაზე 2,15-დან 2,3-მდე იცვლება, დამოკიდებულია ზეთის სტრუქტურულ შემადგენლობაზე და სხვადასხვა მარკის ზეთებისათვის განსხვავებულია.

ტემპერატურის გაზრდით ϵ_r სწორხაზოვნად მცირდება და ϵ_r ტემპერატურული კოეფიციენტის სიდიდე $a_{\epsilon} = -0.0006 - 0.00067 \frac{1}{\text{გრად}}$, ე.ი ტემპერატურის 20°C -დან 90°C -მდე გაზრდით ტრანსფორმატორის ახალი ზეთის ϵ_r სიდიდე ≈ 0.1 -ით მცირდება.

დაძველების პროდუქტები და მინარევები ტრანსფორმატორის ზეთის ϵ_r სიდიდეს ზრდის. შესაბამისად, ϵ_r -ის ცვლილების საშუალებით შესაძლებელია ექსპლუატაციაში მყოფი ზეთის მდგომარეობის შეფასება.

ამ სახის შეფასების საშუალებას ვერმანის კოეფიციენტი (D_v) შემდეგი ფორმულის საშუალებით იძლევა:

$$D_v = \varepsilon_r - (n)^2 \quad (8)$$

ვერმანის კოეფიციენტის სიდიდე ტემპერატურაზე დამოკიდებული არ არის, მაგრამ D_v განსაზღვრას და შესაბამისად, ε_r და n -ის გაზომვას $20-25^{\circ}C$ -ის ინტერვალში ახდენენ. ზუსტი გაზომვებით, ვერმანის კოეფიციენტი ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების დანყებას ადრეულ ეტაპზე გამოავლენს და მრავალ ქვეყანაში მისი განსაზღვრა სავალდებულოა.

ტრანსფორმატორის ზეთის ε_r სიდიდის განსაზღვრა საექსპლუატაციო ნორმით სავალდებულო არ არის, მაგრამ ზეთის სრული ანალიზის ან ზეთის დაძველების დანყების შესაფასებლად მისი განსაზღვრა აუცილებელია.

ε_r სიდიდეს ზეთით შეუვსებელი უჯრედის ტევადობის C_0 და ტრანსფორმატორის ზეთით შევსებული უჯრედის ტევადობათა (C) ფარდობით გამოითვლება:

$$\varepsilon_r = \frac{C - C_{\text{ვარ}}}{C_0 - C_{\text{ვარ}}} \quad (9)$$

C და C_0 სიდიდეების დადგენა ცვლადი ძაბვის ბოგირის საშუალებით, $t_{\text{გდ}}$ -ს გაზომვასთან ერთად, იმავე პირობებში წარმოებს.

ტევადობის (C და C_0) განსაზღვრა ორი ცდის საშუალებით წარმოებს, რომლის დროსაც უმცირესი, უდიდესი შედეგიდან – 5%-ზე მეტად არ უნდა განსხვავდებოდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში ცდას პირობის დაკმაყოფილებამდე ერთი და იმავე სინჯის სხვადასხვა პორციის ზეთზე ატარებენ.

ტრანსფორმატორის ზეთის სხვა მახასიათებლებისგან განსხვავებით ε_r -ის განსაზღვრა გაზომვის მეტ სიზუსტეს და უჯრედის მაღალ სისუფთავეს მოითხოვს.

პარაზიტული ტევადობა ($C_{\text{ვარ}}$) სქემის შემაერთებელი კაბელების და უჯრედის საიზოლაციო როლების ტევადობითაა განპირობებული. $C_{\text{ვარ}}$ სიდიდის

დადგენა მაკალიბრებელი სითხით შევსებული უჯრედის ტევადობის (C') გაზომვით წარმოებს, რომლისთვისაც გაზომვის ტემპერატურაზე ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობის სიდიდე (ϵ_r') დიდი სიზუსტით არის ცნობილი

$C_{\text{ვარ}}$ შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$C_{\text{ვარ}} = \frac{C_0 \epsilon_r' - C'}{\epsilon_r' - 1} \quad (10)$$

ϵ_r სიდიდედ ცდით მიღებული მნიშვნელობების (ორი ცდა) საშუალო არითმეტიკული ($\overline{\epsilon_r}$) ითვლება და მის გაზომვის ტემპერატურაზე ტრანსფორმატორის ზეთის ფარდობით დიელექტრიკულ შეღწევადობას (ϵ_r) უწოდებენ.

3.3 ტრანსფორმატორის ზეთის კუთრი წინალობის განსაზღვრა

ტრანსფორმატორის ზეთის კუთრი მოცულობითი წინალობის (ρ_v) სიდიდე, ანუ ზეთის კუთრი წინალობა 10^8 ომი-დან 10^{13} ომი-მდე იცვლება და მას მინარევებით გამოწვეული გამტარობა განაპირობებს. უაღრესად სუფთა ზეთის კუთრი წინალობა 10^{14} ომამდეა.

ზეთის კუთრი წინალობა ტემპერატურის 20°C -დან 90°C -მდე გაზრდით ექსპონენციალურად 10-15-ჯერ მცირდება.

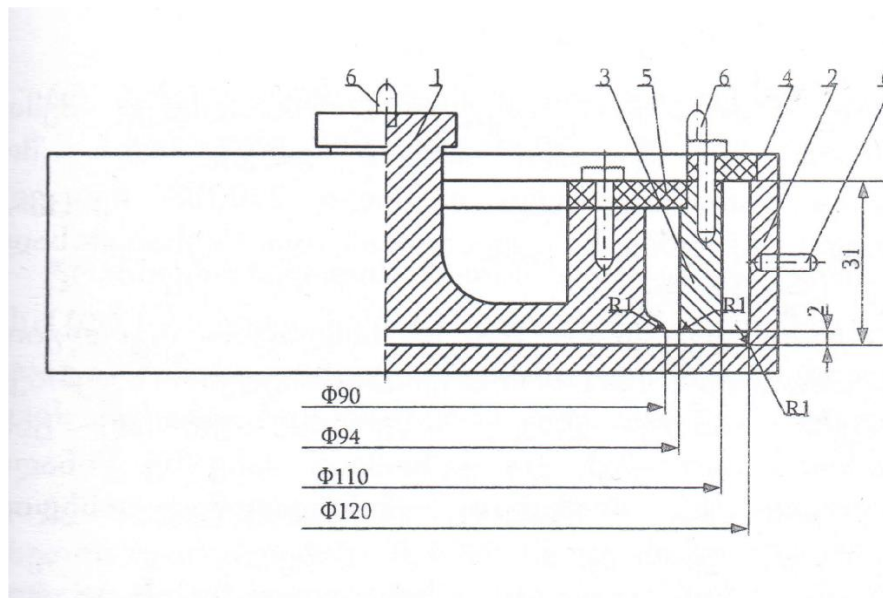
ტრანსფორმატორის ზეთის კუთრი წინალობის სიდიდე სტანდარტით ნორმირებული არ არის, მაგრამ ზეთის მდგომარეობის დამატებითი მახასიათებელია და იმ შემთხვევაში გამოითვლება, თუ ზეთის სრული გამოკვლევა ან სისუფთავის ხარისხის შემოწმებას აქვს ადგილი, ასევე

საერთაშორისო ელექტროტექნიკური კომისიის რეკომენდაციით სტანდარტიზებულია.

როდესაც, ტრანსფორმატორის ზეთი დაძველების პროდუქტებს და მინარევების მყარ ნაწილაკებს არ შეიცავს, მაგრამ ტენიანია, მაშინ ტემპერატურის 20°C -დან 90°C -მდე გაზრდისას, ტენის აორთქლების შედეგად, ზეთის წინალობა იზრდება.

კუთრი წინალობის სიდიდის განსაზღვრისთვის სპეციალურ უჯრედში მოთავსებული ზეთის წინალობას მუდმივი დენის მიმართ საზღვრავენ და შემდეგ უჯრედის მუდმივას გათვალისწინებით, ρ სიდიდეს გამოთვლიან.

თხევადი დიელექტრიკების წინალობის განსასაზღვრავე უჯრედი ბრტყელი, ან ცილინდრული ფორმისაა. უმეტეს შემთხვევაში ბრტყელი, მრგვალი ფორმის უჯრედი გამოიყენება, რომელიც ერთმანეთისგან საიზოლაციო მასალით ელექტრულად განმხოლოებული, სამი ელექტროდისგან შედგება.



ნახ. 13 თხევადი დიელექტრიკების ρ , ϵ_r და $\tan \delta$ განსასაზღვრავე უჯრედი (ზომები მილიმეტრებში)

მაღალძაბვიან ელექტროდს (5) ბრტყელი, ერთგვაროვანი ძირი აქვს, რომლის გვერდებს საიზოლაციო მასალისგან დამზადებული რგოლი (4) ეყრდნობა. ამ რგოლზე ეკრანი (დამცავი) – რგოლისებრი ელექტროდი (2) თავსდება. დამცავ ელექტროდში საიზოლაციო მასალისგან დამზადებული მეორე რგოლი (3) იდგმება, რომელიც გამზომ ხელსაწყოსთან ელექტრული კავშირის დასამყარებლად სპეციალური გამომყვანები (6) აქვს. მაღალძაბვიანი ელექტროდი გამზომი ხელსაწყოს “+” მომჭერს, ხოლო გამზომი ელექტროდი და დამცავი რგოლი შესაბამისად “-” მომჭერს და ხელსაწყოს ეკრანს უკავშირდება.

სხვადასხვა ტემპერატურაზე, გაზომვებისთვის უჯრედი იზოლირებული სადგარით თერმოსტატში თავსდება. თერმოსტატის კორპუსი და გამზომ ხელსაწყოსთან უჯრედის დამაკავშირებელი სადენების ეკრანები დამინებულია.

უჯრედის საიზოლაციო რგოლები მაღალი წინააღმდეგობის მასალისგან (კვარცი, კერამიკა ან ფთოროპლას-4) მზადდება. მათ ზედაპირზე მინარევეები არ უნდა გროვდებოდეს, ხოლო მუშა ტემპერატურის ინტერვალში გეომეტრიულ ზომებს არ უნდა იცვლიდეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში გამზომ და მაღალი ძაბვის ელექტროდს შორის სტანდარტით განსაზღვრული მანძილი 2 ± 0.1 მმ შეიცვლება, რაც უჯრედის მუდმივას ცვლილებას და შესაბამისად, ρ ცდომილებას გამოიწვევს.

უჯრედის დეტალები და საიზოლაციო რგოლები წინასწარ სტანდარტის მოთხოვნის მიხედვით სუფთავდება და მონმდება. გასუფთავებულ, აწყობილ უჯრედს გამზომ ხელსაწყოსთან აერთებენ და გაზომვის ძაბვაზე წინააღმდეგობის სიდიდე ზომავენ, რომელიც მოსალოდნელ სიდიდეზე 50-100-ჯერ მეტი უნდა იყოს.

გაზომვის წინ უჯრედს გამოსაკვლევე ზეთს გაავლებენ და შემდეგ უჯრედს არანაკლებ 50 მილიმეტრი ზეთით, აირის ბუშტების წარმოქმნის გარეშე ავსებენ.

ტრანსფორმატორის ზეთის წინაღობის გაზომვისას, გამზომ და მაღალძაბვიან ელექტროდს შორის ველის დაძაბულობა 500ვოლტი/მმ ტოლია, ე.ი. უჯრედზე 1000 ვოლტი მუდმივი ძაბვა მოქმედებს. R_v სიდიდე ძაბვის მოქმედებიდან 60 წამის შემდეგ აითვლება. გაზომვას ორ უჯრედში ან ერთი და იმავე უჯრედში გასუფთავების შემდეგ ორჯერ ატარებენ. თუ გაზომვის ორ შედეგს შორის უდიდეს უმცირესზე 35%-ზე ნაკლებად განსახვავდება, მაშინ მიღებული შედეგები სარწმუნოდ ითვლება და R_v მნიშვნელობად უდიდეს შედეგს იღებენ.

ტრანსფორმატორის ზეთის კუთრი მოცულობითი წინაღობა ρ_v შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$\rho_v = 0.113C_0 \times R_v \text{ ომი,} \quad (11)$$

სადაც $0.113C_0$ უჯრედის მუდმივაა, ხოლო C_0 ცარიელი უჯრედის ტევადობა, გაზომვის ტემპერატურაზე პიკოფარადებში.

R_v სიდიდის გაზომვა ტერაომეტრის, სპეციალური მეგაომეტრის, ელექტრომეტრის ან მუდმივი დენის მაღალომიანი ბოგირების საშუალებით წარმოებს.

3.4 ტრანსფორმატორის ზეთის მუჟაური რიცხვის და წყალში ხსნადი მუჟავების და ტუტეების განსაზღვრის მეთოდი

ტრანსფორმატორის ზეთში მუჟავების და ტუტეების არსებობა შეიძლება გამოწვეული იყოს, მუჟაური განმენდის შემდეგ არასრული ნეიტრალიზაციის, ან ტუტირებული განმენდის შემდეგ ცუდი განმენდის შემდეგ. ასევე შესაძლებელია

ზეთში მჟავების და ტუტეების მოხვედრა ტრანსპორტირებისას, შენახვის წესების დარღვევისას.

ტრანსფორმატორის ზეთში მჟავების არსებობა ძირითადად აიხსნება გოგირდმჟავის არსებობით. ტუტეების - NaOH და Na_2CO_3 არსებობით. ტრანსფორმატორის ზეთში მინერალური მჟავების და ტუტეების არსებობა არ დაიშვება, რადგან ეს ნივთიერებები იწვევენ: ზეთის დიელექტრიკული თვისებების გაუარესებას, კოროზიას. კოროზია ამცირებს ტრანსფორმატორის მუშაობის რესურსს და დეტალების სიმტკიცეს. კოროზია განსაკუთრებით ინტენსიურად ზემოქმედებს სპილენძზე და ფოლადზედაპირულ დეტალებზე.

ტრანსფორმატორის ზეთში წყალში ხსნადი მჟავების და ტუტეების რაოდენობა განისაზღვრება ГОСТ 6307-75 სტანდარტით. ამისათვის გამყოფ მილში ასხამენ თანაბარი რაოდენობის გამოსაცდელ ზეთს (50მლ) და დისტილირებულ წყალს, რომელიც გახურებულია $70 - 85^{\circ}\text{C}$ და ხუთი წუთის მანძილზე ურევინებენ ერთმანეთში. პროცესის დამთავრების შემდეგად წყლის ნარევი ორი მილით გამოიყოფა გარეთ. პირველი მილში უმატებენ ორ წვეთ მითილორანჯს და ადარებენ გამოყოფილი ნარევი წყლის ფერს, იგივე მოცულობის მქონე სუფთა დისტილირებული წყლის ფერს. წყლის ნარევის ფერის ვარდისფერი შეფერილობის შემთხვევაში მიანიშნებს ტრანსფორმატორის ზეთში წყალში ხსნადი მჟავების არსებობაზე. [12]

მეორე მილში უმატებენ სამ წვეთ ფენოლფტალეინს. წლის ხსნარის ვარდისფერი შეფერილობა მიანიშნებს ზეთში ტუტეების არსებობას.

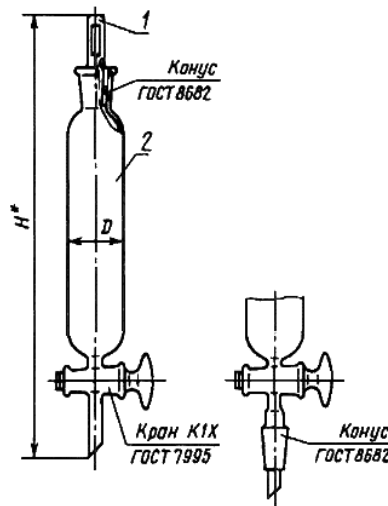
ზეთში დაბალმოლეკულური და წყალში ხსნადი მჟავების განსაზღვრის მეთოდის ნაკლოვანებას წარმოადგენს წყლის ხსნარის, რომელიც გამოყოფილია ტრანსფორმატორის გამოსაკვლევი ზეთიდან, მისი ფერით გამოკვლევისას, დარღვევის შემთხვევაში, თვალისათვის არ ფიქსირდება. ეს

გარემოება ხშირად არის მიზეზი იმას, რომ მიღებული შედეგები ხშირად ერთმანეთის საწინააღმდეგო არის.

ტრანსფორმატორის ზეთის წყალში ხსნადი მუჟავების განსაზღვრის ამ მეთოდის გამოყენება მიზანშეწონილია, იმ შემთხვევაში, როდესაც ჩნდება ეჭვი იმისა, რომ ზეთი მუჟავურ ან ნეიტრალურ ნივთიერებებს მიეკუთვნება, ასევე როდესაც, წყალში ხსნადი მუჟავების რაოდენობა ნორმირდება.

ამ შემთხვევაში 250 მგ გრძელყელიან, კონუსური ტიპის კოლბაში ასხამენ 75 გრამმ გამოსაცდელ ზეთს, (ცდომილება 0.01 გ-მდე) უმატებენ მას 75მლგ დისტილირებულ წყალს, შემდეგ ნარევეს აცხელებენ 70 - 85⁰C -მდე და ურევვენ ხუთი წუთის მანძილზე. გაციების შემდეგ ზეთიდან წყლის ნარევის სრულად გამოყოფისას, იღებენ პიპეტკით 25 მგ აღნიშნულ წყალს და უმატებენ მას ფენოლფტალეინის დაახლოებით 3-X წვეთს, სანამ ნარევი არ მიიღებს ღია ვარდისფერ შეფერილობას. პარალელურად მიმდინარეობს 25მლგ, დისტილირებულ წყალზე, (რომელიც გახურებულია 70 - 80⁰C-მდე) 0.0256 გამხსნელი წყალის დამატება, ფენოლფტალეინის თანხლებით.

დანადგარის პრინციპული სქემა ქვემოთ არის მოცემული:



ნახ. 14 ტრანსფორმატორის ზეთის წყალში ხსნადი მუჟავების განსაზღვრის სქემა,

1 - საცობი, 2 - გრძელყელიანი კოლბა.

ტრანსფორმატორის ზეთში წყალში ხსნადი მჟავები (მლგ KOH 1გ ზეთში)
გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$K = (V-V_1) \times T / \Gamma \quad (12)$$

სადაც,

V - 0.025 ნ ერთი კალი გამხსნელის მოცულობა, რომელიც დახარჯულია წყლის
ტიტრირებისთვის ზეთიდან გამოსატანად, მლგ;

V₁ - 0.025 ნ ერთი კალი გამხსნელის მოცულობა, რომელიც დისტილირებული
წყლის ნეიტრალიზაციისთვის არის დახარჯული, მლგ;

T - 0.025 ნ ერთი კალი გამხსნელის ტიტრია;

Γ - გამოსაცდელი ზეთის ხარისხია.

კოლბაში არსებული ნივთირება შესაძლებელია ადვილად იქნას
შენუღრეული 5 წუთის განმავლობაში, მაგრამ არ დაიშვება ემულსიის
წარმოქმნა. ოთახის ტემპერატურამდე გაციების შემდეგ კონუსურ კოლბაში
წარმოქმნილი წყლის ქვედა დონეს, ფრთხილად წმენდენ ქალაღდის ფილტრის
საშუალებით. გამაგრებული პროდუქტს (პარაფინი) წინასწარ ჩხაპნიან
სპეციალური შუშის ჩხირით. თუ ნავთობპროდუქტის (ზეთი) წყალთან შერევისას
წარმოიქმნება ემულსია, მაშინ წყალში ხსნადი მჟავებს და ტუტეებს იღებენ, ზეთს
ამუშავებენ სპირტით, კონცენტრაციით 1:1, ახურებენ 50 - 60°C-მდე
(დისტილირებული წყლის ნაცვლად).

მიღებული ექსტრაქტიდან განსაზღვრავენ წყალში ხსნადი მჟავების და
ტუტეების არსებობას ინდიკატორის საშუალებით.

იმისათვის, რომ განისაზღვროს წყალში ხსნადი მჟავების და ტუტეების
არსებობა, ორ მილში ათავსებენ 1-დან და 10 სმ³-მდე ექსტრაქტს.

ერთ-ერთ მილში ათავსებენ მეთილის ხსნარის ორ წვეთს და ადარებენ მას იგივე მოცულობის მქონე დისტილირებული წყლის ექსტრაქტის ფერთან, შემდეგ გადააქვთ ეს ხსნარი მესამე მილში და უმატებენ ხსნარის ორ წვეთ მეთილის ფორთოხლისფერ ინდიკატორს. ხსნარის ვარდისფერი შეფერილობა მიგვანიშნებს, რომ ზეთში არის წყალში ხსნადი მჟავები. [13]

მეორე მილში უმატებენ სამ წვეთ ფენოლფტალეინის ხსნარს. ხსნარის ვადისფერი, ან წითელი შეფერილობის შემთხვევაში, ნიშნავს, ზეთში წყალში ხსნადი ტუტეების არსებობაზე.

შედეგების შეჯამება

ტრანსფორმატორის ზეთი ითვლება წყალში ხსნადი მჟავების და ტუტეების არაშემცველად, თუ ზემოთ აღნიშნული რეაქციის შედეგად ხსნარი არ არის ვარდისფერი ან წითელი შეფერილობის, ფენოლფტალეინის, ან მეთილის ფორთოხლისფერ ინდიკატორთან შედარებით.

3.5 ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის განსაზღვრა

სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალებით არის განპირობებული. სითხის მოცულობაში ეს ძალები ერთმანეთს აწონასწორებს, მაგრამ ზედაპირზე მყოფ მოლეკულაზე მოქმედებს გაუწონასწორებელი ძალა, რომელიც ზედაპირიდან მოცულობისკენ არის მიმართული, ამის გამო, მოცულობიდან ზედაპირზე მოლეკულის გადასატანად საჭიროა გარკვეული მუშაობის შესრულება, რომელიც ამ ძალას დაძლევა. შედეგად, ზედაპირზე მყოფ მოლეკულას გარკვეული პოტენციალური

ენერგია გააჩნია, რომელსაც ზედაპირულ ენერგიას უწოდებენ. თუ სითხეზე გარეშე ძალები არ მოქმედებს, ეს ენერგია მინიმალურია და სითხის მოლეკულათა ჯგუფს (წვეთს) ზედაპირის მინიმალური ფართი აქვს, ანუ სფეროსებრია. ზედაპირული ენერგიის ფარდობას წვეთის ფართთან ზედაპირულ დაჭიმულობას უწოდებენ.



ნახ. 15 სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის (ა) და განსაზღვრის (ბ) სქემა

მინარევეებისგან სუფთა ტრანსფორმატორის ზეთში მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედების ძალები დიდია. მინარევეები ამ ძალებს ამცირებენ. შესაბამისად, ზედაპირული დაჭიმულობაც მცირდება.

ზეთის დაძველების პროდუქტები უფრო მცირე კონცენტრაციისას ახდენენ ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირებას, ვიდრე დიელექტრიკული დანაკარგების გაზრდას, ე.ი. ზედაპირული დაჭიმულობა ზეთის დაძველების დაწყებას ადრეულ სტადიაზე გამოავლენს. ამის გამო, ევროპული სტანდარტების მოთხოვნით ტრანსფორმატორის ზეთის მდგომარეობის შესაფასებლად ზედაპირული დაჭიმულობის განსაზღვრა სავალდებულოა.

ზედაპირული დაჭიმულობის სიდიდის განსაზღვრა სითხეში ჩაშვებული ცილინდრული ფორმის ჩარჩოს საშუალებით იმ ძალის განსაზღვრას გულისხმობს, რომელიც ზედაპირიდან სითხის წვეთის მოსაწყვეტადაა საჭირო (ნახ. 15ბ). პრაქტიკაში უფრო მარტივი მეთოდი გამოიყენება, რომელიც წინასწარ

ცნობილი ზედაპირული დაჭიმულობის მქონე სითხის (გამოხდილი წყალი) წვეთების რაოდენობების ჰაერში და გამოსაკვლევ სითხეში ფარდობით განისაზღვრება.

ზედაპირული დაჭიმულობის სიდიდის განსაზღვრა სანვეთურის დახმარებით ხდება. იგი სპეციალურ შტატივს წარმოადგენს (ნახ. 16), რომლის მოსახსნელ მილისებურ სამაგრში ჩადგმულია 2 სმ^3 მოცულობის სამედიცინო შპრიცი, 1 მმ შიგა დიამეტრის მომრგვალებული თავიანი ნემსით. შპრიცის დგუში მექანიკურადაა დაკავშირებული მიკრომეტრულ ხრახნთან, რაც გამოხდილი წყლის სტაბილურად ჩამოწვეთების საშუალებას იძლევა. მილისებური სამაგრის ქვემოთ, თაროზე იდგმება 100 სმ^3 მოცულობის ჭიქა.

ზედაპირული დაჭიმულობის განსაზღვრისათვის ცნობილი უნდა იყოს მოცემულ ტემპერატურაზე გამოხდილი წყლის სიმკვრივე და ზედაპირული დაჭიმულობა. გამოსაკვლევ ზეთის სიმკვრივე ცდით უნდა გაიზომოს. გამოხდილი წყლის სიმკვრივის და ზედაპირული დაჭიმულობის სიდიდეები სპეციალური ცხრილებიდან აიღება (ცხრ. 3)



ნახ. 16 ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის გასაზომი ხელსაწყო

ათვლება ნემსიდან გამოდინებული გამოხდილი წყლის წვეთების რაოდენობა ჰაერში და იგივე მოცულობის წყლის წვეთების რაოდენობა გამოსაკვლევ ზეთში. მუდმივი ტემპერატურისას ნემსიდან ჰაერში გამოყოფილი წვეთების რაოდენობა, მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურაზე. რაც შეეხება გამოსაცდელ ზეთში გამოყოფილ წყლის წვეთების რაოდენობას, იგი მით მეტია, რაც უფრო მეტად დაძველებულია ზეთი. გაზომვის დაწყებამდე შტატივიდან უნდა მოიხსნას დამჭერი მილი. მილის ქვედა ნაწილიდან მოიხსნას დამჭერი ხრახნი და ფრთხილად გამოვიღოთ შპრიცი ნემსთან ერთად.

გამოხდილი წყალი არ უნდა ეკვროდეს შპრიცის ცილინდრის კედლებს და თანაბრად უნდა ჩამოდიოდეს ქვემოთ. თუ ეს ასე არაა, ან კედელზე შეინიშნება ხილული ნალექი, უნდა მოხდეს შპრიცის გარეცხვა 5%-იანი ქრომის ხსნარით, ეთილის სპირტით და ბოლოს გამოხდილი წყლის მრავალჯერადი გამოვლევით.

**ცხრილი №3 გამოხდილი წყლის სიმკვრივე (ρ) და
ზედაპირული დაჭიმულობა (σ) სხვადასხვა ტემპერატურაზე.**

$t^{\circ}C$	σ 10 ⁻⁵ /მ	ρ გ/სმ ³	$t^{\circ}C$	σ 10 ⁻⁵ /მ	ρ გ/სმ ³
10	74,110	0,99973	23	72,115	0,99756
11	73,907	0,99961	24	71,960	0,99732
12	73,754	0,99949	25	71,805	0,99707
13	73,601	0,99937	26	71,650	0,99681
14	73,448	0,99925	27	71,495	0,99654
15	73,295	0,99913	28	71,304	0,99626
16	73,142	0,99897	29	71,195	0,99597
17	72,986	0,99880	30	71,030	0,99567
18	72,836	0,99862	31	70,875	0,99555
19	72,683	0,99843	32	70,720	0,99543
20	72,580	0,99824	33	70,565	0,99531
21	72,425	0,99802	34	70,410	0,99519
22	72,279	0,99780	35	70,255	0,99406

სუფთა შპრიცში შეიყვანენ გამოხდილ წყალს 2 სმ^3 ნიშნულამდე, გადმოაბრუნებენ და ღვეშზე მინოლით მოცულობას მიიყვანენ 1 სმ^3 -მდე ისე, რომ მოცულობაში არ დარჩეს ჰაერის ჩანართი. ჩადგამენ შპრიცს დამჭერ მილში, ხოლო დამჭერ მილს დაადგამენ ხელსაწყოს შტატივზე. შტატივის სადგარზე დადგამენ 100 სმ^3 მოცულობის სუფთა ჭიქას და მიკრომეტრული ხრახნით თანაბარი მოძრაობით დაინწყებენ შპრიციდან გამოხდილი წყლის გადმონვეთებას, შპრიცის სრულ დაცლამდე. დაითვლიან ნვეთების რაოდენობას ჰაერში - R_1 . ნემსის წვეროდან მოუწყვეტელი ნვეთი ითვლება ნახევარ ნვეთად. გაზომვა ტარდება სამჯერ და იანგარიშება R_1 -ის საშუალო მნიშვნელობა. თუ განსხვავება ნვეთების რაოდენობას შორის მეტია 1-ზე, ცდა თავიდან ტარდება. ანალოგიურად ითვლება წყლის ნვეთების რაოდენობა ზეთშიც და დაადგენენ R_2 -ის საშუალო მნიშვნელობას. ცდის ჩატარებისას t ტემპერატურაზე დააფიქსირებენ გამოხდილი წყლის სიმკვრივეს, ზედაპირულ დაჭიმულობას და ზეთის სიმკვრივეს.

ცდით მიღებული და ფიქსირებული სიდიდეების მიხედვით გამოითვლება ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობა:

$$\sigma = \frac{R_1}{R_2} (\rho_1 - \rho_2) \sigma_1 \cdot 10^{-3} \text{ ნ/მ}, \quad (13)$$

სადაც,

R_1 - წყლის ნვეთების საშუალო რაოდენობა ჰაერში t ტემპერატურაზე;

R_2 - წყლის ნვეთების საშუალო რაოდენობა ზეთში t ტემპერატურაზე;

ρ_1 - წყლის სიმკვრივე t ტემპერატურაზე;

ρ_2 - გამოსაკვლევი ზეთის სიმკვრივე t ტემპერატურაზე;

σ_1 - გამოხდილი წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა t ტემპერატურაზე.

სტანდარტის მიხედვით ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობა $25^{\circ}C$ ტემპერატურაზე განისაზღვრება. განსხვავებულ ტემპერატურაზე გაზომვისას გამოიყენება შესწორების კოეფიციენტი $\Delta\sigma$:

$$\Delta\sigma = 0.1043 (t - 25) \quad (14)$$

საბოლოოდ ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობა შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება:

$$\sigma = \frac{R_1}{R_1} (\rho_1 - \rho_2)\sigma_1 + 0.1043 (t - 25) \quad (15)$$

3.6 ტრანსფორმატორის ზეთის ფერის განსაზღვრა

ტრანსფორმატორის ზეთი, მისი ექსპლუატაციის ყველა ეტაპზე განიცდის სხვადასხვა ტიპის გამოცდას. უფრო ზუსტად ხდება მისი ხარისხის შემოწმება. ტრანსფორმატორის ზეთის ხარისხის პერიოდული კონტროლი წარმოადგენს ტექნიკური მომსახურების ერთ-ერთ შემადგენელ ნაწილს. ზეთის ძირითადი პარამეტრები, მისი სისუფთავე და სასარგებლო თვისებები განსაზღვრავენ ტრანსფორმატორის მუშაობისუნარიანობას.

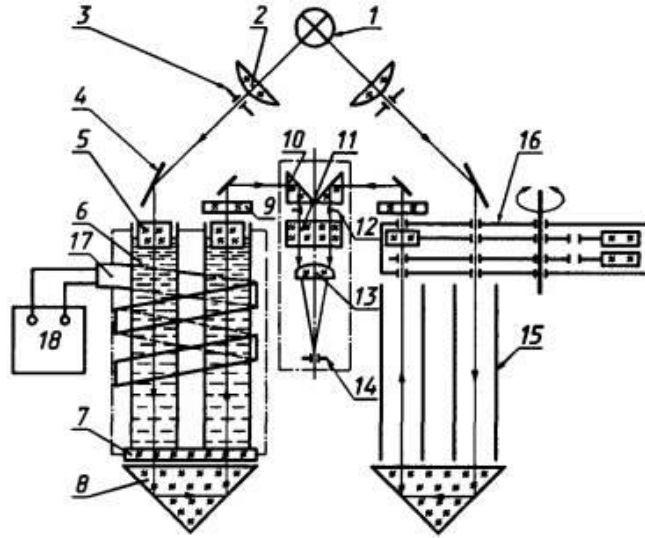
ექსპლუატაციის მანძილზე, ზეთის თვისებას, შეინარჩუნოს მისი პირვანდელი თვისებები, ტრანსფორმატორის ზეთის სტაბილურობა ეწოდება. თუ ძალოვან მოწყობილობას (ტრანსფორმატორი) არ გააჩნია დეფექტი და მუშაობს შეფერხების გარეშე, მაშინ ახალი ზეთის პარამეტრები პრაქტიკულად არ იცვლება. ახალ ტრანსფორმატორის ზეთს აქვს ღია ფერი და შეესაბამება ექსპლუატაციის წესებით დადგენილ ნორმებს, რომელიც განსაზღვრავს მის დიელექტრიკულ და ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებს.

ექსპლუატაციის მანძილზე ტრანსფორმატორის ზეთის სტაბილურობა შესამჩნევად მცირდება, იცვლება პარამეტრები და ფერი ხდება შედარებით მუქი.

მუავური რიცხვის გაზრდა ტრანსფორმატორის ზეთში ზრდის ნეგატიურ თვისებებს, ნაცრიანობას და დაბალ მოლეკულურ მუავებს. დაძველებულ ზეთში ფორმირდება ნალექი, რომელიც დაგროვილ მუავურ ნივთიერებებთან ერთად, ანადგურებენ ტრანსფორმატორის ქაღალდის იზოლაციას და ტრანსფორმატორის შიგა მეტალთან შედიან რეაქციაში. [14]

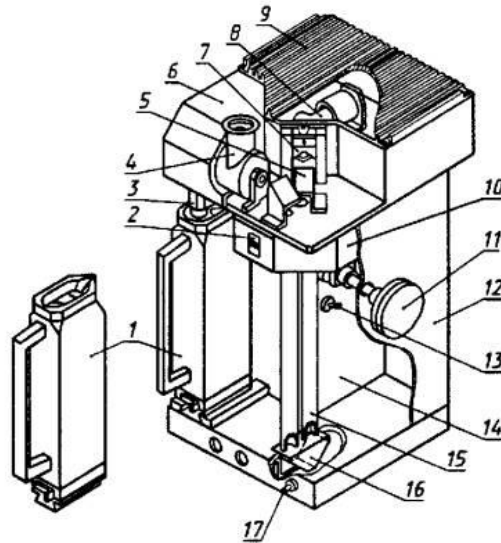
ანალიზის პროცესში ტარდება ზეთის ფიზიკურ-ქიმიური შემდეგი მახასიათებლები გამოკვლევა: ზეთის დიელექტრიკული მდგრადობა, დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსი, ნათების ტემპერატურა, ზეთის ფერი, მექანიკური მინაერთების რაოდენობა, ტენიანობა, გაზმემცველობა და მუავური რიცხვი.

თანამედროვე რეალობაში ტრანსფორმატორის ზეთის ფერის განსაზღვრის ავტომატური მონაცობილობები არსებობს, რომლის მუშაობის არსი მგომარეობს, ზეთის ნიმუშიდან არეკლილი სინათლის ნაკადის სიდიდის განსაზღვრაზე (ГОСТ 20284-74 სტანდარტით), რომელიც ხორციელდება სპეციალურ მონაცობილობაში, რომელსაც კალორიმეტრი ეწოდება. მეთოდის არსი მდგომარეობს ზეთის ფერის ვიზუალურ შედარებაში ფერადშუშთან სინათლის ფილტრთან.



ნახ. 17 კალორიმეტრის ოპტიკური სქემა

ნახაზიდან, 1 - გამნათებელი; 2 - კონდენსატორი; 3 - ცვლადი დიაფრაგმა; 4 - სარკე; 5,7 - დამცავი შუშა; 6 - კიუვეტა; 8,10 - პრიზმა; 9 - მქრქალი მინა; 11 - დღის სინათლის შუქფილტრი; 12 - დიაფრაგმა; 13 - ოკულარი; 14 - გამომავალი მილი; 15 - ეტალონური არხი; 16 - ბლოკ ბარაბანი სინათლის ფილტრით; 17 - კიუვეტის გამახურებელი; 18 - კვების ბლოკი.



ნახ. 18 კალორიმეტრის საერთო ხედი

ნახაზიდან, 1 - კიუვეტა; 2 - ფანჯარა; 3 - ეტლი; 4 - ოკულარი; 5 - სარკე; 6,12 - საფარი; 7- დიაფრაგმა; 8 - გამანათებელი; 9 - სახურავი; 10 - სინათლის ფილტრის ბლოკი; 11 - სახელური; 13,17 - გადამრთველი; 14 - კორპუსი; 15 - ეტალონური არხი; 16 - პრიზმა.

ტრანსფორმატორის ზეთის ფერის განსაზღვრისთვის პირველ რიგში ხდება დანადგარის მომზადება, შემდეგნაირად:

1. ამონმებენ ოპტიკური მინის და კიუვეტის სისუფთავეს. საჭიროების შემთხვევაში კიუვეტას წმენდენ ბენზინით და აშრობენ მშრალი ჟანგბადის ჭავლით.
2. სუფთა და გამშრალეულ კიუვეტას ამონტაჟებენ დანადგარში. რთავენ კალორიმეტს სქელში, ამასთან ერთად ირთვება ნათურის მწვანე და წითელი ინდიკატორი. ნათურის მწვანე ინდიკატორი აფიქსირებს, რომ დანადგარი ქსელში არის ჩართული, წითელი - ჩართულია კიუვეტა ტემპერატურის კონტროლზე. კიუვეტას მუშა ტემპერატურის მიღწევისას წითელი ნატურა ავტომატურად ჩაქრება. პერიოდულად წითელი ნათურის ანთება და ჩაქრობა მიუთითებს იმაზე, რომ კიუვეტში ხდება ტემპერატურის შენარჩუნება.
3. პარაფინის სინჯს, დაახლოებით 130-140 გ, ათავსებენ ემიურ ჭიქაში და აღნობენ თერმოსტატში, ან ზეთის აბაზანაში ($90 \pm 5^{\circ}\text{C}$). პარაფინის სინჯში ათავსებენ თერმომეტრს, გადნობამდე. თუ პარაფინის სინჯი შეიცავს მექანიკურ მინაერთებს, რომელიც

უშლის ზეთის ფერის დაღვენას, მას ფილტრავენ გამფილტრავი ქალაღლით. პარაფინის სინჯის ტემპერატურა კალორიმეტრის კიუვეტაში მოთავსებამდე უნდა იყოს ($75 \pm 2^0\text{C}$).

შემდეგ, ხღება დანადგარის შემონშება:

1. კიუვეტის გახურების შემდეგ, მას სწრაფად ამოძრავებენ კალორიმეტრის ბუღეში, კიუვეტაში ასხამენ გამღნარ გრაფინს და ამონტაჟებენ კიუვეტას მუშა მღგომარებაში. ეტლის სახელურის დაჭერით უშვებენ მას ქვეღა მღგომარეობაში, ისე რომ დამცავი მინა იყოს ჩაშვებული გამოსაცდელ პროღუქტში. როღსაც მიიღწევა კიუვეტის მუშა ტემპერატურა (წითელი ნატურა გამოირთვება) შეუღგებიან უკვე ფერის განსაზღვრას.
2. სინათლის ფილტრიანი, მბრუნავი ბარაბნით და ოკულარზე დაკვირვებით, რიგ-რიგობით, ეტალონურ არსში სინათლის ფილტრები შეყავთ, მანამღე, სანამ გამოსაცდელი პარაფინის და სინათლის ფილტრის ფერის ველი არ დაემთხვევა ერთმანეთს.

შემდეგ, მიმღინარეობს შეღგების დამუშავება:

1. პარაფინის ფერს გამოსახავენ პირობით ერთეულებში, რომელიც შეესაბამება სინათლის ფილტრის ფერის შკალის ნომერს
2. ორი სინათლის ფილტრიდან, თუ პარაფინს აქვს შუაღედური ფერი, მაშინ შეღგვისათვის გამოიყენებენ იმ სინათლის ფილტრის ფერს, რომელიც უფრო ინტენსიური შეფერიღობისაა.

ბოლოს, ხდება გამოცდის მეთოდის დაზუსტება.

1. გამოცდის ორ შედეგს, მიღებული ერთი შემსრულებლის მიერ, თვლიან სანდოდ, თუ განსხვავება მათ შორის არ ცდება კალორიმეტრის შკალის ერთ პირობით ერთეულს.
2. გამოცდის ორ შედეგს, მიღებულ ორ სხვადასხვა ლაბორატორიაში, თვლიან სანდოდ, თუ განსხვავება მათ შორის არ ცდება კალორიმეტრის შკალის ორ პირობით ერთეულს.

3.7 ტრანსფორმატორის ზეთის ნორმები

ნავთობგადამამუშავებელი საწარმოს მიერ დამზადებული ტრანსფორმატორის ზეთს, ახალი ან ნედლი ზეთი ეწოდება. მისი მახასიათებლების მნიშვნელობები სტანდარტით არის განსაზღვრული. ახალი ზეთი წინასწარი მომზადების (ფილტრაცია, დეგაზაცია) შემდეგ სხვადასხვა მუშა ძაბვის მქონე ზეთით შევსებული ელექტრომონცილობილობებში გამოიყენება. ასეთ ზეთს ექსპლუატაციაში მყოფ ანუ საექსპლუატაციო ზეთს უწოდებენ. მისი მახასიათებლების მნიშვნელობები (ცხრილი №4) საექსპლუატაციო ნორმატიული დოკუმენტით არის განსაზღვრული.

როგორც ცხრილი №4-დან ჩანს, ტრანსფორმატორის საექსპლუატაციო ზეთის მახასიათებლების მნიშვნელობები ენერგომონცილობის მუშა ძაბვის მიხედვით იცვლება. აგრეთვე მახასიათებლებს გააჩნია “ნორმალური მდგომარეობის ზღვრული” და “ზღვრული დასაშვები” მნიშვნელობები. თუ

ექსპლუატაციაში მყოფი ყველა მახასიათებელი “ნორმალური მდგომარეობის ზღვრული” მნიშვნელობის მოთხოვნას აკმაყოფილებს, მაშინ ზეთი საექსპლუატაციოდ ვარგისია, ხოლო თუ მისი ერთ-ერთი მახასიათებელი “ზღვრულ დასაშვებ” მნიშვნელობას აღემატება, მაშინ ზეთის ექსპლუატაცია დაუშვებელია. ასეთი ზეთი ახლით უნდა შეიცვალოს ან ჩაუტარდეს რეგენერაცია.

ცხრილი №4 ნორმატიული დოკუმენტის მიხედვით საექსპლუატაციო ზეთის მახასიათებლები

№	მახასიათებელი და განზომილება	ელ. მონაცემების კატეგორია ძაბვის მიხედვით	მახასიათებლის მნიშვნელობა		სტანდარტი
			ნორმალური მდგომარეობის ზღვრული	ზღვრული დასაშვები	
1.	გამრღვევი ძაბვა კვ. არა ნაკლები	- 15 კვ ჩათვლით - 15-დან 30კვ ჩათვლით - 60-დან 150კვ ჩათვლით - 220-დან 500კვ ჩათვლით	- - 40 60	20 25 35 55	6581-75
2.	მჟავეური რიცხვი მგრ KOH/გრ ზეთზე არა უმეტეს	- მზომი და ძალური ტრანსფორმატორები 50კვ ჩათვლით	0.10	0.25	5985-79
3.	ფეთქის ტემპერატურა არა ნაკლები	- ძალური და მზომი ტრანსფორმატორები ძაბვის არაპერმეტული შემყვანით	საწყისზე არანაკლებ 5-ით შემცირება	125	6356-75
4.	ტენშემცველობა გრამი/ტონა ზეთზე. არა უმეტეს	- აფსკის და აზოტური დაცვის მქონე ტრანსფორმატორებისთვის - სპეციალური დაცვის გარეშე მყოფი ძალური და მზომი ტრანსფორმატორები	15 -	25 30	7822-75

5.	მექანიკური მინარევების შემცველობა. სისუფთავის კლასი. არა უმეტეს	- ელექტრომონოცილობ - ების 220 კვ-მდე - ელექტრომონოცილობები 220კვ-დან 750 კვ ჩათვლით.	13 11	13 12	6370-83
6.	დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსი 90°C ტემპერატურაზე % არა უმეტეს	- ძალური და მზომი ტრანსფორმატორები, ძაბვის შემყვანები 110-150კვ-ს ჩათვლით 220-500კვ ჩათვლით	12 8	15 10	6581-75
7.	წყალში ხსნადი მჟავების და ტუტეების შემცირება მგრ KOH სკრ ზეთზე, არა უმეტეს	- ყველა სახის და ძაბვის ელექტრომონოცილობები	0.014	-	6307-75
8.	დაჟანგვის საწინააღმდეგო მისართის შემცველობა, % მასის, არა ნაკლები	- ყველა სახის ტრანსფორმატორები სპეციალური დაცვის გარეშე, ზეთით შევსებული ძაბვის არაჰერმეტიკული შემყვანები	0.1	-	
9.	გახსნილი შლამის შემცველობა, მასის % არა უმეტეს	- ძალური და მზომი ტრანსფორმატორები, ძაბვის არაჰერმეტიკული შემყვანები	-	0.005	34.43. 105-89
10.	აირშემცველობა, შეცულობის %, არა უმეტეს	დამცავი აფსკის მქონე ტრანსფორმატორები, ძაბვის ჰერმეტიკული შემყვანები	2	4	34.43. 107-95

**ცხრილი №5 ნორმატიული დოკუმენტის მიხედვით რეგენირებული ზეთის
მახასიათებლები**

№	მახასიათებელი და განზომილება	ელ. მონაცემების კატეგორია ძაბვის მიხედვით	მახასიათებლის მნიშვნელობა		სტანდარტი
			ჩასხმამდე	ჩასხმის შემდეგ	
1.	გამრღვევი ძაბვა კვ, არა ნაკლები	- 15 კვ ჩათვლით - 15-დან 30კვ ჩათვლით - 60-დან 150კვ ჩათვლით - 220-დან 500კვ ჩათვლით	30 35 60 65	35 30 55 60	6581-75
2.	მჟავური რიცხვი მგრ KOH/გრ ზეთზე არა უმეტეს	-ძალური ტრანსფორმატორები 220კვ ჩათვლით -მზომი ტრანსფორმატორები 220კვ ჩათვლით -მზომი და ძალური ტრანსფორმატორები 220-დან 500კვ ჩათვლით	0.05 0.02 0.02	0.05 0.02 0.02	5985-79
3.	ფეთქის ტემპერატურა არა ნაკლები	- ძალოვანი ტრანსფორმატორები 220კვ ჩათვლით. -ძალური და მზომი ტრანსფორმატორები 750კვ ჩათვლით.	130 135	130 135	6356-75
4.	ტენემცველობა გრამი/ტონა ზეთზე. არა უმეტეს	- აფსკის და აზოტური დაცვის მქონე ტრანსფორმატორებისთვის - სპეციალური დაცვის გარეშე მყოფი ძალური და მზომი ტრანსფორმატორები	10 20	10 25	7822-75
5.	მექანიკური მინარევების შემცველობა. სისუფთავის კლასი. არა უმეტეს	- ელექტრომონაცემობების 220 კვ-მდე - ელექტრომონაცემობები 220კვ-დან 750 კვ ჩათვლით.	11 9	12 10	6370-83

6.	დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსი 90°C ტემპერატურაზე არა უმეტეს %	- ძალოვანი ტრანსფორმატორები 220კვ ჩათვლით -მზომი ტრანსფორმატორები 220კვ ჩათვლით -ყველა სახის ტრანსფორმატორები 220კვ კვ-დან 500კვ ჩათვლით	5 1.5 1.5	9 1.7 1.7	6581-75
7.	წყალში მჟავების ტუტეების შემცველობა სსნადი და	- ყველა სახის და ძაბვის ელექტრომონოცილობები	0.014	0.014	6307-75
8.	დაჟანგვის საწინააღმდეგო მისართის შემცველობა, მასის, არა ნაკლები %	- ძალოვანი ტრანსფორმატორები 220კვ ჩათვლით -მზომი ტრანსფორმატორები 750კვ ჩათვლით	0.20 0.30	0.18 0.27	
9.	დაჟანგვის მიმართ სტაბილურობა. დაჟანგვის პირობები: -ტემპერატურა 130 -ჟანგბადის ხარჯი 50 მილიტრი წუთში - ცდის დრო 30წთ მახასიათებლები: -მუავერი რიცხვი მილიგრამი გრამ ზეთზე - ნალექი	- ძალური და მზომი ტრანსფორმატორები, 220კვ-დან 750კვ-ს ჩათვლით	0.2 არ არის	- -	981-75

რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები, რეგენერაციის მეთოდზე არ არის დამოკიდებული და საექსპლუატაციო ნორმით არის განსაზღვრული (ცხრილი №4). ისინი ელექტრომონოცილობაში ჩასხმის შემდეგ უმნიშვნელო ცვლილებას განიცდიან, რაც სტანდარტშიც არის ასახული, ამის გამო, რეგენირებული ზეთი ცხრ №5, №4-ის ყველა მოთხოვნას უნდა აკმაყოფილებდეს.

ამ მახასიათებლებიდან დაძველებული ზეთის რეგენერაციის მეთოდი მუავერი რიცხვს (№2), დიელექტრიკულ შეღწევალობას 90 ტემპერატურაზე (№6)

და წყალში ხსნადი მჟავების და ტუტეების შემცველობას (№7) განაპირობებს, ხოლო დაჟანგვის მიმართ სტაბილურობა (№9) რეგენირებული ზეთის ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პირობებში ამ მახასიათებლების ერთობლივ ცვლილებას აფასებს.

რეგენირებული ზეთის ზემოთმოყვანილი მახასიათებლები, როგორცაა: გამრღვევი ძაბვა (№1), ფეთქის ტემპერატურა (№3), ტენზომცველობა (№4), მექანიკური მინარევების შემცველობა (№5), ექსპლუატაციის წინ ზეთის მომზადების ხარისხის შემფასებელი პარამეტრებია და ელექტრომონწყობილობის ძაბვის სიდიდის (კლასის) და ტიპის მიხედვით იცვლება. მათი სიდიდეები ზეთის რეგენერაციის მეთოდს ნაკლებად უკავშირდება, მაგრამ გავლენას ახდენს ტრანსფორმატორის ზეთის ისეთ მნიშვნელოვან პარამეტრზე, როგორცაა დიელექტრიკული დანაკარგები 90 ტემპერატურაზე. [15]

რეგენირებული ზეთის მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდები სტანდარტით არის დადგენილი (ცხრ№5). შემდგომში ყველა მახასიათებელი ამ სტანდარტის მიხედვით განისაზღვრა.

თავი 4. ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით

4.1 გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურის და არევის სიჩქარის დადგენა.

ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების არევის მეთოდით რეგენერაციისთვის, მრავალ ფაქტორთან ერთად გადამწყვეტი მნიშვნელობა ზეთის და სორბენტის ტემპერატურას, ანუ რეგენერაციის ტემპერატურას და სორბენტის არევის სიჩქარეს აქვს.

ცნობილია, რომ ტემპერატურის გაზრდით ტრანსფორმატორის ზეთის სიბლანტე მცირდება და მისი მოლეკულები ადვილად ამყარებენ კავშირს სორბენტის ზედაპირთან, მაგრამ ამასთანავე იზრდება დაძველების პროდუქტების ზეთში ხსნადობა. ზოგიერთი მათგანი კი $110^{\circ}C$ ტემპერატურაზე ზეთში სრულებით იხსნება და მათი ზეთისგან გამოცალკევება გაძნელებულია.

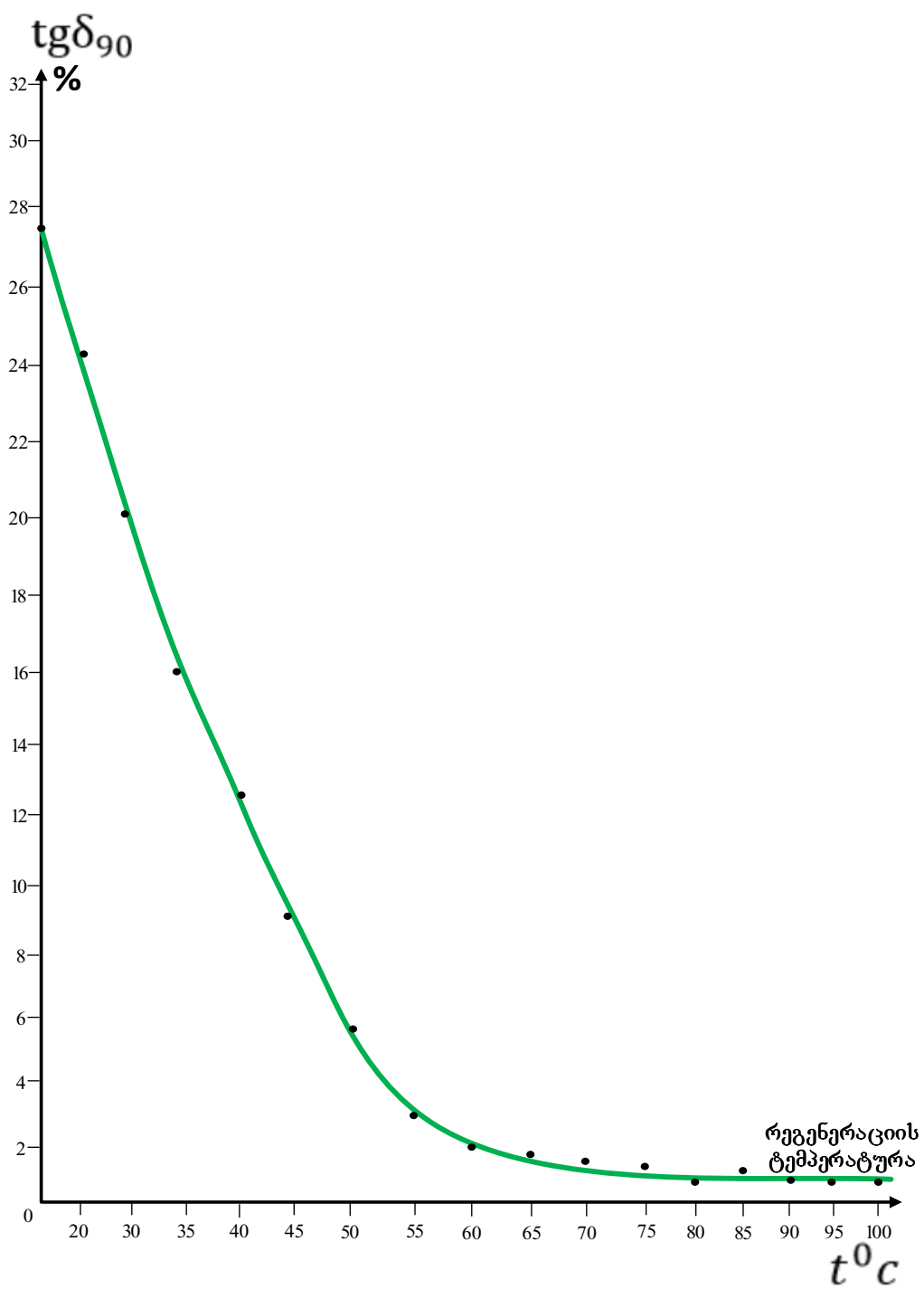
ამასთანავე ტემპერატურის გაზრდით დაძველების პროდუქტების დიპოლური მოლეკულების კინეტიკური ენერგია იმდენად იზრდება, რომ ისინი სორბენტის ზედაპირთან მცირე ხნის კავშირის შემდეგ, სორბენტის ზედაპირულ მუხტთან ერთად სორბენტს ტოვებენ. ამის გარდა სხვა უფრო რთული მექანიზმებიც ახდენენ გავლენას რეგენერაციის ტემპერატურაზე. ამის გამო თეორიული შეფასებით რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურის დადგენა დიდ სიძნელებთან არის დაკავშირებული და უმჯობესია ის ექსპერიმენტულად მოსინჯვის მეთოდით დადგინდეს.

გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურის დასადგენად ცდები 30°C -დან 100°C -მდე ტემპერატურულ შუალედში ყოველი 5°C ინტერვალით, 20% გუმბრინის თიხის გამოყენებით, ზემოთ განხილული მეთოდით მომზადებული ტრანსფორმატორის საშუალო დაძველების ზეთზე არევის მეთოდით ჩატარდა. ყოველ ტემპერატურაზე რეგენერაციის პროცესის ხანგრძლივობა 2 საათს შეადგენდა. ერთ ტემპერატურაზე სამი პარალელური ცდის შედეგებს შორის განსხვავება 15% არ აღემატებოდა. რეგენერაციის პროცესის შეფასების სამი ცდის შედეგის საშუალო მნიშვნელობით ვახდენდით.

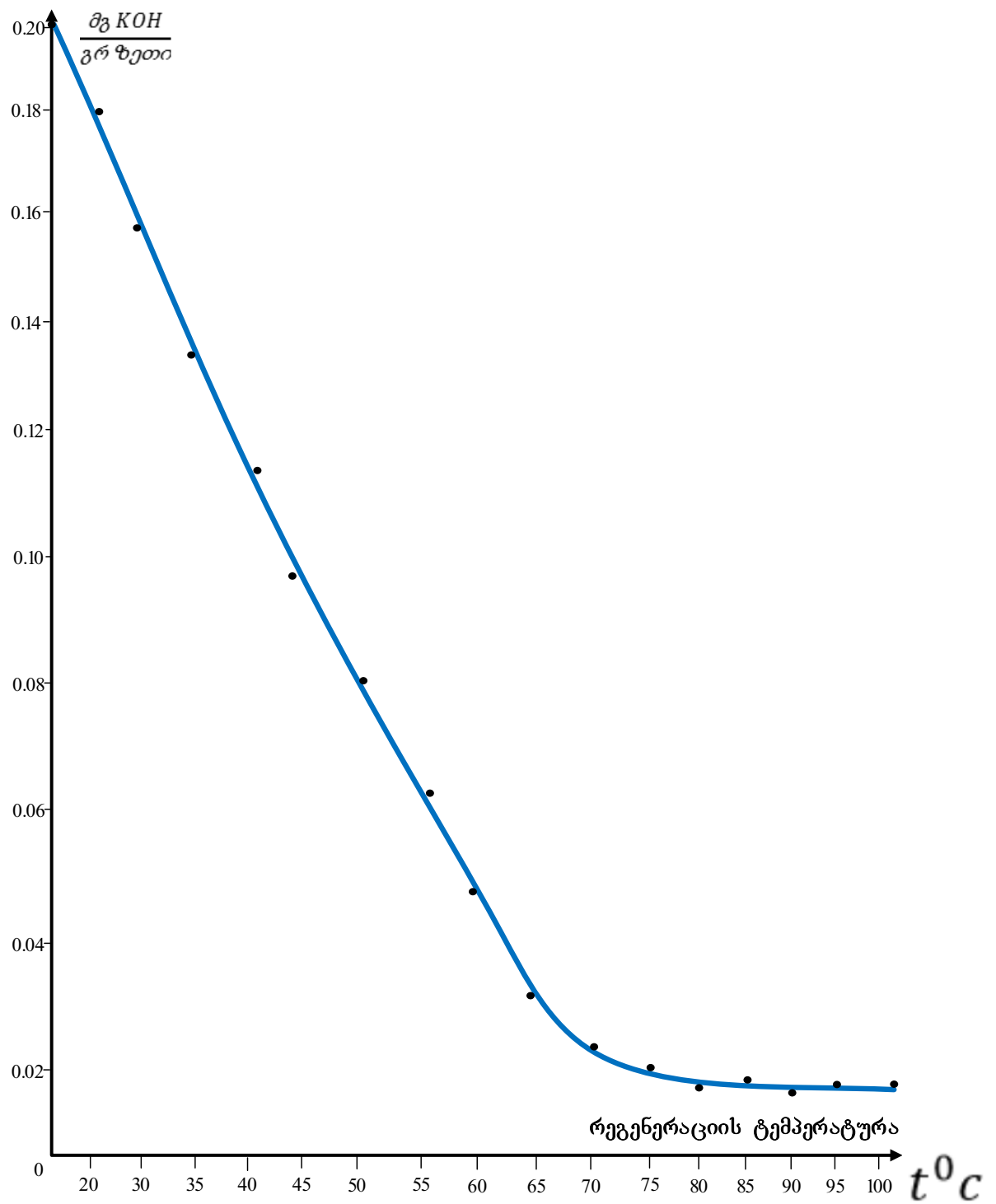
ტრანსფორმატორის ზეთის მდგომარეობის შეფასება მრავალი პარამეტრით ხდება, მაგრამ რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურის დასადგენად მიზანშეწონილად ჩავთვალეთ ზეთი მუავური რიცხვით და დიელექტრიკული დანაკარგებით 90°C ტემპერატურაზე ($\text{tg}\delta_{90}$) შეგვეფასებინა. ამ პარამეტრების მნიშვნელობები 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის საშუალო დაძველების ზეთისთვის რეგენერაციის სხვადასხვა ტემპერატურაზე ცრილ №6 მოყვანილია, რომლის მონაცემებით ავაგეთ გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის $\text{tg}\delta_{90}$ და მუავური რიცხვის დამოკიდებულების გრაფიკები რეგენერაციის ტემპერატურაზე.

ცხრილი №6. 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის პარამეტრების დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე.

№1	რეგენერაციის ტემპერატურა $t^{\circ}C$	ტგ ₉₀ %	მჟავერი რიცხვი მგრ KOH / გრ ზეთი
1	20	25.2	0.190
2	30	20.7	0.18
3	35	15	0.14
4	40	12.4	0.10
5	45	8.1	0.09
6	50	5.0	0.07
7	55	3.0	0.06
8	60	2.5	0.045
9	65	1.98	0.040
10	70	1.82	0.032
11	75	1.8	0.03
12	80	1.82	0.031
13	85	1.83	0.031
14	90	1.86	0.032
15	95	1.89	0.033
16	100	1.9	0.033



ნახ. 19 გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის tgd_{90} დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე.



ნახ. 20 გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის მუავური რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე.

როგორც $t_{g_{90}}$ ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკიდან ჩანს (ნახ 19) რეგენერაციის ტემპერატურის გაზრდით, რეგენირებული ზეთის $t_{g_{90}}$ მცირდება $t = 70 - 80^{\circ}C$ ინტერვალში.

როგორც, ნახ. 19 ჩანს, პროცესს გააჩნია მინიმუმის წერტილი ე.ი. ტემპერატურის ამ დიაპაზონში რეგენერაცია მაქსიმალური ინტენსიობით მიმდინარეობს. ტემპერატურის შემდგომი გაზრდით შეიმჩნევა რეგენირებული ზეთის $t_{g_{90}}$ -ის უმნიშვნელო ზრდა, რაც იმით აიხსნება, რომ ტემპერატურის შემდგომი ზრდით იზრდება ზეთის დაძველების პროდუქტების მოლეკულების კინეტიკური ენერგია, ეს კი ადსორბენტის ზედაპირზე მათი შეჭიდულობის ხანგრძლივობას ამცირებს.

ანალოგიურ მოვლენას ადგილი აქვს (ნახ. 20) რეგენირებული ზეთის მუავური რიცხვის რეგენერაციის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შემთხვევაშიც, იმ განსხვავებით, რომ რეგენერაციის ტემპერატურის $80^{\circ}C$ -დან $100^{\circ}C$ -მდე გაზრდის შემთხვევაში $t_{g_{90}}$ ნაზრდი 5% შეადგენს, ხოლო ამავე დიაპაზონში მუავური რიცხვის ნაზრდი 10%-ია, რაც გვაფიქრებინებს, რომ რეგენერაციის ტემპერატურის შემდგომი გაზრდა რეგენერაციის პროცესის ეფექტურობას ამცირებს.

ამგვარად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურა $75^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ და შემდგომში რეგენერაციის ცდები ამ ტემპერატურაზე ჩატარდება.

ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის გუმბრინის თიხით არევის მეთოდით რეგენერაციის ჩატარებისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ზეთი და თიხა არევისას ერთგვაროვან მასას უნდა იძლეოდეს და თიხა ზეთში თანაბრად იყო განაწილებული და სარეგენერაციო ჭურჭლის ძირზე თიხის ფენა არ შეიმჩნეოდეს, რადგან დალევილი თიხა რეგენერაციაში არ მონაწილეობს ე.ი.

მისი კონცენტრაცია მცირდება. ამასთანავე დაძველების პროდუქტების საკმარისი დრო უნდა გააჩნდეს, რომ კავშირი დაამყაროს თიხის ზედაპირთან. ამ მოსაზრებების გათვალისწინებით რეგენერაციის ცდის ჩასატარებლად სარეველას ბრუნვის რიცხვად, ის მინიმალური ბრუნთა რიცხვი ავირჩიოთ, რომლის დროსაც გუმბრინის თიხა სარეგენერაციო ჭურჭლის ძირზე არ ილექებოდა (320 ბრუნი წუთში).

ამგვარად, ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების გუმბრინის თიხით და არევის მეთოდით რეგენერაციის ჩატარების ოპტიმალური ტემპერატურაა $75 \pm 5^{\circ}C$, ხოლო სარეველას ბრუნთა რიცხვი 350 ± 30 ბრუნი წუთში ტოლია. რეგენერაციის ყველა ცდა ამ პირობებში ჩატარდა.

4.2 რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები

გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის ეფექტურობა ზეთის მახასიათებლების გაუმჯობესებით ფასდება. რომლებიც თავის მხრივ რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე და სარეგენერაციო ზეთში გუმბრინის კონცენტრაციაზეა დამოკიდებული, რა თქმა უნდა გასათვალისწინებელია ზეთის დაძველების ხარისხი.

პირველ რიგში მიზნად დავისახეთ გამოგვევლინა სხვადასხვა ხარისხის დაძველებული ზეთის რეგენერაციის ხანგრძლივობა გუმბრინის თიხის ერთ განსაზღვრულ კონცენტრაციაზე.

ამ მიზნით რეგენერაცია ჩავატარეთ ზემოთაღნიშნულ ოპტიმალურ პირობებში, როდესაც სხვადასხვა ხარისხით დაძველებულ ზეთებში გუმბრინის თიხის რაოდენობა (კონცენტრაცია) ზეთის წონის 20%-ს შეადგენდა, ხოლო

რეგენერაციის დრო 0.5სთ-დან 6-საათამდე იცვლებოდა. ამის შემდეგ რეგენირებული ზეთი ოთახის ტემპერატურამდე 20-24 სთ ყოვნდებოდა. ამ დროის განმავლობაში ადგილი ქონდა თიხის ნაწილაკების ჭურჭლის ძირზე დალექვას და განსასაზღვრავად სუფთა, ბუნებრივად გასუფთავებული ზეთი გამოიყენებოდა. რომლებისთვისაც, არსებული სტანდარტის მიხედვით განისაზღვრა ფიზიკური, ელექტრული და ქიმიური მახასიათებლები, მაგრამ გამრღვევი ძაბვის სიდიდე არ განსზღვრულა, რადგან მის სიდიდეს ელექტრომონწყობილობის ძაბვის კლასი განაპირობებს. რეგენირებული ზეთის მახასიათებლების შეფასება მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნის მიხედვით წარმოებდა. ეს ნორმა არ ითვალისწინებს რეგენერაციის მეთოდებს და ადგენს რეგენირებული ზეთის მახასიათებლების სიდიდეს.

რა თქმა უნდა, რეგენერაციის შემდეგ გუმბრინის თიხა ფერს იცვლიდა და რაც მეტად ეფექტური იყო რეგენერაცია, მით მეტად მცირდება ზეთის ფერი.

ერთიღაიმავე პირობებში, სამი პარალელური ცდა ჩატარდა და შედეგებს შორის განსხვავება $\pm 15\%$ არ აღემატებოდა, ხოლო ცდის შედეგს სამი ცდის საშუალო მნიშვნელობა წარმოადგენს.

ცხრილი №7. 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის მახასიათებლები.

	მახასიათებლები	განზომილება	საწყისი	0.5სთ	1სთ	2სთ	3სთ	4სთ	6სთ
1	ტენშემცველობა	გრ/1ტონა	9	9	9	9	9	9	9
2	მექანიკური კლასი	კლასი	VIII	IX	IX	X	X	X	X
3	სიმკვრივე ρ_{20}	კგ/მ ³	891	890	890	890	890	890	890
4	გარდატეხის კოეფიციენტი n_{20}	-	1.4936	1.4932	1.4930	1.4925	1.4924	1.4924	1.4924
5	ფერი	ბალი	4.5	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0
6	ზედაპირული დაჭიმულობა	ნ/მ	27.1	32.2	34.1	36	38	39.1	39.2
7	დიელექტრიკული დანაკარგები 20 ⁰ c	%	14	0.3	0.1	0.02	0.015	0.012	0.011
8	დიელექტრიკული დანაკარგები 90 ⁰ c	%	16.0	3	1.8	1.2	1.1	1.0	0.9
9	კუთრი წინაღობა ρ 20 ⁰ c	10 ¹⁰ ომი.მ	0.6	8	21	58	85	90	96
10	კუთრი წინაღობა ρ 90 ⁰ c	10 ¹⁰ ომი.მ	0.07	2	8	12	20	31	95
11	ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ_r 20 ⁰ c	-	2.336	2.308	2.285	2.272	2.270	2.268	2.267
12	ვერმანის კოეფიციენტი	-	0.106	0.065	0.055	0.045	0.043	0.042	0.042
13	მჟავური რიცხვი	$\frac{\text{მგრ KOH}}{\text{1გრ. ზეთი}}$	0.131	0.11	0.09	0.06	0.01	0.009	0.009
14	წყალში ხსნადი მჟავები	$\frac{\text{მგრ KOH}}{\text{1გრ. ზეთი}}$	0.036	0.018	0.014	0.009	0.009	0.009	0.009

ცხრილი №8. 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის საშუალოდ დაძველებული ზეთის მახასიათებლები.

	მახასიათებლები	განზომილება	საწყისი	0.5სთ	1სთ	2სთ	3სთ	4სთ	6სთ
1	ტენუმცველობა	გრ/1ტონა	9.0	9.0	9.0	9.0	9	9	9
2	მექ.მინარევების კლასი	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XI
3	სიმკვრივე ρ_{20}	კგ/მ ³	883	832.5	882	882	882	882	882
4	გარდატეხის კოეფიციენტი n_{20}	-	1.4893	1.4885	1.4881	1.4875	1.4874	1.4873	1.4873
5	ფერი	ბაღი	4.5	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0
6	ზედაპირული დაჭიმულობა	ნ/მ	23.8	26.3	29.2	34.4	36.4	37.2	38.1
7	დიელექტრიკული დანაკარგები $tg\delta_{20}$	%	1.56	0.35	0.071	0.031	0.028	0.027	0.027
8	დიელექტრიკული დანაკარგები $tg\delta_{90}$	%	25.2	14.2	7.3	1.81	1.71	1.68	1.60
9	კუთრი წინაღობა ρ 20 ⁰ c	10 ¹⁰ ომი.მ	0.3	5	21	63	80	90	90
10	კუთრი წინაღობა ρ 90 ⁰ c	10 ¹⁰ ომი.მ	0.05	0.6	5	11	12	13	16
11	ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ_r	-	2.365	2.344	2.315	2.291	2.290	2.290	2.290
12	ვერმანის კოეფიციენტი	-	0.120	0.115	0.010	0.078	0.072	0.068	0.065
13	მჟავური რიცხვი	$\frac{\text{მგრ KOH}}{\text{1გრ. ზეთი}}$	0.190	0.065	0.054	0.029	0.026	0.023	0.021
14	წყალში ხსნადი მჟავები	$\frac{\text{მგრ KOH}}{\text{1გრ. ზეთი}}$	0.05	0.027	0.018	0.009	0.009	0.009	0.009

ცხრილი №9. 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ძლიერ დაძველებული ზეთის მახასიათებლები.

	მახასიათებლები	განზომილება	საწყისი	0.5სთ	1სთ	2სთ	3სთ	4სთ	6სთ
1	ტენუმცველობა	გრ/1ტონა	9	9	9	9	9	9	9
2	მექ.მინარეგების კლასი	კლასი	IX	X	X	XI	XI	XI	XI
3	სიმკვრივე D_{20}	კგ/მ ³	894.0	894.0	893.0	893.0	893.0	893.0	893.0
4	გარდატეხის კოეფიციენტი n_{20}	-	1.4949	1.4927	1.4921	1.4912	1.4911	1.4910	1.4910
5	ფერი	ბალი	6	5.5	4.0	4.5	4.5	4.0	4.0
6	ზედაპირული დაჭიმულობა	ნ/მ	18.3	20.7	24.2	28.1	30.9	32.1	39.1
7	დიელექტრიკული დანაკარგები $tg\delta_{20}$	%	2.1	1.1	0.65	0.22	0.21	0.20	0.20
8	დიელექტრიკული დანაკარგები $tg\delta_{90}$	%	35.6	20.8	12	2.5	2.1	2.0	2.0
9	კუთრი წინაღობა ρ 20 ⁰ c	10 ¹⁰ ომი.მ	0.6	1.6	8.3	15	31	41	42
10	კუთრი წინაღობა ρ 90 ⁰ c	10 ¹⁰ ომი.მ	0.05	0.3	0.95	1.6	3.4	5.1	5.2
11	ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა ϵ_r	-	2.368	2.55	2.341	2.326	2.325	2.323	2.323
12	ვერმანის კოეფიციენტი	-	0.133	0.125	0.120	0.111	0.109	0.101	0.102
13	მუავური რიცხვი	$\frac{\text{მგრ KOH}}{1\text{გრ. ზეთი}}$	0.360	0.240	0.123	0.08	0.07	0.06	0.06
14	წყალში ხსნადი მუავეები	$\frac{\text{მგრ KOH}}{1\text{გრ. ზეთი}}$	0.095	0.065	0.041	0.02	0.018	0.015	0.015

აღნიშნულ პირობებში ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის რეგენერაციით მიღებული ზეთის მახასიათებლების ცვლილება ცხრილ №7-შია მოყვანილი, ხოლო საშუალო და ძლიერ დაძველებული ზეთების შესაბამისად ცხრილ №8 და №9.

ცხრილში ძირითადად ის მახასიათებლებია მოყვანილი, რომლებიც ზეთის დაძველების ხარისხს უფრო ეფექტურად აფასებს და ლიტერატურაში რეგენერაციის პროცესის მიმდინარეობის შეფასება ამ მახასიათებლის საშუალებით წარმოებს.

სამივე ცხრილში პირველი ექვსი მახასიათებელი ფიზიკური მახასიათებლებს მიეკუთვნება, ისინი ზეთის ფიზიკურ მდგომარეობის შემფასებლები არიან, მაგრამ ზეთის ხარისხს ასახავენ და რეგენერაციის პროცესში უმჯობესდებიან, ხოლო 7,8,9 და 10 მახასიათებელი ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული მახასიათებლებს მიეკუთვნებიან. ბოლო ორი მახასიათებელი ზეთში დაძველების პროდუქტების რაოდენობის შემფასებელია და ელექტრულ პარამეტრებთან ერთად ზეთის რეგენერაციის პროცესის შეფასებაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვთ.

4.3 რეგენირებული ზეთის ელექტრული მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე

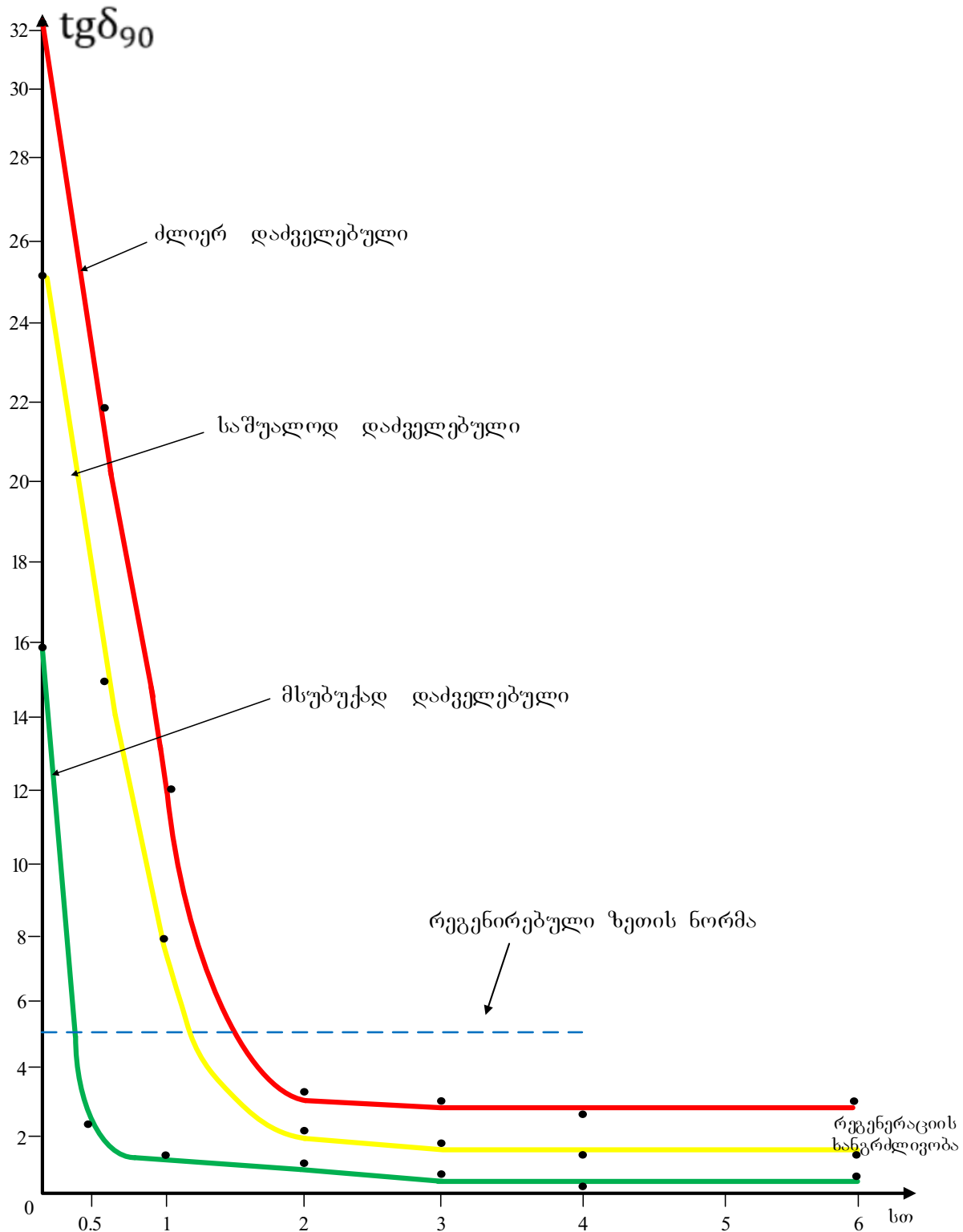
რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები, რეგენერაციის პროცესის ხანგრძლივობის მიხედვით იცვლება, საწყის ეტაპზე ცვლილება მნიშვნელოვანია, მაგრამ შემდგომ ეტაპზე რეგენერაციის სიჩქარე თანდათანობით მცირდება. ამის გამო აუცილებელია გამოვლინდეს ის მინიმალური დრო, რომლის

განმავლობაშიც რეგენერაციის პროცესი მაქსიმალურად ეფექტურად მიმდინარეობს.

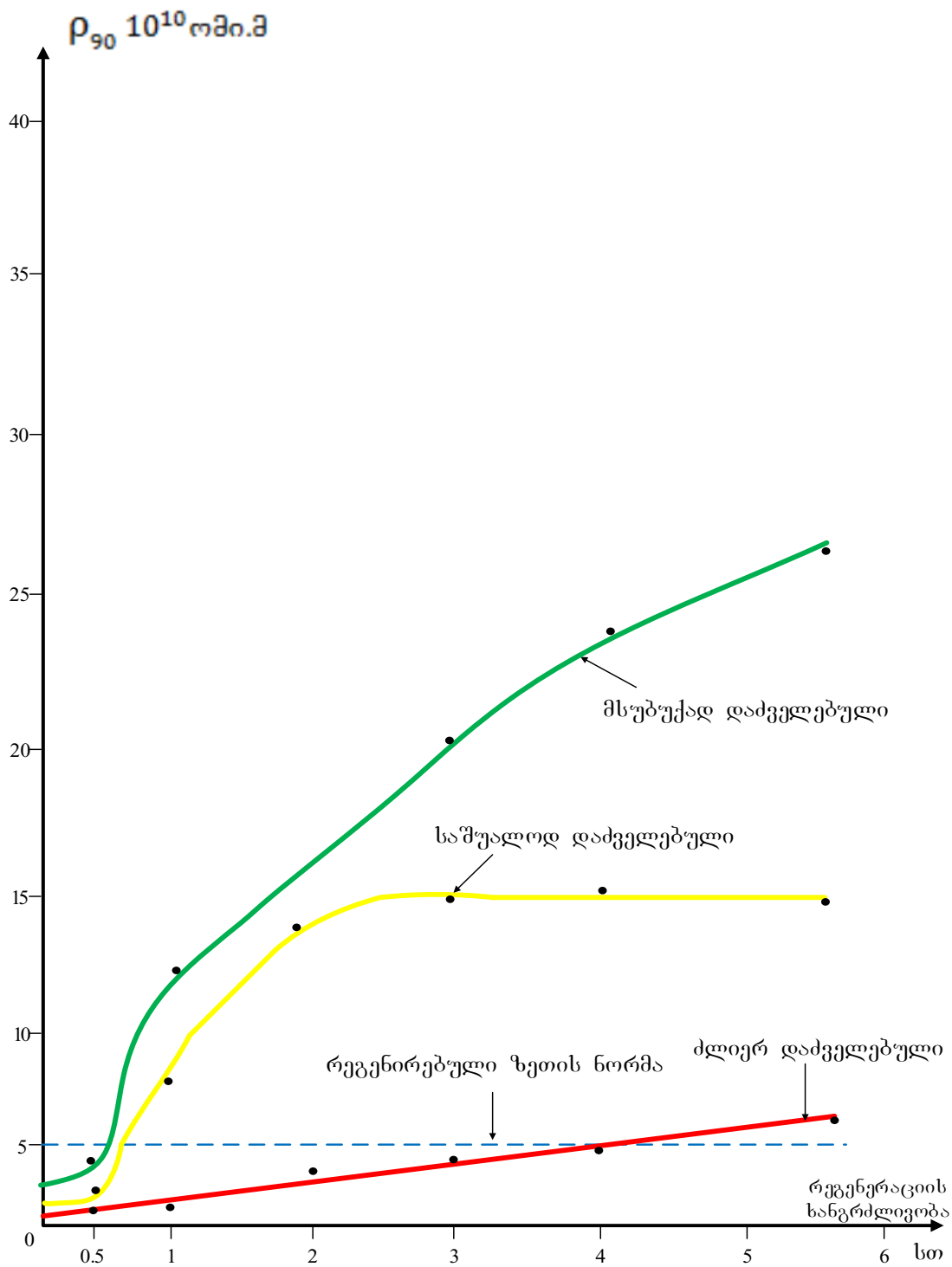
სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთების ელექტრული მახასიათებლების ცვლილება რეგენერაციის ხანგრძლივობის მიხედვით, წინა პარაგრაფში მოყვანილი ცხრილების 7-დან 10 პუნქტებშია ასახული, მაგრამ რეგენერაციის პროცესის შეფასება უფრო ეფექტურად კუთრი წინააღმდეგობის და დიელექტრიკული დანაკარგების საშუალებით წარმოებს. ამის გამო ავადგომ ამ მახასიათებლების მნიშვნელობების 90°C ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთებისთვის.

სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთების 20% გუმბრინის თიხით რეგენერაციისას რეგენირებული ზეთის $\text{tg}\delta_{90}$ რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებიდან ჩანს (ნახ 21), რომ რეგენერაციის პირველი 2 საათის მიმდინარეობის $\text{tg}\delta_{90}$ სიდიდე მნიშვნელოვნად მცირდება, კერძოდ მსუბუქად დაძველებული ზეთისთვის 13-ჯერ, საშუალოდ და ძლიერ დაძველებული ზეთისთვის კი 14-ჯერ. ამასთან თუ ეს ეფექტი მსუბუქად დაძველებული ზეთისთვის რეგენერაციის 1 საათის განმავლობაში მიიღწევა, საშუალოდ და ძლიერ დაძველებული ზეთისთვის ეს დრო შესაბამისად 1.5 და 2 საათის ტოლია. რეგენერაციის შემდგომ ეტაპზე (4სთ) ყველა სახის ზეთების $\text{tg}\delta_{90}$ შემცირება 20% არ აღემატება, ხოლო 6 საათი რეგენერაციისას $\text{tg}\delta_{90}$ შემცირდება უმნიშვნელოა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ნებისმერი ხარისხით დაძველებული ზეთების შემოთავაზებული მეთოდით რეგენერაციის შემდეგ, რეგენირებული ზეთების დიელექტრიკული დანაკარგების სიდიდე 90°C ($\text{tg}\delta_{90}$) რეგენერაციის პროცესის ორ საათზე მეტი ხანგრძლივობისას, ნაკლებია რეგენირებული ზეთის $\text{tg}\delta_{90}$ ნორმაზე და სრულებით აკმაყოფილებს ნორმის მოთხოვნას. ამ თვალსაზრისით რეგენერაცია ეფექტურია.



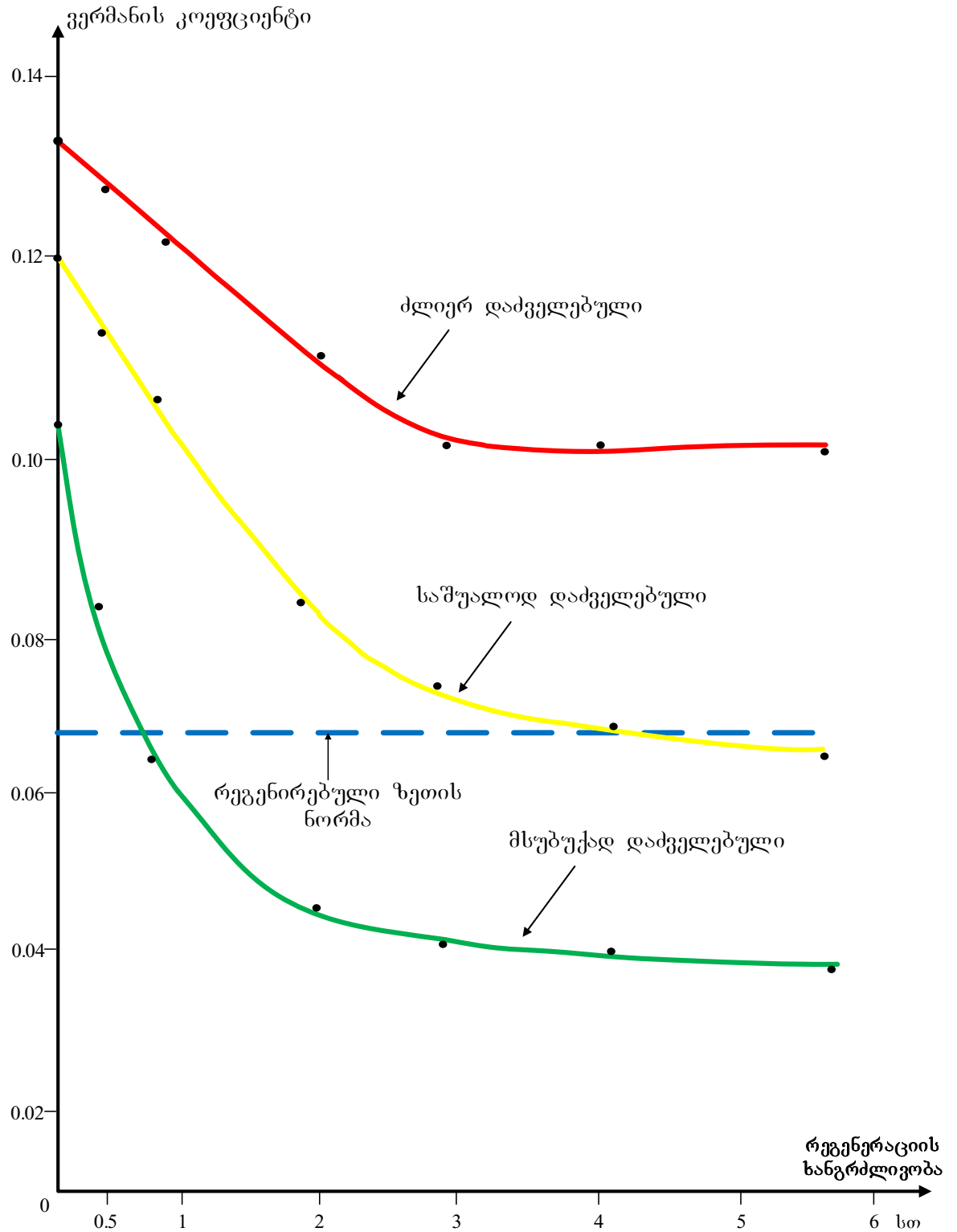
ნახ. 21 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების $tg\delta_{90}$ დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე



ნახ. 22 20% გუმრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ρ_{90} დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

ანალოგიურ მოვლენას აქვს ადგილი 20°C ტემპერატურაზე $\text{tg}\delta_{20}$ სიდიდის რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების შემთხვევაში (ცხრ №7, 8 და 9).

სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთების 20% გუმბრინის თიხით რეგენერაციას რეგენირებული ზეთის კუთრი წინალობის სიდიდე 90°C დამოკიდებულების (ρ_{90}) რეგენერაციის პირველ ეტაპზე (2სთ) კუთრი წინალობის ზრდა შედარებით ნაკლებია, ვიდრე $\text{tg}\delta_{90}$ შემცირება ე.ი. რეგენერაციის ამ ეტაპზე ზეთისგან იმ ნაწილაკების გამოყოფა მიმდინარეობს, რომლებიც დიელექტრიკულ დანაკარგებს განაპირობებს, ხოლო რეგენერაციის შემდგომ ეტაპზე (4-დან 6სთ-მდე) გუმბრინის თიხა დაძველებული ზეთიდან დაძველების იმ პროდუქტებს გამოყოფს, რომლებიც ელექტროგამტარობაში მონაწილეობენ. ეს მოვლენა მსუბუქად დაძველებულ ზეთში უფრო გამოკვეთილად ჩანს, ვიდრე საშუალოდ დაძველებულ ზეთში, ხოლო ძლიერ დაძველებულ ზეთში კი პრაქტიკულად არ გამოვლინდა, ეს გვაფიქრებინებს, რომ ძლიერ დაძველებული ზეთებისთვის, ან რეგენერაციის ხანგრძლივობა უნდა გაიზარდოს ან გუმბრინის თიხის კონცენტრაცია, ან შედარებით ნაკლებად გამოხატულია, მაგრამ ანალოგიური სახის მოვლენა შეიმჩნევა სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთების კუთრი წინალობის მნიშვნელობის 20°C ტემპერატურაზე (ρ_{20}) დამოკიდებულების ხასიათზე რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე (ცხრ 7, 8 და 9). მსუბუქად და საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთები 20% გუმბრინის თიხით ორი საათის განმავლობაში რეგენერაციის შემდეგ რეგენირებული ზეთის კუთრი წინალობის სიდიდე 90°C ტემპერატურაზე აღემატება 5×10^{10} ომი.მ, რაც სრულებით აკმაყოფილებს რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას (ცხრ 8), მაგრამ ძლიერ დაძველებული ზეთებისთვის ნორმის შესაბამისი სიდიდე 5 საათის განმავლობაში რეგენერაციის შემდეგ მიიღწევა



ნახ. 23 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ვერმანის კოეფიციენტის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

ვერმანის კოეფიციენტის საშუალებით რეგენერაციის პროცესის შეფასება ლიტერატურაში არ გვხვდება, მაგრამ როგორც ზემოთმოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, ის ეფექტურად ასახავს რეგენერაციის პროცესის მიმდინარეობას.

სხვასხვა ხარისხით დაძველებული და შემდეგ შემოთავაზებული მეთოდით რეგენირებული ზეთების ვერმანის კოეფიციენტის რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებიდან ჩანს (ნახ 23), რომ მსუბუქად დაძველებული ზეთების 1 საათი რეგენერაციის შემდეგ ვერმანის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს, ხოლო საშუალოდ დაძველებული ზეთებისთვის ნორმაზე ნაკლების მნიშვნელობა რეგენერაციის 6 საათის შემდეგ მიიღწევა (ცხრ 8). რაც შეეხება ძლიერ დაძველებული ზეთების რეგენერაციის ხანგრძლივობის გაზრდით ვერმანის კოეფიციენტი მცირდება, მაგრამ მისი სიდიდე რეგენერაციის ნებისმიერ ხანგრძლივობაზე ნორმას აღემატება.

ნებისმიერ სახის ზეთებისთვის რეგენერაციის ხანგრძლივობის გაზრდით თერდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობის (ϵ_r) სიდიდე უმნიშვნელოდ მცირდება (ცხრ 7), რაც ზეთისგან დაძველების დიპოლური ნაწილაკების გამოყოფაზე მიუთითებს. ϵ_r -ის სიდიდის შემცირება მსუბუქად დაძველებული ზეთებისთვის უფრო მეტია, ვიდრე ძლიერ დაძველებული ზეთებისთვის.

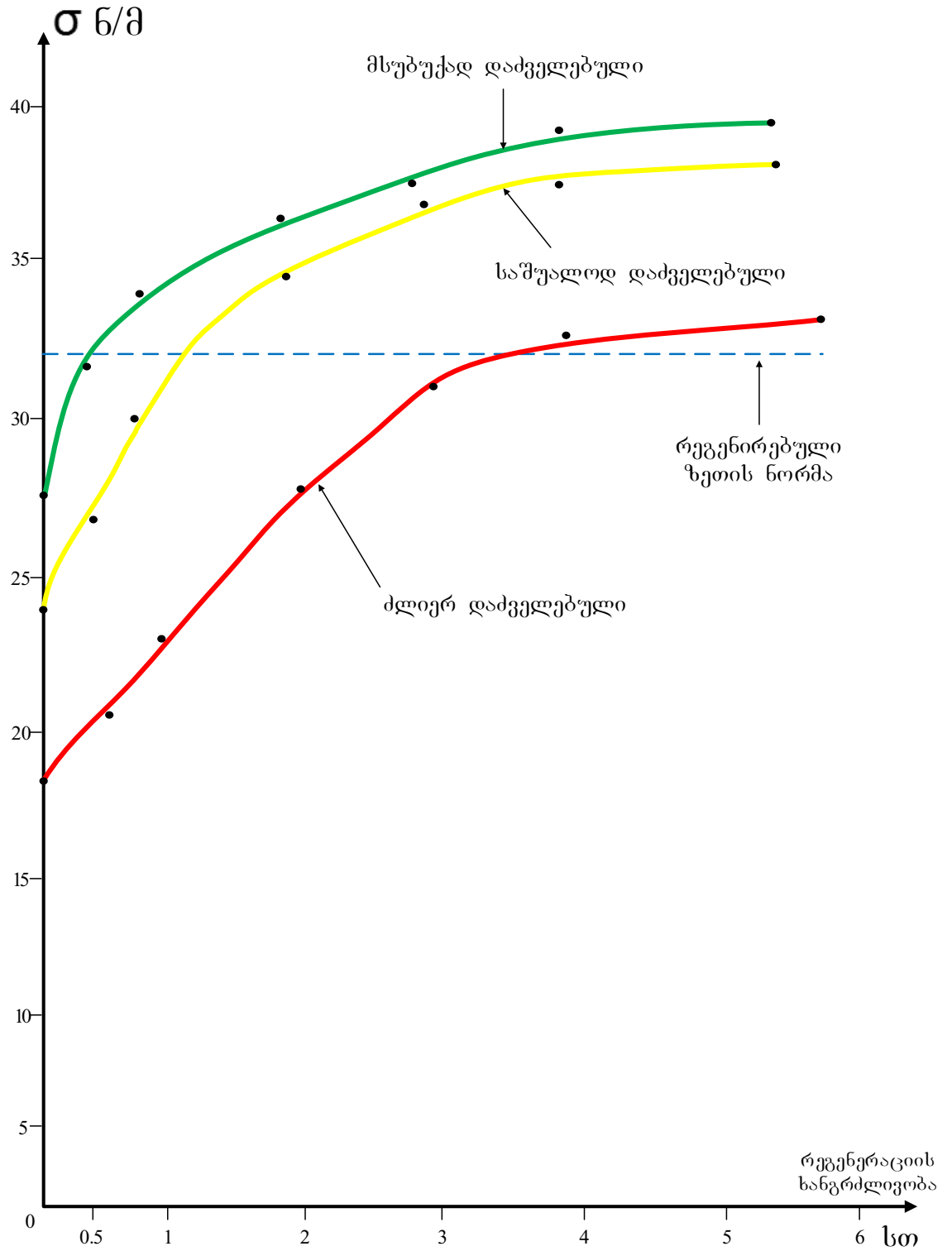
ზემოთაღნიშნულიდან შეიძლება ითქვას, რომ რეგენერაციის ხანგრძლივობის გაზრდით რეგენირებული ზეთის ელექტრული მახასიათებლები უმჯობესდება და რეგენერაციის მაქსიმალური ეფექტი ოთხი საათის განმავლობაში მიიღწევა, შემდეგ პროცესი შენელებულია, რაც თიხის არასაკმარისი კონცენტრაციით, ან დაძველების პროდუქტების თიხასთან კავშირით აისახება. [16]

მსუბუქად და საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთების ელექტრული მახასიათებლები რეგენერაციის საწყის ეტაპზე (2სთ) რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს აკმაყოფილებს, ხოლო ძლიერ დაძველებული ზეთებისთვის, გარდა $\text{t}_{\text{გმ}90}$ ნორმის მომის მოთხოვნებს 6 საათი რეგენერაციის შემდეგაც არ აკმაყოფილებს - ეს მოსალოდნელი იყო, რადგან ლიტერატურაში ცნობილია, რომ ძლიერ და ანომალურად დაძველებული ზეთების რეგენერაცია გაძნელებულია და იშვიათად მიმართავენ.

4.4 რეგენირებული ზეთის ფიზიკური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე

ტრანსფორმატორის ზეთის ფიზიკური მახასიათებლები, როგორცაა ფერი, გარდატეხის კოეფიციენტი და ზედაპირული დაჭიმულობა ზეთის მდგომარეობას ასახავს და რეგენერაციის პროცესში ნაკლებად იცვლებიან, მაგრამ რეგენერაციის მიმდინარეობის შემუშავებულ პარამეტრებს წარმოადგენენ. პირველი ორი მათგანი რეგენერაციის მიმდინარეობისას ნაკლებად იცვლება, ხოლო ზედაპირული დაჭიმულობის ცვლილება საგრძნობია.

რადგან ტრანსფორმატორის ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობა, მასში ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების არსებობით არის განპირობებული და მათი რაოდენობა ზეთის დაძველების ხარისხის გაზრდის მიხედვით იზრდება. ე.ი. ზედაპირული დაჭიმულობა მცირდება, ამის გამო რეგენერაციის პროცესში ზედაპირული დაჭიმულობის გაზრდა ზეთის რეგენერაციის ეფექტურობაზე მიუთითებს. საზღვარგარეთ რეგენერაციის პროცესის შეფასების ერთ-ერთ



ნახ. 24 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ზედაპირული დაჭიმულობის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

კრიტერიუმად ზედაპირული დაჭიმულობის გაზრდა ითვლება და მისი მნიშვნელობა სტანდარტით ნორმირებულია.

როგორც რეგენირებული ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების გრაფიკიდან ჩანს (ნახ. 24) რეგენერაციის პირველი ოთხი საათის განმავლობაში მისი სიდიდე მნიშვნელოვნად იზრდება, ხოლო შემდეგ ზრდის სიჩქარე შენელებულია. ამასთანავე მსუბუქად დაძველებული ზეთისთვის მისი მნიშვნელობა დასაშვებ სიდიდეს რეგენერაციის 1 საათის შემდეგ აჭარბებს, ხოლო საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთისთვის კი 2 საათის შემდეგ. რაც შეეხება ძლიერ დაძველებულ ზეთს მისი ზედაპირული დაჭიმულობა ოთხი საათი რეგენერაციის შემდეგ უმნიშვნელოდ აჭარბებს დასაშვებ სიდიდეს, აქედან გამომდინარე, ძლიერ დაძველებული ზეთის რეგენერაციის პროცესი ნაკლებად ეფექტურია, ვიდრე სხვა სახის ზეთების.

ტრანსფორმატორის ზეთის სარეგენერაციო პარამეტრს სიმკვრივე (ρ_{20}) და სინათლის სხივის გარდატეხის კოეფიციენტი (n_{20}) წარმოადგენს, რომლებიც $20 \pm 2^{\circ}C$ ტემპერატურაზე იზომება. რადგან დაძველების პროდუქტების რაოდენობა ტრანსფორმატორის ზეთში 1% არ აღემატება და უმეტესი მათგანი ზეთში გახსნილი ან შეტივტივებულია, ამის გამო რეგენირებული ზეთის დაძველების პროდუქტებისგან სრულებით განთავისუფლების შემთხვევაშიც კი სიმკვრივე უმნიშვნელოდ შემცირდება, რაც მიღებული შედეგებით მტკიცება (ცხრ 7, 8 და 9).

სინათლის სხივის გარდატეხის მაჩვენებელი ზეთის დაძველების პროდუქტების რაოდენობის შემცირებით ე.ი. რეგენერაციის ხანგრძლივობის გაზრდით რა თქმა უნდა მცირდება. ეს გამოწვეულია იმით, რომ დაძველების პროდუქტები გავლენას ახდენენ სინათლის სხივის გავრცელების სიჩქარეზე.

აღსანიშნავია, რომ რაც მეტია ზეთის დაძველების ხარისხი, მით მეტად მცირდება გარდატეხის მაჩვენებელი (ცხრ 7, 8 და 9).

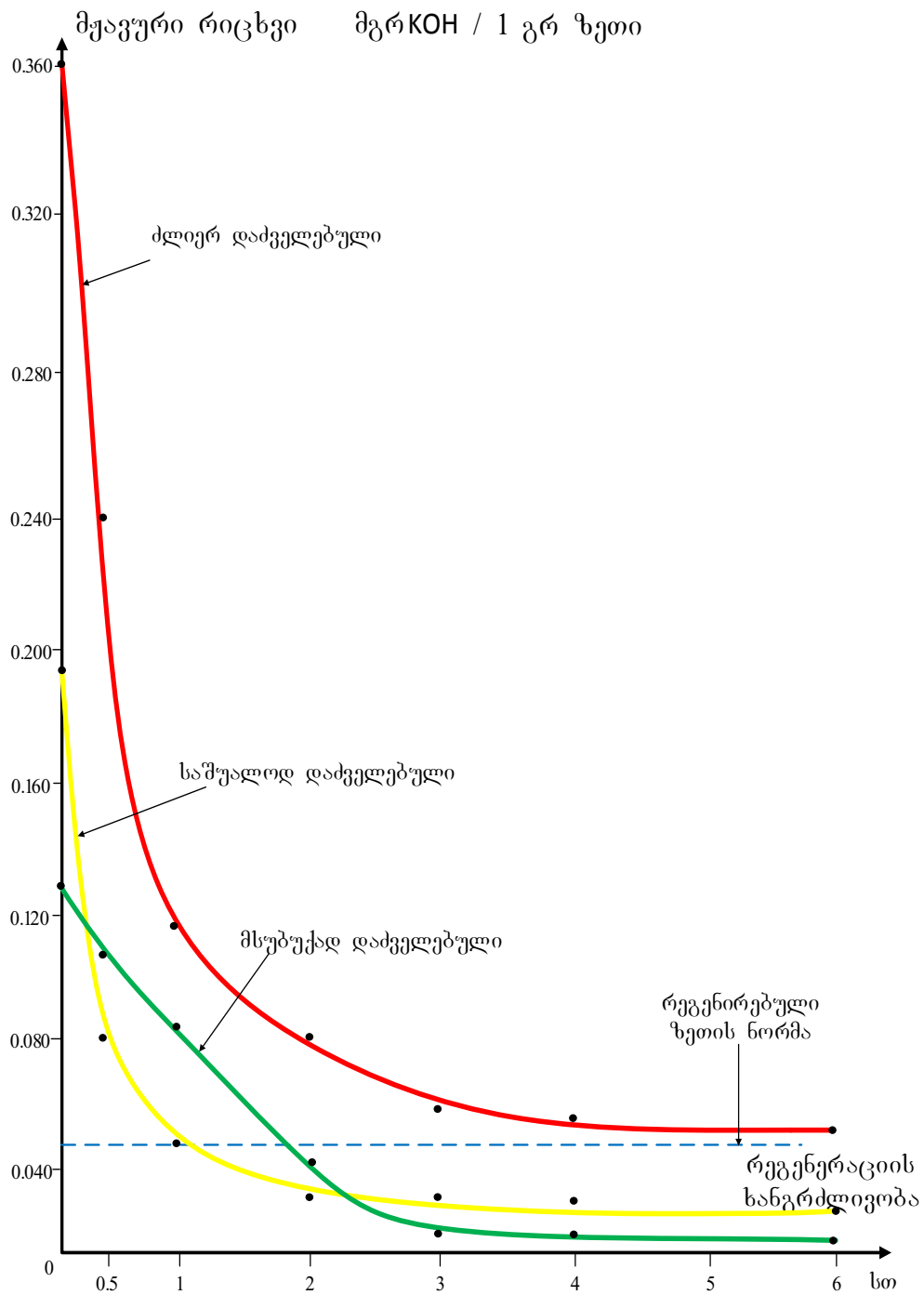
ანალოგიური დამოკიდებულება გააჩნია ტრანსფორმატორის რეგენირებული ზეთის ფერს რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე, მაგრამ სამივე სახის ზეთებისთვის, 4 საათი რეგენერაციის შემდეგ, ზეთის ფერის ცვლილება უმნიშვნელოა.

რაც შეეხება ზეთის ტენშემცველობას, ის თითქმის არ იცვლება, რაც ცდებში გამოყენებული ზეთის და გუმბრინის თიხის მცირე ტენშემცველობით აიხსნება, ხოლო მექანიკური მინარევების რაოდენობის გაზრდა რეგენერაციის ხანგრძლივობის მიხედვით ზეთში თიხის მცირე ზომის შეტივტივებული ნაწილაკების არსებობით აიხსნება, რომელიც ზეთის ფილტრაციის შემდეგ რა თქმა უნდა შემცირდება.

საბოლოოდ, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისას, რეგენირებული ზეთის ყველა ფიზიკური მახასიათებელი უმჯობესდება, მაგრამ ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის, სინათლის სხივის გარდატეხის მაჩვენებლის და ფერის ცვლილება, უფრო ეფექტურად მიმდინარეობს ვიდრე ზეთის სიმკვრივის ცვლილება და მაქსიმალური ეფექტი რეგენერაციის პირველი ორი საათის განმავლობაში მიიღწევა.

4.5 რეგენირებული ზეთის ქიმიური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე

რეგენერაციის პროცესის ეფექტურობის შეფასებისას მისი ქიმიური მახასიათებლების გაუმჯობესებას გადამწყვეტი მნიშვნელობა გააჩნია.



ნახ. 25 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების მუავური რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

ამ მახასიათებლებიდან ჩვენს მიერ განსაზღვრული იყო რეგენირებული ზეთის მუავური რიცხვის და წყალში ხსნადი მუავების და ტუტეების რაოდენობა.

რეგენერაციის დაწყებამდე, სამივე სახის დაძველებული ზეთის მუავური რიცხვი საექსპლუატაციო ნორმას აღემატებოდა, ხოლო ძლიერ დაძველებული ზეთის კი საექსპლუატაციო ნორმის ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობას აღემატება. წყალში ხსნადი მუავების და ტუტეების რაოდენობა კი სამივე სახის ზეთში საექსპლუატაციო ნორმის ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობას აჭარბებდა.

სამი სახის რეგენირებული ზეთის მუავური რიცხვი რეგენერაციის პირველი სამი საათის განმავლობაში მნიშვნელოვნად მცირდება, ხოლო შემდეგ თითქმის უცვლელია (ნახ 25). ამასთანავე მსუბუქად და საშუალოდ დაძველებული ზეთების მუავური რიცხვის სიდიდე იმდენად მცირდება, რომ რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნაზე ნაკლებია, რაც რეგენერაციის პროცესის ეფექტურობაზე მიუთითებს, ხოლო ძლიერ დაძველებული ზეთის მუავური რიცხვი 4-დან 6 სთ-მდე რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე თითქმის არ იცვლება და რეგენირებული ზეთის ნორმის მნიშვნელობას აღემატება ე.ი. ასეთი ზეთის რეგენერაცია ნაკლებად ეფექტურია, რაც სავარაუდოდ გუმბრინის თიხის არასაკამრისი რაოდენობით აიხსნება. ლიტერატურული მონაცემებით ასეთი სიდიდის მუავური რიცხვის მქონე ზეთის რეგენერაციას არ მიმართავენ.

როგორც ცხრ 7, 8 და 9-დან ჩანს სამივე სახით რეგენირებულ ზეთში წყალში ხსნადი მუავების და ტუტეების რაოდენობა რეგენერაციის ხანგრძლივობის გაზრდით მცირდება და 4 საათი რეგენერაციის შემდეგ მათი რაოდენობა რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს.

ზემოთაღნიშნულიდან შეიძლება ითქვას, რომ რეგენერაციის დროის გაზრდით სამივე სახის ზეთის ქიმიური მახასიათებლები უმჯობესდება, კერძოდ წყალში ხსნადი მუავების და ტუტეების რაოდენობა 4 საათი რეგენერაციის შემდეგი რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს. [17]

მსუბუქად და საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთების მუჟავური რიცხვის 2 საათი რეგენერაციის შემდეგ, ასევე აკმაყოფილებს ნორმის მოთხოვნას, ხოლო ძლიერ დაძველებული ზეთის 6 საათი რეგენერაციის შემდეგაც კი რეგენირებული ზეთის ნორმას აღემატება, რაც სავარაუდოდ გუმბრინის თიხის არასაკმარისი რაოდენობით ან ასეთი ხარისხით დაძველებული ზეთის რეგენერაციის სირთულით აიხსნება.

4.6 რეგენირებული ზეთის მახასიათებლების დამოკიდებულება გუმბრინის თიხის კონცენტრაციაზე

როგორც წინა პარაგრაფიდან გამოვლინდა, ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების 20% გუმბრინის თიხით რეგენერაციის ოპტიმალური დროის ხანგრძლივობამ 4 საათი შეადგინა, ამის შემდეგ რეგენერაციის გაგრძელება ნაბიძისერი ხარისხით დაძველებული ზეთებისთვის ნაკლებად ეფექტურია და მახასიათებელი პარამეტრების მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას არ იწვევს, მაგრამ სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთებისთვის დასადგენია გუმბრინის თიხის კონცენტრაცია. ამის გამო გუმბრინის თიხის ოპტიმალური კონცენტრაციის დასადგენად, აღებული ოთხი საათის განმავლობაში რეგენირებული ტრანსფორმატორის სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთის მახასიათებლების დამოკიდებულების გრაფიკი გუმბრინის თიხის კონცენტრაციაზე, ამ ცდის მიმდინარეობისას

ცხრილი №10. ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის 10% გუმბრინის თიხით 4 საათის განმავლობაში რეგენერაციას, რეგენირებული ზეთის პარამეტრები

№	მასსიათებელი	განზომილება	საწყისი	კონცენტრაცია % წონის					ნორმა
				5	10	15	20	25	
1	მსუბუქად დაძველებული								
1.1	დიელექტრიკული დანაკარგები $\epsilon_{\text{გნ}}^{\text{გო}}$	%	16,0	10,2	3,0	1,05	1,0	0,88	<6
1.2	ზედაპირული დაჭიმულობა n_{25}	ნ/მ	27,1	30,0	32,4	35,1	39,1	39,3	>32
1.3	მჟავური რიცხვი	მგრ KOH / გრ ზეთი	0,131	0,095	0,029	0,012	0,009	0,006	<0,05
2	საშუალოდ დაძველებული								
2.1	დიელექტრიკული დანაკარგები $\epsilon_{\text{გნ}}^{\text{გო}}$	%	25,2	16,8	8,5	2,0	1,68	1,60	<6
2.2	ზედაპირული დაჭიმულობა n_{25}	ნ/მ	23,8	26,0	27,9	31,0	37,2	38,3	>32
2.3	მჟავური რიცხვი	მგრ KOH / გრ ზეთი	0,190	0,144	0,080	0,039	0,023	0,019	<0,05
3	ძლიერ დაძველებული								
3.1	დიელექტრიკული დანაკარგები $\epsilon_{\text{გნ}}^{\text{გო}}$	%	35,6	29,8	14,3	6,1	2,0	1,95	<6
3.2	ზედაპირული დაჭიმულობა n_{25}	ნ/მ	18,3	29,0	26,3	29,1	32,1	32,2	>32
3.3	მჟავური რიცხვი	მგრ KOH / გრ ზეთი	0,360	0,240	0,150	0,075	0,06	0,058	<0,05

რეგენერაციის ხანგრძლივობა 4 საათის ტოლი იყო, ხოლო ზეთის და თიხის ტემპერატურა და არევის სიჩქარე იმავე მნიშვნელობის იყო, რაც წინა ცდებში.

ცდები ჩატარდა, მსუბუქად, საშუალო ხარისხით და ძლიერ დაძველებულ ზეთებზე, რომლებშიც გუმბრინის თიხის რაოდენობა სარეგენერაციო ზეთის წონის 5,10,15,20 და 25 % შეადგენდა. რეგენერაციის პროცესის შესაფასებლად საკონტროლო პარამეტრად, ისეთი მახასიათებლები შეირჩა, რომლებიც დიდ დიაპაზონში იცვლებიან და ამასთანავე ზეთის მდგომარეობას კარგად ასახავენ, კერძოდ, რეგენირებული ზეთისთვის ელექტრული მახასიათებლებიდან დიელექტრიკული დანაკარგების სიდიდე განისაზღვრა 90°C ტემპერატურაზე ($\text{tg}\delta_{90}$), თიზიკური მახასიათებლებიდან ზედაპირული დაჭიმულობა (n_{25}), ხოლო ქიმიური მახასიათებლებიდან მუჟავური რიცხვი (ცხრ 10). აუცილებლობის შემთხვევაში სხვა მახასიათებლებიც ისაზღვრება, მაგრამ ისინი ცხრილში ასახული არ არის. [18]

როცორც ცხრილი 10-დან ჩანს ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის 10% გუმბრინის თიხით 4 საათის განმავლობაში რეგენერაციას, რეგენირებული ზეთის ყველა საკონტროლო პარამეტრის სიდიდე რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს. მაგრამ საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთის რეგენერაციას აღნიშნული პირობა, რომ შესრულდეს აუცილებელია გუმბრინის თიხის კონცენტრაცია ორჯერ - 20%-მდე გაიზარდოს. რაც შეეხება ძლიერ დაძველებული ზეთს, მისი რეგენერაცია 25% გუმბრინის თიხითაც კი შეუძლებელია, ამ პირობებში რეგენირებული ზეთის უმეტესი პარამეტრიც რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს, მაგრამ ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრიც, როგორცაა ზედაპირული დაჭიმულობა და მუჟავური რიცხვი ნორმას აღემატება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ტრანსფორმატორის ძლიერ დაძველებული ზეთების გუმბრინის თიხით

რეგენერაცია გაძნელებულია და სარეგენერაციოდ უნდა გამოვიყენოთ 25%-ზე მეტი გუმბრინის თიხა, რაც ეკონომიურად გამართლებული არ არის.

დასკვნა

1. ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის 10% გუმბრინის თიხით არევის მეთოდით ოთხი საათის განმავლობაში რეგენერაციას, რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები აკმაყოფილებენ რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს და შესაძლებელია ზეთის საექსპლუატაციოდ გამოყენება.
2. ტრანსფორმატორის საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთის 4 საათის განმავლობაში არევის მეთოდით რეგენერაცია შესაძლებელია 20% გუმბრინის თიხის გამოყენებით და მიღებული ზეთი აკმაყოფილებს რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს.
3. ტრანსფორმატორის ძლიერ დაძველებული ზეთის 4 საათის განმავლობაში, არევის მეთოდით რეგენერაციისას მიღებული ზეთის ყველა მახასიათებელი არ აკმაყოფილებს რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას ე.ი. ასეთი ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით გაძნელებულია.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ჩიხლაძე რ. იზოლაციის ელექტრული გამოცდა და დიაგნოსტიკა. „საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი“ 2010წ. 293გვ.
2. Литштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М. „Энергоатомиздат“. 1993, 295გვ.
3. Михеев Г.М. Трансформаторное масло. м. 2003. 102გვ.
4. Липштейн Р. А., Шахнович В. И., Трансформаторное масло, Изд. «Энергия», 1968.
5. Сви П.М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. М. „Энергоатомиздат“. 1988, 125გვ.
6. ГОСТ 6370-83 Определение Механических примесей.
7. Брай И.В. Регенерация трансформаторных масел. м. 1972. 210გვ.
8. Шашкин П. И., Брай И.В., Регенерация отработанных нефтяных масел, Изд. «Химия», 1970.
9. Манебиг Л.О. Осушка масла усолитами и дегазация. м. 1980. 170გვ.
10. ГОСТ 1547-84 Определение влагосодержания качественно.
11. ГОСТ 7822-75 Определение влагосодержания количественно.
12. ГОСТ 6307-75 Определение Кислотного число качественно.
13. РД 34.43.107-95 Методические указания по определению содержания воды и воздуха в трансформаторном масле.
14. ГОСТ 6370-83 Определение Механических примесей.
15. РД. 3445-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования. м. 2002. 350გვ.
16. რ.ჩიხლაძე, ი.ვახტანგაძე, ე.ჩიხლაძე, „გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული მახასიათებლების

დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე“ ჟურნალი „ენერჯია“, 2015, №1(73).

17. რ.ჩიხლაძე, ი.ვახტანგაძე, ე.ჩიხლაძე, „გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე“ ჟურნალი „ინტელექტუალი“, 2015, №28.
18. ი.ვახტანგაძე, „ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია“, ჟურნალი „ენერჯია“, 2014, №4(72).