

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი ვახტანგაძე

ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის

რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
ელექტროენერგეტიკის, ელექტრონიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის  
ელექტროენერგის წარმოების, გადაცემის და განაწილების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ასოცირებული პროფესორი რამინ ჩიხლაძე  
რეცენზენტები: ვახტანგ გიორგობიანი  
არჩილ კობტაშვილი

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს  
სხდომაზე, კორპუსი VIII, აუდიტორია 820  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს  
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

სრული პროფესორი

/გ. ხელიძე/

## 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  $\text{IGD-S}$ -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 სილიკატებით 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 შეღწევალობის შერინგის ბოგირით გაზომვის სქემა და აღწერილია ამ სქემის ელემენტები.

განხილულია ტრანსფორმატორის ზეთის კუთრი წინალობის განსაზღვრის მეთოდი. წარმოდგენილია პრინციპული სქემა, ტრანსფორმატორის ზეთის მუავური რიცხვის და წყალში ხსნადი მუავების 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  $\epsilon_{\text{გნ}90}$  და მუავური 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 რეგენერაციას, რეგენირებული ზეთის მახასიათებლები აკმაყოფილებენ რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს, ხოლო საშუალოდ დაძველებული ზეთისთვის 20% გუმბრინის თიხით რეგენერაციას, აკმაყოფილებენ რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს, რაც შეეხება ძლიერ დაძველებული ზეთის 4 საათის განმავლობაში რეგენერაციას, 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.

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**კვლევის აქტუალურობა.** 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 უანგბადის მოლეკულებთან. შედეგად ზეთის დაუანგვის პროდუქტები წარმოიქმნება.

ექსპლუატაციის დროს ტრანსფორმატორის ზეთის საიზოლაციო მახასიათებლები უარესდება, კერძოდ იზრდება დიელექტრიკული დანაკარგები და ორგანული მუაგების 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 გამოიყენებიათ, ამის გამო მიღებული შედეგები აქტუალურია, როგორც მეცნიერული ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით.

ექსპლუატაციისთვის 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 რეგენერაციისას, რეგენირებული ზეთის ყველა საკონტროლო პარამეტრის სიდიდე რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს. მაგრამ საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთის რეგენერაციისას 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.

## ექსპერიმენტული ნაწილის შესახებ

ნაშრომის II, III, და IV თავები წარმოადგენს კვლევისა და ექსპერიმენტის შედეგებს. ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (ელექტრული ენერჯის გადაცემა და განაწილების მიმართულება).

## თავი 1

### ტრანსფორმატორის ზეთის მიღება და დანიშნულება

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

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.

ტრანსფორმატორის ზეთი სხვადასხვა ნახშირწყალბადების ნარევის წარმოადგენს (ცხრილი №1), რომლის სტრუქტურულ-ჯგუფურ შემადგენლობაში არომატური, ნაფთენური და პარაფინული ნახშირწყალბადები შედიან.

#### 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 თვისებებს აუარესებს, ასევე დაბალდტემპერატურული თვისებების გაუარესებასაც იწვევს.

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

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

ექსპლუატაციაში მყოფ ელექტრომონწყობილობის ზეთს, რომელიც საექსპლუატაციო ნორმის “ნორმალური მდგომარეობის” მოთხოვნებს აკმაყოფილებს, საექსპლუატაციო ზეთი უწოდება.

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.

## თავი 2

### გუმბრინის თიხის 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 კვოვა, ისინი დღესაც გამოიყენება ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციისთვის.

საქართველოში მოიპოვება სხვადასხვა სახის ბენტონიტური თიხები - ასკანთიხა და გუმბრინი. ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისათვის ასკანთიხის ეფექტურობა შესწავლილია პრაქტიკული ცდებით. გუმბრინი ადსორფციის მაღალი ხარისხით ხასიათდება, მას დაახლოებით იგივე თვისებები გააჩნია, რაც ზეკევისა და ასკანთიხას. გუმბრინი გამოიყენება ბაქოს ნავთობგადამამუშავებელ ქარხანაში, ნავთობისგან გამობდილი ტრანსფორმატორის ზეთის ფრაქციის მინარევებისგან გასაწმენდად, მაგრამ ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაციისათვის გუმბრინის გამოყენება შესწავლილი არ არის.

რეგენერაცია დაფუძნებულია გუმბრინის თვისებაზე, საკუთარ ზედაპირზე შეინარჩუნოს ტრანსფორმატორის ზეთის დაძველების პროდუქტები, რომლებიც ზედაპირულ-აქტიურ ნივთიერებებს წარმოადგენენ და ისინი ნამუშევარ თიხასთან ერთად გამოიყოფიან, რითაც ზეთის თვისებები უმჯობესდება.

გამწმენდი თვისებების მქონე 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 გამწმედუნარიანობას განაპირობებს. გამწმენდი თიხების ზედაპირის კუთრი ფართის სიდიდე 100-300 მ<sup>2</sup>/გ. ზემოთაღნიშნული თიხებიდან, ნავთობპროდუქტების რეგენერაციისათვის დიდი გამოყენება ზეკევის თიხამ ჰპოვა, რაც მისმა ადსორბაციის 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 ადსორბენტთან ერთად ზეთიდან გამოცალკევდება. ზედაპირული მუხტის და ნაწილობრივ ფართის გაზრდის მიზნით ბუნებრივ ადსორბენტებს სხვადასხვა სახის გააქტივებას უტარებენ.

ბენტონიტურ 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 შემდგარ ტეტრაედიია, 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 ბენტონიტური თიხების (გუმბრინი) წყლის დიდი შთანთქმის და ზოგიერთ იონებთან მიმოცვლითი რეაქციის უნარი. ეს კი ბენტონიტური 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 განმენდის ტემპერატურა და გუმბრინის ტრანსფორმატორის ზეთთან შერევის ხანგრძლივობა.

ტრანსფორმატორის ზეთის რეგენერაციისას, ზეთში არსებული დაძველების პროდუქტების რაოდენობიდან გამომდინარე, რეგენერაციის პროცესში, ზეთისა და გუმბრინის ნარევი ტემპერატურა  $65^{\circ}\text{C}$ -დან  $85^{\circ}\text{C}$  -მდე და რეგენერაცია 4-6 საათის განმავლობაში მიმდინარებს. ტემპერატურის სიდიდე ემსახურება იმას, რომ რეგენერაციის პროცესში ზეთს ჰქონდეს 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 სწრაფად მიმდინარეობს, რაც უფრო მცირე მარცვლიანია გუმბრინი ე.ი ზეთთან შეხების დიდი ფართი გააჩნია, ამით რეგენერაციის დრო მცირდება. ამასთან დაკავშირებით, ფართოდ გამოიყენება ფხვნილური მასის მქონე თიხები.

### თავი 3

## ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული, ქიმიური და ფიზიკური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები

ტრანსფორმატორის ზეთის დიელექტრიკული დანაკარგების (tg $\delta$ ) სიდიდე ზეთის საექსპლუატაციო მდგომარეობის ძირითადი მახასიათებელია.

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

ტრანსფორმატორის ზეთის (tg $\delta$ ) განსაზღვრას სტანდარტის მოთხოვნის მიხედვით დამზადებულ იმავე უჯრედსა და თერმოსტატში წარმოებს, რომლითაც ზეთის წინაღობა განისაზღვრება.

(tg $\delta$ ) სიდიდის გაზომვა ცვლადი ძაბვის ბოგირით (P5026) გაზომვის პირდაპირი სქემით (ნახ №1) ტემპერატურის დამყარებიდან 10 წუთის შემდეგ წარმოებს.

ტრანსფორმატორის ზეთის დიელექტრიკული დანაკარგების (tg $\delta$ ) განსაზღვრა 50 ჰერცი ძაბვის მოქმედებით ხდება. უჯრედში ელექტრული ველის დაძაბულობა 1კვ/მმ ტოლი უნდა იყოს, რადგან უჯრედის გამზომ და მაღალძაბვიან ელექტროდს შორის მანძილი  $2\pm 0.1$ მმ ტოლია, ამის გამო, (tg $\delta$ )-ს გაზომვის სქემაზე მინოდებული ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობა 2 კილოვოლტის ( $\pm 3\%$ ) ტოლია.

ტრანსფორმატორის ზეთის (tg $\delta$ ) და C სიდიდის განსაზღვრა ცვლადი ძაბვის ბოგირის - შერინგის ბოგირის საშუალებით წარმოებს და უდანაკარგო

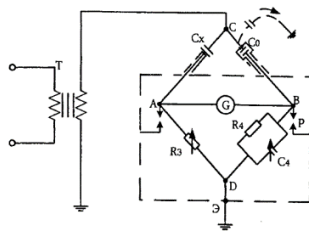
ტევადობაზე  $C_0$ , გამოსაკვლევი საიზოლაციო სისტემის ( $tg\delta$  და  $C$ ) შედარების მეთოდს ემყარება.

შერინგის ბოგირის ოთხი მხარიდან (ნახ N<sup>o</sup>1) 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 დანარჩენი მხარი რეზისტორულ-ტევადურ მხარს წარმოადგენს. ერთი პარალელურად ჩართული მრავალსაფეხურიანი  $R_4$  წინაღობის და ცვლადი ტევადობის მქონე  $C_4$  კონდენსატორისგან შედგება, მეორე მხარეს მრავალსაფეხურიანი ცვლადი წინაღობის 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 მხარეების ელექტრულად დაკავშირება წონასწორობის  $A$  და  $B$  წერტილებში ხდება. ბოგირის წონასწორობის ინდიკაცია ამ წერტილებს შორის ჩართული ნულინდიკატორის ( $G$ ) საშუალებით წარმოებს.



ნახ N<sup>o</sup>1 ტრანსფორმატორის ზეთის დიელექტრიკული დანაკარგების და შელწვეადობის შერინგის ბოგირით გაზომვის გამარტივებული სქემა.

## თავი 4

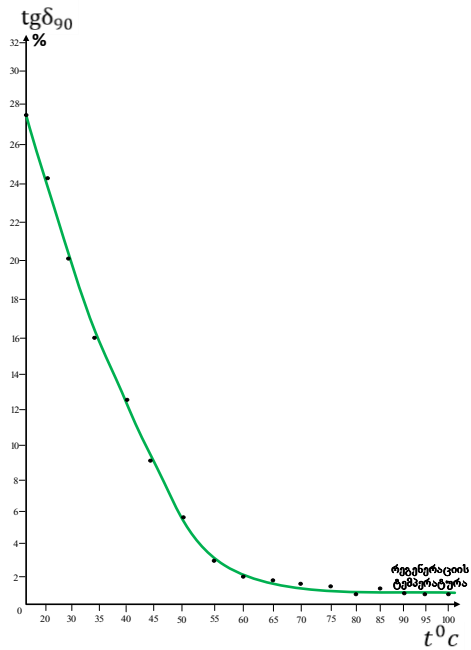
### ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია გუმბრინის თიხის გამოყენებით

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

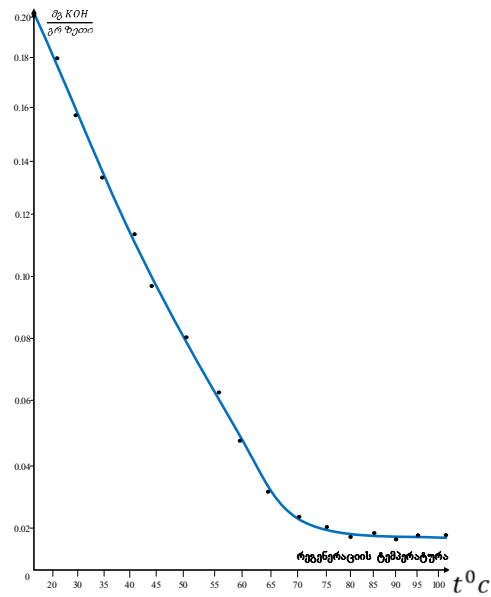
ცნობილია, რომ ტემპერატურის გაზრდით ტრანსფორმატორის ზეთის სიბლანტე მცირდება და მისი მოლეკულები ადვილად ამყარებენ კავშირს სორბენტის ზედაპირთან, მაგრამ ამასთანავე იზრდება დაძველების პროდუქტების ზეთში ხსნადობა. ზოგიერთი მათგანი კი  $110^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე ზეთში სრულებით იხსნება და მათი ზეთისგან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

გუმბრინის თიხით ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების რეგენერაციის ოპტიმალური ტემპერატურის დასადგენად ცდები  $30^{\circ}\text{C}$ -დან  $100^{\circ}\text{C}$ -მდე ტემპერატურულ შუალედში, ყოველი  $5^{\circ}\text{C}$  ინტერვალით, 20% გუმბრინის თიხის გამოყენებით, ზემოთგანხილული 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 მჟავური რიცხვით და დიელექტრიკული დანაკარგებით  $90^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე ( $\text{tg}\delta_{90}$ ) შეგვეფასებინა.



ნახ. 2 გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის  $tg\delta_{90}$  დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე.



ნახ. 3 გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთის მუავური რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ტემპერატურაზე.



როგორც ნახაზიდან (ნახ. 2) ჩანს, პროცესს გააჩნია მინიმუმის წერტილი ე.ი. ტემპერატურის ამ დიაპაზონში რეგენერაცია მაქსიმალური ინტენსიობით მიმდინარეობს. ტემპერატურის შემდგომი გაზრდით შეიმჩნევა რეგენირებული ზეთის  $\text{tg}_{90}$ -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. 3) რეგენირებული ზეთის მჟავეური რიცხვის რეგენერაციის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შემთხვევაშიც, იმ განსხვავებით, რომ რეგენერაციის ტემპერატურის  $80^{\circ}\text{C}$ -დან  $100^{\circ}\text{C}$ -მდე გაზრდის შემთხვევაში  $\text{tg}$  ნაზრდი 5% შეადგენს, ხოლო ამავე დიაპაზონში მჟავეური 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  $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  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 დალექილი თიხა რეგენერაციაში არ მონაწილეობს ე.ი. მისი კონცენტრაცია მცირდება.

**ცხრილი №1. 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	მექ.მინარეგების კლასი	კლასი	VIII	IX	IX	X	X	X	X
3	სიმკვრივე $D_{20}$	კგ/მ <sup>3</sup>	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 <sup>0</sup> c	%	1.4	0.3	0.1	0.02	0.015	0.012	0.011
8	დიელექტრიკული დანაკარგები 90 <sup>0</sup> c	%	16.0	3	1.8	1.2	1.1	1.0	0.9
9	კუთრი წინაღობა $\rho$ 20 <sup>0</sup> c	10 <sup>10</sup> ომი.მ	0.6	8	21	58	85	90	96
10	კუთრი წინაღობა $\rho$ 90 <sup>0</sup> c	10 <sup>10</sup> ომი.მ	0.07	2	8	12	20	31	95
11	ფარდობითი დიელექტრიკული შედწვევადობა $\epsilon_r$ 20 <sup>0</sup> 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	მჟაუური რიცხვი	$\frac{\text{მგრ KOH}}{1\text{გრ. ზეთი}}$	0.131	0.11	0.09	0.06	0.01	0.009	0.009
14	წყალში ხსნადი მჟავეები	$\frac{\text{მგრ KOH}}{1\text{გრ. ზეთი}}$	0.036	0.018	0.014	0.009	0.009	0.009	0.009

**ცხრილი №2. 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.მინარეგების კლასი	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XI
3	სიმკვრივე $D_{20}$	კგ/მ <sup>3</sup>	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	ბალი	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 $\rho$ 20 <sup>0</sup> c	10 <sup>10</sup> ომი.მ	0.3	5	21	63	80	90	90
10	კუთრი წინაღობა $\rho$ 90 <sup>0</sup> c	10 <sup>10</sup> ომი.მ	0.05	0.6	5	11	12	13	16
11	ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა $\epsilon_r$	-	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 №3. 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ძლიერ დაძველებული ზეთის მახასიათებლები.

№	მახასიათებლები	განზომილება	საწყისი	0.5სთ	1სთ	2სთ	3სთ	4სთ	6სთ
1	ტენუმეცველობა	გრ/1ტონა	9	9	9	9	9	9	9
2	მექ.მინარევების კლასი	კლასი	IX	X	X	XI	XI	XI	XI
3	სიმკვრივე $D_{20}$	კგ/მ <sup>3</sup>	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 $\rho$ 20 <sup>0</sup> c	10 <sup>10</sup> ომი.მ	0.6	1.6	8.3	15	31	41	42
10	კუთრი წინაღობა $\rho$ 90 <sup>0</sup> c	10 <sup>10</sup> ომი.მ	0.05	0.3	0.95	1.6	3.4	5.1	5.2
11	ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობა $\epsilon_r$	-	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	მჟაგური რიცხვი	$\frac{\text{მგრ KOH}}{\text{1გრ. ზეთი}}$	0.360	0.240	0.123	0.08	0.07	0.06	0.06
14	წყალში ხსნადი მჟაგები	$\frac{\text{მგრ KOH}}{\text{1გრ. ზეთი}}$	0.095	0.065	0.041	0.02	0.018	0.015	0.015

ამასთანავე, დაძველების პროექტების 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).

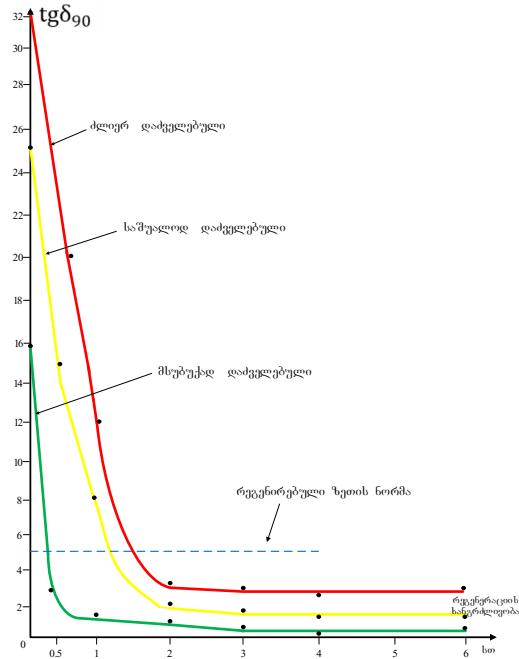
ამგვარად, ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთების გუმბრინის თიხით და არევის მეთოდით რეგენერაციის ჩატარების ოპტიმალური ტემპერატურაა  $75 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , ხოლო სარეველას ბრუნთა რიცხვი  $350 \pm 30$  ბრუნი წუთში ტოლია. რეგენერაციის ყველა ცდა ამ პირობებში ჩატარდა.

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

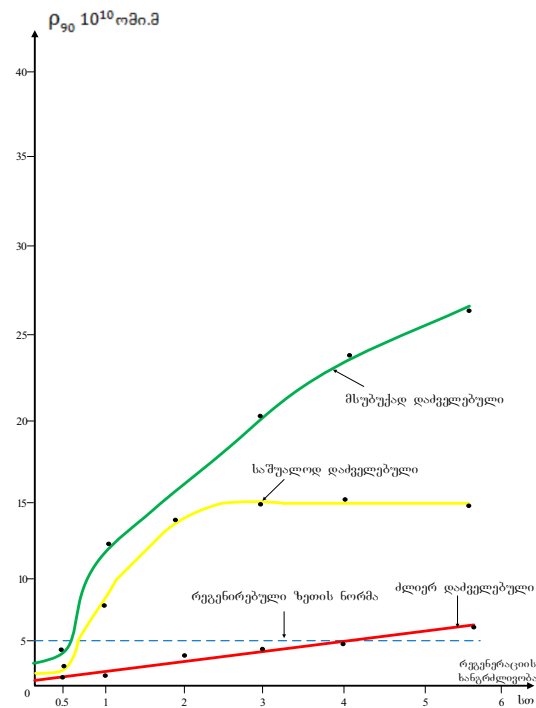
აღნიშნულ პირობებში, ტრანსფორმატორის მსუბუქად დაძველებული ზეთის რეგენერაციით მიღებული ზეთის მახასიათებლების ცვლილება ცხრილ №1-შია მოყვანილი, ხოლო საშუალო და ძლიერ დაძველებული ზეთების შესაბამისად ცხრილ №2 და №3.

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

ანალოგიურ მოვლენას აქვს ადგილი  $20^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე  $\text{tg}\delta_{20}$  სიდიდის რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების შემთხვევაში (ცხრ №1, 2 და 3).

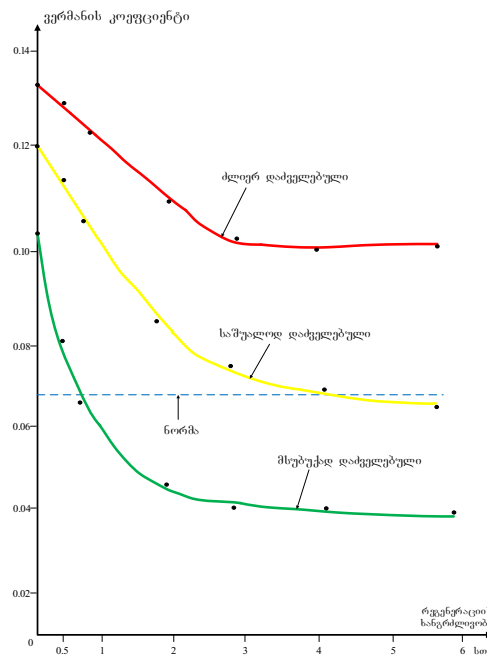


ნახ. 4 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების tgd<sub>90</sub> დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე



ნახ. 5 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ρ<sub>90</sub> დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული ზეთების 20% გუმბრინის თიხით რეგენერაციას, რეგენირებული ზეთის კუთრი წინალობის სიდიდე  $90^{\circ}\text{C}$  დამოკიდებულების ( $\varphi_{90}$ ) რეგენერაციის პირველ ეტაპზე (2სთ), კუთრი წინალობის ზრდა შედარებით ნაკლებია, ვიდრე  $t_{\text{გდ}90}$  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.



ნახ. 6 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ვერმანის კოეფიციენტის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

სხვადასხვა ხარისხით დაძველებული და შემდეგ შემოთავაზებული მეთოდით რეგენირებული ზეთების ვერმანის კოეფიციენტის რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებიდან ჩანს (ნახ 6), 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 2). 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 ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობის ( $\epsilon_r$ ) სიდიდე უმნიშვნელოდ მცირდება (ცხრ 1), რაც ზეთისგან დაძველების დიპოლური ნაწილაკების გამოყოფაზე მიუთითებს.  $\epsilon_r$ -ის სიდიდის შემცირება მსუბუქად დაძველებული ზეთებისთვის უფრო მეტია, ვიდრე ძლიერ დაძველებული ზეთებისთვის.

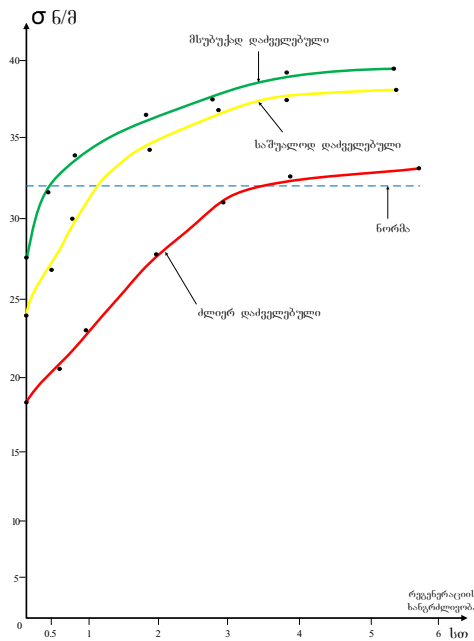
შემოთავაზებულიდან შეიძლება ითქვას, რომ რეგენერაციის ხანგრძლივობის გაზრდით, რეგენირებული ზეთის ელექტრული მახასიათებლები უმჯობესდება და რეგენერაციის მაქსიმალური ეფექტი ოთხი საათის განმავლობაში მიიღწევა, შემდეგ პროცესი შენელებულია, რაც თიხის არასაკმარისი კონცენტრაციით, ან დაძველების პროდუქტების თიხასთან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

მსუბუქად და საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთების ელექტრული მახასიათებლები რეგენერაციის საწყის ეტაპზე (2სთ) რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნებს აკმაყოფილებს, ხოლო ძლიერ დაძველებული ზეთებისთვის, გარდა  $\epsilon_{\text{გ}90}$  ნორმის მოთხოვნებს 6 საათი რეგენერაციის



შემდეგაც არ აკმაყოფილებს - ეს მოსალოდნელი იყო, რადგან ლიტერატურაში ცნობილია, რომ ძლიერ და ანომალურად დაძველებული ზეთების რეგენერაცია გაძნელებულია და იშვიათად მიმართავენ.

როგორც რეგენირებული ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების გრაფიკიდან ჩანს (ნახ. 7), 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.

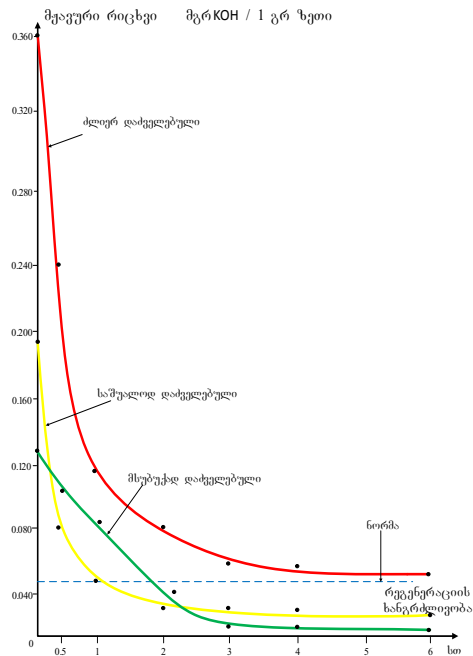


ნახ. 7 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების ზედაპირული დაჭიმულობის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

ტრანსფორმატორის ზეთის სარეგენერაციო პარამეტრს, სიმკვრივე ( $\lambda_{20}$ ) 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 1, 2 და 3).

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



ნახ. 8 20% გუმბრინის თიხით რეგენირებული ზეთების მუჟავერი რიცხვის დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე.

როგორც ცხრ 1, 2 და 3-დან ჩანს სამივე სახით რეგენირებულ ზეთში წყალში ხსნადი მუჟავების 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 მუჟავების და ტუტეების რაოდენობა 4 საათი რეგენერაციის შემდეგი რეგენირებული ზეთის ნორმის მოთხოვნას აკმაყოფილებს.

მსუბუქად და საშუალო ხარისხით დაძველებული ზეთების მუჟავერი რიცხვის 4 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.

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 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.

## 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.

## გამოქვეყნებული ლიტერატურა

1. რ.ჩიხლაძე, ი.ვახტანგაძე, ქ.ჩიხლაძე, „გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ელექტრული მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე“ უურნალი „ენერჯია“, 2015, №1(73).
2. რ.ჩიხლაძე, ი.ვახტანგაძე, ქ.ჩიხლაძე, „გუმბრინის თიხით რეგენირებული ტრანსფორმატორის ზეთის ფიზიკური და ქიმიური მახასიათებლების დამოკიდებულება რეგენერაციის ხანგრძლივობაზე“ უურნალი „ინტელექტუალი“, 2015, №28.
3. ი.ვახტანგაძე, „ტრანსფორმატორის დაძველებული ზეთის რეგენერაცია“, უურნალი „ენერჯია“, 2014, №4(72).

## 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 catalyts 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 forth 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.