

Lieljaudas transformatoru modernizācijas darbi un to efektivitāte

Gerards Gavrilovs, *Riga Technical University*

Kopsavilkums. Ekonomiskā situācija un ilgstoši ekspluatācijā esošo lieljaudas transformatoru skaits, nedod iespēju operatīvai nomainai tuvākajos gados. Tāpēc ļoti būtiski veikt transformatoru tehniskā stāvokļa diagnostikas kontroli, atbilstoši nepieciešamajām ekspluatācijas prasībām, ar turpmāko iespēju veikt transformatoru tehniskā stāvokļa modernizācijas darbus.

Svarīgi atzīmēt, ka nepamatots lēmums par modernizācijas darbu veikšanu, tā tehnoloģiju un apjomu labākajā gadījumā var novest pie neattaisnotiem izdevumiem, bet sliktākajā gadījumā - pie drošuma, resursa samazināšanās un pat līdz ekspluatācijas atteicēm. Rezultātā – nozīmīgi materiāli zaudējumi.

Atslēgas vārdi: lieljaudas transformators, modernizācijas darbi kapitālais remonts.

I. IEVADS

Lieljaudas transformatoru aktīvās daļas revīzija var novest pie sekojošiem negatīviem faktoriem:

- izolējošo īpašību pazemināšanās, izolācijas eļļas un cietās izolācijas saskaršanās ar neizžāvētu gaisu rezultātā;
- bez strikti atrunāta tehnoloģiskā procesa ievērošanas, eļļas iepildīšanas laikā transformatora tvertnē, gāzes burbuļu rašanās (un kā sekas - izolācijas pārklāšanās transformatoru ieslēgšanas laikā);
- atsevišķu mezglu nejauša sabojāšanās, aktīvās daļas piesārņošanās;
- svešu priekšmetu iekļūšana transformatorā cilvēka un neuzmanības dēļ.

Statistikas dati, transformatoriem, kuriem iepriekš tika veikts kapitālais remonts, caurvadizolatoru nomainīšana un citi ar aktīvās daļas modernizāciju saistītie darbi, liecina, ka veicot izmeklēšanu, gandrīz 30% gadījumos uz transformatora bākas dibena tika atrasti uzgriežņi, skrūves, instrumenti un citi darba rīki. Tas liecina par rupjiem tehnoloģiskā procesa pārkāpumiem. Pēdējā laikā šādi pārkāpumi ir arvien retāk un retāk sastopami un tas skaidrojams ar pieredzes krāšanu un pasūtītāja prasību pastiprināšanos.

Svarīgi arī pievērst uzmanību konkrētās modernizācijas tehnoloģijas procesa izvēlei, jo no tā ir atkarīga tehniskā stāvokļa uzlabošanas pakāpe. Piemēram, ja ir pazīmes uz pastiprinātu transformatora samitrināšanos un duļķes esamību, tad atturēšanās no cietās izolācijas karstās eļļas mazgāšanas un žāvēšanas noved pie neapmierinošiem rezultātiem. Transformatoru atvēršanas process var būt arī bīstams, ja transformatoru cietā izolācijā ir iesācies destruktīvais process un tai ir zema mehāniskās izturības pakāpe [1].

Krievijā tiek uzsākta speciāla dienesta izveidošana, kura ietvaros ir gan diagnostika, gan ekspluatācija, gan remontu darbi.

II. TRANSFORMATORU MODERNIZĀCIJAS DARBU METODIKA

Mūsdienīga modernizācijas metodika ekspluatācijas nosacījumos sastāv no tipveida remontu darbiem ar mērķi lokalizēt un novērst konkrētu defektu, atsevišķu transformatoru mezglu rekonstrukcijas, cietās izolācijas žāvēšanas un eļļas reģenerācijas (skat. 1. attēlu), aktīvās daļas mazgāšanas ar karstu eļļu pie dažāda vakuuma.



1. Att. Eļļas reģenerācijas stacionāra iekārta.

Mainīgs vakuums domāts, lai uzlabotu žāvēšanas procesu un attīrīšanu no duļķēm. Citreiz izdodas arī panākt augstāku papīra izolācijas mehānisko izturību.

Pēdējo piecu gadu laikā izstrādātā modernizācijas metodika ar augstas kvalitātes darbu izpildi ļāva sasniegt efektīvus rezultātus, veicot remontu darbus lieljaudas transformatoriem ar 30-45 gadu kalpošanas laiku. Dati ir iegūti daloties pieredzē ar kolēģiem no Krievijas. Tagad ir aktuāli izskatīt no kā tad sastāv modernizācijas darbu metodika un kādi ir tie galvenie pamatetapi [2], [3]:

A. Kompleksās diagnostikas apsekošana

Pirms lieljaudas transformatora remonta nepieciešama diagnostika, uz kuras pamata tiks lemts par darbu apjomu un nepieciešamību. Kompleksā diagnostika ļauj dot objektīvu vērtējumu par transformatoru stāvokli, noteikt šo elektrisko mašīnu visu sistēmu un mezglu defektus, kā arī izstrādāt rekomendācijas defektu novēršanai, remontdarbu veikšanai un transformatoru turpmākai ekspluatācijai. Šajā darbā izskatāmā

diagnostikas apjoma rezultātu ticamību apstiprina vairāku desmitu transformatoru remontu, kā arī citu transformatoru normāla, bezavārijas ekspluatācija. Balstoties uz mērījumu rezultātiem un uz pieņemtajiem lēmumiem, pārsvarā apsekoti transformatori ar spriegumu 110 – 500 kV un 10 – 35 kV (bloku elektrostacijā un rūpniecības uzņēmumu pašpatēriņa transformatori) ar jaudu 5,6 – 1000 MVA. Transformatoru darbības ilgums sastādīja no 0,5 līdz 62 gadiem. Aptuveni 75% transformatoriem ekspluatācijas laiks bija 25 un vairāk gadu. Visi transformatori tika ražoti Krievijā, Ukrainā, Zviedrijā, Beļģijā un Čehijā. Diagnostika tika veikta elektriskajās stacijās un apakšstacijās Krievijā, Baltkrievijā, Latvijā un Serbijā.

Diagnostikas rezultātu efektivitāte tiek panākta pateicoties plaša spektra mērījumu un analīžu izmantošanai [1], [3].

Diagnostisko metožu plašais spektrs (skat. 1. tabulu) ļauj dot pietiekami objektīvu informāciju par visiem lieljaudas transformatora mezgliem:

1. Cietā izolācija (samitrinājums, piesārņojums, sairums).
2. Magnētiskā sistēma (presēšana, tvertnes izolācijas elementu zudums).
3. Tinumi (presēšanas līmenis, deformācija).
4. Transformatora eļļa.
5. Dzesēšanas sistēmas, eļļas attīrīšana un aizsardzība.
6. Caurvadizolatori.
7. Sprieguma regulatori un kontaktu sistēmas.

1. TABULA

ATSEVIŠĶU LIELJAUDAS TRANSFORMATORA MEZGLU UN SISTĒMU STĀVOKĻA NOVĒRTĒŠANAS METODES

Diagnostikas metodes	Transformatora mezgli						
	1	2	3	4	5	6	7
Visvairāk iespējamo bojājumu vietu novērtējums, pamatojoties uz analoga tipa transformatoru defektu analīzi	+	+	+	+	+	+	+
Darba režīmu, ekspluatācijas un remontu dokumentācijas, mērījumu un pārbaužu analīze	+	+	+	+	+	+	+
Iekārtas apskate					+	+	+
Eļļas hromatogrāfiskā analīze	+	+			+	+	+
Eļļas ķīmiskā analīze	+	+		+	+	+	+
Eļļas mitruma noteikšana pie dažādiem transformatora temperatūras režīmiem	+			+	+	+	+
Mehānisko piemaisījumu sastāva noteikšana eļļā				+	+	+	+
Eļļas virsmas spraiguma noteikšana				+			
Tinuma izolācijas polimerizācijas pakāpes noteikšana	+						
Antioksidējošo nosēdumu daudzuma noteikšana eļļā				+	+	+	
Eļļas paliekošās stabilitātes noteikšana pret oksidēšanos				+	+	+	
Eļļas infrasarkanā spektroskopija	+	+		+	+	+	
Furāna daudzuma noteikšana eļļā	+					+	
Eļļas tgo un caursites sprieguma noteikšana pie dažādām temperatūrām	+			+	+	+	+
Termosifonu filtru silikagela analīze	+			+	+		
Tinumu un caurvadū izolācijas raksturlielumu noteikšana pie dažādām temperatūrām un spriegumiem, tai skaitā pa zonām	+				+	+	
Cietās izolācijas mitruma aprēķins-pēc līdzsvara stāvokļa – papīrs-eļļa un pēc izolācijas raksturlielumu noteiktajām vērtībām	+				+	+	
Daļējo izlāžu noteikšana *	+	+				+	+
Transformatora termovīzijas pārbaude *		+			+	+	+
Transformatora akustiskā pārbaude *	+	+	+				+
Transformatora tvertnes *, eļļas sūkņu un dzesēšanas sistēmas vibrāciju pārbaude		+	+		+		
Zemsprieguma impulsu oscilogrammas uzņemšana			+				
Īsslēguma pretestības noteikšana			+				
Tukšgaitas strāvas un zudumu noteikšana, tai skaitā pie nominālā sprieguma		+					
Eļļas tilpuma noteikšana konservatorā pie dažādām temperatūrām					+		
Eļļas spiediena noteikšana caurvadizolatoros pie dažādām temperatūrām						+	
Caurvadizolatoru izolācijas elektriskās izturības aprēķins						+	
Tinumu un pārejas kontaktu pārejas pretestību noteikšana pie dažādiem kontaktora stāvokļiem							+
Riņķa diagrammas un kontaktora darbības oscilogrammas uzņemšana							+
Eļļas sūkņu un ventilatoru fāzu mērījumi					+		
Iegūto rezultātu kompleksā analīze	+	+	+	+	+	+	+

* tiek veikts divos režīmos – lielākās slodzes un tukšgaitā

Analizējot iegūto diagnostikas informāciju, jāņem vērā sekojošais: vairāku defektu (īpaši transformatoriem ar ilgu kalpošanas laiku), kuru izpausme pēc dažiem diagnostikas rādītājiem var būt līdzīga, atfistības iespējamība; aparātu un mērījumu metodiskās kļūdas iespējamība; slēpto defektu esamība, kurus neizdevās noteikt tiešo mērījumu rezultātā vai kuri parādās tikai noteiktos režīmos, piemēram, pie īsslēguma; defektu pašlikvidācijas iespējamība, saglabājoties paliekošām izpausmēm, kuras var tikt fiksētas, piemēram, fizikāli ķīmiskajās eļļas analizēs.

Transformatoru kompleksai diagnostikai ir sekojoši pamatetapi [4]:

1. Konkrēta tipa transformatoru avāriju biežuma un raksturīgāko defektu analīze.
2. Transformatora apskate un tehniskās informācijas vākšana par darba režīmiem, slodzi, īsslēgumu strāvu darba sprieguma līmeņiem, ekspluatācijas īpatnībām, klimatiskiem nosacījumiem, atmosfēras piesārņojumu u.c.
3. Tehniskās dokumentācijas un ekspluatācijas mērījumu rezultātu analīze.
4. Tradicionālo elektrisko mērījumu (izolācijas un izvadu pretestība un tgd, tinumu pārejas pretestības, tukšgaitas un īsslēguma zudumi u.c.) veikšana atslēgtam transformatoram.
5. Mērījumu veikšana strādājošam transformatoram tukšgaitas un slodzes režīmos (daļēju un citu izlāžu mērījumi, izlāžu lokācija ar akustiskām ierīcēm, visu transformatoru mezglu termovīzijas pārbaude, transformatoru tvertnes un dzesēšanas sistēmas eļļas sūkņu vibrāciju pārbaude).
6. Eļļas paraugu noņemšana no transformatora tvertnes, caurvadizolatoriem, kontaktoriem un eļļas fizikāli ķīmiskās analīzes veikšana laboratorijā.
7. Tehniskās atskaites sagatavošana un došana, kurā tiek doti pārbažu rezultāti, iegūto rezultātu analīze, slēdziens par transformatora stāvokli un rekomendācijas turpmākai transformatora ekspluatācijai un esošai diagnostikas kontrolei, pie nepieciešamības – remontdarbu apjomam un metodikai.

Kompleksās diagnostikas etapa beigās novērtē remonta komplektējošo detaļu apjomu un tiek sastādīts darbu izpildes plāns.

B. Fizikālķīmiskās laboratorijas piesaiste

Tiek piesaistīta arī elektrotehniskā laboratorija ar maksimāli pielietojamo aparātu klāstu un skaitu, kas nodrošina augstu mērījumu rezultātu precizitāti. Šajā etapa laikā uz remonta laukumu nogādā tehnoloģisko iekārtu takelāžas darbiem, aktīvas daļas mazgāšanai, cietās izolācijas žāvēšanai un eļļas reģenerācijai, ja tā ir mobila iekārta.

C. Transformatoru atvēršana un takelāžas darbi

Darbi notiek pēc iepriekš izstrādātās tipveida tehnoloģiskās kartes [5], tajā skaitā, tinumu un magnetserdes presēšana, dzesēšanas sistēmas un regulēšanas zem sprieguma (RZS) sistēmas revīzija, absorbentu un filtru kontrole, eļļas sūču novēršana, defektēto tinumu izvadu nomaiņa, transformatoru tvertnes blīvumu nomaiņa.

D. Atsevišķu transformatoru mezglu rekonstrukcija

Lielā pieredze norāda uz to, ka aktīvās daļas samitrināšanās iemesls ir nehermētiski uzmontēta membrāna, kas caur atgaisošanas cauruli ļauj mitrumam tikt transformatorā. Nākamais iemesls var būt ar konstrukcijas koroziju izsuktās spraugas.

Dotajā gadījumā atgaisošanas caurules nomaiņa ir mērķtiecīgs pasākums, kā arī iespējams variants caurvadizolatoru nomaiņa pret hermētisku izpildījumu. Ar caurvadizolatoru nomaiņu ir jāparedz jaunu flanču nepieciešamība. Esošo caurvadizolatoru (skat. 2. attēlu) stiprinājums atšķiras no jauna caurvadizolatora stiprinājuma, tāpēc jāpievērš liela uzmanība jaunu caurumu izurbšanai un bultskrūves nomaiņai pret tapskrūvēm.



2. att. Nehermētiskie 110 kV caurvadizolatori.

E. Eļļas un absorbentu sagatavošana

Tas ir viens no galvenajiem etapiem, kas nodrošina remonta kvalitāti un turpmāku lielaudas transformatora drošu ekspluatāciju. Šis etaps ir visilgākais no visiem etapiem. Svarīgi atcerēties un rēķināties ar to, ka reģenerācijai, žāvēšanai vai degazācijai būs jāpakļauj ne tikai ekspluatācijā bijuši eļļa, bet arī glabājamā eļļa.

Remonta laikā nedrīkst aizmirst arī par absorbenta-silikagela samitrināšanās kontroli. Atbilstoši tehniskajām vajadzībām un iespējām turpmākai kontrolei tiek pieņemts lēmums par antioksidējošo vielu (antioksidantu) pievienošanu eļļai.

F. Cietās izolācijas mazgāšana (attīršana) un žāvēšana

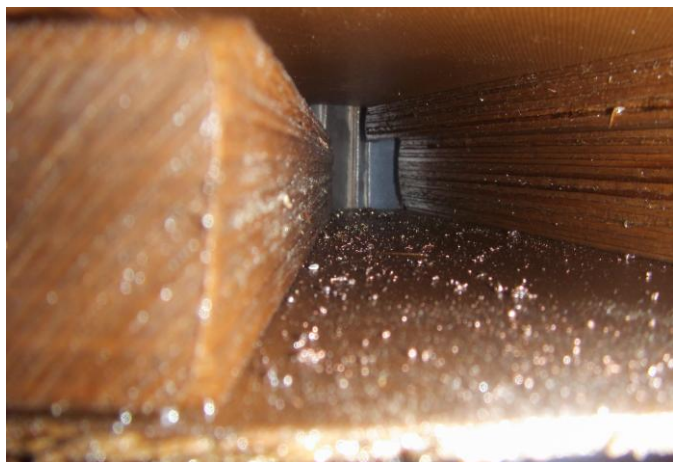
Šis etaps ir apgrūtināts ar to, ka tas pieprasa speciālo tehnisko aprīkojumu, kura sastāvā ir speciālā vakuumskrāns ar sildelementiem un eļļas smidzināšanas cauruļu sistēma (skat. 3. attēlu). Vairumā gadījumos process pielietojams transformatora ražotājrūpnīcā. Tas ir visgalvenākais modernizācijas remonta etaps, kurā pielieto gan tradicionālās pieejas, gan jaunus risinājumus. Plaši pielietojama metode ir divu kontūru metode. Pirmais – aktīvās daļas skalošanas kontūrs un otrs – vakuumsēšanas kontūrs.

Procesa īpatnība ir eļļas nomaiņa, pēc noteikta laika, pret eļļas šķīdumu, kas satur mazgāšanas līdzekli, piemēram Midel 7131.



3. att. Transformatora tinumu mazgāšana un žāvēšana.

Transformatoriem, atrodoties ekspluatācijā, iedarbojas dažādi sistēmas režīmi, kas izsauc pastiprinātu silšanu, termodinamisko iedarbību u.t.t. Apsekošanas rezultātā ir konstatētas vara skaidas (skat. 4. attēlu), kas ekspluatācijā ietekmē izolācijas līmeņa īpašības. Šāda defekta novēršanai pielieto tinumu mazgāšanu ar paaugstinātu spiedienu.



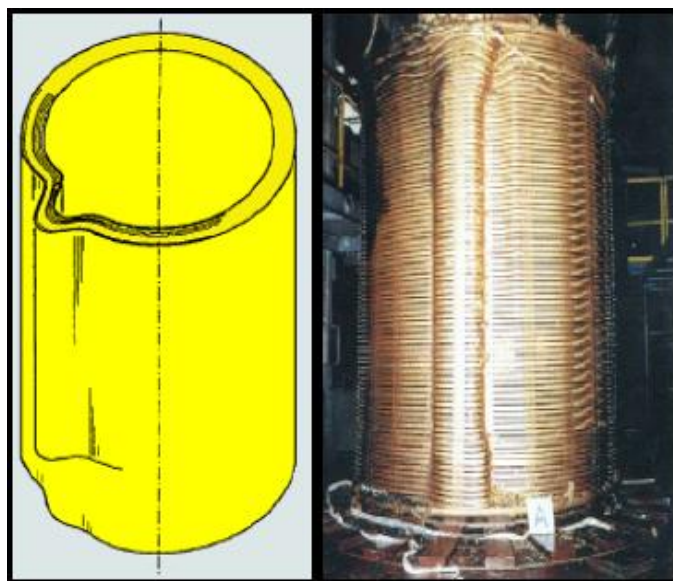
4. att. Transformatora aktīvās daļas pieduļķošana.

III. PRAKTISKAIS PIEMĒRS

TRDN-40000/110 transformatoru bojājumu iespējas un raksturīgo defektu analīze, lai noteiktu to pakļautību bojājumiem, ir veikta pamatojoties uz statistikas datiem par atteicēm un visraksturīgākajiem defektiem no rūpnīcu izgatavotāju ziņām („ЗТЗ”, Запорожье; СВПО „Трансформатор”, Тольяти; ОАО „Электрозавод”, Москва), kā arī minēto transformatoru tipu ekspluatējošo enerģētisko uzņēmumu informāciju. Tā kā TRDN-40000/110 transformators ir viens no divtinumu un trīstinumu 110 kV klases sērijas pārstāvjiem, tad arī drošuma analīze tiek veikta ņemot vērā visu minētās sērijas transformatoru atteices.

Galvenais šādu transformatoru bojājumu iemesls ir Maskavas rūpnīcā „Изолятор” ražoto hermētisko augstsprieguma 110 kV caurvadizolatoru bojājumi, it īpaši līdz 1985. gadam ražotie un ar T-750 eļļu pildītie caurvadizolatori. Minētais bojājumu veids ir viens no vissmagākajiem, jo vairumā gadījumu to pavada ugunsgrēks, kas noved pie pilnīgas transformatora iznīcināšanas.

Otrajā vietā pēc seku smaguma pakāpes ir tinumu bojājumi (skat. 5. attēlu). Šie bojājumi, kā likums, nav remontējami bez aktīvās daļas izjaukšanas, kā rezultātā transformators iziet no ierindas uz ilgu laiku, tā remonta izmaksas ir lielas, bet remontējot remontrūpnīcā vai izgatavotāj rūpnīcā tās var būt samērojamas ar jauna transformatora vērtību.



5. att. Transformatora tinumu deformācija.

Bieži atkārtojušos transformatoru atteiču iemesls ir bulgāru ražojuma PC-3 un PC-4 tipa pārslēdzošo ierīču bojājumi. Raksturīga to īpatnība ir kontaktora kinemātikas traucējumi, tas ir „izeja no slēdža”, kas noved pie strāvu ierobežojošo pretestību pārdegšanas un strāvas ķēdes traucējumiem kontaktorā. Tas var izraisīt ilgstoša loka parādīšanos kontaktora tvertnē ar tās hermētiskuma bojāšanu un kontaktora uzsprāgšanu (skat. 6. attēlu). Tādas atteices visbiežāk ir sastopamas pie pārslēgšanām zemu temperatūru apstākļos, īpaši iestatīšanas un profilaktisko darbu veikšanas laikā. Kaut arī izgatavotāj rūpnīca normē lielumu -25°C , kā galējo temperatūru pārslēgšanas brīdī, ir zināmi vairāki gadījumi, kad „izeja no slēdža” notika arī augstākā temperatūrā [7].

Otrs bieži sastopams pārslēdzošās ierīces atteiču iemesls ir neprecīza pievadu darbība (iesprūšana pārslēdzot, stāvokļu pārleķšana un aiziešana galējā stāvoklī). Tas noved pie transformatora bojājumiem, taču aizsardzības nostrādāšanas rezultātā tas vienalga atslēgsies.

Bieži sastopams aktīvās daļas konstruktīvo elementu traucējumu iemesls, kas noved pie aizsardzību nostrādāšanas, bet krasi samazina transformatora drošumu un paaugstina tā bojājuma risku, ir regulēšanas tinumu galu stiprinājumu bojājumi.



6. att. Pārslēdzošās ierīces (kontakta) defektēta tvertne

Tas noved pie tinumu atvīšanās, kas savukārt, kā likums ir slāņu tipa un vijumu noslīdēšana. Jebkurš tuvs īssavienojums tīklā var novest pie vijumu īsslēguma rašanās šajā tinumā un transformatora atslēgšanos no tīkla.

Visu 60-to un daļēji 70-to gadu ražojuma transformatoru raksturīgs konstrukcijas trūkums ir zema dinamiskā tinumu noturība ārējo īsslēgumu gadījumos, īpaši ja tie ir zemsprieguma pusē. Tas ir saistīts ar tai laikā eksistējošo transformatoru tinumu aprēķinu trūkumiem par dinamisko noturību īsslēguma strāvu plūšanas gadījumā un nepietiekamu transformatora izmēģinājumu apjomu un nepietiekamu dinamiskās noturības problēmas izpēti.

Beidzoties kompleksās diagnostikas diagnozei [6,7], jāplāno modernizācijas darbi un to apjomi. Pirms remonta uzsākšanas remontu personālam ir jāiesniedz kompleksās diagnostikas iegūtie mērījumu rezultāti, kas atbilstoši noformēti uz speciālām veidlapām (protokolēm). Mērījumu rezultāti, pirms modernizācijas darbiem, ir redzami 2. tabulā.

2. TABULA

TRANSFORMATORA MĒRĪJUMU REZULTĀTI (PIRMS REMONTA)

Nr. p.k.	Pārbaudes mezgls	Pārbaudes shēma	Rezultāts	Stāvoklis/Defektu raksturs
1.	Tinumi	A-VZk	458 MΩ	Neapmierinošs
2.	Caurvadizolatori	A,B,C(C ₁)	tgδ ≤ 0.7%	Apmierinošs/ eļļas sūces
3.	Magnētserde	---	Atšķirība < 30%	Apmierinošs
4.	Tinumu kontakti	A,B,C-0	Atšķirība < 2%	Apmierinošs
5.	Pak. pārslēdzis	---	Labs	Apmierinošs
6.	Meh. piedziņa	---	Pieļaujams	Uz robežas

Mērījumu rezultāti tiek iedoti remontu veikšanas personālam ar mērķi nodrošināt informācijas esamību par diagnostikas rezultātiem. Normālos darba apstākļos modernizācijas darbu process ilgst līdz 30 dienām un tas ir realizējams arī apakšstacijās uz vietas, pēc speciāli izstrādātas un saskaņotas programmas (skat. 3. tabulu).

3. TABULA

TRANSFORMATORA VEIKTO MODERNIZĀCIJAS DARBU SARAKSTS

Nr. p.k.	Veikto modernizācijas darbu raksturs
1.	Tika veikta visu blīvējumu nomaiņa
2.	Nomainīts pakāpju pārslēdža darbinātājs
3.	Transformatora kontakta revīzija
4.	Veikta pakāpju pārslēdža ārējā augšējā reduktora nomaiņa pret jaunu
5.	Nomainīts transformatora plūsmas relejs
6.	Pārbaudīts transformatora gāzes relejs
7.	Nomainīta visa eļļas noslēgarmatūra
8.	Veikta eļļas parauga noņemšanas ventīļa nomaiņa pret jaunu
9.	Uzstādīti 20 gab. jauni dzesēšanas ventilatori
10.	Nomainīti visi spēka un signalizācijas kabeļi un to aizsargapvalki
11.	Uzstādīti jauni 2 gab. MR-Mesko tipa termosignalizatori
12.	Transformatora un kontakta eļļas līmeņrāžu maiņa
13.	Uzstādīti jauni automatiskās dzesēšanas sistēmas vadības un sekundāro ķēžu skapji
14.	Uzmontēti 3 gab. jauni sausie 110 kV caurvadizolatori
15.	110 kV caurvadizolatoru izvadu pagarināšana
16.	Nomainīts silīkagels 2 gab. termosifona tvertnēs
17.	Veikta visu eļļas sūču novēršana un blīvju nomaiņa
18.	Veikta kontakta eļļas nomaiņa
19.	Veikta transformatora eļļas nomaiņa
20.	Veikta eļļas filtrācija, degazācija
21.	Veikta visa transformatora virsmas tīrīšana, gruntēšana un krāsošana
22.	Veikti visi nepieciešamie mērījumi un eļļas analīzes

Modernizācijas darbu process beidzas ar transformatora tehniskā stāvokļa diagnostikas pārbaudēm un efektivitātes noteikšanu. Kā rezultātā tiek noformēts darbu nodošanas-pieņemšanas akts ar mērījumu rezultātu protokolu, kurš atspoguļo 4. tabulas efektivitātes informāciju. Ir jāpiebilst ka konkrētam transformatoram tika veikta eļļas nomaiņa, bet atsevišķos gadījumos šādi darbi paredz eļļas nomaiņu pret iepriekš reģenerēto. Informācija par nepieciešamo eļļas daudzumu savlaicīgi tiek nodota atbilstošajam personālam.

4. TABULA

TRANSFORMATORA MĒRĪJUMU REZULTĀTI (PĒC REMONTA)

Nr. p.k.	Pārbaudes mezgls	Pārbaudes shēma	Rezultāts	Stāvoklis/Defektu raksturs
1.	Tinumi	A-VZk	9100 MΩ	Apmierinošs
2.	Caurvadizolatori	A,B,C(C ₁)	tgδ ≤ 0.5%	Apmierinošs
3.	Magnētserde	---	Atšķirība < 30%	Apmierinošs
4.	Tinumu kontakti	A,B,C-0	Atšķirība < 2%	Apmierinošs
5.	Pak. pārslēdzis	---	Labs	Apmierinošs
6.	Meh. piedziņa	---	Labs	Apmierinošs

IV. SECINĀJUMI

Sakarā ar to, ka pēdējā laikā defektēto transformatoru, ar pārsniegto dzīves ciklu, skaits ir palielinājies, nepieciešams arvien biežāk un biežāk izvest komplekso diagnostiku. Kompleksās diagnostikas mērķis ir noteikt esošo reālo transformatora tehnisko stāvokli un dot priekšlikumus modernizācijas darbu apjomiem un nepieciešamībai. Jāpielieto visas tradicionālās un netradicionālās pārbaudes metodes, lai nodrošinātu tehniskā slēdziena ticamību un precizitāti.

Katru gadu notiek vairāki modernizācijas darbi Latvijā uzstādītajiem lieljaudas transformatoriem. Kā jau minēts praktiskajā piemērā, transformatoru modernizācijas darbu apjomi var atšķirties, sākot ar atsevišķu mezglu nomaiņu un beidzot ar tinumu žāvēšanu un eļļas nomaiņu. Līdz ar to transformatoriem pagarināts dzīves cikls un tiem piemērota atsevišķa ekspluatācijas stratēģija.

Praksē atremontēto transformatoru bezatzeiņu darbība norāda uz modernizācijas darbu efektivitāti. Modernizācijas darbu efektivitātes apliecināšie mērījumu rezultāti uzrādīti mērījumu protokolos pie darba nodošanas, kā kontroles mērījumi.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. **Dirba J., Ketnere E., Ketners K.** *Enerģētisko sistēmu transformatori*. Rīga: RTU izdevniecība, 2004. – 296 lpp.
2. *Диагностика силовых масляных трансформаторов*. Версия 4.0. Иваново 2000, 88 стр.
3. *Transformer maintenance, FIST 3-30*. Available: http://www.usbr.gov/power/data/fist/fists3_30/3_30_4.htm

Gerards Gavrilovs, Power transformers' modernization works and its effectiveness

A significant part of power transformers, currently in Latvia has fulfilled the normative life. Economic situation and total number of equipment with long maintenance service do not allow replace it in the coming years. Therefore, to maintain the required and necessary reliability of transformers is very important diagnostic checking and if necessary should to make big repairs or modernization works. The article describes the important aspects of the preparation of technical decision making. Before modernization works of power transformers necessary to realize complex diagnostic. Complex diagnostic consists of seven main stages. Comprehensive diagnostic tests can identify not only developing defects, determine their level of risk, but also justify the need, scope and timing of modernization works.

New modernization technology with solid insulation cleaning by oil, which containing special additives in the vacuum process, allow effectual realize process of solid insulation drying, remove the products of oil aging, naphthenates of iron and copper, and mechanical sludge. In addition, this technology can reduce the negative effects of temperature and vacuum on the paper insulation and prevents the reduction of mechanical strength during drying insulation.

The advantage and effectiveness of modernization works is confirmation of insulation parameters increasing, technical condition and as a rule extension of power transformer's maintenance life cycle.

Герард Гаврилов, Модернизационные работы трансформаторов мощности и их эффективность

В настоящее время на территории Латвии значительная часть трансформаторов мощности отработала нормативный срок службы. Экономическая ситуация, а также общее количество оборудования с длительным сроком службы не позволяют в ближайшие годы провести его замену. Поэтому для поддержания требуемой и необходимой эксплуатационной надёжности трансформаторов очень важным является диагностический контроль и при необходимости проведение капитальных или модернизационных ремонтов. Статья описывает важные моменты подготовки вынесения технического решения. Перед модернизацией трансформаторов обязательно проводится комплексная диагностика. Комплексная диагностика состоит из семи основных этапов. Комплексные диагностические обследования позволяют не только выявить развивающиеся дефекты, оценить уровень их опасности, но и обосновать необходимость, объём и сроки проведения модернизационных работ.

Новая технология ремонта с обмывом изоляции маслом, содержащим специальные присадки при вакуумировании, позволяет эффективно проводить сушку твёрдой изоляции, удалять продукты старения масла, нафтены железа и меди, а также механические примеси. Кроме того, эта технология позволяет снизить негативное влияние температуры и вакуума на бумажную изоляцию и предотвращает снижение механической прочности при сушке изоляции.

Достоинством и эффективностью модернизационных работ является улучшения изоляционных параметров, технического состояния и как правило продление его срока эксплуатации.

4. *Transformer diagnostics, Facilities Instructions, Standards, and Techniques (FIST)*. Volume 3-31, Technical Services group D-8540, US Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, USA, 2003, 63 p.
5. *Типовая технологическая инструкция*. Трансформаторы напряжением 110 – 1150 кВ, мощностью 80 МВА и более. Капитальный ремонт. РДИ 34-38-058-91. Москва: СПО ОРГРЭС, 1993.
6. **Gavrilovs G.** *330 kV un 110 kV spēka transformatoru tehniskā stāvokļa analīze, pamatojoties uz profilaktisko pārbaužu un izolācijas eļļas fizikāl-ķīmisko analīžu rezultātiem*: maģistra darbs, Rīgas Tehniskā universitāte, 2008, 124 lpp.
7. **Смекалов В.В., Долин А.П., Першина Н.Ф., Тармогин П. В.** Обследования и ремонты силовых трансформаторов. VI Симупозиум „Электротехника 2010” Том 1, 4.09., Москва, 354-362 стр.



Gerards Gavrilovs

PhD student

Riga Technical University,

Power Engineering Institute

Address: Kronvalda blv. 1, LV-1010, Riga,

Latvia

Phone: +371 26472039

Email: gerards.gavrilovs@latvenergo.lv

Research interests: Prognosis and risk analyse of power transformers technical condition.