



P A2 07

## ИСКУСТВА У ВЕЗИ СА КАПИТАЛНИМ РЕМОНТИМА ТРАНСФОРМАТОРА НА МЕСТУ УГРАДЊЕ УЗ ПРИМЕНУ САВРЕМЕНИХ И УНИКАТНИХ ТЕХНОЛОГИЈА

Анисим Долин (Петровић)\*  
Сергеј Отморскиј (Георгијевић)  
Валериј Александров

МОСКВА

РУСКА ФЕДЕРАЦИЈА (РФ)

**Кратак садржај:** У раду су изложена специфична искуства и дати основни резултати ремонта трансформатора по уникатној технологији прања и сушења активног дела трансформатора oil-spray методом распршивања врелог трансформаторског уља којем су додати сапонификанти, уз вакумирање, по методи фирме Техносервис Електро из Москве. Сапонификанти помажу ефикасном растварању и уклањању талога са активног дела трансформатора. Као резултат ремонта трансформатора са дугим роком експлоатације по овој технологији поправљају се изолационе карактеристике намотаја, а истовремено се и чувају и поправљају механичка чврстоћа папирне изолације захваљујући појачању унутрашњих и спољашњих водоничких веза у макромолекулима целулозе учвршћивањем њене структуре.

Обим и редослед радова на ремонту зависи од специфичности конструкције, броја и карактера кварова, али и од услова под којима се обавља ремонт у теренским условима. Саставни делови трансформатора класе 220 kV и више, имају знатне димензије и масу, што диктира спровођење веома одговорних и захтевних кранских радова.

**Кључне речи:** трансформатор, дијагностика, капитални ремонт, изолација, испирање, сапонификант, сушење

---

\* Анисим Долин (Петровић); Техносервис-Електро, [apdol@mail.ru](mailto:apdol@mail.ru)

## 1. УВОД

Трансформатори у целини, као и њихови саставни делови, који су у употреби у дужем временском периоду, изложени су процесу природног старења. У те саставне делове спадају високонапонски проводни изолатори, регулатори напона (контактни део), изолациони материјали (трансформаторско уље, папир, картон, лакована тканина, памучне траке и сл.) као и гумене заптивке. Ради продужавања века трајања трансформатора и како не би долазило до хаваријских искључења, потребно је благовремено обављање капиталних ремонта трансформатора што би подразумевало отклањање насталих кварова и поновно успостављање нормативних параметара трансформатора.

Потреба за обављањем ремонта, укључујући и капитални, диктирана је укупним техничким стањем, дефинисаним после низа дијагностичких испитивања, као и немогућношћу даље експлоатације без доношења мера за отлањање откривених оштећења. Према ГОСТ 1167-85 век трајања енергентских трансформатора износи 25 година. међутим, фактички, у многим енергетским системима више од половине трансформаторског парка се користи више од 30 година.

Не треба изгубити из вида да је одлуку о капиталном ремонту трансформатора власник трансформатора већ донео на основу спроведеног комплексног дијагностичког испитивања трансформатора (или више пута поновљених) и да је оправданост улагања у капитални ремонт већ утврђена на основу процене трошкова ремонта (студија оправданости). Када је одлука о капиталном ремонту донешена, сам ремонт се дели на неколико фаза.

**Предремонтно комплексно дијагностичко истраживање** (КДО) врши се непосредно пре почетка ремонта на основу специјалног програма који је урађен у НПО „Техносервис-електро“. Основни циљ радова је да се да објективна оцена стања трансформатора, да се открију кварови у свим системима и на свим сегментима трансформатора.

**Припремна етапа:** Анализа хаварија и карактеристичних кварова на трансформаторима сличне конструкције (имајући у виду резултате истраживања и обављених ремонта);

**Етапа радова на терену:** Теренска испитивања, слика 1, обављају се у режиму празног хода и највећег могућег оптерећења (пожељно најмање 50% од номиналног, као и на искљученом трансформатору (уколико се планирају електрична испитивања).

У режиму празног хода и режиму оптерећења трансформатора врши се више мерења. Навешће се само нека од њих:

- лоцирање парцијалних пражњења, лучних пражњења и варничења у суду акустичким приборима;
- лоцирање парцијалних пражњења, лучних пражњења и варничења у суду и на проводним изолаторима електромагнетним методом

На крају обављених мерења израђује се пројекат ремонтних радова као и израда оперативног плана рада.

Није редак случај да се поред ремонтних радова изврши и модернизација појединих сегмената трансформатора (замена проводних изолатора са поновним лемљењем наставака, замена издувне цеви сигурносним вентилом, замена цевастог показивача

нивоа уља показивачем са казаљком, постављање мембране за заштиту уља уместо слободног дисања уља (отворени систем) као и друге врсте радова, у свему према програму радова који се ради за сваки трансформатор појединачно.



*Слика 1. Теренска испитивања*

Програм радова одређује врсту и опрему платформе за ремонт поред трансформатора, а у чијој близини се постављају специјална мобилна физичко-хемијска лабораторија, уређај за обраду уља, сушење изолације активног дела и дегазацију, сорбенти, грејач уља, уређај „суви ветар – ваздух“, предвакуумска пумпа, филтри за грубо и фино пречишћавање, као и неопходна технолошка опрема за ремонт - кранови, сајле, дизалице, котураче, вучни механизми итд.

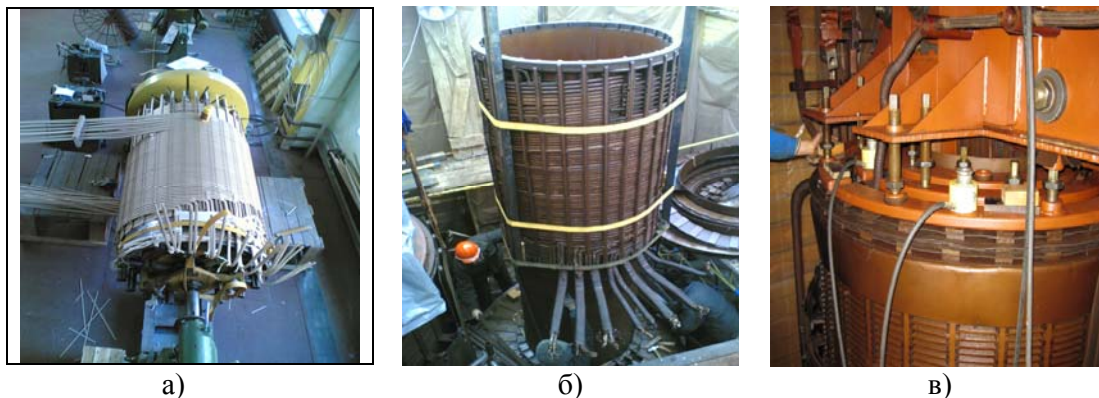
Ремонт трансформатора подразумева отклањање дефеката откривених у току прегледа, као што су: компактност намотаја, компактност магнетског језгра, ревизија система за хлађење, ревизија регулатора напона и његовог погона, адсорбера и термосифонских филтара, отклањање цурења, регенерација и замена оштећене изолације извода на намотајима и магнетском колу, замена свих заптивки и сл.

Као пример ремонта трансформатора у теренским условима на ТС 220 kV, - наводе се радови на капиталном ремонту трансформатора типа АТДЦТНГ – 125000/220 са земеном оштећеног регулационог намотаја фазе „А“. Радови су обављани комплетом потребне технолошке опреме, материјалима и електричним мерним уређајима и уз ангажовање сопствене физичко-хемијске и електротехничке лабораторије.

Ремонти са заменом намотаја обично се обављају на територији специјализованих ремонтних фирми, на ремонтним базама или у фабрикама произвођача, што неизбежно доводи до допунских финансијских трошкова који се увећавају због транспорта трансформатора. Цена таквог капиталног ремонта је близу цене новог трансформатора и ремонт трансформатора постаје економски неоправдан.

У случају када ремонт трансформатора на месту његове уградње, обухвата и замену једног или више намотаја, списак радова, за разлику од типског генералног ремонта, се проширује следећим врстама радова, слика 2:

- а) израда новог намотаја (у специјализованом предузећу),
- б) демонтажа дефектног намотаја,
- в) додатно притезање магнетског језгра и намотаја

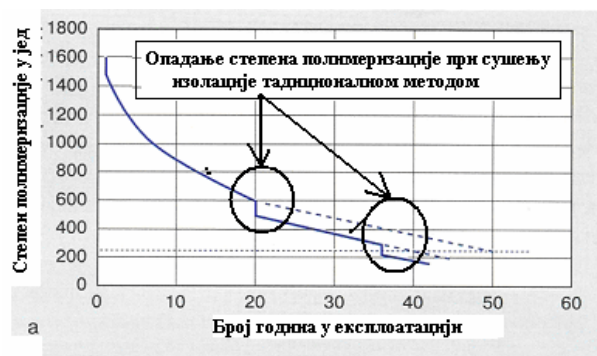


Слика 2. Ремонт са заменом намотаја

Ремонт трансформатора са заменом намотаја обухвата и следеће радове: монтажа привременог склоништа или транспорт трансформатора на место за ремонт, демонтажа покретног дела суда (звона) и растављање активног дела трансформатора са демонтажом магнетског кола, монтажа новог намотаја, склапање активног дела са повезивањем магнетног језгра, демонтажа привременог склоништа или транспорт трансформатора на његово место.

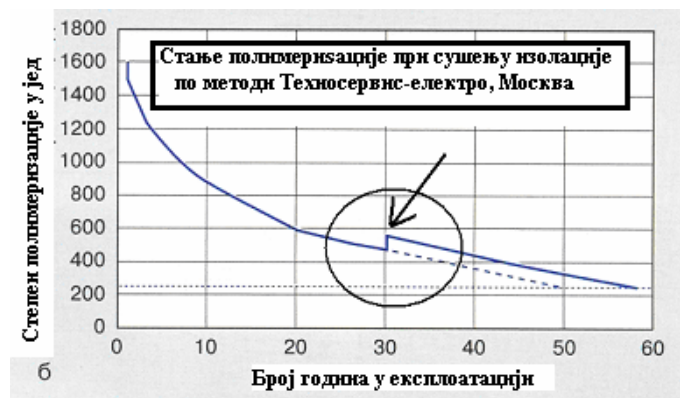
На основу резултата ремонтних радова, комплетне провере и испитивања активног дела и после поновног склапања, херметизовања – на реду је фаза сушења изолације.

Међутим, треба подвући да практично све методе које се заснивају на узајамном дејству високе температуре уља и вакуума са циљем извлачења влаге из изолационог система, имају погубно дејство на папирну - целулозну изолацију. Као резултат тих процеса, запажа се убрзано старење папирне изолације, и као последица тога, смањење степена њене полимеризације, просечно за 50 до 250 јединица, слика 3. Када степен полимеризације папирне изолације износи испод граничне вредности 250, тада је даља експлоатација трансформатора скопчана са знатним ризиком.



Слика 3. Опадање степена поларизације папирне изолације при сушењу конвенционалним метода

Нова технологија испирања и сушења активног дела енергетских трансформатора базира се на препорукама из типског упутства за генерални ремонт, према шеми за сушење изолације oil-spray методом распршивања уља (у условима потпуног или непотпуног вакуума). Основна разлика нове технологије (метода Техносервис-електро, Москва) у поређењу са традиционалном методом, састоји се у примени специјалног уља за испирање, као и у избору и времену излагања параметрима технолошког процеса. То омогућава да се интензивира процес извлачења влаге из чврсте изолације, растварање механичких примеса, продуката старења уља и других контаминација уља. Специјално уље за испирање се припрема непосредно пре ремонта додавањем у уље адитива који повећава његову способност за растварање и упијање влаге. Као резултат овог третмана, појављује се и пораст индекса полимеризације, слика 4.



Слика 4. Пораст степена полимеризације после третмана

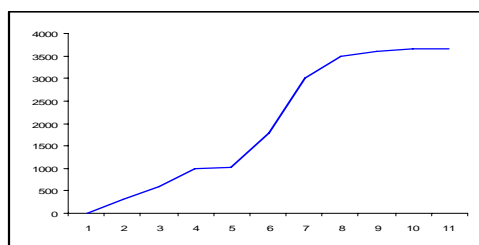
## 2. ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕС СУШЕЊА И ИСПИРАЊА ИЗОЛАЦИЈЕ МЕТОДОМ РАСПРСКАВАЊА ВРЕЛОГ УЉА ПО УНИКАТНОЈ МЕТОДИ „ТЕХНОСЕРВИС-ЕЛЕКТРО“

Према овој технологији, у трансформатоско уље се убацују сапонификанти, којима се повећава/убрзава растварање талоба на активном делу. Да би се искључила могућност неравномерног загревања, постављају се млазнице унутар суда трансформатора, док за повећање брзине као и због веће ефикасности чишћења изолације, у технолошком процесу сушења употребљавају се високопродуктивне уљне пумпе, које омогућавају пролазак уља кроз млазнице брзином од најмање 70 m<sup>3</sup>/h, као и грајача снаге од најмање 120 kW. Ако је у питању већи степен овлажености изолације на активном делу, у почетном стадијуму сушења, посебна пажња се посвећује загревању, које треба да се изводи врло опрезно како би се избегла могућност механичког оштећења (листања) папира и траго борда приликом интензивног ослобађања влаге.

У току испирања и сушења активног дела, контролишу се следећи параметри: заостали притисак, температура уља и активног дела, отпорност изолације, физичко-хемијски показатељи уља (пробојни напон, tg δ, киселински број, класа чистоће, количина влаге итд).

Критеријуми на основу којих се оцењује када је испирање изолације завршено – су стабилизација вредности електричне чврстоће - отпорности изолације, угла диелектричних губитака, количине влаге у технолошком уљу, као и да при том пробојни напон не треба да буде лошији од онога на почетку обраде.

Стабилизација вредности отпора  $R_{60}$  на свим деловима изолације (VN – N, VN-NN, NN – N), при чему се стабилизација обично одвија у две фазе, као што је приказано на слици 5. Као критеријум за завршетак сушења узима се стабилизација вредности на највишем нивоу.



Слика 5. Промена  $R_{60}$  при сушењу

Скупљање воденог кондензата у посудици је максимално 0,5 kg за један циклус.

Количина влаге у узорцима уља је максимално 10 g/t.

Количина влаге у узорцима чврсте изолације после сушења није већа од 1% (за узорке дебљине 2 mm). Пре и после ремонта се процењују - мере механичка својства, влажност и степен полимеризације. Резултати мерења дати су у табелама I и II.

Табела I: Механичка чврстоћа и количина влаге у узорцима папирне изолације

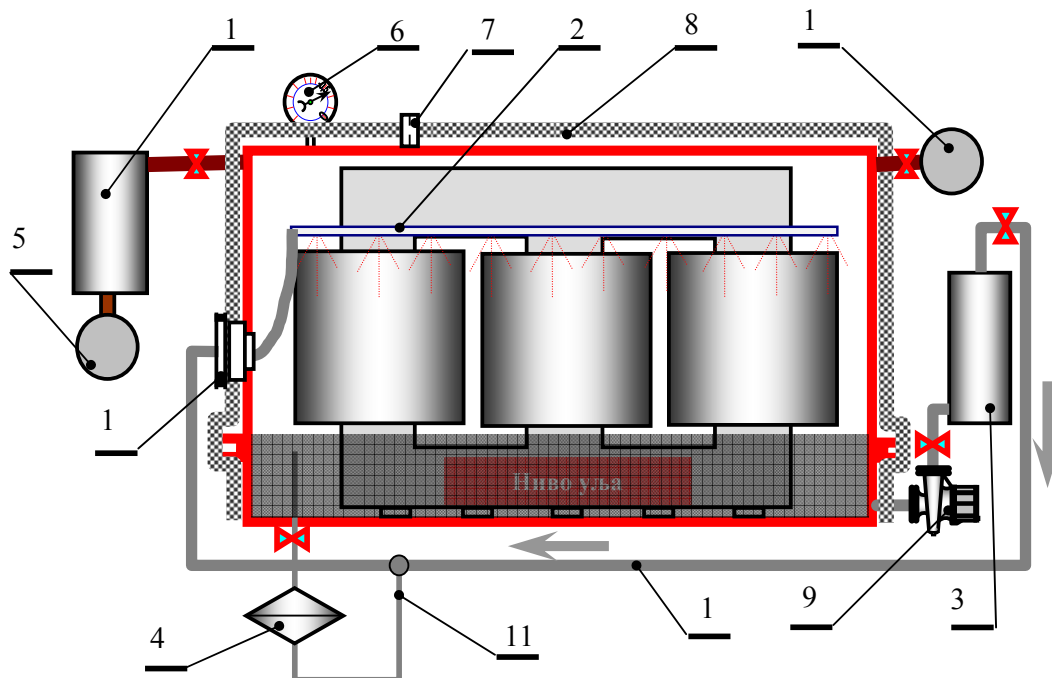
| № уз.                         | Место са којег је узет узорак   | Дебљина mm | Класа чврстоће |               | Количина влаге, % масе |               |
|-------------------------------|---|------------|----------------|---------------|------------------------|---------------|
|                               |   |            | Пре ремонта    | После ремонта | Пре ремонта            | После ремонта |
| 1                             | Основна међуфазна изолација VN фаза А и В, доле                           | 3          | 2-3            | 2             | 2,1                    | 0,75          |
| 2                             | Основна изолација јарма SN фазе В, горе                                   | 3          | 1-2            | 1-2           | 2,3                    | 0,95          |
| 3                             | Допунска изолација подупирача од буковог дрвета чеони део фазе С, средина | 0,5        | 2-3            | 2             | 1,9                    | 0,7           |
| 4                             | Допунска изолација подупирача од буковог дрвета извода NN фазе В, горе    | 0,5        | 2-3            | 2             | 1,6                    | 0,65          |
| Максимално дозвољена вредност |   |            | -              | -             | ≤ 2                    | ≤ 1           |

Табела II: Отпорност изолације намотаја измерена стандардним шемама

| Датум           | $t_{изм}, ^\circ C$ | (VN+SN+NN)-N*     |                   |           | (VN+SN)-(NN+N*)   |                   |           | NN-(VN+SN+N*)     |                   |           |
|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|
|                 |                     | $R_{15}, M\Omega$ | $R_{60}, M\Omega$ | $K_{абс}$ | $R_{15}, M\Omega$ | $R_{60}, M\Omega$ | $K_{абс}$ | $R_{15}, M\Omega$ | $R_{60}, M\Omega$ | $K_{абс}$ |
| Технички подаци | 56                  | 100               | 125               | 1,25      | 150               | 190               | 1,27      | 170               | 220               | 1,29      |
| Пре ремонта     | 30                  | 652               | 770               | 1,18      | 828               | 1010              | 1,22      | 654               | 817               | 1,25      |
| После ремонта   | 30                  | 705               | 860               | 1,22      | 875               | 1120              | 1,28      | 714               | 908               | 1,27      |

\*N, суд трансформатора

Шема повезивања опреме ради сушења и испирања изолације аутотрансформатора, дата је на слици 6.



Слика 6. Шема повезивања опреме ради сушења и испирања изолације једног аутотрансформатора

1. вакуумски уређај „Иње“, 2. млазнице, 3. грејач уља, 4. филтар за фино пречишћавање, 5. предвакуумска пума, 6. механички мановакууметар, 7. електронски урађај за контролу преосталог притиска, 8. термичка заштита резервоара, 9. уљна пумпа, 10. колектор, 11. цеви ДУ80 мм, 12. цеви ДУ 100 мм, 13. уређај „Суви ветар“

Овој принципијелној схеми протока врелог уља кроз трансформатор са распрскавањем преко активног дела, могу бити придодане паралелне везе, за доливање чистог уља, за убацавање сувог ваздуха, за убацавање високорастворљивих уља итд

После ремонта у трансформатор се сипа постојеће уље (или ново ако је реч о замени уља), које се претходно регенерише и стабилизује антиоксидационим адитивом у циљу додатне заштите уља и чврсте изолације од старења (за продужавање века трајања).

Укупно трајање ремонта, без замене и ремонта намотаја, при типском обиму радова, износи просечно од 30 до 40 дана. Трајање ремонта са комплетном заменом намотаја у теренским условима се знатно продужава (зависи од рока и сложености израде намотаја и од многих других фактора) и износи више од 2 месеца.

### 3. ЗАКЉУЧАК

Вишегодишње искуство, као и технологија испирања специјалним адитивима која се користи за регенерацију старих трансформатора, а коју су разрадили и примењују стручњаци НПО „Техносервис-електро“, омогућавају да се обави потпуно сушење и чишћење чврсте изолације уз делимичну стабилизацију њених механичких карактеристика, чак и код трансформатора који раде више од 40 година и код којих се параметри стања налазе у „области ризика“ и чији је даљи рад скопчан са недопустивим ризиком.

Строго поштовање технолошких и нормативних захтева, индивидуални прилаз ремонту сваког трансформатора, стална контрола параметара уља за испирање и изолационих карактеристика, омогућавају добијање добрих и стабилних резултата за многе ремонтване трансформаторе, нарочито код трансформатора код којих су пре ремонта степен контаминације, количина влаге и талога били близу критичних граница.

По завршеном ремонту врши се послеремонтна комплексна дијагностичка анализа о достигнутим параметрима ремонтваног трансформатора.

#### 4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Smekalov V.V., Dolin A.P., Pershina N.F.: *Condition assessment and life time extension of power transformers*. CIGRE, session 2002, 12-102;
- [2] Дегтярев С.А., Долин А.П., Першина Н.Ф., Смекалов В.В.: *Основные концепции комплексного диагностического обследования силовых трансформаторов*. Электро, №2, 2003;
- [3] Долин А.П., Крайнов В.К., Смекалов В.В., Шамко В.Н.: *Повреждаемость, оценка состояния и ремонт силовых трансформаторов*, Энергетик, №6, 2001;
- [4] Объем и нормы испытания электрооборудования, Москва, ЭНАС, 1998;
- [5] Типовая технологическая инструкции. Трансформаторы напряжением 110-1150 кВ, мощностью 80 МВА и более. Капитальный ремонт. РДІ 34-38-058-91. М.: СПО ОРГГРЭС, 19

### EXPERIENCES RELATED TO CAPITAL ON SITE REPAIRS OF TRANSFORMERS USING MODERN AND UNIQUE TECHNOLOGIES

Anisim Dolin (Petrovič)  
Sergej Otmorskij (Georgijevič)  
Valerij Aleksandrov

MOSCOW  
RUSSIAN FEDERATION (RF)

*Abstract* – This paper presents specific experiences and gives the basic results of capital repair of transformers by the unique technology of washing and drying of the active part of transformers using oil-spray method of splashing of hot oil with added soap facilities, with the evacuation, using the method of *Tehnoservis Electro Company* from Moscow. The soap facilities are added in the hot splashing transformer oil to help effectively dissolve and remove deposits from the active part of transformers. As a result of the repair of transformers with long-term exploitation by this technology, the insulation characteristics of the coils are improving, while also preserving and improving the mechanical strength of paper insulation due to the strengthening of internal and external hydrogen bonds in cellulose macromolecules by solidifying its structure.

The scope and sequence of works on repair depends on the specific structure, number and character of faults, and also the conditions under which repair carries out on site. The constituent parts of 220kV transformer class and above have significant size and mass, which determines the implementation of a responsible and demanding crane works.

*Key words:* transformer, diagnostic, capital repair, insulation, rinsing, soap facilities, drying