

Elektrostatyczne oczyszczanie olejów izolacyjnych smarowych i hydraulicznych

Wprowadzenie

O bezpiecznej i długotrwałej pracy węzłów tarcia albo układów regulacji maszyn oraz o stanie izolacji uzwojeń transformatorów decyduje w bardzo dużym stopniu stan zanieczyszczenia i zużycia stosowanych olejów mineralnych. Spośród wielu metod oczyszczania olejów elektroizolacyjnych, smarowych i hydraulicznych, szczególne znaczenie przypisuje się metodzie elektrostatycznej. W porównaniu z innymi metodami pozwala ona nie tylko na usuwanie występujących zanieczyszczeń

zapelnianiu urządzeń, ale także i podczas ich eksploatacji. Często znane metody preparowania i oczyszczania olejów nie są wystarczające, a nawet mogą wpływać na gorszą jakość wyrobów, powodować awarie i kosztowne przerwy w produkcji. Obecnie użytkownicy maszyn i urządzeń wykorzystują wiele sposobów oczyszczania i preparowania olejów mineralnych (tab. I) są to m.in.:

- Metoda filtracji (filtry) z wykorzystaniem materiałów porowatych, na których osadzają się zanieczyszczenia, tworząc warstwę filtracyjną.

TABELA I. Porównanie zakresu i skuteczności różnych metod oczyszczania olejów mineralnych

Zanieczyszczenia w oleju		Metoda oczyszczania olejów i cieczy elektroizolacyjnych, smarowych i hydraulicznych				
Wpływ na właściwości oleju	Rodzaj zanieczyszczenia	Filtracja	Wirowanie	Odparowanie Odgazowanie	Sita molekularne	Pole elektrostatyczne
Tarciowe Izolacyjne	Mechaniczne – do 10 μm	+++	++ ¹	–	++ ²	+++
	– do 5 μm	++	+ ¹	–	+ ²	+++
	– do 0,1 μm	–	–	–	–	+++
Tarciowe Izolacyjne	Woda	+	+	+++	+++	+++
Tarciowe Izolacyjne	Gazy	–	–	+++	–	–
Tarciowe Izolacyjne emulgowanie tg δ; ρ	Kwasy organiczne i mydła	–	–	–	++ ³	+++
	– rozpuszczalne w oleju	+	++	–	+ ²	+++
	– nierozpuszczalne w oleju	+	++	–	+ ²	+++
	Substancje żywiczne	+	+	–	+ ²	+++

¹ Jeżeli występuje różnica ciężarów właściwych pomiędzy olejem a zanieczyszczeniem. ² Zależy od zastosowanego filtra po sitach molekularnych. ³ Zależy od zastosowanego sita molekularnego.

stałych i wody, ale również na eliminowanie zanieczyszczeń rozpuszczalnych w olejach, o budowie polarnej. Oczyszczanie elektrostatyczne wpływa na wydłużenie czasu pracy olejów, zapobiega stanom awaryjnym maszyn oraz urządzeń, a także znacznie wydłuża okresy pomiędzy wymianą oleju. Stosowanie urządzeń elektrostatycznego oczyszczania olejów jest ekonomiczne i ekologiczne.

Metody oczyszczania olejów

Współcześnie w budowie maszyn istotne jest doskonale konstrukcji zgodnie z oczekiwaniami użytkowników. Jeśli przyjąć, że oleje stanowią jeden z elementów budowy w maszynach i urządzeniach, to nieodzowne są odpowiednie działania, także profilaktyczne, nie tylko przy

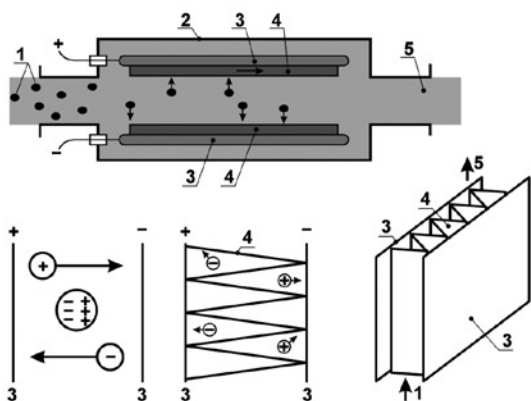
Dr inż. Jan J. Hynar jest właścicielem firmy ECCOAL w Katowicach, a Janusz Toman pracuje w firmie EKSPERT w Cieszynie.

- Metoda działania sił odśrodkowych (wirówki), w których wykorzystuje się różnice ciężarów pomiędzy zanieczyszczeniami a medium pod wpływem działania sił odśrodkowych.
- Metoda odparowania i odgazowania (wyparki); tu stosuje się rozpylenie najczęściej podgrzanego oleju pod obniżonym ciśnieniem, co gwarantuje usuwanie rozpuszczonych gazów, wody, lotnych produktów starzenia i ewentualnie rozpuszczalników.
- Metody sit molekularnych (sita molekularne) wykorzystujące właściwości glinokrzemianów do selektywnego zatrzymywania cząstek wody.
- Metody magnetyczne (filtry magnetyczne) do zatrzymywania wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń o podatności magnetycznej.
- Metody elektrostatyczne (separatory elektrostatyczne) oparte na oddziaływaniu pola elektrostatycznego

na wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia mechaniczne (ciała obce) oraz rozpuszczone substancje polarne, znajdujące się w cieczach dielektrycznych (oleje mineralne, poliglikole itp.) i osadzone na elektrodach. Z analizy metod oczyszczania olejów wynika, że nie istnieje uniwersalny sposób na rozwiązanie wszystkich problemów eksploatacji olejów elektroizolacyjnych, smarowych i hydraulicznych. Niewątpliwie jednak na wyróżnienie zasługuje metoda elektrostatycznego oczyszczania olejów (ELC).

Zasady elektrostatycznego oczyszczania olejów

W procesie oddziaływania pola elektrostatycznego na ciecz o właściwościach dielektryków obserwuje się częściowe pochłanianie energii pola elektrycznego przez cząstki polarne i pseudopolarne (elektryzowane zewnętrznie). Cząsteczki z ładunkiem elektrycznym osadzają się na odpowiednich elektrodach, co w konsekwencji oznacza oczyszczenie dielektryka z zanieczyszczeń. Nagromadzone zanieczyszczenia na elektrodach, osadzone na powierzchni kolektorów (warstwa adsorpcyjna, cartridge) są usuwane z kondensatora przez odłączenie od napięcia i opróżnienie albo wymianę kolektorów [1], [2], [3]. Stopień oczyszczenia olejów zależy m.in. od natężenia pola elektrycznego i prędkości przepływu oleju. Najczęściej napięcie prądu stałego na elektrodach waha się w granicach 8 do 18 kV, przy natężeniu prądu od 0,1 do 20 mA. Metoda elektrostatyczna nie jest przydatna natomiast do oczyszczania roztworów wodnych, emulsji olejowo-wodnych, itp. Schemat oczyszczania ciekłych elektryków w polu elektromagnetycznym pokazano na rysunku.



Rys. Schemat oczyszczania ciekłych elektryków w polu elektromagnetycznym: 1 – zanieczyszczenia w cieczy, 2 – separator elektrostatyczny, 3 – elektrody, 4 – kolektor zanieczyszczeń, 5 – strumień cieczy oczyszczonej

Metoda elektrostatycznego oczyszczania olejów transformatorowych

Zanieczyszczenie podczas transportu, magazynowania i eksploatacji olejów elektroizolacyjnych wpływa na ich gorsze cechy użytkowe. Najczęściej dochodzi wówczas do przypadkowego zanieczyszczenia cząstkami mecha-

nicznymi (pyły, piasek, produkty korozji) i do wystąpienia skroplin. W wyjątkowych sytuacjach dochodzi też do zanieczyszczenia oleju świeżego olejem starym. Warto przypomnieć w tym miejscu, że oleje zalane do transformatorów oprócz zanieczyszczeń mechanicznych (ciała obce) zawierają:

- wodę (z otoczenia oraz procesów starzenia oleju i izolacji stałej);
- kwasy (organiczne z utleniania węglowodorów);
- mydła (produkty reakcji kwasów organicznych z metalami);
- substancje żywiczne (z reakcji utleniania i kondensacji węglowodorów aromatycznych zawartych w oleju oraz z wymywania żywic impregacyjnych z izolacji stałej).

Obowiązujące przepisy określają jednoznacznie zawartość zanieczyszczeń w olejach transformatorowych. Określenie jakości olejów, czyli stanu ich czystości wymaga pomiarów: zawartości wody, napięcia przebicia, liczby kwasowej, współczynnika strat dielektrycznych, napięcia powierzchniowego, stałą dielektryczną i współczynnik załamania światła [4], [5]. Ze względu na charakter i skuteczność oddziaływania stałego pola elektrycznego na zanieczyszczenia zawarte w dielektrykach, elektrostatyczne oczyszczanie zastosowano do oczyszczania olejów w transformatorach [1], [6], [7]. Do oczyszczania tego typu olejów stosuje się separatory elektrostatyczne (ELC – electrostatic cleaning) produkowane m.in. przez firmę Kleentek Co. [8].

Wykonane wspólnie z OPA-CARBO i RUT-Będzin próby oczyszczania czterech olejów transformatorowych za pomocą urządzenia ELC-R3SP potwierdziły przydatność opisywanej metody. W stosunkowo krótkim czasie nastąpiła znacząca poprawa cech izolacyjnych oleju ($\text{tg } \delta$, ρ i napięcie przebicia), także chemicznych (liczba kwasowa) i fizycznych (usunięcie zanieczyszczeń mechanicznych i zmiana barwy) (tab. II). Dobrą skuteczność metody elektrostatycznego oczyszczania olejów transformatorowych potwierdzają również oznaczenia zanieczyszczeń w postaci cząstek stałych, których wartość według skali ISO stabilizuje się na poziomie 10/7/0 [7].

Metoda elektrostatycznego oczyszczania przydatna jest do preparowania nowych i eksploatowanych olejów transformatorowych. Interesująca jest zwłaszcza możliwość wykorzystania urządzeń elektrostatycznych do oczyszczania olejów zawartych w pracujących transformatorach. Pozwala to nie tylko na usunięcie z olejów zanieczyszczeń i skroplin, ale także na ich regenerację i eliminowanie produktów starzenia. Możliwość poprawy cech dielektrycznych oleju automatycznie wpływa na stan izolacji transformatora, zatem można mówić o elektrostatycznej metodzie poprawy stanu izolacji transformatorów. Ponieważ wymiana oleju w transformatorach nie oznacza jednocześnie usuwania zużytego oleju z izolacji uzwojeń, zatem w stosunkowo krótkim

czasie dochodzi do pogorszenia jego cech dielektrycznych. Urządzenie elektrostatyczne podłączone do pracujących transformatorów usuwa stary olej z izolacji uzwojeń i przerywa proces samozanieczyszczania się.

Metoda elektrostatycznego oczyszczania olejów smarowych i hydraulicznych

Oddziaływanie pola elektrostatycznego opisano na przykładzie oleju transformatorowego. Inne są natomiast wymagania jakościowe jeśli idzie o oleje smarowe i hydrauliczne ze względu na różne ich zastosowanie oraz różnorodne funkcje. Dla olejów do turbin parowych i gazowych z generatorami elektrycznymi oraz olejów hydraulicznych istotne znaczenie mają zawartość zanieczyszczeń mechanicznych, wody i odporność na starzenie.

Zdobyte doświadczenia w elektrowni Detmarovice [9] wykazały, że olej zawierał zanieczyszczenia cząstkami 4 μm i większymi na poziomie 17 wg kodu liczbowego (600-1300 cząstek w mililitrze), a po zainstalowaniu urządzenia Kleentek ich zawartość spadła do poziomu 12 kodu liczbowego według PN-ISO 4406:2005 (20-40

tego olejów określonych w obowiązujących normach, ale te dotyczą parametrów możliwych do uzyskania zgodnie z dostępnymi technologiami oczyszczania, z uwzględnieniem realiów ekonomicznych (cykle eksploatacyjne). Utrzymywanie stanu olejów na poziomie określonym w normie jest związane jednak z przestrzeganiem harmonogramu remontów, pomiędzy którymi i tak zdarzają się awarie, co oznacza koszty przewidywane, ale także nadzwyczajne. Zastosowanie elektrostatycznej metody oczyszczania olejów oznacza uzyskanie jakości znacznie lepszej od nakazywanej w normie. Zmniejszają się wówczas bardzo znacząco koszty zakupu oleju, ale przede wszystkim częstotliwości remontów i ryzyko awarii.

Wśród wielu sposobów oczyszczania olejów elektroizolacyjnych, smarowych i hydraulicznych, na szczególną uwagę zasługuje opisana metoda elektrostatyczna, polegająca na pozbywaniu się z olejów zanieczyszczeń rozpuszczalnych (polarnych) i nierozpuszczalnych. W praktyce daje to możliwość bieżącego oczyszczania olejów, także ich regenerowania, a zatem ograniczania często-

TABELA II. Wpływ pola elektrostatycznego na właściwości olejów transformatorowych

Nr	Olej transformatorowy	Czas cyrkulacji oleju, godz.	Właściwości oleju transformatorowego: (1) przed oczyszczaniem; (2) po oczyszczeniu w ELC-R3SP									
			Straty dielektryczne, %		Rezystywność $\times 10^{10}$, Ωm		Napięcie przebicia, kV		Liczba kwasowa mg KOH/g		Barwa	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.	OPA-Carbo 1	24	0,26	0,12	3,86	7,73	25	33	–	–	–	–
2.	OPA-Carbo 2	52	4,88	1,16	0,23	1,78	21	49	–	–	–	–
3.	RUT-B 1	4	–	–	25,8	33,9	20	27	–	–	Granat	Oranż
4.	RUT-B 2	87	–	–	0,771	0,886	52	42	0,083	0,053	–	–

cząstek w mililitrze). Eliminowanie z oleju wody i oparów w zbiorniku przerywa procesy korozji, zapobiega też zanieczyszczeniu oleju produktami korozji. Produkty utleniania węglowodorów są także systematycznie usuwane z oleju. Wyniki tych zabiegów gwarantują dobrą jakość oleju i dają podstawę do dobrych warunków pracy węzłów tarcia, układów lewarowych i regulacyjnych, znacząco też wpływają na wydłużeniu czasu pracy oleju (dwu- a nawet trzykrotnie). Dużą skuteczność opisywanej technologii notowano już w latach sześćdziesiątych minionego stulecia [10], np. gdy do oczyszczania cieczy hydraulicznych w rakiemie Polaris zastosowano separatory elektrostatyczne (12–20 kV, 0,0005 A). W porównaniu do tradycyjnej technologii, uzyskano tu skrócenie czasu oczyszczania z 360 minut do 90 minut, osiągając wyższy poziom czystości cieczy hydraulicznej.

Podsumowanie

Wykorzystanie urządzeń oczyszczających oleje metodą elektrostatyczną oznacza istotną zmianę w gospodarce olejami. Można oczywiście zadowolić się respektowaniem wymogów dotyczących czystości i składu chemicz-

ności wymiany. Zastosowanie w maszynach i urządzeniach metody elektrostatycznego oczyszczania olejów gwarantuje im bezpieczną i wydłużoną eksploatację. Koszty zastosowania tej technologii zwracają się w bardzo krótkim czasie, już ok. roku.

LITERATURA

- [1] Hycnar J.: Oleje izolacyjne w eksploatacji. WNT. Warszawa 1969.
- [2] Juszczyk M., Toman J.: Rewolucja w zapobiegawczym utrzymaniu ruchu. Utrzymanie Ruchu, lipiec 2005/
- [3] Sasaki A.: Study of ELC. Kleentek Corporation, Japan 1969.
- [4] Sokół P.: Analiza i diagnostyka oleju jako podstawa do oceny stanu izolacji.[w:] Transformatory w eksploatacji. Wydawnictwo Energo-Complex, Chorzów 2005.
- [5] Ramowa instrukcja eksploatacji transformatorów. Energopomiar-Elektryka, Gliwice 2001.
- [6] Sasaki A.: The overlooked problems of transformer insulating oil. Kleentek Corporation, Japan 1993.
- [7] Wilkins Ch.: Electrostatic filtration extends life of transformer oils. Transformer Report.
- [8] Kleentek: Elektrostatyczna regeneracja i oczyszczanie olejów. ELC Polska Sp. z o.o., Bielsko Biała 2005.
- [9] Chalina V.: Klientek. Praga 2002.
- [10] Hycnar J.: Materiały smarowe. SITPH. Katowice 1968.