

SỰ HÌNH THÀNH METHANOL DƯỚI QUÁ TRÌNH GIÀ HÓA NHANH CÁCH ĐIỆN GIẤY TRONG DẦU BIẾN ÁP

FORMATION OF METHANOL UNDER ACCELERATED AGING OF PAPER INSULATION IN TRANSFORMER OIL

Darian L.A., Maximchenko A.V., Lê Khắc Lâm*

Đại học Năng lượng Matxcova

Tóm tắt:

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu sự hình thành methanol khi tăng tốc độ già hóa cách điện giấy trong dầu biến áp dưới tác dụng của nhiệt độ. Tất cả các vật liệu dùng cho nghiên cứu (giấy cách điện dây cáp, dầu biến áp) đều được sản xuất tại Liên bang Nga. Các thí nghiệm tăng tốc độ già hóa giấy cách điện dây cáp K-120 trong dầu biến áp ГК sẽ được giới thiệu ở phần cuối của bài báo. Sự phụ thuộc nồng độ methanol vào bậc polyme hóa của cách điện giấy thu được bởi các tác giả và các nhà nghiên cứu từ Anh, Pháp đã được so sánh và có thể trở thành cơ sở để đánh giá tuổi thọ của cách điện giấy và tuổi thọ còn lại của máy biến áp lực.

Từ khóa:

Methanol, già hóa cách điện giấy, dầu biến áp, bậc polyme hóa, giấy cách điện dây cáp.

Abstract:

This paper depicts test results of methanol formation appearing in paper insulation accelerated aging in transformer oil under temperature influence. All studied materials (cable insulation paper, transformer oil) are manufactured in Russia Results of cable paper K-120 accelerated aging in transformer oil ГК will be presented at the end of this report. The dependence of methanol concentration versus the degree of polymerization of paper insulation, obtained by the authors, have been compared with dependence gained by English and French researchers and may become the basics of paper insulation remaining lifetime estimation, as so for, remaining lifetime of power transformers.

Key words:

Methanol, paper insulation aging, transformer oil, degree of polymerization, cable insulation paper.

1. MỞ ĐẦU

Tuổi thọ máy biến áp (MBA) được quyết định chủ yếu bởi tình trạng hệ thống cách

điện bao gồm cách điện giấy của các cuộn dây, cách điện barie từ các công nghệ kỹ thuật điện và dầu biến áp. Chỉ số chất lượng dầu biến áp giảm dần trong quá trình vận hành do già hóa, có thể được cải thiện bằng các biện pháp chuyên dụng (sấy,

Ngày nhận bài: 7/2/2017, ngày chấp nhận đăng: 15/3/2017, phản biện: TS. Vũ Thị Thu Nga.

khử khí, tái chế,...). Nhưng cách điện giấy không thể được cải thiện, còn thay mới đòi hỏi tiến hành đại tu rất tốn kém. Như vậy có thể nói, tuổi thọ MBA được xác định bởi tuổi thọ của cách điện giấy.

Chỉ số định lượng mức già hóa của cách điện giấy là bậc polyme hóa [1]. Bậc polyme hóa của cách điện giấy theo [2] được đo thông qua việc xác định đặc điểm độ nhớt của dung dịch cách điện giấy. Tuy nhiên, phương pháp này không được sử dụng rộng rãi do việc lấy mẫu cách điện giấy chỉ có thể thực hiện khi đưa MBA vào sửa chữa và mở nắp. Ngoài ra, việc lấy mẫu cần được thực hiện ở điểm nóng nhất (ví dụ, phía trên cuộn hạ áp). Tuy nhiên, sau khi lấy mẫu việc cải tạo lại cách điện giấy là một bài toán rất phức tạp và đòi hỏi chuyên môn cao.

Biện pháp gián tiếp đánh giá tình trạng cách điện giấy theo hàm lượng các chất chỉ thị trong dầu MBA hoặc chỉ dầu già hóa thể hệ một và hai cũng không được dùng phổ biến [3]. Trong một thập kỷ gần đây, hàng chục báo cáo về chỉ dầu già hóa cách điện giấy mới, thuộc chỉ dầu già hóa thể hệ thứ ba là methanol, đã được đề cập. Methanol đảm bảo các yêu cầu cơ bản như sau đối với chỉ dầu già hóa cách điện:

- Độ hòa tan tốt trong dầu biến áp;
- Methanol bị hấp thụ tốt cho phép đo hàm lượng còn dư sau khi thay dầu hoặc tái chế dầu;
- Độ ổn định hóa học đủ cho các mục đích thực nghiệm.

2. KINH NGHIỆM NƯỚC NGOÀI TRONG NGHIÊN CỨU HÌNH THÀNH METHANOL TRONG QUÁ TRÌNH GIÀ HÓA CÁCH ĐIỆN GIẤY DO NHIỆT ĐỘ

Các mô hình được sử dụng trong các nghiên cứu methanol rất khác biệt. Điều này có thể ảnh hưởng đến các kết quả thu được, như đặc tính phụ thuộc của methanol vào bậc polyme hóa của cách điện giấy. Ví dụ, trong thí nghiệm tại Pháp [4], một phần dây dẫn quấn 4 lớp giấy cách điện được sử dụng làm mẫu. Cách điện giấy được chia làm 2 nhóm có độ ẩm khác nhau: dưới 0.5% và 1%. Tỷ lệ khối lượng dầu so với khối lượng cách điện giấy là khoảng 50/1. Dầu và giấy được đặt trong bình thủy tinh 200 ml như hình 1.

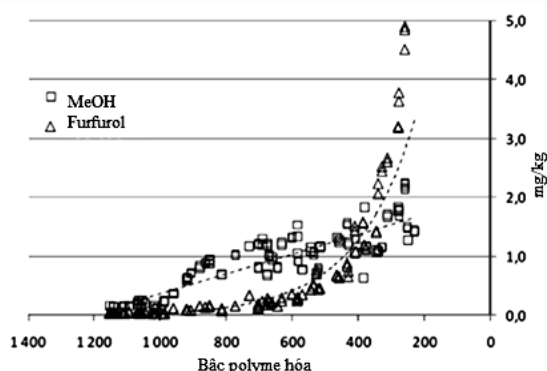


Hình 1. Hàn kín bình thủy tinh [4]

Sự già hóa của mẫu cách điện giấy trình bày ở trên diễn ra ở 3 mức nhiệt độ 98°C, 110°C và 122°C trong vài tháng. Lưu ý rằng, thí nghiệm ở 110°C được tiến hành với mẫu cách điện giấy có độ ẩm dưới 0.5%. Kết quả các thí nghiệm được biểu diễn trên hình 2.

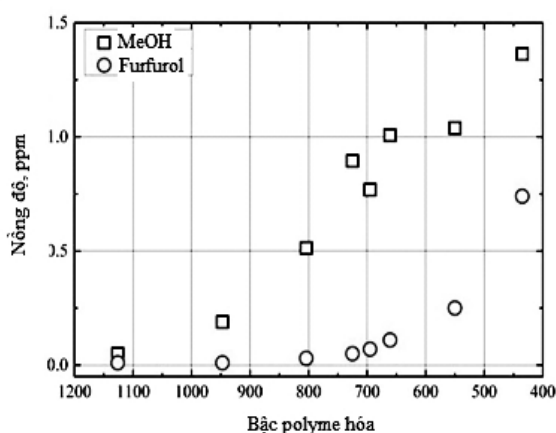
Trong thiết kế của bình thủy tinh hàn kín có một hạn chế lớn ở phần không gian

chứa khí phía trên phần đựng dầu. Methanol sinh ra khi phân hủy cách điện giấy sẽ chuyển một phần sang pha khí theo hệ số phân bố giữa dầu và khí. Khi mở bình thủy tinh như vậy thì phần methanol sẽ có thể mất đi, làm sai lệch đến việc diễn giải kết quả thí nghiệm.



Hình 2. Sự phụ thuộc nồng độ methanol và furfural vào bậc polyme hóa cách điện giấy [4]

Một nghiên cứu khác tại Anh tiến hành ở nhiệt độ 120°C [5]. Trong đó, nhãn cách điện giấy không được chỉ ra, còn dầu biến áp nhãn Gemini X có chứa chất làm chậm. Tỷ lệ khối lượng dầu trên cách điện giấy là 20/1. Kết quả nghiên cứu được biểu diễn trong hình 3.



Hình 3. Sự phụ thuộc nồng độ methanol và furfural vào bậc polyme hóa [5]

Trong các tài liệu [4, 5] không có thông tin cho phép diễn giải một cách đơn trị các quan hệ phụ thuộc giữa lượng methanol hình thành và bậc polyme hóa của cách điện giấy. Lưu ý rằng, để làm rõ quan hệ giữa hai đại lượng này cần tiến hành các thí nghiệm tuân thủ các điều kiện nhằm hạn chế sai số, gồm có:

- Yêu cầu về phương pháp và công cụ đo methanol trong dầu biến áp.
- Vật liệu (nhãn mác cách điện giấy và dầu biến áp) và tỷ lệ của chúng.
- Yêu cầu đối với bình đựng cho cách điện giấy bị già hóa trong dầu biến áp.
- Điều kiện tiến hành thí nghiệm.

Việc mô tả các yêu cầu về mặt dụng cụ và phân tích đo hàm lượng methanol trong nghiên cứu của chúng tôi nằm ngoài khuôn khổ bài báo này. Tuy nhiên, về mặt kỹ thuật và đặc tính đo lường, chúng không hề thua kém so với thiết bị của nước ngoài.

3. NGHIÊN CỨU SỰ HÌNH THÀNH METHANOL KHI TĂNG TỐC GIÀ HÓA CÁCH ĐIỆN GIẤY TRONG DẦU BIẾN ÁP

3.1. Vật liệu

Trong các thí nghiệm của chúng tôi dùng giấy cách điện dây cáp nhãn hiệu K-120 (GOST 23436-83) và dầu biến áp nhãn FK (TU 38.1011025-85) phổ biến hiện nay trong các MBA tại Nga và các nước cộng hòa thuộc Liên Xô cũ.

Phân tích cấu trúc MBA đang được vận hành tại Liên bang Nga cho thấy, chỉ số $K_g = m_g/m_d$ đối với giấy cách điện dây cáp nằm trong khoảng từ 0.0333 đến 0.0424,

còn với cáctông điện thì $K_c = m_c/m_d$ nằm trong khoảng từ 0.0805 đến 0.1 (bảng 1).

Bảng 1. Dữ liệu từ một số MBA đang vận hành

Kiểu MBA	TP/ĐH-40000/110	AT/ĐHTH-125000/220	AO/ĐHTH-167000/500/220
Khối lượng dầu m_d , tấn	23.6	48.0	39.3
Tổng khối lượng cách điện, tấn	2.9	6.4	5.3
Khối lượng cáctông m_c , tấn	1.9	4.8	3.7
K_c	0.0805	0.1000	0.0941
Khối lượng giấy cách điện dây cáp, m_g , tấn	1.0	1.6	1.6
K_g	0.0424	0.0333	0.0407

Từ bảng 1 để tiến hành thí nghiệm, chọn giá trị $K_c = K_g = 0.055$ nằm trong khoảng giá trị từ 0.0333 đến 0.1.

Kích thước mẫu giấy cách điện dây cáp K-120 là $200 \times 6.25 \times 0.012$ cm, khối lượng riêng trung bình của một mẫu là 12.6 ± 0.4 g với sai số đo là 0.02 g. Dải giấy được cuộn thành các cuộn đường kính gần 2 cm và được sấy trong chân không ở nhiệt độ 100°C liên tục 36 giờ để đạt đến mức độ ẩm 0.5%. Sau khi sấy, một phần mẫu giấy cách điện dây cáp được làm ẩm với độ ẩm trung bình đến 1% và 2%. Như vậy, các mẫu giấy đem thử nghiệm già hóa có độ ẩm là dưới 0.5%, 1% và 2%.

Các mẫu giấy cách điện dây cáp đã chuẩn

bị được đặt trong các lọ thí nghiệm chứa đầy dầu biến áp nhãn ΓK với độ ẩm 12 g/tấn và hàm lượng ôxy 3-4%.

3.2. Lọ thí nghiệm

Sự già hóa của mẫu vật được tiến hành trong lọ thí nghiệm như hình 4. Dung tích bên trong của mỗi lọ là 270 cm^3 . Khi thiết kế lọ đã tính đến các yêu cầu sau:

- Độ kín (thất thoát khí ít nhất) của lọ.
- Đảm bảo sự giãn nở dung tích do nhiệt độ khi làm nóng lọ không cho phép sự xâm nhập của không khí bên ngoài vào trong.
- Không có phản ứng hóa học giữa vật liệu chế tạo lọ đựng với vật liệu nghiên cứu bên trong.
- Không có dư phần không gian chứa khí trong lọ sau khi đã đổ đầy dầu biến áp.



Hình 4. Lọ thí nghiệm

Để thu được dữ liệu thống kê tin cậy trong các thí nghiệm già hóa nhanh, từ 20 đến 35 lọ thí nghiệm đã được sử dụng. Tất cả các lọ thí nghiệm được đổ đầy dầu biến áp đầy 100% dung tích bên trong, loại trừ

các bong bóng không khí sau khi đã đầy kín.

3.3. Điều kiện tiến hành thí nghiệm

Việc lựa chọn nhiệt độ cho thí nghiệm già hóa nhanh của vật liệu thử nghiệm dựa trên cơ sở dữ liệu [4], theo đó ở 122°C và độ ẩm cách điện giấy 1% bậc polyme hóa của cách điện giấy có thể giảm tới mức tới hạn (250 đơn vị). Thời gian già hóa liên tục gần 170 ngày đêm. Cần nhấn mạnh rằng, một trong các điều kiện cơ bản của việc thực hiện già hóa nhanh là sự tự giống nhau của quá trình, nghĩa là cơ chế già hóa cách điện giấy trong MBA trong quá trình vận hành phải giống như cơ chế già hóa trong các điều kiện thí nghiệm tăng tốc. Theo các thông tin ở [1] tại nhiệt độ đến 140°C thủy phân là cơ chế già hóa chủ yếu. Từ điều kiện này, để rút ngắn thời gian thí nghiệm trong bài báo này nhiệt độ già hóa được đặt là 130°C .

Bên cạnh việc sử dụng từ 20 đến 35 lọ thí nghiệm, một trong các yêu cầu cơ bản của việc tiến hành thí nghiệm là đảm bảo sự ổn định nhiệt độ ở tất cả các lọ thí nghiệm trong suốt quá trình thực hiện. Do vậy, các lọ được đặt trong máy điều nhiệt tuần hoàn như hình 5.



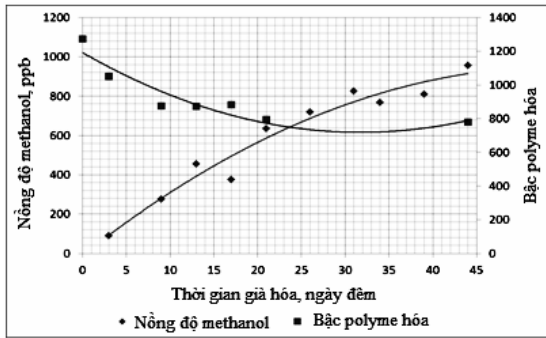
Hình 5. Máy điều nhiệt tuần hoàn

Máy điều nhiệt tuần hoàn cho phép giữ sự chênh lệch nhiệt độ của chất mang nhiệt trong toàn bộ dung tích của thùng chứa không quá 0.1°C , đảm bảo điều kiện già hóa giống nhau của các mẫu cách điện giấy trong tất cả các lọ. Dầu chân không nhãn BM-5 được dùng làm chất mang nhiệt.

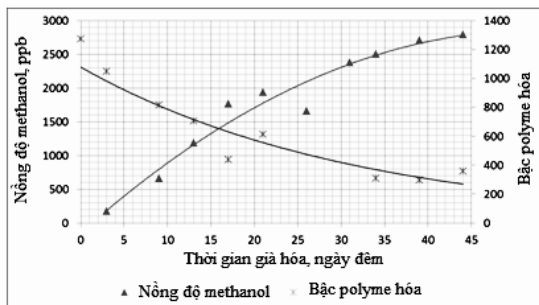
Sau các khoảng thời gian (3, 7, 11,..., 44 ngày đêm) từ khi bắt đầu thí nghiệm từng lọ với các hàm lượng độ ẩm khác nhau được lấy ra khỏi máy điều nhiệt tuần hoàn. Lọ thí nghiệm được giữ ở nhiệt độ phòng 10 ngày, sau đó lấy mẫu giấy cách điện dây cáp và dầu biến áp. Bậc polyme hóa của giấy cách điện dây cáp được xác định bằng phương pháp đo độ nhớt tương ứng phương pháp đã trình bày ở [2].

4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

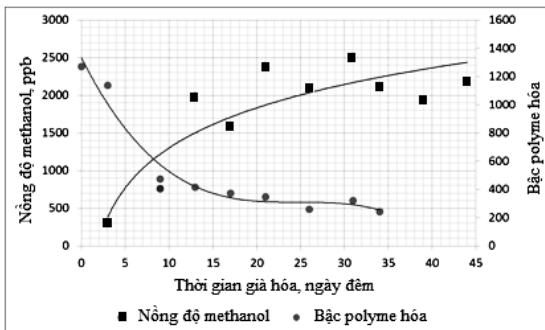
Trên hình 6-8 biểu diễn các kết quả thu được. Nhận thấy rằng, từ ngày thứ 3 sau khi bắt đầu thí nghiệm methanol đã được ghi nhận ở tất cả các lọ thí nghiệm. Trong đó nồng độ methanol thấp nhất được ghi nhận ở mẫu giấy cách điện dây cáp độ ẩm 0.5% và bằng 89 ppb. Lưu ý rằng, ở nồng độ methanol đó bậc polyme hóa của giấy cách điện dây cáp giảm từ 1270 đơn vị xuống còn 1050 đơn vị, cho phép kết luận rằng, ở giai đoạn đầu của già hóa giấy cách điện dây cáp với sự giảm không nhiều của bậc polyme hóa một lượng nhỏ methanol sinh ra đã được ghi nhận một cách tin cậy bởi hệ thống thiết bị đo phân tích. Kết luận này cho phép xác định việc bắt đầu già hóa cách điện giấy theo hàm lượng methanol trong dầu biến áp.



Hình 6. Sự phụ thuộc nồng độ methanol và bậc polyme hóa vào thời gian đối với giấy có độ ẩm ban đầu 0.5%



Hình 7. Sự phụ thuộc nồng độ methanol và bậc polyme hóa vào thời gian đối với giấy có độ ẩm ban đầu 1%



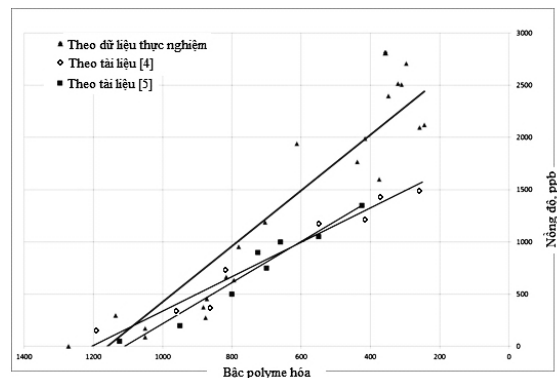
Hình 8. Sự phụ thuộc nồng độ methanol và bậc polyme hóa vào thời gian đối với giấy có độ ẩm ban đầu 2%

Từ các sự phụ thuộc đã trình bày, độ ẩm ban đầu của giấy cách điện dây cáp thực sự ảnh hưởng đến tốc độ già hóa, đúng như dữ liệu được công bố trong [1, 6]. Lưu ý rằng, trong điều kiện thực tế tiến hành thí nghiệm già hóa nhanh (44 ngày

đêm) bậc polyme hóa giấy cách điện dây cáp giảm tới giá trị tới hạn cho phép (250 đơn vị [7]) chỉ được ghi nhận trên các mẫu cách điện giấy với độ ẩm 2%, trong khi với cách điện giấy độ ẩm 0.5% trong cùng điều kiện thí nghiệm bậc polyme hóa giảm chỉ đến 780 đơn vị, nghĩa là ít hơn 50% so với giá trị ban đầu.

Đáng chú ý là khi bắt đầu thí nghiệm, quá trình già hóa giấy cách điện dây cáp diễn ra tương đối nhanh. Ví dụ, với hàm lượng độ ẩm 2% trong 9 ngày đầu thí nghiệm bậc polyme hóa đã giảm khoảng 2.7 lần (từ 1272 xuống 474 đơn vị), trong khi 25 ngày tiếp theo - chỉ giảm 1.9 lần (từ 474 đến 244 đơn vị). Tình trạng tương tự cũng được nhận thấy với các giá trị hàm lượng độ ẩm khác.

Trên hình 9 biểu diễn sự phụ thuộc nồng độ methanol trong dầu biến áp vào bậc polyme hóa của cách điện giấy thu được bởi các tác giả của bài báo này và được công bố trong các tài liệu nước ngoài [4, 5].



Hình 9. Sự phụ thuộc nồng độ methanol vào bậc polyme hóa

Nhận thấy, trong đồ thị, các quan hệ phụ thuộc trên có dạng đường thẳng. Như vậy, các nhãn dầu và cách điện giấy không ảnh

hưởng đến tính chất quan hệ phụ thuộc của nồng độ methanol vào bậc polyme hóa. Sự khác biệt về giá trị tuyệt đối nồng độ methanol hòa tan trong dầu biến áp thu được tại cùng 1 giá trị bậc polyme cách điện giấy có thể được giải thích bằng các lý do sau:

- a. Các thí nghiệm già hóa nhanh cách điện giấy được thực hiện với các lọ thí nghiệm có thiết kế khác nhau.
- b. Các nhãn hiệu cách điện giấy và dầu biến áp dùng cho thí nghiệm khác nhau.
- c. Tỷ lệ khối lượng cách điện giấy và dầu biến áp dùng cho các thí nghiệm khác nhau.

5. KẾT LUẬN

- a. Sự hình thành methanol khi già hóa nhanh cách điện giấy sản xuất trong nước đã được nghiên cứu.

b. Nghiên cứu đã chỉ ra methanol được sinh ra thậm chí ngay khi bậc polyme hóa giảm một mức không nhiều, cho phép sử dụng các kết quả đo lường methanol trong dầu MBA để đánh giá tình trạng cách điện giấy khi phân hủy ở các giai đoạn khác nhau.

c. Sau nghiên cứu đã thu được sự phụ thuộc nồng độ methanol trong dầu biến áp nhãn ΓK vào bậc polyme hóa cách điện giấy sản xuất nội địa.

d. Sự phụ thuộc nồng độ methanol vào bậc polyme hóa của cách điện giấy có dạng đường thẳng, đối với cả vật liệu sản xuất trong nước và nước ngoài.

Sự phụ thuộc thu được này có thể được dùng làm cơ sở khi đánh giá tình trạng cách điện giấy MBA theo kết quả đo nồng độ methanol trong dầu biến áp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] CIGRE Task Force D1.01.10: Ageing of cellulose in mineral-oil insulated transformers", *Brochure* N° 323, 2007.
- [2] Metodicheskie ukazaniya po otsenke sostoyaniya bumashnoi izolyatsyi avmotok slyavyh transformatorov i shuntiruushykh reaktorov po stepeni polymerizatsyi (utverzdeny OAO PAO "EES Russia" 13.12.2007) [in Russian].
- [3] Darian L.A., Sazonov V.N. and others. "Makery sostoyaniya bumashno-maslyanoi izolyatsyi"//*Electro*, N°4, 2016 p. 45-51 [in Russian].
- [4] Laurichesse, D., Bertrand, Y., Tran-Duy, C., Murin V. Ageing Diagnosis of MV/LV Distribution Transformers via Chemical Indicators in Oil // 2013 Electrical Insulation Conference, Ottawa, Ontario, Canada, 2 to 5 June 2013. - P. 464-468.
- [5] Z.D. Wang, Q. Liu, S.J. Tee, S.Y. Matharage, P. Jarman, G. Wilson, R. Hooton, P. Dyer, D. Walker, Ch. Krause, P.W.R. Smith, P. Mavrommatis and A. Gyore *Ageing Assessment of Transformers through Oil Test Database Analyses and Alternative Diagnostic Techniques*// CIGRE SC A2 COLLOQUIUM, China, Sept. 20-25, 2015.

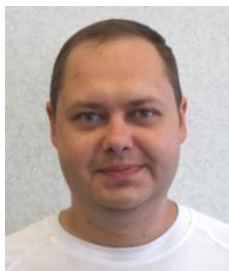
- [6] IEC 60076-7. Power transformers-Part 7: Loading guide for mineral oil-immersed power transformers-IEC Standard, 2005.
- [7] RD 34.45-51.300-97 (2006). Abiom i normy ispytanyi electroabarudovanya [in Russian].

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Darian Leonhid Albertovich** tốt nghiệp kỹ sư điện tại Đại học Kỹ thuật Tổng hợp Erevan năm 1981. Bảo vệ luận án tiến sĩ khoa học tại Đại học Kỹ thuật Quốc gia Novosiberi năm 2008. Hiện là Giám đốc mảng phương pháp và phân tích - Công ty Giám sát kỹ thuật các công trình điện, Liên bang Nga.

Lĩnh vực nghiên cứu: Chẩn đoán và giám sát các trang thiết bị điện cao áp dùng dầu, phân tích các hư hại của trang thiết bị điện cao áp, nghiên cứu và phát triển tụ điện lực cao áp, nghiên cứu và phát triển các phương pháp nâng cao hiệu quả chẩn đoán.



Tác giả **Maximchenko Aleksei Vasilievich** tốt nghiệp kỹ sư tại Trường Đại học Kỹ thuật Novosiberi năm 2004, hiện là chuyên gia tại Công ty Giám sát kỹ thuật các công trình điện, Liên bang Nga.

Lĩnh vực nghiên cứu: giám sát, đánh giá và chẩn đoán tình trạng kỹ thuật của thiết bị kỹ thuật điện cao thế, tự động hóa việc kiểm tra tình trạng kỹ thuật trang thiết bị điện cao thế.



Tác giả **Lê Khắc Lâm** tốt nghiệp thạc sĩ tại Đại học Năng lượng Mátxcơva chuyên ngành cơ điện năm 2011. Hiện là nghiên cứu sinh tại Đại học Năng lượng Mátxcơva - Khoa Kỹ thuật điện cao thế.

Lĩnh vực nghiên cứu: công nghệ mới trong thiết kế, chế tạo máy biến áp và động cơ điện, chẩn đoán tình trạng máy điện và các biện pháp đảm bảo độ tin cậy của máy điện trong vận hành.