

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TRUYỀN NHIỆT TRONG DÂY CÁP ĐIỆN CỦA HỆ THỐNG TRUYỀN TẢI ĐIỆN

INVESTIGATING THE PROCESS OF HEAT TRANSFER IN ELECTRICAL CABLES OF POWER TRANSMISSION SYSTEM

Nguyễn Đăng Khoát^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.255>

TÓM TẮT

Dây cáp điện của hệ thống truyền tải điện năng bị phát nóng khi có dòng điện chạy qua do hiệu ứng Joule - Lenz. Trên cơ sở phân tích các quá trình truyền nhiệt trong dây và quá trình tỏa nhiệt từ bề mặt dây ra môi trường xung quanh, đã tiến hành xây dựng mô hình toán học xác định quy luật phân bố nhiệt độ trong dây và từ đó nghiên cứu ảnh hưởng của môi trường đến mức độ phát nóng của dây khi có tải. Kết quả thu được là cơ sở để tính toán, thiết kế và kiểm tra dây cáp trong hệ thống truyền tải điện nhằm đảm bảo yêu cầu về mức chịu đựng nhiệt của dây.

Từ khóa: Truyền nhiệt, truyền nhiệt trong dây cáp, nhiệt độ của dây cáp.

ABSTRACT

The electrical cables of the power transmission system always get hot when current flows through them due to the Joule - Lenz effect. Based on the analysis of the heat transfer process in the cable and the heat emission process from the cable surface to the surrounding environment, a mathematical model has been built to determine the law of temperature distribution in the cable and evaluating the influence of the environment on the degree of temperature of the cable. The results obtained are the basis for calculating, designing and checking cables in the power transmission system to ensure the requirements for the cable's heat resistance level.

Keywords: Heat transfer, heat transfer in electrical cables, temperature of the cables.

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

*Email: ndkhoat_ktn@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/10/2023

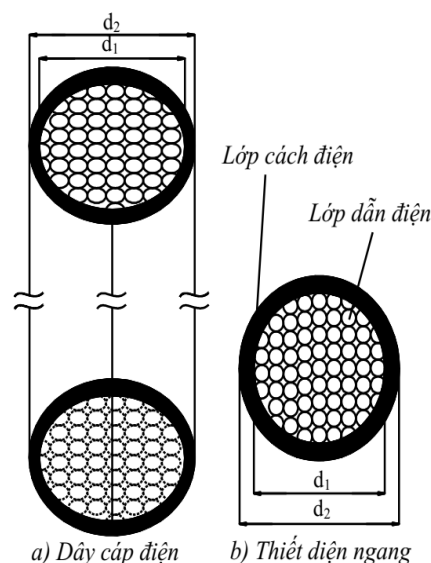
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2023

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dây cáp điện là một trong những thiết bị quan trọng bậc nhất trong hệ thống truyền tải và phân phối điện. Nó giúp truyền tải điện năng từ nhà máy phát điện hoặc trạm biến áp đến các hộ tiêu thụ. Dây cáp điện có thể là dây trần hoặc dây được bọc lớp vỏ cách điện. Dây trần được sử dụng trong truyền tải điện siêu cao áp, cao áp từ nguồn phát đến các trạm biến áp với cấp điện áp trên 35kV; dây có bọc lớp vỏ cách điện được sử dụng trong truyền tải điện trung áp và hạ áp với cấp điện áp dưới 35kV [2], truyền tải từ các trạm trung

chuyển đến các trạm biến áp rồi đến các hộ tiêu thụ. Cấu tạo của cáp truyền tải điện trung áp và hạ áp thường có hai lớp chính: lớp kim loại dẫn điện, thường sử dụng vật liệu bằng nhôm hoặc đồng; lớp bọc xung quanh dây dẫn vừa có chức năng cách điện vừa có chức năng bảo vệ lớp dẫn điện, sử dụng phổ biến là vật liệu PVC hoặc XLPE. Trong truyền tải và phân phối điện năng, các dây cáp điện có thể đặt ngầm dưới lòng đất hoặc đặt bên ngoài môi trường không khí. Ở Việt Nam hiện nay, các dây cáp điện đặt bên ngoài môi trường không khí rất phổ biến. Cũng vì thế nên trong nghiên cứu này, chúng tôi lựa chọn dây cáp điện đặt bên ngoài môi trường không khí là đối tượng để tính toán.



Hình 1. Cấu tạo dây cáp điện

Theo định luật Joule - Lenz đã được đề cập trong các tài liệu chuyên ngành, khi dòng điện chạy qua dây dẫn sẽ làm dây nóng lên. Mức tăng nhiệt của dây phụ thuộc vào cường độ dòng điện, tính chất vật lý và điều kiện tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh của dây. Ở cùng điều kiện như nhau, cường độ dòng điện chạy qua dây càng lớn thì nhiệt độ trong dây càng cao. Nếu nhiệt độ của dây tăng cao quá mức sẽ làm giảm độ bền cơ học, tính dẫn điện của dây; thậm chí phá hủy đặc tính cách điện của lớp vỏ gây mất an toàn khi sử dụng. Theo M. H. Shwehdi, M. A. Morsy, A. Abugurain [10],

nhệt độ làm việc cho phép của cáp sử dụng lớp cách điện PVC là 70°C; sử dụng lớp vật liệu cách điện XLPE là 90°C.

Tính toán, thiết kế dây cáp trong hệ thống truyền tải điện năng, nhất thiết phải đảm bảo an toàn về điều kiện chịu nhiệt của dây. Do đó, việc xác định phân bố nhiệt độ trong dây khi có tải là vấn đề có ý nghĩa thực tiễn lớn. Neher J.H., McGrath, M.H [11], đã xây dựng phương trình tính toán cường độ dòng điện chạy qua dây cáp ngầm theo mức độ tăng nhiệt của dây. Phương trình tính toán cho phép xác định cường độ dòng điện tối đa chạy qua dây khi biết khả năng chịu đựng nhiệt độ làm việc của dây. Tuy nhiên, khi áp dụng phương trình tính toán này cho dây cáp đặt bên ngoài môi trường không khí thì không còn chính xác nữa do phương trình tính toán không đề cập đến ảnh hưởng của quá trình tỏa nhiệt từ bề mặt dây đến không khí xung quanh. Cũng theo hướng nghiên cứu này, một số kết quả nghiên cứu xác định nhiệt độ trong dây khi có tải đã được các tác giả đề cập trong [3, 5, 6, 9]. Phân tích các kết quả nghiên cứu này cho thấy, quy luật phân bố nhiệt độ trong dây cáp có kể đến ảnh hưởng của quá trình tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh chưa được giải quyết trọn vẹn. Trong bài báo này, tác giả tiến hành xác định phân bố nhiệt độ của dây cáp đặt bên ngoài môi trường khi có dòng điện chạy qua nhằm làm cơ sở cho tính toán, thiết kế và kiểm tra dây cáp trong hệ thống truyền tải điện năng.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Mô hình toán học xác định phân bố nhiệt độ trong dây cáp

Lớp dẫn điện của cáp có thể gồm một dây hoặc nhiều dây bên chặt lại với nhau thành hình trụ với đường kính nhỏ hơn rất nhiều so với chiều dài [2]. Với kết cấu này, gradien nhiệt độ theo phương bán kính lớn hơn rất nhiều so với phương chiều dài của dây [8]. Mặt khác, khi dòng điện bắt đầu xuất hiện trong dây, do hiệu ứng Joule - Lenz, nhiệt độ của dây tăng dần lên. Tuy nhiên, giai đoạn này xảy ra trong thời gian rất ngắn nên không có ý nghĩa nhiều trong tính toán, lựa chọn dây. Vì vậy, trong bài báo này, tác giả tiến hành khảo sát quá trình truyền nhiệt trong dây khi có tải ở trạng thái ổn định. Để xây dựng mô hình toán học xác định phân bố nhiệt độ trong dây, cần chấp nhận một số giả thiết sau:

- Lớp dẫn điện và lớp cách điện là những vật liệu đồng chất, đẳng hướng;
- Các thông số nhiệt vật lý của các lớp trong dây không đổi;
- Coi tiếp xúc giữa lớp dẫn điện và lớp cách điện là tuyệt đối.

Trên cơ sở phân tích quá trình truyền nhiệt trong dây khi có tải và các giả thiết đã đề cập ở trên, phương trình biểu diễn quá trình dẫn nhiệt trong lớp dẫn điện của dây cáp như sau:

$$\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr} + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (1)$$

Trong đó:

r - bán kính các bề mặt đẳng nhiệt của lớp dẫn điện ($0 \leq r \leq r_1$), với r_1 là bán kính ngoài cùng, m.

λ - hệ số dẫn nhiệt của lớp dẫn điện, W/m.K.

q_v - năng suất sinh nhiệt thể tích, W/m³.

Do hiệu ứng Joule - Lenz, khi có dòng điện chạy qua lớp dẫn điện, xuất hiện nguồn nhiệt bên trong phân bố đều theo thể tích với năng suất được tính như sau:

$$q_v = \frac{dQ}{dV} = \frac{I^2 \cdot \rho \cdot \frac{dl}{S}}{S \cdot dl} = \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2}, \quad \text{W/m}^3 \quad (2)$$

Ở đây:

I - cường độ dòng điện chạy qua lớp dẫn điện, A.

ρ - điện trở suất của dây, $\Omega \cdot m$.

S - diện tích thiết diện ngang của dây, m².

Khi đó, phương trình (1) trở thành:

$$\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr} + \frac{I^2 \cdot \rho}{\lambda \cdot S^2} = 0 \quad (3)$$

Nguồn nhiệt xuất hiện bên trong lớp dẫn điện khi có tải do hiệu ứng Joule - Lenz sẽ truyền qua lớp cách điện theo cơ chế truyền nhiệt bằng dẫn nhiệt. Phương trình biểu diễn quá trình dẫn nhiệt trong lớp cách điện được viết như sau:

$$\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dt}{dr} = 0 \quad (4)$$

Ở đây, r là bán kính các bề mặt đẳng nhiệt của lớp cách điện ($r_1 \leq r \leq r_2$), với r_1 và r_2 lần lượt là bán kính trong cùng và ngoài cùng, m.

Do sự phân bố đều theo thể tích của nguồn nhiệt bên trong và quá trình tỏa nhiệt từ bề mặt dây đến môi trường xung quanh là đồng đều nên mật độ dòng nhiệt tại tâm của lớp dẫn điện bằng không, tức là:

$$\left. \frac{dt}{dr} \right|_{r=0} = 0 \quad (5)$$

Phương trình cân bằng nhiệt tại bề mặt của lớp dẫn điện tiếp xúc với lớp cách điện:

$$-2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \lambda_{cd} \cdot \left. \frac{dt}{dr} \right|_{r=r_1} = \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \pi \cdot r_1^2 \quad (6)$$

Phương trình cân bằng nhiệt tại bề mặt bên ngoài của lớp cách điện tiếp xúc với môi trường:

$$-\lambda_{cd} \cdot \left. \frac{dt}{dr} \right|_{r=r_2} = \alpha \cdot (t_w - t_f) \quad (7)$$

Trong đó:

λ_{cd} - hệ số dẫn nhiệt của lớp cách điện, W/m.K.

t_w - nhiệt độ tại bề mặt ngoài của lớp cách điện, °C.

t_f - nhiệt độ môi trường xung quanh dây cáp, °C.

α - hệ số trao đổi nhiệt giữa bề mặt ngoài của lớp cách điện và môi trường, W/m².K.

Hệ gồm năm phương trình (3), (4), (5), (6), (7) chính là mô hình toán học biểu diễn quá trình truyền nhiệt trong dây cáp

điện khi có tải. Giải mô hình toán học với các thông số tính toán của dây cáp và thông số nhiệt vật lý của môi trường sẽ xác định được quy luật phân bố nhiệt độ trong dây.

2.2. Phương pháp giải mô hình toán học

Đặt $\frac{dt}{dr} = u$. Phương trình (3) trở thành:

$$\frac{du}{dr} + \frac{1}{r} \cdot u + \frac{I^2 \cdot \rho}{\lambda \cdot S^2} = 0$$

Suy ra:

$$r \cdot du + u \cdot dr + \frac{I^2 \cdot \rho}{\lambda \cdot S^2} \cdot (r \cdot dr) = 0$$

Hay:

$$d(u \cdot r) + \frac{I^2 \cdot \rho}{\lambda \cdot S^2} \cdot (r \cdot dr) = 0$$

Từ đây, suy ra nghiệm của phương trình có dạng:

$$t_d = -\frac{I^2 \cdot \rho}{4 \cdot \lambda \cdot S^2} \cdot r^2 + C_1 \cdot \ln r + C_2 \tag{8}$$

Ở đây: C_1, C_2 là các hằng số được xác định bằng các phương trình điều kiện biên và phương trình cân bằng nhiệt.

Bằng cách làm tương tự như trên, giải phương trình (4) được nghiệm có dạng:

$$t_{cd} = C_3 \cdot \ln r + C_4 \tag{9}$$

Trong đó: C_3, C_4 là các hằng số được xác định bằng các phương trình điều kiện biên.

Từ phương trình (6) và phương trình nghiệm (9) biến đổi, thu được:

$$C_3 = -\frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \frac{r_1^2}{2 \cdot \lambda_{cd}}$$

Từ phương trình (7) và phương trình nghiệm (9) biến đổi, thu được:

$$C_4 = t_f + \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \frac{r_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot r_2} + \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \frac{r_1^2}{2 \cdot \lambda_{cd}} \cdot \ln r_2$$

Thay giá trị C_3 và C_4 vào phương trình (9) ta được quy luật phân bố nhiệt độ trong lớp cách điện của dây cáp khi có tải:

$$t_{cd} = \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \left(\frac{r_1^2}{2 \cdot \lambda_{cd}} \cdot \ln \frac{r_2}{r} + \frac{r_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot r_2} \right) + t_f \tag{10}$$

Từ phương trình (5) và phương trình nghiệm (8) biến đổi, ta được: $C_1 = 0$

Từ phương trình nghiệm (8) và phương trình nghiệm (10) ta có:

$$t|_{r=r_1} = -\frac{I^2 \cdot \rho}{4 \cdot \lambda \cdot S^2} \cdot r_1^2 + C_2 = \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \left(\frac{r_1^2}{2 \cdot \lambda_{cd}} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot r_2} \right) + t_f$$

Suy ra:

$$C_2 = \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \left(\frac{r_1^2}{4 \cdot \lambda} + \frac{r_1^2}{2 \cdot \lambda_{cd}} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot r_2} \right) + t_f$$

Thay giá trị C_1, C_2 vào (8) ta được quy luật phân bố nhiệt độ trong lớp dẫn điện của dây cáp khi có tải:

$$t_d = \frac{I^2 \cdot \rho}{S^2} \cdot \left[\left(\frac{r_1^2 - r^2}{4 \cdot \lambda} \right) + \frac{r_1^2}{2 \cdot \lambda_{cd}} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot r_2} \right] + t_f \tag{11}$$

Quy luật phân bố nhiệt độ trong lớp cách điện thể hiện ở phương trình (10) và quy luật phân bố nhiệt độ trong lớp dẫn điện thể hiện ở phương trình (11) cho phép xác định nhiệt độ tại bất kỳ vị trí nào của dây cáp, đặc biệt là nhiệt độ cực đại của dây để từ đó làm cơ sở tính toán, thiết kế và kiểm tra dây cáp trong hệ thống truyền tải điện năng.

2.3. Phương pháp xác định hệ số trao đổi nhiệt

Nhiệt truyền từ bề mặt lớp vỏ cách điện ra môi trường không khí xung quanh bằng bức xạ và đối lưu. Tuy nhiên, do nhiệt độ làm việc tối đa cho phép của dây cáp sử dụng lớp vỏ cách điện PVC không quá 70°C hay không quá 90°C đối với lớp vỏ XLPE [10] nên ở phạm vi nhiệt độ này, lượng nhiệt trao đổi bằng bức xạ nhỏ hơn nhiều so với nhiệt lượng trao đổi bằng đối lưu [7, 8]. Do đó, coi hệ số tỏa nhiệt trong các phương trình (10) và (11) là hệ số tỏa nhiệt đối lưu sẽ không gặp phải sai số lớn khi tính toán. Hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa bề mặt lớp vỏ cách điện và môi trường không khí xung quanh phụ thuộc nhiều vào tốc độ chuyển động và nhiệt độ của không khí. Phương pháp xác định hệ số tỏa nhiệt đối lưu đã được đề cập rất kỹ trong các tài liệu [1, 7, 8]. Tuy nhiên, lựa chọn các phương trình tiêu chuẩn để xác định hệ số tỏa nhiệt đối lưu phải phù hợp với các điều kiện biên để đảm bảo độ chính xác trong tính toán. Eckert, E. R. G., R. M. Drake [4] đã sử dụng phương trình tiêu chuẩn của Zukauskas A và cộng sự [12] để tính toán hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa bề mặt ngoài của ống hình trụ với môi trường xung quanh ống và cho kết quả với sai số không vượt quá 5%. Do đối tượng tính toán là dây cáp điện được đặt ngoài trời có gió chuyển động xung quanh nên phương trình tiêu chuẩn của Zukauskas A và cộng sự [12] sẽ được lựa chọn để tính toán hệ số tỏa nhiệt giữa bề mặt của lớp cách điện và không khí xung quanh. Phương trình tiêu chuẩn như sau:

$$Nu_f = (0,43 + 0,5 \cdot Re_f^{0,5}) \quad \text{nếu } 1 < Re_f < 10^3 \tag{12}$$

$$Nu_f = 0,25 \cdot Re_f^{0,6} \quad \text{nếu } 10^3 < Re_f < 2.10^5 \tag{13}$$

Nhiệt độ xác định trong các phương trình tiêu chuẩn (12), (13) là nhiệt độ trung bình của không khí xung quanh dây cáp.

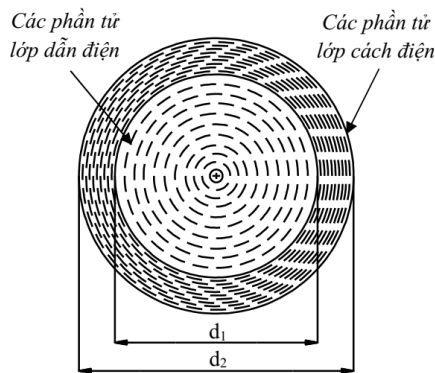
3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Từ kết quả nghiên cứu ở trên, chúng tôi tiến hành tính toán phân bố nhiệt độ của dây cáp với các thông số tính toán được xác định như sau: Thông số dây cáp và dòng điện trong hệ thống truyền tải được Công ty điện lực Hà Đông cung cấp và được trình bày trong bảng 1. Nhiệt độ và tốc độ chuyển động của không khí xung quanh dây cáp được xác định bằng thiết bị đo nhiệt độ và tốc độ, có model: Anemometer 840003 Sper Scientific với sai số của thiết bị khi đo nhiệt độ là ±0,6°C, sai số khi đo tốc độ là ±3%. Thực hiện đo nhiệt độ và đo tốc độ chuyển động của không khí xung quanh dây ứng với thời điểm dòng điện chạy qua dây khi tính toán. Kết quả đo nhiệt độ và tốc độ chuyển động của không khí được trình bày trong bảng 1.

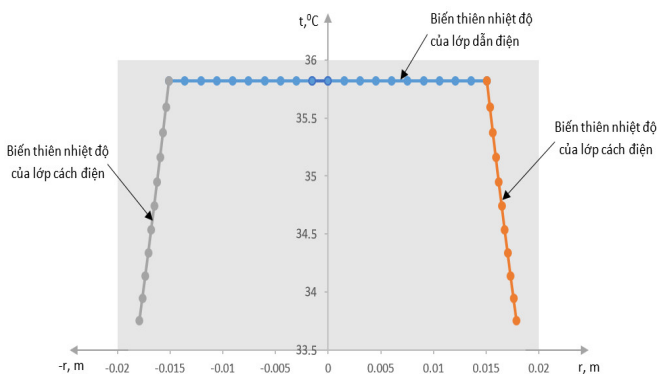
Bảng 1. Thông số kỹ thuật của dây cáp và nhiệt độ, tốc độ của không khí

STT	Thông số dây cáp	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính lớp dẫn điện	d_1	30,2	mm
2	Chiều dày lớp cách điện	δ	2,8	mm
3	Đường kính ngoài cùng của cáp	d_2	35,8	mm
4	Điện trở suất của lớp dẫn điện	ρ	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$\Omega \cdot m$
5	Hệ số dẫn nhiệt của lớp dẫn điện	λ	380	W/m.K
6	Hệ số dẫn nhiệt của lớp cách điện	λ_{cd}	0,16	W/m.K
7	Cường độ dòng điện chạy qua dây	I	721	A
8	Nhiệt độ của không khí	t_f	30	$^{\circ}C$
9	Tốc độ chuyển động của không khí	ω	2	m/s

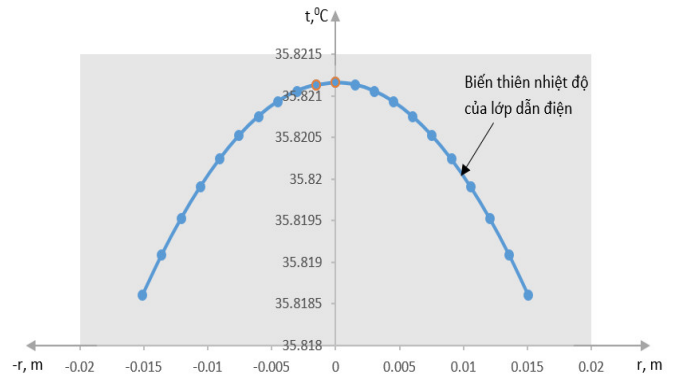
Từ giá trị nhiệt độ và tốc độ chuyển động của không khí xung quanh dây cáp ở bảng 1, trên cơ sở kết quả nghiên cứu đã được trình bày ở mục 2.3, xác định được hệ số tỏa nhiệt giữa bề mặt ngoài của dây cáp và môi trường không khí xung quanh bằng $28,91 \text{ W/m}^2 \cdot K$. Đây là thông số quan trọng để xác định quy luật phân bố nhiệt độ trong các lớp của dây cáp có kể đến ảnh hưởng của quá trình tỏa nhiệt ra môi trường xung quanh. Theo phương bán kính của dây, chia lớp dẫn điện thành 10 phần tử, mỗi phần tử có chiều dày $0,00151m$ (hình 2) và lần lượt tính nhiệt độ tại từng phần tử theo phương trình (11) sẽ xác định được quy luật phân bố nhiệt độ của lớp dẫn điện. Làm tương tự, chia lớp cách điện thành 10 phần tử, mỗi phần tử có chiều dày $0,00028m$ (hình 2) và lần lượt tính nhiệt độ tại từng phần tử theo phương trình (10) sẽ xác định được quy luật phân bố nhiệt độ trong lớp cách điện. Kết quả tính toán được biểu diễn trên đồ thị hình 3, 4.



Hình 2. Các phần tử lớp dẫn điện và lớp cách điện của dây cáp



Hình 3. Biến thiên nhiệt độ của các lớp trong dây cáp điện



Hình 4. Biến thiên nhiệt độ trong lớp dẫn điện của dây cáp

Từ đồ thị hình 3, 4 nhận thấy, theo phương bán kính của dây cáp, quy luật phân bố nhiệt độ trong lớp dẫn điện có dạng đường cong parabol với nhiệt độ đạt giá trị cực đại tại tâm của dây và quy luật phân bố nhiệt độ trong lớp cách điện có dạng là đường cong logarit với nhiệt độ đạt giá trị cực đại tại chỗ tiếp xúc với lớp dẫn điện. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu về cơ chế truyền nhiệt trong các vật thể có nguồn nhiệt và không có nguồn nhiệt bên trong đã được đề cập trong [7, 8]. Kết quả tính toán với các thông số trong bảng 1 cũng cho thấy, chênh lệch nhiệt độ giữa các phần tử trong lớp dẫn điện rất nhỏ, chênh lệch nhiệt độ cực đại tại tâm và nhiệt độ cực tiểu tại bề mặt của lớp dẫn điện xấp xỉ bằng $0,0026^{\circ}C$. Độ chênh lệch nhiệt độ rất nhỏ này là do hệ số dẫn nhiệt của lớp dẫn điện lớn và đường kính của nó nhỏ. Đối với lớp cách điện, kết quả tính toán thu được, chênh lệch nhiệt độ cực đại tại bề mặt bên trong và nhiệt độ cực tiểu tại bề mặt bên ngoài xấp xỉ bằng $2,065^{\circ}C$. Kết quả này cho thấy, mặc dù chiều dày của lớp cách điện trong tính toán là $0,0028m$ nhỏ hơn nhiều so với bán kính của lớp dẫn điện ($0,0151m$) nhưng chênh lệch nhiệt độ cực đại và nhiệt độ cực tiểu của lớp cách điện lớn hơn so với lớp dẫn điện. Kết quả này phù hợp với thực tiễn do hệ số dẫn nhiệt của lớp dẫn điện lớn hơn nhiều so với lớp cách điện.

Độ chính xác của kết quả nghiên cứu cần được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Tuy nhiên, mô hình toán học được xây dựng dựa trên việc thiết lập các phương trình cân bằng nhiệt có đánh giá thực tế các điều kiện biên, các phương trình xác định hệ số trong mô hình đã được kiểm chứng về độ chính xác và sự phù hợp của quy luật truyền nhiệt đã được công bố trước đây nên có thể khẳng định rằng kết quả nghiên cứu là đáng tin cậy, có thể áp dụng trong thực tiễn để tính toán thiết kế dây cáp trong truyền tải điện năng.

Trên cơ sở kết quả đạt được, tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ chuyển động của không khí đến sự phân bố nhiệt độ trong dây. Để thực hiện, trước tiên cần xác định hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa bề mặt dây cáp với môi trường không khí xung quanh. Theo đó, khi nhiệt độ không khí tăng từ $30^{\circ}C$ lên $40^{\circ}C$ và tốc độ chuyển động của không khí không đổi ở 2 m/s thì hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa bề mặt của dây cáp với không khí thay đổi không đáng kể, giá trị này lần lượt ở ba chế độ là $28,91 \text{ W/m}^2 \cdot K$; $28,88 \text{ W/m}^2 \cdot K$; $28,86 \text{ W/m}^2 \cdot K$. Ở cùng điều kiện nhiệt độ như

trên nhưng tốc độ chuyển động của không khí giảm xuống 0,5m/s thì hệ số tỏa nhiệt đối lưu giữa bề mặt dây cáp và không khí giảm xuống rõ rệt, giá trị này tương ứng ở ba chế độ nhiệt độ 30°C, 35°C, 40°C là 12,58W/m².K; 12,57W/m².K; 12,56W/m².K. Từ đây, có thể xác định được phân bố nhiệt độ trong dây cáp ứng với các chế độ nhiệt độ không khí 30°C, 35°C, 40°C và tốc độ chuyển động của không khí 2m/s; 0,5m/s. Kết quả tính toán được thể hiện trong bảng 2 và 3.

Bảng 2. Phân bố nhiệt độ trong dây ở chế độ nhiệt độ $t_r = 30^\circ\text{C}, 35^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}$ và $\omega = 2\text{m/s}$

Bán kính dây r (m)	Phân bố nhiệt độ trong dây khi $\omega = 2\text{m/s}$ và nhiệt độ không khí thay đổi		
	$t_r = 30^\circ\text{C}$	$t_r = 35^\circ\text{C}$	$t_r = 40^\circ\text{C}$
0,00000	35,821159	40,818090	45,827956
0,00151	35,821134	40,818064	45,827931
0,00302	35,821057	40,817988	45,827854
0,00453	35,820929	40,817860	45,827726
0,00604	35,820750	40,817681	45,827547
0,00755	35,820520	40,817451	45,827317
0,00906	35,820239	40,817170	45,827036
0,01057	35,819907	40,816837	45,826704
0,01208	35,819524	40,816454	45,826320
0,01359	35,819089	40,816020	45,825886
0,01510	35,818604	40,815534	45,825400
0,01538	35,595554	40,592484	45,602351
0,01566	35,376528	40,373459	45,383325
0,01594	35,161384	40,158315	45,168181
0,01622	34,949987	39,946917	44,956784
0,01650	34,742208	39,739138	44,749005
0,01678	34,537925	39,534856	44,544722
0,01706	34,337023	39,333954	44,243820
0,01734	34,139392	39,136322	44,146189
0,01762	33,944926	38,941857	43,951723
0,01790	33,753527	38,750457	43,760324

Bảng 3. Phân bố nhiệt độ trong dây ở chế độ nhiệt độ $t_r = 30^\circ\text{C}, 35^\circ\text{C}, 40^\circ\text{C}$ và $\omega = 0,5\text{m/s}$

Bán kính dây r (m)	Phân bố nhiệt độ trong dây khi $\omega = 0,5\text{m/s}$ và nhiệt độ không khí thay đổi		
	$t_r = 30^\circ\text{C}$	$t_r = 35^\circ\text{C}$	$t_r = 40^\circ\text{C}$
0,00000	40,690973	45,683921	50,706588
0,00151	40,690947	45,683895	50,706562
0,00302	40,690871	45,683818	50,706485
0,00453	40,690743	45,683691	50,706358
0,00604	40,690564	45,683512	50,706179
0,00755	40,690334	45,683282	50,705949
0,00906	40,690053	45,683001	50,705668
0,01057	40,689720	45,682868	50,705335

0,01208	40,689337	45,682285	50,704952
0,01359	40,688903	45,681850	50,704518
0,01510	40,688417	45,681365	50,704032
0,01538	40,690947	45,683895	50,706562
0,01566	40,690871	45,683818	50,706485
0,01594	40,690743	45,683691	50,706358
0,01622	40,690564	45,683512	50,706179
0,01650	40,690334	45,683282	50,705949
0,01678	40,690053	45,683001	50,705668
0,01706	40,689720	45,682668	50,705335
0,01734	40,689337	45,682285	50,704952
0,01762	40,688903	45,681850	50,704518
0,01790	40,688417	45,681365	50,704032

Từ bảng 2 nhận thấy, ở cùng điều kiện tải như nhau, khi tốc độ không khí không đổi và nhiệt độ không khí tăng từ 30°C lên 40°C thì nhiệt độ trong dây tăng lên nhưng chênh lệch nhiệt độ cực đại giữa dây và nhiệt độ không khí gần như không đổi, đều xấp xỉ bằng 5,82°C ở cả ba chế độ thay đổi nhiệt độ không khí. Cũng ở cùng điều kiện tải như nhau, kết quả tính toán ở bảng 3 cho thấy, khi tốc độ không khí giảm từ 2m/s xuống 0,5m/s thì nhiệt độ của dây tăng lên, chênh lệch nhiệt độ cực đại giữa dây và nhiệt độ không khí đều xấp xỉ bằng 10,69°C ở cả ba chế độ thay đổi nhiệt độ không khí. Từ những kết quả này, cho thấy, tốc độ chuyển động của không khí có ảnh hưởng lớn đến mức độ tăng nhiệt của dây. Cũng từ kết quả nghiên cứu thu được, có thể xác định được dòng điện tối đa cho phép chạy qua dây khi biết điều kiện tỏa nhiệt của môi trường. Chẳng hạn, nếu nhiệt độ không khí bằng 40°C, tốc độ chuyển động của không khí bằng 0,5m/s và các thông số dây cáp cho trong bảng 1 thì để đảm bảo an toàn cho hệ thống truyền tải, dòng điện chạy qua dây không được phép vượt quá 1200A. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng để tính toán phân bố nhiệt độ cho dây cáp hình trụ đặt bên ngoài môi trường sử dụng các loại vật liệu dẫn điện khác nhau và vật liệu cách điện khác nhau.

4. KẾT LUẬN

- Trên cơ sở phân tích cơ chế truyền nhiệt trong dây cáp khi có tải, đã xây dựng và giải thành công mô hình toán học xác định quy luật phân bố nhiệt độ trong các lớp dẫn điện và lớp cách điện của dây cáp. Từ đây, có thể xác định được nhiệt độ cực đại của dây trong những điều kiện tỏa nhiệt khác nhau của môi trường; là cơ sở để tính toán, thiết kế và kiểm tra dây cáp trong hệ thống truyền tải điện.

- Ảnh hưởng của nhiệt độ và tốc độ chuyển động của không khí đến mức độ tăng nhiệt của dây cáp khi có tải là rất đáng kể. Ở cùng điều kiện tải như nhau, nếu nhiệt độ không khí tăng hoặc tốc độ không khí giảm thì nhiệt độ trong dây cáp sẽ tăng lên.

- Kết quả nghiên cứu còn là cơ sở khoa học để xây dựng mô hình tính toán phân bố nhiệt độ cho các dây cáp đặt ngầm và các loại dây cáp có hình dạng khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dang Quoc Phu, Tran The Son, Tran Van Phu, 2004. *Truyen nhiet*. Vietnam Education Publishing House, Hanoi.
- [2]. Ho Van Hien, 2005. *He thong dien truyen tai va phan phoi*. Vietnam National University, Ho Chi Minh City Press.
- [3]. Buikis A., Kalis H., 2002. *Calculation of electromagnetic fields, forces and temperature in a finite cylinder*. Mathematical modelling and analysis, Vol. 7, No.1, 21-32.
- [4]. Eckert E. R. G., R. M. Drake, 1972. *Analysis of Heat and Mass Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- [5]. Haskew Tim A., Carwile Regina F., Grigsby L. L., 1994., *An Algorithm for Steady State Thermal Analysis of Electrical Cables with Radiation by reduced Newton-Raphson Techniques*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 1.
- [6]. Hiranandani Ajit, 1991. *Calculation of Conductor Temperatures and Ampacities of Cable Systems Using a Generalized Finite Difference Model*. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 1, 15-21.
- [7]. Holman J. P., 2010. *Heat Transfer*. Tenth Edition, McGraw - Hill, New York.
- [8]. Incropera Frank, P. DeWitt, David P., 1985. *Introduction to heat transfer*. John Willey & Sons, USA. ISBN 0-471-80126-7.
- [9]. Kellow M.A., 1981. *A numerical procedure for the calculation of temperature rise and ampacity of underground cables*. IEEE Trans. Power App. Syst., Vol. PAS-100, No. 7, 3322-3330.
- [10]. M. H. Shwehdi, M. A. Morsy, A. Abugurain, 2003. *Thermal aging tests on XLPE and PVC cable insulation materials of Saudi Arabia*. In 2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pages 176–180.
- [11]. Neher J.H., McGrath M.H., 1957. *The Calculation of the Temperature Rise and Load Capability of Cable Systems*. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers Part III Power Apparatus and Systems, 76, 752-772.
- [12]. Zukauskas A. A., V. Makarevicius, A. Schlanciauskas, 1968. *Heat Transfer in Banks of Tubes in Crossflow of Fluid*. Vilnius, Lithuania: Mintis.

AUTHOR INFORMATION**Nguyen Dang Khoat**

Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications, Vietnam