

# Nghiên cứu sự ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất đến các thông số nhiệt vật lý của nước bão hòa

Study the influence of temperature and pressure on thermophysical properties of saturated water

**Hoàng Văn Việt**

*Giảng viên khoa Nhiệt – Lạnh, trường Cao đẳng Lý Tự Trọng*

*thành phố Hồ Chí Minh*

*Tel: (+84)937.911.988. Email: hoangvanviethd@gmail.com*

## Tóm tắt

Thông qua các công thức tính toán liên quan đến các thông số nhiệt vật lý của nước ở trạng thái bão hòa trong vùng nhiệt độ từ 0°C đến 150°C, bài báo thực hiện việc nghiên cứu sự tác động của nhiệt độ và áp suất với các thông số này. Bài báo chỉ ra tác động của nhiệt độ lên sự thay đổi của áp suất bão hòa, khối lượng riêng, hệ số giãn nở nhiệt, thể tích riêng của hơi nước bão hòa, entanpi, nhiệt dung riêng đẳng áp, ẩn nhiệt hóa hơi, hệ số dẫn nhiệt, độ nhớt động lực học, trị số Prandtl, độ giãn nở bề mặt của nước bão hòa. Bài báo cũng tìm thấy sự ảnh hưởng của áp suất đến khối lượng riêng, entanpi và hệ số nhớt động lực học của nước bão hòa.

**Từ khóa:** *thông số nhiệt vật lý của nước bão hòa, khối lượng riêng, entanpi, hệ số dẫn nhiệt, độ nhớt động lực học, trị số Prandtl...*

## Abstract

Through the calculation formulas related to thermophysical properties of saturated water in the temperature range from 0°C to 150°C, the paper conducts research on the impact of temperature and pressure on this parameter. The paper shows the effect of temperature on changes in saturation pressure, density, volumetric thermal expansion coefficient, specific volume of saturated vapor, specific enthalpy, specific heat at constant pressure, latent heat of vaporization, thermal conductivity, dynamic viscosity, Prandtl number, surface tension. The paper also found the effect of pressure on density, specific enthalpy and dynamic viscosity of saturated water.

**Keywords:** *thermophysical properties of saturated water, density, enthalpy, specific heat at constant pressure, thermal conductivity, dynamic viscosity, Prandtl number...*

## 1. Giới thiệu

Các thông số nhiệt vật lý của nước bão hòa có ảnh hưởng lớn đến các bài toán truyền nhiệt và việc thiết kế các bộ trao đổi nhiệt cũng như các hệ thống nhiệt. Học sinh, sinh viên khối ngành kỹ thuật nhiệt của các trường đại học, cao đẳng thường biết tới các thông số nhiệt vật lý của nước bão hòa thông qua các bảng tra. Việc tra

bảng để tìm các thông số nhiệt vật lý tiêu tốn khá nhiều thời gian khi giải các bài toán về truyền nhiệt và càng khó khăn hơn khi lập trình các hệ thống nhiệt. Do đó, sử dụng các công thức tính toán các thông số nhiệt vật lý của nước bão hòa khiến việc giải quyết các bài toán về truyền nhiệt và lập trình các hệ thống nhiệt trên các ngôn ngữ lập trình phổ biến như Matlab, C++, Fortran 90...trở nên dễ dàng hơn hoặc khi giải các bài tập trên công cụ phổ biến như Excel.

Hầu hết các tính toán liên quan đến nước bão hòa thực hiện trong vùng nhiệt độ từ 0°C đến 150°C và dải áp suất từ 0 đến 10 bar, do đó trong bài báo này chỉ đề cập đến các thông số của nước bão hòa trong vùng nhiệt độ từ 0°C đến 150°C. Cụ thể, bài báo trình bày 11 thông số nhiệt vật lý của nước bão hòa, các thông số này rất hữu ích cho việc tính toán thiết kế các bộ trao đổi nhiệt và hệ thống nhiệt cũng như các ứng dụng công nghệ liên quan. Ngoài ra bài báo cũng chỉ ra sự ảnh hưởng của áp suất đến khối lượng riêng, entanpi và hệ số nhớt động học của nước bão hòa.

## 2. Cơ sở lý thuyết

### 2.1. Áp suất bão hòa

Công thức tính áp suất bão hòa của nước được công bố lần đầu bởi Saul và Wagner [4] sau đó được sửa chữa và hoàn chỉnh bởi Wagner và Pruss [5]:

$$p_s = p_c \cdot \exp \left\{ \left[ \frac{T_c}{273,15 + t_{nc}} \right] (a_1 \cdot \tau + a_2 \cdot \tau^{1,5} + a_3 \cdot \tau^3 + a_4 \cdot \tau^{3,5} + a_5 \cdot \tau^4 + a_6 \cdot \tau^{7,5}) \right\} \quad (bar) \quad (1)$$

Ở đây:

- $P_c = 220,64$  bar: áp suất tới hạn của nước
- $T_c = 647,096$  [K]: nhiệt độ tới hạn của nước
- $\tau = 1 - (273,15 + t_{nc}) / T_c$  [K]: nhiệt độ quy đổi
- $a_1 = -7,85951783$ ,  $a_2 = 1,84408259$ ,  $a_3 = -11,7866497$ ,  $a_4 = 22,6807411$ ,  $a_5 = -15,9618719$ ,  $a_6 = 1,80122502$  là hằng số không đổi.

Công thức (1) có sai số trong khoảng  $\pm 0,025\%$  so với kết quả thực nghiệm của Sato và cộng sự [1].

### 2.2. Khối lượng riêng

Khối lượng riêng của nước bão hòa được tính toán theo Wagner và Pruss [5]:

$$\rho_s = \rho_c \left( 1 + b_1 \cdot \tau^{1/3} + b_2 \cdot \tau^{2/3} + b_3 \cdot \tau^{5/3} + b_4 \cdot \tau^{16/3} + b_5 \cdot \tau^{43/3} + b_6 \cdot \tau^{110/3} \right) \quad (kg / m^3) \quad (2)$$

Ở đây:

- $\rho_c = 332$   $kg / m^3$ : khối lượng riêng tới hạn của nước
- $b_1 = 1,99274064$ ,  $b_2 = 1,09965342$ ,  $b_3 = -0,510839303$ ,  $b_4 = -1,75493479$ ,  $b_5 = -45,5170352$ ,  $b_6 = -6,74694450 \cdot 10^5$  là những hằng số không đổi.

Phương trình (2) có sai số từ  $\pm 0,001\%$  đến  $\pm 0,003\%$  so với kết quả thực nghiệm của Sato và cộng sự [1].

Trong dải nhiệt độ từ  $0^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$ , phương trình trên có thể được rút gọn lại như sau:

$$\rho_s = a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^2 + d.t_{nc}^{2,5} + e.t_{nc}^3 \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (3)$$

Ở đây  $a = 999,79684$ ,  $b = 0,068317355$ ,  $c = -0,010740248$ ,  $d = 0,00082140905$ ,  $e = -2,3030988.10^{-5}$  là những hằng số không đổi. Phương trình (3) có sai số từ  $\pm 0,002\%$  đến  $\pm 0,004\%$  so với kết quả thực nghiệm của Sato và cộng sự [1].

Tại áp suất cao hơn áp suất bão hòa, khối lượng riêng của nước có thể được tính tonas theo công thức:

$$\rho_{T/p} = \rho_s \cdot [1 + k_p \cdot (p_{nc} - p_s)] \quad (\text{kg} / \text{m}^3) \quad (4)$$

Ở đây:

- $p_{nc}$  là áp suất tại thời điểm khảo sát (bar)
- $p_s$  là áp suất bão hòa (bar)
- $k_p$  là hệ số nén cho khối lượng riêng (1/bar)

Hệ số nén  $k_p$  được Kell [11-6] tìm ra, có giá trị:

$$k_p = \left[ \frac{(a + c.t_{nc})}{(1 + b.t_{nc} + d.t_{nc}^2)} \right]^2 \quad (5)$$

Ở đây  $a = 0,007131672$ ,  $b = 0,011230766$ ,  $c = 5,369263.10^{-5}$ ,  $d = -3,3768472.10^{-5}$  là hằng số không đổi. Phương trình (5) có giá trị trong dải nhiệt độ từ  $0^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$  và áp suất  $< 25$  bar với sai số công thức nhỏ hơn  $0,2.10^{-8}$  (1/bar)

### 2.3. Hệ số giãn nở nhiệt

Theo định nghĩa về hệ số giãn nở nhiệt ta có phương trình:

$$\beta = \frac{1}{v_s} \frac{\partial v_s}{\partial t_{nc}} = - \frac{1}{\rho_s} \frac{\partial \rho_s}{\partial t_{nc}} \quad \left( \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right)$$

Với  $v_s$  là thể tích riêng của nước bão hòa ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ), ta thấy phương trình trên có liên quan mật thiết với phương trình (3), ta xác định đượ [3]:

$$\beta = a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^{1,5} + d.t_{nc}^2 \quad (1/^{\circ}\text{C}) \quad (6)$$

Ở đây  $a = -6,8785895.10^{-5}$ ,  $b = 2,1687942.10^{-5}$ ,  $c = -2,1236686.10^{-6}$ ,  $d = 7,7200882.10^{-8}$  là hằng số không đổi trong điều kiện nhiệt độ từ  $0^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$ . Với nhiệt độ trên  $20^{\circ}\text{C}$ , sai số của  $\beta$  giảm từ  $\pm 0,5\%$  đến khoảng  $\pm 0,01\%$  khi nhiệt độ đạt  $150^{\circ}\text{C}$ .

## 2.4. Thể tích riêng của hơi bão hòa

Theo Wagner và Pruss [5], thể tích riêng của hơi bão hòa được tính như sau:

$$v_{sv} = \left( \frac{1}{\rho_c} \right) \exp \left( c_1 \cdot \tau^{1/3} + c_2 \cdot \tau^{2/3} + c_3 \cdot \tau^{4/3} + c_4 \cdot \tau^3 + c_5 \cdot \tau^{37/6} + c_6 \cdot \tau^{71/6} \right) \left( \frac{m^3}{kg} \right) \quad (7)$$

Ở đây  $c_1 = 2,03150240$ ,  $c_2 = 2,68302940$ ,  $c_3 = 5,38626492$ ,  $c_4 = 17,2991605$ ,  $c_5 = 44,7586581$ ,  $c_6 = 63,9201063$  là hằng số không đổi. Sai số của phương trình (7) so với bảng thực nghiệm của Sato và cộng sự là  $\pm 0,073\%$  với ứng dụng nhiệt độ từ  $0^\circ\text{C}$  đến  $150^\circ\text{C}$ .

## 2.5. Entanpi

Entanpi của nước bão hòa có thể được tính toán theo Wagner và Pruss [5] hoặc theo công thức đơn giản hơn của Kostyrko và Pluciennik [3]:

$$h_s = d_1 + d_2 \cdot t_{nc} + d_3 \cdot t_{nc}^2 + d_4 \cdot t_{nc}^3 + d_5 \cdot t_{nc}^4 + d_6 \cdot t_{nc}^5 \quad (kJ / kg) \quad (8)$$

Ở đây  $d_1 = -2,844699 \cdot 10^{-2}$ ,  $d_2 = 4,211925$ ,  $d_3 = -1,017034 \cdot 10^{-3}$ ,  $d_4 = 1,311054 \cdot 10^{-5}$ ,  $d_5 = -6,756469 \cdot 10^{-8}$ ,  $d_6 = 1,724481 \cdot 10^{-10}$  là hằng số không đổi. Phương trình (8) có giá trị khi nhiệt độ dao động từ  $0,01^\circ\text{C}$  đến  $150^\circ\text{C}$ , sai số không vượt quá  $\pm 0,057\%$

Khi ở điểm 3 thể, nội năng  $u_{tr}$  và entropi  $s_{tr}$  của nước bằng 0, entanpi của nước tại điểm 3 thể có giá trị:

$$h_s = u_{tr} + \frac{p_{tr}}{\rho_{tr}} = 0,000611786 (kJ / kg)$$

Trong đó:

- $p_{tr} = 611,657 \text{ Pa}$ : áp suất tại điểm 3 thể của nước
- $\rho_{tr} = 999,789 \text{ kg/m}^3$ : khối lượng riêng của nước tại điểm 3 thể

Tại áp suất cao hơn áp suất bão hòa, entanpi của nước được xác định bằng công thức:

$$h_{T,p} = h_s \left[ 1 + k_h \cdot (p_{nc} - p_s) \right] \quad (kJ / kg) \quad (9)$$

Ở đây  $k_h$  là hệ số nén cho entanpi (1/bar), được xác định bởi Kostyrko và Pluciennik [3]:

$$k_h = a + b \cdot t_{nc}^{-1} + c \cdot t_{nc}^{-2} \quad (10)$$

Trong đó  $a = -5,832449 \cdot 10^{-5}$ ,  $b = 0,0235696$ ,  $c = -5,384306 \cdot 10^{-3}$  là hằng số không đổi. Phương trình (10) có giá trị trong khoảng nhiệt độ từ  $0^\circ\text{C}$  đến  $150^\circ\text{C}$  và áp suất từ 1 đến 25 bar. Sai số của phương trình (9) và (10) là  $\pm 0,24\%$  tại  $5^\circ\text{C}$  và  $\pm 0,08\%$  tại  $150^\circ\text{C}$ .

## 2.6. Nhiệt dung riêng đẳng áp

Công thức tính toán nhiệt dung riêng đẳng áp được thể hiện như sau:

$$c_{p,s} = a + b.t_{nc} + c.T_{nc}^{1,5} + d.T_{nc}^2 + e.T_{nc}^{2,5} \quad (kJ / kg.^{\circ} C) \quad (11)$$

Trong đó  $a = 4,2174356$ ,  $b = -0,0056181625$ ,  $c = 0,0012992528$ ,  $d = -0,00011535353$ ,  $e = 4,14964.10^{-6}$  là hằng số không đổi. Sai số của phương trình (11) là  $\pm 0,04\%$  [3]

## 2.7. Ẩn nhiệt hóa hơi

Ẩn nhiệt hóa hơi của nước được tính toán với phương trình:

$$h_{fg} = h_{sv} - h_s \quad (kJ / kg)$$

Trong đó  $h_{sv}$  là entanpi của hơi và  $h_s$  là entanpi của lỏng.

Công thức xác định ẩn nhiệt hóa hơi của nước được số hóa như sau [3]:

$$h_{fg} = a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^{1,5} + d.t_{nc}^{2,5} + e.t_{nc}^3 \quad (kJ / kg) \quad (12)$$

Trong đó  $a = 2500,304$ ,  $b = -2,2521025$ ,  $c = -0,021465847$ ,  $d = 3,1750136.10^{-4}$  và  $e = -2,8607959.10^{-5}$  là hằng số không đổi. Sai số của phương trình (11) so với bảng thực nghiệm của Sato và cộng sự [1] vào khoảng  $\pm 0,09\%$ .

## 2.8. Hệ số dẫn nhiệt

Công thức xác định hệ số dẫn nhiệt được công bố bởi Sengers và Watson [2]:

$$\lambda_s = a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^{1,5} + d.t_{nc}^2 + e.t_{nc}^{0,5} \quad (W / m.^{\circ} C) \quad (13)$$

Ở đây  $a = 0,5650285$ ,  $b = 0,0026363895$ ,  $c = -0,00012516934$ ,  $d = -1,5154918.10^{-6}$ ,  $e = -0,0009412945$  là hằng số không đổi để tính toán cho vùng nhiệt độ từ  $0^{\circ}C$  đến  $150^{\circ}C$ .

## 2.9. Độ nhớt động lực học

Theo Sengers và Watson [2] công thức xác định độ nhớt động lực học được xác định:

$$\mu_s = \frac{1}{a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^2 + d.t_{nc}^3} \left( \frac{kg}{m.s} \right) \quad (14)$$

Ở đây  $a = 577,82468$ ,  $b = 19,408782$ ,  $c = 0,1360459$ ,  $d = -3,1160832.10^{-4}$  là hằng số không đổi được xác định trong dải nhiệt độ từ  $0^{\circ}C$  đến  $150^{\circ}C$  với sai số khoảng  $\pm 1\%$ . Tại áp suất lớn hơn áp suất bão hòa, độ nhớt động lực học của nước có thể tính toán theo Kostyrko và Pluciennik [18-6] như sau:

$$\mu_{T/p} = \mu_s \cdot [1 + k_{\mu} \cdot (p - p_s)] \quad (kg / m.s) \quad (15)$$

Trong đó  $k_{\mu}$  là hệ số nén cho độ nhớt động lực học

$$k_{\mu} = a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^2 + d.t_{nc}^3 + e.t_{nc}^4 \quad (16)$$

Ở đây  $a = -0,0001335$ ,  $b = 5,57128.10^{-6}$ ,  $c = -6,1077357.10^{-8}$ ,  $d = 3,633062.10^{-10}$ ,  $e = -8,179944.10^{-13}$  là những hằng số không đổi cho phạm vi nhiệt độ từ  $0^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$  và áp suất từ 1 đến 25 bar, sai số so với bảng thông số của Sengers và Watson [2] khoảng  $\pm 0,018\%$ .

Độ nhớt động lực học của nước tại  $20^{\circ}\text{C}$ , 1 bar là  $\mu_{20/1} = 1002.10^{-6} \text{ kg / m.s}$  là giá trị được Kestin [3] tìm ra, con số này được coi là giá trị tham chiếu điển hình.

## 2.10. Trị số Prandtl

Trị số Prandtl được tính theo công thức truyền thống:

$$\text{Pr} = \frac{\mu.c_p}{\lambda}$$

Sử dụng các công thức tính  $\mu, c_p, \lambda$  ở trên ta thiết lập được phương trình tính toán cho trị số Prandtl:

$$\text{Pr}_s = \frac{1}{a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^2 + d.t_{nc}^3} \quad (17)$$

Ở đây  $a = 0,074763403$ ,  $b = 0,0029020983$ ,  $c = 2,8606181.10^{-5}$ ,  $d = -8,1395537.10^{-8}$ . Sai số của phương trình (17) vào khoảng  $\pm 2,3\%$  [3]

## 2.11. Sức căng bề mặt

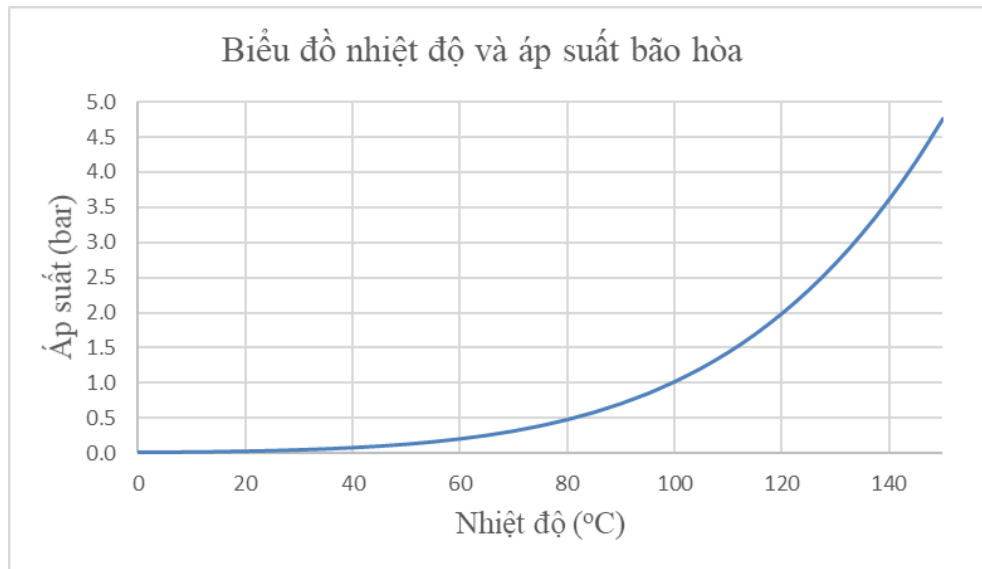
Sức căng bề mặt của nước được công bố bởi Vargaftik và cộng sự [7]:

$$\sigma = a + b.t_{nc} + c.t_{nc}^2 + d.t_{nc}^3 \quad (N / m) \quad (18)$$

Ở đây  $a = 0,075652711$ ,  $b = -0,00013936956$ ,  $c = -3,0842103.10^{-7}$ ,  $d = 2,7588435.10^{-10}$  có giá trị trong khoảng nhiệt độ từ  $0^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$ . Sai số của phương trình (18) khoảng  $\pm 0,5\%$ .

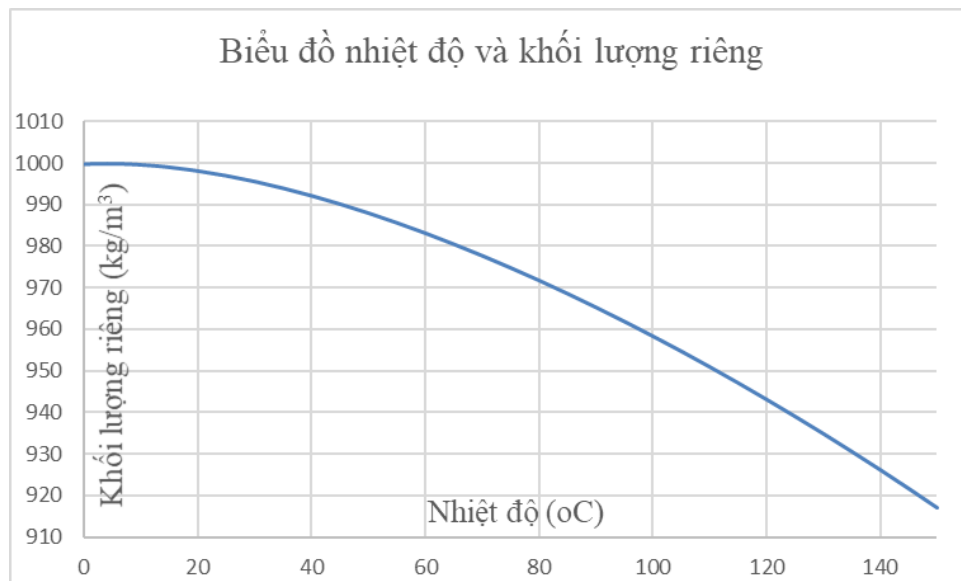
## 3. Kết quả và phân tích

Qua 11 thông số nhiệt vật lý trình bày ở trên, bài báo thực hiện phân tích sự tác động của nhiệt độ và áp suất tới các thông số này. Hình 1 thể hiện sự tác động của nhiệt độ đến áp suất bão hòa, biểu đồ cho thấy áp suất tăng tuyến tính với sự gia tăng nhiệt độ nhưng áp suất tăng nhẹ trong khoảng nhiệt độ từ  $0^{\circ}\text{C}$  đến khoảng  $100^{\circ}\text{C}$ , khi nhiệt độ lớn hơn  $100^{\circ}\text{C}$  áp suất có xu hướng tăng rất nhanh.

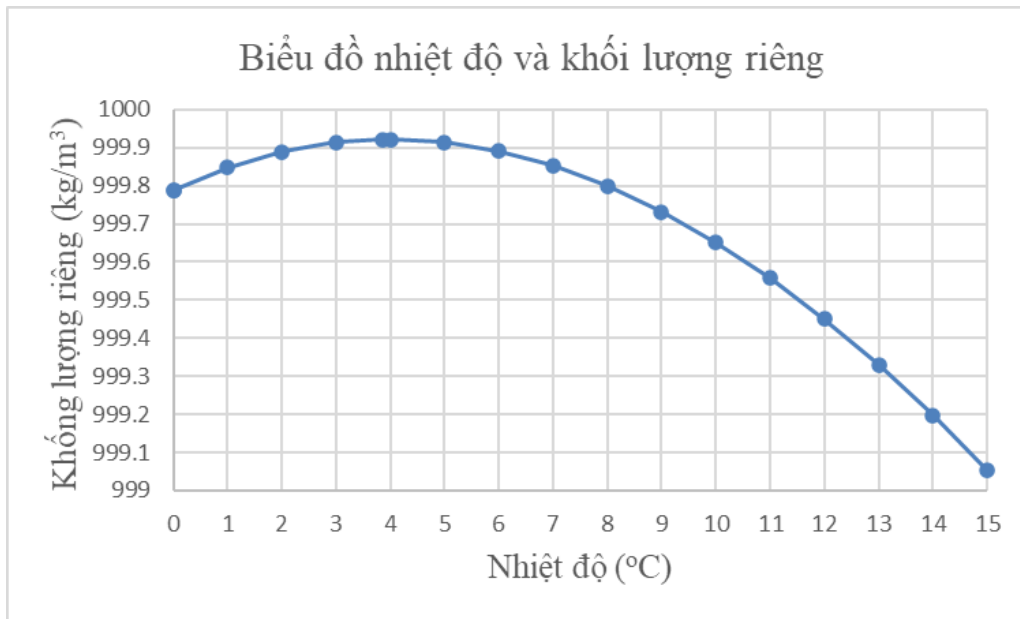


**Hình 1:** Biểu đồ thể hiện sự tác động của nhiệt độ đến áp suất bão hòa

Hình 2 cho thấy sự tác động của nhiệt độ đến khối lượng riêng của nước bão hòa, nhìn chung khối lượng riêng giảm khi nhiệt độ tăng nhưng khi xét trong khoảng nhiệt độ nhỏ hơn từ 0°C đến 15°C như biểu diễn trên hình 3 ta thấy rằng từ 0°C đến 3,8°C khối lượng riêng tăng và đạt đỉnh tại 3,8°C sau đó giảm dần khi nhiệt độ tăng dần.

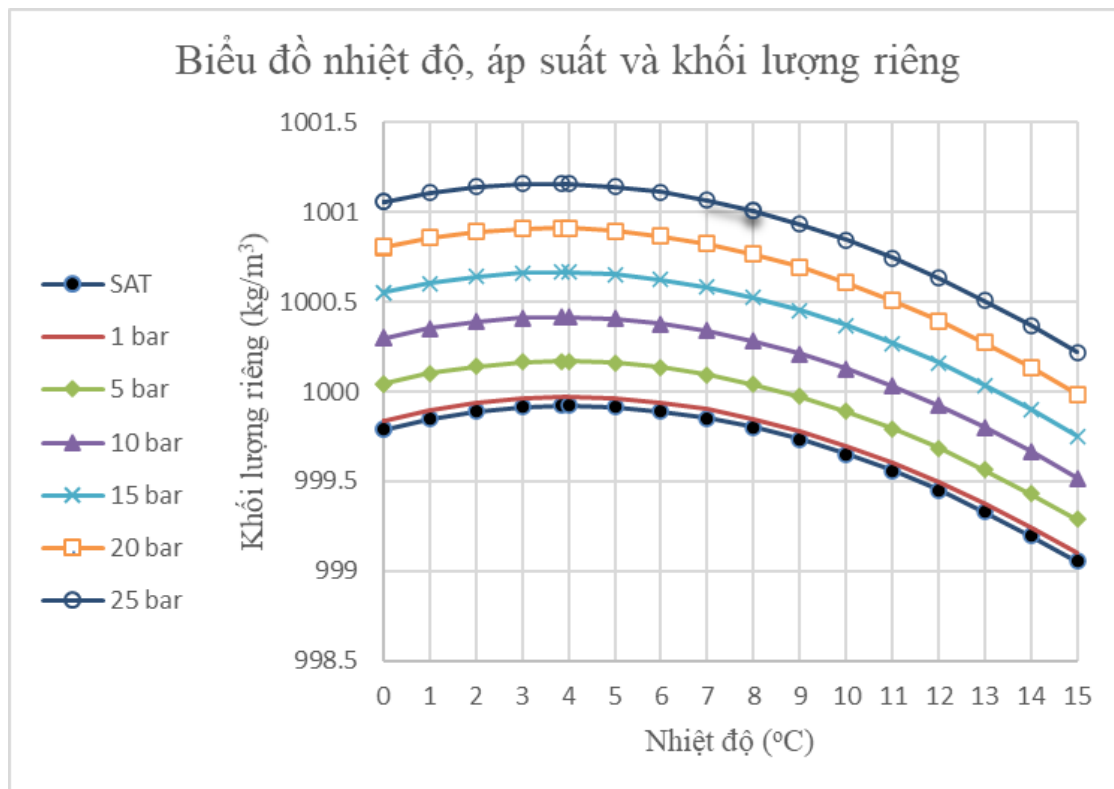


**Hình 2:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến khối lượng riêng



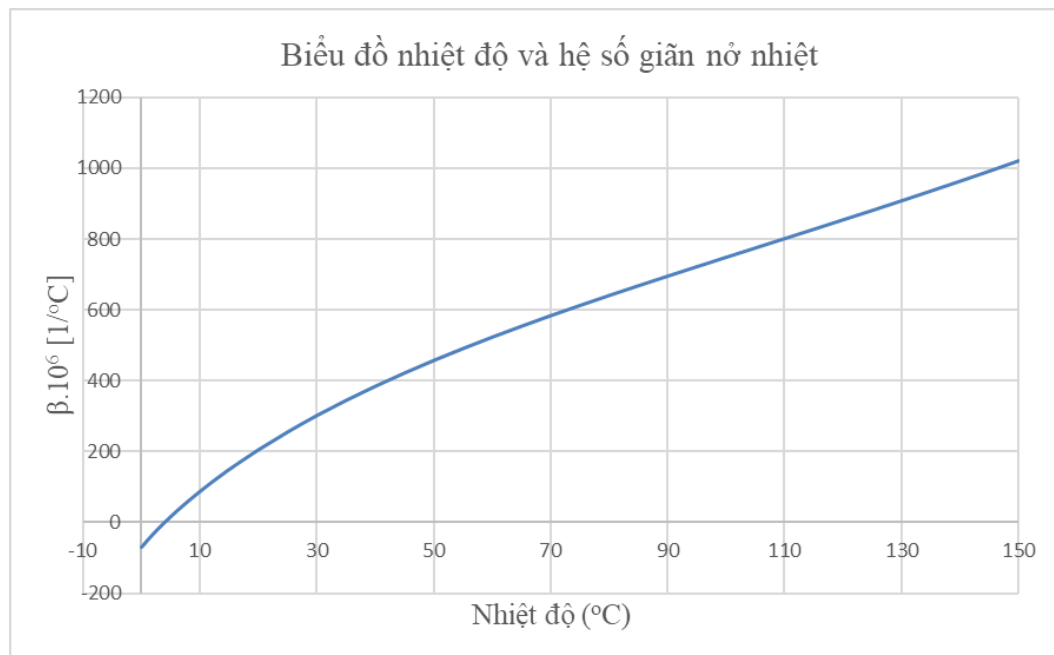
**Hình 3:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến khối lượng riêng (Nhiệt độ từ 0°C đến 15°C)

Sự tác động của nhiệt độ và áp suất đến khối lượng riêng được mô tả trên biểu đồ hình 4 trong khoảng nhiệt độ khảo sát từ 0°C đến 15°C và ở 7 mức áp suất: áp suất bão hòa, 1 bar, 5 bar, 10 bar, 15 bar, 20 bar và 25 bar. Kết quả cho thấy áp suất càng tăng khối lượng riêng càng lớn và ở bất kỳ mức áp suất khảo sát nào, khối lượng riêng đều gia tăng từ 0°C và đạt đỉnh tại 3,86°C sau đó giảm dần khi nhiệt độ tăng dần.



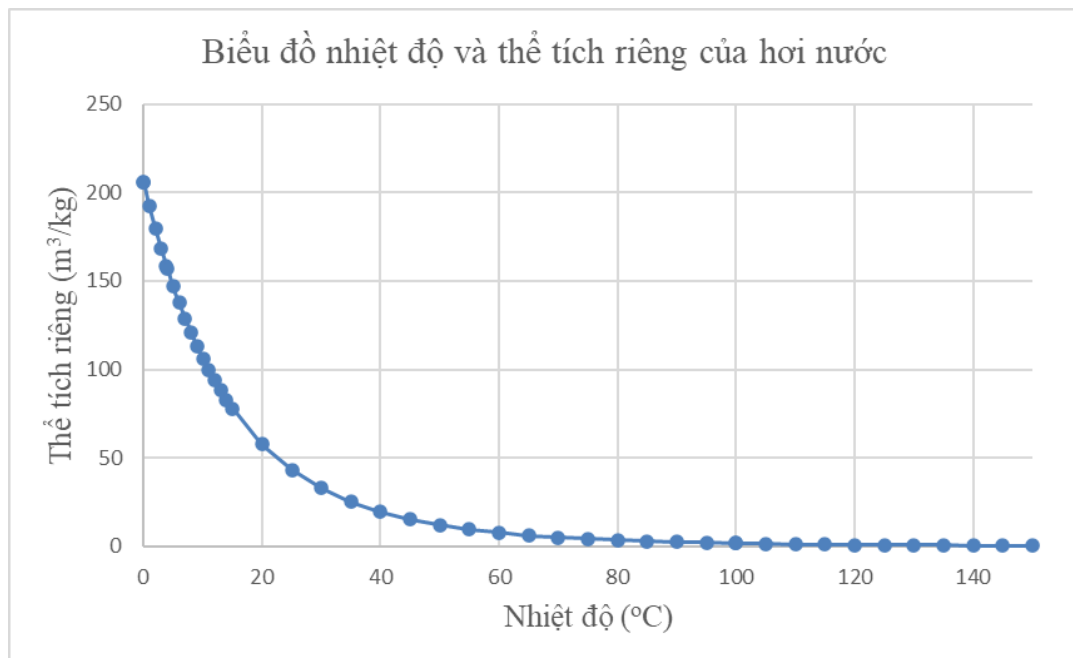
**Hình 4:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất đến khối lượng riêng (Nhiệt độ từ 0°C đến 15°C)

Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hệ số giãn nở nhiệt được thể hiện trên hình 5, biểu đồ cho thấy hệ số giãn nở nhiệt tăng khi nhiệt độ tăng.



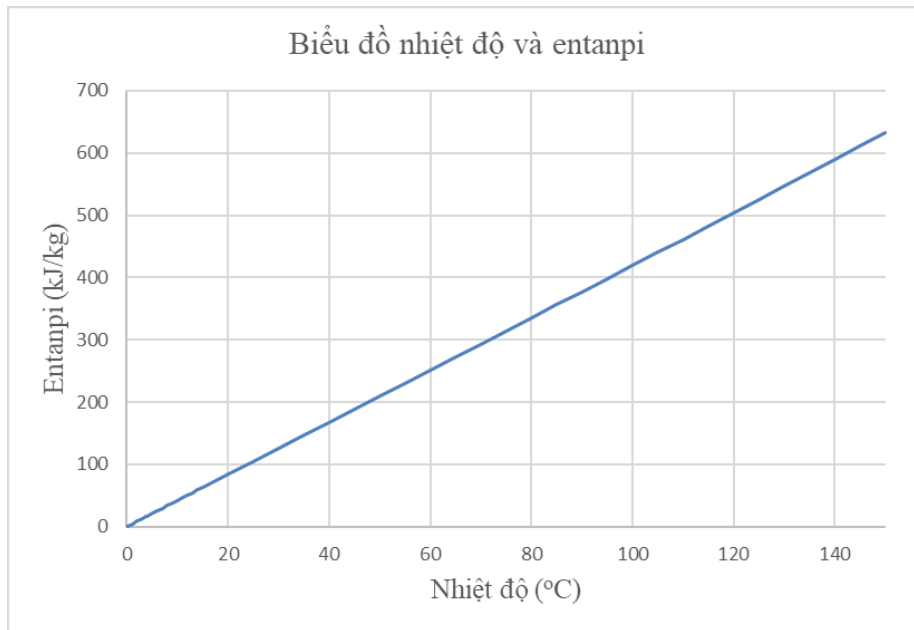
**Hình 5:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến hệ số giãn nở nhiệt

Ảnh hưởng của nhiệt độ đến thể tích riêng của hơi nước được thể hiện trên hình 6, nhìn chung thể tích riêng của hơi nước giảm khi nhiệt độ tăng, giảm mạnh khi nhiệt độ tăng từ 0°C đến 35°C sau đó giảm chậm dần từ nhiệt độ 35°C đến 150°C.



**Hình 6:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến thể tích riêng của hơi nước

Hình 7 thể hiện mối liên quan giữa nhiệt độ và entanpi, entanpi có xu hướng tăng dần đều khi nhiệt độ tăng.



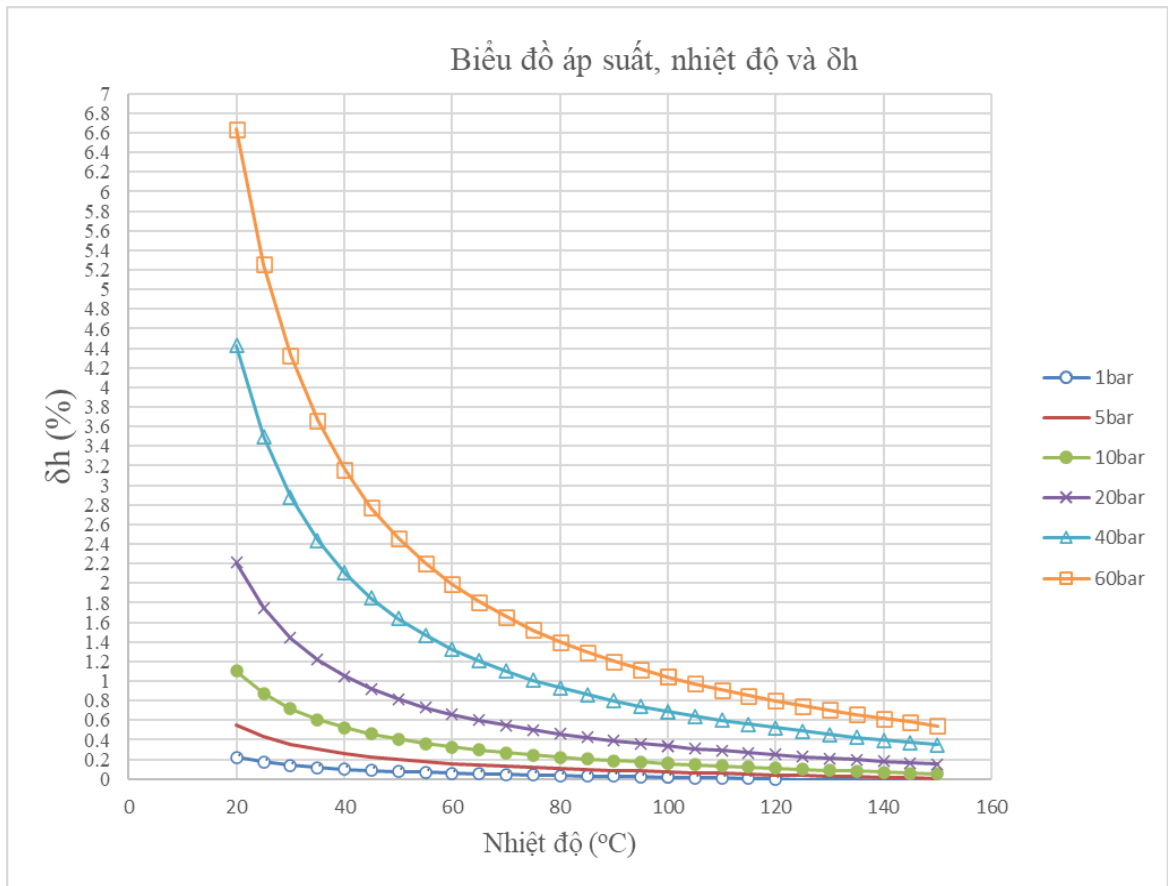
**Hình 7:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến entanpi

Hình 8 thể hiện sự ảnh hưởng của áp suất và nhiệt độ đến độ chênh entanpi giữa ở áp suất khảo sát và áp suất bão hòa ( $\delta_h$ ).

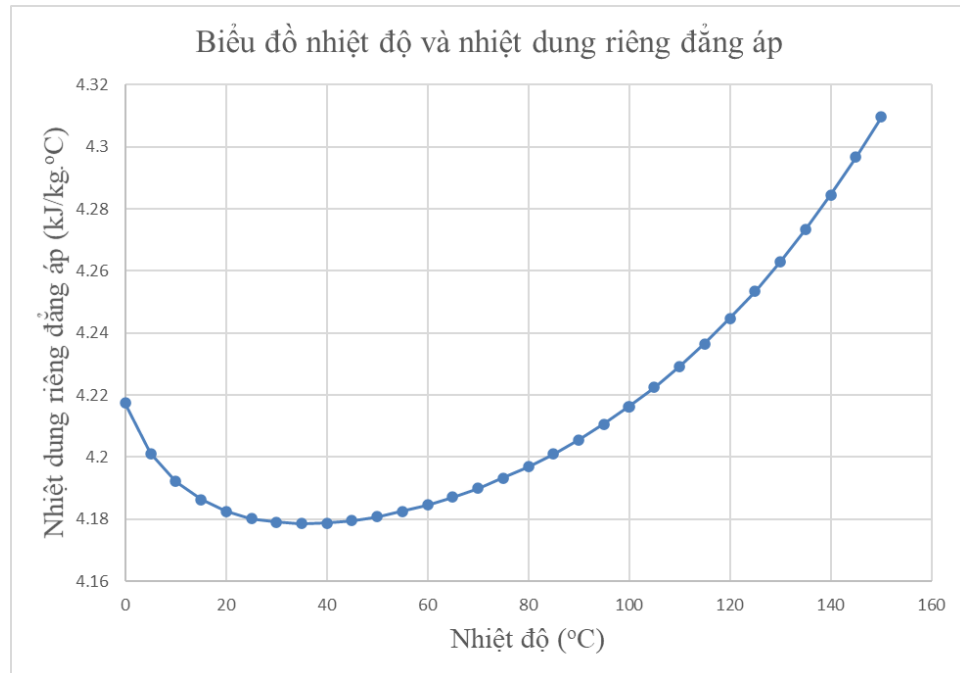
$$\delta_h = \frac{h - h_s}{h_s} \cdot 100 \quad (\%)$$

Với  $h$  là entanpi ở áp suất khảo sát. Ở đây ta khảo sát ở 6 mức áp suất: 1 bar, 5 bar, 10 bar, 20 bar, 40 bar, 60 bar;  $h_s$  là entanpi ở áp suất bão hòa theo nhiệt độ, nhiệt độ khảo sát từ 20°C đến 150°C.

Từ biểu đồ hình 8 ta thấy rằng, ở nhiệt độ nhỏ hơn 60°C, nhìn chung với bất kỳ áp suất khảo sát nào đều có độ chênh entanpi, nhưng ở áp suất nhỏ hơn 5 bar độ chênh entanpi tương đối nhỏ, lớn nhất khoảng 0,56%, khi áp suất càng hơn, độ chênh entanpi càng cao, ở áp suất khảo sát 60 bar, độ chênh có thể đạt tới 6,6% và còn lớn hơn nữa nếu xét ở nhiệt độ nhỏ hơn 20°C. Ở vùng nhiệt độ lớn hơn 60°C sự ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất là không nhiều đến  $\delta_h$ .

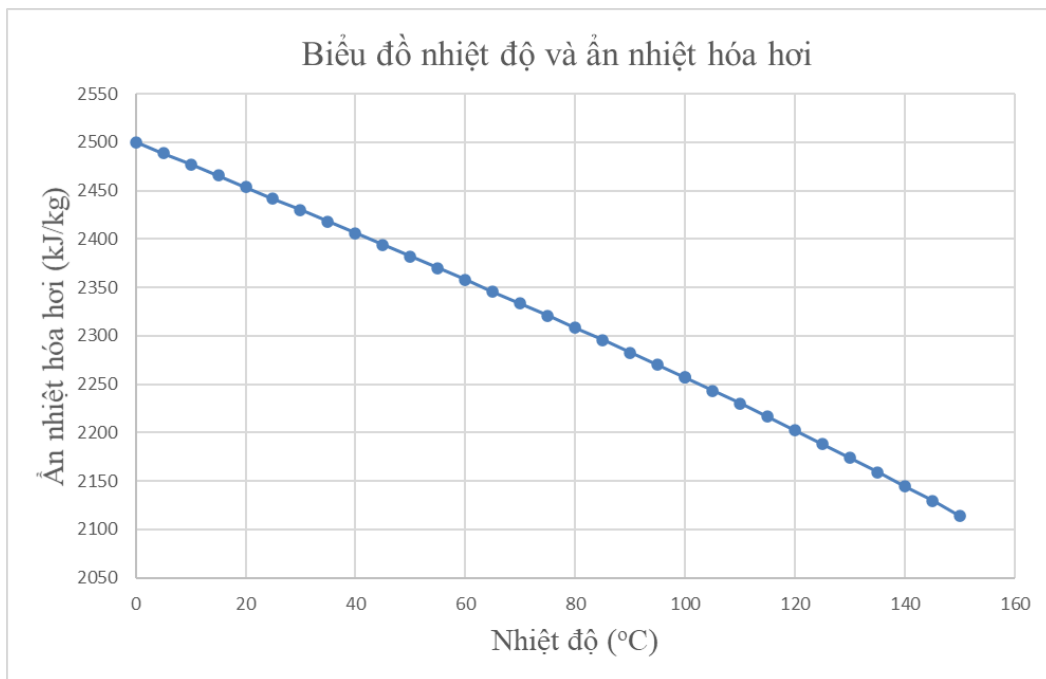


**Hình 8:** Biểu đồ thể hiện sự tác động của nhiệt độ, áp suất đến  $\delta h$

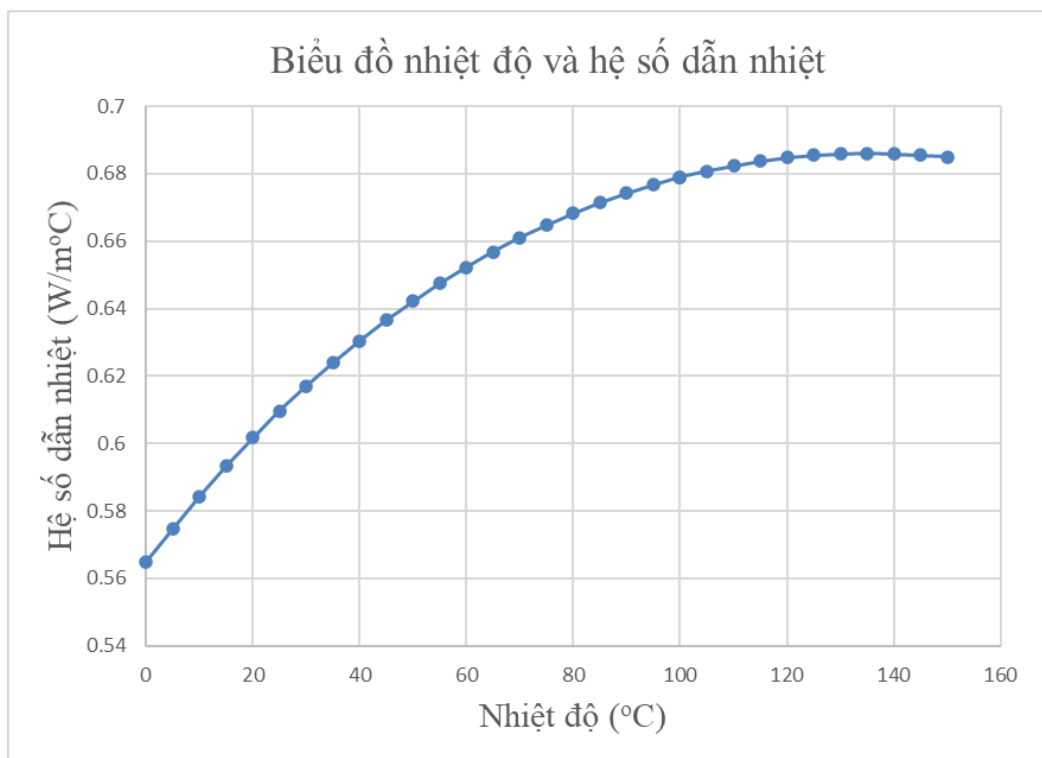


**Hình 9:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến nhiệt dung riêng đẳng áp

Nhìn biểu đồ hình 9, ta thấy nhiệt dung riêng đẳng áp có xu hướng giảm dần theo nhiệt độ và đạt giá trị nhỏ nhất tại 35°C sau đó tăng dần theo nhiệt độ. Biểu đồ hình 10 thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới ẩn nhiệt hóa hơi, nhiệt độ càng tăng, ẩn nhiệt hóa hơi càng giảm.

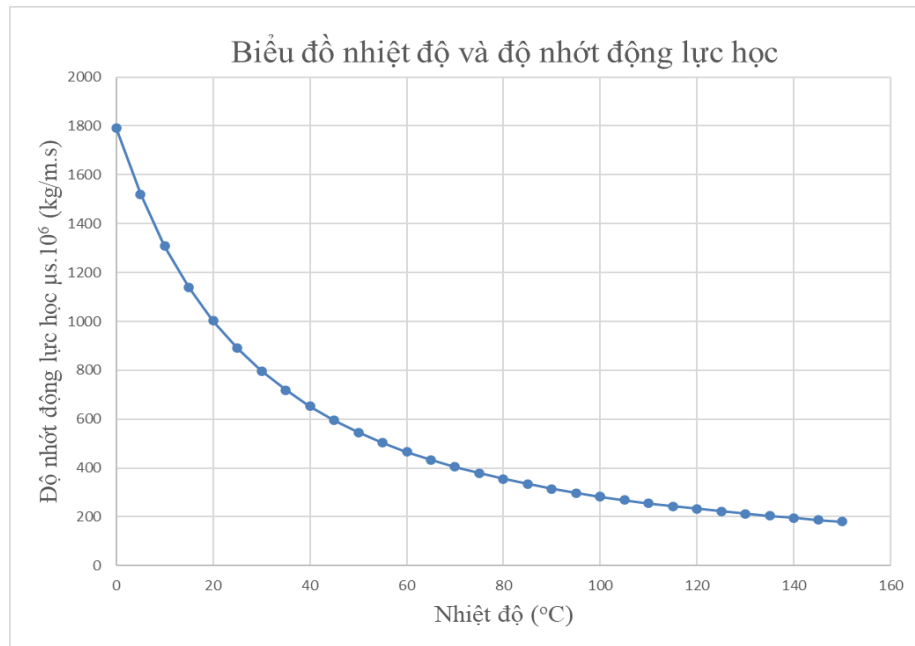


**Hình 10:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến ẩn nhiệt hóa hơi



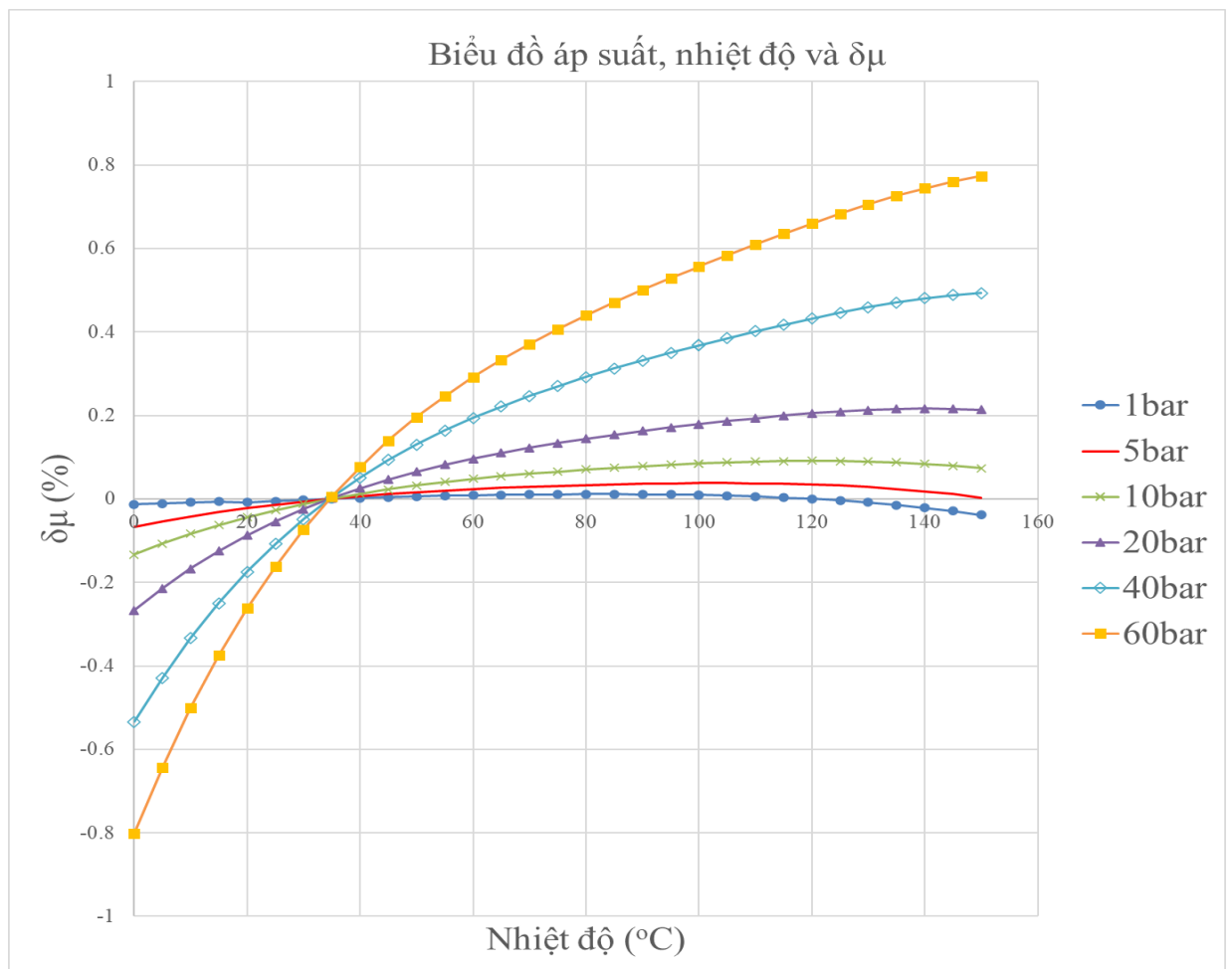
**Hình 11:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới hệ số dẫn nhiệt

Biểu đồ hình 11 thể hiện sự tác động của nhiệt độ tới hệ số dẫn nhiệt của nước bão hòa, kết quả cho thấy hệ số dẫn nhiệt tăng khi nhiệt độ tăng, hệ số dẫn nhiệt tăng nhanh dần đều khi nhiệt độ tăng từ 0°C đến 70°C và tăng nhẹ dần cho đến khi đạt giá trị lớn nhất ở 135°C sau đó giảm nhẹ ở nhiệt độ lớn hơn 135°C.



**Hình 12:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới độ nhớt động lực học

Biểu đồ hình 12 thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ tới độ nhớt động lực học, biểu đồ cho thấy độ nhớt động lực học giảm mạnh khi nhiệt độ tăng từ 0°C đến 60°C sau đó giảm chậm dần đều đến 150°C.



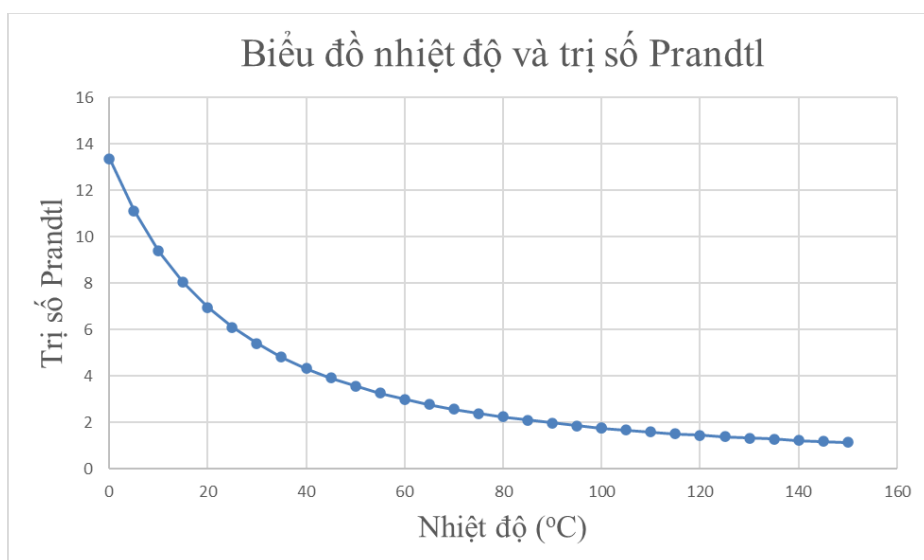
**Hình 13:** Biểu đồ thể hiện sự tác động của nhiệt độ, áp suất đến  $\delta_h$

Hình 13 thể hiện sự ảnh hưởng của áp suất và nhiệt độ đến độ chênh độ nhớt động lực học giữa ở áp suất khảo sát và áp suất bão hòa ( $\delta_\mu$ ).

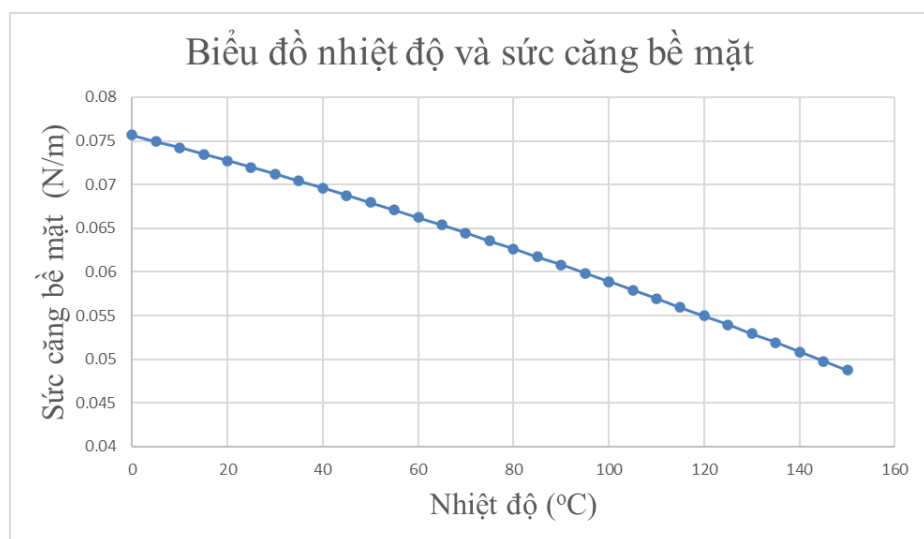
$$\delta_\mu = \frac{\mu - \mu_s}{\mu_s} \cdot 100 \quad (\%)$$

Với  $\mu$  là độ nhớt động lực học ở áp suất khảo sát. Ở đây ta khảo sát ở 6 mức áp suất: 1 bar, 5 bar, 10 bar, 20 bar, 40 bar, 60 bar;  $\mu_s$  là độ nhớt động lực học ở áp suất bão hòa theo nhiệt độ, nhiệt độ khảo sát từ 0°C đến 150°C. Biểu đồ hình 13 cho thấy, áp suất càng lớn  $\delta_\mu$  càng lớn. Nếu áp suất khảo sát nhỏ hơn 10 bar,  $\delta_\mu$  không vượt quá  $\pm 0,2\%$ .

Biểu đồ hình 14 và hình 15 lần lượt thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến trị số Prandtl và sức căng bề mặt. Trị số Prandtl giảm mạnh khi nhiệt độ tăng từ 0°C đến 40°C sau đó giảm dần đều khi nhiệt độ tăng dần đến 150°C. Sức căng bề mặt giảm dần đều khi nhiệt độ tăng dần đều.



**Hình 14:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến trị số Prandtl



**Hình 15:** Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến sức căng bề mặt

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sato et al, *New International Skeleton Tables for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance*, Journal of Physical and Chemical Reference Data, Vol 17, 1988.
- [2] Sengers and Watson, *Improved International Formulations for the Viscosity and Thermal Conductivity of Water Substance*, Journal of Physical and Chemical Reference Data, vol 15, 1986.
- [3] Popiel and Wojtkowiak, *Simple Formulas for Thermophysical Properties of Liquid Water for Heat Transfer Calculations*, Heat transfer engineering, Vol 19, 1998.
- [4] Saul and Wagner, *International Equations for the Saturation Properties of Ordinary Water Substance*, Journal of Physical and Chemical Reference Data, Vol 16, 1987.
- [5] Wagner và Pruss, *International Equations for the Saturation Properties of Ordinary Water Substance Revised According to the International Temperature Scale of 1990*, Journal of Physical and Chemical Reference Data, Vol 22, 1993.
- [6] Assael et al, *The Viscosity of Liquid Water at Pressures up to 32 MPa*, International Journal of Thermophysics, Vol 14, 1993.
- [7] Vargaftik et al, *International Tables of the Surface Tension of Water*, Journal of Physical and Chemical Reference Data, Vol 12, 1983.