

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ VÀ KIỂM NGHIỆM BỀN VAN CỬA ĐIỆN PHÒNG NỔ DN300 CHỊU ÁP LỰC CAO TRONG KHAI THÁC MỎ HẦM LÒ

Trần Việt Linh^{1,*}, Đặng Vũ Đình¹, Nguyễn Đức Minh², Nguyễn Thị Hải Yến¹

¹Trường Đại học Mở - Địa chất, 18 Phó Viên, Hà Nội, Việt Nam

²Viện cơ khí năng lượng và Mỏ - Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 02/3/2026

Ngày nhận bài sửa: 30/3/2026

Ngày chấp nhận đăng: 04/4/2026

*Tác giả liên hệ:

Email: tranvietlinh@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, tính toán và mô phỏng kiểm nghiệm bền cho van cửa điện phòng nổ DN300, phục vụ hệ thống bơm thoát nước tại các mỏ than hầm lò có điều kiện làm việc khắc nghiệt. Nghiên cứu tập trung vào việc xác định các thông số hình học tối ưu và lựa chọn vật liệu thép không gỉ SUS 304 nhằm chống ăn mòn trong môi trường nước a xít. Bằng phương pháp tính toán giải tích kết hợp với mô phỏng, nhóm tác giả đã xác định được chiều dày đĩa van cần thiết là 110 mm và chiều dày nắp van là 12 mm để chịu được áp suất làm việc 6,4 MPa. Kết quả mô phỏng cho thấy ứng suất và chuyển vị của thân van nằm trong giới hạn cho phép (chuyển vị lớn nhất 0,0289 mm), đảm bảo độ tin cậy và an toàn phòng nổ theo tiêu chuẩn TCVN và QCVN hiện hành.

Từ khóa: Van phòng nổ, DN300-PN64, tự động hóa hầm lò

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

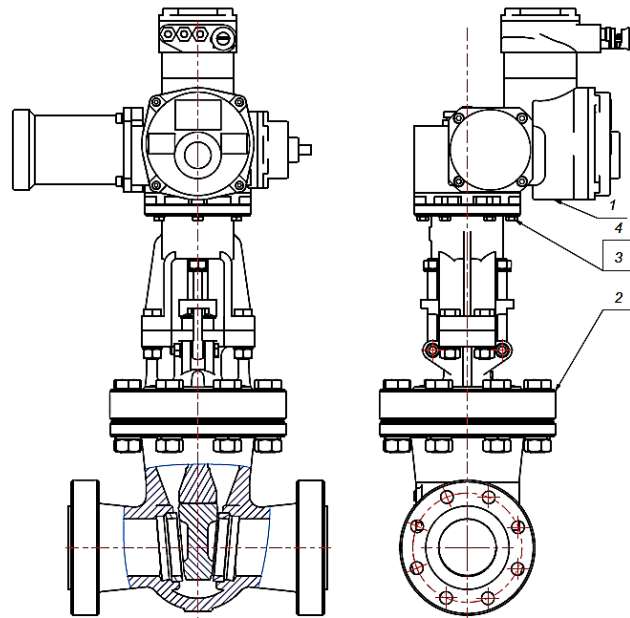
Trong khai thác mỏ hầm lò, hệ thống thoát nước đóng vai trò then chốt đảm bảo an toàn sản xuất. Các thiết bị trên đường ống, đặc biệt là van điều khiển, phải làm việc trong môi trường nước mỏ có tính a xít mạnh, bụi than và nguy cơ cháy nổ cao. Van cửa (Gate valve) là loại van được sử dụng phổ biến trong các hệ thống dẫn nước áp lực do có cấu tạo đơn giản, độ kín cao và tổn thất áp suất nhỏ. Tuy nhiên, đối với môi trường mỏ hầm lò có chứa khí cháy nổ như khí mê tan, các thiết bị điện điều khiển van phải được thiết kế theo tiêu chuẩn phòng nổ. Bên cạnh đó, điều kiện làm việc khắc nghiệt với áp suất cao và môi trường ăn mòn cũng đặt ra yêu cầu cao đối với độ bền và độ tin cậy của van. Hiện nay, các loại van điện phòng nổ công suất lớn chủ yếu phải nhập khẩu từ Trung Quốc (dòng Z941H). Việc tự chủ thiết kế và nội địa hóa sản phẩm này không chỉ giúp giảm chi phí mà còn chủ động trong bảo trì. Xuất phát từ những yêu cầu thực tế nêu trên, bài báo này tập trung nghiên cứu tính toán thiết kế và kiểm nghiệm van điện phòng

nổ DN300 chịu áp lực lên tới 6,4 MPa dùng cho hệ thống bơm thoát nước mỏ hầm lò.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cấu tạo chung của van điện phòng nổ

Cấu tạo chung của van điện phòng nổ được thể hiện trong Hình 1. Van điện phòng nổ là thiết bị sử dụng bộ truyền động điện để điều khiển van trong môi trường mỏ hầm lò đảm bảo tuân thủ quy chuẩn 01:2011/BCT và các tiêu chuẩn phòng nổ: TCVN 10888-0: 2015, TCVN 10888-1: 2015; TCVN 7079-7: 2002. Cấu tạo van điện phòng nổ chủ yếu được chia thành 2 phần: bộ truyền động điện và bộ phận kết cấu cơ khí, hai phần này được kết nối với nhau thông qua mặt bích được lắp ghép bằng bu lông. Phần cơ khí của van điện phòng nổ có thiết kế giống dạng Van cửa là bộ phận đảm nhận chức năng chính trong việc đóng - mở hoặc điều tiết lưu lượng chất lỏng trong hệ thống đường ống, được thiết kế phù hợp với điều kiện làm việc khắc nghiệt trong mỏ hầm lò.

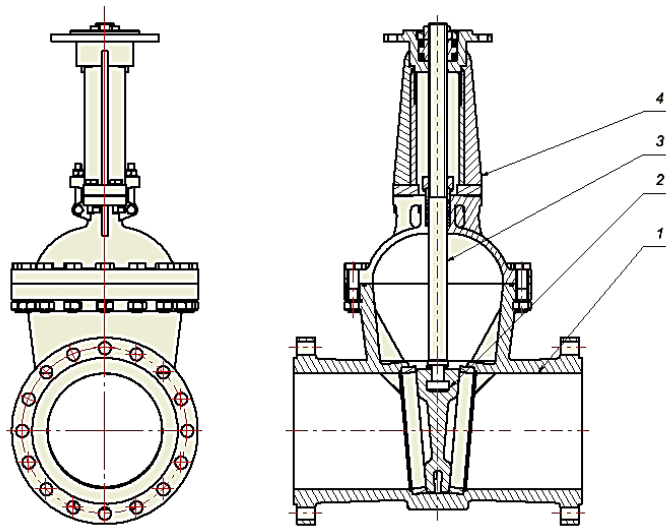


Hình 1. Cấu tạo chung van điện phòng nổ

1 - Bộ truyền động điện; 2 - Bộ truyền động cơ khí; 3,4 - Bu lông kết nối

Cấu tạo cơ bản của phần cơ khí gồm các chi tiết chính được thể hiện ở Hình 2. Toàn bộ cụm phần cơ khí được thiết kế chịu được áp lực cao, độ rung, độ ẩm và bụi, đồng thời phù hợp để kết hợp với bộ truyền động điện phòng nổ nhằm tạo thành một cụm van điện hoàn chỉnh, đảm bảo vận hành an toàn trong môi trường có nguy cơ cháy nổ.

Bộ truyền động điện có thiết kế giống dạng bộ truyền động điện ZB (Trung Quốc) là một phần quan trọng của hệ thống điều chỉnh điện. Nó nhận đầu ra tín hiệu từ bộ điều khiển điện và chuyển đổi nó thành lực hoặc mô men xoắn thích hợp để điều khiển cơ cấu điều chỉnh, nhằm điều chỉnh liên tục dòng chất lỏng trong đường ống trong quá trình sản xuất.



Hình 2. Kết cấu phần cơ khí của van

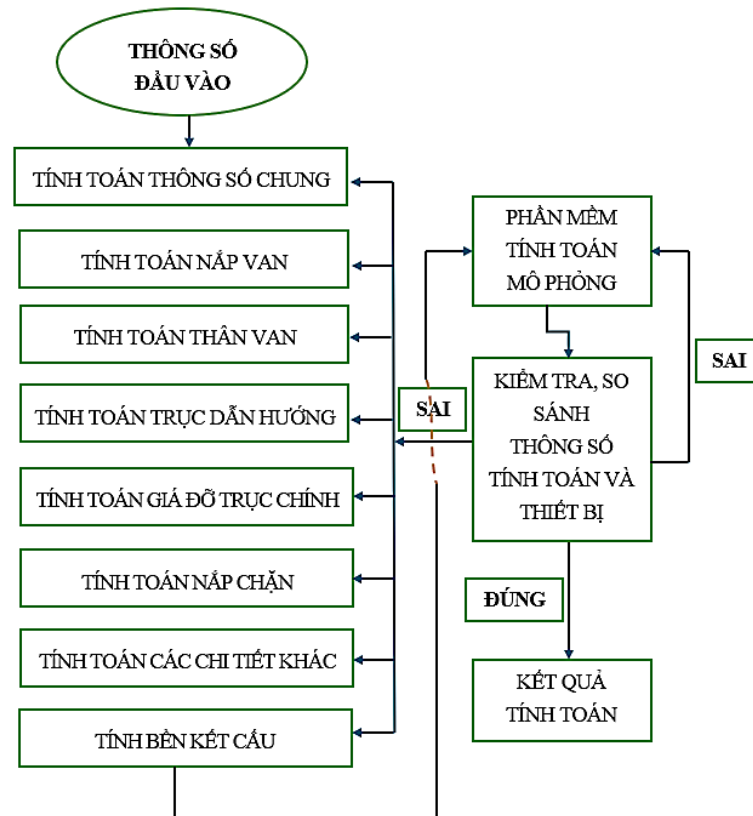
1 - Thân van; 2 - Đĩa van; 3 -Trục ren; 4 - Giá đỡ van

2.2. Tính toán thiết kế van điện phòng nổ

Yêu cầu thiết kế và lựa chọn phần cơ khí, dạng Van chịu áp lực cao (PN64) được xác định dựa trên điều kiện làm việc khắc nghiệt của hệ thống

bơm trong mỏ than hầm lò, trong đó áp suất, môi trường ăn mòn và độ tin cậy vận hành là các yếu tố quyết định.

Trình tự các bước tính toán được thể hiện theo sơ đồ khối dưới đây (Hình 3):



Hình 3. Sơ đồ khối các bước tính toán phân cơ khí van điện phòng nổ

2.2.1 Tính toán thiết kế các thông số chung

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tính toán các thông số cơ bản của van điện phòng nổ dựa trên dữ liệu phục vụ thiết kế thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số thiết kế van điện phòng nổ

TT	Thông số đầu vào	Chú giải	Đơn vị
1	Loại van	Van điện phòng nổ (dạng van cầu)	
2	Van điện phòng nổ (dạng Van cửadiện);	300	mm
3	Áp suất thiết kế	6,4	MPa
4	Vật liệu chế tạo phần cơ khí	SUS304	
5	Môi trường làm việc	Nước mỏ hầm lò	
6	Nhiệt độ	- 20 ÷ 50	°C

Van là thiết bị định hướng, có chức năng điều chỉnh các dòng chảy như hướng, áp suất, lưu lượng. Đối với van cổng, dòng chất lỏng chảy theo đường thẳng, thường theo chiều ngang từ đầu vào đến đầu ra, trong khi bộ phận đóng mở van chuyển động theo chiều dọc.

Tính toán diện tích dòng chảy:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,707m^2 \quad (1)$$

Tính toán lưu lượng dòng chảy [1]:

$$Q = S \cdot v = 0,707 \cdot 2,0 = 0,141 m^3/s = 509 m^3/h \quad (2)$$

Với S - Tiết diện dòng chảy của van, m²;

v - Vận tốc dòng chảy chất lỏng, m/s. Theo tiêu chuẩn $v = (2 \div 4)$ m/s, chọn $v = 2$ m/s. [1]

Tổn thất áp suất được đưa ra bởi công thức [1].

$$\Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, N/m^2 \quad (3)$$

Trong đó:

K - hệ số cản dòng chảy, $K = 0,2$;

ΔP - Tổn thất áp suất qua van, N/m²;

ρ - Khối lượng riêng của chất lỏng, kg/m³, chất lỏng vận chuyển là nước, $\rho = 1000$ kg/m³;

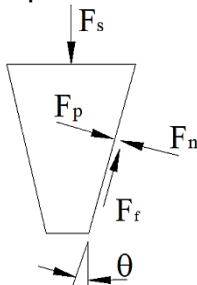
v - Vận tốc dòng chảy, m/s.

Thay số vào công thức (3), ta có:

$$\Delta P = 0,2 \cdot \frac{1000 \cdot 2^2}{2} = 400, N/m^2 \quad (4)$$

2.2.2. Tính toán thiết kế đĩa van

Đĩa van là bộ phận làm việc trực tiếp với môi chất, chịu áp lực và va đập trong quá trình đóng/mở. Khi van ở trạng thái đóng, toàn bộ áp suất làm việc tác dụng lên bề mặt đĩa, do đó đĩa phải được thiết kế đủ độ bền, độ cứng và độ kín khít để đảm bảo an toàn và tuổi thọ thiết bị. Góc nêm θ của đĩa van là thông số quyết định khả năng tự hãm và độ kín khít của van cổng:



Hình 4. Sơ đồ cân bằng đĩa van dưới tác dụng áp suất khí đóng [2]

Lực tác dụng của trục van lên đĩa van [2]:

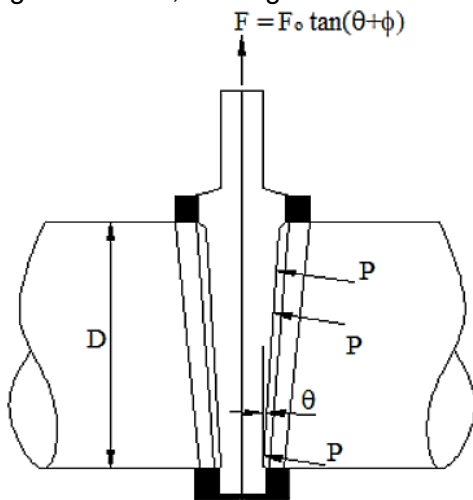
$$F_s = \frac{\mu}{\cos \theta - \mu \sin \theta} \cdot F_p, N \quad (5)$$

Ở đây: F_s - Lực tác dụng của trục van lên đĩa van, N;

F_p - Lực do chênh lệch áp suất khí đóng và mở van, N;

μ - Hệ số ma sát giữa đĩa van và vòng đệm van;

θ - Góc nêm đĩa van. Với môi trường nước mở hầm lò, khi nhiệt độ môi chất thấp hơn 120°C, chọn góc nêm nhỏ, tức là góc nửa nêm $\theta \approx 3^\circ$.



Hình 5: Sơ đồ lực tác dụng lên đĩa van [3]

Lực tác dụng lên đĩa van (F_0) [3]

$$F_0 = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cos \theta} = 6,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4 \cdot \cos 3} = 0,4528 \cdot 10^6 N = 452,8 kN \quad (6)$$

Xác định chiều dày của đĩa van:

Đĩa van có thể được mô hình hóa như một tấm tròn chịu tải trọng phân bố đều. Để đảm bảo ứng suất uốn không vượt quá giới hạn cho phép, chiều dày của đĩa van tính theo phương trình (7), [4]:

$$t_d = D \cdot \sqrt{\frac{p_{max}}{k \cdot [\sigma]}}, mm \quad (7)$$

Trong đó:

D - Đường kính chịu áp (đường kính của vòng đệm/đĩa van), mm;

p_{max} - Áp suất làm việc tối đa, Pa;

$[\sigma]$ - Ứng suất cho phép (dựa trên độ bền chảy $\sigma_y = 205$ MPa và với hệ số an toàn $k = 2,5$; $[\sigma] = 80$ MPa;

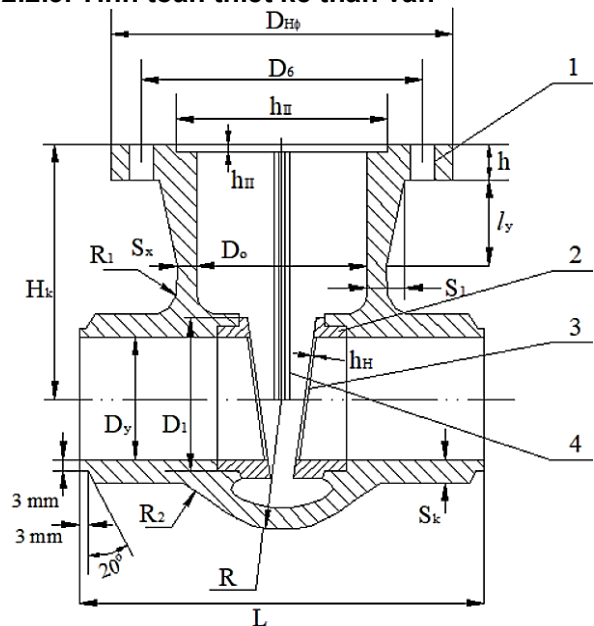
k - Hệ số phụ thuộc vào điều kiện biên (có định hay tự do) của tấm. Đối với đĩa van cổng, thường được xem là tấm cố định bốn phía. Trong trường hợp này, chọn $k \approx 0,6$.

Thay số có:

$$t_d = D \cdot \sqrt{\frac{P_{max}}{k \cdot [\sigma]}} = 300 \cdot \sqrt{\frac{6,4}{0,6 \cdot 80}} = 110 mm$$

Như vậy, chiều dày cần thiết của đĩa van để đảm bảo bền khi đóng mở van là 110 mm.

2.2.3. Tính toán thiết kế thân van



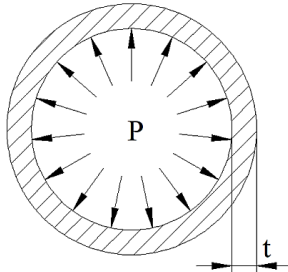
Hình 5. Mô hình thân van DN300-PN64 [5]



Tính chiều dày tối thiểu theo ASME B16.34

[6]:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot ([\sigma] \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C, \text{ mm} \quad (8)$$



Hình 6. Sơ đồ xác định chiều dày thân van

Trong đó:

t - Độ dày thành ống, mm;

P - Áp suất làm việc tối đa trong ống, P = 6,4 MPa

D: Đường kính của ống, D = 300 mm;

[σ] - Ứng suất cho phép của vật liệu thép phụ thuộc vào loại thép sử dụng. [σ] = 205 Mpa;

E - Hệ số hiệu suất mối hàn (thường từ 0,6 đến 1,0, với ống đúc liền mạch E = 1,0);

C: Lượng dư ăn mòn, C = 3 mm.

Thay số tính được:

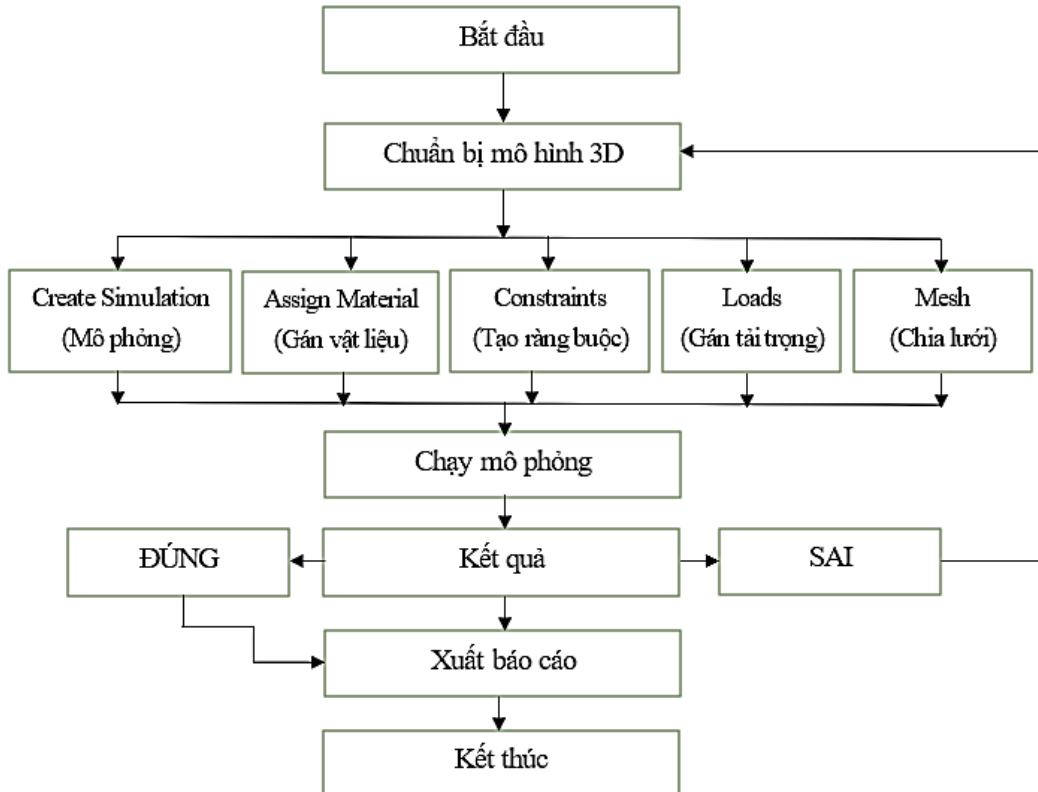
$$\begin{aligned} t &= \frac{p \cdot D}{2 \cdot ([\sigma] \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C \\ &= \frac{6,4 \cdot 300}{2 \cdot (205 \cdot 1 - 0,6 \cdot 6,4)} + 3 \\ &= 6,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

Theo Tiêu chuẩn ASME B16.34 cung cấp các bảng chiều dày thân van tối thiểu dựa trên cấp áp suất và kích thước. Đối với van DN 300, chiều dày thân van tiêu chuẩn là 10 mm.

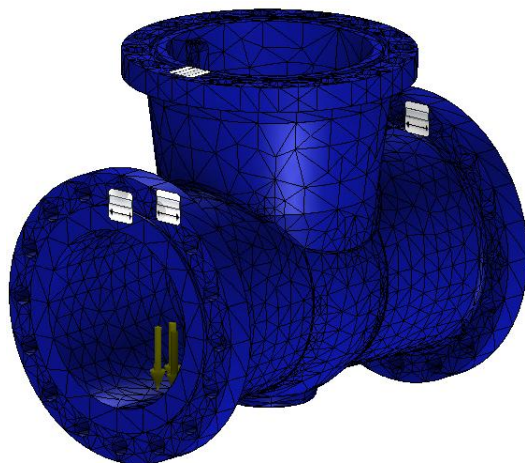
Theo kinh nghiệm và tài liệu tính toán [5], lựa chọn các thông số của thân van như Bảng 2.

2.3. Kiểm nghiệm van cổng D300

Trong nội dung này, mô hình hình học của thân van DN300 được xây dựng và phân tích bằng phần mềm ANSYS. Vật liệu sử dụng là thép không gỉ SUS304 với mô đun đàn hồi 193 GPa và giới hạn chảy 205 MPa. Áp suất làm việc được thiết lập ở mức 6,4 MPa. Các mặt bích được ràng buộc theo điều kiện lắp ghép với đường ống. Sơ đồ khối mô phỏng được thể hiện ở Hình 7, mô hình kết cấu thân van (Hình 8). Một số kết quả kiểm nghiệm van thể hiện trong các Hình 9 ÷ Hình 12.

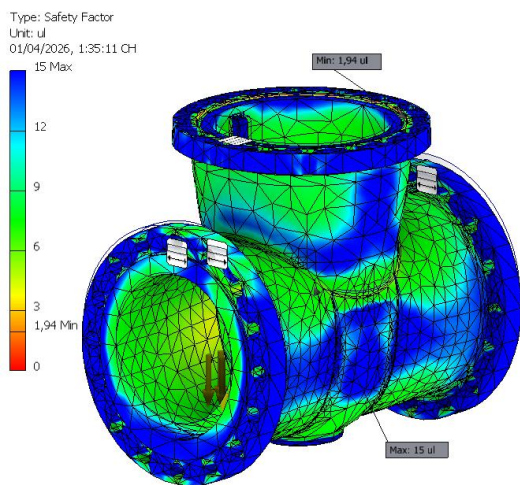


Hình 7. Sơ đồ khối mô phỏng bên thân van

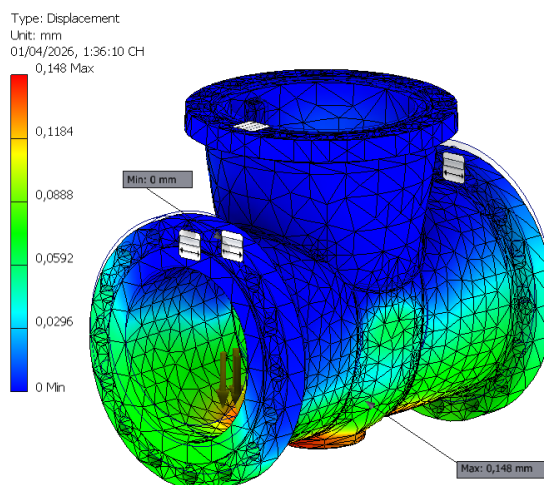


Hình 8. Mô hình kết cấu thân van và khai báo vật liệu

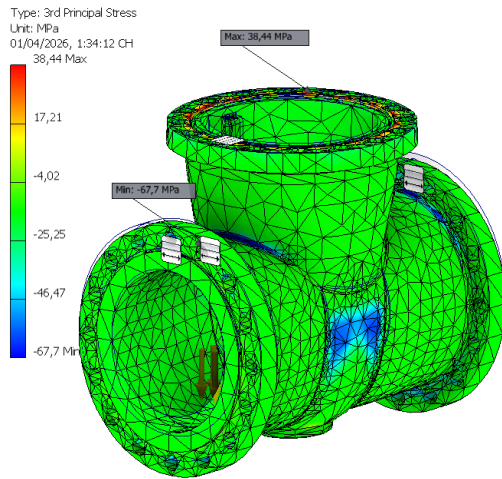
Physical			Material		
Material	Steel, High Strenq, Low Alloy		Name	Steel, High Strenq, Low Alloy	
Density	7,93	g/cm ³	General	Mass Density	7,93 g/cm ³
Mass	330,449	kg		Yield Strength	210 Mpa
Area	2780580	mm ²		Ultimate Tensile Strength	515 Mpa
Volume	42095400	mm ³	Stress	Young's Modulus	193 Gpa
Center of Gravity	x = 0,0199391	mm		Poisson's Ratio	0,29
	y = 66,7035	mm		Shear Modulus	77,7001 Gpa
	z = -0,000854	mm			
Part Name(s)			Thân van DN300 ipt		



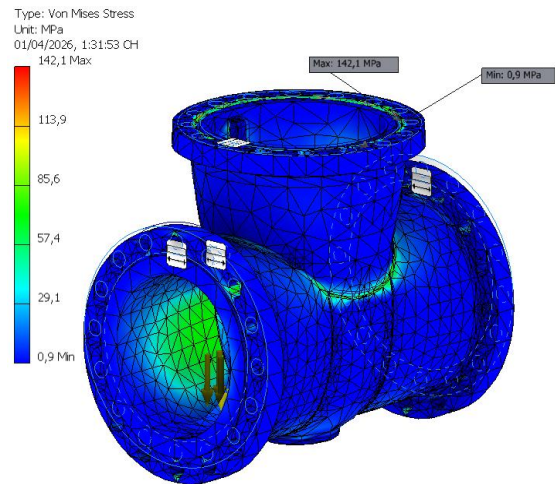
Hình 9. Kết quả tính toán hệ số an toàn



Hình 10. Kết quả tính toán chuyển vị



Hình 11. Kết quả tính toán bền theo 3rd Principal Stress



Hình 12. Tổng hợp ứng suất tác dụng lên thân van

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả mô phỏng hệ số an toàn thân van được thể hiện trong Hình 9. Ứng suất tập trung chủ yếu tại các vị trí biên và mép mặt bích. Hệ số an toàn tại một số điểm mép đạt 1,94 do vậy thân van vẫn trong vùng làm việc an toàn của vật liệu SUS 304.

Kết quả mô phỏng chuyển vị của thân van thể hiện trong Hình 10. Kết quả mô phỏng cho thấy, dưới tác dụng của áp lực lên thân van, chuyển vị lớn nhất của thân van là 0,148 mm, chuyển vị này rất nhỏ so với kích thước tổng thể, đảm bảo tính ổn định kết cấu.

Mô hình và kết quả tổng hợp ứng suất tác dụng lên thân van được thể hiện trong Hình 12. Từ mô hình ta thấy ứng suất lớn nhất tác dụng lên thân van là 142,1 MPa, với vật liệu gia công thân van là SUS 304 có độ dày tối thiểu 10mm, giới hạn bền

kéo của vật liệu là $\delta_b = 515$ MPa. Ứng suất cho phép của vật liệu là $[\delta] = 429,16$ MPa (với hệ số an toàn của kết cấu $n = 1,2$). Ứng suất lớn nhất tác dụng lên thân van nhỏ hơn giá trị ứng suất cho phép của vật liệu chế tạo thân van. Do vậy, kết cấu thân van đảm bảo điều kiện bền.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu thiết kế và tính toán kỹ thuật cho van cổng điện phòng nổ DN300 - PN64. Các chi tiết quan trọng như thân van, đĩa van và trục van đều đáp ứng điều kiện bền và chuyển vị dưới áp suất 6,4 MPa. Sản phẩm thiết kế đáp ứng đầy đủ các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn khai thác than (QCVN 01:2011/BCT), tạo tiền đề cho việc sản xuất nội địa hóa thiết bị an toàn ngành mỏ. Các thông số thiết kế thân van thể hiện trong Bảng 2:

Bảng 2. Thông số thiết kế thân van [5]

TT	Thông số	Công thức tính toán và kết quả
1	Đường kính thân danh định D_0	$D_0 = 1,4D = 1,4 \times 300 = 420mm$
2	Đường kính vành ngoài bích nắp $D_{H\phi}$	$D_{H\phi} = (1,4 \div 1,6). D_0 = 588 \div 672mm$
3	Đường kính tâm lỗ bu lông bích nắp D_δ	$D_\delta = (1,2 \div 1,3). D_0 = 504 \div 506mm$
4	Đường kính ngoài vòng đệm bích nắp $D_{\Pi H}$	$D_{\Pi H} = D_0 + (2,0 \div 2,5)S_K = 440 \div 445mm$
5	Chiều cao bích nắp, h	$h = (1,8 \div 2,0)S_K = 18 \div 20mm$
6	Bề rộng gân của bích nắp S_1	$S_1 = (1,5 \div 2,0)S_K = 15 \div 20mm$
7	Độ dày lớp vòng đệm nắp h_{Π}	$h_{\Pi} = 3 \div 4mm$
8	Chiều cao mặt trên bích so với tâm lỗ đường ống H_K	$H_K = 1,4D_{HT} = 1,4.350 = 490mm$
9	Bán kính bo R_1, R	$R_1 = (1,0 \div 1,5)S_K = 10 \div 15mm$ $R = D_0/2 = 210mm$
10	Chiều cao gân mặt bích nắp l_y	$l_y \geq 1,3 \cdot \sqrt{0,5 \cdot D_0 \cdot S_1} = 73 \div 84mm$



4. KẾT LUẬN

➤ Nghiên cứu đã hoàn thành việc thiết kế chi tiết và kiểm nghiệm cho van điện phòng nổ DN300. Việc lựa chọn vật liệu SUS 304 và tính toán chiều dày các chi tiết chịu áp lực (độ dày đĩa van 110 mm, độ dày nắp 12 mm) đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn an toàn trong mỏ hầm lò;

➤ Kết quả mô phỏng cho thấy kết cấu có độ cứng vững cao, biến dạng tương đối nhỏ (0,148

mm), đảm bảo khả năng làm kín và vận hành ổn định. Đây là cơ sở quan trọng để tiến tới chế tạo thử nghiệm van điện phòng nổ và thay thế hàng nhập khẩu;

➤ Nghiên cứu này là tài liệu tham khảo cho các nhà thiết kế tham khảo trong quá trình tính toán, thiết kế van điện phòng nổ áp dụng trong các mỏ khai thác hầm lò cũng như yêu cầu làm chủ được thiết kế trong nước □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Idelchik, I.E, *Handbook of Hydraulic, Resistance* CRC Press, 1994.
- [2] J. K. Wang, M. S. Kals, "Improvements in Motor Operated Gate Valve Design and Prediction Models for Nuclear Power Plant Systems", NUREG/CR-5807, KEI No. 1721,1992.
- [3] Y. Dvir, *Flow control Devices*, Control Appliances Books, p.384, 1995.
- [4] Timoshenko, S. and Woinowsky-Krieger, *Theory of Plates and Shells*, McGraw-Hill, New York, 1959.
- [5] Плотников, П. Н. "Недоживина, Запорная задвижка с приводной головкой. Расчет и конструирование: учебно-методическое пособие", Издательство Уральского университета. P 136, (2015).
- [6] American Society of Mechanical Engineers (ASME), *Valves Flanged, Threaded and Welding End*, ASME B16.34 Standard for Valves, Online, Accessed: Mar. 31, 2026.

DESIGN CALCULATION AND STRENGTH TESTING OF EXPLOSION-PROOF ELECTRIC GATE VALVE DN300 UNDER HIGH PRESSURE IN UNDERGROUND MINING

Viet Linh Tran^{1,*}, Vu Dinh Dang¹, Duc Minh Nguyen², Thi Hai Yen Nguyen¹

¹Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam

²Vinacomin Institute of Energy & Mining Mechanical Engineering, 565 Nguyen Trai, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 02/3/2026

Revised: 30/3/2026

Accepted: 04/4/2026

^{1,*} Corresponding author:

Email: tranvietlinh@humg.edu.vn

ABSTRACT

This paper presents the results of a design, calculation, and durability simulation study for a DN300 explosion-proof electric gate valve, used in drainage pumping systems in underground coal mines with harsh working conditions. The study focuses on determining optimal geometric parameters and selecting SUS 304 stainless steel material to resist corrosion in acidic water environments. Using analytical calculation combined with simulation, the authors determined the required valve disc thickness to be 110 mm and the valve cover thickness to be 12 mm to withstand a working pressure of 6.4 MPa. Simulation results show that the stress and displacement of the valve body are within permissible limits (maximum displacement 0.148 mm), ensuring reliability and explosion-proof safety according to current TCVN and QCVN standards.

Keywords: Gate valve, DN300-PN64, pump submersible automation, underground minebasin

@ Vietnam Mining Science and Technology Association