

NGHIÊN CỨU, TÍNH TOÁN, CHẾ TẠO BỂ THỬ TẠO ÁP CHO THỬ NGHIỆM CÁC THIẾT BỊ DƯỚI NƯỚC

RESEARCH, CALCULATION, AND MANUFACTURING OF A PRESSURE TANK FOR TESTING UNDERWATER EQUIPMENT

Nguyễn Xuân Tiến¹, Nguyễn Quang Huân^{2,*}, Trần Quốc Đạt³, Nguyễn Thị Hà Thương³

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

²Viện Thiết kế tàu quân sự

³Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật công nghiệp

*Email: quanghuanmisd@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, tính toán và thiết kế bể thử tạo áp nhằm phục vụ kiểm tra, đánh giá các thiết bị dưới nước, đặc biệt là thiết bị tự nổi sử dụng cho robot Pluto plus. Nhằm kiểm tra độ kín, độ bền, độ nổi của thiết bị tự nổi, việc chế tạo một bể thử nghiệm giúp rút ngắn thời gian thử nghiệm trong môi trường thực đồng thời nâng cao chất lượng thử nghiệm. Bể thử cho phép tạo áp suất đến giá trị áp suất đặt mong muốn tương ứng với độ sâu cần thử nghiệm. Bể thử được tích hợp chương trình điều khiển tự động và bằng tay, đảm bảo độ chính xác cao, an toàn và thuận tiện cho quá trình thử nghiệm. Kết quả nghiên cứu và chế tạo cho thấy bể thử đáp ứng đầy đủ yêu cầu kỹ thuật, giúp cho quá trình đánh giá kiểm định các thiết bị dưới nước.

Từ khóa: Bể thử tạo áp; Thiết bị dưới nước; Robot Pluto plus.

ABSTRACT

This paper presents the research results, calculations, and design of a pressure testing tank to serve the inspection and evaluation of underwater equipment, especially self-floating devices used for the Pluto plus robot. To test the waterproofness, durability, and buoyancy of the self-floating device, constructing a testing tank helps shorten the testing time in a real environment while improving the quality of the tests. The tank allows for creating pressure up to the desired set value corresponding to the required testing depth. The testing tank is integrated with automatic and manual control programs, ensuring high accuracy, safety, and convenience during the testing process. The research and manufacturing results show that the testing tank fully meets technical requirements, facilitating the evaluation and certification of underwater equipment.

Keywords: Pressure testing tank; Underwater equipment; Pluto plus robot.



1. GIỚI THIỆU

Trong chiến tranh hiện đại, chống thủy lôi, chống tàu ngầm (thiết bị ngầm) và chống tên lửa là ba vấn đề nan giải lớn. Học thuyết chiến tranh hiện đại cũng chỉ rõ việc phong tỏa cắt đứt giao thương hàng hải, phong tỏa đường biển bằng thủy lôi, phương tiện ngầm đang là mối lo ngại đối với tất cả các quốc gia có đường biển trên thế giới. Kiểm chứng qua các cuộc chiến hiện nay ở Ucraina, Iran... các phương tiện ngầm có điều khiển không người lái ngày càng được sử dụng phổ biến như các phương tiện dưới nước như UUV (Unmanned Underwater Vehicles - Phương tiện dưới nước không người lái), ROUV (Remotely Operated Underwater Vehicle - Phương tiện dưới nước điều khiển từ xa), ROV (Remotely Operated Vehicle - Phương tiện vận hành từ xa), AUV (Autonomous Underwater Vehicle - Phương tiện dưới nước điều khiển tự động). Hiện tại, việc chế tạo các thiết bị, phương tiện dưới nước đang phát triển mạnh mẽ, Việt Nam một quốc gia biển cũng không nằm ngoài xu thế đó.

Trong quá trình chế tạo, thử nghiệm các thiết bị dưới nước như trên đòi hỏi bể thử nghiệm chuyên dụng cho thử nghiệm sản phẩm trước khi ra môi trường thực tế trên sông, hồ hoặc biển. Để giải quyết một phần bài toán thử nghiệm trên đòi hỏi phải xây dựng bể thử nghiệm trước khi đưa ra môi trường thực. Bài báo trình bày đến bể thử nghiệm tạo áp cho quá trình thử nghiệm thiết bị tự nổi (có kích thước dài $\times$ đường kính: 720 $\times$ Φ 260 mm) phục vụ cho robot Pluto plus (ROV). Mục đích xây dựng bể thử tạo áp nhằm đánh giá độ kín, độ bền, độ nổi của thiết bị ở độ sâu nhất định nhằm rút ngắn thời gian, công sức thử nghiệm trong môi trường thực, mà vẫn đánh giá được chính xác các tính năng của thiết bị tự nổi phục vụ cho robot Pluto plus.

Các thông số kỹ thuật của bể thử tạo áp cần phải đạt được như sau:

- Có kích thước chứa được thiết bị tự nổi;
- Tạo được áp suất và điều chỉnh áp suất theo giá trị mong muốn;
- Quan sát được quá trình tự nổi của thiết bị tự nổi trong quá trình hoạt động;
- Đảm bảo an toàn, dễ sử dụng, thao tác.

Trên cơ sở các yêu cầu đặt ra như trên, việc xây dựng bể thử tạo áp được trình bày tại mục 2.

2. GIẢI PHÁP THIẾT KẾ

2.1. Nguyên lý chung

Xét một điểm A nằm trong chất lỏng cách mặt thoáng chất lỏng một khoảng h. Gọi ρ là khối lượng riêng của chất lỏng, p_a là áp suất khí quyển tác dụng lên mặt thoáng của chất lỏng, khi đó áp suất tại A là:

$$p = p_a + \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Áp suất p còn gọi là áp suất thủy tĩnh hay áp suất tĩnh.

Khi bỏ qua p_a đến áp suất khí quyển tác dụng lên thiết bị, ta có:

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$

ρ - Khối lượng riêng của chất lỏng ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Đối với nước ngọt $\rho = 1000$, đối với nước biển $\rho = 1030 \div 1050$.

g - Gia tốc trọng trường ($9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).

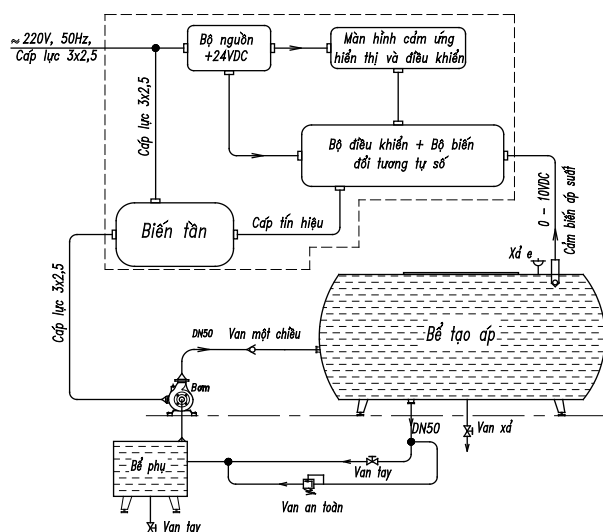
Từ (2) cho ta thấy áp suất tác dụng lên vật thể ở độ sâu tương ứng theo thang quy đổi cứ 10m nước tương ứng 0,981 atm.

Trên cơ sở đó thiết kế bể thử tạo áp có áp suất biến đổi tương ứng độ sâu của môi trường nước phục vụ thử nghiệm cho các thiết bị dưới nước.

2.2. Cấu hình cơ bản của thiết bị

Cấu hình cơ bản của bể thử tạo áp gồm (hình 1):

- Bể tạo áp: Được chế tạo bằng thép SS400 tấm, hình tròn trụ có đường kính $\times$ chiều dài (đáp ứng được kích thước vật thử dài đến 1000 mm): $\Phi 1360 \times 1800$ (mm); chịu được tải áp làm việc đến 4 atm - tương ứng với độ sâu của nước đến 40 m.
- Bộ phận điều khiển: Sử dụng bộ điều khiển PLC S7-1200, kết hợp biến tần;
- Các phần tử chấp hành, hiển thị: Bơm tạo áp, van điện tuyến tính;
- Màn hình cảm ứng hiển thị và điều khiển: HMI (Human Machine Interface);
- Thiết bị đo: Cảm biến áp suất, đồng hồ đo áp suất cơ;
- Các vật tư khác gồm: Van xả khí, van xả đáy, van an toàn, cửa nhìn...

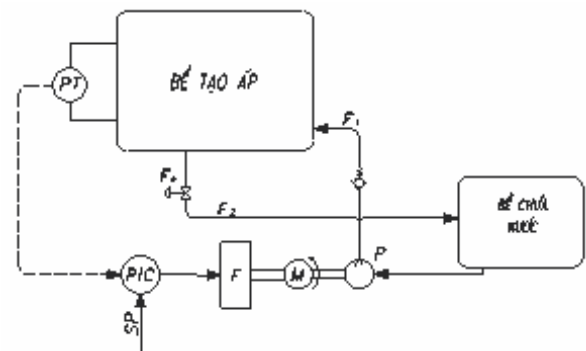


Hình 1. Cấu hình cơ bản của thiết bị

2.3. Nguyên lý hoạt động

Bể tạo áp được làm bằng thép, ban đầu nước thông qua hệ thống bơm tạo được điều khiển bằng biến tần và PLC được bơm đầy vào bể tạo áp thông qua quá trình nhập liệu từ màn hình HMI có áp suất từ $0 \div 4$ atm tương ứng với độ sâu của thiết bị cần thử. Bể thử có thiết bị van xả, đường nước hồi, đồng hồ đo áp cơ, hệ thống cảm biến đo áp suất để đo các thông số phục vụ cho quá trình điều khiển, duy trì áp suất nước.

Việc sử dụng biến tần trong điều khiển làm thay đổi tần số mạch điện do đó làm thay đổi số vòng quay trên trục động cơ, theo luật tương tự trong máy bơm ly tâm, khi số vòng quay thay đổi thì lưu lượng và cột áp của bơm sẽ thay đổi theo. Tường minh hơn, lưu đồ P&ID [2] thể hiện điều khiển quá trình tạo áp bể thử nghiệm như hình 2.



Hình 2. Lưu đồ P&ID điều khiển quá trình tạo áp cho bể thử nghiệm mìn huấn luyện (SP: Giá trị đặt ban đầu, PIC: Bộ xử lý, F: Biến tần, M: Động cơ bơm, P: Bơm, F_1 : Dòng vào bể tạo áp, PT: Đo áp, F_2 : Dòng xả về bể chứa; F_3 : Van mở an toàn)

Hệ biến tần áp dụng nguyên lý điều khiển vòng kín. Áp suất đo từ cảm biến (PT) tại bể tạo áp được đưa về bộ xử lý, so sánh với tín hiệu áp lực được cài đặt (SP) theo yêu cầu. Sai lệch giữa hai trị số này sẽ được chương trình cài đặt riêng cho hệ thống xử lý để đưa ra tín

hiệu điều khiển tối ưu đến bộ biến tần. Bộ biến tần được lập trình xử lý tín hiệu đó và đưa ra tần số thích hợp cho dòng điện vào động cơ.

Bể thử tạo áp như hình trên có quá trình điều khiển là ổn định tạo áp suất nước, mô hình điều khiển của hệ thống xác định như hình trên với các tham số cụ thể như sau:

- Tham số đầu vào: Giá trị áp suất đặt từ màn hình điều khiển HMI của hệ thống nằm trong dải từ $0 \div 4$ atm tương ứng với giá trị điện áp điều khiển trên đầu ra bộ biến đổi DAC.

- Tín hiệu vòng phản hồi: Tín hiệu vòng phản hồi về là giá trị áp suất bể thử trong khoang dẫn, giá trị này cần đạt là $0 \div 4$ atm ở dạng tín hiệu tương tự.

- Yêu cầu: Áp suất tạo ra P_{ra} cần có sai số không quá 5% so với giá trị áp suất đặt P_d .

2.4. Tính toán thiết kế

2.4.1. Tính toán phần cơ khí

Với mục đích chính của bể thử là tạo ra môi trường thử sát với môi trường thực tế phục vụ thử nghiệm sản phẩm, bể thử cho thử nghiệm sản phẩm có các thông số cơ bản sau:

Bể tạo áp có kích thước dài $\times$ cao $\times$ đường kính – $1800 \times 1450 \times \Phi 1360$ (mm).

Vật liệu bể thử thép SS400 dày 8mm.

Áp suất bể thử cần tạo ra từ $0 \div 4$ atm tương ứng với độ sâu $0 \div 40$ m nước.

Thân bể được thiết kế dạng hình trụ tròn, vật liệu thép SS400.

Công thức kiểm tra ứng suất σ [1]:

$$\sigma = p.D/2.t \quad (3)$$

Trong đó:

- p: Áp suất thử nghiệm (N/m^2);
- D: Đường kính tương đương bể tạo áp (m);
- t: Chiều dày thành bể (m).

Thay số vào:

- $p = 4 \text{ atm} = 0,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$;

- $D = 1,36 \text{ m}$;

- Lựa chọn vật liệu thép SS400 dạng tấm, độ dày $t = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$.

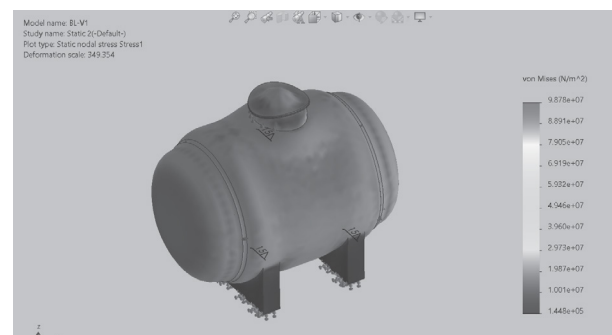
Thay vào (3), ta có: $\sigma = (0,4 \times 10^6 \times 1,360) / (2 \times 0,008) = 544000 / 0,016 = 34 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 34 \text{ MPa}$.

Kết quả: $\sigma = 34 \text{ MPa} < \sigma_{\text{chảy}} = 205 \text{ MPa}$.

Kết luận bể đảm bảo an toàn.

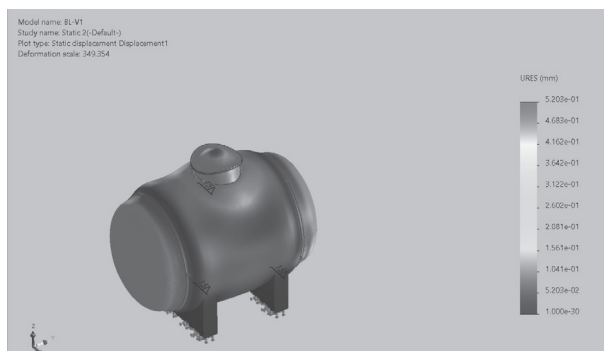
Để kiểm chứng kết quả tính toán: sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với áp suất làm việc tối đa 4 atm, hệ số an toàn đạt $k > 2$ so với giới hạn chảy của vật liệu.

Xây dựng mô hình bể thử trên phần mềm 3D và kiểm bền kết cấu bể thử nhằm đánh giá tính khả thi của phương án cho ta kết quả sơ bộ như hình dưới đây.



Hình 3. Kiểm bền ứng suất bể thử khi chịu áp lực 4 atm

Giá trị ứng suất sau kiểm bền lớn nhất đạt $98,78 \text{ MPa} < \text{giá trị ứng suất cho phép của vật liệu SS400 (từ 205-245 MPa)}$ khẳng định chọn độ dày $t = 8 \text{ mm}$ kết cấu đủ điều kiện bền.



Hình 4. Chuyển vị

Chuyển vị sau tính toán lớn nhất đạt 0,523mm, giá trị này là rất nhỏ và ở trạng thái mắt thường khó quan sát được độ phòng của bể thử. Điều này khẳng định kết cấu lựa chọn và độ bền là đạt yêu cầu.

2.4.2. Tính chọn phần điều khiển

* Bộ điều khiển trung tâm PLC S7 1200 với các thông số:

Loại CPU SIMATIC S7-1200, CPU 1211C; Cấu hình cổng vào ra DC/DC/RLY; Số lượng 6 DI/24V DC; 4 DO/24V DC; 2 AI 0 ÷ 10V DC; Nguồn cấp: DC 20.4 ÷ 28.8V DC; Bộ nhớ chương trình 25 KB.

* Màn hình cảm ứng, hiển thị và điều khiển hoạt động hệ thống Delta 107DV:

+ Loại màn hình Delta HMI, 107 DV; Phím chức năng loại Key/touch; Kích thước hiển thị 7" TFT; 65536 màu;

+ Giao diện kết nối PROFINET; Cấu hình từ phần mềm Delta DOP.

* Khối xử lý tín hiệu tương tự SM 1231:

+ Loại modul SIMATIC S7-1200 cổng vào tương tự SM 1231;

+ Số cổng 4 AI, các dải đầu vào ± 10 V, ± 5 V, ± 2.5 V hoặc 0-20 mA/4-20 mA, 12 bit+sign (13 bit ADC).

* Khối xử lý tín hiệu tương tự SM 1232:

+ Loại SIMATIC S7-1200 cổng ra tương tự SM 1232;

+ Số lượng cổng 4 AO, dải đầu ra ± 10 V, độ phân giải 14bit, hoặc 0-20 mA/4-20 mA, 13bit.

- Bơm tạo áp: Sử dụng bơm tạo áp thủy lực dùng để nén chất lỏng làm việc vào các đường ống chính với lưu lượng biến đổi được điều chỉnh điều hòa (từ 0 đến giá trị cực đại), cũng như để thay đổi hướng chảy của chất lỏng làm việc.

Lựa chọn bơm tạo cột cấp cao tương ứng > 50m nước, ta có thể chọn bơm Forune 750 với các thông số sau:

+ Model: Forune; Công suất: 750W; Điện áp: 1P/220V-50HZ; Cột áp: 66m; Hút sâu: 9m; Lưu lượng: 12,6m³/h; Họng hút xả: 25,4mm; Cấp bảo vệ IP55.

- Tính toán lựa chọn biến tần:

Với bài toán xây dựng bể thử trên, việc sử dụng thêm biến tần sẽ giúp duy trì áp suất đặt được chính xác, đảm bảo tối ưu hệ thống, tiết kiệm điện năng, đặc biệt trong điều kiện thử nhiều lần với thời gian dài.

Tính toán lựa chọn bơm trong quá trình làm việc, công suất bơm chỉ thay đổi trong dải công suất (50%-100%) và làm việc chủ yếu trong dải công suất (60-80)% là công suất định mức của động cơ. Do đó, biến tần cần chọn sao cho số vòng quay máy bơm chỉ thay đổi trong dải (80-100)%.



Với công suất bơm là 0,75 kW, ta có thể chọn biến tần có trị số công suất bằng 1,5 lần công suất bơm. Như vậy, chúng ta có thể chọn loại biến tần 1,2 kW hoặc 1,5 kW. Tuy nhiên, hiện nay xét về mức độ phổ biến của biến tần có thể chọn loại là 2,2 kW. Chọn biến tần Frecon có công suất 2,2 kW, điện áp 1 Pha, 220V.

Các thiết bị bộ điều khiển, biến tần, bộ nguồn, màn hình cảm ứng HMI được thiết kế lắp đặt trong tủ điều khiển.

- Cảm biến áp suất: Sử dụng cảm biến áp suất D2415 để đo, giám sát tín hiệu phản hồi từ bể tạo áp về bộ điều khiển, cảm biến được lắp đặt vào thân bể chính.

Dây đo áp suất tùy chọn: $0 \div 4$ atm;

Tín hiệu ngõ ra: $4 \div 20$ mA;

Nguồn cấp cho cảm biến có giá trị: -10 ÷ 10 VDC.

- Van an toàn: Lựa chọn van an toàn nhằm đảm bảo an toàn cho hệ thống. Sử dụng van Tungfa Model S10-LHP; áp suất cài đặt từ $3 \div 10$ kg/cm². Với dải áp suất làm việc từ $0 \div 4$ atm. Có thể đặt giá trị van an toàn là 5 kg/cm².

- Các thiết bị đi kèm khác: Gồm đồng hồ đo áp suất cơ Ligi dải hiển thị $0 \div 10$ atm. Van xả e khí nén, van tay xả nước, van một chiều, cửa nhìn trong suốt... được lắp đặt trên bể chính. Tại các vị trí cần làm kín được làm kín theo tiêu chuẩn [3, 4] đảm bảo thiết bị không bị rò rỉ nước trong quá trình hoạt động.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Sản phẩm sau chế tạo

Sau khi chế tạo sản phẩm và lựa chọn trang thiết bị sản phẩm bể thử tạo áp đạt được các thông số cụ thể sau.

Bảng 1. Các thông số đạt của bể thử tạo áp

TT	Thông số kỹ thuật	ĐVT	Giá trị cần đạt
1	Nguồn điện cung cấp (V; f)	V; Hz	220±22; 50±2
2	Công suất tiêu thụ, không lớn hơn	kW	3,3
3	Kích thước (Dài × Đường kính × Cao)	mm	(1800±10) × (1360±10) × (1600±20)
4	Vật liệu bể thử	-	Thép SS400, dày 8mm
5	Khả năng tạo áp	atm	Từ $0 \div 4$
6	Sai số hệ thống	%	± 5
7	Tủ điều khiển:		
	- Kích thước (D × R × C)	mm	500 × 400 × 250
	- Nguồn điện cấp (V; f)	V; Hz	220±22; 50±2
8	Máy bơm:		
	- Nguồn cấp (điện áp, tần số)	V; Hz	220±22; 50±2
	- Công suất tiêu thụ	W	750
	- Cột áp lớn nhất	m	66



Hình 5. Sản phẩm bể thử tạo áp sau chế tạo

3.2. Đánh giá hoạt động

Bể thử nghiệm tạo ra có hai chế độ làm việc để tiện cho nhập dữ liệu. Gồm chế độ làm việc tự động và chế độ làm việc bằng tay. Trong chế độ làm việc bằng tay, giá trị áp suất của bể có thể tăng từ từ bằng cách điều chỉnh nút xoay chiết áp để tăng áp suất bể. Trong chế độ tự động, ta có thể nhập trực tiếp giá trị đặt áp suất ban đầu vào vị trí đặt áp suất.

Để đánh giá chất lượng sản phẩm, sản phẩm đã được kiểm định an toàn theo tiêu chuẩn bình chịu áp lực. Kiểm chuẩn sai số hệ thống đạt các thông số kỹ thuật không lớn hơn 5%, được cơ quan chức năng cấp giấy chứng nhận an toàn và đạt các thông số kỹ thuật như bảng 1.



Hình 6. Cửa sổ chế độ làm việc bằng tay, tự động trên màn hình HMI

4. KẾT LUẬN

- Bể thử đã được thiết kế và chế tạo với các thông số chính:

- Kích thước: 1800 × 1360 × 1600 mm;
- Khối lượng bể thử khi rỗng: 450 kg;
- Khối lượng bể thử khi có nước: ~2000 kg;

• Dải áp suất tạo ra khi thử nghiệm: từ 0 đến 4 atm;

• Sai số hệ thống: $\pm 5\%$.

- Bể thử tạo áp hoạt động ổn định ở cả chế độ tự động và bằng tay.

- Với độ sâu thử nghiệm từ 0 đến 4 atm tương ứng với độ sâu thử nghiệm cho các thiết bị dưới nước từ 0 đến 40m nước. Với độ sâu này có thể thử kín, thử bền, khả năng chịu nước cho các thiết bị dưới nước.

Bài báo đã trình bày quá trình nghiên cứu, tính toán và thiết kế bể thử tạo áp cho thử nghiệm thiết bị dưới nước. Các kết quả kiểm tra, thử nghiệm bước đầu cho thấy bể thử đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, hoạt động an toàn, ổn định. Đây là cơ sở quan trọng để triển khai các nghiên cứu sâu hơn, đồng thời mở rộng thử nghiệm cho các loại khí tài và thiết bị dưới nước khác. Đây là một hướng nghiên cứu mới, cập nhật kịp thời xu thế chế tạo các thiết bị phục vụ thử nghiệm các phương tiện dưới nước.

Trong khuôn khổ bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu, tính toán chế tạo bể thử tạo áp đến độ sâu 40m nước. Trong trường hợp chế tạo bể thử cho thử nghiệm đối với độ sâu lớn hơn phương pháp lựa chọn thiết bị vẫn tương tự, tuy nhiên cần tính toán lựa chọn linh kiện có khả năng chịu áp lực cao hơn. ❖

Ngày nhận bài: 05/3/2026

Ngày phản biện: 16/3/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Pressure vessel handbook 10th edition - Eugene F. Megyesy.
- [2]. Process dynamic and control Fourth edition - Wiley ISBN: 978-1-119-28591-5.
- [3]. TCVN 6155:1996; TCVN 6156:1996; TCVN 8366:2010 - Tiêu chuẩn bình chịu áp lực.
- [4]. TCVN 2003-77 - Tiêu chuẩn vòng đệm cao su có mặt cắt tròn làm kín thiết bị thủy lực và khí nén.