

CÔNG NGHỆ CỬA VAN CAO SU BẢN MẶT - THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH VẬT LÝ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG VẬN HÀNH VÀ ÁP DỤNG TẠI VIỆT NAM

Nguyễn Văn Thanh, Vũ Lê Minh, Trần Thị Nga, Vũ Văn Xiêm
Viện Thủy Công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Đập và hồ chứa là một loại hình công trình thủy lợi quan trọng ở nước ta. Hiện nay, có khoảng 5.500 hồ chứa đã được xây dựng và đưa vào sử dụng, với tổng dung tích trữ nước trên 35,8 tỷ m³. Do ảnh hưởng bất lợi của hiện tượng biến đổi khí hậu và những tác động khó kiểm soát từ phía thượng lưu, một yêu cầu cấp thiết hiện nay đó là phải nâng cấp các đập hiện có để tăng khả năng trữ nước và điều tiết lũ của hồ chứa. Do đó, có nhiều giải pháp đã được nghiên cứu và ứng dụng để nâng cao cột nước trữ. Bài báo này giới thiệu một giải pháp khả thi, đó là giải pháp áp dụng loại hình cửa van cao su bản mặt. Bài báo trình bày nghiên cứu thí nghiệm mô hình của loại hình cửa van này nhằm đánh giá khả năng ứng dụng của nó trong điều kiện kinh tế và xã hội của Việt Nam. Đây là giải pháp đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới, đã chứng minh được tính hiệu quả của nó. Các ưu điểm của loại hình công trình này đó là có cấu tạo đơn giản, thời gian thi công nhanh, dễ quản lý và vận hành, đặc biệt rất hiệu quả trong việc tăng khả năng trữ nước của hồ chứa cũng như khả năng xả nước khi có yêu cầu.

Từ khóa: hồ chứa; nâng cấp đập; cửa van cao su bản mặt; thí nghiệm mô hình.

Summary: Reservoirs play an important role in the development of the economy, society, and security of Viet Nam. There are approximately 5.500 reservoirs that have been constructed and functioned, with a total water storage capacity of 35,8 billion m³. Due to the effect of climate change and the impacts of upstream conditions, It is necessary to increase the water storage capacity and flood regulation ability of those reservoirs. This paper introduces pneumatic shield gates and studies a physical model of this type of gate to evaluate its operability and application. The technology of pneumatic shield gates has been applied widely worldwide. The main advantages of this technology are simple structures, fast construction, and convenience to manage and operate. Furthermore, applying this type of gate is especially effective in increasing the total water storage capacity of the reservoir or discharging when required.

Keywords: reservoirs; dam upgradation; pneumatic shield gates; physical model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hồ chứa nước là công trình thủy lợi làm nhiệm vụ điều tiết dòng chảy, trữ nước vào mùa mưa để dùng vào mùa khô. Do có nhiều ưu điểm trong khai thác tổng hợp (cấp nước tưới, phát điện, nuôi cá, du lịch...), hồ chứa được xây dựng nhiều trên thế giới. Theo thống kê của Bộ NN&PTNT, tính tới năm 2020 nước ta đã xây dựng được 7.169 đập, hồ chứa thủy lợi, trong

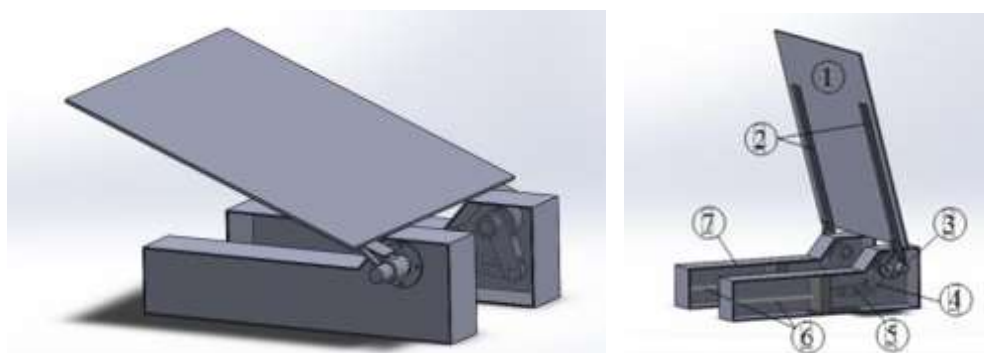
đó có 419 đập dâng có chiều cao trên 5,0m và 6.750 hồ chứa với tổng dung tích trữ khoảng 14,5 tỷ m³, tạo nguồn nước tưới cho gần 1,1 triệu ha đất nông nghiệp, cấp khoảng 1,5 tỷ m³ nước cho sinh hoạt, công nghiệp, phân bố tại 45/63 địa phương trên cả nước [1].

Trong quá trình vận hành, do biến đổi bất thường của điều kiện khí hậu và các thay đổi bất lợi về nguồn nước từ thượng – hạ lưu dẫn tới

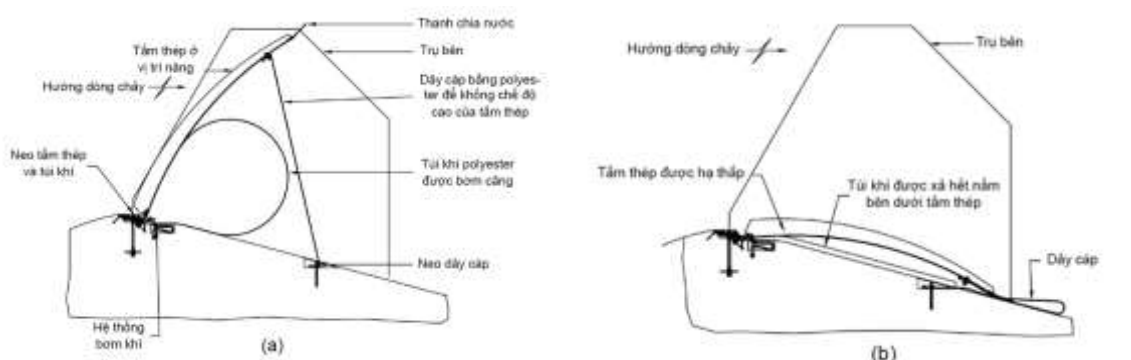
nhu cầu bức thiết là cần phải nâng cấp đập hiện có để tăng khả năng trữ nước và điều tiết lũ của hồ chứa. Có nhiều giải pháp có thể được áp dụng để thực hiện được nhiệm vụ và đạt được mục tiêu này. Các giải pháp được chia thành hai nhóm: (1) giải pháp công trình kiên cố và (2) giải pháp công trình di động. Giải pháp cải tạo nâng cao ngưỡng tràn, đập bằng các công trình kiên cố (tôn cao ngưỡng, cải tạo cửa van..) thường chỉ được xem xét áp dụng với các hồ chứa quy mô lớn, cần tràn xả lũ làm việc ổn định, lâu dài. Những giải pháp này thường thì công tương đối phức tạp hơn so với một số hình thức công trình tạm, thời gian thi công tương đối dài, thường phải yêu cầu kèm theo là nâng cao cao trình đỉnh đập, sửa chữa kết cấu của tuyến tràn (dốc nước, tiêu năng...) cùng với nâng cấp ngưỡng tràn. Ngoài ra, chi phí xây dựng cho các giải pháp này cũng thường khá

cao đặc biệt với những hồ chứa không cho phép nâng các MNLT và MNLT (có thể liên quan đến ngập lụt thượng lưu, đền bù đất, hoặc yêu cầu kỹ thuật của cao trình đỉnh đập...).

Từ những năm 70 của thế kỷ trước, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam đã nghiên cứu các giải pháp nâng cao ngưỡng tràn sử dụng các công trình phụ, tạm di động. Một số công trình tiêu biểu như đập tự lật (tràn cầu chì), cửa van tự động lật, đập xếp tự động và đập bản lật tự động [2] [3]. Tới nay, do nhiều nguyên nhân chủ quan và khách quan, việc áp dụng và nhân rộng các giải pháp này còn hạn chế. Riêng với nghiên cứu mới nhất là đập bản lật tự động (thực hiện năm 2017), công nghệ chưa có ứng dụng trên thực tế, mới chỉ thí nghiệm cho 01 đơn nguyên bản lật.



Hình 1: Hình ảnh minh họa ba chiều kết cấu đập bản lật tự động. Chi tiết cấu tạo của đập bao gồm: (1) Bản mặt; (2) Sườn chống; (3) Trục quay; (4) Trục khuỷu; (5) Thanh truyền; (6) Lò xo; (7) Hộp kỹ thuật



Hình 2: Cửa van cao su bản mặt khi (a) hồ tích nước và (b) hồ xả nước hoặc không hoạt động

Từ thực tế trên, nhóm tác giả chọn nghiên cứu loại hình cửa van Cao Su Bản Mặt (CSBM). Loại hình cửa van này có cấu tạo từ các tấm bản mặt thép được hỗ trợ đóng mở lên xuống nhờ các túi khí nén ở hạ lưu. Nhờ vào việc khống chế áp suất trong túi khí, mực nước trong hồ có thể thay đổi dựa vào chiều cao đóng mở của cửa (Hình 2). Loại hình cửa van này đã được công ty Obermeyer đăng ký bảo hộ bản quyền sáng chế tại Mỹ [4]. Và qua nhiều năm kinh nghiệm xây dựng các công trình cửa van, chiều ngang lớn nhất (B) của một đơn nguyên được khuyến cáo là khoảng 10 m.

Trải qua quá trình ứng dụng ở nhiều nước trên thế giới, nghiên cứu của công ty Obermeyer về cửa van cao su bản mặt đã có nhiều thay đổi và cải tiến, áp dụng dưới những cái tên khác nhau, nhưng bản chất hoạt động của hệ thống cửa van CSBM vẫn bao gồm các phần chính đó là cửa van thép, túi khí và hệ thống bơm khí (Hình 3).



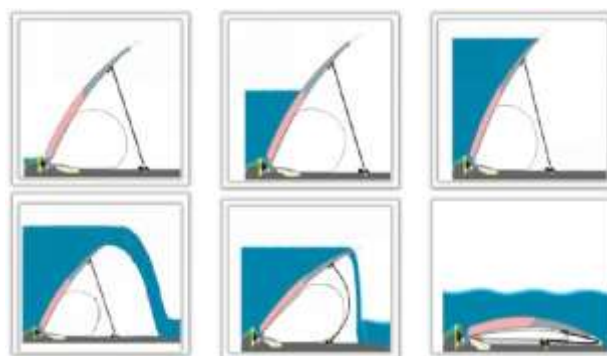
Hình 3: Cửa van CSBM sáng chế bởi công ty Obermeyer được sử dụng ở đập tràn của nhà máy thủy điện Achwa II (Uganda)

Qua kinh nghiệm xây dựng, quản lý và vận hành, loại hình cửa van CSBM đã chứng minh được tính hiệu quả trong việc kiểm soát mực nước. Khác với các loại hình cửa van thép truyền thống, thay vì các hệ thống nâng hạ cơ khí như cửa van truyền thống, cửa van CSBM

được trợ lực bởi các túi khí nén. Do đó công trình áp dụng loại hình cửa van này thường có tính hiệu quả về mặt kinh tế nhờ giảm được yêu cầu cao về xử lý nền móng. Việc thiết kế thành từng mô đun cho phép linh động thay thế từng bộ phận của cửa mà không cần thay thế, hoặc làm ảnh hưởng đến cả hệ thống. Điều này làm giảm chu kỳ đầu tư vốn và giảm thời gian ngừng sử dụng của công trình do sửa chữa. Hơn thế nữa, việc thi công cửa van loại này trên mặt đập bê tông đã xây dựng từ trước đơn giản, không yêu cầu xây dựng trụ bên; thời gian thi công nhanh. Nhờ vào các ưu điểm trên, cửa van CSBM được ứng dụng cho nhiều lĩnh vực: trữ nước, phát điện, kiểm soát dòng chảy, ngăn lũ, tưới tiêu, giao thông...

2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC VÀ NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN VẬT LIỆU CHẾ TẠO

2.1. Nguyên lý làm việc của cửa van CSBM



Hình 4: Sơ đồ mô tả nguyên lý làm việc của cửa van CSBM

Nguyên lý hoạt động của cửa van CSBM thể hiện như trong Hình 4. Giả sử tấm thép (bản mặt) là cứng tuyệt đối, và chỉ quay quanh khớp gắn với mặt tràn (khớp hai liên kết). Hoạt động của tấm thép hoàn toàn phụ thuộc vào hình dạng của túi khí và áp suất khí bơm trong túi. Khi túi khí được bơm căng, bản mặt được nâng lên một góc mở (α) so với mặt ngang, mực nước trong hồ dâng tới cao trình thiết kế và chảy tràn về phía hạ lưu. Khi giảm áp suất, túi khí xẹp dần dẫn tới hạ độ mở bản mặt (góc α giảm), nước trong hồ được xả về phía hạ lưu. Khi góc mở $\alpha = 0$ thì túi khí được tháo hơi hoàn toàn, bản mặt

hạ thấp chạm mặt tràn, ngưỡng tràn quay trở lại hình dạng ban đầu.

2.2. Lựa chọn vật liệu chế tạo cửa van CSBM

Bản mặt: vật liệu chọn bằng thép không gỉ theo TCVN 8299:2009 [5] hoặc vật liệu composite theo TCVN 10407:2015 [6] (nếu xem xét chế tạo bản mặt bằng vật liệu composite). Trên thế giới, kích thước ngang của mỗi đơn nguyên cửa van có thể lên tới 10m, nhưng khi đó yêu cầu về vật liệu làm cửa van và túi khí yêu cầu lớn hơn, đặc biệt khi dùng cho các đơn nguyên cửa van có bề rộng mặt cắt lớn. Do đó, nhóm tác giả khuyến nghị kích thước chiều rộng x chiều cao ($B.H$) của mỗi đơn nguyên không quá $2,0 \times 2,0$ m.

Túi khí: yêu cầu túi khí phải có tuổi thọ cao, chịu được áp suất khí lớn để nâng cửa van dưới áp lực của cột nước và trọng lượng cửa van, đáp ứng được đặc điểm vận hành bơm – xả liên tục và bền với môi trường nước. Nhóm tác giả đề xuất loại túi khí chế tạo bằng cao su tổng hợp chịu được áp suất khí lớn.

Trong thực tế, dạng túi khí cao su chịu áp lực lớn thường được dùng trong việc giảm chấn – pneumatic rubber fender (dùng trong ngành công nghiệp tàu thủy, chống va đập giữa thân tàu và bến cầu tàu; dùng để hạ thủy tàu) hoặc dùng để nâng hạ các kết cấu có trọng lượng lớn (pneumatic lifting bag). Các loại vật liệu chế tạo

cao su dạng này thích hợp với điều kiện làm việc của công nghệ cửa van CSBM, tuy nhiên có sự khác nhau về hình dạng tùy vào điều kiện sử dụng. Trung Quốc là nước sản xuất lớn nhất với các lựa chọn đa dạng về hình dạng túi khí và vật liệu cao su đặc thù [7]. Tại Việt Nam cũng có một số công ty cung cấp sản phẩm loại này nhưng phần lớn là đơn vị phân phối chứ không trực tiếp sản xuất. Kích thước túi khí chọn theo kích thước của bản mặt, với chiều dài túi khí tối đa bằng chiều ngang của bản mặt ($B \leq 2$ m)

3. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH VẬT LÝ

Để nghiên cứu, đánh giá khả năng hoạt động của công nghệ cửa van CSBM và tính khả thi áp dụng tại Việt Nam, nhóm tác giả đã tiến hành thí nghiệm mô hình vật lý tỷ lệ 1:2 tại Trung Tâm Nghiên Cứu Thủy Lực thuộc Phòng Thí Nghiệm Trọng Điểm Quốc gia về động lực học sông biển, Viện khoa học thủy lợi Việt Nam. Vật liệu chế tạo các bộ phận cửa van (tấm thép, túi khí, hệ thống bơm khí và hệ thống kín nước) được phân tích lựa chọn dựa theo hai tiêu chí (1) đảm bảo tính kỹ thuật (độ ổn định) và (2) tính kinh tế (vật liệu giá thành hợp lý, phổ biến tại thị trường Việt Nam). Các bộ phận chính của mô hình cửa van CSBM được chỉ ra ở hình 5 gồm có:



Hình 5: Hình ảnh chi tiết cấu tạo cửa van lắp đặt tại khu vực thí nghiệm

Bản mặt: chế tạo bằng thép dày 3mm, có hệ thống gân tăng cứng. Chia làm 02 đơn nguyên, có gioăng cao su kín nước. Kích thước tổng thể

bản mặt $B \times H = 1,0 \text{m} \times 1,0 \text{m}$; kích thước mỗi đơn nguyên là $0,5 \text{m} \times 1,0 \text{m}$

Túi khí: gia công bằng cao su hai lớp với áp suất bơm tối đa cho phép là $7 \text{ atm} = 710 \text{ kN/m}^2$, kích thước mỗi túi là $D \times L = 350 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$;

Hệ thống máy bơm khí và đo áp suất;

Hệ thống tăng đơ: khống chế độ mở tối đa của bản mặt.

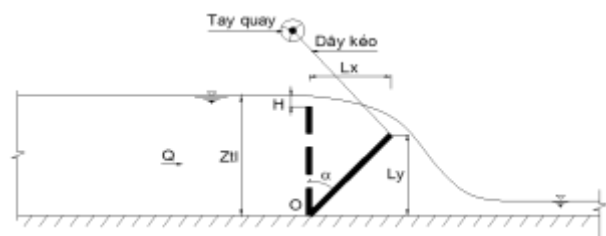
Kết cấu được cố định vào bản mặt bê tông bằng bu lông và kín nước bằng các tấm cao su.

3.1. Kịch bản thí nghiệm

Thí nghiệm mô phỏng hoạt động của cửa van CSBM trong hai trường hợp (1) hồ tích nước và (2) hồ xả nước. Trong trường hợp hồ tích nước, nước được bơm vào bể chứa, đồng thời khí được bơm vào làm căng túi cao su, bản mặt cửa van được nâng lên từ từ. Mở cửa điều tiết từ bể chứa để nước vào hệ thống máng thí nghiệm. Khi mực nước trước đập đạt đến cao trình mực nước thiết kế, điều chỉnh áp suất túi khí cao su

P ở một giá trị cố định và duy trì (ứng với mực nước thiết kế), từ đó xác định được độ mở của cửa van (α) tương ứng với lưu lượng (Q) hoặc cột nước tràn qua đập (H). Dùng đập tràn thành mỏng bố trí phía cuối bể để xác định lưu lượng chảy qua mô hình.

Trường hợp xả nước: Giảm dần áp suất trong túi khí, với mỗi áp suất P ta đo được độ mở của cửa van (α) tương ứng với mỗi lưu lượng (Q) hoặc cột nước tràn (H) khác nhau. Dùng đập tràn thành mỏng phía cuối bể để xác định các trường hợp lưu lượng chảy qua mô hình.



Hình 6: Sơ đồ thí nghiệm mô hình



Hình 7: Hình ảnh thí nghiệm trong hai trường hợp tích nước và xả nước



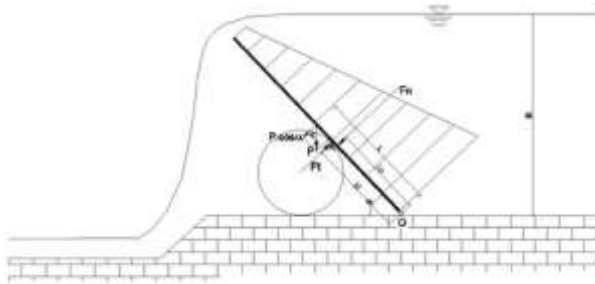
Hình 8: Dòng chảy trong máng nhìn từ thượng lưu, từ trên cao và từ hạ lưu

Các thông số cần đo đặc: lưu lượng nước tới Q , cột nước trước và sau cửa van, độ mở cửa van (α),

khoảng cách từ tâm quay O tới điểm tiếp xúc giữa túi khí và bản mặt; và áp suất bơm khí.

3.2. Phân tích kết quả thí nghiệm

Sự ổn định trong vận hành của cửa van thể hiện qua khả năng chịu lực của túi khí. Để đơn giản hóa sơ đồ tính toán, coi túi khí luôn giữ tiết diện hình tròn và tiếp xúc với cửa van tại một điểm. Theo định luật 3 Newton, áp lực của cửa van tác dụng lên túi khí bằng áp phản lực của túi F_t . Phản lực F_t này giữ cho hệ thống cân bằng dưới tác động của trọng lượng bản thân và áp lực tác động lên bản mặt. Từ phản lực F_t , tính toán được sức căng của túi khí.



Hình 9: Sơ đồ tính toán lực tác dụng lên cửa van

Các lực tác dụng lên bản mặt bao gồm: trọng lượng bản thân bản mặt, áp lực nước và lực đẩy của túi khí (Hình 9). Lực F_t được tính toán từ phương trình cân bằng mô men của bản mặt tại điểm khớp quay O:

$$F_t L_t = P \left(\frac{1}{2} L \right) \cos \alpha + F_n L_n$$

Từ đó tính F_t theo công thức:

$$F_t = \frac{PL \cos \alpha + 2F_n L_n}{2L_t}$$

Trong đó:

F_t : phản lực của túi khí tác động lên bản mặt (kN);

P: trọng lượng bản thân bản mặt (kN);

F_n : tổng áp lực nước lên bản mặt (kN);

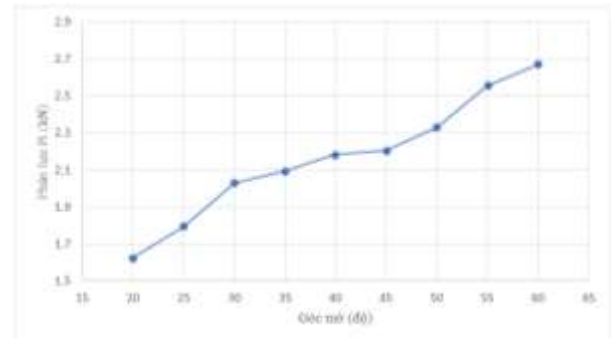
L: chiều dài bản mặt ($L = 1,0\text{m}$);

L_n : khoảng cách từ điểm đặt lực F_0 tới khớp quay O (m);

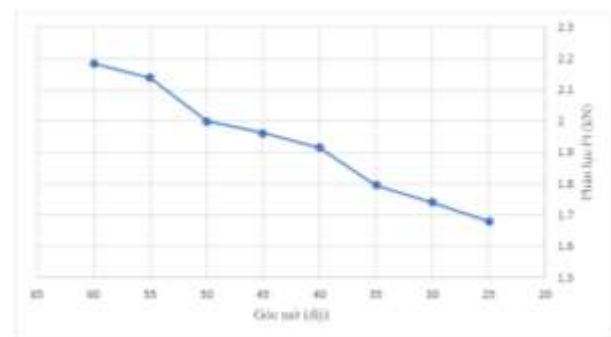
L_t : khoảng cách từ điểm đặt lực F_t tới khớp quay

O (m).

Tương quan giữa góc mở α và lực F_t được thể hiện như trong các Hình 10, Hình 11 tương ứng với trường hợp tích nước và xả nước.



Hình 10: Tương quan giữa góc mở α và lực F_t khi tích nước



Hình 11: Tương quan giữa góc mở α và lực F_t khi xả nước

F_t có xu hướng tăng khi góc mở α tăng, điều này hợp lý trong thực tế. Giá trị lớn nhất của $F_t = 2,7\text{kN}$ khi $\alpha = 60^\circ$ và áp suất bơm là $4,0\text{atm} = 405,3 \text{ kNm}^{-2}$ trong trường hợp tích nước. Giả thiết lực tác dụng lên túi khí gây ra lực căng phân bố đều trên bề mặt túi, ta tính được áp suất trong túi khí là :

$$P_{\text{tổng}} = \frac{F_t}{S_{\text{bề mặt}}} + F_{\text{bơm khí}} = \frac{2,7}{0,35} + 405,3 = 413 \text{ kN/m}^2$$

Trong đó $P_{\text{tổng}}$ là áp suất trong túi khí gây ra do tổng hợp lực của áp suất bơm và lực tác dụng từ bản mặt; $F_{\text{bơm khí}}$ áp suất bơm.

$P_{\text{tổng}} \ll [P] = 710 \text{ kN/m}^2$ – vật liệu chế tạo túi được chọn đáp ứng được yêu cầu về tải trọng, không bị phá hủy trong quá trình sử dụng

đúng như thực tế. Có thể chọn loại vật liệu khác có sức căng giới hạn nhỏ hơn để giảm giá thành.

Từ phương pháp tính toán kiểm tra độ an toàn của túi khí, ta có thể đề xuất quy trình chọn vật liệu chế tạo túi khí như sau:

Tính toán phản lực từ túi lên bản mặt F_t

Vẽ đường quan hệ F_t và góc mở α

Tùy theo điều kiện vận hành cửa van, chọn giá trị F_t thích hợp, tính toán áp suất tổng gây ra trong túi khí

Chọn loại vật liệu chế tạo túi khí có giá trị áp suất bơm cho phép lớn hơn áp suất tổng đã tính toán.

4. KẾT LUẬN

Hồ chứa đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển kinh tế, xã hội của nước ta (tính tới năm 2020, cả nước đã xây dựng và đưa vào vận hành hơn 7.100 hồ chứa, đập thủy lợi). Trong quá trình vận hành, do biến đổi khí hậu và các thay đổi từ thượng – hạ lưu dẫn tới nhu cầu nâng cấp đập hiện có để tăng khả năng trữ nước và điều

tiết lũ của hồ chứa. Công nghệ cửa van CSBM đã được đưa vào ứng dụng phổ biến trên thế giới, và chứng minh được tính hiệu quả về kinh tế, kỹ thuật và vận hành. Trong bài báo này, các tác giả tổng quan đặt vấn đề và bước đầu giới thiệu những nghiên cứu về nguyên lý hoạt động và cách lựa chọn vật liệu chế tạo các bộ phận cửa van. Khả năng vận hành của giải pháp cửa van CSBM được tiếp cận đánh giá và nghiên cứu bằng một thí nghiệm mô hình vật lý. Kết quả thí nghiệm mô hình cho thấy cửa van CSBM hoàn toàn khả thi và đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật trong việc nâng cao mực nước - tháo nước. Các kết cấu có khả năng làm việc ổn định. Các bộ phận của cửa có thể được lựa chọn để đáp ứng các yêu cầu cả về mặt kỹ thuật và mặt kinh tế. Tiếp theo đây, nhóm tác giả sẽ tập trung hướng tới việc nâng cao hiệu quả của giải pháp bằng việc nghiên cứu tối ưu việc lựa chọn loại vật liệu chế tạo túi khí, thiết kế có tính tới độ bền của các đường hàn túi. Ngoài ra để giảm nhẹ tải trọng tác dụng lên túi, bản mặt cửa van có thể được nghiên cứu chế tạo sử dụng vật liệu composite thay cho vật liệu thép.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Báo Đảng Cộng Sản Việt Nam, “Cả nước còn 1.200 hồ chứa thủy lợi xuống cấp,” 2020. <https://dangcongsan.vn/xa-hoi/ca-nuoc-con-1200-ho-chua-thuy-loi-xuong-cap-559731.html>.
- [2] Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, *Tuyển tập kết quả khoa học và công nghệ các giai đoạn 1989-1994, 1994-1999, 1999-2000*. Hà Nội: Nhà xuất bản Nông nghiệp.
- [3] G. Thur, “Nghiên cứu giải pháp đập bản lật tự động áp dụng cho công trình đập dâng miền núi phía Bắc,” 2017.
- [4] H. Obermeyer and R. Eckman, “Spillway Crest Gate System and Inflatable Bladder Therefor,” US5713699A, 1998.
- [5] TCVN 8299:2009 Công trình thủy lợi - Yêu cầu kỹ thuật trong thiết kế cửa van, khe van bằng thép. 2009.
- [6] TCVN 10407:2015 Công trình thủy lợi - Cửa van composite cống vùng triều - Yêu cầu kỹ thuật. 2015.
- [7] T. C. Khidir, B. M. Qasim, and A. A. Abduljabbar, “Design and analysis of pneumatic bag air jack,” *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*. 2019, doi: 10.26480/jmerd.01.2019.61.63.