

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU KẾT CẤU HỆ GIÀN ỚNG THÉP CỬA VAN PHẪNG KÉO ĐỨNG LÀM VIỆC HAI CHIỀU

Trần Xuân Hải¹, Vũ Hoàng Hưng²

Tóm tắt: Dựa trên những nghiên cứu về tối ưu hình dạng giàn ống thép trong công trình xây dựng, bài báo đã cải tiến hình thức kết cấu giàn ống thép của cửa van phẳng kéo đứng để đáp ứng yêu cầu làm việc hai chiều trong các công trình kiểm soát nước vùng đồng bằng sông Cửu Long. Trạng thái làm việc của giàn được đánh giá hiệu quả thông qua so sánh về độ cứng với kết cấu giàn thường dùng hiện nay trong cùng một điều kiện về kích thước, vật liệu, trọng lượng và chịu tải. Ngoài ra đối với kết cấu giàn ống thép cũng đã được tính toán tối ưu về vị trí và kích thước để giảm trọng lượng bản thân. Các kết quả nghiên cứu được thực hiện trên mô hình 3D với sự trợ giúp của phần mềm ANSYS với số liệu đầu vào được lấy từ cửa van phẳng cống Cái Lớn - tỉnh Kiên Giang.

Từ khoá: cửa van phẳng kéo đứng, tối ưu, cống Cái Lớn, làm việc hai chiều.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cửa van phẳng được sử dụng rộng rãi hiện nay thường là kết cấu dầm bụng đặc có nhịp không lớn. Những năm gần đây cùng với sự phát triển của kinh tế xã hội, các công thủy lợi có quy mô càng ngày càng lớn, đi cùng với đó là các cửa van cũng có kích thước càng ngày càng lớn, diện tích lỗ cống có thể đạt đến nghìn mét vuông, áp lực nước có thể lên đến nghìn tấn. Vì vậy kết cấu cửa van dạng dầm bụng đặc khó đáp ứng được yêu cầu. Cửa van phẳng hình thức kết cấu giàn ống thép không gian đang có xu hướng phát triển và đang dần hoàn thiện. Một số công trình ở Việt Nam hiện nay đã sử dụng hình thức cửa van này với nhịp lớn nhất lên đến 40 m điển hình như: cửa van đập dâng hạ lưu sông Trà Khúc $37,8 \times 5,0$ m; cửa van cống ngăn triều Mương Chuối $40,0 \times 13,0$ m; cửa van cống ngăn triều Phú Xuân, Tân Thuận $40,0 \times 8,5$ m; cửa van cống Cái Lớn $40,0 \times 9,0$ m; cửa van cống Cái Bé $35,0 \times 7,5$ m ... và hàng loạt cống thuộc dự án quản lý nước Bến Tre đều sử dụng loại cửa van này (Vũ Hoàng Hưng, Đỗ Văn Hứa, 2018).

Mặc dù loại cửa van này được sử dụng khá nhiều trong các dự án kiểm soát nước hai chiều vùng đồng bằng sông Cửu Long nhưng hình dạng

kết cấu vẫn theo hình dạng kết cấu của cửa van sông Ems của Đức. Vì vậy để đáp ứng tốt khả năng chịu lực hai chiều trong điều kiện vùng đồng bằng sông Cửu Long thì cần thiết phải nghiên cứu thay đổi hình thức kết cấu hệ giàn ống thép và tối ưu kích thước mặt cắt thanh giàn để giảm nhẹ trọng lượng của van. Đây là nội dung chính của bài báo này.

2. ĐỀ XUẤT CẢI TIẾN HÌNH DẠNG KẾT CẤU HỆ GIÀN ỚNG THÉP TRONG CỬA VAN PHẪNG KÉO ĐỨNG

2.1. Cơ sở đề xuất

Hình thức kết cấu hệ giàn trong cửa van phẳng kéo đứng về nguyên lý đều dựa trên hình thức kết cấu giàn ống thép trong công trình xây dựng. Kết cấu giàn ống thép có thể là giàn phẳng hoặc giàn không gian chịu hoạt tải mái hoặc tải trọng gió..., tải trọng này nói chung khá nhỏ. Còn trong kết cấu cửa van thép công trình thủy lợi, cửa van chịu tác dụng của áp lực thủy tĩnh và các tải trọng khác (như tải trọng sóng, tải trọng triều...), giá trị tải trọng này nói chung đều rất lớn, có khi gấp hàng chục, hàng trăm lần hoạt tải mái, ngoài ra còn chịu từ hai phía. Đồng thời điều kiện ràng buộc của kết cấu cửa van công trình thủy lợi cũng rất đặc biệt, thông thường chịu ràng buộc hai bên khe cửa, và chịu hoạt động đóng mở nên không thể dùng hình thức kết cấu giàn ống thép thông thường mà cần

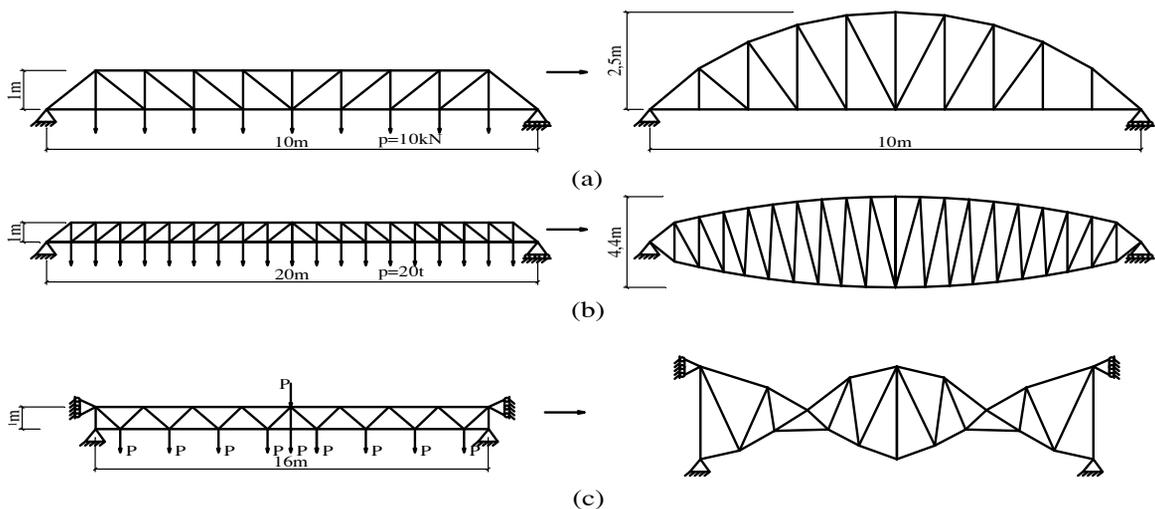
¹ Viện Khoa học và Đổi mới Công nghệ;

² Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

phải nghiên cứu lựa chọn kết cấu cho phù hợp.

Đối với hệ giàn ống thép, một vài tác giả cũng đã tiến hành nghiên cứu tối ưu kết cấu. (Wang & Zhang, 2002) (D.Wang, nmk, 2002) nghiên cứu tối ưu mặt cắt và vị trí điểm nút đối với giàn đơn giản chịu tác dụng của tải trọng phân bố với yêu cầu vị trí điểm nút cánh dưới không thay đổi, chỉ thay đổi tọa độ điểm nút của cánh trên theo phương đứng. Từ kết quả có thể thấy rằng sau khi dịch chuyển tối ưu điểm nút, cánh trên đã trở thành hình vòm như Hình 1(a). (Lluís Gil, Antoni Andreu, 2001) đã tiến

hành phân tích tối ưu mặt cắt và vị trí điểm nút đối với giàn cho ở Hình 1(b) và 1(c), tọa độ theo phương đứng của điểm nút cánh trên và cánh dưới có thể dịch chuyển trong quá trình tối ưu. Ràng buộc của giàn Hình 1(b) là gối đỡ ở hai đầu, điểm nút của cánh dưới chịu tác dụng của tải trọng bằng nhau; hai đầu giàn Hình 1(c) bị ràng buộc theo phương ngang, phương đứng có thể dịch chuyển, kết cấu tối ưu đều có dạng vòm. Các hình dạng giàn tối ưu này là cơ sở để nghiên cứu và ứng dụng cho cửa van kéo thẳng.

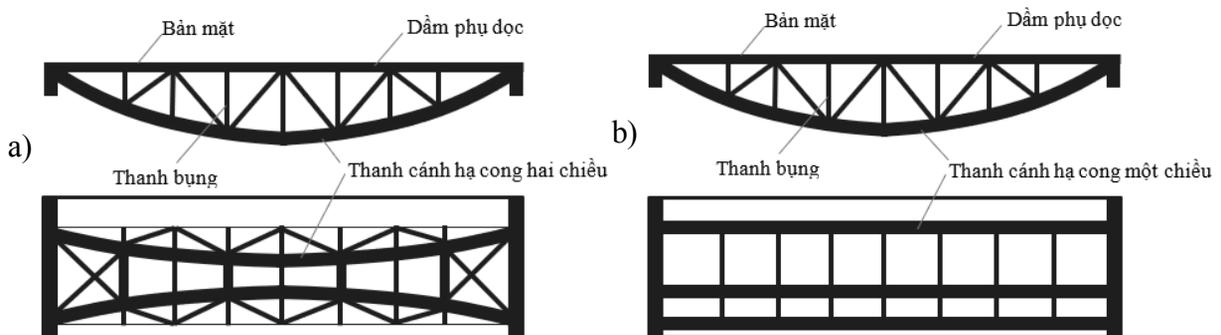


Hình 1. Hình dạng giàn tối ưu

2.2. Đề xuất hình thức giàn ống thép cho cửa van phẳng làm việc hai chiều

Đối với cửa van có giàn hình thức 1(a) đã được nghiên cứu ứng dụng nhiều trong thực tiễn với thanh cánh cong một chiều hoặc hai chiều. Điển

hình là cửa van sông Ems ở Đức với thanh cánh hạ cong hai chiều như Hình 2(a), cửa van cống Bàu Châu ở Việt Nam với thanh cánh hạ cong một chiều như Hình 2(b).

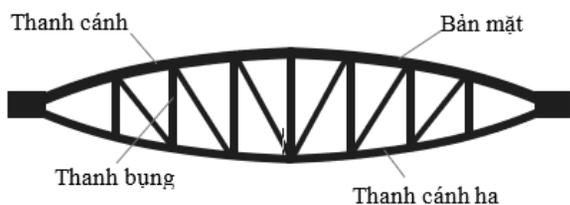


Hình 2. Cửa van dạng một vòm với thanh cánh hạ cong hai chiều và một chiều

Đối với cửa van có giàn hình thức 1(b), giàn chính có thanh cánh thượng, hạ lưu có dạng cong

và nằm trong cùng một mặt phẳng, kết cấu bản mặt có dạng cong và được đỡ trực tiếp bởi thanh

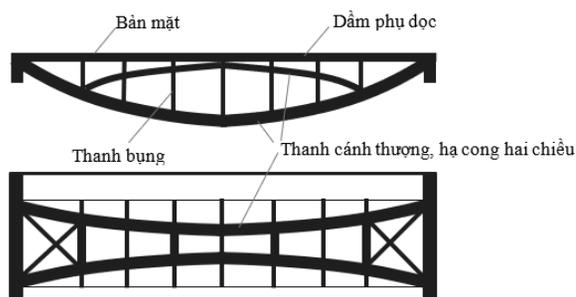
cánh thượng giàn chính như ở Hình 3. Đây là dạng cửa van được sử dụng cho công trình Hartel ở Hà Lan và công trình đập hạ lưu sông Dinh ở Việt Nam.



Hình 3. Kết cấu giàn chính có thanh cánh thượng và hạ lưu cong một chiều

Với hai loại hình thức cửa van kéo thẳng đã được sử dụng ở trên đều có ưu nhược điểm riêng. Đối với cửa van dạng 1 vòm cong 1 chiều có nhược điểm chiều cao giàn lớn, không phát huy được hiệu quả của các giàn phía trên; dạng vòm cong hai chiều phát huy tối đa khả năng chịu lực của cả giàn trên và dưới. Tuy nhiên đối với cửa van dạng này phù hợp nhất khi chịu chênh lệch áp lực nước từ thượng lưu. Đối với cửa van dạng 2 vòm cong 1 chiều phát huy được hiệu quả khi cửa van làm việc hai chiều, tuy nhiên vẫn bị hạn chế về sự phân tải theo phương đứng lên các vòm, thích hợp hơn cả đối với các cửa van dưới sâu.

Đối với cửa van cống vùng đồng bằng sông Cửu Long thường làm việc hai chiều và có chênh lệch mực nước không lớn. Để phát huy tối đa hiệu quả của vòm, bài báo đề xuất sử dụng cửa van hình thức kết hợp thanh cánh thượng và hạ đều cong hai chiều như Hình 4 để giảm chiều cao của giàn và kích thước thanh giàn.



Hình 4. Hình thức cửa van được nghiên cứu đề xuất

3. TÍNH TOÁN CỬA VAN PHẪNG KÉO ĐỨNG THEO MÔ HÌNH 3D

3.1. Hình thức kết cấu

Lấy ví dụ đối với kết cấu cửa van phẳng công Cại Lớn 40×9,0 m (Viện thủy công - Viện KHTLVN, 2019):

Bản mặt bằng thép tấm dày 12 mm.

Giàn chính bằng thép ống tròn: Thanh cánh hạ có đường kính ngoài 762 mm, dày 20 mm; hệ thanh bụng có đường kính ngoài 457 mm, dày 12,7 mm.

Giàn đứng và giằng chéo bằng thép ống tròn: đường kính ngoài 457 mm, dày 12,7 mm.

Dầm đứng bằng thép chữ T ghép, bản cánh có kích thước 300×20 mm, bản bụng có kích thước 728×16 mm.

Dầm phụ dọc bằng thép mỏng dập nguội hình thang có đáy lớn bằng 385 mm, đáy nhỏ bằng 210 mm, chiều cao bằng 350 mm, dày 12 mm, đặt up vào bản mặt phía thượng lưu.

Trụ biên bằng thép chữ I ghép, bản cánh có kích thước 450×60 mm, bản bụng có kích thước 870×30 mm.

Vật liệu chính chế tạo kết cấu cửa van bằng thép S355JR.

3.2. Trường hợp tính toán

Bảng 1. Các trường hợp tính toán

TT	Trường hợp	MN Biển	MN Đồng	Chênh lệch (m)
1	Cơ bản 1 (Kiểm soát mặn KB 2050)	+1,43	+0,08	1,35
2	Cơ bản 2 (Giữ ngọt KB 2050)	-0,37	+0,52	0,89

3.3. Kết quả tính toán theo thiết kế

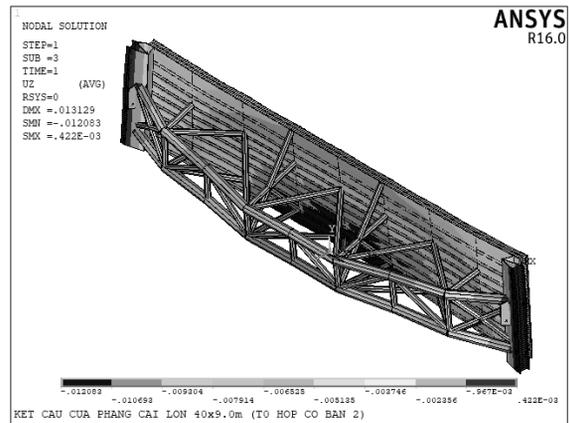
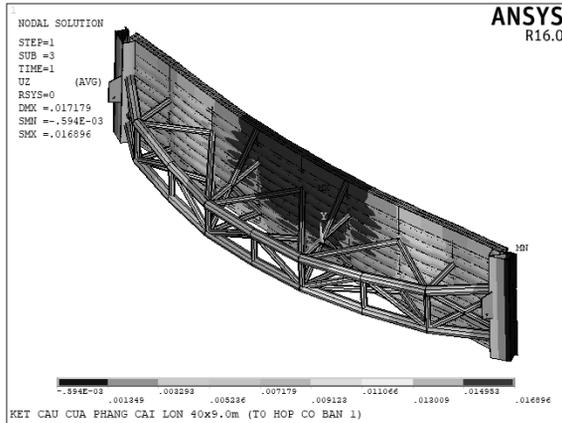
Tổng trọng lượng cơ bản của cửa van $G = 185,656$ T, trong đó trọng lượng hệ giàn ống thép là 66,085 T.

Kết quả tính toán chuyển vị cửa van theo

phương dòng chảy cho ở Bảng 2 và Hình 5. Chuyển vị tương đối của cửa van còn khá nhỏ so với chuyển vị tương đối cho phép 1/600. Ngoài ra ứng suất tính toán trong các thanh giàn cũng khá nhỏ so với ứng suất cho phép của vật liệu.

Bảng 2. Kết quả tính toán chuyển vị ứng với các trường hợp tính toán

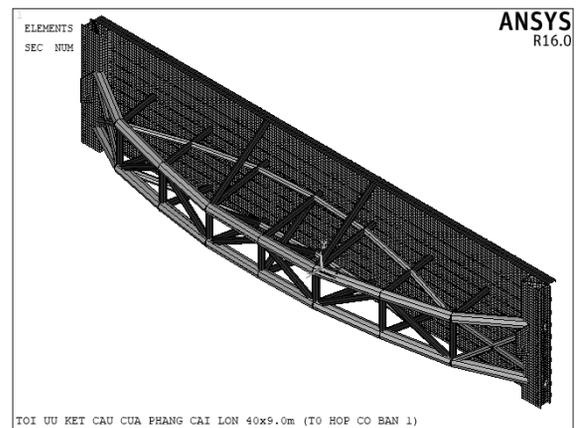
Trường hợp	Chuyển vị UZ (m)	Chuyển vị tương đối	Nhận xét
Cơ bản 1	0,016896	1/2367	Đạt
Cơ bản 2	-0,012083	1/3310	Đạt



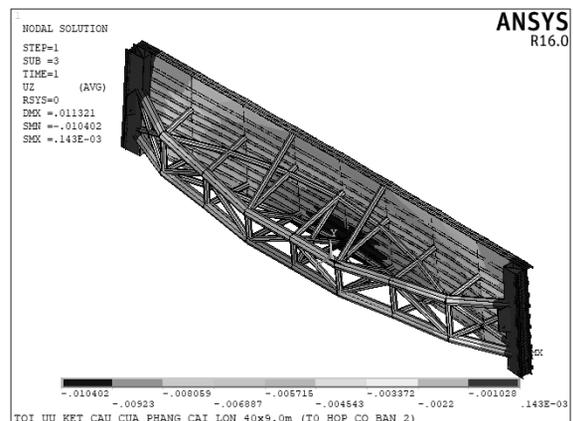
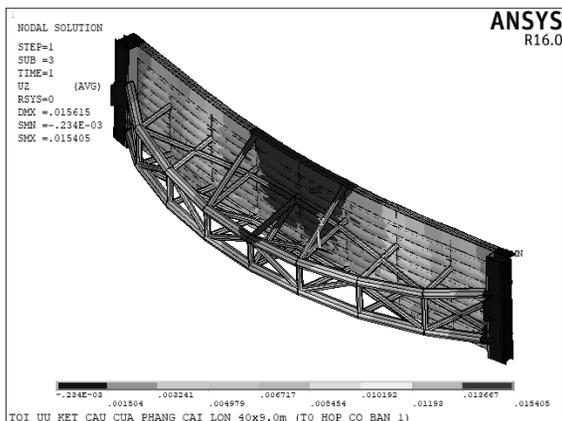
Hình 5. Phổ chuyển vị theo phương dòng chảy ứng với các trường hợp tính toán

3.4. Kết quả tính toán theo mô hình đề xuất

Khi thay đổi kết cấu hệ giàn theo đề xuất với tiết diện thanh giàn không thay đổi (Hình 6), tổng trọng lượng cơ bản của cửa van không thay đổi so với thiết kế, kết quả tính toán chuyển vị ứng với các trường hợp tải trọng được cho ở Bảng 3. Từ Bảng 3 cho thấy hiệu quả của việc thay đổi kết cấu hệ giàn làm tăng độ cứng của cửa van, hay nói cách khác làm giảm chuyển vị của cửa van. Ngoài ra từ kết quả tính toán cho ở Hình 8 thấy rõ hiệu quả chịu kéo của các thanh công ứng với từng trường hợp chênh lệch nước phía biển hay phía đồng.



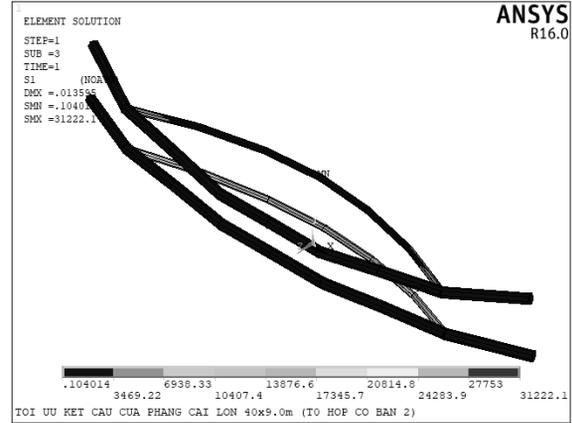
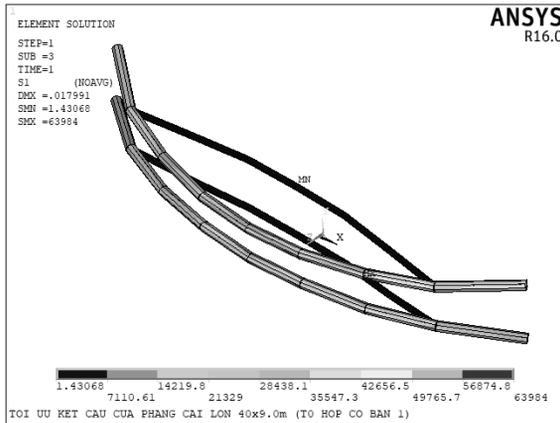
Hình 6. Mô hình PTHH cửa van với sự thay đổi kết cấu hệ giàn



Hình 7. Kết quả tính toán chuyển vị ứng với các tổ hợp tải trọng

Bảng 3. Bảng so sánh kết quả tính toán chuyển vị theo phương dòng chảy

Trường hợp	Thiết kế (mm)	Đề xuất (mm)	Chênh lệch (%)
Cơ bản 1	16,896	15,405	-8,82
Cơ bản 2	12,083	10,402	-13,91



Hình 8. Ứng suất kéo trong thanh giàn chính trong hai trường hợp tính toán

4. TÍNH TOÁN TỐI ƯU KẾT CẤU HỆ GIÀN ỚNG THÉP

4.1. Kỹ thuật tính toán tối ưu trong phần mềm ANSYS

Trong phần mềm ANSYS, tất cả các lượng thiết kế trong quá trình phân tích phần tử hữu hạn dựa trên ngôn ngữ thiết kế tham số APDL như kích thước hình học, đặc tính vật liệu, vị trí và độ lớn tải trọng... đều có thể biểu thị bằng tham số biến, chỉ cần thay đổi các tham số biến này là có một phương án thiết kế mới. Kỹ thuật thiết kế tối ưu dựa trên phân tích phần tử hữu hạn chính là tìm phương án thiết kế tối ưu dưới điều kiện thỏa mãn yêu cầu thiết kế. Trong thực tế thiết kế cần phải làm trọng lượng, diện tích, thể tích, ứng suất, chi phí... đạt đến giá trị cực tiểu, đồng thời bắt buộc bảo đảm vật liệu làm việc trong phạm vi cho phép, cường độ và độ cứng của kết cấu cũng phải đạt được tiêu chuẩn an toàn cho phép, đồng thời kết cấu không bị mất ổn định. Có thể nói phương án thiết kế tối ưu chính là một phương án thiết kế khả thi kinh tế nhất, hiệu suất cao thỏa mãn tất cả yêu cầu thiết kế.

Quá trình phân tích tối ưu kết cấu dựa trên tham số bao gồm các yêu cầu cơ bản dưới đây:

(1) Biến thiết kế (DVs): Trong quá trình thiết kế cần phải liên tục điều chỉnh giá trị tham số biến thiết kế. Mỗi một biến thiết kế có thể có giới hạn trên và dưới dùng để quy định phạm vi lấy giá trị của biến thiết kế. Biến thiết kế thường gặp có kích thước độ dài, độ cao hình học... của bộ phận nào đó của kết cấu. Trong tính toán tối ưu kết cấu giàn ống thép, biến thiết kế là kích thước giàn và đường kính thanh giàn.

(2) Biến trạng thái (SVs): Thiết kế yêu cầu thỏa mãn điều kiện ràng buộc, là biến phụ thuộc của thiết kế, là hàm số của biến thiết kế. Biến trạng thái cũng có thể có giới hạn trên và dưới, cũng có thể chỉ có giới hạn trên hoặc chỉ có giới hạn dưới. Trong tính toán tối ưu kết cấu giàn ống thép, biến trạng thái là ứng suất không được vượt quá ứng suất cho phép, biến dạng không được vượt quá biên độ giới hạn.

(3) Hàm số mục tiêu (Objective Function): Là biến cực tiểu trong thiết kế, bắt buộc là hàm số của biến thiết kế, hay giá trị của biến thiết kế thay đổi sẽ thay đổi giá trị của hàm số mục tiêu. Trong phần mềm ANSYS chỉ có thể thiết lập một hàm số mục tiêu. Biến mục tiêu trong thiết kế tối ưu giàn ống thép là trọng lượng nhỏ nhất (Vũ Hoàng Hưng, 2018).

4.2. Tính toán tối ưu

Với kích thước giàn ban đầu cho ở trên, tiến hành tính toán tối ưu với các biến thiết kế và phạm vi thay đổi phù hợp yêu cầu về cấu tạo:

- Kích thước giàn chiều cao giàn: B1 (5,0; 5,5), B2 (4,0; 4,5), B3 (3,0; 3,5).
- Khoảng cách giữa hai thanh cánh hạ lưu: H1 (2,25; 2,75); H2 (2,75; 3,25); H3 (3,25; 3,75).
- Đường kính ngoài của các thanh giàn: DK01,

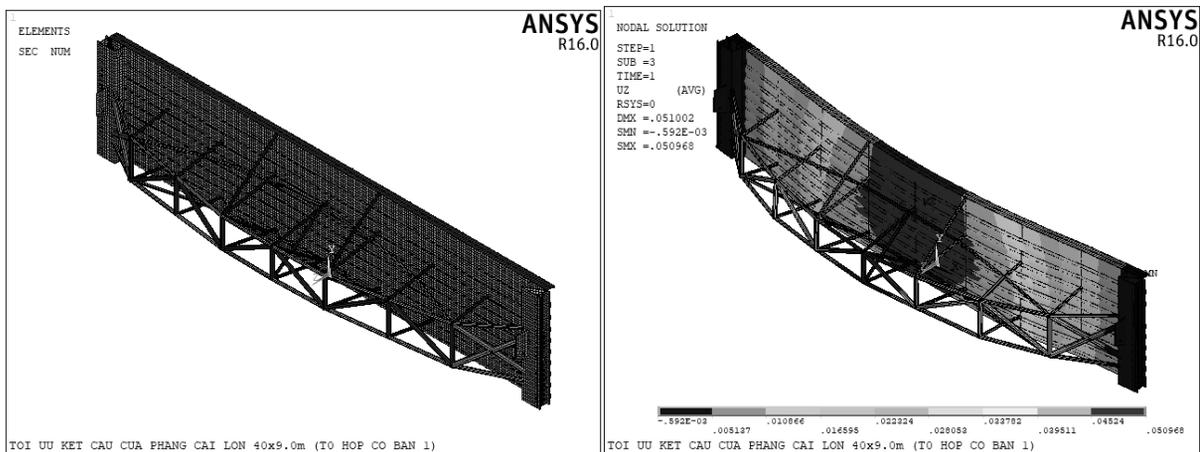
DK02, DK03, DK04, DK05 và phạm vi thay đổi đường kính ống từ 200 ~ 700 mm. Giữ nguyên chiều dày thành ống.

Biến trạng thái được lựa chọn là ứng suất cho phép của vật liệu thép chế tạo cửa van $[\sigma] = 165300 \text{ kN/m}^2$.

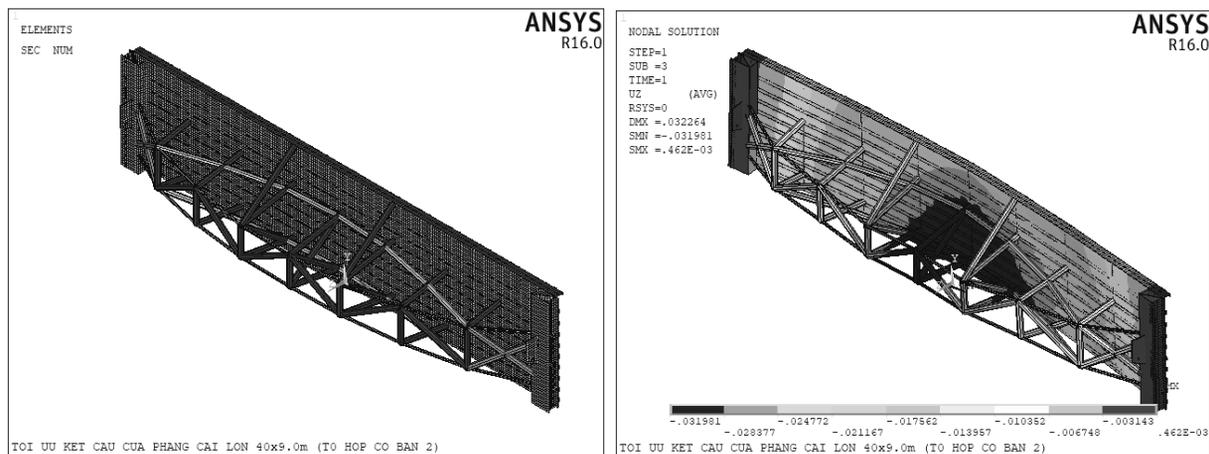
Kết quả tính toán giá trị tối ưu của các biến thiết kế được cho ở Bảng 4.

Bảng 4. Giá trị tính toán tối ưu của các biến thiết kế ứng với các trường hợp tính toán

TT	Biến thiết kế	Giá trị thiết kế (mm)	Giá trị tính toán tối ưu (mm)	
			Cơ bản 1	Cơ bản 2
1	B1	5200	5055	5155
2	B2	4300	4222	4359
3	B3	3100	3388	3044
4	H1	2600	2600	2600
5	H2	3000	3000	3000
6	H3	3367	3367	3367
7	DK01	762×20,0	252×20,0	200×20,0
8	DK02	457×12,7	312×12,7	439×12,7
9	DK03	457×12,7	203×12,7	447×12,7
10	DK04	457×12,7	380×12,7	453×12,7
11	DK05	457×12,7	200×12,7	423×12,7
	WT	66,085	28,232 T	40,653 T



Hình 9. Kết quả tính toán tối ưu với trường hợp hợp cơ bản 1 (ngăn triều)



Hình 10. Kết quả tính toán tối ưu với trường hợp cơ bản 2 (giữ ngọt)

Bảng 5. Kiểm tra điều kiện chuyển vị sau khi thiết kế tối ưu

Tổ hợp	Chuyển vị UZ (m)	Chuyển vị tương đối	Nhận xét
Cơ bản 1	0,050968	1/784	Đạt
Cơ bản 2	-0,031981	1/1250	Đạt

5. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu có thể kết luận như sau:

(1) Khi thay đổi kết cấu hệ giàn với việc tạo thanh cánh thượng dạng vòm ngược với thanh cánh hạ nhưng không thay đổi kích thước và trọng lượng giàn, độ cứng của giàn tăng lên hay độ võng của giàn giảm khoảng 10% đặc biệt hiệu quả khi chịu chênh lệch áp lực nước từ phía đồng. Điều này cho thấy việc thay đổi hình dạng kết cấu giàn khi chịu chênh lệch áp lực nước cả hai phía là khả thi và đảm bảo độ tin cậy.

(2) Kích thước bao ngoài hệ giàn không gian và đường kính thanh giàn có thể thiết kế tối ưu với

mục tiêu trọng lượng giàn là nhỏ nhất nhưng vẫn đảm bảo điều kiện về độ bền và độ cứng của kết cấu. Khi tính toán tối ưu kích thước hệ giàn cho một công trình cụ thể, trọng lượng giàn có thể giảm được đến 40 ~ 50% so với thiết kế ban đầu. Tuy nhiên việc giảm này chưa xét đến yêu cầu về hình thức cấu tạo cũng như ổn định của các thanh giàn.

(3) Với hình thức cửa van phẳng kéo đứng này có thể vượt nhịp lên đến 60 m hoặc hơn.

(4) Việc tính toán kết cấu cửa van phẳng kéo đứng theo mô hình kết cấu thực ba chiều có thể thực hiện dễ dàng trong phần mềm ANSYS dựa trên ngôn ngữ lập trình tham số APDL.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Vũ Hoàng Hưng (2018), *ANSYS - Ví dụ thực tế phân tích kết cấu công trình thủy lợi thủy điện*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- Vũ Hoàng Hưng, Đỗ Văn Hứa (2018), *Cửa van và thiết bị đóng mở*, Bài giảng cao học ngành Công trình, Hà Nội.
- Viện Thủy công - Viện KHTLVN (2019), *Hồ sơ thiết kế bản vẽ thi công hạng mục cơ khí cửa van công Cái Lớn - tỉnh Kiên Giang*, Tài liệu thẩm tra, Hà Nội.
- D. Wang, W. H. Zhang, J. S. Jiang (2002), *Combined shape and sizing optimization of truss structures*, Computational Mechanics 29(4): 307-312.
- Lluís Gil, Antoni Andreu (2001), *Shape and cross-section optimisation of a truss structure*, Computers & Structures 79(7): 681-689.

Abstract:
**OPTIMIZATION OF STEEL PIPE TRUSS FOR TWO-DIRECTION WORKED
SLUICE VERTICAL FLAT GATE**

Based on the theory of optimal structural, the paper has been improved the dimensional shape of steel pipe truss of vertical lift gate to meet these requirements of two-way water controlling at the Mekong Delta River. The topic research on optimization of the steel pipe truss is evaluated effectively by comparison to the common vertical lift gate using pipe truss structure in the same conditions such as, dimension, material, weight and load capacity. In addition, the steel pipe truss structure of gate is also optimized in terms of position and dimension to reduce the self-weight. The research results is analyzed on 3D models by ANSYS software and applied of the Cai Lon's vertical lift gate - Kien Giang province.

Keywords: vertical lift gate, optimization, Cai Lon sluice, two-way working.

Ngày nhận bài: 26/8/2020

Ngày chấp nhận đăng: 30/9/2020