# HIỆU ỨNG ĐỘNG CỦA TẢI TRỌNG SÓNG TRONG BÀI TOÁN KIỂM TRA MỎI KẾT CẤU KHỐI CHÂN ĐẾ CỐ ĐỊNH BẰNG THÉP KIỂU JACKET

Đinh Quang Cường<sup>a,\*</sup>, Bùi Thế Anh<sup>a</sup>, Hoàng Đức Niên<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Khoa Xây dựng Công trình biển và Dầu khí, Trường Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam <sup>b</sup>Cục Đăng kiểm Việt Nam, Bộ Giao thông Vận tải, 18 đường Phạm Hùng, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

**Lịch sử bài viết:** Nhận ngày 28/11/2017, Sửa xong 13/5/2018, Chấp nhận đăng 30/05/2018

## Tóm tắt

Bài toán kiểm tra mỏi là một bài toán quan trọng trong các bước thiết kế kết cấu khối chân đế giàn khoan cố định bằng thép kiểu Jacket. Tuy nhiên, hiện nay để đánh giá hiệu ứng động thì hầu hết các tài liệu mới chỉ dừng ở việc đánh giá thông qua tỷ số phản ứng động so với phản ứng tĩnh. Trong khi đó, đối với bài toán kiểm tra mỏi thì đích cuối cùng là xác định được tổng tỷ số tổn thất mỏi. Bài báo này sẽ trình bày cách đánh giá hiệu ứng động của tải trọng sóng tác dụng lên kết cấu Jacket trong bài toán mỏi thông qua tỷ số tổn thất tích lũy và tiến hành khảo sát cho 03 kết cấu Jacket có độ sâu nước tăng dần trong điều kiện biển Việt Nam.

Từ khoá: hiệu ứng động; jacket; tải trọng sóng; phân tích mỏi.

DYNAMIC EFFECTS OF WAVE LOADS IN FATIGUE ANALYSIS OF FIXED STEEL STRUCTURE

#### Abstract

The fatigue analysis problem is an important problem in the designing steps of the Fixed Steel Jacket Structure. At present, for the dynamic effect assessment, most of the documents are only evaluated based on the ratio of the dynamic response and the static response. However, the fatigue analysis is based on the total of fatigue damage ratio (or fatigue life). This article presents a method for evaluating dynamic effects of wave loads on the Jacket Structures in the fatigue analysis through cumulative damage ratio and examines 03 Jacket Structures with an increase in water depth in the Vietnamese sea conditions.

Keywords: dynamic effects; jacket; wave load; fatigue analysis.

https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(4)-03 © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

# 1. Đặt vấn đề

Trong tính toán kết cấu công trình biển, hiệu ứng động của tải trọng sóng  $DAF_D$  được xác định bằng tỷ số của phản ứng động so với phản ứng tĩnh [1–3] cụ thể:

Hiệu ứng động 
$$DAF_D = \frac{\text{Phản ứng động ở mức thứ } p}{\text{Phản ứng tĩnh ở mức thứ } p}$$
 (1)

<sup>\*</sup>Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: cuongdq.vctb@gmail.com (Cường, Đ. Q.)

trong đó phản ứng động ở mức thứ p có thể là chuyển vị, nội lực, ứng suất, UC, ... khi giải bài toán động lực học; kết quả phản ứng tĩnh ở mức thứ p có thể là chuyển vị, nội lực, ứng suất, UC, ... khi giải bài toán tĩnh.

Khi giải bài toán theo mô hình tựa tĩnh (mô hình gần đúng) thì hiệu ứng động được xác định từ việc giải bài toán một bậc tự do cho kết quả như sau [2–5]:

$$DAF_{QS} = DAF = \frac{1}{\sqrt{(1 - \Omega^2)^2 + (2\xi\Omega)^2}}$$
(2)

Tuy nhiên, đối với bài toán kiểm tra mỏi thì đích cuối cùng là xác định được tổng tỷ số tổn thất mỏi, do vậy việc đánh giá hiệu ứng động trong tính toán kiểm tra mỏi dựa trên công thức số (1) hoặc (2) là chưa thỏa đáng mà phải đánh giá hiệu ứng động thông qua tỷ số tổn thất mỏi. Lúc này hiệu ứng động trong tính toán kiểm tra mỏi được ký hiệu là  $DAF_F$ .

Tiếp theo các kết quả nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả [6–9], trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày việc nghiên cứu, đánh giá hiệu ứng động của tải trọng sóng trong tính toán kiểm tra mỏi kết cấu khối chân đế công trình biển cố định bằng thép kiểu jacket, thực hiện khảo sát tính toán ở các độ sâu nước khác nhau, tăng dần.

### 2. Hiệu ứng động đối với bài toán mỏi

Xét điều kiện kiểm tra không bị phá hủy mỏi: [2, 3, 10]

$$D \le [D] \tag{3}$$

trong đó D là tổng tỷ số tổn thất mỏi tích luỹ tại thời điểm khai thác bất kỳ; [D] là tỷ số tổn thất mỏi gây phá huỷ (tổn thất mỏi cho phép).

Như trình bày ở mục 1, công thức (1) và (2), tìm được:  $\sigma_D = DAF_D\sigma_t$ ,  $(\sigma_D, \sigma_t)$  là ứng suất động và ứng suất tĩnh). Với mỗi thông số sóng thứ  $j(H_j, T_j, n_j)$  trong tính toán ta xác định được tỷ số tổn thất mỏi thứ j như sau:

$$D_{Dj} = \frac{n_j}{N_j} = n_j a S_{Dj}^m = n_j a (S_j * DAF_{Dj})^m = D_{tj} (DAF_{Dj})^m$$
(4)

trong đó chỉ số *j* thể hiện các thông số của con sóng thứ *j*;  $D_{Dj}$  là tỷ số số tổn thất mỏi động;  $D_{tj}$  là tỷ số số tổn thất mỏi tĩnh;  $n_j$  là số chu trình ứng suất;  $N_j$  là số chu trình gây phá hủy mỏi; a,m là thông số phụ thuộc vật liệu, xác định dựa vào đường cong mỏi S-N; *S* là số gia ứng suất,  $S = \Delta \sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ .

Xét cho 1 con sóng thứ *j*, hiệu ứng động trong bài toán mỏi đánh giá thông qua tỷ số tổn thất mỏi thứ *j* được xác định như sau:

$$DAF_{Fj} = \frac{D_{Dj}}{D_{tj}} = (DAF_{Dj})^m$$
(5)

với  $DAF_{Dj}$  được xác định theo công thức số (1) hoặc (2) tùy thuộc vào việc lựa chọn giải bài toán theo mô hình động hay mô hình tựa tĩnh.

Trong thực tế kết cấu luôn chịu tác dụng của nhiều nhóm tải trọng khác nhau, do đó tổng tỷ số tổn thất mỏi tích lũy trong một trạng thái biển ngắn hạn thứ i, gồm  $M_i$  nhóm ứng suất [2]:

$$D_i = \sum_{j=1}^{M_i} \frac{n_j}{N_j} \tag{6}$$

Cường, Đ. Q. và cs. / Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng

Lúc này, hiệu ứng động trong bài toán mỏi cho một trạng thái biển ngắn hạn thứ *i* được xác định như sau:

$$DAF_F = \frac{D_{Di}}{D_{ti}} \tag{7}$$

Tổng thất mỏi tích lũy, tuổi thọ mỏi theo luật Palmgren-Miner, tuổi thọ mỏi tại điểm nóng khảo sát có kể đến hệ số an toàn trong 1 đơn vị thời gian, gồm M trạng thái biển ngắn hạn lần lượt được xác định theo công thức (8), (9) và (10) như sau [2, 3, 10]:

$$D = \sum_{j=1}^{Mi} D_i = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{M_{ij}} \frac{n_{ji}}{N_{ji}}$$
(8)

$$\tau = 1/D \tag{9}$$

$$\tau_{\min} = \tau_{FL} = [D] \left\{ \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{M_{ij}} \frac{p_{ji}}{T_{ji}N_{ji}} \right\}^{-1} (\text{sec})$$
(10)

trong đó [D] là tỷ số tổn thất mỏi gây phá hủy, lấy theo tiêu chuẩn áp dụng tính toán. Theo Palmgren-Miner [D] = 1. Theo các tiêu chuẩn quy phạm, [D] phụ thuộc hệ số an toàn. Ví dụ như API [11] hệ số an toàn bằng 2 thì [D] = 0,5, theo DnV [12] thì [D] = 0,3 ở vùng dao động nước và dưới nước;  $p_{ji}$ là tỷ lệ % thời gian của nhóm ứng suất  $S_j$  trong trạng thái biển thứ i;  $T_{ji}$  là chu kỳ của nhóm ứng suất  $S_j$  trong trạng thái biển thứ i;  $N_{ji}$  là số chu trình của nhóm ứng suất  $S_j$  gây phá hủy mỏi (theo đường cong S-N). Việc kiểm tra tính toán mỏi trong bài báo này được thực hiện theo sơ đồ thuật toán như trình bày ở Hình 1.

#### 3. Kết quả tính toán khảo sát

Số liệu đầu vào chính bao gồm: số liệu về kết cấu công trình, số liệu về điều kiện sóng biển phục vụ tính toán kiểm tra mỏi. Cụ thể, sẽ tính toán kiểm tra các kết cấu giàn đỡ đầu giếng với số liệu đầu vào được trình bày trong Hình 2 và Bảng 1, 2.

Thông số chính	Jacket 1	Jacket 2	Jacket 3
Độ sâu nước (m)	65	90	120
Kích thước thượng tầng (m)	$24 \times 28$	$24 \times 28$	$24 \times 28$
Số lượng ống chính	4	4	4
Số lượng vách ngang	4	5	6
Đường kính ống chính (mm)	$1650 \times 25$	$1965 \times 30$	$2290 \times 40$
Trọng lượng thượng tầng (T)	1680,3	1680,3	1680,3
Trọng lực khối chân đế (T)	3526,4	4951,9	7804,8
Chu kỳ dao động riêng-Operating (s)	2,144	2,800	3,287

Bảng 1. Thông số cơ bản kết cấu các Jacket thực hiện tính toán

Sử dụng phân tích kết cấu bằng phần mềm SACS, kết quả đầu ra được trình bày trong bài báo này sẽ bao gồm: các kết quả DAF,  $DAF_D$ , và tuổi thọ mỏi (*FL*) cho các kết cấu Jacket1, Jacket 2, Jacket 3. Cụ thể, sẽ thể hiện ở Hình 3–7 và 8 ở dưới đây.



Cường, Đ. Q. và cs. / Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng

Hình 1. Sơ đồ thuật toán tính toán, kiểm tra mỏi



(a) Jacket 1, độ sâu nước: 65 m;





Hình 2. Sơ đồ kết cấu các giàn đỡ đầu giếng thực hiện khảo sát

Đồ thị Hình 3 của Jacket 01 ( $d_0 = 65 \text{ m}$ ) thấy  $DAF_D$  hầu như nhỏ hơn  $DAF_{QS}$ . Ở đồ thị Hình 4 của Jacket 02 ( $d_0 = 90 \text{ m}$ ) nhận thấy  $DAF_D$  có giá trị xấp xỉ bằng và lớn hơn  $DAF_{QS}$ . Đến đồ thị Hình 5 của Jacket 03 ( $d_0 = 120 \text{ m}$ ) thì hầu hết các  $DAF_D$  có giá trị lớn hơn  $DAF_{QS}$ .

Đối với giá trị tổn thất mỏi (D) và tuổi thọ mỏi (FL), qua các đồ thị Hình 6 của Jacket 01 ( $d_0 = 65 \text{ m}$ ), đồ thị Hình 7 của Jacket 02 ( $d_0 = 90 \text{ m}$ ), đồ thị Hình 8 của Jacket 03 ( $d_0 = 120 \text{ m}$ ) nhận thấy

Cường, Đ. Q. và cs. / Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng

Bảng 2. Thông số	ồ sóng p	bhuc vu	tính toán	kiểm tra	mỏi	[13	1
						-	-

		Chu kỳ sóng - T <sub>i</sub> (s)												TÔNG			
		1,41	4,23	7,05	9,87	12,69	15,51	18,33	21,15	23,97	26,79	29,61	32,43	35,25	38,07	40,89	
cao sóng - H <sub>i (m)</sub>	13,875					2											2
	13,875				4	14											18
	13,125				16	14											30
	12,375				26	35											61
	11,625				51	73	4										128
	10,875				128	154	17										299
	10,125				248	253	35										536
	9,375				458	453	76										987
	8,625			4	1080	811	168	9									2072
	7,875			20	2296	1462	279	14									4071
	7,125			33	4430	2361	496	38									7358
	6,375			233	9401	3758	878	93	7								14370
iều	5,625			1075	17621	7007	1806	165	22		1						27697
ch	4,875		55	6359	30805	12454	2571	254	16	2							52516
	4,125		760	21350	49586	22417	3547	513	31	7							98211
	3,375		542	62761	89090	33803	4621	685	66	13							191581
	2,625		5394	185551	142843	44927	5023	594	49	7							384388
	1,875		66818	501774	226962	49734	5752	789	28	3							851860
	1,125		582153	1144851	308320	44789	7935	630	25	2							2088705
	0,375	50630	1610646	981617	166819	14672	2334	892	315	67	31	10	7	2	1		2828043
	TÔNG	50630	2266368	2905628	1050184	239193	35542	4676	559	101	32	10	7	2	1		6552933



Hình 3. Biểu diễn tương quan giữa DAF và DAF<sub>D</sub> - Jacket 01







Hình 5. Biểu diễn tương quan giữa DAF và  $DAF_D$  - Jacket 03



Hình 6. Biểu diễn tương quan tuổi thọ mỏi - Jacket 01



Nút Jacket

Hình 7. Biểu diễn tương quan tuổi thọ mỏi - Jacket 02



Hình 8. Biểu diễn tương quan tuổi thọ mỏi - Jacket 03

giá trị (*D*) và (*FL*) cũng có sự biến đổi tương thích với các giá trị của  $DAF_{QS}$  và  $DAF_D$  như trình bày ở trên, tuy nhiên sự chênh lệch là rất lớn. Cụ thể, đối với 1 con sóng:  $DAF_F = (DAF_D \text{ or } DAF_{QS})^m$ , với m = 3 lấy theo đường cong S-N của tiêu chuẩn API [11].

## 4. Kết luận

Đối với bài toán kiểm tra mỏi, khi đánh giá hiệu ứng động  $(DAF_F)$  cần thiết phải đánh giá hiệu ứng động thông qua tỷ số tổn thất mỏi ở mô hình tính động so với mô hình tĩnh vì lúc này  $DAF_F$  sẽ là rất khác và lớn hơn nhiều so với DAF (hoặc  $DAF_D$ ) - đánh giá hiệu ứng động truyền thống.

Như phân tích ở trên, hiệu ứng động của sóng trong tính toán kiểm tra mỏi là lớn, do đó trong tính toán mỏi nên thực hiện tính toán động sẽ cho kết quả sát thực hơn.

Cùng với các nghiên cứu trước đây ở [6–9] của nhóm tác giả, cũng như nghiên cứu của các tác giả, tài liệu khác đã tham khảo, ... nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện hơn các vấn đề hiệu ứng động của tải trọng sóng lên kết cấu công trình biển cố định bằng thép kiểu Jacket nhằm đưa ra lời khuyên cho các tính toán thực tế khi áp dụng ứng với điều kiện biển của Việt Nam.

Cường, Đ. Q. và cs. / Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng

### Tài liệu tham khảo

- [1] Phượng, N. V. (2005). Động lực học công trình. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] Hùng, P. K. (2016). Tính toán thiết kế công trình biển cố định bằng thép trong điều kiện nước sâu. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [3] Barltrop, N. D. P., Adams, A. J. (1991). Dynamics of fixed marine structures. Butterworth-Heinemann.
- [4] Wilson, J. F. (2003). Dynamics of offshore structures. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [5] Chakrabarti, S. K. (2005). Handbook of offshore engineering. Volume I and II, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- [6] Anh, B. T., Cường, Đ. Q. (2013). Nghiên cứu hiệu ứng động của tải trọng sóng thiết kế theo tiêu chuẩn thiết kế hiện hành đối với kết cấu công trình biển bằng thép xây dựng trong điều kiện thềm lục địa Việt Nam. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, (16):38–45.
- [7] Anh, B. T., Cường, Đ. Q. (2015). Nghiên cứu sử dụng hợp lý mô hình tựa tĩnh hoặc động để kiểm tra bền và mỏi kết cấu khối chân đế công trình biển cố định bằng thép kiểu Jacket. *Tạp chí Khoa học Công nghệ* Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, (23):69–74.
- [8] Anh, B. T., Cường, Đ. Q. (2016). Hiệu ứng động của tải trọng sóng trong bài toán kiểm tra bền và kiểm tra mỏi kết cấu khối chân đế gian khoan cố định bằng thép kiểu jacket. *Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học kỷ niệm 35 năm ngày thành lập liên doanh Việt-Nga Vietsovpetro*, tập II, 264–272.
- [9] Anh, B. T., Niên, H. Đ. (2016). Hiệu ứng động của tải trọng sóng trong bài toán kiểm tra bền kết cấu khối chân đế cố định bằng thép kiểu jacket. *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học và Công nghệ lần thứ 17-DHXD*, tập I, 243–248.
- [10] Khôi, P. V. (1997). Tuổi thọ mỏi của kết cấu thép ngoài biển. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [11] API-RP2A-WSD (2002). *Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms working stress design*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [12] DNV-OS-C201 (2012). Structural design of offshore units (WSD method). Det Norske Veritas, Norway.
- [13] FUGRO (2010). *Block 01/97 and 02/97, Vietnam metocean criteria study (C50631/5751/R1)*. Fugro Geos, Oxfordshire, U.K.