TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HCM VIỆN ĐÀO TẠO SAU ĐẠI HỌC



LÊ TUẨN VŨ

PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN ĐỘ BỀN MỎI CỦA KẾT CẦU TẦU THỦY BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẠM VI PHÂN PHỐI ỨNG SUẤT

LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP THẠC SỸ NGÀNH KỸ THUẬT TÀU THỦY

2022

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI TP. HCM VIỆN ĐÀO TẠO SAU ĐẠI HỌC

LÊ TUẨN VŨ

PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN ĐỘ BỀN MỎI CỦA KẾT CẦU TÀU THỦY BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẠM VI PHÂN PHỐI ỨNG SUẤT

LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP THẠC SỸ NGÀNH KỸ THUẬT TÀU THỦY

> CÁN BỘ HƯỚNG DẪN TS. ĐỖ HÙNG CHIẾN

> > 2022

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI THÀNH PHỐ HCM VIỆN ĐÀO TẠO SAU ĐẠI HỌC మ્లाయ

XÁC NHẬN THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Duyệt Khoa Thú y	Cán bộ hướng dẫn
	Cần Thơ, ngày tháng năm 20
PGS.TS./TS./ThS	
Thơ, từ thángđến tháng	dưới sự hướng dẫn của
	hú y – Trường Nông nghiệp – Trường Đại học Cần
Đề tài: "Tên đề tài", do s	sinh viên được thực hiện tại/

PGS.TS./TS./ThS. Tên cán bộ hướng dẫn

TP HCM, ngày ... tháng ... năm 20.. **Duyệt**

LÒI CAM ĐOAN

Kính gửi: Ban Giám hiệu Trường Đại học giao thông vận tải Tp. HCM, Viện đào tạo sau đại học, Viện Hàng Hải.

Tôi tên: **Lê Tuấn Vũ,** MSHV: 2052012201, Lớp: KT2002

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân. Kết quả, số liệu trình bày trong luận văn này là trung thực và chưa từng được công bố trong bất cứ công trình luận văn nào trước đây.

Tp. HCM, ngày ... tháng ... năm 20..

Sinh viên thực hiện

Lê Tuấn Vũ

LỜI CẨM ƠN

Xin chân thành cám ơn

Tên sinh viên thực hiện

MỤC LỤC

CHƯƠNG	G 1 CƠ SỞ LÝ LUẬN	6
1.1 C	ơ sở lý thuyết của phương pháp phạm vi phân phối ứng suất	6
1.1.1	Phân bố Weibull và phạm vi ứng suất dài hạn	6
1.1.2 ứng s	Các biểu thức cho sự phá hủy mỏi dựa trên phân phối Weibull c suất.	
1.1.3 suất.		iên độ ứng
1.1.4 đườn	Ví dụ về việc sử dụng biểu thức cho mỏi trong các bảng tính toa g cong S-N Bilinear	
1.1.5	Xác suất bị vượt quá	13
1.1.6	Phạm vi ứng suất tối đa cho phép	14
1.2 T	huật toán sử dụng trong tính toán sự phá hủy mỏi	18
CHƯƠNG	G 2 THIẾT LẬP MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN	20
2.1 N	Iô hình tính toán và thông số đầu vào	20
2.1.1	Mô hình tính toán	20
2.1.2	Thông số đầu vào	20
2.1.3	Chia lưới mô hình	21
2.2 G	hiá trị ứng suất và các thông số cơ bản	22
2.3 K	ết quả	23
2.3.1	Trường hợp 1: Thay đổi các giá trị của đường S-N Curves	23
2.3.2	Trường hợp 2: Thay đổi hệ số hình dạng Weibull	29
2.3.3	Trường hợp 3: Thay đổi số năm phục vụ (Year in service)	31
2.3.4	Trường hợp 4: Hệ số tập trung ứng suất thay đổi	33
CHƯƠNG	G 3 ĐÁNH GIÁ VÀ PHÂN TÍCH	35
3.1 Đ	ồ thị biểu diễn và đánh giá sự ảnh hưởng	35
3.1.1	Trường hợp 1:	35
3.1.2	Trường hợp 2:	36
3.1.3	Trường hợp 3:	37
3.1.4	Trường hợp 4:	38

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1 Bảng tính cho hư hỏng mỏi với đường cong S-N bilinear	.12
Bảng 1.2 Đường cong S-N trong không khí theo DNVGL-RP-C203 (2016)	.15
Bảng 1.3 Hệ số giảm ứng suất tương ứng với hệ số sử dụng, η, cho đường cong C–V	V3
trong môi trường không khí	.16
Bảng 1.4 Các hệ số sử dụng, η, dưới dạng một hàm số của tuổi thọ thiết kế và DFF	
(DNVGL-RP-C203 2016)	.17
Bảng 2.1 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp $1-1$.25
Bảng 2.2 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp $1-2$.27
Bảng 2.3 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 2	.29
Bảng 2.4 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 3	.31

DANH MỤC HÌNH

Hình 1.1 Phạm vi ứng suất cực đại cho phép trong 10^8 chu kỳ đối với các bộ phận
trong không khí. (Theo DNVGL-RP-C203 2016)
Hình 2.1 Góc khung sườn được nghiên cứu20
Hình 2.2 Lực tác dụng vào khung sườn21
Hình 2.3 Điều kiện biên áp dụng cho khung sườn21
Hình 2.4 Mô hình chia lưới khung sườn22
Hình 2.5 Ứng suất lớn nhất22
Hình 2.6: Bảng tính toán độ bền mỏi của kết cấu thân tàu
Hình 3.1 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến thiệt hại mỏi do
tính toán35
Hình 3.2 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến tuổi thọ tính toán
35
Hình 3.3 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến thiệt hại mỏi
do tính toán36
Hình 3.4 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến tuổi thọ tính
toán36
Hình 3.5 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến thiệt hại mỏi do tính
toán37
Hình 3.6 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến tuổi thọ tính toán37
Hình 3.7 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến thiệt hại mỏi
do tính toán38
Hình 3.8 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến tuổi thọ tính
toán38

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Diễn giải tiếng Anh	Nghĩa tiếng Việt
SRD	Stress Range Distribution	Phạm vi phân phối ứng suất
et al	et alia	Cộng tác viên

LỜI MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Phân tích và đánh giá các yếu tố tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy bằng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất là cần thiết vì nó cung cấp một cách tiếp cận tổng quát và toàn diện hơn trong việc đánh giá hiệu quả độ bền mỏi của kết cấu tàu.

Phương pháp phạm vi phân phối ứng suất (SRD) giúp xác định các khoảng ứng suất tại các điểm nóng trên kết cấu, mô phỏng các biến đổi độ bền mỏi trong một khoảng thời gian và điều kiện hoạt động khác nhau. Khi đánh giá độ bền mỏi của kết cấu tàu, có nhiều yếu tố tác động đến độ bền mỏi như tải trọng động, tình trạng sóng biển, nhiệt độ môi trường và thời gian hoạt động,.... Sử dụng phương pháp SRD giúp tính toán chính xác các ứng suất tại các điểm nóng trong suốt quá trình hoạt động của tàu, từ đó định lượng hiệu quả độ mỏi và tuổi thọ của kết cấu.

Bằng cách áp dụng phương pháp SRD, ta có thể dự đoán được vị trí nào trong kết cấu tàu có nguy cơ hư bị phá hủy cao hơn, từ đó đưa ra các biện pháp hạn chế và cải tiến trong thiết kế và vận hành tàu. Điều này giúp nâng cao độ an toàn và độ tin cậy của tàu thủy, tránh được các sự cố liên quan đến hỏng hóc mệt mỏi và giảm thiểu chi phí bảo trì và sửa chữa.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu tổng quát của nghiên cứu là cung cấp một phương pháp đáng tin cậy và toàn diện để phân tích và đánh giá các yếu tố tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy bằng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất. Nghiên cứu nhằm xác định những yếu tố quan trọng tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu trong các điều kiện khác nhau, từ đó đưa ra các dự đoán chính xác và đáng tin cậy về hiệu quả mệt mỏi và tuổi thọ của kết cấu tàu. Mục tiêu cuối cùng là nâng cao độ an toàn, độ tin cậy và hiệu quả trong thiết kế, vân hành và bảo trì của các kết cấu tàu thủy.

Các mục tiêu cụ thể trong nghiên cứu bao gồm:

- Xây dựng mô hình phân tích phần tử hữu hạn để tính toán chính xác và dự đoán độ hư hỏng do mỏi của kết cấu tàu. - Xác định và phân tích và đánh các yếu tố tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy bằng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất.

Câu hỏi đặt ra là: Những yếu tố nào tác động đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy trong quá trình hoạt động, và làm thế nào để áp dụng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất để dự đoán và đánh giá hiệu quả độ bền mỏi và tuổi thọ của kết cấu tàu trong các điều kiên khác nhau?

3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu trong đề tài chính là độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy

Phạm vi nghiên cứu của đề tài bao gồm các nội dung sau:

- Phạm vi nội dung: trong nghiên cứu, chúng ta tập trung vào vấn đề phân tích và đánh giá độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy.
- Phạm vi không gian: Chúng ta thực hiện việc nghiên cứu này tại khu vực giao nhau giữa các kết cấu khỏe trong tàu thủy.
- Phạm vi thời gian: Nghiên cứu được thực hiện trong 6 tháng (Từ tháng 6 năm 2023 đến tháng 11 năm 2023).

4. Phương pháp nghiên cứu

Đề tài sử dụng phương pháp phạm vi phân phối ứng suất, cùng với đó là phân tích và đánh giá cụ thể các yếu tố tác động để độ bền mỏi kết cấu tàu thủy.

5. Ý nghĩa thực tiễn của đề tài

Đề tài trên có ý nghĩa to lớn trong việc cải thiện độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy: Nghiên cứu này giúp xác định các yếu tố có thể ảnh hưởng đến độ bền mỏi của kết cấu tàu thủy, giúp tối ưu hóa vật liệu để cải thiện độ bền mỏi của tàu và giảm thiểu nguy cơ sự cố kết cấu trên biển. Bên cạnh đó, chúng ta có thể xác định tuổi thọ của kết cấu, qua đó có xác định được thời gian sửa chữa, thay thế để đảm bảo an toàn hàng hải.

6. Tổng quan về lĩnh vực nghiên cứu trước có liên quan.

Tác giả: Wolfgang Fricke, Hans Paetzold với đề tài nghiên cứu "Full-scale fatigue tests of ship structures to validate the S–N approaches for fatigue strength assessment" tập trung vào việc thực hiện các thử nghiệm mệt mỏi quy mô đầy đủ trên các cấu trúc tàu thủy để xác nhận các phương pháp đánh giá sức mệt mỏi dựa trên đường cong S-N.

Bài nghiên cứu nhấn mạnh đến vấn đề độ bền mỏi của các kết cấu tàu thủy dựa trên đường cong S-N, vì chúng phải chịu những tải trọng tuần hoàn cao. Tuy nhiên, đối với việc đánh giá độ bền mỏi của các kết cấu này có nhiều phương pháp khác nhau và không đồng nhất. Vì vậy, để hài hòa các phương pháp đánh giá độ bền mỏi, các thử nghiệm độ bền mỏi quy mô đầy đủ đã được thực hiện ở Đức trong một dự án nghiên cứu chung của ngành công nghiệp đóng tàu.

Hai loại kết cấu tàu đã được chọn để thử nghiệm quy mô đầy đủ. Loại đầu tiên là các vị trí giao điểm giữa các khung web, phổ biến trong tàu roll-on/roll-off (ro/ro). Ba mô hình đã được thử nghiệm dưới tải trọng biên độ không đổi. Loại thứ hai là các giao điểm giữa dầm dọc và khung web, đã xuất hiện các hỏng hóc do độ bền mỏi gần đây trên tàu chở container. Năm mô hình đã được thử nghiệm, ba dưới tải trọng biên độ không đổi và hai dưới tải trọng biên độ biến đổi.

Tất cả các thử nghiệm đã cho thấy giai đoạn lan truyền nứt tương đối dài sau khi xuất hiện các nứt đầu tiên, đòi hỏi một tiêu chuẩn hợp lý. Đối với phân tích số, đã sử dụng cả phương pháp ứng suất điểm nóng kết cấu và phương pháp ứng suất rãnh hiệu quả. Phương pháp ứng suất rãnh hiệu quả cho phép xem xét hình dạng hàn, điều này có thể giải thích một phần sự khác biệt trong hành vi hỏng hóc được quan sát và tính toán.

Từ các kết quả của các nghiên cứu thử nghiệm, đã đạt được cái nhìn tổng quát về hành vi cường độ của các cấu trúc tàu hàn phức tạp và các vấn đề hiện tại. Các nghiên cứu này đóng góp quan trọng cho việc cải thiện phương pháp thiết kế và xây dựng các kết cấu tàu an toàn và đáng tin cậy hơn.

Các tác giả: Byoung-Hoon Jung, In-Gyu Ahn, Sun-Kee Seo và Beom-Il Kim trong nghiên cứu "Fatigue Assessment of Very Large Container Ships Considering Springing Effect Based on Stochastic Approach" đã xây dựng một phương pháp đánh giá độ bền

mỏi xem xét thành phần co giãn tuyến tính trong miền tần số. Dựa trên một mô hình toàn cầu ba chiều, thực hiện phân tích tương tác cơ - cấu và áp dụng phương pháp kết hợp các mode để xác định ứng suất điểm nóng tại góc vòi hầm của tàu chở container rất lớn. Hư hỏng mệt mỏi được ước tính trực tiếp bằng cách sử dụng hàm chuyển đổi ứng suất với phản ứng co giãn tuyến tính.

Bài nghiên cứu tập trung vào việc xây dựng một phương pháp đánh giá độ bền mỏi dựa trên kỹ thuật phân tích thống kê tuyến tính. Nghiên cứu xem xét hiệu ứng co giãn ("springing effect") của các tàu chở container rất lớn, và tiến hành đánh giá tính khả dụng của quy trình đối với một tàu thực tế.

Phương pháp đã được thiết lập để tính toán trực tiếp hư hỏng mỏi tại các điểm nóng trên tàu bằng cách sử dụng mô hình toàn cầu ba chiều. Sau đó, đề xuất một phương pháp ước tính hư hỏng mỏi cuối cùng, kết hợp hư hỏng tính toán từ phân tích độ bền mỏi phổ cứng cơ học, và áp dụng tỷ lệ giữa hư hỏng mệt mỏi tính toán từ giai đoạn đánh giá thiết kế tàu và hư hỏng do hiệu ứng co giãn từ một lý thuyết khác.

Phương pháp đề xuất cũng được sử dụng để ước tính hư hỏng mỏi của các điểm nóng trên tàu theo hướng dọc. Từ các kết quả tính toán, đã phân tích các đặc điểm và kết quả hư hỏng mỏi từ từng phương pháp.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng gặp một số hạn chế khi áp dụng và đánh giá phương pháp đề xuất trong thiết kế tàu thực tế. Trong tương lai, cần nghiên cứu kỹ hơn về hàm chuyển đổi ứng suất và phản ứng ứng suất được sử dụng để tính toán hư hỏng mỏi, và tiến hành các nghiên cứu liên quan đến các yếu tố phi tuyến.

Bài nghiên cứu: "Fatigue strength assessment of MARK-III type LNG cargo containment system" của các tác giả Myung Hyun Kim, Sang Min Lee, Jae Myung Lee, Byung Jae Noh, và Wha Soo Kim tập trung vào việc khám phá độ bền mệt mỏi của hệ thống cách nhiệt loại Mark-III trên tàu chở LNG. Các thử nghiệm mệt mỏi đã được tiến hành ở ba vị trí khác nhau trên hệ thống cách nhiệt, đồng thời xem xét tác động từ việc chuyển động dội sóng. Các mức tải trọng đã được xác định dựa trên độ bền cuối cùng của bọt xốp polyurethane gia cường.

Tổng cộng có 28 mẫu thử thuộc 3 loại khác nhau được sử dụng trong các thử nghiệm mỏi. Nghiên cứu đã tìm hiểu tuổi thọ mỏi cũng như các đặc điểm hỏng hóc của hệ thống cách nhiệt LNG. Trong quá trình thử nghiệm, quan sát được các hỏng hóc điển hình của bảng cách nhiệt Mark-III, bao gồm các nứt và các hiện tượng delamination trong các lớp composite khác nhau.

Nghiên cứu đề xuất một hướng dẫn thiết kế độ bền mỏi dựa trên kỹ thuật phân tích phần tử hữu hạn để đánh giá độ mỏi nhất quán cho hệ thống cách nhiệt LNGC. Điều này bao gồm việc sử dụng dải mastic hình chữ nhật để đạt được kết quả đáng tin cậy và nhất quán trong việc thiết kế mệt mỏi.

Đường cong S-N thiết kế được đề xuất dựa trên kết quả của các thử nghiệm phân tích phần tử hữu hạn. Kết quả này có thể được sử dụng trong việc phân tích độ bền mỏi cho hệ thống cách nhiệt LNGC, giúp nâng cao hiệu quả và đáng tin cậy trong thiết kế của hệ thống cách nhiệt này.

CHƯƠNG 1 CƠ SỞ LÝ LUẬN

1.1 Cơ sở lý thuyết của phương pháp phạm vi phân phối ứng suất

1.1.1 Phân bố Weibull và phạm vi ứng suất dài hạn

Đối với việc đánh giá độ bền mỏi của các cấu trúc nổi, thường được giả định rằng phân bố biên độ căng kéo dài hạn có thể được đại diện một cách đủ đắc lực bằng phân phối Weibull hai tham số (xem ví dụ, Guedes Soares và Moan 1991). Hàm mật độ xác suất cho phân phối Weibull hai tham số có dạng:

$$f\left(\Delta\sigma\right) = \frac{h}{q} \left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h-1} e^{-\left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h}} \tag{1.1}$$

Trong đó:

- h là tham số hình dáng
- q là tham số tỷ lệ

Tham số tỷ lệ liên quan đến biên độ ứng suất tối đa $\Delta \sigma$, trong suốt n_0 chu kỳ ứng suất, cụ thể như sau:

$$q = \frac{\Delta \sigma_0}{\left(\ln n_0\right)^{1/h}} \tag{1.2}$$

Phân phối tích lũy sau đây cho biên độ ứng suất được tạo ra bằng việc tích phân của phương trình (1.1) từ 0 đến $\Delta\sigma$:

$$F(\Delta\sigma) = \int_{0}^{\Delta\sigma} f(\Delta\sigma) d\Delta\sigma$$

$$= \int_{0}^{\Delta\sigma} \frac{h}{q} \left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h-1} e^{-\left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h}} d\Delta\sigma$$

$$= \left| -e^{-\left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h}} \right|_{0}^{\Delta\sigma}$$

$$= 1 - e^{-\left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h}}$$
(1.3)

Với mục đích kỹ thuật, tham số tỷ lệ q có thể loại bỏ bằng cách giới thiệu biên độ ứng suất tối đa σ_0 trong suốt n_0 chu kỳ ứng suất. Điều này có thể thực hiện bằng cách sử dụng hàm bù, Q, biểu thị xác suất biên độ ứng suất $\Delta \sigma$ vượt quá:

$$Q(\Delta\sigma) = 1 - F(\Delta\sigma) \tag{1.4}$$

Biên độ ứng suất lớn nhất xảy ra chỉ một lần trong suốt n_0 chu kỳ, và xác suất xảy ra điều này là:

$$Q(\Delta\sigma_0) = \frac{1}{n_0} = e^{-\left(\frac{\Delta\sigma_0}{q}\right)^h}$$
 (1.5)

Số lượng chu kỳ, n, mà biên độ ứng suất $\Delta \sigma$ bị vượt quá sau đó có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$Q(\Delta\sigma) = \frac{n}{n_0} = e^{-\left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^h}$$
 (1.6)

Lấy logarithm cả hai phía của phương trình (1.6) ta có kết quả là:

$$\ln \frac{n}{n_0} = -\left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^h \tag{1.7}$$

Sau đó, bằng cách thay q từ phương trình (1.2) vào, phương trình trở thành:

$$\ln \frac{n}{n_0} = \ln n - \ln n_0 = -\left(\frac{\Delta \sigma}{\Delta \sigma_0}\right) \ln n_0 \tag{1.8}$$

Và ta có:

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_0} = \left(1 - \frac{\ln n}{\ln n_0}\right)^{1/h} = \left(1 - \frac{\log n}{\log n_0}\right)^{1/h} \tag{1.9}$$

Ở phần cuối của phương trình này, mối quan hệ $\log n = \ln n$ được sử dụng.

1.1.2 Các biểu thức cho sự phá hủy mỏi dựa trên phân phối Weibull của biên độ ứng suất.

Hàm gamma (xem, ví dụ, Ambramowitz và Stegun 1970) được định nghĩa như sau:

$$\Gamma(z) = \int_{0}^{\infty} e^{-t} t^{z-1} dt \tag{1.10}$$

Hàm gamma không hoàn chỉnh được định nghĩa như sau:

$$\gamma(a,x) = \int_{0}^{x} e^{-t} t^{a-1} dt$$
 (1.11)

(a trong biểu thức này là một tham số khác biệt so với tham số được sử dụng để mô tả đường cong S-N.)

Hàm bù gamma không hoàn chỉnh được đinh nghĩa như sau:

$$\Gamma(a,x) = \Gamma(a) - \gamma(a,x) = \int_{x}^{\infty} e^{-t} t^{a-1} dt$$
 (1.12)

Phân phối Weibull hai tham số được trình bày trong phương trình (1.1). Đối với đường cong S-N một độ dốc, tổn thương mỏi có thể tính dựa trên việc tích phân của phương trình tổn thương Palmgren-Miner và đường cong S-N, cụ thể như sau:

$$D = \int_{0}^{\infty} \frac{dn}{N(\Delta\sigma)} d\Delta\sigma$$

$$= n_{0} \int_{0}^{\infty} \frac{f(\Delta\sigma)}{N(\Delta\sigma)} d\Delta\sigma$$

$$= \frac{n_{0}}{a_{d}} \int_{0}^{\infty} \Delta\sigma^{m} \frac{h}{q} \left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h-1} e^{-\left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h}} d\Delta\sigma$$
(1.13)

Tiếp theo ta có:

$$t = \left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^h \tag{1.14}$$

Lấy vi phân của phương trình 1.14, ta có:

$$\frac{dt}{d\Delta\sigma} = \frac{h}{q} \left(\frac{\Delta\sigma}{q}\right)^{h-1} \tag{1.15}$$

Sau đó, bằng cách kết hợp các phương trình (1.13), (1.14) và (1.15), biểu thức sau dành cho sự phá hủy mỏi được tính toán được tạo ra (để so sánh với phương trình 1.10):

$$D = \frac{n_0}{a_d} q^m \int_0^\infty e^{-t} t^{\left(1 + \frac{m}{h}\right)^{-1}} dt$$
 (1.16)

Bằng cách so sánh phương trình (1.16) và (1.10), có thể thấy rằng sự phá hủy mỏi có thể được tính toán từ biểu thức sau đây:

$$D = \frac{n_0}{a_d} q^m \Gamma \left(1 + \frac{m}{h} \right) \tag{1.17}$$

Với q từ công thức 1.2, sự phá hủy mỏi có thể được tính như sau:

$$D = \frac{n_0}{a_d} \frac{\Delta \sigma_0^m}{\left(\ln n_0\right)^{m/h}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{h}\right)$$
 (1.18)

Để tính toán sự phát triển của vết nứt bằng cơ học gãy vỡ khi bỏ qua các giá trị ngưỡng, có thể thuận tiện để tạo ra một biên độ ứng suất tĩnh tương đương mà cung cấp cùng sự phá hủy mỏi tính toán như từ một phân phối biên độ ứng suất dài hạn theo phân phối Weibull cho cùng số chu kỳ ứng suất. Điều này có thể được đạt được bằng cách yêu cầu rằng sự phá hủy mỏi dưới tải trọng biên độ tĩnh, xem xét một khối với chu kỳ n₀ đem lại cùng sự phá hủy mỏi như bằng phương trình (1.17):

$$D = \frac{n_0}{a_d} \Delta \sigma_{eq}^m = \frac{n_0}{a_d} \frac{\Delta \sigma_0^m}{\left(\ln n_0\right)^{m/h}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{h}\right)$$
 (1.19)

Giải phương trình này để tìm hằng số biên độ ứng suất tĩnh tương đương ta có:

$$\Delta \sigma_{eq} = \frac{\Delta \sigma_0}{\left(\ln n_0\right)^{1/h}} \sqrt[m]{\Gamma\left(1 + \frac{m}{h}\right)} \tag{1.20}$$

Với q từ phương trình 1.2, phương trình trên cũng có thể được trình bày như sau:

$$\Delta \sigma_{eq} = q_{\gamma}^{m} \Gamma \left(1 + \frac{m}{h} \right) \tag{1.21}$$

Đối với đường cong S-N hai độ dốc (bilinear), sự phá hủy mỏi cũng có thể được tính toán theo quy tắc Palmgren-Miner bằng cách tích phân chúng dưới mỗi phần của các đường cong S-N bilinear. Số lượng chu kỳ trong phần tử số của quy tắc phá hủy được

tạo ra từ biểu thức cho phân phối biên độ ứng suất dài hạn theo phân phối Weibull. Do đó, sự phá hủy mỏi được tính toán như sau:

$$D = \frac{n_0}{a_{d1}} \int_{S_1}^{\infty} \Delta \sigma^{m_1} \frac{h}{q} \left(\frac{\Delta \sigma}{q} \right)^{h-1} e^{-\left(\frac{\Delta \sigma}{q} \right)^h} d\Delta \sigma + \frac{n_0}{a_{d2}} \int_{S_2}^{\infty} \Delta \sigma^{m_2} \frac{h}{q} \left(\frac{\Delta \sigma}{q} \right)^{h-1} e^{-\left(\frac{\Delta \sigma}{q} \right)^h} d\Delta \sigma$$

$$(1.22)$$

Kết hợp với phương trình 1.14 và 1.15, chúng ta có:

$$D = \frac{n_0}{a_{d1}} \int_{(S_1/q)^h}^{\infty} q^{m_1} t^{\frac{m_1}{h}} \frac{dt}{d\Delta \sigma} e^{-t} d\Delta \sigma + \frac{n_0}{a_{d2}} \int_{0}^{(S_1/q)^h} q^{m_2} t^{\frac{m_2}{h}} \frac{dt}{d\Delta \sigma} e^{-t} d\Delta \sigma$$

$$= \frac{n_0}{a_{d1}} q^{m_1} \int_{(S_1/q)^h}^{\infty} e^{-t} t^{\left(1 + \frac{m_1}{h}\right) - 1} dt + \frac{n_0}{a_{d2}} q^{m_2} \int_{0}^{(S_1/q)^h} e^{-t} t^{\left(1 + \frac{m_2}{h}\right) - 1} dt$$

$$(1.23)$$

trong đó S_1 là ứng suất tại điểm chuyển từ phần trái sang phần phải của đường cong S_1 N. So sánh biểu thức này cho sự phá hủy mỏi với định nghĩa của các hàm gamma không hoàn chỉnh trong các phương trình (1.11) và (1.12), ta có thể tạo ra phương trình sau đây:

$$D = \frac{n_0}{a_{d1}} q^{m_1} \Gamma \left(1 + \frac{m_1}{h}; \left(\frac{S_1}{q} \right)^h \right) + \frac{n_0}{a_{d2}} q^{m_2} \Gamma \left(1 + \frac{m_2}{h}; \left(\frac{S_2}{q} \right)^h \right)$$
(1.24)

1.1.3 Biểu thức cho sự phá hủy mỏi dựa trên phân phối Rayleigh của biên độ ứng suất.

Phân phối Rayleigh thường được sử dụng để tính toán sự phá hủy mỏi trong một trạng thái biển khi thực hiện phân tích mỏi dựa trên phản ứng tần số. Phân phối Rayleigh có dạng như sau:

$$f\left(\Delta\sigma\right) = \frac{\Delta\sigma}{4\sigma_{x}^{2}}e^{-\frac{\Delta\sigma^{2}}{8\sigma_{x}^{2}}}$$
(1.25)

Trong đó:

- $\Delta \sigma = \text{biên } \hat{\sigma}$ ứng suất
- $\sigma_x = \text{độ lệch chuẩn}$

So sánh các phân phối, có thể quan sát rằng phân phối Rayleigh là một trường hợp đặc biệt của phân phối Weibull, với:

$$h = 2$$

$$q = 2\sqrt{2}\sigma_x$$
(1.26)

Do đó, biểu thức tính toán sự phá hủy mỏi có thể được tính toán trực tiếp từ phương trình 1.24 như sau:

$$D = \frac{n_0}{a_{d1}} \left(2\sqrt{2}\sigma_x \right)^{m_1} \Gamma \left(1 + \frac{m_1}{2}; \left(\frac{S_1}{2\sqrt{2}\sigma_x} \right)^h \right) + \frac{n_0}{a_{d2}} \left(2\sqrt{2}\sigma_x \right)^{m_2} \gamma \left(1 + \frac{m_2}{2}; \left(\frac{S_1}{2\sqrt{2}\sigma_x} \right)^h \right)$$
(1.27)

1.1.4 Ví dụ về việc sử dụng biểu thức cho mỏi trong các bảng tính toán dựa trên đường cong S-N Bilinear.

Trong ví dụ dưới đây, sẽ được trình bày cách sử dụng các biểu thức tương ứng với sự phá hủy mỏi dựa trên đường cong S-N Bilinear trong một bảng tính toán thực tế. Hàm gamma có thể được tính trực tiếp từ một hàm có sẵn trong bảng tính toán. Trong một bảng tính hàm được viết bằng ngôn ngữ C#, chúng ta có thể tính được giá trị $\Gamma(a)$

Phân phối gamma có thể được sử dụng để tính các hàm gamma không hoàn chỉnh trong phương trình (1.24). Hàm này được định nghĩa như sau:

$$P(a,x) = \frac{1}{\Gamma(a)} \int_{0}^{x} e^{-t} t^{a-1} dt \qquad a > 0$$
 (1.28)

và:
$$\gamma(a,x) = P(a,x)\Gamma(a) = \int_{0}^{x} e^{-t}t^{a-1} \quad a > 0$$
 (1.29)

Hàm bù gamma không hoàn chỉnh được tạo ra như sau:

$$\Gamma(a,x) = \Gamma(a) - \gamma(a,x) = \int_{x}^{\infty} e^{-t} t^{a-1} dt$$
 (1.30)

Ta thấy:

$$x = \left(\frac{S_1}{q}\right)^h \tag{1.31}$$

 $a=1+\frac{m_1}{h}$ cho phần bên trái đường S-N $a=1+\frac{m_2}{h}$ cho phần bên phải đường S-N

Bảng 1.1 Bảng tính cho hư hỏng mỏi với đường cong S-N bilinear

STT		D	Е	Ghi chú
1	Hot spot No.	1	2	
2	S-N Curve	B1	F1	
3	Nominal stress range (MPA)	131.61	136.75	
4	Hot spot stress factor	3	1.15	
5	Weibull: h	1.1	1.1	
6	Cycles at knee in S-N curve N1	1e7	1e7	
7	$m_1 (N \le N_1 cycles)$	4	3	
8	$\log a_{d1} (N \le N_1 cycles)$	14.885	11.699	
9	$m_2(N > N_1 cycles)$	5	5	
10	$\log a_{d2} (N > N_1 cycles)$	16.856	14.832	
11	Year in service	20	20	
12	Zero up-crossing freequency: v ₀	0.159	0.159	
13	Effective thickness [mm]	30	30	
14	Reference thickness	25	25	
15	Thickness exponent k	0	0.25	
16	T_d = Time in service (in	6.31e8	6.31e8	
	year).60.60.24.365			
17	Calculated number of cycles: n ₀	1e8	1e8	
18	Calculated Weibull scale	27.932	11.126	
	parameter: q			
19	Thickness or size correction	1	1.047	
20	$Gamma(1+m_1/h)$	14.089	4.306	
21	Gamma(1+m ₂ /h)	56.331	56.331	
22	Stress at knee in S-N Curve: S ₁	93.594	36.841	
23	$(S_1/q)^h$	3.781	3.733	
24	Gamma distribution	0.395	0.57	
	$P((1+m_1/h),(S_1/q)^h)$			
25	Gamma distribution	0.242	0.233	
	$P((1+m_2/h),(S_1/q)^h)$			
26	Calculated fatigue damage: D	1	1	
27	Calculated life time T [years]	20.006	20.002	

1.1.5 Xác suất bi vươt quá

Khái niệm về mức xác suất được sử dụng trong thiết kế cấu trúc tàu. Nó cũng được sử dụng trong phân tích mệt mỏi liên quan đến việc tính toán tải trọng áp lực bên cạnh trên các tàu sản xuất nổi (DNV-RP-C206 2012). Ký hiệu này có ý nghĩa khác biệt so với xác suất sự cố hàng năm. Ký hiệu về mức xác suất hoặc xác suất bị vượt quá được sử dụng với tham chiếu đến một mô tả Weibull về phân phối dài hạn của phạm vi ứng suất hoặc chiều cao sóng. Mức xác suất được sử dụng ở đây được định nghĩa là xác suất một giá trị bị vượt quá. Ví dụ, nếu có $n_0 = 10^8$ chu kỳ tải trọng trong 20 năm, xác suất rằng chiều cao sóng tối đa hoặc một tải trọng bị vượt quá trong những chu kỳ tải trọng này trong 20 năm là $1/n_0 = 10^{-8}$. Do đó, có thể thấy rằng điều này khá khác biệt so với xác suất hàng năm, một biểu thức được sử dụng thường xuyên hơn trong việc đánh giá mức độ an toàn của kết cấu hàng hải. Giả định rằng phân phối chiều cao sóng dài hạn có một phân phối Weibull, một phương trình tương tự cho mối quan hệ giữa chiều cao sóng và xác suất bị vượt quá, tương tự như phạm vi ứng suất trong phương trình (1.9), có thể được tìm ra như sau:

$$H = H_{\text{max}} \left(1 - \frac{\log n}{\log n_0} \right)^{1/h}$$
 (1.32)

Một mức xác suất được đề cập trong DNV CN 30.7 (2014), "Fatigue Assessment of Ship Structures" là 10⁻⁴ điều này có nghĩa rằng chiều cao sóng tương ứng với mức xác suất này cho một tham số hình dạng Weibull là 1.0 là:

$$H = H_{\text{max}} \left(1 - \frac{\log 10^4}{\log 10^8} \right)^{1/h} = \frac{1}{2} H_{\text{max}}$$
 (1.33)

trong đó H_{max} là chiều cao sóng tối đa trong suốt 20 năm.

Do đó, từ phương trình này có thể thấy rằng một mức xác suất là 10^{-4} tương ứng với một nửa chiều cao sóng tối đa trong suốt 20 năm, với một tham số hình dạng Weibull, h=1.0 Như vậy, chiều cao sóng này sẽ bị vượt quá 10.000 lần trong khoảng thời gian 20 năm. Tham số hình dạng cho phân phối phạm vi ứng suất có thể khác biệt so với tham số cho chiều cao sóng, tùy thuộc vào mối quan hệ giữa chiều cao sóng và tải trọng trên cấu trúc cũng như khả năng phản ứng động của cấu trúc.

Phương trình (1.2) có thể được sử dụng trực tiếp để tính toán dãy căng thẳng tại các mức xác suất khác nhau, vì tham số tỷ lệ là một giá trị đã cho trong một phân phối Weibull cụ thể. Như vậy, mối quan hệ giữa hai mức xác suất khác nhau có thể được thể hiện như sau:

$$q = \frac{\Delta \sigma_0}{\left(\ln n_0\right)^{1/h}} = \frac{\Delta \sigma}{\left(\ln n\right)^{1/h}} \tag{1.34}$$

Điều này cho ra:

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma_0 \left(\frac{\ln n}{\ln n_0} \right)^{1/h} = \Delta \sigma_0 \left(\frac{\log n}{\log n_0} \right)^{1/h}$$
 (1.35)

Phương trình này là cách thực tế để chuyển đổi phạm vi ứng suất giữa các mức xác suất khác nhau. Do đó, xem xét ví dụ về một cấu trúc ngoại biển chịu tải trọng sóng trong suốt 20 năm, số chu kỳ thường là 10^8 . Phạm vi ứng suất lớn nhất trong suốt 20 năm có thể được ký hiệu là $\Delta\sigma_{20}$. Số chu kỳ tương ứng trong suốt 100 năm là $5\cdot10^8$. Phạm vi ứng suất lớn nhất trong suốt 100 năm có thể được ký hiệu là $\Delta\sigma_{100}$. Phương trình (1.35) có thể được sử dụng để thiết lập mối quan hệ giữa hai phạm vi ứng suất này.

$$\Delta \sigma_{20} = \Delta \sigma_{100} \left(\frac{\log n_{20}}{\log n_{100}} \right)^{1/h} = \Delta \sigma_{100} \left(\frac{\log 10^8}{\log 5 \cdot 10^8} \right)^{1/h} = \Delta \sigma_{100} \left(0.92 \right)^{1/h}$$
 (1.36)

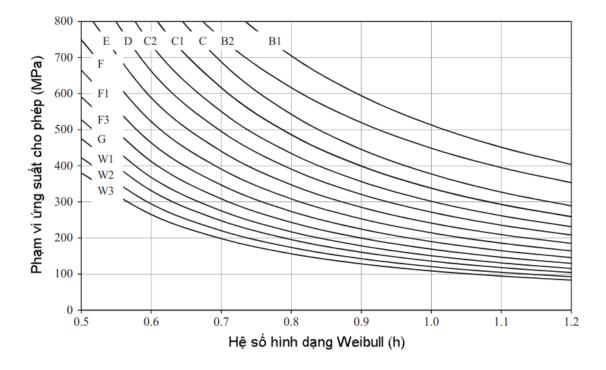
Phương trình này được trình bày trong một số tiêu chuẩn thiết kế cho kết cấu hàng hải.

1.1.6 Phạm vi ứng suất tối đa cho phép.

Phương trình (1.24) hoặc bảng tính từ Phần 1.1.4 có thể được sử dụng để tính toán phạm vi ứng suất tối đa cho phép trong suốt một giai đoạn thời gian xem xét bằng cách đòi hỏi rằng sự phá hủy mỏi được giới hạn ở D = 1.0. Dựa trên điều này, một biểu đồ thiết kế với các phạm vi ứng suất cho phép cho tuổi thọ thiết kế là 20 năm với 10^8 chu kỳ ứng suất bị tạo ra, như được thể hiện trong Hình 1.1. Các ứng suất cho phép được tạo ra cho các hệ số hình dạng Weibull khác nhau, và các đường S-N trong không khí được thể hiện trong Bảng 1.2.

Bảng 1.2 Đường cong S-N trong không khí theo DNVGL-RP-C203 (2016)

S-N	$N \leq$	10 ⁷ chu kỳ	$N > 10^7 \text{ chu kỳ}$ $m_2 = 5.0$	Ứng suất mỏi giới hạn tại 10 ⁷ chu	Số mũ độ dày,	Độ tập trung ứng
curve	m_1	$\log a_{d1}$	$\log a_{d2}$	kỳ (Mpa)	k	suất kết cấu
B1	4.0	15.117	17.146	106.97	0	_
B2	4.0	14.885	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.592	16.320	73.10	0.05	
C1	3.0	12.449	16.081	65.50	0.10	
C2	3.0	12.301	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	12.164	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	12.010	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.855	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.699	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.546	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	11.398	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	11.261	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	11.107	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.970	13.617	21.05	0.25	2.50



Hình 1.1 Phạm vi ứng suất cực đại cho phép trong 10^8 chu kỳ đối với các bộ phận trong không khí. (Theo DNVGL-RP-C203 2016).

Bảng 1.3 Hệ số giảm ứng suất tương ứng với hệ số sử dụng, η, cho đường cong C–W3 trong môi trường không khí

Hệ số sử dụng phá	Hệ số hình dạng Weibull , h							
hủy mỏi, η	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
0.10	0.497	0.511	0.526	0.540	0.552	0.563	0.573	0.582
0.20	0.609	0.620	0.632	0.642	0.652	0.661	0.670	0.677
0.22	0.627	0.638	0.648	0.659	0.668	0.677	0.685	0.692
0.27	0.661	0.676	0.686	0.695	0.703	0.711	0.719	0.725
0.30	0.688	0.697	0.706	0.715	0.723	0.730	0.737	0.743
0.33	0.708	0.717	0.725	0.733	0.741	0.748	0.754	0.760
0.40	0.751	0.758	0.765	0.772	0.779	0.785	0.790	0.795
0.50	0.805	0.810	0.816	0.821	0.826	0.831	0.835	0.839
0.60	0.852	0.856	0.860	0.864	0.868	0.871	0.875	0.878
0.67	0.882	0.885	0.888	0.891	0.894	0.897	0.900	0.902
0.70	0.894	0.897	0.900	0.902	0.905	0.908	0.910	0.912
0.80	0.932	0.934	0.936	0.938	0.939	0.941	0.942	0.944
1.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

1.1.6.1 Tác động của Hệ số thiết kế mỏi (DFF) và các tuổi thọ thiết kế khác

Các ứng suất tối đa cho phép được tính dựa trên Hệ số thiết kế mỏi (DFF) là 1.0. Các giá trị DFF lớn hơn cho thấy có một số lượng chu kỳ căng mệt lớn hơn, dẫn đến việc giảm phạm vi ứng suất tối đa cho phép để đạt được cùng một lượng phá hủy mỏi tính toán chấp nhận được. Hơn nữa, tuổi thọ trong dịch vụ không nhất thiết phải là 20 năm. Do đó, để sử dụng bảng tính từ Phần 1.1.4, dải ứng suất cho phép có thể được giảm đi bằng một hệ số giảm đã được tính toán cho các tham số hình dạng khác nhau trong Bảng 1.3. Các tuổi thọ phục vụ khác với 20 năm có thể được tính toán bằng cách bao gồm các hệ số sử dụng trong Bảng 1.4. Những hệ số này cũng liên quan đến giá trị của DFF hoặc, trực tiếp hơn, là nghịch đảo của DFF. Hệ số sử dụng thiệt hại mệt mỏi kết quả trong Bảng 1.3 sau đó được sử dụng để tính toán hệ số giảm cho việc đánh giá mệt mỏi của kết nối hàn trong môi trường không khí. Hệ số từ Bảng 1.3 được nhân vào các dải ứng suất cho phép từ hình 1.1 để tạo ra một dải ứng suất tối đa cho phép tương ứng với tuổi thọ phục vụ dự kiến và DFF cần thiết.

Bảng 1.4 Các hệ số sử dụng, η, dưới dạng một hàm số của tuổi thọ thiết kế và DFF (DNVGL-RP-C203 2016).

		Design life in years									
DFF	5	10	15	20	25	30	50				
1	4.0	2.0	1.33	1.0	0.80	0.67	0.40				
2	2.0	1.0	0.67	0.5	0.40	0.33	0.20				
3	1.33	0.67	0.44	0.33	0.27	0.22	0.13				
5	0.8	0.4	0.27	0.2	0.16	0.13	0.08				
10	0.4	0.2	0.13	0.1	0.08	0.07	0.04				

1.1.6.2 Một vài hướng dẫn để lựa chọn tham số hình dạng Weibull

Các phá hủy do mỏi được tính toán nhạy cảm đối với giá trị được chọn cho tham số hình dạng Weibull, và điều này làm cho việc sử dụng nó có phần khó khăn trong một số tình huống. Khái niệm này có thể được sử dụng để đánh giá thiết kế ở giai đoạn thiết kế ban đầu hoặc để mục đích lọc lựa các khu vực quan trọng để tiến hành đánh giá mêt mỏi chi tiết hơn. Trong những trường hợp như vậy, nên giả định các tham số hình dạng một cách an toàn. Ví dụ, nếu tham số hình dạng cho một cấu trúc nổi được kỳ vọng sẽ khoảng 1.0, thì có thể sử dụng giá trị trong khoảng từ 1.05 đến 1.10 để đảm bảo an toàn hơn. Một số hướng dẫn về việc lựa chọn tham số hình dạng cho đánh giá mệt mỏi của cấu trúc tàu biển có thể được tìm thấy trong DNV CN 30.7 (2014), trong đó tham số hình dang được trình bày dưới dang một hàm số của chiều dài tàu. Nó cũng phu thuộc vào vi trí trong tàu được xem xét. Trước đây, tham số hình dạng trong phân phối Weibull có giá trị khoảng 1.0 cho các cấu trúc nổi và cho các cấu trúc mà phản ứng tải trong chủ yếu được quy định bởi thành phần khối lượng trong phương trình Morison để tính tải trọng (xem Naess và Moan 2013). Khi tải trọng được quy định nhiều hơn bởi thành phần kháng lực, chẳng hạn như đối với cấu trúc có thành phần mảnh, ví dụ, trong các khung và tháp flare, việc cung cấp lời khuyên về tham số hình dạng thích hợp trở nên khó khăn hơn, vì nó có thể nằm trong một khoảng lớn hơn, từ 0.5 đến 0.9. Do đó, đánh giá mệt mỏi dựa trên tải trọng 100 năm, ví dụ, trở nên khá không chắc chắn. Sự không chắc chắn này sẽ được giảm đáng kể nếu tính toán cũng tương ứng với việc xác định đóng góp lớn nhất vào thiệt hại do mỏi. Nếu có một phạm vi ứng suất xung quanh khu vực mà đóng góp lớn nhất vào thiệt hại do mỏi được biết đến, thì việc biết chính xác phạm vi căng thẳng lớn nhất trở nên không quan trọng bằng. Điều này có thể được đánh giá dựa trên biểu đồ đóng góp vào thiệt hại do mệt mỏi, như được thể hiện trong Hình 1.2. Hướng dẫn sau đây về tham số hình dạng được tìm thấy trong tài liệu (xem, ví dụ, API RP2A-WSD 2014):

- 0.5 cho căn cứ cố định ở vùng vùng biển vịnh Mexico và truss spars
- 0.7 cho dầm dưới mặt nước và cản sóng động ở vùng vùng biển vịnh Mexico và cảng chân vững
- 1.0 cho biển Bắc, biển Đông và California Nam (cố định sóng)
- 1.3 cho biển Bắc, biển Đông, California Nam (động) và châu Phi Tây (song song sóng lặng).

1.2 Thuật toán sử dụng trong tính toán sự phá hủy mỏi

Để có đầy đủ các thông số trong việc tính toán sự phá hủy mỏi theo phương pháp phạm vi phân phối ứng suất, ta dùng ngôn ngữ lập trình C# với một số hàm có thể ứng dụng để tính toán.

Thứ nhất: Hàm Gamma để tính toán giá trị gamma.

Như vậy, việc tính toán giá trị $Gamma\left(1+\frac{m_1}{h}\right)$ ta có thể sử dụng câu lệnh:

```
gammam1 = Gamma(1 + double.Parse(txtm1.Text) / Wei);
```

Trong đó double. Parse(txtm1. Text) là giá trị m_1 được chuyển đổi từ dạng Text sang dạng số học double. Và Wei tương ứng là h trong công thức trên.

Thứ 2: Tương tự sử dụng hàm incompletegamma để tính toán giá trị Gamma Distribution

```
public static double incompletegamma(double a,
            double x,
            alglib.xparams _params)
        {
            double result = 0;
            double igammaepsilon = 0;
            double ans = 0;
            double ax = 0;
            double c = 0;
            double r = 0;
            double tmp = 0;
            igammaepsilon = 0.00000000000001;
            if( (double)(x)<=(double)(0) || (double)(a)<=(double)(0) )</pre>
                result = 0;
                return result;
            if( (double)(x)>(double)(1) && (double)(x)>(double)(a) )
                result = 1-incompletegammac(a, x, _params);
                return result;
            ax = a*Math.Log(x)-x-gammafunc.lngamma(a, ref tmp, _params);
            if( (double)(ax)<(double)(-709.78271289338399) )</pre>
                result = 0;
                return result;
            ax = Math.Exp(ax);
            r = a;
            c = 1;
            ans = 1;
            do
            {
                r = r+1;
                c = c*x/r;
                ans = ans+c;
            while( (double)(c/ans)>(double)(igammaepsilon) );
            result = ans*ax/a;
            return result;
        }
```

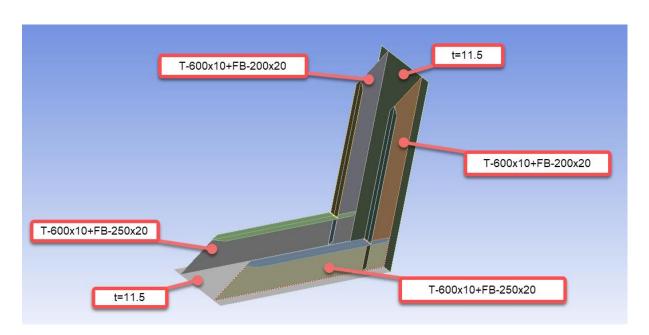
CHƯƠNG 2 THIẾT LẬP MÔ HÌNH VÀ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

2.1 Mô hình tính toán và thông số đầu vào

2.1.1 Mô hình tính toán

Dựa trên kết cấu của các tàu ro/ro hiện tại, đã chọn một góc nối khung sườn của mạn tàu và boong tàu. Các góc khung sườn này là các phần tử trong mặt cắt ngang của tàu, chúng chủ yếu chịu tác động của uốn do tải trọng tàu và các tác động ngoại lực. Sau đó tiến hành tính toán mô phỏng để có được các giá trị ban đầu, làm dữ liệu phục vụ việc tính toán và phân tích tiếp theo đối với việc nghiên cứu về độ bền mỏi.

Chiều cao bản thành của các khung sườn hình chữ T này là 600mm và bản cánh của chúng được tạo thành từ các thanh thẳng 250x20 (đối với thanh liên tục) và 200x20 (đối với thanh gián đoạn). Mô hình mô phỏng ở đây là một góc với hai khung sườn cách nhau 1000mm. Và các thanh chữ T này được lắp đặt trên một tấm với chiều dày t=11.5mm.

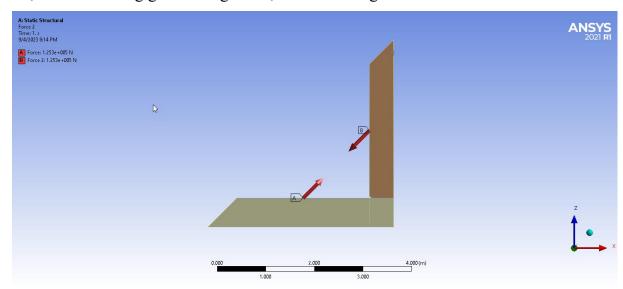


Hình 2.1 Góc khung sườn được nghiên cứu

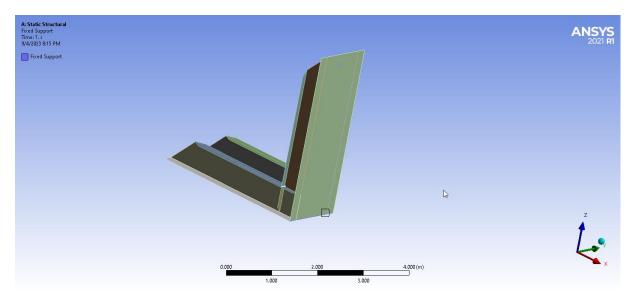
2.1.2 Thông số đầu vào

Lực tác động chủ yếu là lực kéo theo đường chéo tạo ra một momen uốn cùng với lực dọc trục trong cả 2 khung sườn, do đó khung sườn chủ yếu chịu tải uốn. Mỗi lực kéo tác dụng có giá trị 125kN, như vậy tổng lực kéo tác động 250kN.

Điều kiện biên đối với mô hình mô phỏng trong trường hợp này sử dụng điều kiện ngàm chặt đối với đường giao nhau giữa mạn tàu và boong tàu.



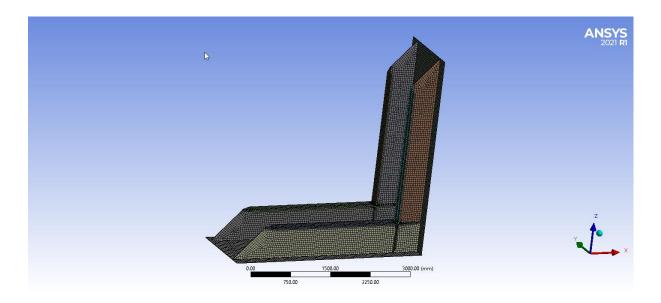
Hình 2.2 Lực tác dụng vào khung sườn



Hình 2.3 Điều kiện biên áp dụng cho khung sườn

2.1.3 Chia lưới mô hình

Mô hình được chia lưới cơ bản phần tử tấm với kích thước 40x40 mm.

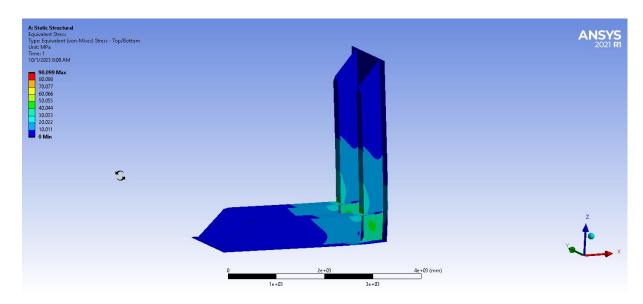


Hình 2.4 Mô hình chia lưới khung sườn.

2.2 Giá trị ứng suất và các thông số cơ bản

Kết quả ứng suất danh nghĩa (norminal stress): $\sigma_{\text{nom}} = 29.5 \text{MPa}$

Kết quả ứng suất lớn nhất: $\sigma_{\text{max}} = 90 MPa$



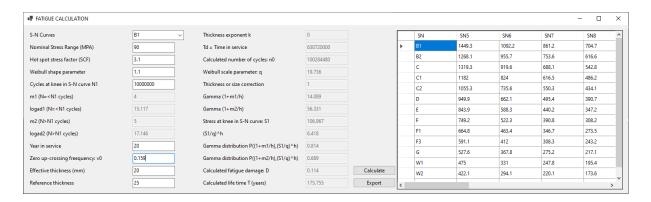
Hình 2.5 Ứng suất lớn nhất

Hệ số tập trung ứng suất (SCF):
$$K_t = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{nom}}} = \frac{90}{29.5} = 3.1$$

Dựa vào phần cơ sở lý thuyết để tính toán độ bền mỏi tàu thủy và các thông số đầu vào, ta có thể xác định một số thông số khác cụ thể như sau:

- Đối với hệ số hình dạng Weibull, ta có thể giả sử hệ số này trải dài từ 0.5 cho đến
 1.2 để xác định ảnh hưởng của hệ số đến việc tính toán độ bền mỏi của kết cấu.
- Thời gian phục vụ (Year in service): 20 năm.
- Effective thickness: 20 mm
- Reference thickness: 25 mm

Lần lượt thực hiện việc tính toán dựa trên bảng tính đã được lập trình và trình bày cụ thể như hình 2.6.



Hình 2.6: Bảng tính toán độ bền mỏi của kết cấu thân tàu

2.3 Kết quả

Đối với kết quả tính, chúng ta chia lần lượt theo các trường hợp tính toán cụ thể dưới đây, để có cơ sở dữ liệu phân tích.

2.3.1 Trường hợp 1: Thay đổi các giá trị của đường S-N Curves

Đối với trường hợp 1, ta chọn hệ số hình dạng Weibull (h) là 1.1

Bảng 2.1 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 1-1

STT								
1	Hot spot No.	1	2	3	4	5	6	7
2	S-N Curve	B1	B2	C	C 1	C2	D	E
3	Nominal stress range (MPA)	90	90	90	90	90	90	90
4	Hot spot stress factor	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
5	Weibull: h	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Cycles at knee in S-N curve N1	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000
7	$m_1 (N \le N_1 cycles)$	4	4	3	3	3	3	3
8	$\log a_{d1} (N \le N_1 cycles)$	15.117	14.885	12.592	12.449	12.301	12.164	12.01
9	$m_2(N > N_1 cycles)$	5	5	5	5	5	5	5
10	$\log a_{d2} (N > N_1 cycles)$	17.146	16.856	16.32	16.081	15.835	15.606	15.35
11	Year in service	20	20	20	20	20	20	20
12	Zero up-crossing freequency: v ₀	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
13	Effective thickness [mm]	20	20	20	20	20	20	20
14	Reference thickness	25	25	25	25	25	25	25
15	Thickness exponent k	0	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25

16	T_d = Time in service (in year).60.60.24.365	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000
17	Calculated number of cycles: n ₀	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480
18	Calculated Weibull scale parameter: q	19.736	19.736	19.736	19.736	19.736	19.736	19.736
19	Thickness or size correction	1	1	1	1	1	1	1
20	$Gamma(1+m_1/h)$	14.089	14.089	4.306	4.306	4.306	4.306	4.306
21	$Gamma(1+m_2/h)$	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331
22	Stress at knee in S-N Curve: S ₁	106.967	93.594	73.114	65.514	58.479	52.642	46.774
23	$(S_1/q)^h$	6.418	5.541	4.223	3.743	3.303	2.942	2.583
24	Gamma distribution $P((1+m_1/h),(S_1/q)^h)$	0.814	0.708	0.662	0.572	0.479	0.396	0.313
25	Gamma distribution $P((1+m_2/h),(S_1/q)^h)$	0.689	0.556	0.32	0.235	0.165	0.115	0.074
26	Calculated fatigue damage: D	0.114	0.212	0.546	0.835	1.272	1.854	2.789
27	Calculated life time T [years]	175.755	94.144	36.637	23.95	15.718	10.786	7.17

Bảng 2.2 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 1-2

STT								
1	Hot spot No.	8	9	10	11	12	13	14
2	S-N Curve	F	F1	F3	G	W1	W2	W3
3	Nominal stress range (MPA)	90	90	90	90	90	90	90
4	Hot spot stress factor	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
5	Weibull: h	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Cycles at knee in S-N curve N1	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000
7	$m_1 (N \le N_1 cycles)$	3	3	3	3	3	3	3
8	$\log a_{d1} (N \le N_1 cycles)$	11.855	11.699	11.546	11.398	11.261	11.107	10.97
9	$m_2(N > N_1 cycles)$	5	5	5	5	5	5	5
10	$\log a_{d2} (N > N_1 cycles)$	15.091	14.832	14.576	14.33	14.101	13.845	13.617
11	Year in service	20	20	20	20	20	20	20
12	Zero up-crossing freequency: v ₀	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
13	Effective thickness [mm]	20	20	20	20	20	20	20
14	Reference thickness	25	25	25	25	25	25	25
15	Thickness exponent k	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

16	T_d = Time in service (in year).60.60.24.365	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000
17	Calculated number of cycles: n ₀	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480
18	Calculated Weibull scale parameter: q	19.736	19.736	19.736	19.736	19.736	19.736	19.736
19	Thickness or size correction	1	1	1	1	1	1	1
20	$Gamma(1+m_1/h)$	4.306	4.306	4.306	4.306	4.306	4.306	4.306
21	$Gamma(1+m_2/h)$	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331
22	Stress at knee in S-N Curve: S ₁	41.527	36.841	32.759	29.242	26.323	23.388	21.054
23	$(S_1/q)^h$	2.267	1.987	1.746	1.541	1.373	1.205	1.074
24	Gamma distribution $P((1+m_1/h),(S_1/q)^h)$	0.24	0.179	0.132	0.096	0.071	0.049	0.035
25	Gamma distribution $P((1+m_2/h),(S_1/q)^h)$	0.046	0.028	0.017	0.01	0.006	0.003	0.002
26	Calculated fatigue damage: D	4.157	6.142	8.939	12.772	17.703	25.461	35.1
27	Calculated life time T [years]	4.812	3.256	2.237	1.566	1.13	0.786	0.57

2.3.2 Trường hợp 2: Thay đổi hệ số hình dạng Weibull

Bảng 2.3 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 2

STT								
1	Hot spot No.	1	2	3	4	5	6	7
2	S-N Curve	В1	- В1	В1	В1	B1	В1	B1
3	Nominal stress range (MPA)	90	90	90	90	90	90	90
4	Hot spot stress factor	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
5	Weibull: h	0.5	0.7	0.9	1	1.1	1.2	1.3
6	Cycles at knee in S-N curve N1	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000
7	$m_1 (N \le N_1 cycles)$	4	4	4	4	4	4	4
8	$\log a_{d1} (N \le N_1 cycles)$	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117
9	$m_2(N > N_1 cycles)$	5	5	5	5	5	5	5
10	$\log a_{d2} (N > N_1 cycles)$	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146
11	Year in service	20	20	20	20	20	20	20
12	Zero up-crossing freequency: v ₀	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
13	Effective thickness [mm]	20	20	20	20	20	20	20

14	Reference thickness	25	25	25	25	25	25	25
15	Thickness exponent k	0	0	0	0	0	0	0
16	T_d = Time in service (in year).60.60.24.365	630720000	630720000	630720000	630720000	6.31E+08	6.31E+08	6.31E+08
17	Calculated number of cycles: n ₀	100284480	100284480	100284480	100284480	1E+08	1E+08	1E+08
18	Calculated Weibull scale parameter: q	0.822	4.344	10.956	15.144	19.736	24.611	29.665
19	Thickness or size correction	1	1	1	1	1	1	1
20	$Gamma(1+m_1/h)$	40320	424.338	47.876	24	14.089	9.261	6.614
21	Gamma(1+m ₂ /h)	3628800	6730.873	318.119	120	56.331	30.942	19.087
22	Stress at knee in S-N Curve: S ₁	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967
23	$(S_1/q)^h$	11.408	9.417	7.774	7.063	6.418	5.831	5.298
24	Gamma distribution $P((1+m_1/h),(S_1/q)^h)$	0.802	0.854	0.847	0.833	0.814	0.79	0.763
25	Gamma distribution $P((1+m_2/h),(S_1/q)^h)$	0.588	0.706	0.718	0.707	0.689	0.665	0.637
26	Calculated fatigue damage: D	0.001	0.007	0.034	0.065	0.114	0.188	0.293
27	Calculated life time T [years]	23465.229	2875.035	589.271	309.538	175.755	106.526	68.223

2.3.3 Trường hợp 3: Thay đổi số năm phục vụ (Year in service)

Bảng 2.4 Bảng tổng hợp tính toán độ bền mỏi trường hợp 3

STT								
1	Hot spot No.	1	2	3	4	5	6	7
2	S-N Curve	B1						
3	Nominal stress range (MPA)	90	90	90	90	90	90	90
4	Hot spot stress factor	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
5	Weibull: h	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Cycles at knee in S-N curve N1	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000
7	$m_1 (N \le N_1 cycles)$	4	4	4	4	4	4	4
8	$\log a_{d1} (N \le N_1 cycles)$	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117
9	$m_2(N > N_1 cycles)$	5	5	5	5	5	5	5
10	$\log a_{d2} (N > N_1 cycles)$	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146
11	Year in service	10	15	20	25	30	40	50
12	Zero up-crossing freequency: v ₀	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
13	Effective thickness [mm]	20	20	20	20	20	20	20
14	Reference thickness	25	25	25	25	25	25	25

15	Thickness exponent k	0	0	0	0	0	0	0
16	T_d = Time in service (in year).60.60.24.365	315360000	473040000	630720000	788400000	946080000	1261440000	1576800000
17	Calculated number of cycles: n ₀	50142240	75213360	100284480	125355600	150426720	200568960	250711200
18	Calculated Weibull scale parameter: q	20.436	20.021	19.736	19.521	19.35	19.085	18.884
19	Thickness or size correction	1	1	1	1	1	1	1
20	$Gamma(1+m_1/h)$	14.089	14.089	14.089	14.089	14.089	14.089	14.089
21	$Gamma(1+m_2/h)$	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331
22	Stress at knee in S-N Curve: S ₁	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967
23	$(S_1/q)^h$	6.176	6.318	6.418	6.495	6.559	6.659	6.737
24	Gamma distribution $P((1+m_1/h),(S_1/q)^h)$	0.788	0.803	0.814	0.821	0.827	0.837	0.843
25	Gamma distribution $P((1+m_2/h), (S_1/q)^h)$	0.655	0.675	0.689	0.699	0.708	0.721	0.73
26	Calculated fatigue damage: D	0.067	0.091	0.114	0.135	0.155	0.194	0.231
27	Calculated life time T [years]	298.21	219.021	175.755	148.084	128.692	103.054	86.691

2.3.4 Trường hợp 4: Hệ số tập trung ứng suất thay đổi

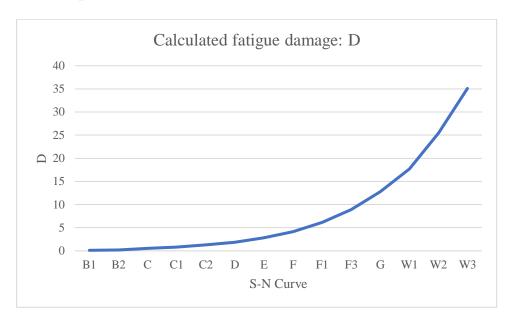
STT								
1	Hot spot No.	1	2	3	4	5	6	7
2	S-N Curve	B1						
3	Nominal stress range (MPA)	90	90	90	90	90	90	90
4	Hot spot stress factor	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4
5	Weibull: h	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Cycles at knee in S-N curve N1	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000
7	$m_1(N \le N_1 cycles)$	4	4	4	4	4	4	4
8	$\log a_{d1} (N \le N_1 cycles)$	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117	15.117
9	$m_2(N > N_1 cycles)$	5	5	5	5	5	5	5
10	$\log a_{d2} (N > N_1 cycles)$	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146	17.146
11	Year in service	20	20	20	20	20	20	20
12	Zero up-crossing freequency: v ₀	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159
13	Effective thickness [mm]	20	20	20	20	20	20	20
14	Reference thickness	25	25	25	25	25	25	25
15	Thickness exponent k	0	0	0	0	0	0	0

16	T_d = Time in service (in year).60.60.24.365	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000	630720000
17	Calculated number of cycles: n ₀	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480	100284480
18	Calculated Weibull scale parameter: q	17.826	18.463	19.1	19.736	20.373	21.01	21.646
19	Thickness or size correction	1	1	1	1	1	1	1
20	$Gamma(1+m_1/h)$	14.089	14.089	14.089	14.089	14.089	14.089	14.089
21	$Gamma(1+m_2/h)$	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331	56.331
22	Stress at knee in S-N Curve: S ₁	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967	106.967
23	$(S_1/q)^h$	7.178	6.906	6.653	6.418	6.197	5.991	5.798
24	Gamma distribution $P((1+m_1/h),(S_1/q)^h)$	0.878	0.858	0.836	0.814	0.791	0.767	0.743
25	Gamma distribution $P((1+m_2/h),(S_1/q)^h)$	0.781	0.75	0.72	0.689	0.658	0.628	0.598
26	Calculated fatigue damage: D	0.07	0.083	0.097	0.114	0.132	0.153	0.176
27	Calculated life time T [years]	285.638	241.387	205.339	175.755	151.305	130.965	113.938

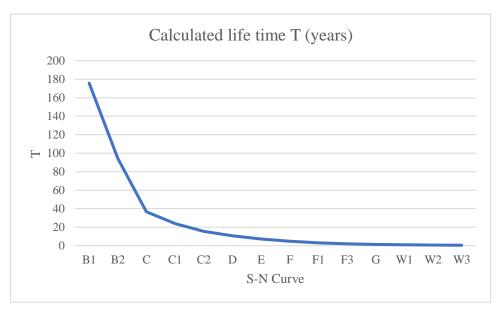
CHƯƠNG 3 ĐÁNH GIÁ VÀ PHÂN TÍCH

3.1 Đồ thị biểu diễn và đánh giá sự ảnh hưởng

3.1.1 Trường họp 1:

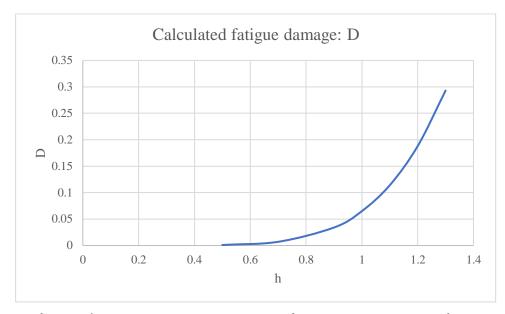


Hình 3.1 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến thiệt hại mỏi do tính toán

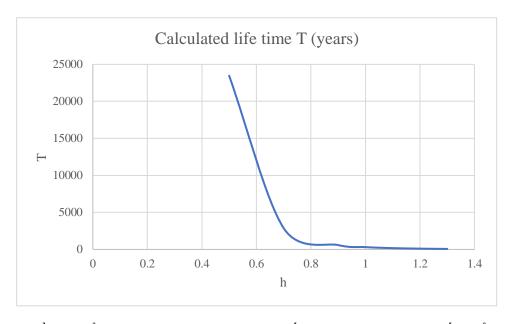


Hình 3.2 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của loại đường S-N curve đến tuổi thọ tính toán

3.1.2 Trường hợp 2:

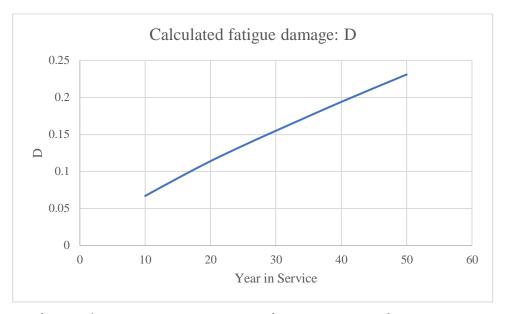


Hình 3.3 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến thiệt hại mỏi do tính toán

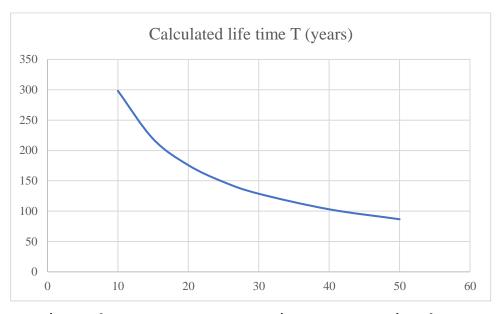


Hình 3.4 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số hình dạng Weibull đến tuổi thọ tính toán

3.1.3 Trường hợp 3:

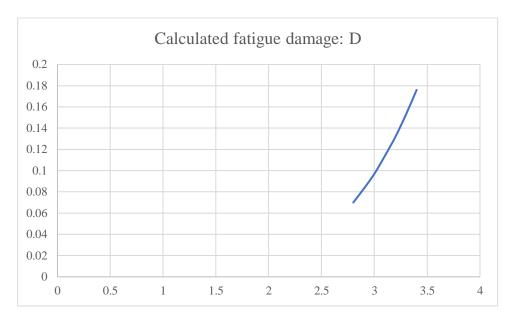


Hình 3.5 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến thiệt hại mỏi do tính toán



Hình 3.6 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của số năm phục vụ đến tuổi thọ tính toán

3.1.4 Trường hợp 4:



Hình 3.7 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến thiệt hại mỏi do tính toán



Hình 3.8 Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng của hệ số tập trung ứng suất đến tuổi thọ tính toán

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Trần Công Nghị (2014). *Sức bền tàu thủy*. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- Đỗ Văn Sĩ, Bùi Mạnh Cường, Tạ Văn San. (2022). Xác định giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp bằng phương pháp số. *Tạp chí Khoa học Công Nghệ Trường đại học công nghiệp Hà Nội*, 58, 62-65.
- Inge Lotsberg. (2016). *Fatigue Design of Marine Structures*. Cambridge University Press.
- DNV. (2003). Fatigue assessment of ship structures
- DNVGL-RP-C203. (2016). Fatigue design of offshore steel structures
- Wolfgang Fricke, Han Paetzold (2010). Full-scale fatigue tests of ship structures to validate the S-N approaches for fatigue strength assessment. *Journal of Marine Structures* 23, 115-130.