Nghiên cứu phương pháp đánh giá tổn thương mỏi tích lũy kết cấu, ứng dụng cho tàu thủy và công trình nổi

Research on methods for assessing cumulative fatigue damage in structures, with applications to ships and offshore structures

1st **Lê Tuấn Vũ**   
Phòng Thiết kế Cơ Bản Thân Tàu  
Công ty TNHH Marine Engineering Bluetech Việt NamTp. Hồ Chí Minh, Việt Nam  
[vu.le@bluetechfinland.com](mailto:vu.le@bluetechfinland.com)   
 2nd **Đỗ Hùng Chiến**  
Viện Hàng Hải  
Trường Đại học Giao thông vận tải Tp. Hồ Chí MinhTp. Hồ Chí Minh, Việt Nam  
[chien.do@ut.edu.vn](mailto:chien.do@ut.edu.vn)

*Tóm tắt: Việc xác định và đánh giá các đặc trưng mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp đã được chú ý từ vài chục năm trở lại đây. Ngày nay, các phương pháp đánh giá tuổi thọ mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp có thể chia thành ba nhóm chính: phương pháp ứng suất - biến dạng tương đương [2], phương pháp năng lượng [3] và phương pháp mặt phẳng tới hạn [4-6]. Bên cạnh đó, chúng ta còn có phương pháp phạm vi phân phối ứng suất (Stres Range Distribution - SRD). [7] Phương pháp phạm vi phân phối ứng suất cùng với chương trình hỗ trợ được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình C# giúp xác định và đánh giá tổn thương mỏi kết cấu đồng thời phân tích được các yếu tố tác động đến tổn thương và tuổi thọ mỏi kết cấu.*

Từ khóa: Đánh giá độ bền mỏi, Ứng suất mỏi, Phương pháp phạn vi phân phối ứng suất (SRD), Kết cấu tàu thủy, kết cấu công trình ngoài khơi, tuổi thọ mỏi kết cấu, tổn tương mỏi kết cấu.

Abstract: The identification and evaluation of fatigue characteristics of complex stress components have received attention in recent decades. Nowadays, methods for evaluating the fatigue life of complex stress components can be divided into three main groups: equivalent stress-strain method [2], energy method [3], and critical plane method [4-6]. Besides, we also have the stress range distribution (SRD) method. [7] The stress range distribution method together with the supporting program built in C# programming language helps to identify and evaluate fatigue damage of structures while analyzing the factors affecting fatigue damage and fatigue life of structures.

Keywords: Fatigue strength assessment, Stress fatigue, Stress Range Distribution (SRD) method, Ship structures, Offshore structures, Structural fatigue life, Structural fatigue damage.

# GIỚI THIỆU

Hiện nay, các lý thuyết và phương pháp đánh giá tuổi thọ mỏi của kết cấu đã được nghiên cứu khá bài bản và đạt được nhiều kết quả khả quan. Ở giai đoạn đầu, để đơn giản hóa vấn đề, các nghiên cứu sử dụng mô hình ứng suất - biến dạng đơn có ảnh hưởng chính (bỏ qua các thành phần ứng suất - biến dạng còn lại) để tính toán và dự đoán tuổi thọ mỏi của kết cấu. Tuy nhiên, thực tế các chi tiết, kết cấu trong quá trình làm việc hầu hết đều chịu tác dụng của tải trọng phức tạp dẫn đến trạng thái ứng suất trong chi tiết, kết cấu không phải ở trạng thái ứng suất đơn. Hơn nữa, các yếu tố đặc biệt về hình dạng và sự không đồng nhất về vật liệu của chi tiết, kết cấu càng làm cho trạng thái ứng suất trong kết cấu trở nên phức tạp hơn [1]. Trong và ngoài nước cũng đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến tổn thương mỏi kết cấu bằng nhiều phương pháp khác nhau.

Đề tài khoa học cấp bộ: “Nghiên cứu đánh giá tuổi thọ mỏi của công trình biển di động hoạt động trong thềm lục địa Việt Nam” do TS. Đỗ Hùng Chiến làm chủ nhiệm đề tài đã cơ bản tìm ra hướng giải quyết các bài toán xác định tải trọng môi trường tác động lên công trình biển do nhóm nghiên cứu viết trên nền của MATLAB, qua đó có thể xác định được hệ số tập trung ứng suất và tiến hành phân tích mỏi để xác định được tổn thương mỏi và tuổi thọ mỏi của kết cấu. Đề tài đã đánh giá tổn thương mỏi tích lũy cho giàn khoan tự nâng Tam Đảo 01 tại Vũng Tàu, góp phần nâng cao tuổi thọ và đảm bảo an toàn cho công trình.

Nhóm tác giả: Đỗ Văn Sĩ, Bùi Mạnh Cường, Tạ Văn San trong nghiên cứu “Xác định giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp bằng phương pháp số đã trình bày kết quả tính toán giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp bằng phương pháp số. Trường ứng suất phức tạp được chuyển đổi thành trường ứng suất tương đương để tính giới hạn bền mỏi dựa trên các tiêu chí khác nhau. Kết quả tính toán được so sánh với kết quả thử nghiệm và tiêu chuẩn quốc tế để xác định tiêu chí nào là phù hợp nhất cho đánh giá giới hạn bền mỏi của chi tiết chịu ứng suất phức tạp

Bài báo “Tính toán mức tăng tuổi thọ của kết cấu sau rung khử ứng suất dư theo các giả thuyết khác nhau” của nhóm tác giả Đỗ Văn Sĩ, Bùi Mạnh Cường và Nguyễn Văn Dương trình bày kết quả nghiên cứu về ứng dụng công nghệ rung khử ứng suất dư trong tính toán và khảo sát về mức độ tăng tuổi thọ mỏi của kết cấu. Mô hình tích lũy tổn thương mỏi tuyến tính theo phương pháp của Miner được áp dụng với ứng suất dư đóng vai trò quan trọng

Nhóm 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 hầm của tàu chở container rất lớn. Phá hủy mỏi được ước tính trực tiếp bằng cách sử dụng hàm chuyển đổi ứng suất với phản ứng co giãn tuyến tính

Nhóm 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 độ bền mỏi quy mô đầy đủ trên các cấu trúc tàu thủy và công trình nổi để xác nhận các phương pháp đánh giá sức mệt mỏi dựa trên đường cong S-N. Bài nghiên cứu này nhấn mạnh đến vấn đề độ bền mỏi của các kết cấu tàu thủy và công trình nổi dựa trên đường cong S-N, vì chúng phải chịu những tải trọng tuần hoàn cao trong các điều kiện hàng hải. 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.

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.

Các nghiên cứu trên đã đưa ra một số vấn đề và thách thức quan trọng trong việc đánh giá độ bền mỏi của các kết cấu. Dưới đây là một số điểm chính được thể hiện:

* Sử dụng phương pháp số: Một số nghiên cứu đều nhấn mạnh việc sử dụng phương pháp số để đánh giá độ bền mỏi của các kết cấu. Phương pháp phần tử hữu hạn, như trong trường hợp sử dụng phần mềm ANSYS, được áp dụng để mô phỏng ứng suất và trường ứng suất trong các kết cấu chịu ứng suất phức tạp.
* Chênh lệch giữa ứng suất đơn và ứng suất tương đương Von Mises: Một trong những vấn đề quan trọng là sự chênh lệch giữa việc sử dụng ứng suất đơn và ứng suất tương đương Von Mises. Khi kết cấu chịu ứng suất phức tạp, sử dụng ứng suất đơn có thể dẫn đến sai lệch lớn, trong khi ứng suất tương đương Von Mises giữ được độ chính xác cao.
* Đánh giá chi tiết và chất lượng đường hàn: Trong nghiên cứu về độ bền mỏi của cửa van, vấn đề của khuyết tật tại các đường hàn và chất lượng của chúng được nhấn mạnh. Cần phải xem xét chi tiết cho tất cả các nút giàn và kiểm tra tính toán mỏi cho từng nút, đặc biệt là khi xem xét chất lượng của đường hàn.
* Tính toán độ bền mỏi dựa trên các tiêu chí khác nhau: Các nghiên cứu đã thực hiện tính toán độ bền mỏi của các kết cấu dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau như ứng suất - biến dạng tương đương, năng lượng, và mặt phẳng tới hạn. Sự đa dạng này thể hiện sự phức tạp trong quá trình đánh giá độ bền mỏi.
* Thách thức từ áp lực nước biến đổi: Trong việc đánh giá độ bền mỏi của cấu trúc cửa van, sự biến đổi không ngừng của áp lực nước trong các điều kiện làm việc hai chiều tạo ra thách thức đối với các kết nối hàn giữa các thanh giàn.
* Sự chênh lệch giữa mô hình hóa và thực nghiệm: Nghiên cứu về tăng tuổi thọ của kết cấu sau rung khử ứng suất thúc đẩy sự chênh lệch giữa mô hình hóa và thực nghiệm, đặc biệt khi sử dụng các lý thuyết khác nhau để tính toán mức tăng tuổi thọ mỏi cho kết cấu.

Như vậy, các vấn đề này thể hiện sự phức tạp và đa dạng trong quá trình đánh giá độ bền mỏi của các kết cấu, đặc biệt khi chúng đối mặt với các điều kiện tải trọng động, sự biến đổi không gian, môi trường, vật liệu,… Đòi hỏi cần sự kết hợp giữa các phương pháp khác nhau, các nghiên cứu khác nhau qua đó đưa ra được giá trị có thể đảm bảo được độ tin cậy.

Do đó, đề tài "Nghiên cứu phương pháp đánh giá tổn thương mỏi tích lũy kết cấu, ứng dụng cho tàu thủy và công trình nổi." được ra đời và phân tích thêm một phương pháp có thể đánh giá được thiệt hại do mỏi gây ra trong quá trình hoạt động của tàu thủy và công trình nổi, đồng thời có thể dự đoán được tuổi thọ của kết cấu nhằm có các biện pháp phù hợp bảo vệ kết cấu.

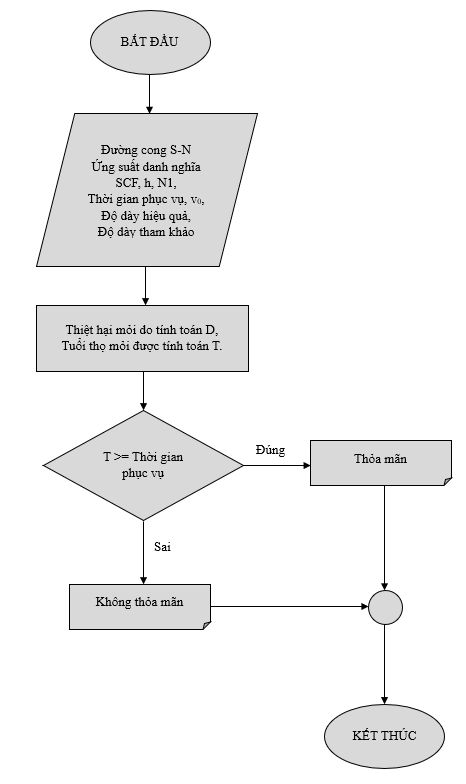
# PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

## Phương pháp phạm vi phân phối ứng suất

Sơ đồ thuật toán nhằm tính toán thiệt hại mỏi và tuổi thọ mỏi theo như hình 1. Để tính toán, cần có các dữ liệu đường cong S-N, hệ số hình dạng weibull, giá trị ứng suất danh nghĩa, giá trị hệ số tập trung ứng suất, và các hệ số liên quan đến đường cong S-N, các giá trị về độ dày kết cấu, thời gian phục vụ kết cấu.

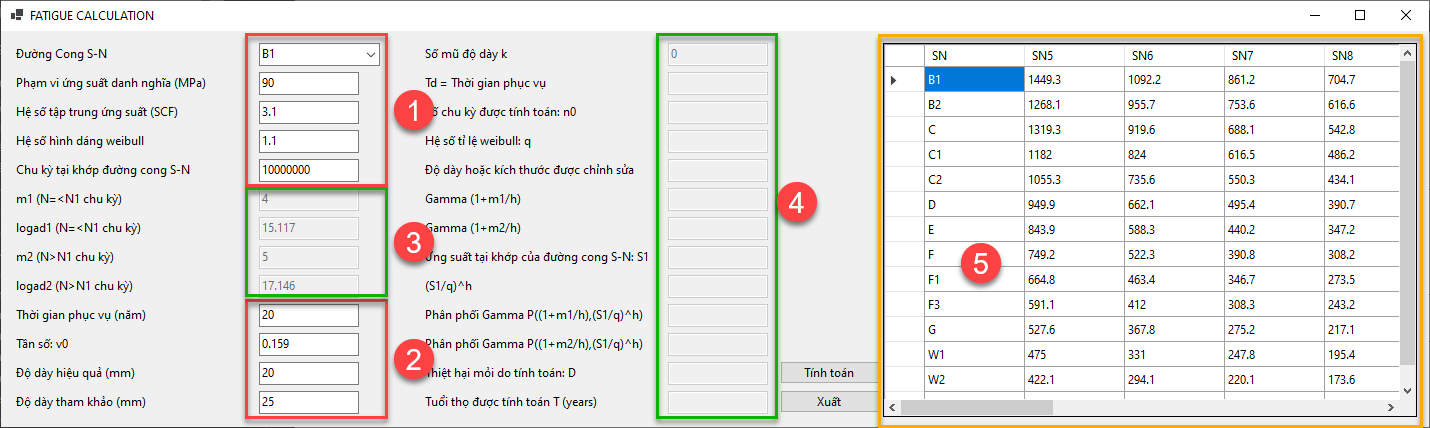
* Giá trị ứng suất danh nghĩa được xác định dựa theo phân tích độ bền kết cấu với phần mềm hỗ trợ Ansys
* Hệ số tập trung ứng suất SCF =
* Hệ số hình dạng weibull được xác định trong khoảng từ 0.5 cho đến 1.3 cụ thể như bảng 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| STT | Hệ số hình dạng Weibul | Khu vực và điều kiện kết cấu |
| 1 | 0.5 | Căn cứ cố định ở vùng biển vịnh Mexico và truss spars |
| 2 | 0.7 | Dầm dưới mặt nước và cản sóng động ở vùng biển vịnh Mexico và cảng chân vững |
| 3 | 1 | Cho biển Bắc, biển Đông và California Nam (cố định sóng) |
| 4 | 1.3 | Cho biển Bắc, biển Đông và Calofornia Nam (động) và Châu Phi |



## Xây dựng chương trình tính toán

Chương trình tính toán được xây dựng dựa trên sơ đồ thuật toán hình 1. Giao diện của chương trình tính toán như hình 2



* Các khu vực 1, 2 (khu vực màu đỏ) là các khu vực điền hoặc chọn các giá trị đã được tính toán.
* Các khu vực 3, 4 (khu vực màu xanh lá cây) là các khu vực mà giá trị được tự động tính toán ra dựa trên các thông số được điền vào từ khu vực 1, 2.
* Khu vực 5 (khu vực màu da cam) là khu vực thể hiện các thông số cụ thể của đường cong S-N, nơi chúng ta có thể lựa chọn đường cong S-N phù hợp trong tính toán.

# KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU TỔN THƯƠNG MỎI TÍCH LŨY KẾT CẤU

## 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.

A diagram of a rectangular object

Description automatically generated

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.

A computer generated image of a computer

Description automatically generated

* Kết quả ứng suất danh nghĩa (norminal stress): 
* Kết quả ứng suất lớn nhất: 
* Hệ số tập trung ứng suất (SCF):

Dựa vào phần cơ sở lý thuyết để tính toán độ bền mỏi tàu thủy và công trình nổi 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 1.3 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.
* Độ dày hiệu quả: 20 mm
* Độ dày tham khảo: 25 mm.

## Phân tích và đánh giá tuổi thọ mỏi kết cấu.

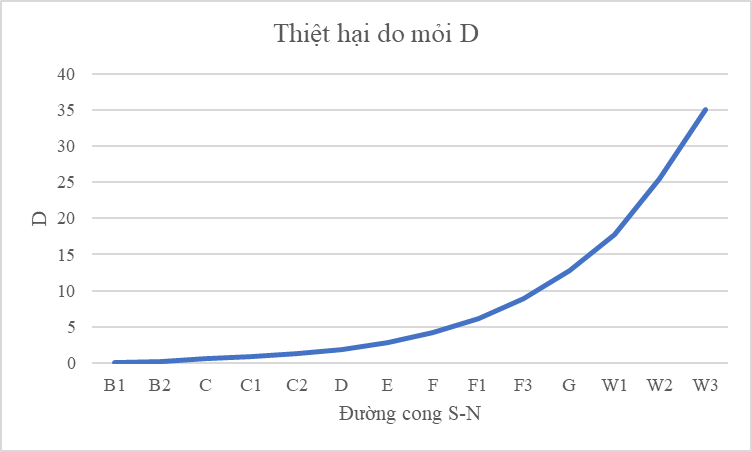
Kết quả tính toán được tính toán theo 4 trường hợp:

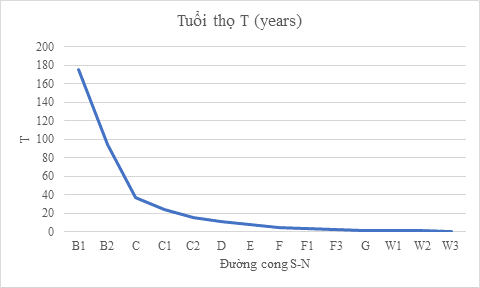
* Trường hợp 1: Giữ nguyên hệ số hình dạng Weibull là 1.1, thay đổi các giá trị của đường cong S-N.
* Trường hợp 2: Giữ nguyên đường cong S-N là B1, thay đổi các giá trị của hệ số hình dạng Weibull.

### Trường hợp 1: Giữ nguyên hệ số hình dạng Weibull là 1.1, thay đổi các giá trị của đường cong S-N

1. BẢNG THỂ HIỆN ẢNH HƯỞNG CỦA LOẠI ĐƯỜNG CONG S-N LÊN TUỔI THỌ VÀ TỔN THƯƠNG MỎI CỦA KẾT CẤU

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Điểm nóng kết cấu** | **Đường cong S-N** | **Hệ số Weibull** | **Thiệt hại mỏi do tính toán** | **Tuổi thọ được tính toán** | **Đánh giá** |
| 1 | B1 | 1.1 | 0.114 | 175.755 | Thỏa mãn |
| 2 | B2 | 1.1 | 0.212 | 94.144 | Thỏa mãn |
| 3 | C | 1.1 | 0.546 | 36.637 | Thỏa mãn |
| 4 | C1 | 1.1 | 0.835 | 23.95 | Thỏa mãn |
| 5 | C2 | 1.1 | 1.272 | 15.718 | Không thỏa mãn |
| 6 | D | 1.1 | 1.854 | 10.786 | Không thỏa mãn |
| 7 | E | 1.1 | 2.789 | 7.17 | Không thỏa mãn |
| 8 | F | 1.1 | 4.157 | 4.812 | Không thỏa mãn |
| 9 | F1 | 1.1 | 6.142 | 3.256 | Không thỏa mãn |
| 10 | F3 | 1.1 | 8.939 | 2.237 | Không thỏa mãn |
| 11 | G | 1.1 | 12.772 | 1.566 | Không thỏa mãn |
| 12 | W1 | 1.1 | 17.703 | 1.13 | Không thỏa mãn |
| 13 | W2 | 1.1 | 25.461 | 0.786 | Không thỏa mãn |
| 14 | W3 | 1.1 | 35.1 | 0.57 | Không thỏa mãn |



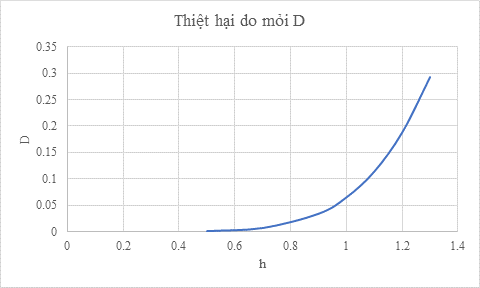


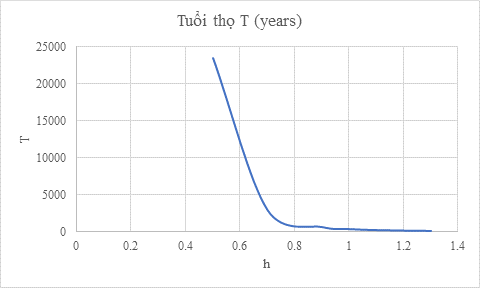
Hai đồ thị hình 3.7, hình 3.8 và bảng 3.6 cho thấy việc lựa chọn loại đường cong S-N là rất quan trọng trong việc xác định tổn thương và tuổi thọ mỏi. Các đường cong B1, B2, C, C1 trong cùng hệ số Weibull và các thông số khác cho ra tuổi thọ mỏi thỏa mãn điều kiện lớn hơn số năm phục vụ là 20 năm. Các đường cong C2, D,… cho đến W2, W3 trong cùng các thông số lại không thỏa mãn điều kiện tuổi thọ mỏi lớn hơn số năm phục vụ. Như vậy, với việc lựa đường cong S-N khác nhau sẽ cho ra các giá trị về tổn thương mỏi và tuổi thọ mỏi khác nhau

### Giữ nguyên đường cong S-N là B1, thay đổi các giá trị của hệ số hình dạng Weibull.

1. Bảng thể hiện ảnh hưởng của hệ số Weibull lên tuổi thọ và tổn thương mỏi của kết cấu

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Đường cong S-N** | **Hệ số Weibull** | **Số năm phục vụ** | **Tổn thương mỏi D** | **Tuổi thọ mỏi T** | **Đánh giá** |
| B1 | 0.5 | 20 | 0.001 | 23465 | Thỏa mãn |
| B1 | 0.7 | 20 | 0.007 | 2875 | Thỏa mãn |
| B1 | 0.9 | 20 | 0.034 | 589.27 | Thỏa mãn |
| B1 | 1 | 20 | 0.065 | 309.54 | Thỏa mãn |
| B1 | 1.1 | 20 | 0.114 | 175.755 | Thỏa mãn |
| B1 | 1.2 | 20 | 0.188 | 106.526 | Thỏa mãn |
| B1 | 1.3 | 20 | 0.293 | 68.223 | Thỏa mãn |





Đối với trường hợp thay đổi hệ số hình dạng Weibull, tuổi thọ và thiệt hại do mỏi cũng có sự thay đổi rõ rệt khi hệ số được tăng lên hoặc giảm xuống. Hệ số này phụ thuộc vào khu vực mà tàu hoặc các thiết bị này hoạt động, phụ thuộc vào vị trí kết cấu. Giá trị hệ số hình dạng Weibull càng cao thì thiệt hại do mỏi càng lớn, đồng thời tuổi thọ mỏi sẽ càng giảm (Xem bảng 3.7)

# THẢO LUẬN

## Kết luận

Đề tài "Nghiên cứu phương pháp đánh giá tổn thương mỏi tích lũy kết cấu, ứng dụng cho tàu thủy và công trình nổi." Đã làm rõ các nội dung sau:

* Đã nêu ra được các kết quả nghiên cứu liên quan đến độ bền mỏi của các nhà khoa học trong và ngoài nước, trong các nghiên cứu này đã nêu ra được các phương pháp được sử dụng để đánh giá độ bền mỏi của kết cấu, và cũng có nghiên cứu nêu ra các vấn đề liên quan đến tuổi thọ kết cấu.
* Đã xây dựng được chương trình hỗ trợ tính toán, dựa trên ngôn ngữ C# với sự hỗ trợ của Visual Studio phiên bản Comunity 2022.
* Mô phỏng được mô hình kết cấu và xác định được ứng suất khi kết cấu bị lực tác dụng dưới sự hỗ trợ của phần mềm ANSYS.
* Sử dụng chương trình hỗ trợ tính toán và các kết quả xuất ra từ Ansys để tính toán được các giá trị liên quan đến độ bền mỏi và tuổi thọ của kết cấu tàu.
* Bài báo cũng đã có những đánh giá về các yếu tố tác động đến độ bền mỏi của kết cấu, tuổi thọ của kết cấu

## Kiến nghị

* Chương trình hỗ trợ tính toán đang được xây dựng một cách đơn giản, tiếp tục phát triển xây dựng theo hướng đa nhiệm hơn, có thể xuất ra được đồ thị để hạn chế các bước tính toán dựa trên những phần mềm khác.
* Có thể mở rộng tính toán thêm các thông số trong từng sự thay đổi để có được phổ thay đổi rộng hơn và có cái nhìn tổng thể hơn trong việc xác định sự ảnh hưởng của các yếu tố đến độ bền mỏi kết cấu. Ví dụ trong trường hợp 2, chỉ tính toán trong điều kiện lựa chọn đường cong S-N là B1, có thể mở rộng tính toán cho các giá trị đường cong S-N khác để có nhiều hơn các các kết quả để so sánh và phân tích.

1. G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529–551, April 1955. *(references)*
2. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
3. I. S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
4. K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
5. R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” J. Name Stand. Abbrev., in press.
6. Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
7. M. Young, The Technical Writer’s Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.