

# Xây dựng chương trình tính toán lực va xô tàu, thuyền vào trụ cầu theo phân tích xác suất thống kê và lý thuyết độ tin cậy

■ **ThS. NCS. NGUYỄN MẠNH HẢI** - Trường Đại học Giao thông vận tải

**TÓM TẮT:** Hiện nay, trong công tác tính toán thiết kế trụ cầu ở Việt Nam, lực va xô tàu thuyền vào trụ cầu được tính toán chủ yếu dựa trên Tiêu chuẩn 22TCN-272-05 (hoặc 22TCN 18-79), trong đó lực va xô tàu thuyền thường tính toán trên cơ sở tùy thuộc từng cấp sông thông thuyền để lựa chọn lực va xô tàu thuyền. Điều này dẫn đến lực va xô lực chọn tính toán có thể thừa hoặc thiếu so với điều kiện làm việc thực tế của trụ cầu. Phương pháp tính toán lực va xô tàu thuyền vào trụ cầu vượt sông (dựa trên AASHTO LRFD từ 2007) dựa trên phân tích xác suất thống kê và lý thuyết độ tin cậy về khả năng sụp đổ của trụ cầu dưới tải trọng va xô đã được đưa vào trong tiêu chuẩn thiết kế cầu mới nhất TCVN 11823:2017. Phương pháp này được chứng minh là cho kết quả tin cậy, khoa học, phù hợp với điều kiện thực tế về điều kiện của khu vực xây dựng cầu. Tuy vậy, việc áp dụng phương pháp tính toán này khá phức tạp, đây cũng là một trong những nguyên nhân dẫn đến việc áp dụng phương pháp tính toán này còn chưa phổ biến trong công tác tính toán thiết kế cầu ở Việt Nam hiện nay. Bài báo trình bày một chương trình tính toán cơ bản, làm công cụ cho phép hỗ trợ công tác tính toán lực va xô trụ cầu theo phân tích xác suất thống kê và lý thuyết độ tin cậy trong TCVN 11823:2017.

**TỪ KHÓA:** Tải trọng va chạm, chương trình tính toán, phân tích xác suất thống kê, lý thuyết độ tin cậy.

**ABSTRACT:** In Vietnam, the design of bridge under collision load of vessel complying with the 22TCN-272-05 or 22TCN 18-79 specifications, in which the vessel collision force is calculated based on technical level of rivers, the weight and collision velocity of vessels. This kind of calculation method may lead to insufficient force value when applied to practical conditions of the real bridge. The AASHTO LRFD (2007) method for calculation of vessel collision force is based on probability analysis and reliability theory about the possibility of collapse of bridge piers under the impact load. The method introduces a number of factors such as hydrology

situations, traffic frequency of waterway, boat or ship categories, shape of the rivers into calculation procedure to fully determine the probability of collapse of each component of a bridge. This paper presents a basic calculation program, as a tool to support the calculation of vessel collision force is based on probability analysis and reliability theory in TCVN 11823:2017 code.

**KEYWORDS:** Vessel collision load, calculator program, probability analysis, reliability theory.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các tiêu chuẩn thiết kế cầu hiện hành ở Việt Nam hiện nay đều đề cập đến phương pháp tính toán lực va xô tàu thuyền vào trụ cầu vượt sông. Trong đó, hai tiêu chuẩn 22TCN 18-79 [1] và 22TCN 272-5 [2] chủ yếu tính toán lực va xô dựa trên phương pháp tra bảng các tham số tính toán phụ thuộc vào cấp sông thông thuyền mà không xét đến ảnh hưởng của các điều kiện khác biệt về các điều kiện thủy văn, giao thông thủy và đặc điểm cấu tạo của cầu.

Giá trị lực va xô của tàu thuyền  $P_s$  vào trụ cầu được tính toán (TCN-272-05) chỉ phụ thuộc vào vận tốc va chạm và tải trọng tàu thuyền như sau (2,3):

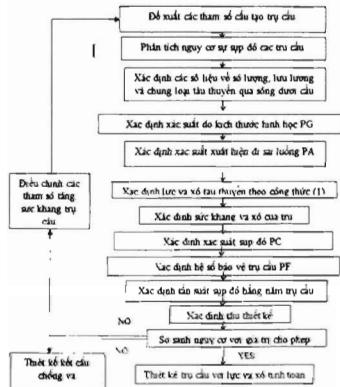
$$P_s = 1,2 \times 10^3 \sqrt{DWT} \cdot (MN) \quad (1)$$

Trong đó:  $V$  - Vận tốc của tàu (m/s);  $DWT$  - Tải trọng tàu (Mkg); Vận tốc của tàu được xác định thông qua cấp sông, được xác định dựa vào vận tốc bình quân năm của dòng chảy  $V_s$  (bảng tra). Như vậy, cách xác định lực va xô của tàu thuyền vào trụ cầu như trong 22TCN-272-05 chỉ dựa vào cấp sông và vận tốc dòng chảy trung bình năm, chưa xét đến tình trạng cụ thể của các đặc trưng của vật liệu, kết cấu trụ cầu, của tàu thuyền và dòng chảy tại khu vực xây dựng cầu... Vì vậy, giá trị lực va xô xác định được có thể không phù hợp với từng trường hợp riêng [6]. Để xét đến các yếu tố có thể ảnh hưởng đến tác động va xô của tàu thuyền vào trụ cầu, phương pháp thiết kế theo xác suất sập đổ của trụ cầu (và kết cấu nhịp) dưới tác động của tải trọng va xô của tàu thuyền đã được áp dụng từ tiêu chuẩn thiết kế cầu TCVN 11823:2017. Phương pháp tính toán dựa trên Tiêu chuẩn AASHTO, khi tính toán va

xò tàu thuyền vào trụ cầu cần được xét đến đầy đủ các yếu tố như: tầm quan trọng của cầu; kích thước, tải trọng và tần suất của tàu lưu thông; vận tốc lưu thông của tàu thuyền; yếu tố hình học của tuyến đường thủy; sự đáp ứng kết cấu của cầu đối với lực và [3,5-6]... Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã đánh giá phương pháp thiết kế và xò tàu thuyền vào trụ cầu theo phương pháp xác suất thống kê và lý thuyết độ tin cậy theo quy trình AASHTO là hoàn toàn tin cậy, cho phép xét đến ảnh hưởng của nhiều tham số trong từng vị trí và điều kiện cụ thể của cầu, đảm bảo an toàn cao trong khai thác cầu cũng như an toàn vận tải trên sông [7-11]. Tuy vậy, ở Việt Nam, các nghiên cứu, tài liệu hướng dẫn tính toán lực và xò theo phương pháp này còn rất hạn chế [4-6]. Các công cụ tính toán còn thiếu là một trong những nguyên nhân dẫn đến những hạn chế trong việc áp dụng phổ biến phương pháp tính toán lực và xò này ở Việt Nam.

## 2. LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Để tính toán lực và xò tàu, thuyền vào trụ cầu vượt sông theo phương pháp phân tích xác suất thống kê và lý thuyết độ tin cậy trong Tiêu chuẩn AASHTO và trong TCVN 11823:2011 [3,7], các bước tính toán có thể tóm tắt theo sơ đồ khối dưới đây (Hình 2.1).



Hình 2.1: Sơ đồ khối tính toán lực và xò tàu thuyền [7]

### 2.1. Tính toán tần suất sự sụp đổ của trụ cầu dưới tác dụng và xò tàu thuyền

Trong sơ đồ khối tính toán lực và xò, tần suất sự sụp đổ hàng năm của sự sụp đổ của cầu kiện cầu được lấy theo công thức [3,7]:

$$AF = (N)(PA)(PG)(PC)(PF) \quad (2)$$

Trong đó:

AF - Tần suất năm của sự sụp đổ cầu kiện cầu do va chạm tàu bè. Đối với cầu đặc biệt quan trọng, tần

suất sụp đổ lớn nhất hàng năm AF cho toàn cầu được lấy là 0,0001. Đối với cầu sử dụng thông thường tần suất sụp đổ lớn nhất hàng năm AF cho toàn cầu được lấy là 0,001;

N - Số lượng hàng năm của tàu được xếp hạng theo dạng, kích thước và điều kiện chất tải sử dụng trên đường thủy;

PA - Xác suất xuất hiện di sai luồng của tàu thuyền;

PG - Xác suất do kích thước hình học gây ra va chạm giữa tàu sai luồng và trụ hoặc nhịp cầu;

PC - Xác suất sập đổ cầu do va chạm với một tàu di sai luồng;

PF - Số điều chỉnh xét tới khả năng các kết cấu chống va tham gia bảo vệ trụ như các đảo đất đắp phía thượng, hạ lưu của trụ hoặc các kết cấu khác bảo vệ không cho tàu va vào trụ.

Xác suất của tàu di sai luồng: Có thể tính toán xác suất của tàu sai luồng theo công thức gần đúng như sau [3,7]:

$$PA = (B_p)(R_p)(R_c)(R_{xc}) \quad (3)$$

Trong đó:

$B_p$  - Mức độ cơ bản về sai lạc, đối với tàu thủy:  $B_p = 0,6 \times 10^{-4}$ ; đối với sà lan:  $B_p = 1,2 \times 10^{-4}$ ;

$R_p$  - Hệ số điều chỉnh theo vị trí cầu, trong vùng thẳng:  $R_p = 1,0$ ; trong vùng quá độ:  $R_p = 1 + \theta/90^\circ$ ; trong vùng rẽ/công:  $R_p = 1 + \theta/45^\circ$ ; với  $\theta$  là góc ngoặt hay uốn cong;

$R_c$  - Hệ số điều chỉnh do dòng chảy song song với luồng di chuyển của tàu được lấy theo công thức:  $R_c = 1 + V_c/19$ ; với  $V_c$  là thành phần vận tốc dòng chảy song song với luồng tàu (km/h);

$R_{xc}$  - Hệ số điều chỉnh mật độ đi lại của tàu, được lựa chọn trên cơ sở mật độ đi lại của tàu/sà lan trên đường thủy sát cạnh cầu như sau: mật độ thấp, ít gặp tàu thuyền đi qua hoặc vượt nhau ở vùng lân cận cầu:  $R_{xc} = 1,0$ ; mật độ trung bình, thỉnh thoảng gặp tàu thuyền đi qua hoặc vượt nhau vùng lân cận cầu:  $R_{xc} = 1,3$ ; mật độ cao, thường gặp tàu thuyền đi qua hoặc vượt nhau ở vùng lân cận cầu:  $R_{xc} = 1,6$ .

$R_{xc}$  - Hệ số điều chỉnh do dòng chảy ngang tác dụng thẳng góc với luồng di chuyển của tàu, được lấy theo công thức:  $R_{xc} = 1 + 0,54 \sqrt{V_{xc}}$  với  $V_{xc}$  là thành phần vận tốc dòng chảy thẳng góc với luồng tàu (km/h).

Xác suất sập đổ: PC - Xác suất sập đổ do va chạm với tàu sai lạc, được xác định như sau: nếu  $0,0 \leq H/P < 0,1$  thì  $PC = 0,1 + (0,1 - H/P)$ ; nếu  $0,1 \leq H/P < 1,0$ , thì  $PC = (1 - H/P)/9$ ; nếu  $H/P \geq 1,0$ , thì  $PC = 0$ ;

Tính xác suất hình học: PG - Xác suất hình học của va chạm tàu sai lạc và trụ hoặc nhịp cầu. Phân phối chuẩn có thể được sử dụng để mô hình hóa đường đi của một con tàu lạc đi gần cầu. Xác suất hình học PG phải được lấy bằng diện tích của biểu đồ phân phối chuẩn được giới hạn bởi bề rộng trụ và bề rộng tàu ở hai phía của trụ. Độ lệch chuẩn  $\sigma$  của đường phân phối chuẩn phải được giả thiết là bằng chiều dài toàn bộ của tàu thiết kế được chọn (LOA).

PG được xác định dựa trên bề rộng  $B_{uc}$  của mỗi tàu xếp hạng hoặc có thể được xác định cho mọi khoảng xếp hạng  $B_{uc}$  của tàu thiết kế được chọn. Hàm mật độ

phân bố xác suất chuẩn có dạng như sau (theo các quan hệ của lý thuyết xác suất thống kê) [7]:

$$\varphi(X) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\delta^2}} \quad (4)$$

Hệ số chống va: Hệ số chống va, PF, được tính như sau:  $PF = 1 - (\% \text{ do kết cấu chống va chịu}/100)$ . Nếu không có kết cấu chống va bao quanh trụ thì  $PF = 1,0$ .

**2.2. Xác định tàu thiết kế và xô**

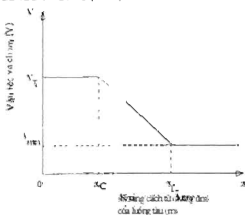
Trong phương pháp này, khi tính toán lực va xô tàu thuyền, việc quan trọng là cần xác định chính xác tàu thuyền dùng để thiết kế va xô. Theo đó, tàu thiết kế va xô là tàu có các đặc điểm (về trọng tải, tấn suất lưu thông hàng năm, kích thước, chủng loại, vận tốc) mà tương ứng với nó tấn suất sập đổ hàng năm của trụ cầu đo tác dụng của nó vượt quá tấn suất sập đổ cho phép được chấp thuận của cầu.

**2.3. Vận tốc va tàu thiết kế**

Vận tốc va tàu thiết kế có thể xác định theo Hình 2.2. Như vậy, theo phương pháp này cho phép khi tính toán lực va (công thức (1)), vận tốc va không lấy dựa theo vận tốc trung bình năm của dòng chảy mà xét đến cả vận tốc lưu thông thông thường của tàu thiết kế, ngoài ra vị trí của trụ cầu so với tim luồng và mép luồng cũng được xem xét. Điều này đảm bảo vận tốc va thiết kế phù hợp với điều kiện của từng vị trí trụ cầu.

Trong đó:

V - Vận tốc va của tàu thiết kế (m/s);  $V_1$  - Vận tốc thông thường của tàu lưu thông trong luồng ở điều kiện bình thường nhưng không nhỏ hơn  $V_{min}$  (m/s);  $V_{min}$  - Vận tốc thiết kế va tối thiểu không nhỏ hơn vận tốc trung bình hàng năm của dòng chảy tại vị trí cầu (m/s); X - Khoảng cách từ mặt trụ đến tim luồng tàu (mm);  $X_C$  - Khoảng cách tới mép luồng (mm);  $X_1$  - Khoảng cách bằng 3,0 lần độ dài tổng của tàu thiết kế (mm).



Hình 2.2: Xác định vận tốc va và chạm thiết kế

**3. CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN VÀ VÍ DỤ ÁP DỤNG**

Dựa trên các nội dung lý thuyết và phương pháp tính toán trình bày ở trên, một chương trình tính toán đơn giản cho phép tính toán lực va xô tàu thuyền vào trụ cầu vượt sông theo phân tích xác suất thống kê và lý thuyết đo tin cậy. Chương trình tính toán được xây dựng trên ứng dụng "Visual Basic Applications"; mặc dù còn

giản đơn nhưng chương trình cho phép giảm tiết kiệm được thời gian tính toán, có thể là công cụ hỗ trợ hữu ích cho công tác tính toán thiết kế lực va xô tàu thuyền vào trụ cầu ở Việt Nam hiện nay.

Hình 3.1 trình bày giao diện chính của chương trình. Hình 3.2 trình bày giao diện mô-đun nhập số liệu vật liệu của các trụ cầu, bao gồm các số liệu cơ bản như cốt thép, bê tông, kích thước cơ bản của từng trụ, vị trí của trụ... Hình 3.3 là mô-đun nhập số liệu liên quan đến đặc điểm và hình thái dòng chảy dưới cầu như các thông số về tốc độ dòng chảy, hướng dòng chảy, góc nghiêng của tim dòng chảy... Các số liệu về mặt đồ và chủng loại của các tàu thuyền được nhập vào chương trình tính toán thông qua mô-đun như Hình 3.3b, các số liệu này bao gồm kích thước từng loại tàu thuyền, số lượt tàu thuyền đi qua lại dưới cầu trong năm, các số liệu này sẽ ảnh hưởng lớn đến kết quả tính toán xác suất sập đổ của trụ cầu. Hình 3.4 thể hiện mô-đun cho phép nhập giá trị xác suất sập đổ giới hạn của trụ cầu, giá trị này phụ thuộc vào tầm quan trọng của công trình cầu.

Các kết quả chi tiết của quá trình tính toán sẽ thể hiện trên mô-đun xuất kết quả của chương trình (Hình 3.5), trong đó bao gồm các kết quả: tính toán các loại xác suất sập đổ PA, PG, PC cho từng loại tàu thuyền, tổng xác suất sập đổ cho từng trụ cầu, kiểm toán xác suất sập đổ của từng trụ cầu với các suất sập đổ giới hạn cho phép. Mô-đun này cho phép lựa chọn xuất kết quả và số liệu tính toán dưới các dạng file có định dạng .pdf hoặc .xls tùy theo mong muốn của người sử dụng.



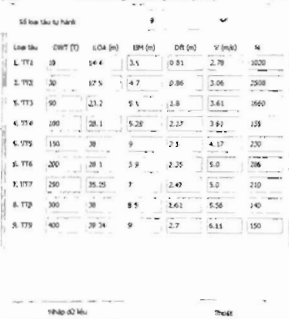
Hình 3.1: Giao diện chính của Chương trình tính toán



Hình 3.2: Mô-đun nhập số liệu vật liệu trụ cầu của Chương trình tính toán



Hình 3.3: Mô-đun nhập số liệu hình thái dòng sông (a) và đặc điểm giao thông thủy của Chương trình tính toán



Hình 3.3: Mô-đun nhập số liệu hình thái dòng sông (a) và đặc điểm giao thông thủy của Chương trình tính toán



STT	Trụ	Sum Afi	AF (total)	[AF]
1	PS	0.000639	0.001329	0.001
2	P6	0.000691		

Hình 3.5: Giao diện xuất kết quả của Chương trình tính toán

Một số kết quả chính thể hiện trong Bảng 3.1 và Bảng 3.2. Kết quả cuối cùng cho phép kiểm toán khả năng chống và xô của trụ cầu dưới tải trọng và chạm tàu thuyền, căn cứ vào kết quả này có thể quyết định việc có cần gia cường khả năng chống và xô của trụ cầu (làm trụ chống và, kết cấu hướng dòng tàu thuyền qua lại...) hay không.

Bảng 3.1. Kết quả tính toán xác suất sụp đổ do va chạm với mỗi loại tàu thuyền có cùng trụ

TÍNH TOÁN XÁC SUẤT SỤP ĐỔ DO VA CHẠM VỚI MỖI LOẠI TÀU

STT	Loại tàu	Trụ	PS	P6	P6	PC	AF	Sum Afi
1	TT1	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	TT2	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	TT3	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	TT4	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	TT5	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	TT6	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	TT7	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	TT8	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
9	TT9	P1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
10	SL1	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
11	SL2	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
12	SL3	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

STT	Loại tàu	Trụ	PS	P6	P6	PC	AF	Sum Afi
1	TT1	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	TT2	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	TT3	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	TT4	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	TT5	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	TT6	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	TT7	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	TT8	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
9	TT9	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
10	SL1	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
11	SL2	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
12	SL3	P2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Bảng 3.2. Kết quả kiểm toán xác suất sụp đổ công trình cầu

STT	Trụ	Sum Afi	AF (total)	[AF]
1	PS	0.000639	0.001329	0.001
2	P6	0.000691		

Kết luận: Cầu đảm bảo điều kiện va xô theo TCVN 11823:2017

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo trình bày nội dung cơ bản tính toán kết cấu dưới tác động của va xô tàu thuyền theo phân tích xác suất thống kê và lý thuyết độ tin cậy dựa trên quy trình AASHTO hay TCVN 11823:2017, đây là phương pháp tính

toàn khoa học, phù hợp với điều kiện thực tế của khu vực xây dựng cầu. Dựa trên lý thuyết tính toán, một chương trình tính toán đơn giản được xây dựng, cho phép thực hiện các bước tính toán thuận tiện, đơn giản, tiết kiệm thời gian tính toán. Chương trình tính toán còn đơn giản, thô sơ, nhưng có thể làm công cụ tính toán sơ bộ lực và xô cho các kỹ sư trong công tác tính toán thiết kế. Trong các nghiên cứu tiếp theo, chương trình cần tiếp tục được hoàn thiện, có thể phát triển trên các môi trường tính toán lập trình hiện đại, phức tạp hơn, nhằm cải thiện tính chính xác, minh bạch và thân thiện hơn với người sử dụng.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ GTVT (1979), *Tiêu chuẩn thiết kế cầu cống theo trạng thái giới hạn 22TCN 18-79*.
- [2]. Bộ GTVT (2005), *Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05*.
- [3]. Bộ GTVT (2017), *TCVN 11823-1:2017. Tiêu chuẩn thiết kế cầu*.
- [4]. Nguyen Huu Thuan, Do Anh Tu (11/2016), *Finite element analysis of bridge pier under barge collision load*, Tạp chí GTVT.
- [5]. Nguyễn Hữu Thuận (5/2018), *Ảnh hưởng của tiết diện trụ cầu và góc va đến lực và xô của tàu thuyền vào trụ cầu*, Tạp chí Khoa học GTVT, Trường Đại học GTVT.
- [6]. Ngô Ngọc Sơn (2000), *Nghiên cứu tính toán kết cấu cầu dưới tác động của lực và xô của tàu bè trên sông phù hợp với điều kiện ở Việt Nam*, Luận văn Thạc sỹ.
- [7]. American Association of State Highway and Transportation Officials (2009), *Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*, Washington D.C.
- [8]. Shaowei Zhang (February 2013), *Studies on the Probabilistic Model for Ship-Bridge Collisions*, International Journal of Statistics and Probability, vol.2, no.1.
- [9]. Michael W. Whitney and Issam E. Hark (1997), *Analysis and Design of Bridges Susceptible to Barge Impact*, Kentucky Transportation Center Research Report, University of Kentucky.
- [10]. Dai, T. Y., Liu, W. L., & Nie, W. (2003), *Probability Analysis and Prediction of Ship Impacts against Bridges*, Journal of Harbin Engineering University, 1, 23-29.
- [11]. Deng, A. Y., Gao, J. D. (2011), *Risk Analysis of Vessel-Bridge Collision Based on AASHTO Model Algorithm*, World Bridges, 1, 55-58.

**Ngày nhận bài: 25/4/2020**

**Ngày chấp nhận đăng: 10/5/2020**

**Người phản biện: TS. Lê Bá Anh**

**PGS. TS. Ngô Văn Minh**