

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ VÀ LỰA CHỌN MỐI GHÉP BULÔNG GIỮA HỘP GIẢM TỐC VÀ KHUNG MÁY

DESIGN, CALCULATE AND SELECT BOLTED JOINT BETWEEN A SPEED REDUCER AND THE FRAME

Nguyễn Thị Thanh Nguyên, Nguyễn Đức Thiên Ân, Trịnh Thế Anh, Nguyễn Hữu Lộc
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Trong nội dung bài báo này trình bày các nghiên cứu về mối ghép nhóm bulông trong việc xác định đường kính bulông trong trường hợp tổng quát, cụ thể là tính toán và chọn bu lông lắp của hộp giảm tốc, động cơ điện với thân máy. Bằng việc phân tích các giá trị lực tác dụng lên bulông, có thể tìm ra lực F tính toán lớn nhất tác động lên bulông, từ đó xác định được đường kính bulông cụ thể thỏa mãn điều kiện bền, đồng thời gợi ý các phương án chọn bu lông sao cho phù hợp nhất. Dựa theo quy trình tính toán, lập chương trình tự động tính toán thiết kế dưới dạng phần mềm tính Excel. Có thể sử dụng quy trình và chương trình tính này để ứng dụng khi chọn bulông trong thực tế hoặc thực hiện các đồ án, khóa luận tốt nghiệp cho sinh viên các ngành kỹ thuật.

Từ khóa: Mối ghép nhóm bulông; Bulông nền; Đường kính; Độ bền.

ABSTRACT

This paper presents a comprehensive study on bolt group connections, focusing on their pivotal role in determining the appropriate bolt diameter for a wide range of applications. Specifically, the research delves into calculating and selecting bolts for gearbox and machine bodies. By analyzing the force values exerted on the bolts, the study enables the determination of the maximum calculated force, denoted as F . This value serves as the foundation for establishing the requisite bolt diameter that fulfills safety criteria for durability, while also providing recommendations for selecting the most suitable bolts. To facilitate the implementation of this research in practical scenarios, an automatic calculation software has been developed in Excel format. This software, based on the calculation procedure devised in the study, empowers engineers, practitioners, and even students pursuing engineering majors to effectively choose bolts during project execution or when graduation theses.

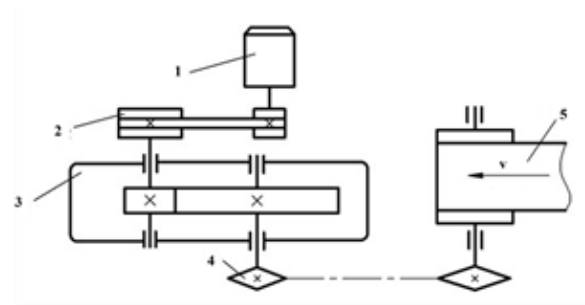
Keywords: Bolt group connections; Foundation bolts; Bolt diameter; Strength.



1. GIỚI THIỆU

Mối ghép ren là loại mối ghép có thể tháo được, hình thành dựa trên cơ sở đường xoắn ốc trụ (hoặc côn). Hiện nay, các chi tiết máy có ren chiếm trên 60% tổng số chi tiết trong các máy hiện đại, bao gồm bulông, đai ốc, vít. Đây là mối ghép có công dụng dùng để giữ chặt các chi tiết máy lại với nhau, đồng thời các chi tiết máy có thể tháo lắp được [1, 2]. Mối ghép nhóm bulông là một trường hợp riêng thuộc mối ghép ren và có một số nghiên cứu nhóm bu lông [3]. Hiện nay, khi lựa chọn bulông nền cho hộp giảm tốc, người ta thường ước lượng dựa trên bảng quan hệ kích thước các phần tử cấu tạo nên hộp giảm tốc [4]. Tuy nhiên, bảng này lại không nêu rõ mối quan hệ giữa cấp bền và đường kính bulông, điều này dẫn đến việc không có cơ sở để lựa chọn tối ưu giữa cấp bền và giá trị đường kính bulông.

Bài toán tính đường kính bulông bắt nguồn từ việc tìm hiểu lý thuyết khớp vít và độ bền ren [4]. Trên cơ sở đó, người ta xác định được đối với bu lông và đai ốc tiêu chuẩn, chỉ cần tính theo độ bền kéo của thân bulông để tìm đường kính d_1 , sau đó theo d_1 tra các kích thước khác, ngoài ra không cần kiểm tra độ bền ren. Mặc dù các phương pháp tính đường kính bulông trong các trường hợp đã có đầy đủ, nhưng chưa có một bài báo cụ thể nào liên quan đến bài toán tổng quát trong trường hợp cụ thể giữa hộp giảm tốc, động cơ điện với thân máy. Hộp giảm tốc ở đây có thể hiểu là hộp giảm tốc gắn liền với động cơ, hoặc là hộp giảm tốc tách rời động cơ. Ví dụ theo sơ đồ hệ thống truyền động cho máy như Hình 1a [5] bao gồm: động cơ, bộ truyền đai, bộ truyền xích và hộp giảm tốc.



1-động cơ; 2-bộ truyền đai; 3-hộp giảm tốc; 4-bộ truyền xích; 5-băng tải

a) Sơ đồ động học hộp giảm tốc tách rời động cơ



b) Hộp giảm tốc gắn liền động cơ

Hình 1. Hộp giảm tốc và động cơ trong sơ đồ động

Vì thế, trong đề tài này sẽ nêu ra phương pháp giải quyết vấn đề trên đồng thời phát triển một chương trình tính cụ thể giúp rút ngắn thời gian tìm đường kính bulông cần thiết, từ đó xử lý số liệu rồi đưa ra bảng tra theo tiêu chuẩn để lựa chọn các bulông.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN VÀ BÀI TOÁN TỔNG QUÁT

2.1. Cơ sở và trình tự tính toán

Trình tự tính toán nhóm bu lông trong trường hợp tổng quát [5]:

- Bước 1: Tách các thành phần lực theo hai hướng song song F_H và vuông góc F_V với bề mặt ghép.

- Bước 2: Dời các lực về bề mặt ghép và xác định mô men lật, mô men tác dụng trong

bề mặt ghép, thành phần lực nằm trong bề mặt và vuông góc bề mặt ghép và đi qua trọng tâm nhóm bu lông.

- Bước 3: Xác định lực xiết V_1 để bề mặt ghép không bị trượt theo trình tự sau:

+ Lực tác dụng lên mỗi bulông từ lực F nằm trong bề mặt ghép:

$$F_{H1} = F_{H2} = F_{H3} = \dots F_{Hi} = \frac{F_H}{z} \quad (1)$$

+ Lực do các mô men trong bề mặt ghép tác dụng lên mỗi bulông:

$$F_{Mi} = \frac{M_t \times r_i}{\sum r_i^2} \quad (2)$$

+ Từ đó tìm hợp lực lớn nhất $F_{\max}$ tác dụng lên một bulông từ các lực F_i :

$$F = \sqrt{F_{FHi}^2 + F_{Mti}^2 + 2F_{FHi}F_{Mti} \cos(\gamma)} \quad (3)$$

Công thức số (3) phụ thuộc vào cách đặt bộ truyền, góc nghiêng giữa bộ truyền và khung máy.

Vậy lực xiết để mỗi ghép không bị trượt:

$$V_1 = \frac{kF_{\max}}{f} \quad (4)$$

- Bước 4: Xác định lực xiết V_2 để bề mặt ghép không bị tách hở.

Xác định ứng suất nhỏ nhất dương để mỗi ghép không bị tách hở:

$$\sigma_{\min} = \sigma_V \pm \sigma_F - \sigma_M$$

$$= \frac{zV}{A} \pm \frac{(1-\chi)F_V}{A} - \frac{(1-\chi)M_l A y_c}{J} > 0 \quad (5)$$

Trong đó: σ_V phụ thuộc vào lực xiết chống tách hở của bulông; σ_F phụ thuộc vào thành phần lực ngoài tác dụng lên tấm ghép; σ_M phụ thuộc vào thành phần mô men tác dụng lên tấm ghép; y_c là khoảng cách từ tâm bulông đến trục lật; J là mô men quán tính phụ thuộc vào hình dạng mặt tiếp xúc hộp giảm tốc với thân máy.

Từ đó tính được lực xiết bulông để mỗi ghép không bị tách hở:

$$V_2 = \frac{k}{z} \times \left(F_V + \frac{M_l A}{W} \right) \times (1 - \chi) \quad (6)$$

- Bước 5: So sánh hai lực xiết V_1 (4) và V_2 (6), và chọn lực xiết V nào lớn hơn trong hai lực V_1 và V_2 , từ đó để tìm kiểm ra lực F tính toán tương đương bulông và chọn đường kính bulông:

$$F_{td} = 1,3V + \frac{\chi F_V}{z} + \frac{\chi M_l Y}{\sum z_i Y_i^2} \quad (7)$$

$$d = \sqrt{\frac{4F_{td}}{\pi \times [\sigma_k]}} \quad (8)$$

- Bước 6: Kiểm tra độ bền dập và kéo:

$$\sigma_{d \max} \leq [\sigma_d]$$

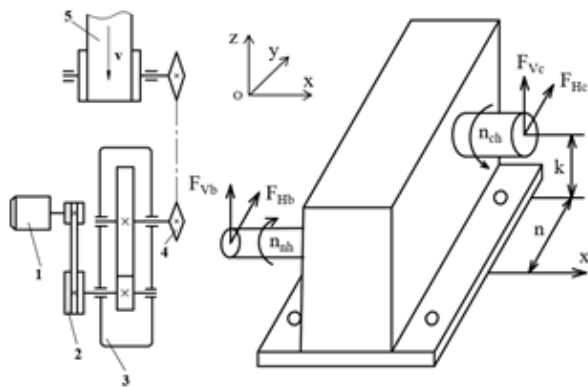
$$\sigma_k = \frac{4F_{td}}{\pi \times d^2} \leq [\sigma_k]$$

Trong đó, $[\sigma_d]$ phụ thuộc vào vật liệu để lắp bulông và $[\sigma_k]$ phụ thuộc vào cấp bền của bulông.

2.2. Bài toán mỗi ghép bu lông lắp hộp giảm tốc

Bài toán cụ thể gồm z bulông gắn tại các góc và các lực tác dụng lên z bulông này được thể hiện như Hình 2.





Hình 2. Sơ đồ lực tác dụng lên các trục

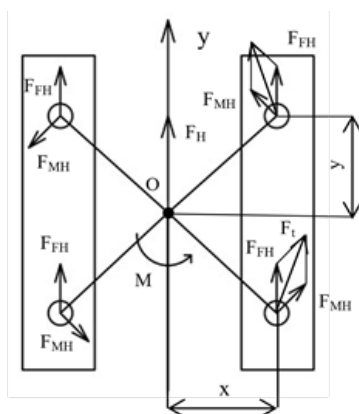
Trước tiên, để giải quyết bài toán này thì ta sẽ quy ước cách đặt dấu theo chiều dương trục tọa độ Oxy như Hình 3 và quy ước chiều mô men xoay ngược chiều kim đồng hồ là chiều dương.

Phân tích F_b thành hai lực theo phương V và B lần lượt là: F_{vb} và F_{hb} và F_c thành hai lực theo phương V và B lần lượt là F_{vc} và F_{bc} .

2.3. Xác định lực xiết V_1 để bề mặt không bị trượt

- Khi dời lực F_{hb} , F_{hc} về trọng tâm O của nhóm bulông, ta thay thế lực F_{hb} , F_{hc} bằng:

$$F_H = F_{hb} + F_{hc} \text{ đặt tại O}$$



Hình 3. Lực tác dụng lên bulông trong bề mặt ghép

- Xác định mô men trượt nằm trong bề mặt ghép:

$$M_t = F_{hc} \times c - F_{hb} \times e$$

- Do tác dụng của lực F_H đặt tại O, các bulông chịu lực ngang F bằng nhau:

$$F_{FHi} = \frac{F_H}{z}$$

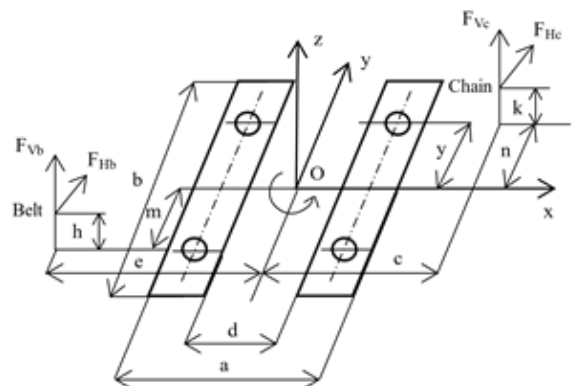
- Nhóm có z bulông, khoảng cách mỗi bulông đến trọng tâm O là r_i . Công thức để xác định lực F_{Mi} như sau:

$$F_{Mi} = \frac{M_t \times r_i}{\sum r_i^2} \text{ với } r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}.$$

- Sử dụng phương pháp đồ thị hoặc công thức cosin (3) tìm được hợp lực lớn nhất F_{max} tác dụng lên bulông.

- Xác định lực xiết bulông lớn nhất để mỗi ghép không bị trượt V_{tMax} theo công thức (4).

2.4. Xác định lực xiết V_2 để bề mặt không bị tách hở



Hình 4. Sơ đồ xác định mômen lật

- Bề mặt không bị tách hở:

$$\sigma_{min} = \frac{zV}{A} \pm \frac{F_m}{A} - \frac{(1-\chi)M_l}{W} > 0$$

Vì ở đây, lực F_m đang có xu hướng tách hờ bề mặt ghép nên điều kiện để bề mặt không bị tách hờ trở thành:

$$\sigma_{min} = \frac{zV}{A} - \frac{(1-\chi)F_V}{A} - \frac{(1-\chi)M_{lx}y_{max}}{J} - \frac{(1-\chi)M_{ly}x_{max}}{J} > 0 \quad (9)$$

- Trong đó, mô men lật M_{lx} , M_{ly} và F_V được tính như sau:

$$M_{lx} = F_{Vc} \times n - F_{Vb} \times m - F_{Hb} \times h - F_{Hc} \times k$$

$$M_{ly} = F_{Vb} \times e - F_{Vc} \times c$$

$$F_V = F_{Vb} + F_{Vc}$$

Như vậy, từ (9) suy ra:

$$V_{hmax} = \frac{k}{z} \times \left(F_V + \frac{M_{lx}A}{W} + \frac{M_{ly}A}{W} \right) \times (1-\chi) \\ = \frac{k}{z} \times \left(F_V + \frac{M_{lx}Ay_{max}}{J_{XX}} + \frac{M_{ly}Ax_{max}}{J_{YY}} \right) \times (1-\chi) \quad (10)$$

Trong đó:

- Khoảng cách $y_{max} = b/2$ và $x_{max} = a/2$.
- Mô men quán tính J_{XX} và J_{YY} lần lượt là:

$$J_{XX} = \frac{ab^3}{12} - \frac{db^3}{12} = \frac{(a-d) \times b^3}{12}$$

$$J_{YY} = \frac{a^3b}{12} - \frac{d^3b}{12} = \frac{(a^3 - d^3) \times b}{12}$$

Đây cũng chính là lực xiết bulông để mối ghép không bị tách hờ.

Hoặc tính cho trường hợp xấu nhất:

$$V_h = \frac{k}{z} \times \left(F_V + \frac{M_{lx}Ay_{max}}{J_{XX}} + \frac{M_{ly}Ax_{max}}{J_{YY}} \right)$$

Tóm lại: từ V_{hmax} và V_{Tmax} , chọn lực xiết lớn nhất.

2.5. Xác định đường kính d và chọn bulông

- Tổng lực tác dụng lên bulông chịu tải lớn nhất:

$$F_{td} = 1,3V + \frac{\chi F_V}{z} + \frac{\chi M_{lx}y_{max}}{\sum_{i=1}^z y_i^2} + \frac{\chi M_{ly}x_{max}}{\sum_{i=1}^z x_i^2} \quad (11)$$

Với y_{max} và x_{max} là khoảng cách tính từ tâm bulông hàng ngoài cùng và bulông này đang chịu lực kéo lớn nhất (không phải lực nén) đến trục lật YY và XX, suy ra đường kính bulông theo công thức (8).

2.6. Kiểm tra độ bền dập của bề mặt ghép

Phải đảm bảo trường hợp xấu nhất:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma_d].$$

$$\sigma_{max} = \frac{zV}{A} - \frac{F_V}{A} + \frac{M_{lx}y_{max}}{J} + \frac{M_{ly}x_{max}}{J}$$

Đối với bê tông, $[\sigma_d] = (1 \div 2)$ MPa; đối với gỗ, $[\sigma_d] = (2 \div 4)$ MPa.

Nếu điều kiện này không thỏa mãn thì cần tăng kích thước bề mặt ghép.

2.7. Kiểm tra độ bền kéo của bulông, từ đó đề xuất cấp bền hợp lý

Trong trường hợp đã có đường kính bulông và lực F tổng hợp, việc kế tiếp là cần chọn cấp bền làm sao không được dư bền quá nhiều, do đó cần phải kiểm tra theo độ bền kéo. Thay d và F_{td} vào công thức (3), tìm ra được ứng suất kéo:

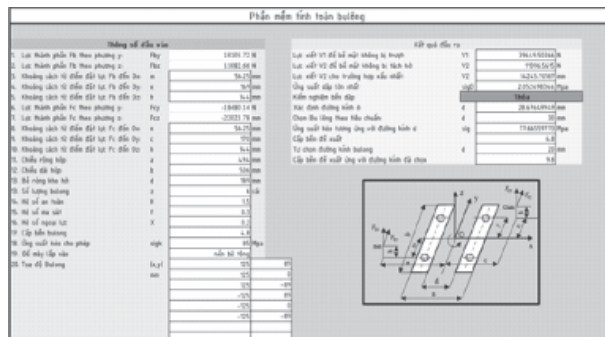
$$\sigma_k = \frac{4F_{td}}{\pi \times d^2}$$

So sánh giá trị σ_k này với giá trị ứng suất cho phép, từ đó đề xuất ra cấp bền phù hợp. 

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Với trình tự tính toán đã trình bày, lập chương trình tính toán trên Excel như Hình 5.

Với các bộ thông số đầu vào 1:



Hình 5. Giao diện chương trình tính toán

Tỉ số truyền $u_{\text{hgt}} = 5$, với bộ truyền đai có đường kính dẫn bánh đai $d_1 = 200$ mm, xích có đường kính dẫn bánh xích $d_1 = 200$ mm, góc trượt $\alpha = 3$ rad, hệ số ma sát $f = 0,3$, góc nghiêng đai $\beta_b = 30^\circ$, chiều rộng hộp $a = 494$ mm, chiều dài hộp $b = 506$ mm. Bộ truyền xích có hệ số trọng lượng xích $K_m = 1,15$, góc nghiêng xích $\beta_c = 50^\circ$. Kết quả tính toán như Bảng 1.

Bảng 1.

Các lực do bộ truyền đai tác dụng tương ứng với từng giá trị mô men T						
Mô men xoắn T (Nm)	Lực vòng F_{tb} (N)	Lực căng đai F_0 (N)	Lực tác dụng lên trục F_r (N)	Lực F_{rz} (N)	Lực F_{ry} (N)	
100	1000	1185,12	3546,45	1773,225	3071,32	
200	2000	2370,24	7092,91	3549,45	6142,64	
300	3000	3555,35	10639,33	5319,67	9213,93	
400	4000	4740,47	14185,79	7092,9	12285,25	
500	5000	5925,59	17732,24	8866,12	15356,57	
Các lực do bộ truyền xích tác dụng tương ứng với từng giá trị mô men T						Giá trị bulông
Mô men xoắn T (Nm)	Lực vòng xích F_{tc} (N)	Lực F_r (N)	Lực F_{rz} (N)	Lực F_{ry} (N)	Đường kính (mm)	Chọn (mm)
500	5000	5750	4404,76	3696,03	11,65	M14
1000	10000	11500	8809,51	7392,06	16,47	M20
1500	15000	17250	13214,27	11088,09	21,87	M27
2000	20000	23000	17619,02	14784,12	23,30	M27
2500	25000	28750	22023,78	18480,14	26,05	M30

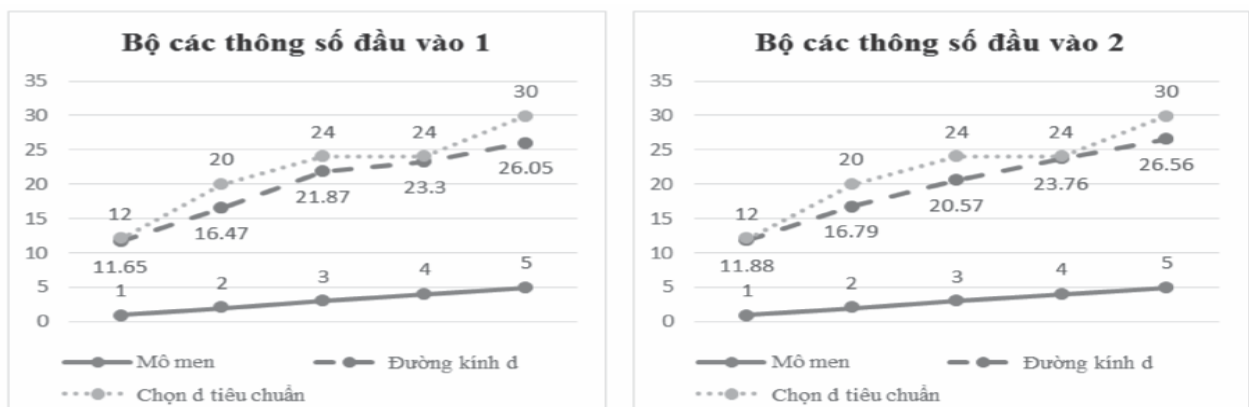
Với bộ các thông số đầu vào 2:

Tỉ số truyền $u_{\text{hgt}} = 5$, với bộ truyền đai có đường kính dẫn bánh đai $d_1 = 160$ mm, xích có đường kính dẫn bánh xích $d_1 = 200$ mm, góc trượt $\alpha = 3$ rad, hệ số ma sát $f = 0,3$, góc nghiêng đai $\beta_b = 30^\circ$, chiều rộng hộp $a=494$ mm, chiều dài hộp $b=506$ mm. Bộ truyền xích có hệ số trọng lượng xích $K_m = 1,15$, góc nghiêng xích $\beta_c = 50^\circ$. Kết quả tính toán như Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán ứng với bộ thông số đầu vào 2.

Các lực do bộ truyền đai tác dụng tương ứng với từng giá trị mô men T						
Mô men xoắn T (Nm)	Lực vòng $F_{\text{vđ}}$ (N)	Lực căng đai F_0 (N)	Lực tác dụng lên trục F_r (N)	Lực F_{rz} (N)	Lực F_{ry} (N)	
100	1250	1481,4	4433,06	2216,535	3839,15	
200	2500	2962,79	8866,12	4433,05	7678,27	
300	3750	4444,19	13299,18	6649,59	11517,42	
400	5000	5925,59	17732,24	8866,12	15356,57	
500	6250	7406,99	22165,29	11082,66	19195,72	
Các lực do bộ truyền xích tác dụng tương ứng với từng giá trị mô men T						Giá trị bulông
Mô men xoắn T (Nm)	Lực vòng xích F_{vc} (N)	Lực F_r (N)	Lực F_{rz} (N)	Lực F_{ry} (N)	Đường kính (mm)	Chọn (mm)
500	5000	5750	4404,76	3696,03	11,88	M16
1000	10000	11500	8809,51	7392,06	16,79	M20
1500	15000	17250	13214,27	11088,09	20,57	M24
2000	20000	23000	17619,02	14784,12	23,76	M30
2500	25000	28750	22023,78	18480,14	26,56	M36

Kết quả được biểu diễn trên Hình 6.



Hình 6. Chọn đường kính bu lông.

4. KẾT LUẬN

Thông qua nội dung bài báo này, các tác giả đã trình bày quy trình tính toán mối ghép ren trong trường hợp tổng quát khi lắp giữa hộp giảm tốc, động cơ hoặc hộp giảm tốc gắn liền trực động cơ với thân máy. Theo chương trình trên Excel có thể xác định và lựa chọn đường kính bu lông một cách nhanh chóng hoặc chọn cấp bền cho vật liệu bu lông (vít) phù hợp với đường kính và tải trọng tác dụng cho trước. Tiếp theo, trên cơ sở này có thể lập chương trình tự động chọn bu lông (vít) hoặc chọn vật liệu cho các kết cấu khác nhau.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh trong khuôn khổ đề tài mã số SVKSTN-2022-CK-37. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **25/5/2023**

Ngày phản biện: **14/6/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Geoffrey L. Kulak, John W. Fisher & John H. A. Struik (2001); *Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints*, American Institute Of Steel Construction, Chicago.
- [2]. John H. Bickford (2007); *Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints Non-Gasketed Joints*, CRC Press, NewYork.
- [3]. Nguyễn Hữu Lộc, Trần Văn Thùy; *Xác định hệ số ngoại lực của mối ghép ren*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 5, trang 93-98, 2016.
- [4]. Nguyễn Hữu Lộc (2020); *Thiết kế máy và chi tiết máy*, NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [5]. Nguyễn Hữu Lộc (2020); *Giáo trình Cơ sở thiết kế máy*, NXB. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.