■Ngày nhận bài: 11/11/2022 ■Ngày sửa bài: 04/12/2022 ■Ngày chấp nhận đăng: 14/12/2022

Phương pháp thực hành tính toán cốt đai chịu cắt của dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật

Practical method for stirrup design of reinforced concrete beam with rectangular cross section subjected to shear force

> GS.TS PHAN QUANG MINH [1], PGS.TS PHẠM THÁI HOÀN [1]
[1] Bộ môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất phương pháp thực hành tính toán cốt đai chịu lực cắt của dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều và tải trọng tập trung. Phương pháp được đề xuất dựa trên cơ sở tiêu chuẩn Thiết kế bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế TCVN 5574:2018, kết hợp tham khảo điều kiện tính toán của một số tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép tiên tiến trên thế giới như tiêu chuẩn Đức, châu Âu và Canada, trong đó cho phép tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng mà không cần xem xét các tiết diện nghiêng khi xác định lực cắt do ngoại lực tác dụng. Phương pháp đề xuất cho phép thực hành tính toán cốt đai chịu lực cắt của dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều và tải tập trung một cách thuận tiện và dễ dàng với sai số tương đối nhỏ so với tính toán chính xác theo tiêu chuẩn. Sự đơn giản và thuận tiện cùng với sai số chấp nhận được của phương pháp phù hợp cho các kỹ sư trong thực hành tính toán kết cấu bê tông cốt thép.

Từ khóa: Phương pháp thực hành; cốt đai; dầm bê tông cốt thép; TCVN 5574:2018.

ABSTRACT:

This study presents a practical method for stirrups design of reinforced concrete beam with rectangular cross section subjected to uniformly distributed and concentrated loads. The proposed method is based on the TCVN 5574:2018, combined with reference to the calculation conditions of some advanced reinforced concrete structure design standards in the world such as German, European and Canadian standards, which allows to calculate the strength on the inclined section without considering the inclined sections when determining the shear force due to the external force. The proposed method allows to conveniently and easily calculate the stirrups of reinforced concrete beams with rectangular cross section under the effect of uniformly distributed and concentrated loads with small relative error when compared to the exact method. The simplicity and convenience along with the acceptable error of the proposed method are suitable for engineers in the practice calculation of reinforced concrete structures.

Keywords: Practical method; stirrups; reinforced concrete beam; TCVN 5574:2018.

1. GIỚI THIỆU

Bài toán cường độ trên tiết diện nghiêng chịu cắt nói chung hay tính toán cốt đai chịu cắt của dầm BTCT (BTCT) nói riêng là một bài toán phức tạp do việc tính toán phụ thuộc vào nhiều yếu tố như kích thước hình học, mặt cắt tiết diện, sự tác động của tải trọng, vật liệu và đặc điểm của cấu kiện, vì vậy nên trên thế giới có nhiều trường phái tính toán khác nhau [1]. Các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông, BTCT của Việt Nam từ trước đến nay như TCVN 5574:1991, TCXDVN 356:2005 (sau đổi thành TCVN 5574:2012) và mới nhất là TCVN 5574:2018 đều được ban hành dựa trên tiêu chuẩn gốc của Liên Xô và Nga sau này. Năm 2012 Cộng hòa liên bang Nga ban hành tiêu chuẩn SP 63.13330.2012 [2] kèm chỉ dẫn (Posobie) cho SP 63.13330 [3], Việt Nam dựa trên tiêu chuẩn này ban hành TCVN 5574:2018 [4] nhưng không kèm theo chỉ dẫn. Việc chỉ ban hành tiêu chuẩn, trong đó cơ bản nêu những vấn đề chung nhất về nguyên lý tính toán và cấu tạo, mà không kèm theo chỉ dẫn gây khó khăn trong việc sử dụng cho các kỹ sư thiết kế kết cấu cũng như công tác dạy và học kết cấu BTCT trong ngành Kỹ thuật Xây dựng ở các trường đại học.

Theo sau tiêu chuẩn thiết kế, trong các tài liệu hướng dẫn tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [5-9], các tác giả trình bày việc tính toán cốt đai cho dầm BTCT tiết diện chữ nhật chịu tải trọng phân bố đều và tập trung theo nhiều cách khác nhau trên cơ sở tuân thủ nguyên lý chung được quy định, hướng dẫn trong tiêu chuẩn. Gần đây nhất, tác giả Lê Bá Huế và Phan Minh Tuấn [1] đã kiến nghị một phương pháp tính toán cốt đai chịu cắt của dầm chịu tải tập trung theo TCVN 5574:2018. Phương pháp được kiến nghị dựa trên cơ sở hiệu chỉnh phương pháp được nêu trong chỉ dẫn - Posobie cho SP 63.13330 [3], trong đó, các tác giả chỉ ra rằng các công thức cơ bản và hướng dẫn tính toán thực hành được trình bày trong chỉ dẫn - Posobie cho SP 63.13330 đối với trường hợp dầm BTCT chịu tải phân bố đều cho kết quả chính xác và phù hợp. Kết quả này được các tác giả bằng một nghiên cứu trước đó [10] chứng minh thông

qua một cách trình bày và đường lối tính toán khác tường minh hơn nhưng cho kết quả hoàn toàn trùng khớp với tính toán theo chỉ dẫn - Posobie cho SP 63.13330. Trong khi đó, đối với trường hợp dầm chịu tải tập trung, các tác giả cho rằng tuy đầy đủ nhưng Pocobie trình bày mang tính thực dụng, không tường minh, nhiều chỗ tính toán quá an toàn, đôi chỗ lại không, từ đó kiến nghị phương pháp tính toán mới cho trường hợp này. Phương pháp kiến nghị trên được chứng minh là cho kết quả tính toán cốt đai cho dầm chịu tải tập trung an toàn và tiết kiệm thông qua các thí dụ kiểm tra và so sánh. Mặc dù phương pháp kiến nghị cũng được trình bày tường minh, bám sát cơ sở lý thuyết của TCVN 5574:2018 một cách logic, dễ hiểu và dễ sử dụng hơn, tuy nhiên do đặc thù của sự phức tạp trong việc xác định tiết diện nghiêng trong bài toán tính toán cốt đai, quy trình tính toán cốt đai cho dầm chịu tải phân bố đều [10] và dầm chịu tải tập trung theo phương pháp trên vẫn tương đối dài, đòi hỏi người áp dụng phải có mức độ hiểu biết nhất định về sự phá hoại của dầm trên tiết diện nghiêng do lực cắt gây nên. Bên cạnh đó, việc phải xem xét các trường hợp xảy ra của tiết diện nghiêng trong tính toán dẫn đến khó khăn trong việc lập trình tính toán tự động đối với kỹ sư thực hành thiết kế kết cấu.

Để giảm thiểu sự phức tạp trong tinh toán cốt đai cho dầm trong cả hai trường hợp chịu tải phân bố đều và tải tập trung, bài báo này đề xuất phương pháp thực hành dựa trên cơ sở tiêu chuẩn TCVN 5574:2018. Phương pháp được đề xuất với sự tham khảo điều kiện tính toán của một số tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT tiên tiến trên thế giới như tiêu chuẩn Đức, châu Âu và Canada, trong đó cho phép tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng mà không cần xem xét các tiết diện nghiêng khi xác định lực cắt do ngoại lực tác dụng. Phương pháp đề xuất được kiểm chứng thông qua các thí dụ tính toán và so sánh kết quả với phương pháp chính xác trong cả hai trường hợp dầm chịu tải phân bố đều và tải tập trung. Dưới đây sẽ trình bày về phương pháp tính toán cốt đai cho dầm tiết diện chữ nhật theo TCVN 5574:2018 trên cơ sở nguyên lý của tiêu chuẩn và quy trình của phương pháp đề xuất trong trước đó [7] (gọi là phương pháp theo TCVN 5574:2018), phương pháp thực hành đề xuất cho các trường hợp dầm chịu tải tập trung và phân bố đều và các thí dụ kiểm chứng.

2. TÍNH TOÁN CỐT ĐAI CHỊU CẮT CHO DẦM BTCT THEO TCVN 5574:2018

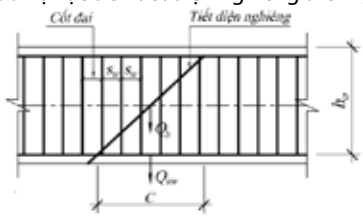
2.1. Lý thuyết cơ bản

Tính toán cốt đai chịu cắt cho dầm nhằm đảm bảo độ bền của cấu kiện trên tiết diện nghiêng chịu tác dụng của lực cắt. Trước khi điều kiện này được đảm bảo, dầm cần đảm bảo điều kiện cường độ trên dải nghiêng giữa các tiết diện nghiêng, thường được gọi là điều kiện bụng dầm không bị nén vỡ bởi ứng suất nén chính:

$$Q \le 0,3R_b bh_0 \quad (1)$$

trong đó Q là lực cắt trong tiết diện thẳng góc của dầm, R_b là cường độ chịu nén tính toán của bê tông dầm, b và h_0 lần lượt là bề rộng và chiều cao làm việc của tiết diện.

Khi điều kiện (1) được đảm bảo, tính toán cốt đai chịu cắt được tiến hành dựa trên sơ đồ nội lực trên tiết diện nghiêng thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nội lực trên tiết diện nghiêng chịu cắt

Điều kiện cường độ là:

$$Q \le Q_b + Q_{sw} \quad (2)$$

trong đó Q_b và Q_{sw} là khả năng chịu cắt của bê tông và cốt đai trên tiết diện nghiêng C:

$$Q_b = \frac{M_b}{C} \text{ với } M_b = 1,5R_{bt}bh_0^2 \quad (3)$$

Giá trị của Q_b được khống chế trong khoảng:

$$Q_{b,\min} = 0,5R_{bt}bh_o \le Q_b \le Q_{b,\max} = 2,5R_{bt}bh_o \quad (4)$$

Tức là giá trị C, chiều dài hình chiếu của tiết diện nghiêng, được khống chế trong khoảng: $0,6h_o \le C \le 3h_o$.

Trong các biểu thức (3) và điều kiện (4), R_{bt} là cường độ chịu kéo tính toán của bê tông.

$$Q_{sw} = 0,75q_{sw}C \quad (5)$$

với C được khống chế trong khoảng (h_o; $2h_o$) với mọi tiết diện nghiêng dọc cấu kiện và q_{sw} là khả năng chịu cắt của cốt đai trên đơn vị chiều dài:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s} \quad (6)$$

trong đó R_{sw}, A_{sw}, s lần lượt là cường độ chịu cắt tính toán của cốt thép đai, diện tích 1 lớp cốt đai và khoảng cách giữa các lớp cốt đai. Cốt đai được coi là tính toán nếu thỏa mãn điều kiện:

$$q_{sw} \ge q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b \quad (7)$$

Từ điều kiện khống chế của C, biểu thức (5) có thể được biểu diễn lại dưới dạng sau nhằm thuận tiện trong tính toán mà vẫn đảm bảo an toàn chịu lực [1, 10]:

$$Q_{sw} = \begin{cases} 0,75q_{sw}C & \text{khi } C \le 2h_0 \\ 1,5q_{sw}h_0 & \text{khi } C > 2h_0 \end{cases} \quad (8)$$

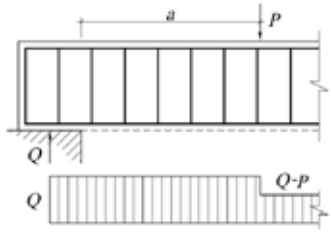
Ngoài ra, chỉ dẫn - Pocobie cho SP 63.13330 [3] và [1] cũng thống nhất rằng trong thực hành thiết kế nên lựa chọn tiết diện dầm để thoả mãn điều kiện:

$$Q \le Q_{b,\max} = 2,5R_{bt}bh_o \quad (9)$$

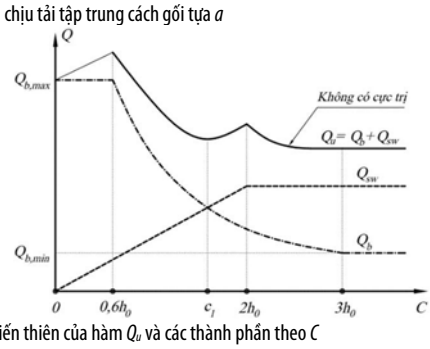
2.2. Trường hợp dầm chịu tải tập trung

Trường hợp dầm chịu một lực tập trung đặt cách gối tựa một đoạn a như thể hiện trong Hình 2, điều kiện cường độ (2) được viết lại như sau:

$$Q \le Q_u = Q_b + Q_{sw} = \frac{M_b}{C} + 0,75q_{sw}C \quad (10)$$



Hình 2. Dầm chịu tải tập trung cách gối tựa a



Hình 3. Sự biến thiên của hàm Q_u và các thành phần theo C

Sự biến thiên của hàm số Q_u và các thành phần theo C được thể hiện trên Hình 3, trong đó hàm số Q_u sẽ tồn tại cực trị trong khoảng

$(0,6h_o;2h_o)$ nếu điều kiện $0,6h_o \le c_1 = \sqrt{M_b/(0,75q_{sw})} \le 2h_o$ thoả mãn.

Từ đó điều kiện cường độ (10) theo các trường hợp của *a* và c_1 được triển khai cụ thể như sau với lưu ý tiết diện và vật liệu dầm được lựa chọn thoả mãn điều kiện (9):

- **Trường hợp** $0,6h_o < a \le 2h_o$

Nếu $c_1 \le a \rightarrow Q \le Q_u = Q_u(c_1) = \sqrt{3M_b q_{sw}}$

Nếu $c_1 > a \rightarrow Q \le Q_u = Q_u(a) = \dfrac{M_b}{a} + 0,75q_{sw}a$

- **Trường hợp** $2h_o < a \le 3h_o$

Nếu $c_1 \le 2h_0 \rightarrow Q \le Q_u = \min\begin{cases} Q_u(c_1) = \sqrt{3M_b q_{sw}} \\ Q_u(a) = \dfrac{M_b}{a} + 1,5q_{sw}h_o \end{cases}$

Nếu $c_1 > 2h_0 \rightarrow Q \le Q_u = \dfrac{M_b}{a} + 1,5q_{sw}h_o$

- **Trường hợp** $a > 3h_o$

Nếu $c_1 \le 2h_0 \rightarrow Q \le Q_u = \min\begin{cases} Q_u(c_1) = \sqrt{3M_b q_{sw}} \\ Q_u(3h_0) = 0,5R_{bt}bh_o + 1,5q_{sw}h_o \end{cases}$

Nếu $c_1 > 2h_0 \rightarrow Q \le Q_u = Q_u(3h_0) = 0,5R_{bt}bh_o + 1,5q_{sw}h_o$

Từ các điều kiện cường độ trên, khả năng chịu cắt trên đơn vị của cốt đai q_{sw} yêu cầu theo các trường hợp của *a* và c_1 như sau, trong đó $c_1 = 2M_b/Q$ [1]:

- **Trường hợp** $0,6h_o < a \le 2h_o$

Nếu $c_1 \le a \rightarrow q_{sw} = \dfrac{Q^2}{3M_b}$

Nếu $c_1 > a \rightarrow q_{sw} = \dfrac{Q - M_b/a}{0,75a}$

- **Trường hợp** $2h_o < a \le 3h_o$

Nếu $c_1 \le 2h_0 \rightarrow q_{sw} = \max\left\{\dfrac{\dfrac{Q^2}{3M_b}}{\dfrac{Q - M_b/a}{1,5h_0}}\right.$

Nếu $c_1 > 2h_0 \rightarrow q_{sw} = \dfrac{Q - M_b/a}{1,5h_0}$

- **Trường hợp** $a > 3h_o$

Nếu $c_1 \le 2h_0 \rightarrow q_{sw} = \max\left\{\dfrac{\dfrac{Q^2}{3M_b}}{\dfrac{Q - 0,5R_{bt}bh_0}{1,5h_0}}\right.$

Nếu $c_1 > 2h_0 \rightarrow q_{sw} = \dfrac{Q - 0,5R_{bt}bh_o}{1,5h_o}$

Bài toán kiểm tra cường độ và bài toán tính cốt đai chịu cắt cho dầm được được tiến hành theo các trường hợp của *a* và c_1 như trên, trong đó với bài toán thiết kế, sau khi tính được q_{sw}, so sánh với $q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b$, lấy giá trị lớn nhất để tính sau đó chọn khoảng cách cốt đai *s* thoả mãn các yêu cầu cấu tạo khác.

2.3. Trường hợp dầm chịu tải phân bố đều

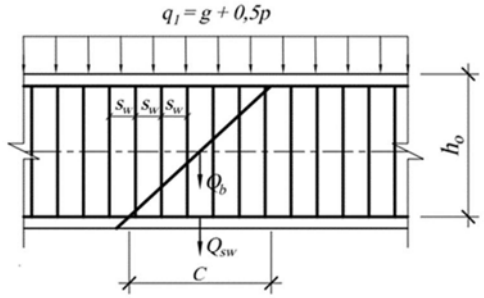
Trường hợp dầm chịu tải phân bố đều $q = g + p$ với *g* là tĩnh tải và *p* là hoạt tải được thể hiện trong Hình 4, trong đó giá trị tải trọng tính toán phân bố đều khi tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng được lấy là q_1:

$$q_1 = g + 0,5p = q - 0,5p \quad (11)$$

Điều kiện cường độ (2) được viết lại như sau:

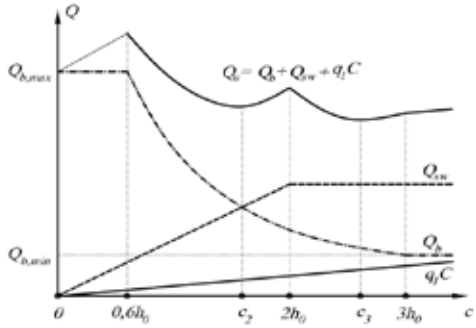
$$Q - q_1C \le Q_b + Q_{sw} = \frac{M_b}{C} + 0,75q_{sw}C \quad (12)$$

hay $$Q \le Q_u = \frac{M_b}{C} + 0,75q_{sw}C + q_1C \quad (13)$$



Hình 4. Sơ đồ tính toán cốt đai cho dầm chịu tải phân bố đều

Sự biến thiên của hàm số Q_u và các thành phần theo *C* được thể hiện trên Hình 5, trong đó hàm số Q_u sẽ tồn tại cực trị trong khoảng $(0,6h_o;2h_o)$ nếu điều kiện $0,6h_o \le c_2 = \sqrt{M_b/(0,75q_{sw} + q_1)} \le 2h_o$ thoả mãn và Q_u sẽ tồn tại cực trị trong khoảng $(2h_o;3h_o)$ nếu điều kiện $2h_o \le c_3 = \sqrt{M_b/q_1} \le 3h_o$ thoả mãn.



Hình 5. Sự biến thiên của hàm số Q_u và các thành phần Q_b, Q_{sw}, q_1C và theo *C*

Điều kiện cường độ (13) theo các trường hợp của c_2 và c_3 được triển khai cụ thể như sau với lưu ý các trường hợp khác điều kiện cường độ đã được đảm bảo khi tiết diện và vật liệu dầm được lựa chọn thoả mãn điều kiện (9):

- **Trường hợp** $c_3 \le 2h_0$

Nếu $0,6h_o < c_2 \le 2h_o$

$\rightarrow Q \le Q_u = Q_u(c_2) = \sqrt{4M_b(0,75q_{sw} + q_1)}$

- **Trường hợp** $2h_o < c_3 \le 3h_o$

Nếu $0,6h_o < c_2 \le 2h_o$

$\rightarrow Q \le Q_u = \min\begin{cases} Q_u(c_2) = \sqrt{4M_b(0,75q_{sw} + q_1)} \\ Q_u(3h_o) = 0,5R_{bt}bh_o + 3q_1h_o + 1,5q_{sw}h_o \end{cases}$

Nếu $c_2 \le 0,6h_0$ hoặc $c_2 > 2h_0$

$\rightarrow Q \le Q_u = Q_u(c_3) = \sqrt{4M_b q_1} + 1,5q_{sw}h_o$

- **Trường hợp** $c_3 > 3h_o$

Nếu $0,6h_o < c_2 \le 2h_o$

$$\rightarrow Q \le Q_u = \min\begin{cases} Q_u(c_2) = \sqrt{4M_b(0,75q_{sw}+q_1)} \\ Q_u(c_3) = \sqrt{4M_b q_1} + 1,5q_{sw}h_o \end{cases}$$

Nếu $c_2 \le 0,6h_0$ hoặc $c_2 > 2h_0$

$$\rightarrow Q \le Q_u = Q_u(3h_o) = 0,5R_{bt}bh_o + 3q_1h_o + 1,5q_{sw}h_o$$

Từ các điều kiện cường độ trên, khả năng chịu cắt trên đơn vị của cốt đai q_{sw} yêu cầu theo các trường hợp của c_2 và c_3 như sau:

- **Trường hợp** $c_3 \le 2h_0 \rightarrow q_{sw} = \dfrac{Q^2 - 4M_b q_1}{3M_b}$

- **Trường hợp** $2h_o < c_3 \le 3h_o \rightarrow q_{sw} = \max\begin{cases} \dfrac{Q^2 - 4M_b q_1}{3M_b} \\ \dfrac{Q - \sqrt{4M_b q_1}}{1,5h_0} \end{cases}$

- **Trường hợp** $c_3 > 3h_o$

$$\rightarrow q_{sw} = \max\begin{cases} \dfrac{Q^2 - 4M_b q_1}{3M_b} \\ \dfrac{Q - 0,5R_{bt}bh_0 - 3q_1h_0}{1,5h_0} \end{cases}$$

Bài toán kiểm tra cường độ và bài toán tính cốt đai chịu cắt cho dầm được được tiến hành theo các trường hợp của c_2 và c_3 như trên, trong đó với bài toán thiết kế, sau khi tính được q_{sw}, so sánh với $q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b$, lấy giá trị lớn nhất để tính $s_{tt} = R_{sw}A_{sw}/q_{sw}$ sau đó chọn khoảng cách cốt đai s thoả mãn các yêu cầu cấu tạo khác.

3. PHƯƠNG PHÁP THỰC HÀNH ĐỀ XUẤT

3.1. Cơ sở lý thuyết

TCVN 5574:2018 [4] cho phép không cần xem xét điều kiện trên các tiết diện nghiêng dọc trục cấu kiện nếu lực cắt trong tiết diện thẳng góc Q_1 thỏa mãn điều kiện:

$$Q_1 \le Q_{b,1} + Q_{sw,1} \quad (14)$$

trong đó:

$$Q_{b,1} = 0,5R_{bt}bh_0 \quad (15)$$

$$Q_{sw,1} = q_{sw}h_0 \quad (16)$$

Khi kiểm tra điều kiện (14), nếu Q_1 nằm gần gối tựa một khoảng $a < 2,5h_0$ thì $Q_{b,1}$ cần nhân thêm hệ số $2,5/(a/h_o)$ và $Q_{b,1} \le 2,5R_{bt}bh_0$. Nếu Q_1 nằm gần gối tựa một khoảng $a < h_0$ thì $Q_{sw,1}$ cần nhân thêm hệ số (a/h_o).

Cốt thép đai được kể đến trong tính toán khi thỏa mãn điều kiện (7).

Trong biểu thức (16), góc nứt α của vết nứt nghiêng $\alpha = 45^0$. Trong thực tế và theo các nghiên cứu thực nghiệm, góc nứt α của vết nứt nghiêng thay đổi trong khoảng từ $\alpha = (22 \div 40)^0$. Một số tiêu chuẩn thực hành (Simplifications for design) của các nước tiên tiến sử dụng các góc nghiêng α như sau:

- Tiêu chuẩn Đức DIN [12] sử dụng góc nghiêng $\alpha \sim 38,7^0$, tương ứng với chiều dài hình chiếu của vết nứt nghiêng $C = 1,25h_0$;
- Tiêu chuẩn Đức DIN 1045-1 [13] áp dụng cho Tiêu chuẩn châu Âu EC2 [14] sử dụng góc nghiêng $\alpha \sim 39,8^0$, tương ứng với chiều dài hình chiếu của vết nứt nghiêng $C = 1,2h_0$;
- Tiêu chuẩn Canada [15] sử dụng góc nghiêng $\alpha \sim 37^0$, tương ứng với chiều dài hình chiếu của vết nứt nghiêng $C = 1,33h_0$;

Tham khảo từ các số liệu thực tế và các giá trị trên, đề xuất chọn góc nghiêng $\alpha = 37,5^0$, ta có:

$$Q_{sw,1} = 1.3q_{sw}h_0 \quad (17)$$

Trên cơ sở của điều kiện (14) và (17), đề xuất phương pháp thực hành tính toán cốt đai chịu cắt cho dầm chịu tải tập trung và tải trọng phân bố đều như dưới đây.

3.2. Phương pháp đề xuất và quy trình cho trường hợp dầm chịu tải tập trung

Điểm đặt lực tại tiết diện cách gối tựa một đoạn a nên tiết diện thẳng góc để xác định lực cắt Q_1 là tại a, khả năng chịu cắt $Q_{b,1}$ của bê tông như sau:

$$0,5R_{bt}bh_o \le Q_{b,1} = \frac{1,25R_{bt}bh_0^2}{a} \le 2,5R_{bt}bh_o \quad (18)$$

Từ đó điều kiện cường độ (14) được triển khai như sau:

$$Q \le 2,5R_{bt}bh_o \text{ với } a < 0,5h_o \quad (19a)$$

$$Q \le \frac{1,25R_{bt}bh_0^2}{a} + q_{sw}a \text{ với } 0,5h_o \le a < 1.3h_o \quad (19b)$$

$$Q \le \frac{1,25R_{bt}bh_0^2}{a} + 1.3q_{sw}h_o \text{ với } a \ge 1,3h_o \quad (19c)$$

Từ điều kiện cường độ (19a, b, c), quy trình tính toán cốt đai cho dầm chịu tải tập trung theo phương pháp thực hành đề xuất như sau:

- Kiểm tra khả năng chịu ứng suất nén chính của bụng dầm theo điều kiện (1).
- Kiểm tra điều kiện bê tông không đủ khả năng chịu cắt, cần bố trí cốt đai:

$$Q \ge Q_{b,\min} = 0,5R_{bt}bh_0$$

- Xác định khả năng chịu cắt của bê tông:

$$Q_{b,1} = \frac{1,25R_{bt}bh_0^2}{a}$$

- Chọn trước d_w và số nhánh n, tìm khoảng cách s của cốt đai thông qua q_{sw}.
- Tính q_{sw} với các trường hợp khác nhau của a:

Nếu $a < 0,5h_o \rightarrow$ kiểm tra điều kiện $Q \le 2,5R_{bt}bh_o$ và đặt đai theo cấu tạo.

Nếu $0,5h_o \le a < 1.3h_o \rightarrow q_{sw} = \dfrac{Q - Q_{b1}}{a}$

Nếu $a \ge 1,3h_o \rightarrow q_{sw} = \dfrac{Q - Q_{b1}}{1,3h_0}$

- Tính được q_{sw}, so sánh với $q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b$, lấy giá trị lớn nhất để tính s_{tt} (chọn trước đường kính d_{sw} và số nhánh n): $s_{tt} = \dfrac{R_{sw}A_{sw}}{q_{sw}}$
- Chọn khoảng cách cốt đai s thỏa mãn điều kiện cấu tạo khác.

3.3. Phương pháp đề xuất và quy trình cho trường hợp dầm chịu tải phân bố đều

Với dầm chịu tải phân bố đều, giá trị tại tiết diện c có khả năng chịu cắt của dầm là nhỏ nhất:

$$c = \sqrt{\frac{1,25R_{bt}bh_0^2}{q_1}} \le 2,5h_0$$

Vậy tiết diện thẳng góc để xét lực cắt Q_1 là: $a = \min(2,5h_o; c)$ với $Q_1 = Q_{\max} - aq_1 \le 2,5R_{bt}bh_o$, trong đó Q_{max} là lực cắt lớn nhất tại gối tựa.

Tại tiết diện a, khả năng chịu cắt của bê tông $Q_{b,1}$ như sau:

$$Q_{b,1} = \frac{1,25R_{bt}bh_o^2}{a} \quad (20)$$

Điều kiện cường độ (14) được viết thành:

$$Q_1 = Q_{\max} - aq_1 \le 2,5R_{bt}bh_o \text{ với } a < 0,5h_o \quad (21a)$$

$$Q_1 = Q_{\max} - aq_1 \le \frac{1,25R_{bt}bh_o^2}{a} + aq_{sw} \text{ với } 0,5h_o \le a < 1.3h_o \quad (21b)$$

$$Q_1 = Q_{max} - aq_1 \le \frac{1,25R_{bt}bh_o^2}{a} + 1,3q_{sw}h_o \text{ với } a \ge 1,3h_o \quad (21c)$$

Từ điều kiện cường độ (21a, b, c), quy trình tính toán cốt đai cho dầm có lực cắt lớn nhất tại gối tựa Q_{max}, chịu tải phân bố đều q_1 theo phương pháp thực hành đề xuất như sau:

- Kiểm tra khả năng chịu ứng suất nén chính của bụng dầm theo điều kiện (1) với Q_{max}.

- Kiểm tra điều kiện bê tông không đủ khả năng chịu cắt, cần bố trí cốt đai:

$$Q \ge Q_{b,\min} = 0,5R_{bt}bh_0$$

- Xác định tiết diện nguy hiểm a:

$$a = \min\left(2,5h_o; c\right) \text{ với } c = \sqrt{\frac{1,25R_{bt}bh_0^2}{q_1}}$$

- Xác định lực cắt tại vị trí cần xét Q_1: $Q_1 = Q_{\max} - aq_1$

- Xác định khả năng chịu cắt của bê tông:

$$Q_{b,1} = \frac{1,25R_{bt}bh_o^2}{a}$$

- Chọn trước d_w và số nhánh n, tìm khoảng cách s của cốt đai thông qua q_{sw}.

- Tính q_{sw} với các trường hợp khác nhau của a:

Nếu $a < 0,5h_o \rightarrow$ kiểm tra điều kiện $Q \le 2,5R_{bt}bh_o$ và đặt đai theo cấu tạo.

Nếu $0,5h_o \le a < 1.3h_o \rightarrow q_{sw} = \frac{Q_1 - Q_{b1}}{a}$

Nếu $a \ge 1,3h_o \rightarrow q_{sw} = \frac{Q_1 - Q_{b1}}{1,3h_0}$

- Tính được q_{sw}, so sánh với $q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b$, lấy giá trị lớn nhất để tính s_{tt} (chọn trước đường kính d_{sw} và số nhánh n): $s_{tt} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{q_{sw}}$

- Chọn khoảng cách cốt đai s thỏa mãn điều kiện cấu tạo khác.

4. THÍ DỤ TÍNH TOÁN

4.1. Dầm chịu tải tập trung

Xét dầm khung BTCT chịu lực tập (Hình 6) có tiết diện $b \times h$, chịu tải tập trung P đặt cách mép các gối tựa một đoạn a:

Để kiểm chứng phương pháp đề xuất, một số tiết diện dầm với cấp độ bên chịu nén của bê tông được tiến hành khảo sát như sau:

Ba loại tiết diện dầm phổ biến:

- Tiết diện dầm $b \times h = 220 \times 500$ mm với giả thiết $h_0 = 0,9h = 450$ mm;

- Tiết diện dầm $b \times h = 250 \times 600$ mm với giả thiết $h_0 = 0,9h = 540$ mm;

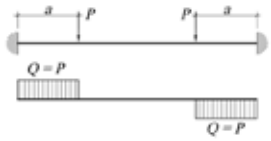
- Tiết diện dầm $b \times h = 300 \times 700$ mm với giả thiết $h_0 = 0,9h = 630$ mm.

Với mỗi tiết diện dầm, xét các trường hợp bê tông dầm có cấp độ bền chịu nén phổ biến cho cấu kiện chịu uốn khác nhau:

- B15 với $R_b = 8,5$ MPa và $R_{bt} = 0,75$ MPa;

- B20 với $R_b = 11,5$ MPa và $R_{bt} = 0,90$ MPa;

- B25 với $R_b = 14,5$ MPa và $R_{bt} = 1,05$ MPa.



Hình 6. Sơ đồ tính dầm chịu tải tập trung cho thí dụ

Với mỗi trường hợp tiết diện dầm và cấp độ bền bê tông, xét các trường hợp lực tập trung P đặt tại vị trí a khác nhau trong khoảng từ $0,5h_0$ đến $3h_0$, bao gồm cả các vị trí tại a bằng $1,0h_0$; $1,5h_0$; $2,0h_0$; $2,5h_0$;

Lực tập trung P được lựa chọn phù hợp với tình huống chịu lực của tiết diện dầm trong thực tế, đảm bảo các điều kiện (1) và (9) và thỏa mãn điều kiện cần phải tính toán cốt đai chịu cắt $Q \ge Q_{b,\min} = 0,5R_{bt}bh_0$, cụ thể như sau:

- Lực P = 150 kN = 150 000 N cho tiết diện dầm $b \times h = 220 \times 500$ mm;

- Lực P = 200 kN = 200 000 N cho tiết diện dầm $b \times h = 250 \times 600$ mm;

- Lực P = 250 kN = 250 000 N cho tiết diện dầm $b \times h = 300 \times 700$ mm.

Với các thông số trên, có tất cả 54 trường hợp được khảo sát. Kết quả tính toán khả năng chịu cắt yêu cầu của cốt đai q_{sw} cho 54 trường hợp khảo sát theo cả hai phương pháp gồm TCVN 5574:2018 và phương pháp đề xuất được thể hiện trong Bảng 1, trong đó giá trị q_{sw} được lấy là giá trị lớn nhất giữa kết quả tính toán được và $q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b$. Kết quả tính toán theo phương pháp đề xuất được đánh giá thông qua hệ số n là tỷ số giữa q_{sw} theo phương pháp đề xuất và tính theo TCVN 5574:2018

Bảng 1. Kết quả tính toán cốt đai trong trường hợp dầm chịu tải tập trung

b (mm)	h (mm)	h_o (mm)	Cấp độ bền BT	$q_{sw,\min}$ (N/mm)	Q (N)	$Q_{b,1}$ (N)	c_1 (mm)	a (mm)	q_{sw} (PP đề xuất) (N/mm)	q_{sw} (TCVN 5574:2018) (N/mm)	n^*
220	500	450	B15	41,3	150 000	185 625	668	225	41,3	41,3	**1,00**
				41,3	150 000	92 813	668	450	127,1	114,4	**1,11**
				41,3	150 000	61 875	668	675	150,6	149,6	**1,01**
				41,3	150 000	46 406	668	900	177,1	149,6	**1,18**
				41,3	150 000	37 125	668	1125	192,9	156,2	**1,24**
				41,3	150 000	30 938	668	1350	203,5	167,2	**1,22**
			B20	49,5	150 000	222 750	802	225	49,5	49,5	**1,00**
				49,5	150 000	111 375	802	450	85,8	49,5	**1,73**
				49,5	150 000	74 250	802	675	129,5	120,3	**1,08**
				49,5	150 000	55 688	802	900	161,2	124,7	**1,29**

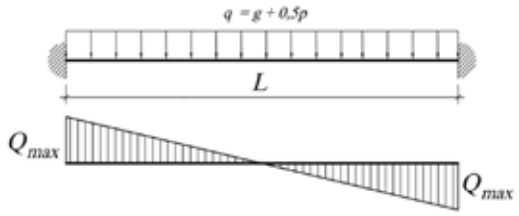
				49,5	150 000	44 550	802	1125	180,3	143,0	**1,26**
				49,5	150 000	37 125	802	1350	192,9	156,2	**1,24**
			B25	57,8	150 000	259 875	936	225	57,8	57,8	**1,00**
				57,8	150 000	129 938	936	450	57,8	57,8	**1,00**
				57,8	150 000	86 625	936	675	108,3	91,0	**1,19**
				57,8	150 000	64 969	936	900	145,4	106,7	**1,36**
				57,8	150 000	51 975	936	1125	167,6	129,8	**1,29**
				57,8	150 000	43 313	936	1350	182,4	145,2	**1,26**
			B15	46,9	200 000	253 125	820	270	46,9	46,9	**1,00**
				46,9	200 000	126 563	820	540	136,0	118,8	**1,14**
				46,9	200 000	84 375	820	810	164,7	162,6	**1,01**
				46,9	200 000	63 281	820	1080	194,8	162,6	**1,20**
				46,9	200 000	50 625	820	1350	212,8	171,9	**1,24**
				46,9	200 000	42 188	820	1620	224,8	184,4	**1,22**
			B20	56,3	200 000	303 750	984	270	56,3	56,3	**1,00**
				56,3	200 000	151 875	984	540	89,1	56,3	**1,58**
250	600	540		56,3	200 000	101 250	984	810	140,7	129,2	**1,09**
				56,3	200 000	75 938	984	1080	176,7	135,5	**1,30**
				56,3	200 000	60 750	984	1350	198,4	156,9	**1,26**
				56,3	200 000	50 625	984	1620	212,8	171,9	**1,24**
			B25	65,6	200 000	354 375	1148	270	65,6	65,6	**1,00**
				65,6	200 000	177 188	1148	540	65,6	65,6	**1,00**
				65,6	200 000	118 125	1148	810	116,6	95,9	**1,22**
				65,6	200 000	88 594	1148	1080	158,7	115,7	**1,37**
				65,6	200 000	70 875	1148	1350	183,9	141,9	**1,30**
				65,6	200 000	59 063	1148	1620	200,8	159,4	**1,26**
			B15	56,3	250 000	354 375	1072	315	56,3	56,3	**1,00**
				56,3	250 000	177 188	1072	630	115,6	79,1	**1,46**
				56,3	250 000	118 125	1072	945	161,0	152,7	**1,05**
				56,3	250 000	88 594	1072	1260	197,1	155,5	**1,27**
				56,3	250 000	70 875	1072	1575	218,7	174,6	**1,25**
				56,3	250 000	59 063	1072	1890	233,1	189,6	**1,23**
			B20	67,5	250 000	425 250	1286	315	67,5	67,5	**1,00**
				67,5	250 000	212 625	1286	630	67,5	67,5	**1,00**
				67,5	250 000	141 750	1286	945	132,2	112,7	**1,17**
300	700	630		67,5	250 000	106 313	1286	1260	175,4	129,6	**1,35**
				67,5	250 000	85 050	1286	1575	201,4	156,6	**1,29**
				67,5	250 000	70 875	1286	1890	218,7	174,6	**1,25**
			B25	78,8	250 000	496 125	1500	315	78,8	78,8	**1,00**
				78,8	250 000	248 063	1500	630	78,8	78,8	**1,00**
				78,8	250 000	165 375	1500	945	103,3	78,8	**1,31**
				78,8	250 000	124 031	1500	1260	153,8	107,1	**1,44**
				78,8	250 000	99 225	1500	1575	184,1	138,6	**1,33**
				78,8	250 000	82 688	1500	1890	204,3	159,6	**1,28**

$^{*}n = q_{sw}$ (PP đề xuất)/q_{sw} (TCVN 5574:2018)

Kết quả Bảng 1 cho thấy hệ số n lớn hơn 1 trong mọi trường hợp khảo sát, có nghĩa là phương pháp đề xuất luôn cho kết quả an toàn. Hầu hết các trường hợp khảo sát (48 trên tổng số 54) cho kết quả n dao động từ 1 đến dưới 1,35, có 2 trường hợp cho kết quả n >1,5, cụ n = 1,73 với tiết diện dầm $b \times h = 220 \times 500$ mm, bê tông B20, $a = h_0$ và n = 1,58 với tiết diện dầm $b \times h = 250 \times 600$ mm, bê tông B20, $a = h_0$. Trong các trường hợp có n >1,35 lượng cốt đai yêu cầu nhỏ (đặt theo cấu tạo) dẫn đến hệ số n lớn, thực chất mức độ chênh lệch lượng cốt đai yêu cầu theo hai phương pháp không quá lớn. Như vậy phương pháp đề xuất được tiến hành đơn giản hơn rất nhiều, cho kết quả tính toán cốt đai trong trường hợp dầm chịu tải tập trung thiên về an toàn với độ chênh lệch chấp nhận được, phù hợp sử dụng trong thực hành thiết kế.

4.1. Dầm chịu tải phân bố đều

Xét dầm khung bê tông cốt thép (Hình 7) có tiết diện $b \times h$, chịu tải chịu tải trọng phân bố đều gồm hai thành phần tĩnh tải g và hoạt tải p.



Hình 7. Sơ đồ tính dầm chịu tải phân bố đều cho thí dụ

Các tiết diện dầm và cấp độ bên chịu nén phổ biến của bê tông đã tiến hành khảo sát như với trường hợp dầm chịu tải tập trung ở trên cũng được sử dụng cho trường hợp dầm chịu tải phân bố đều. Để phù hợp với thực tế đồng thời có nhiều dữ liệu khảo sát, nhịp của dầm với từng tiết diện dầm được cố định, tĩnh tải phân bố đều cho mọi trường hợp không đổi, g = 20 kN/m, trong khi đó hoạt tải p được thay đổi để lực cắt lớn nhất tại gối tựa Q_{max} và tải trọng phân bố đều q_1 (xác định theo biểu thức (11)) thay đổi theo. Hoạt tải p được cho thay đổi từ 10 kN/m với bước tăng 10 kN/m cho đến khi điều kiện (1) hoặc (9) không còn được đảm bảo với lực cắt Q_{max}. Ngoài ra, tất cả các trường hợp khảo sát đều có lực cắt thỏa mãn điều kiện cần phải tính toán cốt đai chịu cắt $Q \geq Q_{b,\min} = 0,5R_{bt}bh_0$. Nhịp lựa chọn cho các tiết diện dầm như sau:

- Nhịp dầm L = 6,0 m với tiết diện dầm $b \times h = 220 \times 500$ mm;
- Nhịp dầm L = 7,2 m với tiết diện dầm $b \times h = 250 \times 600$ mm;
- Nhịp dầm L = 8,4 m với tiết diện dầm $b \times h = 300 \times 700$ mm.

Với các thông số trên, có tất cả 55 trường hợp được khảo sát. Kết quả tính toán khả năng chịu cắt yêu cầu của cốt đai q_{sw} với 55 trường hợp khảo sát trên theo cả hai phương pháp gồm TCVN 5574:2018 và phương pháp đề xuất được thể hiện trong Bảng 2, trong đó giá trị q_{sw} được lấy là giá trị lớn nhất giữa kết quả tính toán được và $q_{sw,\min} = 0,25R_{bt}b$. Kết quả tính toán được theo phương pháp đề xuất được đánh giá thông qua hệ số n là tỷ số giữa q_{sw} theo phương pháp đề xuất và tính theo TCVN 5574:2018.

Bảng 2. Kết quả tính toán cốt đai trong trường hợp dầm chịu tải phân bố đều

b (mm)	h	h_o	Cấp độ bền BT	$q_{sw,\min}$ (N/mm)	L (m)	g (kN/m)	p	q_1	Q_{max} (N)	c_3 (mm)	c	a	Q_1 (N)	$Q_{b,1}$ (N)	q_{sw} (PP đề xuất) (N/mm)	q_{sw} (TCVN 5574:2018)	n^{*}
220	500	450	B15	41,3	6,0	20	10	25	90 000	1416	1293	1125	61 875	37 125	42,3	41,3	**1,03**
				41,3	6,0	20	20	30	120 000	1293	1180	1125	86 250	37 125	84,0	62,9	**1,34**
				41,3	6,0	20	30	35	150 000	1197	1092	1092	111 767	38 233	125,7	103,0	**1,22**
				41,3	6,0	20	40	40	180 000	1119	1022	1022	139 127	40 873	168,0	162,2	**1,04**
			B20	49,5	6,0	20	10	25	90 000	1551	1416	1125	61 875	44 550	49,5	49,5	**1,00**
				49,5	6,0	20	20	30	120 000	1416	1293	1125	86 250	44 550	71,3	51,8	**1,38**
				49,5	6,0	20	30	35	150 000	1311	1197	1125	110 625	44 550	112,9	86,3	**1,31**
				49,5	6,0	20	40	40	180 000	1226	1119	1119	135 226	44 774	154,6	126,2	**1,22**
				49,5	6,0	20	50	45	210 000	1156	1055	1055	162 510	47 490	196,6	184,4	**1,07**
			B25	57,8	6,0	20	10	25	90 000	1675	1529	1125	61 875	51 975	57,8	57,8	**1,00**
				57,8	6,0	20	20	30	120 000	1529	1396	1125	86 250	51 975	58,6	57,8	**1,01**
				57,8	6,0	20	30	35	150 000	1416	1293	1125	110 625	51 975	100,3	75,2	**1,33**
				57,8	6,0	20	40	40	180 000	1324	1209	1125	135 000	51 975	141,9	109,7	**1,29**

				57,8	6,0	20	50	45	210 000	1249	1140	1125	159 375	51 975	183,6	149,5	**1,23**
				57,8	6,0	20	60	50	240 000	1185	1081	1081	185 930	54 070	225,4	207,0	**1,09**
				46,9	7,2	20	10	25	108 000	1811	1653	1350	74 250	50 625	46,9	46,9	**1,00**
				46,9	7,2	20	20	30	144 000	1653	1509	1350	103 500	50 625	75,3	55,3	**1,36**
			B15	46,9	7,2	20	30	35	180 000	1531	1397	1350	132 750	50 625	117,0	89,9	**1,30**
				46,9	7,2	20	40	40	216 000	1432	1307	1307	163 715	52 285	158,7	136,3	**1,16**
				46,9	7,2	20	50	45	252 000	1350	1232	1232	196 543	55 457	201,0	198,1	**1,01**
				56,3	7,2	20	10	25	108 000	1984	1811	1350	74 250	60 750	56,3	56,3	**1,00**
				56,3	7,2	20	20	30	144 000	1811	1653	1350	103 500	60 750	60,9	56,3	**1,08**
				56,3	7,2	20	30	35	180 000	1677	1531	1350	132 750	60 750	102,6	77,2	**1,33**
			B20	56,3	7,2	20	40	40	216 000	1569	1432	1350	162 000	60 750	144,2	111,7	**1,29**
250	600	540		56,3	7,2	20	50	45	252 000	1479	1350	1350	191 250	60 750	185,9	155,1	**1,20**
				56,3	7,2	20	60	50	288 000	1403	1281	1281	223 964	64 036	227,8	214,3	**1,06**
				65,6	7,2	20	10	25	108 000	2143	1956	1350	74 250	70 875	65,6	65,6	**1,00**
				65,6	7,2	20	20	30	144 000	1956	1786	1350	103 500	70 875	65,6	65,6	**1,00**
				65,6	7,2	20	30	35	180 000	1811	1653	1350	132 750	70 875	88,1	65,6	**1,34**
			B25	65,6	7,2	20	40	40	216 000	1694	1547	1350	162 000	70 875	129,8	99,2	**1,31**
				65,6	7,2	20	50	45	252 000	1597	1458	1350	191 250	70 875	171,5	133,6	**1,28**
				65,6	7,2	20	60	50	288 000	1515	1383	1350	220 500	70 875	213,1	174,1	**1,22**
				65,6	7,2	20	70	55	324 000	1445	1319	1319	251 457	72 543	254,9	231,4	**1,10**
				56,3	8,4	20	10	25	126 000	2315	2113	1575	86 625	70 875	56,3	56,3	**1,00**
				56,3	8,4	20	20	30	168 000	2113	1929	1575	120 750	70 875	60,9	56,3	**1,08**
				56,3	8,4	20	30	35	210 000	1956	1786	1575	154 875	70 875	102,6	77,2	**1,33**
			B15	56,3	8,4	20	40	40	252 000	1830	1671	1575	189 000	70 875	144,2	111,7	**1,29**
				56,3	8,4	20	50	45	294 000	1725	1575	1575	223 125	70 875	185,9	155,1	**1,20**
				56,3	8,4	20	60	50	336 000	1637	1494	1494	261 291	74 709	227,8	214,3	**1,06**
300	700	630		67,5	8,4	20	10	25	126 000	2536	2315	1575	86 625	85 050	67,5	67,5	**1,00**
				67,5	8,4	20	20	30	168 000	2315	2113	1575	120 750	85 050	67,5	67,5	**1,00**
				67,5	8,4	20	30	35	210 000	2143	1956	1575	154 875	85 050	85,3	67,5	**1,26**
			B20	67,5	8,4	20	40	40	252 000	2005	1830	1575	189 000	85 050	126,9	96,7	**1,31**
				67,5	8,4	20	50	45	294 000	1890	1725	1575	223 125	85 050	168,6	131,1	**1,29**
				67,5	8,4	20	60	50	336 000	1793	1637	1575	257 250	85 050	210,3	167,4	**1,26**

	67,5	8,4	20	70	55	378 000	1710	1561	1561	292 166	85 834	251,9	223,0	**1,13**
	67,5	8,4	20	80	60	420 000	1637	1494	1494	330 349	89 651	293,9	285,8	**1,03**
	78,8	8,4	20	10	25	126 000	2739	2500	1575	86 625	99 225	78,8	78,8	**1,00**
	78,8	8,4	20	20	30	168 000	2500	2282	1575	120 750	99 225	78,8	78,8	**1,00**
	78,8	8,4	20	30	35	210 000	2315	2113	1575	154 875	99 225	78,8	78,8	**1,00**
	78,8	8,4	20	40	40	252 000	2165	1977	1575	189 000	99 225	109,6	81,7	**1,34**
B25	78,8	8,4	20	50	45	294 000	2041	1864	1575	223 125	99 225	151,3	116,1	**1,30**
	78,8	8,4	20	60	50	336 000	1937	1768	1575	257 250	99 225	192,9	150,6	**1,28**
	78,8	8,4	20	70	55	378 000	1847	1686	1575	291 375	99 225	234,6	185,1	**1,27**
	78,8	8,4	20	80	60	420 000	1768	1614	1575	325 500	99 225	276,3	233,5	**1,18**
	78,8	8,4	20	90	65	462 000	1699	1551	1551	361 212	100 788	318,0	292,7	**1,09**

* $n = q_{sw}$ (PP đề xuất)/q_{sw} (TCVN 5574:2018).

Kết quả Bảng 2 cho thấy hệ số *n* lớn hơn 1 mọi trường hợp khảo sát, có nghĩa là phương pháp đề xuất luôn cho kết quả an toàn. Tất cả các trường hợp khảo sát cho kết quả *n* dao động từ 1 đến dưới 1,38, trong đó 10 trường hợp $n > 1,3$ có lượng cốt đai yêu cầu nhỏ (đặt theo cấu tạo) dẫn đến hệ số *n* lớn, thực chất mức độ chênh lệch lượng cốt đai yêu cầu theo hai phương pháp không đáng kể. Như vậy có thể thấy phương pháp đề xuất được tiến hành đơn giản hơn rất nhiều, cho kết quả tính toán cốt đai trong trường hợp dầm chịu tải tập trung thiên về an toàn với độ chênh lệch chấp nhận được, phù hợp sử dụng trong thực hành thiết kế.

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp thực hành tính toán cốt đai chịu lực cắt của dầm BTCT tiết diện chữ nhật dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều và tải trọng tập trung đã được đề xuất. Trên cơ sở tiêu chuẩn Thiết kế bê tông và BTCT - Tiêu chuẩn thiết kế TCVN 5574:2018, kết hợp tham khảo điều kiện tính toán của một số tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép tiên tiến trên thế giới như tiêu chuẩn Đức, châu Âu và Canada, phương pháp đề xuất cho phép tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng mà không cần xem xét các tiết diện nghiêng khi xác định lực cắt do ngoại lực tác dụng. Phương pháp đề xuất được kiểm chứng thông qua 54 trường hợp khảo sát với dầm chịu tải tập trung và 55 trường hợp khảo sát với dầm chịu tải phân bố đều. Kết quả khảo sát cho thấy phương pháp đề xuất cho phép thực hành tính toán cốt đai chịu lực cắt của dầm BTCT tiết diện chữ nhật dưới tác dụng của tải trọng phân bố đều và tải tập trung một cách thuận tiện và dễ dàng với sai số so với tính toán chính xác của tiêu chuẩn trong hầu hết các trường hợp dưới 35% khi dầm chịu tải tập trung và dưới 30% với dầm chịu tải phân bố đều. Một số trường hợp sai số lớn hơn khi lượng cốt đai yêu cầu nhỏ, cốt đai đặt theo cấu tạo nên thực chất sự chênh lệch không quá lớn. Sự đơn giản và thuận tiện cùng với sai số chấp nhận được của phương pháp phù hợp cho các kỹ sư trong thực hành tính toán kết cấu bê tông cốt thép.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Huế, L., & Tuấn P. M. (2022). Kiến nghị tính bài toán cốt đai chịu cắt của dầm chịu tải trọng tập trung theo TCVN 5574:2018. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN*, *16*(3V), 60-73.

[2] SP 63.13330.2012 (2012). *Concrete and reinforced concrete structures*. Principal rules. Ministry of regional development of the Russian federation.

[3] Manual for SP 63.1330 (2015). *Calculation of reinforced concrete structures without prestressed reinforcements*. Ministry of construction and housing and utilities of the Russian federation.

[4] TCVN 5574:2018. *Thiết kế bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[5] Kodysh, E. N., Trekin, N. N., Nikitin, I. K., Sosedov, K. E. (2017). *Practical methods and examples of calculation of reinforced concrete structures made of heavy concrete according to SP 63.13330*. Moscow.

[6] Minh, P. Q., Phong, N. T., Thắng, N. T., Tùng, V. M. (2021). *Kết cấu bê tông cốt thép (phần cấu kiện cơ bản) TCVN 5574:2018*. Nhà Xuất bản Khoa học và kỹ thuật.

[7] Bộ môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng (2021). *Hướng dẫn tính toán cấu kiện bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018*. Nhà Xuất bản Khoa học và kỹ thuật.

[8] Bảo, B. Q. (2020). *Thiết kế kết cấu bê tông cốt thép theo TCVN 5574:2018*. Nhà Xuất bản Xây dựng.

[9] Huế, L. B. (2018). Kiến nghị về tính toán cốt đai chịu cắt của dầm bê tông cốt thép chịu lực tập trung theo SP 63.13330.2012. *Tạp chí khoa học công nghệ Xây dựng IBST*.

[10] Hue, L. B., Phuong, P. M., Tuan, P. M. *Tìm hiểu bài toán cường độ chịu cắt của dầm bê tông cốt thép theo các tiêu chuẩn của Nga*. Đại học Xây dựng Hà Nội, mã số 56-2021/KHXD.

[11] Thắng, N. T. (2019). Tính toán cốt đai cho dầm bê tông cốt thép chịu đồng thời lực phân bố đều và lực tập trung. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) – Đại học Xây dựng Hà Nội*, 13(1V):25–34.

[12] Litzner, H. U. (1995). *Design of Concrete Structures to ENV 1992-Eurocode 2. // Concrete Structures: Euro-Design Handbook 1994/96/* Weiheim: Vch Verlagsgesellschaft Mbh, Pp. 137-308.

[13] DIN 1045-1: 2008. *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 2: Bemessung und Konstruktion*, Betongkalender 2009. Ernst & Sohn, Berlin, 2009. Pp. 478-584.

[14] EN 1992-1-1:2004 (2004). Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: Genral rules and rules for buildings.

[15] Bentz, E. C. (2006). Development of the 2004 Canadian Standard Association (CSA), *A23.3 shear provisions for reinforced concrete*. // Canadian Journal of Civil Engineering. 33 (5), pp. 521-534. Doi:10.1139/l06-005.