

TÍNH TOÁN GIỚI HẠN CHỊU LỬA CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT THEO TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ SP 468.1325800.2019

Đặng Việt Hưng^a, Bùi Lê Quân^b, Bùi Thanh Tùng^c, Nguyễn Trường Thăng^{a,*}

^aKhoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bCông ty CP Tư vấn Kiến trúc, Kỹ thuật và Môi trường NDC, 4F Mỹ Đình Plaza 2, 2 đường Nguyễn Hoàng, Hà Nội, Việt Nam

^cTổng Công ty Tư vấn Xây dựng Việt Nam - CTCP, 243 đường Đê La Thành, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 10/8/2022, Sửa xong 22/9/2022, Chấp nhận đăng 05/10/2022

Tóm tắt

Bài báo này giới thiệu các chỉ dẫn kỹ thuật và hướng dẫn tính toán xác định giới hạn chịu lửa về mất khả năng chịu lực của dầm bê tông cốt thép (BTCT) tiết diện chữ nhật làm việc chịu uốn theo tiêu chuẩn thiết kế SP 468.1325800.2019 của Liên Bang Nga theo phương pháp tra bảng và phương pháp tính đơn giản hóa. Với phương pháp thứ hai, các điều kiện độ bền trên tiết diện thẳng góc và trên tiết nghiêng (bao gồm cả điều kiện theo lực cắt và theo mô men) đều được giới thiệu chi tiết. Hai thí dụ tính toán thực tế được tiến hành trên dầm BTCT làm việc trên các sơ đồ gối đơn giản và công xôn. Kết quả cho thấy giới hạn chịu lửa của dầm BTCT theo các điều kiện độ bền có thể được xác định một cách tường minh với độ an toàn lớn hơn đơn vị. Từ đó một số nhận xét về thực hành được thảo luận trong phần cuối của bài báo.

Từ khóa: giới hạn; khả năng chịu lửa; dầm; chịu uốn; bê tông cốt thép.

CALCULATION OF FIRE-RESISTANT LIMIT OF RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE BEAMS ACCORDING TO DESIGN STANDARD SP 468.1325800.2019

Abstract

This article introduces the technical specifications and calculation instruction for fire-resistant limit based on load resistance criterion of rectangular reinforced concrete (RC) beams in flexure according to Russian design standard SP 468.1325800.2019 following tabulated data and simplified calculation methods. In the latter approach, the strength conditions on normal sections and inclined sections (including both criterion on shear and moment) are all introduced in detail. Two practical case studies are performed on singly-supported and cantilever RC beams for illustration. The calculation results obtained show that the RC beams' fire-resistant limit can be explicitly determined with particular utilized factors greater than unit, based on which a number of practical observations are discussed in the latter part of the article.

Keywords: limit; fire resistance; beam; flexural; reinforced concrete.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(5V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-06) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Tại Việt Nam trong thời gian qua đã xảy ra nhiều vụ hỏa hoạn nghiêm trọng trong các công trình xây dựng, gây thiệt hại lớn về người, tài sản và môi trường. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia của Việt

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: thangnt2@huce.edu.vn (Thắng, N. T.)

Nam về an toàn cháy cho nhà và công trình quy định an toàn kết cấu là một tiêu chí quan trọng trong việc đảm bảo an toàn cháy của công trình [1]. Giới hạn chịu lửa của cấu kiện xây dựng nói chung và cấu kiện kết cấu nói riêng được quy định dựa trên khoảng thời gian (tính bằng phút) tính từ khi bắt đầu thử chịu lửa theo chế độ nhiệt tiêu chuẩn cho đến khi xuất hiện một hoặc một số dấu hiệu nối tiếp nhau của các trạng thái giới hạn được quy định với cấu kiện theo các tiêu chí: (i) Mất khả năng chịu lực (ký hiệu bằng chữ R); (ii) Mất khả năng cách nhiệt (ký hiệu bằng chữ I); và (iii) Mất tính toàn vẹn (ký hiệu bằng chữ E) [1]. Đối với cấu kiện dầm, chỉ cần xác định giới hạn chịu lửa theo tiêu chí R [1]. An toàn cháy đối với một số nhóm nhà cụ thể với các khoảng thời gian từ 60, 90, 120, 150, 180 phút được quy định trong Phụ lục A của quy chuẩn kỹ thuật quốc gia này, trong đó giới hạn chịu lửa tối thiểu của cấu kiện chịu lực trong công trình chung cư (từ 75 đến 150 m) và nhà hỗn hợp (từ 50 đến 150 m) được quy định trong Bảng A.1 [1]. Phụ lục F quy định giới hạn chịu lửa danh định của một số cấu kiện kết cấu tĩnh định chịu lực và không chịu lực (gồm tường, vách, dầm, cột BTCT, dầm ứng suất trước và kết cấu thép, sàn BTCT, gỗ) phụ thuộc vào kích thước nhỏ nhất của tiết diện cấu kiện cũng như vào chiều dày của lớp vật liệu bảo vệ. Mục 1.1.11 của Quy chuẩn cho phép sử dụng các phương pháp tính toán có cơ sở để xác định khả năng chịu lửa của cấu kiện [1].

Trên thế giới, một số nước và vùng lãnh thổ đã sớm thực hiện nhiều nghiên cứu về giới hạn chịu lửa của cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) với các thông số được khảo sát bao gồm đường gia nhiệt, loại cốt liệu, sự phân phối lại nội lực v.v... [2–5]. Các nhà khoa học đã sử dụng quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông và cốt thép ở nhiệt độ cao bằng thực nghiệm, mô phỏng số và tính toán lý thuyết để nghiên cứu sự làm việc ở nhiệt độ cao và khả năng chịu lửa của các cấu kiện BTCT [6–11]. Các kết quả nghiên cứu đã được cập nhật vào tiêu chuẩn thiết kế, trong đó tiêu chuẩn Nga [12] và tiêu chuẩn châu Âu [13] có tương đối đầy đủ thông tin và được áp dụng khá rộng rãi trong thiết kế kết cấu BTCT chịu chế độ nhiệt tiêu chuẩn [14]. Trong khi đó, tiêu chuẩn thiết kế kết cấu hiện hành của Việt Nam [15] không có thông tin về tính chất cơ lý ở nhiệt độ cao của bê tông và cốt thép và cũng như các hướng dẫn tính toán khả năng chịu lửa của cấu kiện BTCT trong điều kiện cháy. Gần đây, một số công trình nghiên cứu đã được áp dụng tiêu chuẩn thiết kế hiện hành của [12, 13] vào điều kiện Việt Nam, chủ yếu được thực hiện trên cấu kiện BTCT cơ bản gồm cột, dầm và sàn [16–28]. Một số nghiên cứu mới đây ở trong nước đã đề cập tới tính toán khả năng chịu lửa cho cấu kiện BTCT theo tiêu chuẩn của Liên bang Nga [27, 28], nhưng việc kiểm tra khả năng chịu lửa của dầm BTCT một cách tổng thể theo điều kiện độ bền trên tiết diện thẳng góc và trên tiết nghiêng, trong đó bao gồm cả điều kiện độ bền theo lực cắt và theo mô men còn chưa được giải quyết.

Trong bài báo này, các chỉ dẫn kỹ thuật và các phương pháp tính toán xác định giới hạn chịu lửa về mất khả năng chịu lực của dầm BTCT tiết diện chữ nhật theo tiêu chuẩn thiết kế SP 468.1325800.2019 (viết tắt là SP 468) của Liên bang Nga [12] được hệ thống hóa nhằm giải quyết bài toán tổng thể cho cấu kiện dầm BTCT chịu uốn. Tiếp theo, hai thí dụ tính toán được tiến hành trên dầm đơn giản và dầm công xôn BTCT, từ đó một số kết luận và kiến nghị về việc áp dụng vào thực tế thiết kế công trình BTCT chịu lửa ở Việt Nam được đưa ra trong phần cuối của bài báo.

2. Hướng dẫn tính toán giới hạn chịu lửa về mất khả năng chịu lực cho cấu kiện chịu uốn theo của tiêu chuẩn SP 468

2.1. Tác động của chế độ nhiệt tiêu chuẩn

Để xác định giới hạn chịu lửa của kết cấu BTCT, cần biết được sự phân bố nhiệt độ trên tiết diện của cấu kiện bê tông do tác động của chế độ nhiệt tiêu chuẩn. Tiêu chuẩn SP 468 quy định nhiệt độ

của một chế độ nhiệt tiêu chuẩn thay đổi tùy thuộc vào thời gian theo biểu thức:

$$T = 345 \lg(0,133t + 1) + T_e \quad (1)$$

trong đó t là thời gian đốt nóng, tính bằng giây (s) và T_e là nhiệt độ ban đầu, °C.

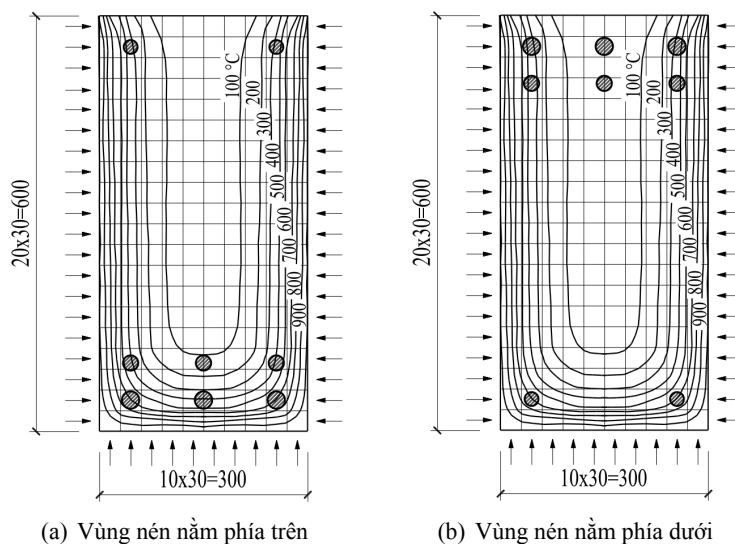
Từ nhiệt độ ban đầu $T_e = 20^\circ\text{C}$, nhiệt độ của môi trường tăng lên theo biểu thức (1) tùy thuộc vào thời gian tiếp xúc với lửa như trong Bảng 1. Chú ý rằng đường gia nhiệt này hoàn toàn trùng khớp với chế độ nhiệt ISO 834 [14] của tiêu chuẩn châu Âu.

Bảng 1. Nhiệt độ của chế độ nhiệt tiêu chuẩn

t , min	T , °C	t , min	T , °C	t , min	T , °C
5	576	50	915	120	1049
10	679	60	945	150	1082
15	738	70	970	180	1110
20	781	80	990	210	1133
25	810	90	1000	240	1153
30	841	100	1025	270	1170
40	885	110	1035	300	1186

2.2. Phân tích nhiệt kỹ thuật

Khi các mặt của tiết diện ngang cấu kiện BTCT chịu tác động nhiệt tiêu chuẩn, có thể áp dụng bài toán truyền nhiệt để xác định nhiệt độ tại bất kỳ điểm nào trên tiết diện tại một thời điểm nhất định. Sự phụ thuộc của nhiệt độ vào thời gian được mô tả bằng phương trình vi phân của độ dẫn nhiệt Fourier trong điều kiện biên phi tuyến với một quá trình phức tạp về trao đổi nhiệt giữa các khối lượng vật chất. Đối với các loại cấu kiện BTCT được sử dụng phổ biến nhất trong xây dựng như bản, tường,



Hình 1. Phân bố nhiệt độ cho bởi tiêu chuẩn SP 468 tại R 90 [12]

dầm, cột, tính toán phân bố nhiệt độ trên tiết diện ngang của cấu kiện với tác động nhiệt trên một, hai, ba và bốn mặt có thể được thực hiện tùy thuộc vào thời gian tiếp xúc với đám cháy tiêu chuẩn. Tiêu chuẩn SP 468 cung cấp thông tin về sự phân bố nhiệt độ trên một số tiết diện điển hình của cấu kiện làm bằng bê tông nặng có khối lượng riêng là 2350 kg/m³ và độ ẩm trong khoảng 2,5-3%, sử dụng cốt liệu gốc silicat (đá granit, syenites, diorites) và gốc cacbonat (đá vôi). Hình 1(a) và 1(b) là các thí dụ về sự phân bố nhiệt độ sau 90 phút (R 90) sau khi bị đốt nóng từ mặt dưới và hai mặt bên - tương ứng với hai trường hợp vùng bê tông chịu nén nằm ở phía trên và phía dưới - của dầm chữ nhật có tiết diện $b \times h = 300 \times 600$ (mm) và được chia theo ô lưới có kích thước 30×30 (mm).

$$R_{b,T} = R_b \gamma_{b,T}; R_{bn,T} = R_{bn} \gamma_{b,T}; R_{bt,T} = R_{bt} \gamma_{t,T}; R_{btm,T} = R_{btm} \gamma_{t,T} \quad (2)$$

trong đó R_b (R_{bt}) và R_{bn} (R_{btm}) tương ứng là các giá trị tính toán và giá trị tiêu chuẩn của cường độ chịu nén (chịu kéo) của bê tông đối với nhóm trạng thái giới hạn thứ nhất ở nhiệt độ thường; $R_{b,T}$ ($R_{bt,T}$) và $R_{bn,T}$ ($R_{btm,T}$) tương ứng là các cường độ nêu trên của bê tông ở nhiệt độ T ; $\gamma_{b,T}$ và $\gamma_{t,T}$ tương ứng là các hệ số điều kiện làm việc khi chịu nén và chịu kéo được xác định theo Bảng 2 và phụ thuộc vào nhiệt độ trung bình của bê tông. Khi tính toán với vùng bê tông chịu nén, bản cánh chịu nén và sườn chịu nén tiết diện ngang được tính theo biểu thức trong mục 3.2, giá trị của hệ số điều kiện làm việc khi chịu nén của bê tông được phép lấy $\gamma_{b,T} = 1$ khi bê tông bị đốt nóng dưới nhiệt độ tới hạn và lấy $\gamma_{b,T} = 0$ khi bê tông bị đốt nóng quá nhiệt độ tới hạn. Đối với dầm BTCT, nhiệt độ trung bình được lấy là nhiệt độ bê tông tại khoảng cách bằng 20% chiều cao làm việc của tiết diện, tính từ bề mặt bị đốt nóng của vùng nén của tiết diện.

Bảng 2. Các hệ số điều kiện làm việc của bê tông nặng ở nhiệt độ cao

Loại bê tông nặng	Hệ số	Giá trị của các hệ số $\gamma_{b,T}, \gamma_{t,T}$ cho bê tông ở nhiệt độ, °C							
		20	200	300	400	500	600	700	800-900
Cốt liệu gốc silicat	$\gamma_{b,T}$	1,0	0,98	0,95	0,85	0,80	0,60	0,20	0,10
	$\gamma_{t,T}$	1,0	0,65	0,50	0,35	0,20	0,05	-	-
Cốt liệu gốc cacbonat	$\gamma_{b,T}$	1,0	1,00	0,95	0,90	0,85	0,65	0,30	0,15
	$\gamma_{t,T}$	1,0	0,70	0,55	0,40	0,25	0,10	-	-

Ảnh hưởng của nhiệt độ tới sự suy giảm của cường độ tiêu chuẩn và cường độ tính toán của cốt thép được xác định như sau:

$$R_{s,T} = R_s \gamma_{s,T}; R_{sc,T} = R_{sc} \gamma_{s,T}; R_{sn,T} = R_{sn} \gamma_{s,T}; R_{scn,T} = R_{scn} \gamma_{s,T}; R_{sw,T} = R_{sw} \gamma_{s,T} \quad (3)$$

trong đó $R_s, R_{sc}, R_{sn}, R_{scn}, R_{sw}$ tương ứng là cường độ chịu kéo, cường độ chịu nén tính toán, cường độ tiêu chuẩn đối với nhóm trạng thái giới hạn thứ nhất của cốt thép dọc và cường độ tính toán của cốt thép đai ở nhiệt độ thường; $R_{s,T}, R_{sc,T}, R_{sn,T}, R_{scn,T}, R_{sw,T}$ tương ứng là các cường độ nêu trên của cốt thép dọc và cốt thép đai ở nhiệt độ T ; và $\gamma_{s,T}$ là hệ số điều kiện làm việc của cốt thép được xác định theo Bảng 3, với nhiệt độ tham chiếu lấy tại trọng tâm hay còn gọi là trục của cốt thép chịu kéo, cốt thép chịu nén; và lấy theo nhiệt độ lớn nhất cốt thép đai.

Bảng 3. Hệ số điều kiện làm việc của cốt thép ở nhiệt độ cao

Loại cốt thép	Giá trị của các hệ số $\gamma_{s,T}$ ứng với nhiệt độ cốt thép, °C							
	20	200	300	400	500	600	700	800
CB240, CB300, CB400	1,0	1,0	1,00	0,85	0,60	0,37	0,22	0,10
CB500	1,0	1,0	0,90	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10

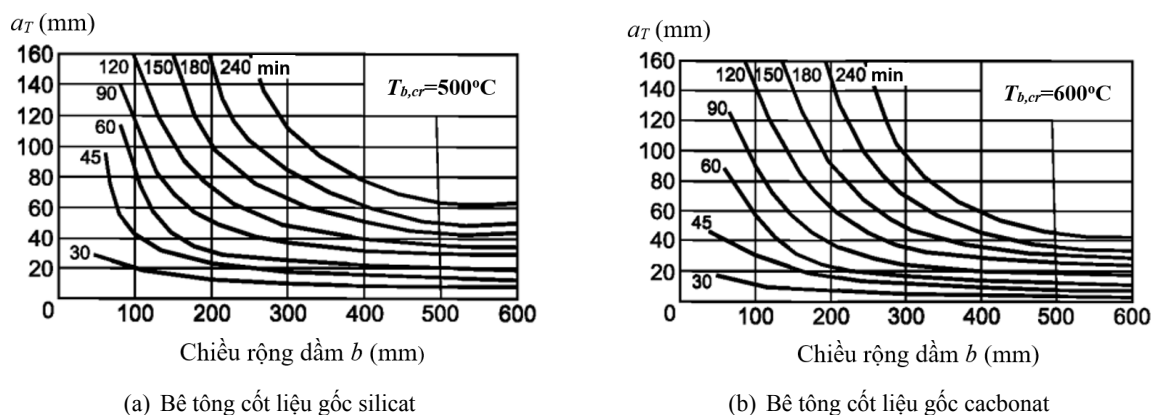
2.3. Tiết diện tính toán suy giảm

Tiêu chuẩn SP 468 quy định khi tiết diện dầm BTCT bị tác động cháy từ ba mặt (mặt dưới và hai mặt bên), các kích thước tiết diện được lấy suy giảm như sau:

$$b_T = b - 2a_T; h_T = h - 2a_T; h_{0,T} = h_0 - 2a_T \quad (4)$$

trong đó b, h, h_0 ($b_T, h_T, h_{0,T}$) tương ứng là chiều rộng, chiều cao và chiều cao làm việc của tiết diện dầm tại nhiệt độ thường (các ký hiệu trong ngoặc tương ứng là tại nhiệt độ cao T); a_T là chiều dày của lớp vỏ bê tông của tiết diện dầm có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tới hạn $T_{b,cr}$, cũng chính là độ sâu của đường đẳng nhiệt tính từ bề mặt bị đốt nóng với nhiệt độ tới hạn $T_{b,cr}$ và được xác định trong Hình 2.

Tiêu chuẩn SP 468 quy định với tác động của chế độ nhiệt tiêu chuẩn, nhiệt độ tới hạn $T_{b,cr}$ của bê tông cốt liệu gốc silicat và gốc cacbonat tương ứng là 500 °C (Hình 2(a)) và 600 °C (Hình 2(b)).



Hình 2. Xác định giá trị a_T theo nhiệt độ tới hạn $T_{b,cr}$

2.4. Các phương pháp của SP 468 xác định giới hạn chịu lửa của dầm BTCT

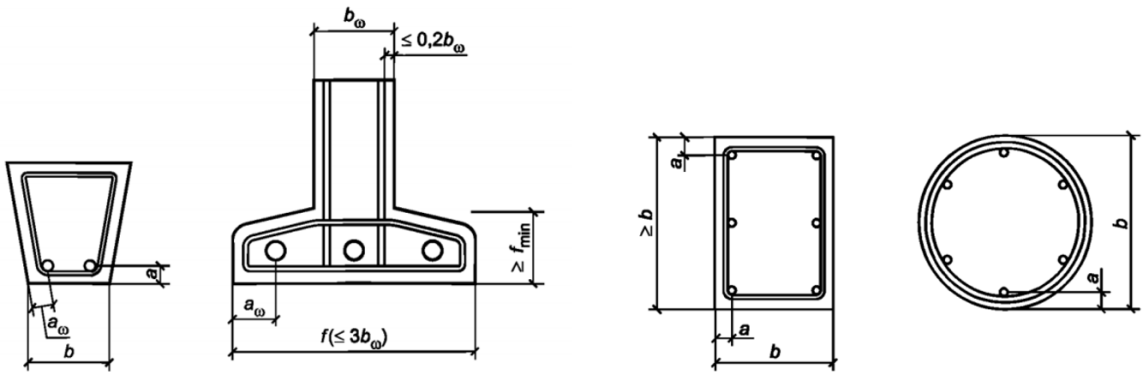
a. Phương pháp tra bảng

Tiêu chuẩn SP 468 quy định đối với dầm BTCT đơn giản một nhịp, khi có tác động cháy tiêu chuẩn từ mặt dưới và hai mặt bên, giá trị giới hạn chịu lửa về mặt khả năng chịu lực được lấy theo Bảng 4 đối với bê tông nặng. Các số liệu trong bảng này được lấy theo đơn vị là mm.

Trong bảng trên, các giá trị chiều rộng dầm b và khoảng cách đến trục cốt thép a và a_w được biểu diễn trên Hình 3, trong đó đối với dầm có cạnh nghiêng thì chiều rộng b được đo theo trọng tâm cốt thép chịu kéo và f_{min} là giới hạn tối thiểu của chiều cao bản cánh.

Bảng 4. Giá trị giới hạn chịu lửa, chiều rộng dầm và khoảng cách đến trục cốt thép

Giới hạn chịu lửa, phút	Chiều rộng dầm b và khoảng cách đến trục cốt thép a	Giá trị tối thiểu các thông số của dầm làm từ bê tông nặng				Chiều rộng tối thiểu của sườn dầm b_w
R 30	b	80	120	160	200	80
	a	25	15	10	10	-
R 60	b	120	160	200	300	100
	a	40	35	30	25	-
R 90	b	150	200	280	400	100
	a	55	45	40	35	-
R 120	b	200	240	300	500	120
	a	65	55	50	45	-
R 150	b	240	300	400	600	140
	a	80	70	65	60	-
R 180	b	280	350	500	700	160
	a	90	80	75	70	-
		$a_w = a + 10$		$a_w = a$		



Hình 3. Kích thước hình học của dầm và khoảng cách đến trục cốt thép [12]

Tiêu chuẩn SP 468 quy định trong trường hợp cốt thép được bố trí tại các mức khác nhau trong tiết diện thì khoảng cách trung bình đến trục cốt thép a được xác định phụ thuộc vào diện tích tiết diện ngang của từng thanh cốt thép (A_1, A_2, \dots, A_n) và vào khoảng cách tương ứng từ trục của chúng tới bề mặt bị đốt nóng gần nhất (mặt dưới hoặc mặt bên) của cấu kiện (a_1, a_2, \dots, a_n), theo biểu thức:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n A_i a_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{A_1 a_1 + A_2 a_2 + \dots + A_n a_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (5)$$

b. Phương pháp tính toán đơn giản hóa

Ở nhiệt độ thường, cấu kiện chịu uốn được thiết kế trên nguyên tắc sao cho tại trạng thái giới hạn chúng không bị phá hoại trên các tiết diện thẳng góc và trên tiết diện nghiêng khi hệ quả tương ứng của tác động là mômen uốn và lực cắt gây bởi tải trọng tính toán [2]. Đối với kết cấu BTCT, khả năng chịu lực trên tiết diện thẳng góc được xác định thông qua hợp lực của ứng suất trong các thanh cốt thép dọc được bố trí ở vùng kéo và hợp lực của ứng suất nén trong bê tông và cốt thép ở phía đối diện qua trục trung hòa của tiết diện khi chúng đạt tới cường độ tính toán. Khi xảy ra sự cố cháy trong công trình, cấu kiện dầm BTCT bị tác động trực tiếp bởi nhiệt độ cao từ các mặt tiếp xúc với lửa. Do tính chất truyền nhiệt của bê tông, nhiệt độ tại các điểm trên tiết diện đều tăng lên, kết hợp với sự suy giảm của các tính chất cơ lý của vật liệu, làm giảm giá trị của hợp lực của các nội ngẫu lực trong bê tông chịu nén và cốt thép chịu kéo và nén. Các yếu tố nêu trên làm giảm dần khả năng chịu lực của cấu kiện trong suốt thời gian cháy. Tiêu chuẩn SP 468 quy định nếu trong khoảng thời gian R (tính bằng phút) mà khả năng chịu lực của cấu kiện xác định theo cường độ tiêu chuẩn chưa giảm xuống thấp hơn giới hạn cho phép tính theo tải trọng tiêu chuẩn, thì kết cấu được xác định là đảm bảo giới hạn chịu lửa về mặt khả năng chịu lực R.

Tính toán độ bền trên tiết diện thẳng góc:

Trong trường hợp tổng quát, giới hạn chịu lửa về mặt khả năng chịu lực R của cấu kiện dầm chịu uốn được đảm bảo khi thỏa mãn điều kiện:

$$M_n \leq M_{u,T} \quad (6)$$

trong đó M_n là mô men uốn gây bởi ngoại lực tiêu chuẩn do tải trọng thường xuyên và tạm thời dài hạn; $M_{u,T}$ là khả năng kháng uốn (độ bền) của kết cấu BTCT khi cháy trong khoảng thời gian bằng giá trị R và được xác định bằng mô hình biến dạng phi tuyến với quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu ở nhiệt độ cao tương ứng và có thể được tính toán theo phương pháp nội lực giới hạn với các cấu kiện có tiết diện chữ nhật.

Xét dầm đơn giản BTCT tiết diện chữ nhật $b \times h$ chịu mô men dương, cốt thép dọc chịu lực có diện tích tiết diện ngang là A_s và có trọng tâm cách mép chịu kéo của tiết diện là a , chiều cao làm việc của tiết diện là $h_0 = h - a$; cốt thép dọc chịu nén với diện tích tiết diện ngang là A'_s có trọng tâm cách mép chịu nén là a' . Với chiều rộng b_T của lớp vỏ bê tông có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tới hạn, diện tích suy giảm của vùng bê tông chịu nén là A_{red} . Khi chịu tác động của chế độ nhiệt tiêu chuẩn từ mặt dưới và hai mặt bên, dầm có thể mất khả năng chịu lực do sự hình thành khớp dẻo tại giữa nhịp do suy giảm độ bền trên tiết diện thẳng góc so với nội lực do tải trọng tiêu chuẩn gây ra (Hình 4(a)).

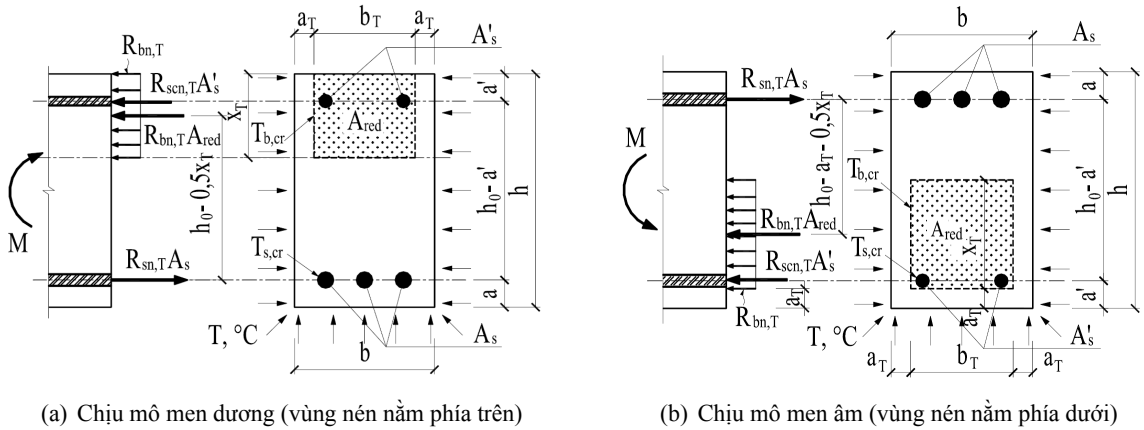
Từ Hình 4(a), chiều cao vùng nén được xác định theo biểu thức:

$$x_T = \frac{R_{sn,T}A_s - R_{snc,T}A'_s}{R_{bn,T}b_T} \quad (7)$$

Độ bền trên tiết diện thẳng góc được kiểm tra bằng biểu thức:

$$M_{u,T} = R_{bn,T}b_Tx_T(h_0 - 0,5x_T) + R_{snc,T}A'_s(h_0 - a') \quad (8)$$

Đối với dầm công xôn BTCT chịu mô men âm (Hình 4(b)), khi bị tác động nhiệt từ ba phía lên tiết diện thẳng góc tại mép gối, vùng bê tông chịu nén gần với mặt dưới và hai mặt bên của tiết diện bị đốt nóng và hình thành một lớp vỏ với bề dày a_T được coi là không làm việc do có nhiệt độ cao hơn giá trị tới hạn $T_{b,cr}$. Độ bền của tiết diện tính toán bị suy giảm chủ yếu do bê tông của vùng nén bị đốt



Hình 4. Tính toán dầm BTCT tiết diện chữ nhật trên tiết diện thẳng góc

nóng đến nhiệt độ tới hạn làm giảm chiều cao làm việc của tiết diện. Độ bền trên tiết diện thẳng góc được kiểm tra bằng biểu thức:

$$M_{u,T} = R_{bn,T} b_T x_T (h_0 - 0,5x_T - a_T) + R_{scn,TA's} (h_0 - a') \quad (9)$$

Nếu giá trị của $M_{u,T}$ lớn hơn hoặc bằng nội lực mô men M_n gây bởi tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời dài hạn tiêu chuẩn, thì dầm đáp ứng giới hạn chịu lửa về mất khả năng chịu lực R.

Tính toán độ bền trên tiết diện nghiêng:

Độ bền của bê tông giữa các dải nén nghiêng chịu ứng suất nén chính như sau:

$$Q_n \leq 0,3R_{bn,T} b_T h_{0,T} \quad (10)$$

trong đó Q_n là lực cắt gây bởi tải trọng tiêu chuẩn trên tiết diện thẳng góc của cầu kiện, được thực hiện ở khoảng cách từ gối không nhỏ hơn h_0 .

Điều kiện độ bền trên tiết diện nghiêng theo lực cắt được tính toán như sau:

$$Q_{n,T} \leq Q_{b,T} + Q_{sw,T} \quad (11)$$

trong đó $Q_{n,T}$ là lực cắt gây bởi tải trọng tiêu chuẩn trên tiết diện nghiêng với chiều dài hình chiếu C lên trục dọc của cầu kiện và nằm ở một bên của tiết diện nghiêng được đề cập (Hình 5);

- $Q_{b,T}$ là khả năng chịu cắt của bê tông trên tiết diện nghiêng:

$$Q_{b,T} = \frac{M_{b,T}}{C} = \frac{1,5R_{bn,T} b_T h_0^2}{C} \quad (12)$$

Giá trị của $Q_{b,T}$ không lớn hơn $2,5R_{bn,T} b_T h_0$ và không nhỏ hơn $0,5R_{bn,T} b_T h_0$;

- $Q_{sw,T}$ là khả năng chịu lực của cốt thép đai đi qua tiết diện nghiêng:

$$Q_{sw,T} = 0,75q_{sw,T} C \quad (13)$$

trong đó $q_{sw,T}$ là khả năng chịu lực trong từng cốt thép đai được quy về phân bố đều trên một đơn vị chiều dài của cầu kiện:

$$q_{sw,T} = \frac{R_{sw} \gamma_s T A_{sw}}{s_w} \quad (14)$$

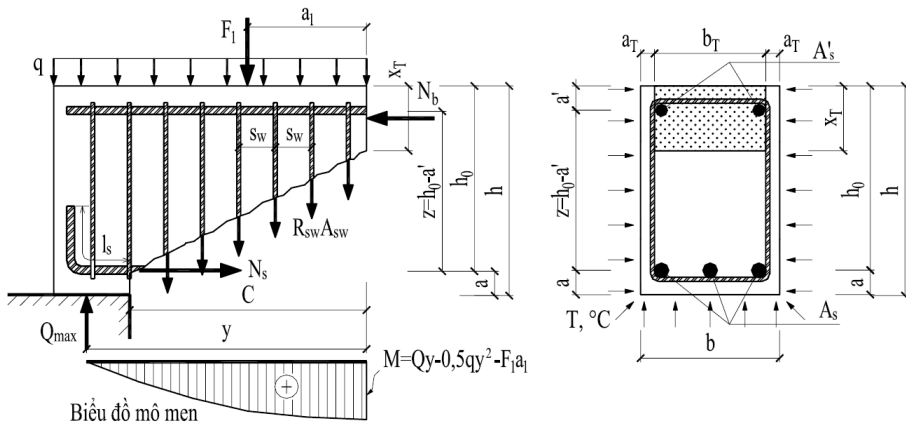
Tính toán với chiều dài nguy hiểm nhất của hình chiếu của tiết diện nghiêng, nằm trong khoảng từ h_0 đến $2h_0$. Nếu $C > 2h_0$ thì lấy $C = 2h_0$ [28].

Cốt thép đai được kê đến trong tính toán, nếu điều kiện sau được đáp ứng:

$$q_{sw,T} \geq 0,25R_{btm,T}b_T \quad (15)$$

Khoảng cách lớn nhất giữa các cốt đai:

$$s_{w,max} = \frac{R_{btm}b_T h_0^2}{Q} \quad (16)$$



Hình 5. Tính toán dầm BTCT trên tiết diện thẳng nghiêng

Điều kiện độ bền trên tiết diện nghiêng theo mô men (Hình 5):

$$M_n \leq M_{s,T} + M_{sw,T} \quad (17)$$

trong đó M_n là mô men trên tiết diện nghiêng với chiều dài hình chiếu c lên trục dọc cấu kiện, được xác định từ các ngoại lực nằm ở một bên của tiết diện nghiêng đang xét, liên quan đến cuối phần nghiêng, đầu đối diện, cốt thép dọc chịu kéo trong phần nghiêng, trong khi tính đến tải trọng nguy hiểm nhất trong mặt cắt ngang nghiêng;

- $M_{s,T}$ là mô men do lực kéo trong cốt thép dọc nhân với cánh tay đòn tới đầu đối diện của tiết diện nghiêng:

$$M_{s,T} = 0,9N_{s,T}h_0 \quad (18)$$

- $N_{s,T}$ là hợp lực trong cốt thép dọc, được lấy bằng $R_{s,T}A_s$ trong khu vực neo:

$$N_{s,T} = \frac{\eta_1 R_{btm,T} l_s u_s}{\alpha} < R_{sn,T} A_s \quad (19)$$

trong đó η_1 là hệ số tính đến ảnh hưởng của loại bề mặt cốt thép, được lấy bằng 1,5 - đối với cốt thép loại CB240; 2,0 đối với cốt thép loại CB500; 2,5 đối với cốt thép các loại CB300 và CBV400; l_s là khoảng cách từ đầu mút thanh neo đến tiết diện ngang của dầm được đề cập, được coi là chiều dài neo (không nhỏ hơn $15d_s$ và 200 mm), nhằm đủ dài để có thể chuyển lực kéo N_s trong cốt thép sang bê tông; u_s là chu vi của tiết diện ngang của thanh neo, được xác định bởi đường kính danh nghĩa của

thanh; α là hệ số tính đến ảnh hưởng của trạng thái chịu kéo của bê tông, cốt thép và giải pháp neo cốt thép vào gối cũng như chiều dài của neo. Khi neo các thanh thép gai thẳng hoặc thanh thép tròn trơn được uốn móc hoặc tạo xoắn tại đầu mút mà không có thiết bị neo bổ sung, hệ số này được lấy bằng 1,0 cho thanh chịu kéo và bằng 0,75 cho thanh chịu nén.

Khi hàn vào các thanh kéo dài theo chiều dọc của cốt thép đai hoặc phân tán, giá trị của lực N_s được phép tăng lên một lượng xác định là:

$$N_w = 0,7n_w\varphi_w d_w^2 R_{btm,T} \quad (20)$$

nhưng lấy không quá $0,8R_{s,T}d_w^2 n_w$, trong đó n_w là số lượng thanh hàn; d_w là đường kính của thanh hàn, với cốt thép đai có đường kính 6, 8, 10, 12 và 14 mm, hệ số φ_w được lấy tương ứng là 200, 150, 120, 100 và 80.

Mô men do cốt thép đai chịu lấy đối với trục dọc của dầm:

$$M_{sw,T} = 0,5q_{sw,T}C^2 \quad (21)$$

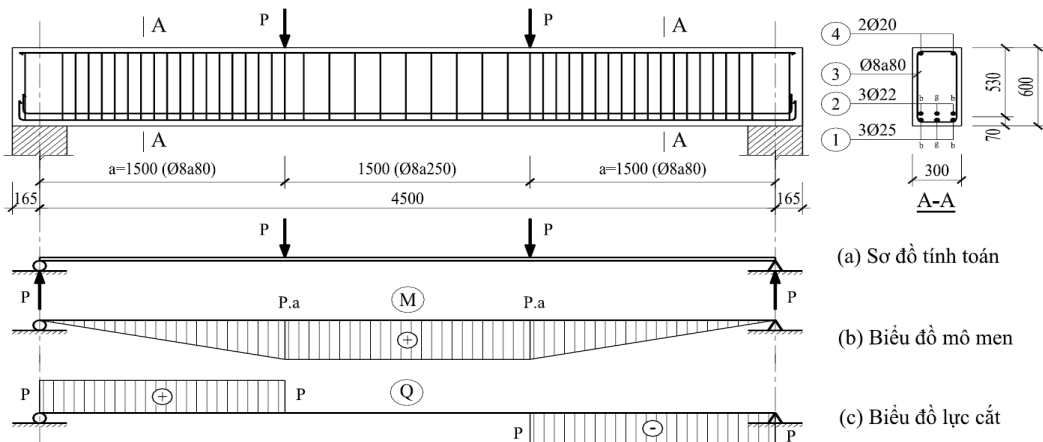
trong đó $q_{sw,T}$ được xác định theo biểu thức (14), C lấy trong khoảng $[h_0, 2h_0]$.

Với thời gian của tác động cháy tiêu chuẩn tương ứng với giới hạn chịu lực R, các giá trị của các lực ngang Q được tính bằng các biểu thức (10) và (11), cũng như mô men M_n tính theo biểu thức (17) từ cường độ tiêu chuẩn, phải bằng hoặc lớn hơn các giá trị tương ứng của nội lực Q_n và M_n gây bởi tải trọng tiêu chuẩn.

3. Thí dụ tính toán

3.1. Thí dụ số 1 - Dầm đơn giản BTCT

Xét dầm đơn giản BTCT tiết diện chữ nhật $b \times h = 300 \times 600$ (mm) vượt nhịp tính theo tim trục là 4,5 m, với chiều rộng tường đỡ bằng khối xây là 330 mm (Hình 6).



Hình 6. Thí dụ số 1 - Dầm đơn giản BTCT

Dầm chịu hai lực tập trung đối xứng cách đều hai gối là 1,5 m. Mỗi lực tập trung gồm tải trọng thường xuyên tiêu chuẩn $G = 100$ kN và tải trọng tạm thời tiêu chuẩn $Q = 70$ kN. Hệ số độ tin cậy của các tải trọng tương ứng là $n_G = 1,1$ và $n_Q = 1,2$. Dầm sử dụng bê tông cốt liệu gốc silicat với

cấp cường độ B20 có các cường độ chịu nén và chịu kéo tính toán là $R_b = 11,5$ MPa, $R_{bt} = 0,9$ MPa và các cường độ tiêu chuẩn tương ứng là $R_{bn} = 15$ MPa, $R_{bmn} = 1,35$ MPa. Cốt thép dọc sử dụng loại CB300-V có $R_s = R_{sc} = 260$ MPa và $R_{sn} = R_{scn} = 300$ MPa. Cốt thép dọc chịu kéo là 3Φ25+3Φ22 có tổng diện tích tiết diện ngang $A_s = 2612$ mm² và bố trí thành hai hàng, hàng thứ nhất là 3Φ25 với $A_1 = 1472$ mm², hàng thứ hai là 3Φ22 với $A_2 = 1140$ mm² có khoảng cách từ trọng tâm đến mặt dưới của tiết diện lần lượt là $a_1 = 45$ mm và $a_2 = 98,5$ mm. Khoảng cách từ trọng tâm của cả 6 thanh tới mặt dưới của tiết diện là $a = 70$ mm; chiều cao làm việc của tiết diện là $h_0 = 530$ mm. Cốt thép trong vùng nén 2Φ20 ($A'_s = 628$ mm²) có khoảng cách trục là $a' = 45$ mm. Cốt thép đai sử dụng loại CB240-T có $R_{sw} = 170$ MPa. Trong khoảng 1,5 m gần hai đầu dầm, cốt đai được bố trí là Φ8a80, trong phần còn lại ở giữa dầm là Φ8a250.

Dầm là bộ phận chịu lực chính trong công trình giảng đường hai tầng của một trường đại học có quy mô với tổng số 6000 sinh viên. Căn cứ Phụ lục 1 của Thông tư của Bộ Xây dựng quy định về phân cấp công trình xây dựng và hướng dẫn áp dụng trong quản lý hoạt động đầu tư xây dựng [29], cấp công trình được xếp vào cấp II. Căn cứ Bảng 2 của Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nguyên tắc phân loại, phân cấp công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng kỹ thuật đô thị [30], bậc chịu lửa của công trình cấp II là bậc II. Bảng 4 của Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình [1] quy định với bậc chịu lửa bậc II, giới hạn chịu lửa của bộ phận chịu lực của nhà không nhỏ hơn R 90.

a. Phương pháp tra bảng

Khoảng cách từ trục các thanh cốt thép chịu kéo (a_1, a_2, \dots, a_6) đến bề mặt bị đốt nóng gần nhất (mặt bên với tất cả cốt thép; mặt dưới đối với cốt thép chịu kéo và mặt trên đối với cốt thép chịu nén) của tiết diện dầm được xác định trong Bảng 5.

Bảng 5. Xác định khoảng cách trục của các thanh cốt thép dọc

Thông số	Cốt thép Φ25 ở biên (b)	Cốt thép Φ25 ở giữa (g)	Cốt thép Φ22 ở biên (b)	Cốt thép Φ22 ở giữa (g)	Cốt thép Φ20 (vùng nén)
Số hiệu thép	1b (2 thanh)	1g (1 thanh)	2b (2 thanh)	2g (1 thanh)	4 (2 thanh)
Diện tích tiết diện ngang A_{s_i}	981,8 mm ²	490,9 mm ²	760,3 mm ²	380,1 mm ²	628,3 mm ²
K/cách trục tới mặt ngang	45 mm	45 mm	98,5 mm	98,5 mm	45 mm
K/cách trục tới mặt đứng	45 mm	150 mm	45 mm	150 mm	45 mm
a_i	45 mm	45 mm	45 mm	98,5 mm	45 mm

Theo biểu thức (5), khoảng cách trục trung bình là $a = \frac{\sum_{i=1 \div 6} A_i a_i}{\sum_{i=1 \div 6} A_i} = 52,8$ mm Theo quy định trong

Bảng 4, để đảm bảo giới hạn R 90, nếu dầm có chiều rộng tối thiểu là $b = 280$ mm thì khoảng cách trục tối thiểu là $a = 40$ mm hoặc nếu $b = 200$ mm thì $a = 45$ mm. Như vậy, dầm đang xét có $b = 300$ mm lớn hơn 280 mm và $a = 52,8$ mm lớn hơn 45 mm đều thỏa mãn hai trường hợp trên và đảm bảo giới hạn chịu lửa R 90.

b. Phương pháp tính đơn giản hóa

+ Điều kiện độ bền trên tiết diện thẳng góc:

Sau 90 phút chịu tác động của chế độ nhiệt tiêu chuẩn từ mặt dưới và hai mặt bên của tiết diện ngang, nhiệt độ tại trục các thanh cốt thép dọc được xác định theo Hình 1(a). Từ các số liệu trong

Bảng 3, sử dụng phép nội suy tuyến tính để xác định hệ số điều kiện làm việc của cốt thép. Hợp lực trong các cốt thép chịu kéo (3Φ25+3Φ22) và cốt thép chịu nén (2Φ20) được tính toán dựa vào số liệu của từng thanh. Kết quả được ghi trong Bảng 6.

Bảng 6. Hợp lực tại trục cốt thép sau khi bị tác động nhiệt trong 90 phút

Thông số	Cốt thép Φ25 ở biên (b)	Cốt thép Φ25 ở giữa (g)	Cốt thép Φ22 ở biên (b)	Cốt thép Φ22 ở giữa (g)	Cốt thép Φ20 (vùng nén)
Số hiệu thép	1b (2 thanh)	1g (1 thanh)	2b (2 thanh)	2g (1 thanh)	4 (2 thanh)
Diện tích tiết diện ngang A_{si}	981,8 m ²	490,9 m ²	760,3 m ²	380,1 m ²	628,3 m ²
Nhiệt độ T	580 °C	400 °C	400 °C	130 °C	320 °C
Hệ số $\gamma_{s,T}$	0,42	0,85	0,85	1,0	0,97
$\gamma_{s,T}R_{sn}A_{si}$	123.706,8 N	125.179,5 N	193.876,5 N	114.030,0 N	
Hợp lực kéo		556.792,8 N			
Hợp lực nén $\gamma_{s,T}R_{scn}A'_{si}$					182.835,3 N

Từ Hình 2(a), với bề rộng dầm $b = 300$ mm, sau 90 phút, độ sâu của đường đẳng nhiệt $T_{b,cr} = 500$ °C (đối với bê tông cốt liệu gốc silicat) là $a_T = 38$ mm, như vậy chiều rộng suy giảm của tiết diện tính theo biểu thức (4) là $b_T = 224$ mm. Từ Hình 1(a), sau 90 phút, nhiệt độ trung bình của bê tông vùng nén tại điểm cách bề mặt nóng 106 mm là 100 °C. Từ đó, theo Bảng 2 xác định được hệ số suy giảm cường độ bê tông $\gamma_{b,T} = 1$.

Thay vào biểu thức (7), xác định được chiều cao vùng nén $x_T = 111,3$ mm

Khả năng kháng uốn của tiết diện là $M_{u,T} = 266,069$ kNm theo biểu thức (8).

Tại trạng thái giới hạn chịu lửa, ngoại lực P gồm giá trị tiêu chuẩn của tải trọng thường xuyên (G) và tải trọng tạm thời dài hạn $Q_L = 0,35Q$, mô men nội lực là $M_n = Pa = 186,75$ kNm.

Như vậy điều kiện trong biểu thức (6) được thỏa mãn, đảm bảo giới hạn chịu lửa về độ bền trên tiết diện thẳng góc là R 90 với độ an toàn là $M_{u,T}/M_n = 1,428$.

+ Điều kiện độ bền trên tiết diện nghiêng theo lực cắt:

Xác định giá trị vé trái của điều kiện độ bền của phần bê tông giữa các dải nén nghiêng chịu ứng suất nén chính theo biểu thức (10) là $Q_n = G + Q_L = 124,5$ kN. Giá trị của vé phải trong biểu thức (10) là 574,56 kN. Như vậy điều kiện (10) được đảm bảo.

Với khoảng cách trục đến cốt thép dọc Φ25 là 45 mm, khoảng cách trục đến cốt thép đai Φ8 là 28,5 mm. Dựa vào Hình 1(a), sau 90 phút chịu tác động nhiệt tiêu chuẩn, nhiệt độ lớn nhất tại cốt thép đai là 600 °C. Từ Bảng 3, hệ số điều kiện làm việc của cốt thép đai CB240 tại 600 °C là $\gamma_{s,T} = 0,37$.

Theo biểu thức (14), ta có: $q_{sw} = 79,411$ N/mm.

Với $q_{sw,min} = 0,25R_{bt,T}b_T = 75,6$ N/mm, điều kiện (15) được đáp ứng, các cốt đai có thể được kê tới đầy đủ và giá trị của $M_b = 127416,240$ N/mm được xác định theo biểu thức (12):

$$\text{Với tác động của tải trọng tập trung, giá trị bất lợi nhất của } C \text{ là [28]: } C = \sqrt{\frac{M_b}{0,75q_{sw,T}}} =$$

1432 mm > $2h_0 = 1060$ mm. Như vậy $C = 1060$ mm [28].

Xác định vé phải của biểu thức (11): $Q_{b,T} + Q_{sw,T} = 181,548$ kN

Xác định vé trái của biểu thức (11): $G + 0,35Q_L = 124,5$ kN < 181,548 kN.

Như vậy điều kiện trong biểu thức (11) được thỏa mãn, đảm bảo giới hạn chịu lửa về độ bền theo lực cắt trên tiết diện nghiêng là R 90 với độ an toàn là 1,458.

+ Điều kiện độ bền trên tiết diện nghiêng theo mô men:

Theo Hình 1(a) và Bảng 6, với dầm có chiều rộng 300 mm và thời gian tác động nhiệt tiêu chuẩn là 90 phút, nhiệt độ tại 2 thanh cốt thép dọc $\Phi 25$ ở biên (số hiệu 1b - $a_T = 45$ mm) là $T_s = 580$ °C. Khi dầm được gói lên tường gạch, nhiệt độ trong khu vực neo bằng $T_{s1} = 0,8T_s = 464$ °C. Nhiệt độ trung bình của bê tông trong khu vực của thanh neo bằng nhiệt độ của thanh. Như vậy, theo Bảng 6, giá trị của hệ số điều kiện làm việc bê tông cốt liệu gốc silicat khi chịu kéo là $\gamma_{bt,T} = 0,254$. Tương tự, tại các thanh thép dọc số hiệu 1g, 2b và 2g có nhiệt độ tương ứng là 320, 320 và 104 °C (80% giá trị trong Bảng 4), hệ số điều kiện làm việc $\gamma_{s,T}$ tương ứng là 0,47; 0,47 và 0,84 (Bảng 2). Đối với cốt thép CB300-V, hệ số $\eta_1 = 2,0$; Chiều dài neo $l_s = 400$ mm $> 15d_s = 375$ mm; Chu vi của cốt thép $\Phi 25$ và $\Phi 22$ tương ứng là 78,5 mm và 69,1 mm ($u_s = 3,14d_s$); Đối với các thanh cốt thép có gờ neo chịu kéo mà không có thiết bị neo bổ sung, ta có $\alpha = 1$. Như vậy lực kéo trong 6 thanh cốt thép dọc $3\Phi 25 + 3\Phi 22$ được neo vào gối là $N_{s,T} = 269,691$ N.

Cốt thép dọc và cốt thép đai được liên kết buộc, do vậy $N_w = 0$ (biểu thức (20)).

Từ Bảng 3 và biểu thức (19), giá trị của $N_{s,T}$ không vượt quá giá trị giới hạn $\sum R_{sn}\gamma_{s,T}A_s = 556,767$ N.

Khả năng chịu mô men do neo cốt thép dọc $M_{s,T} = 128642,607$ Nmm được xác định bởi biểu thức (18).

Với $C = 2h_0$ và $q_{sw,T} = 79,411$ N/mm xác định từ phần trên, khả năng chịu mô men do cốt thép đai là $M_{sw,T} = 44613,100$ Nmm theo biểu thức (21).

Giá trị vế phải của biểu thức (17) là $M_{s,T} + M_{sw,T} = 173,256$ kNm.

Trên Hình 5, xác định $y = l_{sp}/3 + C = 1170$ mm.

Mô men tác dụng trên tiết diện nghiêng:

$$M_n = Q_{\max}y = 145,665 \text{ kNm} < M_{s,T} + M_{sw,T} = 173,256 \text{ kNm}$$

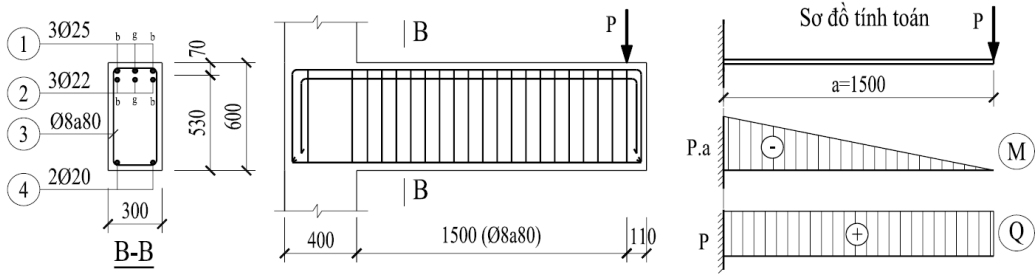
Như vậy điều kiện trong biểu thức (17) được thỏa mãn, dầm đảm bảo giới hạn chịu lửa về độ bền theo mô men trên tiết diện nghiêng là R 90 với độ an toàn là 1,189.

3.2. Thí dụ số 2 - Dầm công xôn BTCT

Xét dầm BTCT trong cùng công trình với dầm ở Thí dụ số 1, nhưng làm việc công xôn có tiết diện chữ nhật $b \times h = 300 \times 600$ (mm) và độ vươn tính từ mép cột là 1,61 m, với cột có chiều cao tiết diện là 400 mm (Hình 7). Dầm chịu lực tập trung P đặt cách mép cột 1,5m, gồm tải trọng thường xuyên tiêu chuẩn $G = 100$ kN và tải trọng tạm thời $Q = 70$ kN. Hệ số độ tin cậy của các tải trọng tương ứng là $n_G = 1,1$ và $n_Q = 1,2$. Tác động nhiệt và giá trị nội lực của dầm tương tự như trong Thí dụ số 1, nhưng chỉ có mô men là đổi chiều (căng thớ trên). Với vật liệu tương tự như Thí dụ số 1, cốt thép dọc và cốt thép đai tính toán và bố trí trong dầm được thể hiện trên Hình 7.

Với dầm công xôn trong thí dụ này, về nguyên tắc phương pháp tra bảng có thể được áp dụng tương tự như đối với dầm đơn giản trong Thí dụ số 1, do các số liệu trong Bảng 4 được lấy trên cơ sở thí nghiệm cháy tiêu chuẩn thực hiện trên các kết cấu tĩnh định. Bên cạnh đó, với nhiệt độ tại cốt đai là tương đương, việc kiểm tra giới hạn chịu lửa về độ bền trên tiết diện nghiêng theo lực cắt cũng tương tự như Thí dụ số 1.

Khi kiểm tra giới hạn chịu lửa về độ bền trên tiết diện thẳng góc, có thể nhận thấy sự khác biệt lớn nhất là trong thí dụ này tất cả các thanh cốt thép dọc chịu lực đều nằm ở gần mặt trên - là mặt không bị đốt nóng. Nhờ vậy, sau 90 phút bị tác động nhiệt tiêu chuẩn từ ba mặt, nhiệt độ tại trục các thanh cốt thép số hiệu 1b, 1g, 2b, 2g lần lượt là 310, <100, 320 và <100 °C (Hình 1(b), Hình 7). Như



Hình 7. Thí dụ số 2 - Dầm công xôn BTCT

vậy, từ Bảng 3 xác định được hệ số điều kiện làm việc $\gamma_{s,T}$ tương ứng của các thanh cốt thép này là 0,985; 1,0; 0,97 và 1,0. Trong khi đó, hai thanh thép dọc chịu nén (thanh số 4) nằm ở vùng bị đốt nóng với nhiệt độ 580 °C và có hệ số $\gamma_{s,T} = 0,42$. Từ Hình 1, sau 90 phút, nhiệt độ trung bình của bê tông vùng nén tại điểm cách bề mặt nóng 106 mm là 150 °C. Dựa vào Bảng 2, hệ số suy giảm cường độ bê tông là $\gamma_{b,T} = 0,99$. Từ đó, xác định được chiều cao vùng nén theo Hình 4(b) và biểu thức (7) là $x_T = 203,9$ mm. Thay vào biểu thức (9), xác định được $M_{u,T} = 310,191$ kNm. Như vậy, điều kiện trong biểu thức (6) được thỏa mãn, đảm bảo giới hạn chịu lửa R 90 về độ bền trên tiết diện thẳng góc với độ an toàn là 1,665, cao hơn so với dầm chịu mô men có cùng giá trị nhưng đổi chiều ở Thí dụ số 1.

Việc kiểm tra giới hạn chịu lửa về độ bền trên tiết diện nghiêng theo lực cắt cũng có thể được tiến hành tương tự như Thí dụ số 1, tuy nhiên điểm khác biệt là nhiệt độ bê tông ở đầu mút của dầm không được giảm 20% như tại gối và có thể cần thêm một số biện pháp cấu tạo để đảm bảo neo chắc cốt thép dọc tại khu vực này để có thể đạt được giá trị $M_{s,T}$ đủ lớn nhằm thỏa mãn biểu thức (17) và đảm bảo giới hạn R 90.

3.3. Thảo luận về kết quả tính toán

Có thể thấy rằng phương pháp tra bảng chỉ cho một kết quả tương đối mà khó định lượng được mức độ đảm bảo giới hạn chịu lửa. Nhược điểm này được khắc phục bởi phương pháp tính đơn giản hoá. Tiêu chuẩn SP 468 cung cấp phương pháp tính toán và kiểm tra tổng thể cho cấu kiện dầm chịu uốn với các điều kiện độ bền trên tiết diện thẳng góc và tiết diện nghiêng với một định lượng rõ ràng về độ an toàn.

Tại nhiệt độ thường, nội lực mô men lớn nhất gây bởi tải trọng tính toán là $M_{d,0} = 291$ kNm, khả năng chịu lực trên tiết diện thẳng góc tính theo cường độ tính toán của vật liệu là $M_{u,0} = 314,66$ kNm, với độ an toàn là 1,08. Nếu tại nhiệt độ thường, độ an toàn này được tăng lên bằng cách bố trí nhiều cốt thép hơn thì độ an toàn tương ứng khi tính theo trạng thái giới hạn cháy cũng sẽ tăng lên so với giá trị tính được (1,428 - Thí dụ số 1 và 1,665 - Thí dụ số 2).

Đối với kết cấu siêu tĩnh BTCT, việc không đảm bảo điều kiện độ bền tại một tiết diện có thể chưa gây phá hủy kết cấu ngay do sự hình thành khớp dẻo tại tiết diện này dẫn tới phân phối lại nội lực và tạo các khớp dẻo khác trong kết cấu cho đến khi hình thành cơ cấu sụp đổ. Do vậy về mặt nguyên tắc, giới hạn chịu lửa của kết cấu siêu tĩnh sẽ cao hơn so với giới hạn chịu lửa của kết cấu tĩnh định có cùng tính chất hình học và vật liệu;

Các thí dụ nêu trên cho thấy để đảm bảo giới hạn chịu lửa về độ bền trên tiết diện nghiêng theo mô men, một số cấu tạo đặc biệt cần được lưu ý sao cho giá trị của $M_{s,T}$ đủ lớn, ví dụ như neo các thanh

số 2 vào gói hoặc đầu dầm (trong điều kiện nhiệt độ thường, các thanh này có thể không cần neo hoặc neo ngắn hơn); thay liên kết buộc bằng liên kết hàn; sử dụng các giải pháp neo khác tại gói v.v...

Theo tiêu chuẩn SP 468, do kể tới tất cả các yếu tố về phân bố nhiệt độ, nội lực cũng như tính chất vật liệu và hình học trên tiết diện dầm - đã cho thấy một cách tường minh rằng các dầm trong thí dụ được xét có đủ giới hạn chịu lửa R 90 theo tiêu chí chịu lực với các hệ số an toàn lớn hơn 1. Như vậy, nếu áp dụng tiêu chuẩn SP 468 vào điều kiện Việt Nam có thể khắc phục được các yêu cầu trong Bảng F.4 của QCVN 06:2021/BXD [1], trong đó quy định giới hạn chịu lửa của cấu kiện BTCT theo chiều dày lớp bê tông bảo vệ c (thay vì khoảng cách trục a). Bên cạnh đó, khái niệm “khoảng cách trung bình đến trục cốt thép” của SP 468 [12] là tương thích với tiêu chuẩn châu Âu [13] và tường minh hơn so với khái niệm “chiều dày trung bình lớp bê tông bảo vệ” của QCVN 06 [1].

Trong các thí dụ nêu trên, nếu công trình trường đại học có quy mô tổng số hơn 8000 sinh viên, công trình được quy định thuộc cấp 1 [29] và chịu lửa bậc 1 [30]. Theo yêu cầu của [1], tất cả các phép tính toán cần được tiến hành cho R 120 thay vì R 90. Tuy nhiên, việc quy định bậc chịu lửa theo cấp công trình theo [30] cũng cần được xem xét cùng với nhiều yếu tố ảnh hưởng khác như cấp nguy hiểm cháy của kết cấu, chiều cao phòng cháy chữa cháy của tòa nhà, diện tích khoang cháy v.v...

4. Kết luận

Một số kết luận có thể được rút ra từ phạm vi của các nội dung được trình bày trong bài báo này như sau:

- Tiêu chuẩn thiết kế SP 468.1328500.2019 cung cấp nhiều thông tin chi tiết về sự phân bố nhiệt độ trên tiết diện cấu kiện cũng như về tính chất cơ lý của vật liệu bê tông và cốt thép khi chịu tác động của chế độ nhiệt tiêu chuẩn; hướng dẫn phương pháp tra bảng và tính toán tường minh bằng phương pháp đơn giản hóa cho cấu kiện dầm BTCT chịu uốn với tất cả các điều kiện độ bền trên tiết diện thẳng góc và trên tiết diện nghiêng theo lực cắt và theo mô men khi cháy;

- Khi kiểm tra giới hạn chịu lửa về độ bền trên tiết diện thẳng góc gây bởi tác động cháy tiêu chuẩn từ mặt dưới và hai mặt bên, do cốt thép dọc chịu lực nằm ở khu vực có nhiệt độ thấp hơn trên tiết diện nên dầm chịu mô men âm (trong Thí dụ số 2) có độ an toàn cao hơn so với khi chịu mô men dương (trong Thí dụ số 1);

- Việc kiểm tra giới hạn chịu lửa về độ bền trên tiết diện nghiêng có thể dẫn tới một số yêu cầu cấu tạo cốt thép chặt chẽ hơn so với ở nhiệt độ thường;

- Phương pháp tính toán đơn giản hóa khắc phục được bất cập của phương pháp tra bảng do đã kể tới tất cả các yếu tố được thiết kế cho dầm, và có thể đưa tới một giải pháp thiết kế tiết kiệm hơn so với việc chỉ áp dụng phương pháp tra bảng.

Các thí dụ thực hiện trong bài báo cho thấy các yêu cầu kỹ thuật và hướng dẫn tính toán của tiêu chuẩn SP 468 có độ tương thích rất cao với tiêu chuẩn thiết kế hiện hành TCVN 5574:2018 cho kết cấu BTCT ở nhiệt độ thường. Trong thời gian tới, nhiều nghiên cứu cơ bản và các thí dụ tính toán cho nhiều trường hợp khác nhau cần được tiếp tục tiến hành để tiêu chuẩn thiết kế của các nước tiên tiến trên thế giới sớm được áp dụng hiệu quả trong điều kiện của Việt Nam.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Xây dựng thông qua các đề tài khoa học công nghệ mã số TC 15-21 và RD 19-21.

Tài liệu tham khảo

- [1] QCVN 06:2021/BXD (2021). *Quy chuẩn kỹ thuật về an toàn cháy cho nhà và công trình*.
- [2] Minh, P. Q., Phong, N. T., Thắng, N. T., Tùng, V. M. (2021). *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [3] Lin, T. D., Gustaferoo, A. H., Abrams, M. S. (1981). *Fire endurance of continuous reinforced concrete beams*. PCA R&D Bulletin 1981 - RD072.01B.
- [4] Dotreppe, J.-C., Franssen, J.-M. (1985). [The use of numerical models for the fire analysis of reinforced concrete and composite structures](#). *Engineering Analysis*, 2(2):67–74.
- [5] Ellingwood, B., Lin, T. D. (1991). [Flexure and Shear Behavior of Concrete Beams during Fires](#). *Journal of Structural Engineering*, 117(2):440–458.
- [6] Dwaikat, M. B., Kodur, V. K. R. (2008). [A numerical approach for modeling the fire induced restraint effects in reinforced concrete beams](#). *Fire Safety Journal*, 43(4):291–307.
- [7] Kodur, V. K. R., Dwaikat, M. (2008). [A numerical model for predicting the fire resistance of reinforced concrete beams](#). *Cement and Concrete Composites*, 30(5):431–443.
- [8] Tan, K.-H., Nguyen, T.-T. (2013). [Structural responses of reinforced concrete columns subjected to uniaxial bending and restraint at elevated temperatures](#). *Fire Safety Journal*, 60:1–13.
- [9] Tan, K.-H., Nguyen, T.-T. (2013). [Experimental behaviour of restrained reinforced concrete columns subjected to equal biaxial bending at elevated temperatures](#). *Engineering Structures*, 56:823–836.
- [10] Nguyen, T.-T., Tan, K. H. (2014). [Thermal-induced restraint forces in reinforced concrete columns subjected to eccentric loads](#). *Fire Safety Journal*, 69:136–146.
- [11] Nguyen, T. T., Tan, K. H. A simplified analysis method on reinforced concrete columns subjected to uniaxial bending in fire. *Proceedings of the Fifth International Conference on Design and Analysis of Protective Structures (DAPS 2015)*, 1053–1063.
- [12] SP 468.1325800.2019. *Concrete and reinforced concrete structures*. Rules for ensuring fire resistance and fire safety.
- [13] EN 1992-1-2:2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules - structural fire design*.
- [14] ISO 834-1:1999/AMD 2:2021. *Fire resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements - Amendment 2*. International Organization for Standardization.
- [15] TCVN 5574:2018. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [16] Thắng, N. T., Ninh, N. T. (2016). Biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn châu Âu EC2. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 28:55–61.
- [17] Nguyen, T. T. (2016). Effect of concrete cover on axial load resistance of reinforced concrete columns in fire. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - HUCE*, 31:29–36.
- [18] Nguyen, T. T., Pham, T. T. The development of axial force in restrained reinforced columns at elevated temperatures. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Development in Civil Engineering (SDCE 2016)*, 145–153.
- [19] Thắng, N. T. (2017). Ảnh hưởng của sự bố trí cốt thép dọc tới khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép tại nhiệt độ cao. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 588:141–144.
- [20] Thắng, N. T. (2017). Khả năng kháng cháy của cột trong kết cấu khung bê tông cốt thép. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*, 589:53–57.
- [21] Nguyen, T. T., Tran, V. T., Nguyen, T. N. (2018). Investigation of strength degradation of concrete encased steel composite columns at elevated temperatures. *Proceedings of the International Conference on the 55th Anniversary of Establishing of Vietnam Institute for Building Science and Technology (IBST55)*, 213–221.
- [22] Nguyen, T. T., Tan, K. H. (2018). Simplified fire-resistant analysis of reinforced concrete columns under biaxial bending to EC2-1.2. *Proceedings of the 7th International Conference on Protection of Structures against Hazards (PSH18)*, 425–436.
- [23] Tâm, T. V., Ninh, N. T., Thắng, N. T. (2018). Biểu đồ tương tác của cột liên hợp bê tông cốt cứng ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn châu Âu. *Tạp chí Xây dựng*, 85–92.
- [24] Trung, N. T., Hai, D. V., Phương, P. M. (2019). [Đánh giá khả năng chịu lửa của sàn bê tông cốt thép](#)

- bằng các phương pháp đơn giản theo tiêu chuẩn EN 1992-1-2. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 13(2V):41–52.
- [25] Thăng, N. T., Trung, N. T. (2019). **Khảo sát sự suy giảm khả năng kháng uốn khi cháy của dầm bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn châu Âu.** *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 13 (4V):22–34.
- [26] Nguyen, T. T. T., Nguyen, T. T. (2021). Investigation of deterioration in reinforced concrete beams' normal-section strength at elevated temperatures using SAFIR software. *Journal of Structural Engineering and Construction Technology*, 05:83–98.
- [27] Thang, N. T., Viet, N. H. (2021). **Simplified calculation of flexural strength deterioration of reinforced concrete T-beams exposed to ISO 834 standard fire.** *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - HUCE*, 15(4):123–135.
- [28] Thang, N. T., Kien, N. T. (2021). **Calculation of reinforced concrete beams' shear strengths at ambient and fire conditions according to Russian design standards.** *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - HUCE*, 15(4):157–171.
- [29] 06/2021/TT-BDX (2021). *Thông tư của Bộ trưởng Bộ Xây dựng quy định về phân cấp công trình xây dựng và hướng dẫn áp dụng trong quản lý hoạt động đầu tư xây dựng.* Bộ Xây dựng.
- [30] QCVN 03:2012/BXD (2012). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nguyên tắc phân loại, phân cấp công trình dân dụng, công nghiệp và hạ tầng kỹ thuật đô thị.* Bộ Xây dựng.