

XÁC ĐỊNH TẢI TRỌNG CẦU TRỤC TÁC DỤNG LÊN NHÀ CÔNG NGHIỆP MỘT TẦNG THEO EN 1991-3

Đình Văn Thuật^{a,*}, Nguyễn Long^b, Đặng Việt Hưng^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

^bViện Quy hoạch và kỹ thuật giao thông vận tải, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 8/10/2023, Sửa xong 29/11/2023, Chấp nhận đăng 30/11/2023

Tóm tắt

Bài báo trình bày các bước xác định tải trọng cầu trục tác dụng lên nhà công nghiệp một tầng theo EN 1991-3, bao gồm việc xác định: (i) tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất tại các bánh xe cầu trục truyền lên ray theo phương đứng tương ứng với trọng lượng của cầu trục, xe con và vật nâng, cũng như vị trí của xe con và (ii) tải trọng lớn nhất tại các bánh xe cầu trục tác dụng theo phương ngang tương ứng với gia tốc của cầu trục, gia tốc của xe con và cầu trục bị lệch hướng. Bên cạnh đó, một số ví dụ tính toán khảo sát được minh họa cho trường hợp cầu trục có bốn bánh xe. Đồng thời, một số nhận xét được đưa ra cho việc xác định tải trọng lớn nhất theo phương đứng và phương ngang tại các bánh xe, cũng như việc xác định tải trọng cầu trục tác dụng lên cột khung. Kết quả tính đã chỉ ra rằng tải trọng cầu trục tác dụng lên cột khung theo phương ngang nhà do cầu trục bị lệch hướng có giá trị lớn hơn khá nhiều so với các trường hợp do gia tốc của cầu trục và gia tốc của xe con gây ra.

Từ khóa: EN 1991-3; hệ số động; tải trọng bánh xe; gia tốc cầu trục; gia tốc xe con; cầu trục bị lệch hướng; tải trọng cầu trục; nhà công nghiệp một tầng.

DETERMINATION OF CRANE LOADS ACTING ON SINGLE-STOREY INDUSTRIAL BUILDINGS ACCORDING TO EN 1991-3

Abstract

The paper presents the steps to determine the crane loads acting on single-storey industrial buildings according to EN 1991-3, including determination of (i) the maximum and minimum loads per wheels of the crane which are vertically transmitted on rails corresponding to self-weights of the crane, crab and hoist load as well as the position of the crab and (ii) the maximum loads per wheels of the crane which are horizontally transmitted on rails corresponding to accelerations and decelerations of the crane and crab as well as skewing of the crane. In addition, examples for investigation are presented for the case of overhead travelling cranes with four wheels for industrial buildings. Several comments were made on the determination of the vertical and horizontal pressures at the wheels, as well as that of the crane loads acting on a frame column. The calculation results showed that the crane loads acting on the column in the horizontal direction caused by skewing of the crane are significantly larger than those caused by the accelerations and decelerations of the crane and crab.

Keywords: EN 1991-3; dynamic factors; wheel loads; crane acceleration; crab acceleration; crane skewing; crane loads; single-storey industrial buildings.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(1V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(1V)-06) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Nhà công nghiệp một tầng thường được trang bị các thiết bị cầu trục để nâng và vận chuyển đồ vật trong phạm vi mặt bằng nhà. Các bộ phận chính của cầu trục gồm: dầm cầu trục được di chuyển trên hai thanh ray được đặt trên dầm đỡ cầu trục ở hai đầu; hai động cơ được đặt đối xứng ở hai đầu

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: thuatdv@huce.edu.vn (Thuật, Đ. V.)

của dầm cầu trục để kéo và đẩy cầu trục di chuyển theo phương dọc nhà bằng các bánh xe; các bánh xe dẫn hướng cho cầu trục di chuyển; xe con được đặt ở trên hoặc dưới dầm cầu trục và nó di chuyển theo phương ngang nhà; và móc cầu được gắn với xe con thông qua dây mềm để nâng và hạ vật. Với cấu tạo như vậy, tải trọng từ cầu trục tác dụng lên kết cấu nhà công nghiệp một tầng bao gồm các thành phần tác dụng theo phương đứng và phương ngang. Các thành phần tải trọng này đều có tính chất tác dụng động, có giá trị thay đổi theo thời gian và không gian nhà. Do đó, có thể nói việc xác định tải trọng cầu trục tác dụng lên kết cấu nhà công nghiệp một tầng là khá phức tạp do tính chất thay đổi và liên quan đến nhiều thông số khác nhau [1–6].

EN 1991-3 [1] là một phần trong số nhiều phần thuộc bộ 10 tiêu chuẩn châu Âu, được ký hiệu từ EN 1990 đến EN 1999 [7]. Cũng giống như các phần khác [8], EN 1991-3 cũng đang được Việt Nam nghiên cứu theo cách biên dịch và bổ sung các dữ liệu địa phương để áp dụng phù hợp cho các công trình xây dựng ở Việt Nam. EN 1991-3 đưa ra những quy định mang tính nguyên tắc chung để xác định tải trọng cầu trục tác dụng lên kết cấu công trình. Các mục chú thích trong [1] chính là để chỉ ra những nội dung quy định có thể khác nhau giữa các quốc gia, phụ thuộc vào quan niệm tính cũng như điều kiện tự nhiên, kỹ thuật của mỗi quốc gia. Tiêu chuẩn này quy định nhiều khía cạnh về việc xác định tải trọng cầu trục mà cần được xem xét trong quá trình tính toán thiết kế cấu công trình. Ví dụ, EN 1991-3 đưa ra những quy định để kỹ sư có thể xác định được giá trị tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất tại các bánh xe cầu trục theo những thông số đặc trưng của cầu trục, thay vì chỉ sử dụng những giá trị được cung cấp bởi nhà sản xuất trong quyển mô tả sản phẩm.

Theo EN 1991-3 [1], các thông số được sử dụng để xác định tải trọng cầu trục bao gồm trọng lượng bản thân của cầu trục, xe con và vật nâng; vận tốc và gia tốc của cầu trục và xe con; vị trí của cầu trục và xe con; ma sát giữa mặt ray và bánh xe cầu trục; khe hở mặt bên giữa ray và bánh xe cầu trục; độ nghiêng, lệch của cầu trục; độ cứng của dầm cầu trục và dầm đỡ cầu trục. Tải trọng cầu trục được quy về tác dụng tĩnh lên cột khung bằng cách sử dụng các hệ số động có giá trị khác nhau, tương ứng với các trường hợp nhóm tải trọng khác nhau [1, 2, 9, 10]. Tải trọng cầu trục tác dụng theo phương đứng được gây ra bởi trọng lượng bản thân của cầu trục, xe con và vật nâng. Tải trọng cầu trục tác dụng theo phương ngang được gây ra bởi lực quán tính do tăng tốc, giảm tốc hoặc do hãm phanh của cầu trục cũng như của xe con trong quá trình mang vật nâng và di chuyển trong phạm vi mặt bằng nhà.

Trong bài báo này, các bước xác định tải trọng từ cầu trục tác dụng đứng và ngang lên khung nhà công nghiệp một tầng theo EN 1991-3 được trình bày, bao gồm việc xác định các hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục, xe con và vật nâng; các tình huống được xem xét khi cầu trục có xe con nhưng chưa mang vật nâng và khi cầu trục có mang vật nâng; tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất tại các bánh xe tác dụng lên ray theo phương đứng; tải trọng lớn nhất tại các bánh xe tác dụng lên ray theo phương ngang tương ứng với gia tốc của cầu trục, gia tốc của xe con và cầu trục bị lệch hướng. Bên cạnh đó, một số ví dụ tính toán minh họa và nhận xét cũng được trình bày.

2. Xác định tải trọng theo phương đứng tại các bánh xe cầu trục theo EN 1991-3

2.1. Phương pháp xác định

Thành phần tải trọng theo phương đứng tại các bánh xe cầu trục được xác định với giả thiết coi dầm cầu trục là dầm một nhịp được gối ở hai đầu trên hai ray đặt trên dầm đỡ cầu trục; mỗi bên ray có 2 hoặc 4 bánh xe. Hai vị trí của xe con được xem xét để xác định trường hợp gây bất lợi đối với kết cấu khung gồm: xe con chưa mang vật nâng ở giữa nhịp dầm cầu trục và xe con mang vật nâng ở gần nhất về một bên với ray. Việc xét hai vị trí khác nhau của xe con nhằm xác định được giá trị tải trọng cầu trục lớn nhất và nhỏ nhất truyền xuống ray và dầm đỡ cầu trục thông qua các bánh xe. Tải trọng theo phương đứng tại các bánh xe được xác định bằng trọng lượng của cầu trục, xe con và vật

nâng nhân với các hệ số động tương ứng, nhằm kể đến các yếu tố tác động động gây ra do đường ray không thẳng, không bằng phẳng tại các vị trí nối ray; ray và bánh xe bị mòn; vận tốc nâng hạ vật thay đổi;... EN 1991-3 quy định 4 loại hệ số động dùng để xác định thành phần tải trọng đứng tại các bánh xe cầu trục, được ký hiệu là $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ và φ_4 (Bảng 2.1 của [1]). Khi tính toán kết cấu theo trạng thái giới hạn cực hạn, các hệ số động này được quy định tương ứng với 6 tình huống tải trọng (Bảng 2.2 của [1]).

2.2. Số liệu để tính toán minh họa

Các thông số của cầu trục được sử dụng trong ví dụ tính toán minh họa gồm: cầu trục hai dầm kiểu ZLK GM 6200 L6 FEM 2 m với vận tốc nâng hạ 0,8/5 m/phút, cấp cầu HC3; nhịp cầu trục (khoảng cách giữa hai trục ray) $S = 30$ m; khoảng cách từ mép trong của cột đến trục ray $Z_{\min} = 0,19$ m; khoảng cách gần nhất từ móc nâng vật đến trục ray: khi móc nâng ở vị trí thấp nhất $L_1 = 1,21$ m và khi móc nâng ở vị trí cao nhất $L_2 = 0,83$ m; cầu trục có 4 bánh xe với khoảng cách giữa 2 bánh xe ở một bên ray $a_{ext} = 4,6$ m; trọng lượng của cầu trục (khi không có xe con) $Q_{c1} = 187,05$ kN; trọng lượng của xe con (khi không mang vật nâng) $Q_{c2} = 16,95$ kN và giá trị danh định của trọng lượng vật nâng (sức trục) $Q_h = 200$ kN.

2.3. Các bước xác định và kết quả tính minh họa

Bước 1. Xác định các hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục, xe con và vật nâng (Bảng 1).

Bảng 1. Hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục, xe con và vật nâng

TT	Hệ số động	Giá trị sử dụng
1	Hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục Q_{c1} và xe con Q_{c2} : $0,9 \leq \varphi_1 \leq 1,1$ trong đó $\varphi_1 = 1,1$ là cận trên và $0,9$ là cận dưới (Bảng 2.4 của [1])	$\varphi_1 = 1,1$
2	Hệ số động đối với trọng lượng của vật nâng Q_h : $\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 v_h$ trong đó v_h là vận tốc nâng hạ vật (m/giây) (Bảng 2.4 của [1]); $\varphi_{2,\min}$ và β_2 là các hệ số được xác định phụ thuộc vào cấp cầu (Bảng 2.5 của [1])	$\varphi_2 = 1,193$ trong đó cấp cầu HC3 có $\varphi_{2,\min} = 1,15$ và $\beta_2 = 0,51$; $v_h = 5$ m/phút
3	Hệ số động đối với trọng lượng của vật nâng Q_h khi kể đến một phần được thả xuống hoặc bị rơi đột ngột (Bảng 2.4 của [1])	$\varphi_3 = 1,0$ khi bỏ qua ảnh hưởng động do một phần vật nâng được thả xuống hoặc bị rơi đột ngột
4	Hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục Q_{c1} , xe con Q_{c2} và vật nâng Q_h khi cầu trục di chuyển trên ray (Bảng 2.4 của [1])	$\varphi_4 = 1,0$ khi bỏ qua ảnh hưởng động do cầu trục di chuyển trên ray

Bước 2. Xác định tải trọng bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng (Bảng 2 và 3).

Bảng 2. Tải trọng bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng (Nhóm 1 và 2)

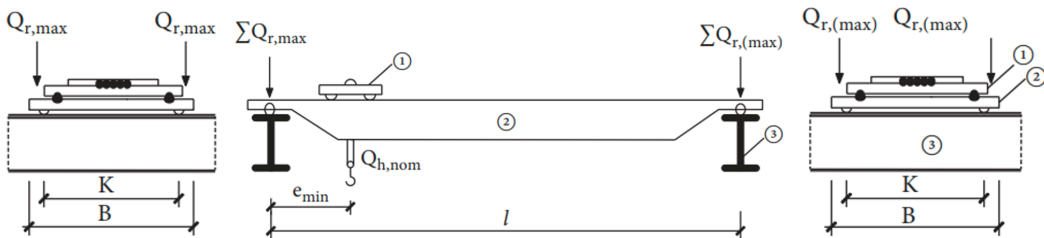
TT	Nhóm 1 và 2	Kết quả minh họa
1	Trọng lượng tính toán của cầu trục khi không có xe con	$Q_{c1,k} = \varphi_1 Q_{c1} = 205,76$ kN
2	Trọng lượng tính toán của xe con	$Q_{c2,k} = \varphi_1 Q_{c2} = 18,65$ kN

TT	Nhóm 1 và 2	Kết quả minh họa
3	Tổng tải trọng nhỏ nhất ở một bên ray khi cầu trục chưa mang vật nâng	$\sum Q_{r,\min} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} = 102,88 \text{ kN}$
4	Tải trọng nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng	$Q_{r,\min} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,\min} = 51,44 \text{ kN}$
5	Tổng tải trọng lớn nhất ở một bên ray khi cầu trục chưa mang vật nâng	$\sum Q_{r,(\min)} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} + Q_{c2,k} = 121,52 \text{ kN}$
6	Tải trọng lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng	$Q_{r,(\min)} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,(\min)} = 60,76 \text{ kN}$

Bảng 3. Tải trọng bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng (Nhóm 3, 4, 5 và 6)

TT	Nhóm 3, 4, 5 và 6	Kết quả minh họa
1	Trọng lượng tính toán của cầu trục khi không có xe con	$Q_{c1,k} = \varphi_4 Q_{c1} = 187,05 \text{ kN}$
2	Trọng lượng tính toán của xe con	$Q_{c2,k} = \varphi_4 Q_{c2} = 16,95 \text{ kN}$
3	Tổng tải trọng nhỏ nhất ở một bên ray khi cầu trục chưa mang vật nâng	$\sum Q_{r,\min} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} = 93,53 \text{ kN}$
4	Tải trọng nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng	$Q_{r,\min} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,\min} = 46,76 \text{ kN}$
5	Tổng tải trọng lớn nhất ở một bên ray khi cầu trục chưa mang vật nâng	$\sum Q_{r,(\min)} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} + Q_{c2,k} = 110,48 \text{ kN}$
6	Tải trọng lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng	$Q_{r,(\min)} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,(\min)} = 55,24 \text{ kN}$

Bước 3. Xác định tải trọng lớn nhất tại bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng (Hình 1 và Bảng 4, 5, 6).



Ghi chú: 1- Xe con; 2- Cầu trục; 3- Dầm đỡ cầu trục; K là khoảng cách giữa hai bánh xe; B là chiều rộng của cầu trục; e_{\min} là khoảng cách gần nhất giữa xe con và trục ray; $Q_{h,nom}$ là trọng lượng của vật nâng

Hình 1. Tải trọng lớn nhất theo phương đứng tại các bánh xe cầu trục khi có mang vật nâng

Bảng 4. Tải trọng lớn nhất tại bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng (Nhóm 1)

TT	Nhóm 1	Kết quả minh họa
1	Trọng lượng tính toán của cầu trục khi không có xe con	$Q_{c1,k} = \varphi_1 Q_{c1} = 205,76 \text{ kN}$
2	Trọng lượng tính toán của xe con	$Q_{c2,k} = \varphi_1 Q_{c2} = 18,65 \text{ kN}$
3	Trọng lượng tính toán của vật nâng	$Q_{h,k} = \varphi_2 Q_h = 238,50 \text{ kN}$
4	Tổng tải trọng nhỏ nhất ở một bên ray khi cầu trục có mang vật nâng	$\sum Q_{r,(\max)} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} = 102,88 \text{ kN}$
5	Tải trọng nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,(\max)} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,(\max)} = 51,44 \text{ kN}$
6	Tổng tải trọng lớn nhất ở một bên ray khi cầu trục có mang vật nâng	$\sum Q_{r,\max} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} + Q_{c2,k} + Q_{h,k} = 360,02 \text{ kN}$
7	Tải trọng lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,\max} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,\max} = 180,01 \text{ kN}$

Bảng 5. Tải trọng bánh xe lớn nhất khi cầu trục có mang vật nâng (Nhóm 2)

TT	Nhóm 2	Kết quả minh họa
1	Trọng lượng tính toán của cầu trục khi không có xe con	$Q_{c1,k} = \varphi_1 Q_{c1} = 205,76 \text{ kN}$
2	Trọng lượng tính toán của xe con	$Q_{c2,k} = \varphi_1 Q_{c2} = 18,65 \text{ kN}$
3	Trọng lượng tính toán của vật nâng	$Q_{h,k} = \varphi_3 Q_h = 238,50 \text{ kN}$
4	Tổng tải trọng nhỏ nhất ở một bên ray khi cầu trục có mang vật nâng	$\sum Q_{r,(\max)} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} = 102,88 \text{ kN}$
5	Tải trọng nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,(\max)} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,(\max)} = 51,44 \text{ kN}$
6	Tổng tải trọng lớn nhất ở một bên ray khi cầu trục có mang vật nâng	$\sum Q_{r,\max} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} + Q_{c2,k} + Q_{h,k} = 321,52 \text{ kN}$
7	Tải trọng lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,\max} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,\max} = 160,76 \text{ kN}$

Bảng 6. Tải trọng bánh xe lớn nhất khi cầu trục có mang vật nâng (Nhóm 4, 5 và 6)

TT	Nhóm 4, 5 và 6	Kết quả minh họa
1	Trọng lượng tính toán của cầu trục khi không có xe con	$Q_{c1,k} = \varphi_4 Q_{c1} = 187,05 \text{ kN}$
2	Trọng lượng tính toán của xe con	$Q_{c2,k} = \varphi_4 Q_{c2} = 16,95 \text{ kN}$

TT	Nhóm 4, 5 và 6	Kết quả minh họa
3	Trọng lượng tính toán của vật nâng	$Q_{h,k} = \varphi_4 Q_h = 200,0 \text{ kN}$
4	Tổng tải trọng nhỏ nhất ở một bên ray khi cầu trục có mang vật nâng	$\sum Q_{r,(max)} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} = 93,53 \text{ kN}$
5	Tải trọng nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,(max)} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,(max)} = 46,76 \text{ kN}$
6	Tổng tải trọng lớn nhất ở một bên ray khi cầu trục có mang vật nâng	$\sum Q_{r,max} = \frac{1}{2} Q_{c1,k} + Q_{c2,k} + Q_{h,k} = 310,48 \text{ kN}$
7	Tải trọng lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,max} = \frac{1}{2} \sum Q_{r,max} = 155,24 \text{ kN}$

Bước 4. Xác định giá trị tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất tại một bánh xe (Bảng 7).

Bảng 7. Tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất tại một bánh xe cầu trục

TT	Tải trọng bánh xe cầu trục	Kết quả minh họa
1	Giá trị nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng	$Q_{r,min} = \min(51,44; 46,76) = 46,76 \text{ kN}$
2	Giá trị lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng, tương ứng với $Q_{r,min}$	$Q_{r,(min)} = 55,24 \text{ kN}$
3	Giá trị lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,max} = \max(180,01; 160,76; 155,24) = 180,01 \text{ kN}$
4	Giá trị nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng, tương ứng với $Q_{r,max}$	$Q_{r,(max)} = 51,44 \text{ kN}$

2.4. Một số nhận xét về tải trọng bánh xe cầu trục theo phương đứng

a) Tải trọng tại các bánh xe cầu trục tác dụng theo phương đứng lên dầm đỡ cầu trục và truyền xuống vai cột được xác định từ các trường hợp: (1) khi cầu trục chưa mang vật nâng và (2) khi cầu trục có mang vật nâng. Các hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục và xe con có giá trị được xác định tương ứng với 6 nhóm tải trọng được xem xét, cụ thể bằng 1, 1,1 hoặc 1,2. Vị trí của xe con được xem xét ở gần nhất với một bên ray, theo đó trọng lượng của xe con và vật nâng được coi truyền toàn bộ về phía ray gần nhất, do vậy về phía ray xa nhất so với xe con thì chỉ bao gồm trọng lượng của cầu trục.

b) Với trường hợp cầu trục chưa mang vật nâng, các hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục và xe con được xác định như sau (Bảng 2, 3): Nhóm tải trọng 1 và 2 sử dụng hệ số động $\varphi_1 = 1,1$ và Nhóm tải trọng 3, 4, 5, 6 sử dụng hệ số động $\varphi_4 = 1,0$.

Tải trọng nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng (ở ray xa nhất so với xe con) được xác định bằng giá trị nhỏ nhất trong số 6 nhóm tải trọng tương ứng với trường hợp không kể đến trọng lượng của xe con, được ký hiệu là $Q_{r,min}$. Tải trọng lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục chưa mang vật nâng (ở ray gần nhất so với xe con) tương ứng với $Q_{r,min}$ được xác định bằng giá trị nhỏ nhất trong số 6 nhóm tải trọng tương ứng với trường hợp coi toàn bộ trọng lượng của xe con

được truyền về phía ray gần nhất với xe con, được ký hiệu là $Q_{r,(min)}$. Trong ví dụ minh họa, $Q_{r,(min)} = 46,763$ kN và $Q_{r,(min)} = 55,238$ kN (Bảng 3).

c) Với trường hợp cầu trục có mang vật nâng, các hệ số động đối với trọng lượng của cầu trục, xe con và vật nâng được xác định như sau (Bảng 4, 5, 6): Nhóm 1 sử dụng hệ số động $\varphi_1 = 1,1$ đối với trọng lượng của cầu trục và xe con và $\varphi_2 = 1,2$ đối với trọng lượng của vật nâng; Nhóm tải trọng 2 sử dụng hệ số động $\varphi_1 = 1,1$ đối với trọng lượng của cầu trục và xe con và $\varphi_2 = 1,0$ đối với trọng lượng của vật nâng; và Nhóm 4, 5 và 6 sử dụng hệ số động $\varphi_1 = 1,0$ đối với trọng lượng của cầu trục và xe con và $\varphi_4 = 1,0$ đối với trọng lượng của vật nâng.

Tải trọng lớn nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng (ở ray gần nhất so với xe con) được xác định bằng giá trị lớn nhất trong số 6 nhóm tải trọng tương ứng với trường hợp coi toàn bộ trọng lượng của xe con và vật nâng được truyền về phía ray gần nhất với xe con, được ký hiệu là $Q_{r,max}$. Tải trọng nhỏ nhất tại một bánh xe khi cầu trục có mang vật nâng (ở ray xa nhất so với xe con) tương ứng với $Q_{r,max}$ được xác định bằng giá trị lớn nhất trong số 6 nhóm tải trọng tương ứng với trường hợp không kể đến trọng lượng của xe con và vật nâng, được ký hiệu là $Q_{r,(max)}$. Trong ví dụ minh họa, $Q_{r,max} = 180,011$ kN (Bảng 4) và $Q_{r,(max)} = 51,439$ kN (Bảng 5).

d) Tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất tại các bánh xe cầu trục được xác định phụ thuộc vào giá trị của hệ số động tương ứng với 6 nhóm tải trọng, cũng như giả thiết coi trọng lượng của xe con và vật nâng truyền toàn bộ đến ray gần nhất so với vị trí của xe con. Bảng 8 tổng hợp kết quả tính tải trọng lớn nhất và nhỏ tại một bánh xe cầu trục tương ứng với 6 nhóm tải trọng.

Bảng 8. Hệ số động và tải trọng theo phương đứng tại một bánh xe tương ứng với các nhóm tải trọng (kN)

Nhóm tải trọng		1	2	3	4	5	6
Các hệ số động để tính theo trạng thái giới hạn cực hạn	φ_1	1,1	1,1	1,0	-	-	-
	φ_2	1,2	-	-	-	-	-
	φ_3	-	1,0	-	-	-	-
	φ_4	-	-	-	1,0	1,0	1,0
Khi cầu trục chưa vật nâng	$Q_{r,(min)}$	60,76	60,76	55,24	55,24	55,24	55,24
	$Q_{r,min}$	51,44	51,44	46,76	46,76	46,76	46,76
Khi cầu trục có mang vật nâng	$Q_{r,(max)}$	51,44	51,44	-	46,76	46,76	46,76
	$Q_{r,max}$	180,01	160,76	-	155,24	155,24	155,24

Bảng 9 trình bày kết quả tính khảo sát giá trị tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất theo phương đứng tại một bánh xe cầu trục cho một số trường hợp cầu trục có sức trục $Q_h = 100$ hoặc 200 kN và nhịp $S = 20$ hoặc 30 m.

3. Xác định tải trọng theo phương ngang tại bánh xe cầu trục theo EN 1991-3

3.1. Phương pháp xác định

Tải trọng cầu trục tác dụng theo phương ngang (gồm phương ngang nhà và dọc nhà) bao gồm 5 trường hợp sau: (1) lực do cầu trục tăng tốc, giảm tốc và hãm phanh khi di chuyển trên ray theo phương dọc nhà; (2) lực do xe con tăng tốc, giảm tốc và hãm phanh khi di chuyển trên dầm cầu trục theo phương ngang nhà; (3) lực do cầu trục bị lệch hướng khi dịch chuyển theo phương dọc nhà; (4) lực đệm do cầu trục di chuyển và (5) lực đệm do xe con di chuyển. Hai trường hợp đầu thường được xem xét để tính toán dầm đỡ cầu trục. Trường hợp thứ 3 thường được xem xét cùng với trường hợp thứ 5. Hai trường hợp cuối được xem xét là trường hợp tác dụng bất thường. Dưới đây chỉ trình bày cho 3 trường hợp đầu, không xét 2 trường hợp cuối gây ra bởi lực đệm.

3.2. Các bước xác định và kết quả tính minh họa

Bước 1. Xác định tổng lực đẩy cầu trục theo phương dọc nhà (Hình 2).

Tổng lực đẩy cầu trục theo phương dọc nhà được xác định như sau (2.7.3(3) của [1]):

$$K = K_1 + K_2 = \mu \sum Q_{r,\min}^* = 18,705 \text{ kN}$$

với $\sum Q_{r,\min}^* = m_w Q_{r,\min} = 93,523 \text{ kN}$

trong đó K_1 và K_2 là lực đẩy cầu trục từ hai mô tơ tương ứng với lực ma sát trên hai ray; hệ số ma sát trên mặt ray giữa thép với thép $\mu = 0,2$ và số lượng bánh xe truyền động đơn $m_w = 2$.

Bước 2. Xác định hệ số động đối với lực tác dụng theo phương ngang:

Hệ số động đối với lực tác dụng theo phương ngang trong trường hợp cầu trục di chuyển đều đặn được xác định: $1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$ trong đó giá trị 1,5 là cận trên và 1,0 là cận dưới. Giá trị cận trên được kiến nghị sử dụng, $\varphi_5 = 1,5$.

Bước 3. Xác định lực tác dụng theo phương dọc nhà ở một bên ray:

Lực tác dụng theo phương dọc nhà ở một bên ray được xác định như sau (2.7.2(2) của [1]):

$$H_{L,1} = H_{L,2} = \varphi_5 K \frac{1}{n_r} = 14,029 \text{ kN}$$

trong đó n_r là số lượng dầm đỡ cầu trục (số lượng ray), $n_r = 2$.

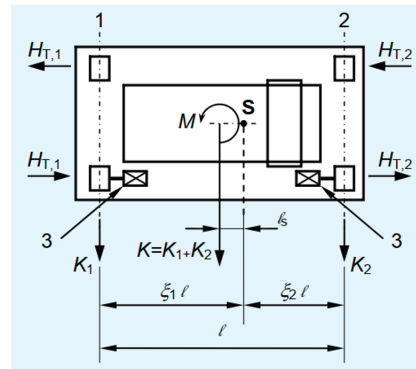
Bước 4. Xác định lực tác dụng theo phương ngang nhà tại một bánh xe do gia tốc của cầu trục:

Lực tác dụng tại một bánh xe trên ray bên trái (Hình 1) (2.7.2(3) của [1]):

$$H_{T,1} = \varphi_5 \xi_2 \frac{M}{a_{ext}} = 37,758 \text{ kN}$$

Bảng 9. Tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất theo phương đứng tại một bánh xe cầu trục với nhịp cầu trục và sức trục khác nhau

TT	Nhịp (m) và sức trục (kN)	Trọng lượng cầu trục và xe con (kN)	Tải trọng bánh xe (kN)	
			Ray bên trái	Ray bên phải
1	$S = 30$	$Q_{c1} = 187,05$	$Q_{r,\min} = 46,76$	$Q_{r,(\min)} = 55,24$
	$Q_h = 200$	$Q_{c2} = 16,95$	$Q_{r,\max} = 180,01$	$Q_{r,(\max)} = 51,44$
2	$S = 30$	$Q_{c1} = 154,6$	$Q_{r,\min} = 38,65$	$Q_{r,(\min)} = 43,05$
	$Q_h = 100$	$Q_{c2} = 8,8$	$Q_{r,\max} = 106,98$	$Q_{r,(\max)} = 42,52$
3	$S = 20$	$Q_{c1} = 98$	$Q_{r,\min} = 24,5$	$Q_{r,(\min)} = 32$
	$Q_h = 200$	$Q_{c2} = 15$	$Q_{r,\max} = 154,45$	$Q_{r,(\max)} = 26,95$
4	$S = 20$	$Q_{c1} = 63,6$	$Q_{r,\min} = 15,9$	$Q_{r,(\min)} = 19,9$
	$Q_h = 100$	$Q_{c2} = 8$	$Q_{r,\max} = 81,52$	$Q_{r,(\max)} = 17,49$



Ghi chú: 1 và 2- Ray; 3- Mô tơ

Hình 2. Lực đẩy cầu trục và lực tác dụng lên ray theo phương ngang nhà

Lực tác dụng tại một bánh xe trên ray bên phải (tương ứng với $H_{T,1}$):

$$H_{T,2} = \varphi_5 \xi_1 \frac{M}{a_{ext}} = 11,374 \text{ kN}$$

trong đó $\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,(max)}}{\sum Q_r} = 0,2315$; $\xi_2 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = 1 - \xi_1 = 0,7685$; $\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)} = 404,0 \text{ kN}$; $M = Kl_s = 150,67 \text{ kNm}$; $l_s = (\xi_2 - 0,5)l = 8,055 \text{ m}$; $l = S = 30,0 \text{ m}$ và $a_{ext} = 4,6 \text{ m}$ là khoảng cách giữa 2 bánh xe của cầu trục (cầu trục 4 bánh).

Bước 5. Lực tác dụng theo phương ngang nhà tại một bánh xe do cầu trục bị lệch hướng:
Góc lệch hướng của cầu trục so với trục ray (Bảng 2.7 của [1]):

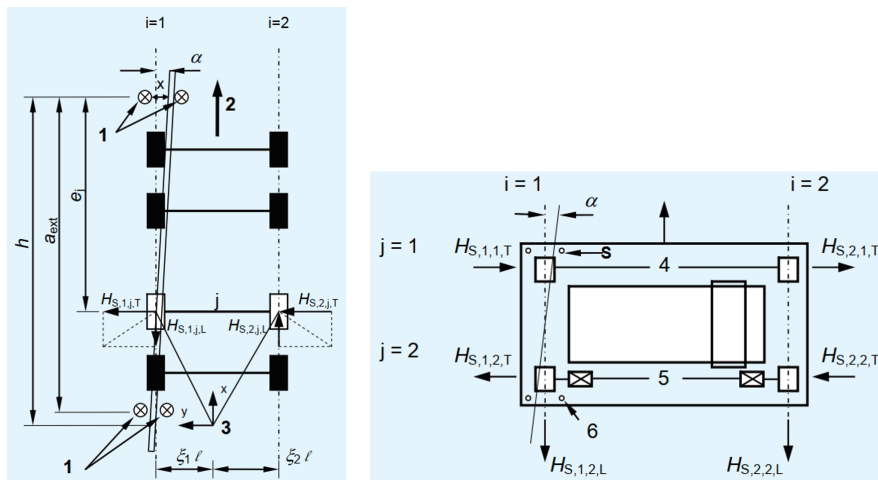
$$\alpha = \alpha_F + \alpha_v + \alpha_0 = 0,0047 \leq 0,015 \text{ rad}$$

trong đó $\alpha_F = \frac{0,75x}{a_{ext}} = \frac{10}{a_{ext}} = 0,0022 \text{ rad}$; $\alpha_v = \frac{y}{a_{ext}} = \frac{0,10b}{a_{ext}} = 0,0015 \text{ rad}$; $\alpha_0 = 0,001 \text{ rad}$; $a_{ext} = 4,6 \text{ m}$ và chiều rộng mặt ray $b = 0,07 \text{ m}$.

Khoảng cách giữa tâm xoay đến thiết bị dẫn hướng cầu trục theo phương dọc nhà (Hình 3) đối với trường hợp loại bánh xe cố định, tổ hợp cặp bánh xe độc lập IFF (Bảng 2.8 của [1]):

$$h = \frac{m\xi_1\xi_2l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{\sum e_j^2}{\sum e_j} = 4,6 \text{ m}$$

trong đó $m = 0$ cho cặp bánh xe độc lập và e_j là khoảng cách từ cặp bánh xe thứ j đến thiết bị dẫn hướng cầu trục: $e_1 = 0$; $e_2 = a_{ext} = 4,6 \text{ m}$; $\sum e_j = 4,6 \text{ m}$ và $\sum e_{2j} = 21,16 \text{ m}^2$.



Ghi chú: 1, 6- Hệ thống dẫn hướng; 2- Hướng động cơ; 3- Tâm xoay tức thời; 4, 5- Trục bánh xe;
 α là góc lệch hướng; i là trục ray; j là trục bánh xe

Hình 3. Lực tác dụng lên ray do cầu trục bị lệch hướng

Lực tác dụng theo phương ngang tại các bánh xe:

$$H_{S,i,j,L} = f \lambda_{S,i,j,L} \sum Q_r \quad (1)$$

trong đó $f = 0,3[1 - \exp(-250\alpha)] = 0,2073 \leq 0,3$; $\alpha = 0,0047 \text{ rad}$; $\lambda_{S,i,j,L}$ là hệ số tương ứng với ray thứ i và cặp bánh xe thứ j và $\sum Q_r = 404,0 \text{ kN}$.

Hệ số đối với lực tác dụng theo phương dọc nhà và ngang nhà tại mỗi bánh xe đối với loại bánh xe IFF (Bảng 2.9 của [1]):

$$\lambda_{S,1,1,L} = \lambda_{S,1,2,L} = \lambda_{S,2,1,L} = \lambda_{S,2,2,L} = 0$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = 0,3843;$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = 0;$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = 0,1157;$$

$$\lambda_{S,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = 0$$

trong đó $e_1 = 0; e_2 = h = 4,6$ m; số lượng bánh xe cầu trục ở một bên ray $n = 2; \xi_1 = 0,2315$ và $\xi_2 = 1 - \xi_1 = 0,7685$.

Lực tác dụng theo phương dọc nhà tại mỗi bánh xe:

$$H_{S,1,1,L} = H_{S,1,2,L} = H_{S,2,1,L} = H_{S,2,2,L} = 0$$

Lực tác dụng theo phương ngang nhà tại mỗi bánh xe:

$$H_{S,1,1,T} = 32,174 \text{ kN}; H_{S,1,2,T} = H_{S,2,2,T} = 0; H_{S,2,1,T} = 9,692 \text{ kN}$$

Tổng lực tác dụng theo phương ngang nhà:

$$S = \sum H_{S,i,j,T} = 32,174 + 0 + 9,692 + 0 = 41,865 \text{ kN}$$

Bước 6. Lực tác dụng theo phương ngang nhà tại một bánh xe do gia tốc của xe con:

Lực tác dụng theo phương ngang nhà tại một bánh xe do gia tốc của xe con:

$$H_{T,3} = 0,1 (Q_{c,2} + Q_h) = 21,695 \text{ kN}$$

3.3. Một số nhận xét về tải trọng bánh xe cầu trục theo phương ngang

- Tải trọng tại các bánh xe cầu trục tác dụng theo phương ngang được xác định từ các trường hợp:

(1) Do lực quán tính gây ra bởi khối lượng của cầu trục, xe con và vật nâng khi cầu trục di chuyển có gia tốc và vị trí của xe con mang vật nâng ở gần nhất với một bên ray; (2) Do lực quán tính gây ra bởi khối lượng của xe con và vật nâng khi xe con di chuyển có gia tốc và vị trí của xe con mang vật nâng ở gần nhất với một bên ray và (3) Do cầu trục bị lệch hướng so với trục ray trong quá trình cầu trục di chuyển và vị trí của xe con mang vật nâng ở gần nhất với một bên ray. Các lực ngang này truyền từ cầu trục đến ray thông qua lực ma sát giữa các bánh xe cầu trục và mặt ray.

- Lực đẩy cầu trục di chuyển theo phương dọc nhà được xác định bằng lực ma sát giữa các bánh xe cầu trục với mặt ray, trong đó tải trọng theo phương đứng được xác định bằng trọng lượng của cầu trục khi không có xe con và hệ số động của lực đẩy cầu trục theo phương dọc nhà $\varphi_5 = 1,5$. Lực đẩy cầu trục theo phương dọc nhà ở hai bên ray được coi cân bằng nhau.

- Tải trọng từ xe con mang vật nâng tác dụng theo phương ngang nhà được xác định với giả thiết gia tốc của xe con bằng $0,1g$ với g là gia tốc trọng trường. Lực này được coi chỉ tác dụng ở một bên ray gần nhất với xe con mang vật nâng.

- Tải trọng do cầu trục bị lệch hướng tác dụng theo phương ngang nhà được xác định tương ứng với góc lệch hướng trong khoảng 0,001 đến 0,015 rad (hoặc 0,06 đến 0,86 độ), phụ thuộc vào khoảng cách giữa 2 bánh xe cầu trục theo phương dọc nhà, khe hở bên cạnh giữa thành bánh xe cầu trục và ray (khoảng 10 mm) và độ sai lệch của ray (khoảng 10% bề rộng mặt ray). Vị trí của xe con mang vật nâng nằm gần nhất với một bên ray dẫn đến cầu trục có thể bị lệch hướng trong quá trình di chuyển dọc nhà.

4. Xác định tải trọng cầu trục tác dụng lên cột khung theo EN 1991-3

Tổng tải trọng từ cầu trục tác dụng lên cột khung nhà công nghiệp một tầng gồm hai thành phần theo phương đứng và phương ngang nhà, được xác định bằng phương pháp đường ảnh hưởng với các tải trọng tập trung đặt tại các vị trí bánh xe cầu trục tỳ trên ray và truyền qua dầm đỡ cầu trục. Đối với nhà công nghiệp một tầng một nhịp, thành phần tải trọng theo phương đứng và phương ngang được xác định tương ứng với số lượng tối đa là 3 và 2 cầu trục cùng hoạt động trong một nhịp nhà (Bảng 2.3 của [1]).

Trường hợp có 2 cầu trục giống nhau cùng hoạt động trong một nhịp nhà thì vị trí của chúng gây nguy hiểm cho cột khung là khi hai cầu trục được đặt sát nhau với một bánh xe ở trong có vị trí trùng với mặt phẳng trục cột khung [9]. Các tung độ của đường ảnh hưởng được xác định phụ thuộc vào khoảng cách giữa các bánh xe cầu trục so với trục của cột. Trong ví dụ minh họa, sơ đồ tính dầm đỡ cầu trục được coi là dầm đơn giản kê trên hai vai cột, với nhịp bằng bước khung $B = 7$ m. Bảng 10 chỉ ra kết quả xác định tải trọng cầu trục tác dụng theo phương đứng lên vai cột, trong đó tổng các tung độ của đường ảnh hưởng tương ứng với 4 vị trí bánh xe của 2 cầu trục đặt sát nhau ở một bên ray $y_t = 0,3429 + 1,0 + 0,8557 + 0,1986 = 2,3971$ và trọng lượng của dầm đỡ cầu trục và ray $Q_{c3} = 12,04$ kN.

Bảng 10. Tải trọng cầu trục theo phương đứng tác dụng lên vai cột

TT	Tải trọng	Kết quả
1	Tải trọng nhỏ nhất từ cầu trục tác dụng lên vai cột trái	$Q_{cb,\min} = Q_{r,\min}y_t + Q_{c3} = 124,136$ kN
2	Tải trọng tương ứng với $Q_{cb,\min}$ từ cầu trục tác dụng tại lên cột phải	$Q_{cb,(\min)} = Q_{r,(\min)}y_t + Q_{c3} = 144,452$ kN
3	Tải trọng lớn nhất từ cầu trục tác dụng lên vai cột trái	$Q_{cb,\max} = Q_{r,\max}y_t + Q_{c3} = 443,553$ kN
4	Tải trọng tương ứng với $Q_{cb,\max}$ từ cầu trục tác dụng lên vai cột phải	$Q_{cb,(\max)} = Q_{r,(\max)}y_t + Q_{c3} = 135,346$ kN

Thành phần tải trọng cầu trục tác dụng theo phương ngang nhà lên cột khung (tại cao trình mặt trên của dầm đỡ cầu trục) được xác định tương ứng với 3 trường hợp tải trọng tại các bánh xe cầu trục như đã trình bày ở mục 3.

Với trường hợp do gia tốc của cầu trục, tải trọng ngang lớn nhất tác dụng lên cột bên trái $H_{T,\max} = H_{T,1}y_{t,1} = 49,624$ kN trong đó tổng các tung độ của đường ảnh hưởng tại 4 vị trí bánh xe trên ray trái $y_{t,1} = -0,3429 + 1,0 + 0,8557 - 0,1986 = 1,3143$ (với giá trị dương hoặc âm tương ứng với tải trọng bánh xe hướng sang trái hoặc phải) và tải trọng ngang nhỏ nhất tương ứng với $H_{T,\max}$ tác dụng lên cột bên phải $H_{T,\min} = H_{T,2}y_{t,1} = 14,948$ kN trong đó $H_{T,2} = 11,374$ kN.

Với trường hợp do gia tốc của xe con, tải trọng ngang lớn nhất tác dụng lên cột bên trái $H_{T,3,\max} = H_{T,3}y_{t,3} = 52,006$ kN trong đó $y_{t,3} = 2,3971$ và $H_{T,3} = 21,695$ kN.

Với trường hợp do cầu trục bị lệch hướng, tải trọng ngang lớn nhất tác dụng lên cột bên trái $H_{T,max} = H_{S,1,1,T}y_{t,2} = 59,705$ kN trong đó $H_{S,1,1,T} = 32,174$ kN và tổng các tung độ của đường ảnh hưởng tại 2 vị trí bánh xe gần với cột $y_{t,2} = 1,0 + 0,8557 = 1,8557$ (tại 2 vị trí bánh xe còn lại không xét vì không có tải trọng tác dụng lên ray) và tải trọng ngang nhỏ nhất tác dụng lên cột bên trái $H_{T,min} = H_{S,2,1,T}y_{t,2} = 17,985$ kN trong đó $H_{S,2,1,T} = 9,692$ kN. Trong trường hợp này, cả 2 cầu trục được giả thiết cùng gây ra tải trọng tác dụng cùng chiều lên cột, gây bất lợi cho cột.

Bảng 11 chỉ ra kết quả tính toán tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất theo phương ngang nhà từ các bánh xe cầu trục tác dụng lên cột trái và cột phải của khung tương ứng với các giá trị khác nhau của trọng lượng vật nâng và nhịp cầu trục. Trong 4 trường hợp khảo sát, kết quả đều cho thấy trường hợp cầu trục bị lệch hướng luôn gây ra tải trọng lớn nhất tác dụng lên cột. Thành phần tải trọng ngang được xác định từ tổ hợp bất lợi của 2 cầu trục với giả thiết coi chúng độc lập với nhau trong quá trình vận hành cũng như khi tác động lực lên ray và truyền xuống dầm đỡ cầu trục. EN 1991-3 không quy định hệ số tổ hợp cho trường hợp có nhiều cầu trục cùng hoạt động trong một nhịp. TCVN 2737:2023 [5] không xét trường hợp tải trọng ngang do cầu trục bị lệch hướng.

Bảng 11. Tải trọng từ cầu trục tác dụng lên cột khung theo phương ngang nhà

TT	Thông số cầu trục (kN, m)	Các trường hợp gây lực ngang nhà	Tải trọng ngang (kN)	
			Cột trái	Cột phải
1	$Q_h = 200; S = 30$ $Q_{c1} = 187,05$ $Q_{c2} = 16,95$	a. Do gia tốc của cầu trục	49,624	14,948
		b. Do gia tốc của xe con	52,006	-
		c. Do cầu trục bị lệch hướng	59,705	17,985
2	$Q_h = 100; S = 30$ $Q_{c1} = 154,6$ $Q_{c2} = 8,8$	a. Do gia tốc của cầu trục	29,005	12,408
		b. Do gia tốc của xe con	26,081	-
		c. Do cầu trục bị lệch hướng	35,787	14,865
3	$Q_h = 200; S = 20$ $Q_{c1} = 98$ $Q_{c2} = 15$	a. Do gia tốc của cầu trục	24,333	4,516
		b. Do gia tốc của xe con	51,539	-
		c. Do cầu trục bị lệch hướng	52,036	9,658
4	$Q_h = 100; S = 20$ $Q_{c1} = 63,6$ $Q_{c2} = 8$	a. Do gia tốc của cầu trục	13,976	3,179
		b. Do gia tốc của xe con	25,889	-
		c. Do cầu trục bị lệch hướng	27,738	6,310

5. Kết luận

Dưới đây là một số nhận xét khi áp dụng EN 1991-3 để xác định tải trọng cầu trục tác dụng lên nhà công nghiệp một tầng:

- Tải trọng lớn nhất và nhỏ nhất tại các bánh xe cầu trục theo phương đứng và phương ngang nhà có thể được xác định từ các thông số của cầu trục được cung cấp bởi nhà sản xuất. Tình trạng của cầu trục gây bất lợi cho cột được xem xét khi xe con có mang hoặc chưa mang vật nâng và vị trí của nó ở gần nhất so với một bên ray.

- Thành phần tải trọng theo phương đứng tại các bánh xe cầu trục được xác định từ các trường hợp: (1) cầu trục chưa mang vật nâng và (2) cầu trục có mang vật nâng. Các hệ số động để tính trọng lượng của cầu trục, xe con và vật nâng được quy định tương ứng với 6 tình huống nhóm tải trọng, có giá trị bằng 1; 1,1 hoặc 1,2.

- Thành phần tải trọng theo phương ngang nhà tại các bánh xe cầu trục được xác định từ các trường hợp: (1) lực quán tính gây ra bởi cầu trục có mang vật nâng di chuyển có gia tốc; (2) lực quán tính gây ra bởi xe con có mang vật nâng di chuyển có gia tốc và (3) lực do cầu trục bị lệch hướng so với trục ray khi cầu trục di chuyển.

- Tải trọng từ cầu trục tác dụng lên cột khung thông qua dầm đỡ cầu trục được tổ hợp từ các thành phần tải trọng tại các bánh xe cầu trục. Kết quả tính đã chỉ ra rằng tải trọng cầu trục tác dụng lên cột khung theo phương ngang nhà do cầu trục bị lệch hướng có giá trị lớn hơn khá nhiều so với các trường hợp do gia tốc của cầu trục và gia tốc của xe con gây ra. Cụ thể, khi xét 2 cầu trục giống nhau cùng hoạt động trong một nhịp nhà, giá trị tải trọng này lớn hơn đến 2,1 lần so với trường hợp do gia tốc của cầu trục và 1,4 lần so với trường hợp do gia tốc của xe con (Bảng 11). Ngoài ra, khi xét chỉ một cầu trục hoạt động trong nhịp nhà thì giá trị so sánh tương ứng lên đến 2,6 và 1,3 lần.

Tài liệu tham khảo

- [1] EN 1991-3:2006. *Eurocode 1 - Actions on structures; Part 3: Actions induced by cranes and machinery.*
- [2] EN 1993-6:2007. *Eurocode 3 - Design of steel structures; Part 6: Crane supporting structures.*
- [3] EN 1990 (2005). *Eurocode: Basics of structural design.* Brussels, Belgium.
- [4] *Steel Buildings in Europe: Single-storey steel buildings - Part 3: Actions.*
- [5] TCVN 2737:2023. *Tải trọng và tác động.*
- [6] TCVN 5575:2012. *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế.*
- [7] European Commission. <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/en/eurocodes>.
- [8] Thuật, Đ.V. và cs. (2022). *Xây dựng hướng dẫn thiết kế kết cấu thép cho nhà công nghiệp một tầng theo tiêu chuẩn châu Âu.* Báo cáo đề tài Bộ Xây dựng, mã số RD 17-21.
- [9] Thuật, Đ. V., Toàn, T. Q. (2023). *Xác định tải trọng gió tác dụng lên nhà công nghiệp một tầng theo EN 1991-1-4 và so sánh với TCVN 2737:1995.* *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCNXD) - ĐHXDHN*, 17(3V):100–115.
- [10] Thuật, Đ. V., Hòa, N. Đ., Chương, H. V., Khánh, T. D. (2019). *Khung nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục được thiết kế chịu tải trọng động đất và gió.* *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN*, 13(5V):9–19.