

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 13700:2023

ISO/TS 15066:2016

Xuất bản lần 1

RÔ BỐT VÀ CƠ CẤU RÔ BỐT – RÔ BỐT HỢP TÁC

Robots and robotic devices – Collaborative robots

HÀ NỘI – 2023

Lời nói đầu

TCVN 13700:2023 hoàn toàn tương đương ISO 15066:2016

TCVN 13700:2023 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 299, *Robot* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Rô bốt và cơ cấu rô bốt – Rô bốt hợp tác

Robots and robotic devices – Collaborative robots

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các yêu cầu về an toàn cho các thiết bị rô bốt hợp tác công nghiệp và môi trường làm việc và bổ sung các yêu cầu và hướng dẫn về hoạt động của rô bốt hợp tác công nghiệp được cho trong TCVN 13229-1 (ISO 10218-1) và TCVN 13229-2 (ISO 10218-2).

Tiêu chuẩn này áp dụng cho các thiết bị rô bốt công nghiệp như đã mô tả trong TCVN 13229-1 (ISO 10218-1) và TCVN 13229-2 (ISO 10218-2). Tiêu chuẩn không áp dụng cho các rô bốt phi công nghiệp mặc dù các nguyên tắc về an toàn đã giới thiệu có thể có ích cho các lĩnh vực rô bốt khác.

CHÚ THÍCH Tiêu chuẩn này không áp dụng cho các ứng dụng về hợp tác được thiết kế trước khi công bố tiêu chuẩn này.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn có ghi năm công bố thì chỉ áp dụng phiên bản đã nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, nếu có.

TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), *Rô bốt và các bộ phận cấu thành rô bốt – Yêu cầu an toàn cho rô bốt công nghiệp – Phần 1: Rô bốt*

TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), *Rô bốt và các bộ phận cấu thành rô bốt – Yêu cầu an toàn cho rô bốt công nghiệp – Phần 2: Hệ thống rô bốt và sự tích hợp*

ISO 12100, *Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction* (An toàn máy – Các nguyên tắc chung cho thiết kế - Đánh giá rủi ro và giảm rủi ro)

TCVN 6719 (ISO 13850), *An toàn máy – Dừng khẩn cấp – Nguyên tắc thiết kế*

TCVN 7386 (ISO 13855), *An toàn máy – Định vị che chắn bảo vệ đối với tốc độ tiếp cận của các bộ phận cơ thể con người*

TCVN 12669-1 (IEC 60204-1), *An toàn máy – Thiết bị điện của máy – Phần 1: Yêu cầu chung*.

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa được cho trong TCVN 13229-1 (ISO 10218-1), TCVN 13229-2 (ISO 10218-2) và ISO 12100 và các thuật ngữ định nghĩa sau.

3.1

Hoạt động hợp tác (collaborative operation)

Trạng thái trong đó các rô bốt được thiết kế có mục đích làm việc có hợp tác trực tiếp với một người trong phạm vi không gian làm việc xác định.

[NGUỒN: TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 3.4, đã sửa đổi]

3.2

Công suất (power)

Công suất cơ học (mechanical power)

Mức sinh công cơ học hoặc tổng năng lượng tiêu thụ trong một đơn vị thời gian

Chú thích Công suất không có liên quan với công suất điện danh nghĩa trên một thiết bị điện tử, như là một mô tơ (động cơ).

3.3

Không gian làm việc hợp tác (collaborative workspace)

Không gian làm việc trong phạm vi không gian bảo vệ trong đó rô bốt và một người có thể thực hiện các tác vụ đồng thời trong quá trình vận hành sản xuất.

Chú thích Xem Hình 1

[NGUỒN: TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 3.5, đã sửa đổi]

3.4

Tiếp xúc tựa tĩnh (quasi-static contact)

Tiếp xúc giữa một người vận hành và bộ phận của một thiết bị rô bốt trong đó có thể bộ phận thân thể của người vận hành bị kẹp giữa phần chuyển động và phần cố định của thiết bị rô bốt hoặc phần chuyển động khác.

3.5

Tiếp xúc chuyển tiếp (transient contact)

Tiếp xúc giữa một người vận hành và bộ phận của một thiết bị rô bốt trong đó bộ phận thân thể của người vận hành không bị kẹp giữa phần chuyển động và phần cố định của thiết bị rô bốt hoặc phần chuyển động khác.

3.6

Khoảng cách bảo vệ an toàn (protective separation distance)

Khoảng cách ngắn nhất cho phép giữa bất kỳ bộ phận chuyển động nguy hiểm nào của thiết bị rô bốt và bất cứ người nào trong không gian làm việc hợp tác.

Chú thích Khoảng cách này có thể cố định hoặc thay đổi.

3.7

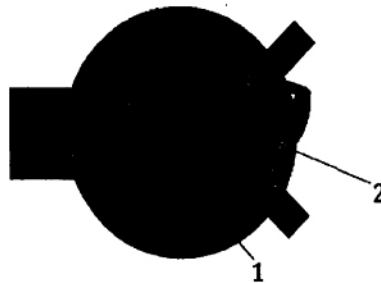
Mô hình thân thể (body model)

Biểu thị của thân thể người gồm các phần thân thể riêng được đặc trưng bởi các đặc tính cơ sinh học.

4 Thiết kế hệ thống rô bốt hợp tác công nghiệp

4.1 Quy định chung

TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011) quy định các yêu cầu an toàn cho tổ hợp các rô bốt công nghiệp và các thiết bị rô bốt, bao gồm cả các thiết bị rô bốt hợp tác. Các đặc tính vận hành của thiết bị rô bốt hợp tác khác biệt đáng kể so với các đặc tính vận hành của thiết bị rô bốt truyền thống và các máy cũng như thiết bị khác. Trong các hoạt động của rô bốt hợp tác, các người vận hành có thể làm việc rất gần thiết bị rô bốt trong khi các cơ cấu dẫn động của rô bốt sẵn có năng lượng và sự tiếp xúc vật lý giữa một người vận hành và thiết bị rô bốt có thể xảy ra trong phạm vi của không gian làm việc hợp tác. Xem Hình 1.



Chú dẫn

- 1 không gian hoạt động
- 2 không làm việc hợp tác

Hình 1 – Ví dụ về không gian làm việc hợp tác

Bất cứ thiết kế nào của thiết bị rô bốt hợp tác đều đòi hỏi phải có các biện pháp bảo vệ để bảo đảm an toàn cho người vận hành tại mọi thời điểm trong quá trình hoạt động của rô bốt hợp tác. Cần thiết phải có sự đánh giá rủi ro, để nhận biết các mối nguy hiểm và dự đoán các rủi ro gắn liền với một ứng dụng của thiết bị rô bốt hợp tác sao cho có thể lựa chọn các biện pháp giảm rủi ro thích hợp.

4.2 Thiết kế ứng dụng hợp tác

Quá trình chủ yếu trong thiết kế thiết bị rô bốt hợp tác và lắp đặt đơn nguyên sản xuất dùng rô bốt là loại bỏ các mối nguy hiểm và giảm rủi ro và có thể bao gồm hoặc ảnh hưởng đến thiết kế môi trường làm việc. Phải quan tâm đến các yếu tố sau:

- a) Các giới hạn được xác lập (ba chiều) của không gian làm việc hợp tác;
- b) Không gian làm việc hợp tác, lối vào và khoảng hở
 - 1) vẽ phác họa không gian hạn chế và không gian làm việc hợp tác;
 - 2) các ảnh hưởng tác động đến không gian làm việc hợp tác (ví dụ, bảo quản vật liệu, các yêu cầu về trình tự công nghệ gia công, các vật cản);
 - 3) nhu cầu về các khoảng hở xung quanh các vật cản như đồ gá, thiết bị và các cột đỡ nhà;
 - 4) khả năng tiếp cận được của người vận hành;
 - 5) sự tiếp xúc theo dự định và hợp lý thấy trước được giữa các bộ phận của thiết bị rô bốt và một người vận hành;
 - 6) các đường đi lui tới của các người vận hành, di chuyển vật liệu tới không gian làm việc hợp tác;
 - 7) các mối nguy hiểm có liên quan đến trượt, lật quần áo và ngã (ví dụ, sự rò của cáp, các dây cáp, các bề mặt không bằng phẳng, các xe cút kít);
- c) Công thái học và giao diện giữa người và thiết bị:
 - 1) sự rõ ràng, sáng sủa của các cơ cấu điều khiển;
 - 2) ứng suất mỗi có thể có hoặc thiếu tập trung xuất hiện từ hoạt động hợp tác;
 - 3) lỗi, sai sót hoặc sử dụng sai (có ý hoặc vô ý) của người vận hành;
 - 4) cách vận hành của người vận hành có thể thể hiện lên hoạt động của thiết bị rô bốt và thiết bị có liên quan;
 - 5) mức đào tạo yêu cầu và kỹ năng của người vận hành;
 - 6) các giới hạn cơ sinh học được chấp nhận trong hoạt động theo dự định và sử dụng sai hợp lý thấy trước được;
 - 7) khả năng có hậu quả của tiếp xúc đơn hoặc tiếp xúc lặp lại;
- d) Các giới hạn sử dụng:
 - 1) mô tả các tác vụ bao gồm cả sự đào tạo yêu cầu và kỹ năng của người vận hành;
 - 2) nhận biết người (nhóm người) tiếp cận thiết bị rô bốt hợp tác;
 - 3) các tình huống tiếp xúc có khả năng được dự tính và không được dự tính;

- 4) hạn chế tiếp cận chỉ cho những người vận hành được phép;
- e) Sự chuyển tiếp (các giới hạn thời gian):
 - 1) bắt đầu và kết thúc hoạt động hợp tác;
 - 2) các chuyển tiếp từ hoạt động hợp tác sang các kiểu hoạt động khác.

4.3 Nhận biết mối nguy hiểm và đánh giá rủi ro

4.3.1 Quy định chung

Thiết bị phân tích phải tiến hành đánh giá rủi ro cho hoạt động hợp tác như đã quy định trong TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 4.3. Phải tính đến sự quan tâm đặc biệt về các tình huống tiếp xúc có khả năng được dự định hoặc không được dự định hợp lý thấy trước được giữa một người vận hành và thiết bị rô bốt, cũng như khả năng tiếp cận được mong đợi của một người vận hành để hợp tác với nhau trong không gian làm việc hợp tác.

Người sử dụng nên tham gia vào đánh giá rủi ro và thiết kế không gian làm việc. Thiết bị phân tích chịu trách nhiệm về phối hợp sự tham gia này và về lựa chọn các bộ phận thích hợp của thiết bị rô bốt dựa trên các yêu cầu của ứng dụng.

4.3.2 Nhận biết mối nguy hiểm

Danh sách các mối nguy hiểm quan trọng đối với rô bốt và các thiết bị rô bốt được cho trong TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), Phụ lục A là kết quả của sự nhận biết các mối nguy hiểm đã được thực hiện như đã quy định trong ISO 12100. Các mối nguy hiểm bổ sung (ví dụ, khói, khí ga, hóa chất và vật liệu nóng) có thể được tạo ra bởi các ứng dụng hợp tác riêng (ví dụ, hàn, lắp ráp, mài hoặc phay). Các mối nguy hiểm này phải được gửi đến một cơ sở riêng nhờ đánh giá rủi ro cho ứng dụng hợp tác riêng.

Quá trình nhận biết mối nguy hiểm phải quan tâm đến ít nhất là các vấn đề sau:

- a) Các mối nguy hiểm có liên quan đến rô bốt, bao gồm:
 - 1) các đặc tính của rô bốt (ví dụ, tải trọng, vận tốc, lực, động lượng, mô men xoắn, công suất, hình học, hình dạng bề mặt và vật liệu);
 - 2) các tình trạng tiếp xúc tựa tĩnh trong rô bốt;
 - 3) vị trí của người vận hành có liên quan đến tiếp cận rô bốt (ví dụ, làm việc dưới rô bốt);
- b) Các mối nguy hiểm có liên quan đến thiết bị rô bốt bao gồm:
 - 1) các mối nguy hiểm của đầu mút bộ phận tác động và chi tiết gia công, bao gồm không có thiết kế công thái học, các cạnh sắc, phế liệu của chi tiết gia công, các phần nhô ra, làm việc với bộ thay dụng cụ;
 - 2) vận động của người vận hành và vị trí có liên quan đến định vị các chi tiết, định hướng các kết cấu (ví dụ, các đồ gá, cột nhà, tường) và vị trí của các mối nguy hiểm trên đồ gá;

TCVN 13700:2023

- 3) kết cấu đồ gá, bố trí đồ kẹp và thao tác, các mối nguy hiểm khác có liên quan;
 - 4) xác định xem sự tiếp xúc có thể là chuyển tiếp hoặc tựa tĩnh và các bộ phận thân thể người vận hành có thể bị ảnh hưởng;
 - 5) kết cấu và vị trí của bất cứ rô bốt điều khiển bằng tay nào dùng để dẫn hướng thiết bị (ví dụ, khả năng tiếp cận, công thái học, sử dụng sai có khả năng, sự nhầm lẫn có thể có do điều khiển và các dụng cụ chỉ báo trạng thái);
 - 6) ảnh hưởng và các hiệu ứng của môi trường xung quanh (ví dụ, nắp bảo vệ đã được tháo ra khỏi một máy ở lân cận, ở gần dao cắt laser);
- c) Ứng dụng có liên quan đến các mối nguy hiểm:
- 1) các mối nguy hiểm riêng của quá trình (ví dụ, nhiệt độ, các chi tiết bị phụt ra, các xỉ hàn bắn ra);
 - 2) các hạn chế do sử dụng theo yêu cầu các trang bị bảo vệ cá nhân;
 - 3) thiếu hiệu quả trong thiết kế công thái học (ví dụ, dẫn đến mất tập trung, thao tác không thích hợp).

4.3.3 Xác định tác vụ

Trong quá trình hỏi ý kiến người sử dụng, thiết bị phân tích phải xác định và lập tài liệu về các tác vụ có liên quan đến khu vực sử dụng rô bốt. Tổ hợp của tất cả các tác vụ hợp lý thấy trước được và mối nguy hiểm phải được xác định. Các tác vụ hợp tác có thể được đặc trưng bởi:

- a) Tần suất và khoảng thời gian hiện diện của người vận hành trong không gian làm việc hợp tác với một thiết bị rô bốt di động (ví dụ, bộ phận hợp tác với đồ gá bên ngoài);
- b) Tần suất và khoảng thời gian tiếp xúc giữa một người vận hành và thiết bị rô bốt có công suất dẫn động hoặc các nguồn năng lượng hoạt động có liên quan đến ứng dụng (ví dụ, dẫn hướng bằng tay, tương tác vật lý với dụng cụ hoặc chi tiết gia công);
- c) Quá trình chuyển tiếp giữa hoạt động không hợp tác và hoạt động hợp tác;
- d) Khởi động lại tự động hoặc bằng tay chuyển động của thiết bị rô bốt sau khi hoạt động hợp tác đã được kết thúc;
- e) Các tác vụ đòi hỏi nhiều hơn một người vận hành;
- f) Bất cứ các tác vụ bổ sung nào trong phạm vi không gian làm việc hợp tác.

4.3.4 Loại bỏ sự nguy hiểm và giảm rủi ro

Sau khi đã xác định các mối nguy hiểm, phải đánh giá các rủi ro gắn liền với thiết bị rô bốt hợp tác trước khi áp dụng các biện pháp giảm rủi ro. Các biện pháp này dựa trên các nguyên tắc cơ bản được liệt kê theo thứ tự ưu tiên của chúng (xem TCVN 13229-2:2020 (ISO10218-2:2011), 4.12):

- a) Loại bỏ các mối nguy hiểm bằng kết cấu an toàn vốn có hoặc giảm các mối nguy hiểm bằng sự thay thế;
- b) Các biện pháp bảo vệ ngăn ngừa các nhân viên không đến gần mối nguy hiểm hoặc kiểm soát các mối nguy hiểm bằng cách đưa chúng về một trạng thái an toàn (ví dụ, dừng lại, hạn chế các lực, hạn chế vận tốc) trước khi một người vận hành có thể đến gần hoặc tiếp xúc với các mối nguy hiểm;
- c) Điều khoản về các biện pháp bảo vệ bổ sung như thông tin cho sử dụng, huấn luyện, đào tạo, các tín hiệu, trang bị bảo vệ cá nhân, v.v....

Đối với các thiết bị rô bốt truyền thống, việc giảm rủi ro thường được thực hiện thông qua các bộ phận bảo vệ tách ly người vận hành khỏi thiết bị rô bốt. Đối với hoạt động hợp tác, giảm rủi ro chủ yếu được hướng vào thiết kế và ứng dụng thiết bị rô bốt và không gian làm việc hợp tác. Các biện pháp đặc trưng cho giảm rủi ro cho hoạt động hợp tác được giới thiệu trong điều 5.

5 Yêu cầu đối với các ứng dụng thiết bị rô bốt hợp tác

5.1 Quy định chung

Các thiết bị rô bốt có các ứng dụng hợp tác phải đáp ứng các yêu cầu của TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011) và TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011). Thông tin cho trong điều này bổ sung cho thông tin cho trong TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.10 và TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.11.

5.2 Đặc tính của hệ thống kiểm soát có liên quan đến an toàn

Các chức năng của hệ thống kiểm soát có liên quan đến an toàn phải tuân theo TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.4 hoặc TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.2.

5.3 Thiết kế không gian làm việc hợp tác

Thiết kế không gian làm việc hợp tác phải đảm bảo sao cho người vận hành có thể thực hiện được tất cả các tác vụ theo dự định. Bất cứ các rủi ro nào do máy móc hoặc thiết bị gây ra phải được giảm nhẹ đủ mức bằng các biện pháp được nhận biết trong đánh giá rủi ro. Vị trí của thiết bị và máy móc không nên tạo ra các mối nguy hiểm bổ sung. Nên dùng trục mềm có liên quan đến an toàn và hạn chế không gian như đã mô tả trong TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.12.3, khi có thể thực hiện được để giảm kích thước của không gian hạn chế.

Các rủi ro gắn liền với toàn bộ thân thể bị kẹt hoặc bị đè bẹp giữa thiết bị rô bốt và các bộ phận của tòa nhà, các kết cấu, các thiết bị và máy khác phải được loại bỏ hoặc kiểm soát một cách an toàn. Nên có khoảng hở phù hợp với TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.11.3.

Chú thích Khoảng hở có thể khác đi đối với các thiết bị được thiết kế tuân theo 5.5.4 và 5.5.5.

TCVN 13700:2023

Nếu các máy khác trong không gian làm việc hợp tác xuất hiện mỗi nguy hiểm thì phải áp dụng các biện pháp bảo vệ phù hợp với TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.11.2. Bất cứ các chức năng có liên quan đến an toàn nào cũng phải tuân theo các yêu cầu của 5.2.

5.4 Thiết kế hoạt động của rô bốt hợp tác

5.4.1 Quy định chung

Các yêu cầu về thiết kế hoạt động của rô bốt hợp tác được cho trong TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.11. Có thể sử dụng các phương pháp hoạt động trong 5.5 một cách đơn lẻ hoặc phối hợp với nhau khi thiết kế một ứng dụng hợp tác.

Bất cứ hư hỏng nào được phát hiện ra trong các bộ phận có liên quan đến an toàn cũng phải dẫn đến thao tác dừng hoạt động (khẩn cấp) (TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.3.8.3). Hoạt động không được bắt đầu lại tới khi có cài đặt khác bằng một tác động khởi động lại có chủ đích của người vận hành ở bên ngoài không gian làm việc hợp tác.

5.4.2 Biện pháp bảo vệ

Tất cả những người ở trong phạm vi không gian làm việc hợp tác phải được bảo vệ bằng các biện pháp bảo vệ. Các bộ phận bảo vệ được sử dụng trong không gian làm việc hợp tác phải đáp ứng các yêu cầu của TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.10.

Thông tin về các chỉnh đặt cho hoạt động và cấu hình của các thông số an toàn cho hợp tác phải có khả năng quan sát được và được chứng minh bằng tư liệu với một bộ chỉ định duy nhất (ví dụ, tổng kiểm tra) sao cho có thể dễ dàng xác định được các thay đổi của cấu hình (xem TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.12.3). Sự cài đặt và điều chỉnh các thông số an toàn cho hợp tác phải được bảo vệ chống lại các thay đổi không được phép và vô tình bằng các biện pháp bảo vệ mặt khẩu hoặc các biện pháp an toàn tương tự.

5.4.3 Chức năng dừng

Trong quá trình của hoạt động hợp tác, người vận hành phải có biện pháp để dừng khẩn cấp chuyển động của rô bốt tại bất cứ thời điểm nào bằng một tác động đơn giản hoặc có một phương tiện không bị cản trở trong không gian hợp tác.

Các ví dụ về biện pháp để dừng chuyển động của rô bốt có thể bao gồm, nhưng không bị hạn chế:

- a) một cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng;
- b) một cơ cấu dừng khẩn cấp
- c) dừng rô bốt bằng tay, trong trường hợp các rô bốt có đặc điểm này.

Số lượng và vị trí của các cơ cấu dừng khẩn cấp phải được xác định bằng đánh giá rủi ro và phải đáp ứng các yêu cầu của TCVN 6719 (ISO 13850).

5.4.4 Chuyển tiếp giữa hoạt động không hợp tác và hoạt động hợp tác

Chuyển tiếp giữa các phương pháp hoạt động hợp tác hoặc giữa hoạt động không hợp tác và hoạt động hợp tác là các bộ phận tới hạn đặc biệt của một ứng dụng hợp tác. Các bộ phận này phải được thiết kế sao cho thiết bị rõ bắt không được đặt ra các rủi ro không thể chấp nhận được cho người vận hành trong quá trình chuyển tiếp.

Chú thích Có thể sử dụng một dụng cụ chỉ báo kiểu đèn báo hoặc biển báo để nhận biết các quá trình chuyển tiếp giữa hoạt động hợp tác và hoạt động không hợp tác.

5.4.5 Yêu cầu cho cơ cấu có thể thực hiện được chức năng dừng

TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.8, bao gồm các điều khoản cho một bộ phận điều khiển kiểu giá treo có một cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.8.3) và một chức năng dừng khẩn cấp (TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.8.4). Nếu đánh giá rủi ro xác định rằng giảm rủi ro đạt được theo truyền thống bằng sử dụng một cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng cũng có thể đạt được theo cách khác bằng các biện pháp thiết kế an toàn vốn có hoặc các chức năng giới hạn được đánh giá, an toàn thì có thể cung cấp bộ phận điều khiển kiểu giá treo cho thiết bị rõ bắt hợp tác mà không cần đến cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng.

Nếu sử dụng một thiết bị rõ bắt hợp tác dựa vào các chức năng giới hạn được đánh giá an toàn mà không dùng cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng thì các chức năng này phải luôn luôn hoạt động. Các giới hạn (ví dụ, vận tốc, lực hoặc phạm vi) phải được chỉnh đặt ở mức đủ để giảm rủi ro cho các tác vụ lập trình, chỉnh đặt, xử lý sự cố, bảo dưỡng và các tác vụ khác được thực hiện theo truyền thống bằng sử dụng một cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng.

Mỗi khi các chức năng giới hạn được đánh giá an toàn không hoạt động trong cấu hình tác vụ riêng, thiết bị rõ bắt hợp tác phải bao gồm một phương pháp bảo vệ khác như một cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng đáp ứng các yêu cầu của TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.8.3.

Khi một cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng không được đưa vào thiết bị rõ bắt thì thông tin cho sử dụng phải bao gồm các nội dung sau:

- a) Thông báo rằng cơ cấu có thể thực hiện được chức năng dừng không được đưa vào rõ bắt. Nếu cơ cấu có thể thực hiện được chức năng dừng là một phương án tùy chọn thì nhà sản xuất phải cung cấp hướng dẫn về cách lắp đặt cơ cấu có thể thực hiện được chức năng dừng;
- b) Lời từ chối cho biết một rõ bắt không có cơ cấu có thể thực hiện được quá trình dừng chỉ được sử dụng trong các ứng dụng có các biện pháp thiết kế an toàn vốn có hoặc các chức năng hoạt động giới hạn được đánh giá an toàn.

5.5 Hoạt động hợp tác

5.5.1 Quy định chung

Các hoạt động hợp tác có thể bao gồm một hoặc nhiều phương pháp sau:

TCVN 13700:2023

- a) dừng có giám sát được đánh giá an toàn;
- b) dẫn hướng bằng tay;
- c) giám sát vận tốc và sự tách ly;
- d) hạn chế hoặc giới hạn công suất và lực.

5.5.2 Dừng có giám sát được đánh giá an toàn

5.5.2.1 Mô tả

Trong phương pháp này, đặc điểm dừng có giám sát được đánh giá an toàn của rô bốt được sử dụng để dừng chuyển động của rô bốt trong không gian làm việc hợp tác trước khi một người vận hành đi vào không gian làm việc hợp tác để tương tác với thiết bị rô bốt và hoàn thành một tác vụ (ví dụ chốt tải cho một bộ phận trên cơ cấu tác động ở đầu cuối). Nếu không có người vận hành trong không gian làm việc hợp tác, rô bốt có thể hoạt động không hợp tác. Khi thiết bị rô bốt ở trong không gian làm việc hợp tác thì chức năng có giám sát được đánh giá an toàn được kích hoạt và chuyển động của rô bốt dừng lại, người vận hành được phép đi vào không gian làm việc hợp tác. Chuyển động của thiết bị rô bốt có thể lại bắt đầu mà không có bất cứ sự can thiệp bổ sung nào chỉ sau khi người vận hành đã đi ra khỏi không gian làm việc hợp tác.

5.5.2.2 Yêu cầu đối với rô bốt:

Đối với hoạt động hợp tác với dừng có giám sát được đánh giá an toàn, áp dụng các yêu cầu sao cho thiết bị rô bốt

- a) Khi chuyển động của rô bốt được giới hạn, các giới hạn phải tuân theo TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.12;
- b) Rô bốt phải được trang bị chức năng để đạt được sự dừng để bảo vệ phù hợp với TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.5.3.

5.5.2.3 Yêu cầu đối với thiết bị rô bốt

Các hoạt động có đặc điểm dừng có giám sát được đánh giá an toàn được phác họa trên hình 2. Thiết bị rô bốt được phép đi vào không gian làm việc hợp tác chỉ khi không có người vận hành trong không gian làm việc hợp tác. Trong không gian làm việc hợp tác, nếu người vận hành không có mặt thì thiết bị rô bốt có thể hoạt động không hợp tác.

Chuyển động của rô bốt hoặc chức năng dừng		Người vận hành đến gần không gian làm việc hợp tác	
		Bên ngoài	Bên trong
Rô bốt đến gần không gian làm việc hợp tác	Bên ngoài	Tiếp tục	Tiếp tục
	Bên trong và di chuyển	Tiếp tục	Dừng để bảo vệ
	Bên trong an toàn - điểm dừng được giám sát đánh giá	Tiếp tục	Tiếp tục

Hình 2 – Bảng mô tả chân thật vì các hoạt động dừng được giám sát có liên quan đến an toàn

Phải xác lập không gian làm việc hợp tác có các khoảng cách đáp ứng các yêu cầu của TCVN 7386 (ISO 13855). Thiết bị rô bốt phải được trang bị các cơ cấu có liên quan đến an toàn để phát triển sự hiện diện của một người vận hành trong phạm vi không gian làm việc hợp tác. Phải ngăn cản sự tiếp cận không gian được hạn chế bên ngoài không gian làm việc hợp tác phù hợp với đánh giá rủi ro.

Khi sử dụng đặc điểm dừng có giám sát được đánh giá an toàn, một người vận hành phải được phép đi vào không gian làm việc hợp tác chỉ trong các điều kiện sau:

- a) khi thiết bị rô bốt hoặc các mối nguy hiểm khác không xuất hiện trong không gian làm việc hợp tác;
- b) khi thiết bị rô bốt ở trong không gian làm việc hợp tác và ở chức năng dừng có giám sát được đánh giá an toàn (loại dừng 2) phù hợp với TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.4 thì chức năng dừng có giám sát được đánh giá an toàn phải hoạt động tại mọi thời điểm khi một người vận hành ở trong không gian làm việc hợp tác;
- c) khi thiết bị rô bốt ở trong không gian làm việc hợp tác và ở chức năng dừng để bảo vệ phù hợp với TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.4 và 5.5.3.

Trong quá trình sử dụng chức năng theo dự định, rô bốt có thể hoạt động chậm lại dẫn đến dừng có giám sát được đánh giá an toàn (loại dừng 2) phù hợp với TCVN 12669 (IEC 60204).

Khi người vận hành rời khỏi không gian làm việc hợp tác, chức năng dừng có giám sát được đánh giá an toàn có thể không được kích hoạt và chuyển động của thiết bị có thể lại bắt đầu một cách tự động.

Bất cứ tình huống nào vi phạm các yêu cầu hoạt động này phải dẫn đến chức năng dừng để bảo vệ (dừng loại 0) phù hợp với TCVN 12669 (IEC 60204).

5.5.3 Dẫn hướng bằng tay

5.5.3.1 Mô tả

Trong phương pháp hoạt động này, một người vận hành sử dụng cơ cấu vận hành bằng tay để truyền các lệnh chuyển động cho thiết bị rô bốt. Trước khi người vận hành được phép đi vào không gian làm việc hợp tác và tiến hành các tác vụ dẫn hướng bằng tay, rô bốt phải dừng có giám sát và được đánh giá là an toàn (xem 5.5.2). Tác vụ được thực hiện bởi các cơ cấu dẫn hướng tác động bằng tay được bố trí tại hoặc gần cơ cấu tác động ở đầu mút của rô bốt.

Các thiết bị rô bốt được sử dụng cho dẫn hướng bằng tay có thể được trang bị các yếu tố đặc trưng như khuếch đại lực, các vùng an toàn hiệu dụng hoặc các công nghệ hiệu chỉnh.

Nếu các yêu cầu của 5.5.5 được đáp ứng trong một tác vụ dẫn hướng bằng tay thì không phải áp dụng các yêu cầu của 5.5.3.

TCVN 13700:2023

5.5.3.2 Yêu cầu

5.5.3.2.1 Quy định chung

Rô bốt phải sử dụng chức năng vận tốc có giám sát được đánh giá an toàn (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.4.6) và chức năng dừng có giám sát được đánh giá an toàn (xem 5.5.2). Đánh giá rủi ro phải được sử dụng để xác định giới hạn vận tốc có giám sát được đánh giá an toàn. Nếu an toàn của người vận hành phụ thuộc vào giới hạn phạm vi chuyển động của rô bốt thì rô bốt phải sử dụng trục mềm có liên quan đến an toàn và giới hạn không gian (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.12.3).

Trình tự vận hành đối với dẫn hướng bằng tay như sau:

- a) thiết bị rô bốt sẵn sàng cho dẫn hướng bằng tay khi đi vào không gian làm việc hợp tác phải dừng có giám sát và được đánh giá an toàn (xem 5.5.2) – sau đó người vận hành có thể đi vào không gian làm việc hợp tác;
- b) khi người vận hành đã điều khiển thiết bị rô bốt có cơ cấu dẫn hướng bằng tay, chức năng dừng có giám sát được đánh giá là an toàn được tắt đi và người vận hành thực hiện tác vụ dẫn hướng bằng tay;
- c) khi người vận hành ngắt (giải phóng) cơ cấu dẫn hướng thì chức năng dừng có giám sát được đánh giá an toàn (xem 5.5.2) phải được bật lên.

Nếu người vận hành đi vào không gian làm việc hợp tác trước khi thiết bị rô bốt sẵn sàng cho dẫn hướng bằng tay thì chức năng dừng có bảo vệ (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.5.3) phải được bật lên.

Phải ngăn ngừa sự tiếp cận không gian hạn chế bên ngoài không gian làm việc hợp tác phù hợp với đánh giá rủi ro.

5.5.3.2.2 Cơ cấu dẫn hướng

Thiết bị rô bốt phải được trang bị một cơ cấu dẫn hướng có cơ cấu dừng khẩn cấp (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.5.2 và 5.8.4) và cơ cấu có thể thực hiện được chức năng dừng (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.8.3), trừ khi yêu cầu về loại trừ cơ cấu có thể thực hiện được chức năng của 5.4.5 được đáp ứng.

Phải quan tâm đến các yêu cầu sau khi bố trí cơ cấu dẫn hướng:

- a) khoảng tiếp cận tới rô bốt của người vận hành phải bảo đảm sao cho có thể quan sát một cách trực tiếp chuyển động của rô bốt và bất cứ các mối nguy hiểm nào có thể xuất hiện từ chuyển động này (ví dụ, các bộ phận điều khiển được lắp trên cơ cấu tác động ở đầu mút);
- b) vị trí và tư thế của người vận hành không được dẫn đến các mối nguy hiểm bổ sung (ví dụ, người vận hành không ở bên dưới các tải trọng nặng hoặc ở bên dưới cánh tay máy);
- c) vị trí thuận lợi của người vận hành phải cho phép có tầm nhìn không bị cản trở toàn bộ không gian làm việc hợp tác (ví dụ, có thêm người đi vào không gian làm việc hợp tác)

Sự bố trí giữa các trục chuyển động của cơ cấu dẫn hướng bằng tay và các trục chuyển động của rô bốt phải được biểu thị rõ ràng và dễ hiểu. Chiều chuyển động của rô bốt và cơ cấu tác động ở đầu mút phải biết được một cách trực giác và điều khiển được từ cơ cấu dẫn hướng bằng tay.

5.5.3.2.3 Chuyển tiếp giữa dẫn hướng bằng tay và các kiểu hoạt động khác

Chuyển tiếp giữa hoạt động dẫn hướng bằng tay và hoạt động không hợp tác hoặc các kiểu hoạt động hợp tác không được bổ sung thêm rủi ro. Người vận hành phải điều khiển các chuyển tiếp này bằng cách cân nhắc kỹ các tác động (ví dụ, kích hoạt cơ cấu có thể thực hiện được chức năng dừng) và cách làm việc (ví dụ, rời khỏi không gian làm việc hợp tác).

Các khía cạnh riêng cần xem xét trong các trường hợp này là:

- trong các chuyển tiếp từ dẫn hướng bằng tay sang dừng có giám sát được đánh giá an toàn (xem 5.1), sự tạm dừng chuyển động của rô bốt và phông theo chức năng dừng có kiểm soát được đánh giá an toàn không được tạo thêm các mối nguy hiểm bổ sung;
- chuyển tiếp từ dừng có giám sát được đánh giá an toàn sang dẫn hướng bằng tay không được dẫn đến chuyển động không mong đợi;
- trong các chuyển tiếp từ dẫn hướng bằng tay sang hoạt động không hợp tác tất cả những người vận hành phải đi ra khỏi không gian làm việc hợp tác trước khi thiết bị rô bốt có thể tiếp tục với hoạt động không hợp tác;
- chuyển tiếp từ hoạt động không hợp tác sang dẫn hướng bằng tay không được tạo thêm các mối nguy hiểm bổ sung.

5.5.3.2.4 Đánh giá rủi ro

Giảm rủi ro bằng sự phối hợp điều khiển trực tiếp chuyển động do người vận hành thực hiện và giới hạn thích hợp được tính đến sự an toàn về vận tốc và vị trí như đã được xác định bằng đánh giá rủi ro. Đánh giá rủi ro phải tính đến các đặc điểm riêng sau:

- vận tốc hiển thị trong phạm vi an toàn cho phép người vận hành kiểm soát rô bốt và các mối nguy hiểm có liên quan;
- thời gian và khoảng cách cần thiết để rô bốt đi đến trạng thái dừng trong lúc ngắt cơ cấu có thể thực hiện được chức năng dừng hoặc phông theo dừng để bảo vệ, ví dụ, để bố trí không gian làm việc đối với vị trí của người vận hành và các vật cản;
- các mối nguy hiểm do không gian làm việc, cơ cấu tác động ở đầu cuối, hoặc các vùng ngoại vi hoặc các thiết bị ứng dụng gây ra.

5.5.4 Tốc độ và giám sát khoảng cách tối thiểu

5.5.4.1 Mô tả

Trong phương pháp hoạt động này thiết bị rô bốt và người vận hành có thể di chuyển đồng thời trong không gian làm việc hợp tác. Giảm rủi ro đạt được bằng cách duy trì ít nhất là khoảng cách bảo vệ an

TCVN 13700:2023

toàn giữa người vận hành và rô bốt tại mọi thời điểm. Trong quá trình chuyển động của rô bốt, thiết bị rô bốt không bao giờ được có khoảng cách tới người vận hành nhỏ hơn khoảng cách bảo vệ an toàn. Khi khoảng cách tối thiểu giảm tới giá trị nhỏ hơn khoảng cách bảo vệ an toàn, thiết bị rô bốt phải dừng lại. Khi người vận hành di chuyển ra xa khỏi thiết bị rô bốt, thiết bị rô bốt có thể lại bắt đầu chuyển động một cách tự động theo các yêu cầu của điều này trong khi phải duy trì khoảng cách bảo vệ an toàn. Khi vận tốc của thiết bị rô bốt giảm đi thì khoảng cách bảo vệ an toàn sẽ giảm đi một cách tương ứng.

5.5.4.2 Yêu cầu

5.5.4.2.1 Quy định chung

Rô bốt phải được trang bị một chức năng giám sát vận tốc được đánh giá an toàn (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.6.4) và một chức năng giám sát dừng được đánh giá an toàn (xem 5.5.2). Nếu an toàn của người vận hành phụ thuộc vào phạm vi giới hạn chuyển động của rô bốt thì rô bốt phải được trang bị giới hạn mềm an toàn và sự hạn chế không gian (TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.12.3). Hệ thống giám sát vận tốc và khoảng cách tối thiểu phải đáp ứng các yêu cầu của 5.2.

Phải áp dụng giám sát vận tốc và khoảng cách tối thiểu cho tất cả những người trong phạm vi không gian làm việc hợp tác. Nếu sự thực hiện biện pháp bảo vệ bị hạn chế bởi số lượng người trong không gian làm việc hợp tác thì số lượng người tối đa phải được công bố trong thông tin cho sử dụng. Nếu giá trị tối đa này bị vượt quá thì một quá trình dừng để bảo vệ phải xảy ra.

Nếu khoảng cách tối thiểu giữa một bộ phận nguy hiểm của thiết bị rô bốt và bất cứ người vận hành nào nhỏ hơn khoảng cách bảo vệ an toàn thì thiết bị rô bốt phải:

- a) bắt đầu một chức năng dừng để bảo vệ;
- b) bắt đầu các chức năng có liên quan đến an toàn được kết nối với thiết bị rô bốt phù hợp với TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.11.2 g, ví dụ ngắt bất cứ dụng cụ nguy hiểm nào.

Các khả năng để hệ thống điều khiển rô bốt có thể tránh được sự vi phạm khoảng cách bảo vệ an toàn bao gồm, nhưng không bị hạn chế:

- Giảm vận tốc, có thể dẫn đến sự chuyển tiếp sang chức năng dừng có giám sát được đánh giá an toàn (xem 5.4.1);
- Thực hiện một đường dẫn khác không vi phạm khoảng cách bảo vệ an toàn khi tiếp tục giám sát vận tốc hoạt động và khoảng cách tối thiểu.

Khi khoảng cách tối thiểu thực tế đáp ứng hoặc vượt quá khoảng cách bảo vệ an toàn thì chuyển động của rô bốt lại có thể được bắt đầu.

5.5.4.2.2 Vận tốc không đổi, thay đổi và các giá trị của khoảng cách tối thiểu

Các vận tốc lớn nhất cho phép và các khoảng cách bảo vệ an toàn nhỏ nhất trong một ứng dụng có thể thay đổi hoặc không thay đổi. Đối với các giá trị thay đổi, các vận tốc lớn nhất cho phép và các khoảng cách bảo vệ an toàn có thể được điều chỉnh liên tục dựa trên các vận tốc tương đối và các khoảng cách

của thiết bị rô bốt và người vận hành. Đối với các giá trị không thay đổi phải xác định vận tốc lớn nhất cho phép khoảng cách bảo vệ an toàn thông qua đánh giá rủi ro như là các trường hợp xấu nhất trên toàn bộ hành trình của ứng dụng.

Các biện pháp để xác định các vận tốc tương đối và khoảng cách của người vận hành và thiết bị rô bốt phải được đánh giá an toàn phù hợp với các yêu cầu trong TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.2.2.

5.5.4.2.3 Duy trì đủ khoảng cách tối thiểu

Trong quá trình hoạt động tự động, các bộ phận nguy hiểm của thiết bị rô bốt không được có khoảng cách tới người vận hành nhỏ hơn khoảng cách bảo vệ an toàn. Có thể tính toán khoảng cách bảo vệ an toàn dựa trên các khái niệm được sử dụng để tạo ra công thức khoảng cách nhỏ nhất trong ISO 13855 được sửa đổi có tính đến các mối nguy hiểm sau gắn liền với giám sát vận tốc và khoảng cách.

- a) Ở trạng thái chỉnh đặt vận tốc không đổi, sử dụng giá trị vận tốc nguy hiểm nhất có giám sát được đánh giá an toàn. Giá trị này phụ thuộc vào ứng dụng và có hiệu lực bằng đánh giá rủi ro. Giá trị giới hạn không đổi phải được chỉnh đặt như một vận tốc có giám sát được đánh giá an toàn theo TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), 5.6.4 để bảo đảm cho giới hạn không đổi không bị vượt quá.
- b) Ở trạng thái chỉnh đặt vận tốc thay đổi, sử dụng các vận tốc của thiết bị rô bốt và của người vận hành để xác định giá trị có thể áp dụng được cho khoảng cách bảo vệ an toàn tại mỗi thời điểm. Theo cách khác, có thể xác định vận tốc nhỏ nhất cho phép của rô bốt dựa trên vận tốc của người vận hành và khoảng cách tối thiểu thực tế giữa rô bốt và người vận hành. Chức năng điều khiển để hoàn thành yêu cầu này phải tuân theo TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.2.2.
- c) Khoảng cách dừng của rô bốt được xác định theo TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), Phụ lục B.

Khoảng cách bảo vệ an toàn, S_p , có thể được xác định theo Công thức (1):

$$S_p(t_0) = S_h + S_r + S_s + C + Z_d + Z_r \quad (1)$$

trong đó

$S_p(t_0)$ là khoảng cách bảo vệ an toàn ở thời điểm (t_0);

(t_0) là thời điểm hiện nay hoặc hiện tại;

S_h là phần thêm vào khoảng cách bảo vệ an toàn có thể quy cho thay đổi vị trí của người vận hành;

S_r là phần thêm vào khoảng cách bảo vệ an toàn có thể quy cho thời gian phản ứng của thiết bị rô bốt;

S_s là phần đóng góp vào khoảng cách bảo vệ an toàn do khoảng cách dừng của thiết bị rô bốt;

C là khoảng cách xâm nhập như đã định nghĩa trong ISO 13855; đây là khoảng cách mà một bộ phận của thân thể có thể xâm nhập vào trường cảm biến trước khi được nhận dạng;

TCVN 13700:2023

Z_d là độ không ổn định vị trí của người vận hành trong không gian làm việc hợp tác khi được đo bằng cơ cấu cảm biến sự hiện diện do có dung sai đo của hệ thống cảm biến;

Z_r là độ không ổn định vị trí của thiết bị rô bốt do độ chính xác của hệ thống đo vị trí của rô bốt.

Chú thích $S_p(t_0)$ cho phép tính toán động lực học khoảng cách bảo vệ an toàn, khi cho phép vận tốc của rô bốt thay đổi trong quá trình ứng dụng. Cũng có thể sử dụng $S_p(t_0)$ để tính toán một giá trị cố định cho khoảng cách bảo vệ an toàn dựa trên các giá trị của các trường hợp xấu nhất.

Công thức (1) áp dụng cho tất cả các tổ hợp của nhân viên và các bộ phận di động của thiết bị rô bốt trong không gian làm việc hợp tác. Bộ phận của rô bốt và người gần nhau nhất trong không gian làm việc hợp tác có thể di chuyển ra xa nhau, trong khi một bộ phận khác của rô bốt và người có thể tiến lại gần nhau.

Phần đóng góp vào khoảng cách bảo vệ an toàn có thể quy cho sự thay đổi vị trí của người vận hành S_h , được biểu thị bằng Công thức (2):

$$S_h = \int_{t_0}^{t_0+T_r+T_s} v_h(t) dt \quad (2)$$

trong đó

T_r là thời gian phản ứng của thiết bị rô bốt, bao gồm cả thời gian yêu cầu cho phát hiện vị trí của người vận hành, xử lý tín hiệu này, kích hoạt một chức năng dừng của rô bốt, nhưng ngoại trừ thời gian đưa rô bốt về vị trí dừng;

T_s là thời gian dừng của rô bốt, tính từ lúc kích thước lệnh dừng tới khi rô bốt dừng lại. T_s không phải là một hằng số, nhưng tất nhiên là một hàm của cấu hình rô bốt, chuyển động được dự kiến, vận tốc, cơ cấu tác động ở đầu cuối hoặc tải trọng;

v_h là vận tốc dự kiến của một người vận hành trong không gian làm việc hợp tác theo hướng của bộ phận di động của rô bốt và có thể là dương hoặc âm tùy thuộc vào khoảng cách bảo vệ an toàn tăng lên hoặc giảm đi;

t là biến số tính phân trong các công thức (2), (4) và (6).

Đại lượng S_h biểu thị phần đóng góp vào khoảng cách tối thiểu do chuyển động của người vận hành từ thời điểm hiện thời tới khi rô bốt đã dừng lại. Ở đây, v_h là một hàm số của thời gian và có thể thay đổi do vận tốc của người hoặc sự thay đổi hướng (chiều). Thiết bị phải được thiết kế có tính đến sự thay đổi của v_h theo cách sao cho có thể giảm khoảng tối thiểu tới mức lớn nhất. Nếu vận tốc của người không được giám sát thì việc thiết kế thiết bị phải cho rằng v_h là 1,6m/s theo hướng có thể giảm khoảng tối thiểu tới mức lớn nhất. Theo TCVN 6719 (ISO 13855) và IEC/TS 62046:2008, 4.4.2.3, v_h có thể là một giá trị khác với 1,6m/s tùy thuộc vào đánh giá rủi ro.

Một giá trị không đổi của S_h khi sử dụng vận tốc được ước tính của người (1,6m/s), được biểu thị bằng m/s, có thể được ước tính theo Công thức (3):

$$S_h = 1,6 \times (T_r + T_s) \quad (3)$$

Phân thêm vào khoảng cách bảo vệ an toàn có thể quy cho thời gian phản ứng của thiết bị rô bốt, S_r , được biểu thị bằng Công thức (4):

$$S_r = \int_{t_0}^{t_0+T_r} v_r(t) dt \quad (4)$$

trong đó v_r là vận tốc được định hướng của rô bốt theo hướng của một người vận hành trong không gian làm việc hợp tác và có thể là dương hoặc âm tùy thuộc vào khoảng cách tối thiểu đang tăng lên hoặc giảm đi.

Đại lượng S_r biểu thị phần đóng góp vào khoảng cách tối thiểu do chuyển động của rô bốt lúc người đi vào trường cảm biến tới khi hệ điều khiển kích hoạt một chức năng dừng. Ở đây v_r là một hàm số của thời gian và có thể thay đổi do vận tốc của rô bốt hoặc sự thay đổi hướng (chiều). Thiết bị phải được thiết kế có tính đến sự thay đổi của v_r theo cách sao cho có thể giảm khoảng cách tối thiểu tới mức lớn nhất:

- nếu vận tốc của rô bốt không được giám sát, thiết kế thiết bị phải cho rằng v_r là vận tốc lớn nhất của rô bốt;
- nếu vận tốc của rô bốt được giám sát, thiết kế thiết bị có thể sử dụng vận tốc hiện thời của rô bốt nhưng phải tính đến khả năng tăng tốc của rô bốt theo cách có thể giảm khoảng cách tối thiểu tới mức lớn nhất;
- nếu một giới hạn vận tốc được đánh giá an toàn đang có hiệu lực thì thiết kế thiết bị có thể sử dụng giới hạn vận tốc này nếu giới hạn này áp dụng được cho bộ phận của rô bốt đang được xem xét.

Chú thích Một giới hạn vận tốc được đánh giá an toàn chỉ giám sát vận tốc Đề các của rô bốt TCP sẽ không giám sát các bộ phận khác của rô bốt có thể gây ra các mối nguy hiểm cho người vận hành. Một giới hạn vận tốc được đánh giá an toàn giám sát các vận tốc liên kết cũng có thể được sử dụng.

Có thể ước tính một giá trị không đổi cho S_r theo Công thức (5):

$$S_r = v_r(t_0) \times T_r \quad (5)$$

Phần đóng góp vào khoảng cách bảo vệ an toàn xảy ra trong khi thiết bị rô bốt đang dừng lại được biểu thị bằng Công thức (6):

$$S_s = \int_{t_0+T_r}^{t_0+T_r+T_s} v_s(t) dt \quad (6)$$

trong đó v_s là vận tốc của rô bốt trong tiến trình dừng, từ lúc kích hoạt lệnh dừng tới khi rô bốt đã dừng lại.

Đại lượng S_s biểu thị phần đóng góp vào khoảng cách tối thiểu do chuyển động của rô bốt trong quá trình rô bốt. Ở đây, v_s là một hàm số của thời gian và có thể thay đổi do sự thay đổi vận tốc của rô bốt hoặc sự thay đổi hướng. Thiết bị phải được thiết kế có tính đến thay đổi của v_s theo cách sao cho giảm được khoảng tối thiểu tới mức lớn nhất:

- a) nếu vận tốc của rô bốt không được giám sát, thiết kế thiết bị phải cho rằng tính phân này là khoảng cách dừng của rô bốt theo hướng (chiều) giảm khoảng cách tối thiểu tới mức lớn nhất;

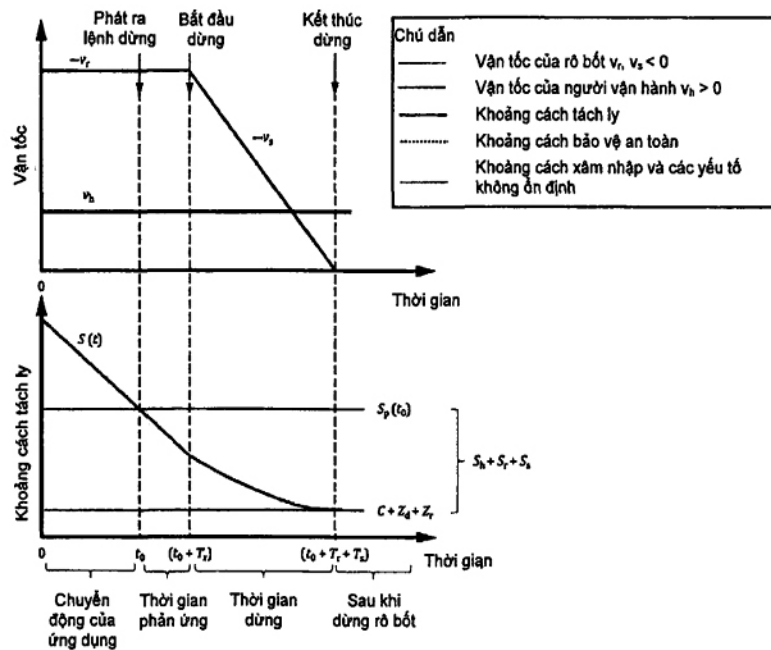
TCVN 13700:2023

b) nếu vận tốc của rô bốt được giám sát, thiết kế thiết bị có thể sử dụng khoảng cách dừng của rô bốt do vận tốc này tác dụng theo hướng giảm khoảng cách tối thiểu tới mức lớn nhất.

Nên nhận được các giá trị của S_s từ các dữ liệu được cung cấp phù hợp với TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), Phụ lục B.

Các phản đóng góp khác nhau cho khoảng cách bảo vệ an toàn được minh họa trên Hình 3. Trong biểu đồ trên đỉnh của Hình 3, vận tốc của người vận hành hướng về phía rô bốt (v_h) được chỉ ra là một giá trị dương, trong khi vận tốc của rô bốt hướng về phía người vận hành (v_r , v_s) được chỉ ra là một giá trị âm.

Cho phép thực hiện theo các cách khác nếu đạt được các yêu cầu của 5.5.4.2.



Hình 3 – Biểu thị bằng biểu đồ các phản đóng góp vào

khoảng cách bảo vệ an toàn giữa một người vận hành và một rô bốt

5.5.5 Giới hạn công suất và lực

5.5.5.1 Mô tả

Trong hoạt động này, tiếp xúc vật lý giữa thiết bị rô bốt (bao gồm cả chi tiết gia công) và một người vận hành có thể xảy ra một cách cố ý hoặc vô tình. Hoạt động hợp tác có công suất và lực được hạn chế đòi hỏi các thiết bị rô bốt phải được thiết kế riêng biệt cho kiểu hoạt động riêng này. Giảm rủi ro có thể đạt được thông qua các biện pháp an toàn vốn có trong rô bốt hoặc thông qua một hệ thống điều khiển có liên quan đến an toàn, bằng cách giữ các mối nguy hiểm gắn liền với thiết bị rô bốt ở dưới ngưỡng của

các giá trị giới hạn, được xác định trong quá trình đánh giá rủi ro. Phương thức để xác lập các giá trị giới hạn ngưỡng được phác họa trong Phụ lục A.

5.5.5.2 Tình huống tiếp xúc

Trong quá trình hoạt động hợp tác khi sử dụng công suất hoặc lực được hạn chế, các biến cố tiếp xúc giữa rô bốt hợp tác và các bộ phận thân thể của người vận hành có thể diễn ra theo một số cách:

- a) các tình huống tiếp xúc theo dự định là một phần của trình tự ứng dụng;
- b) các tình huống tiếp xúc phụ, không quan trọng có thể là hậu quả của không tuân theo quy trình làm việc nhưng không có hư hỏng về kỹ thuật;
- c) các dạng hư hỏng dẫn đến các tình huống tiếp xúc

Các kiểu tiếp xúc có thể có giữa các bộ phận di động của thiết bị rô bốt và các vùng trên thân thể một người được phân loại theo cách sau:

- Tiếp xúc tựa tĩnh: Tiếp xúc này bao gồm các tình huống kẹp hoặc đè bẹp trong đó một bộ phận thân thể người bị kẹt giữa một bộ phận di động của thiết bị rô bốt và một bộ phận cố định hoặc di động khác của phòng máy. Trong tình huống này, thiết bị rô bốt có thể tác dụng một áp lực hoặc lực vào bộ phận trên thân thể bị kẹt trong một khoảng thời gian kéo dài tới khi tình trạng được giải quyết.

- Tiếp xúc chuyển tiếp: Tiếp xúc này cũng có liên quan đến "va chạm động" và mô tả một tình trạng trong đó một bộ phận thân thể người bị va chạm bởi một bộ phận di động của thiết bị rô bốt và có thể lùi lại hoặc đẩy lên khỏi rô bốt mà không kẹp chặt hoặc giữ lại vùng thân thể bị tiếp xúc, vì thế tình trạng này chỉ diễn ra trong khoảng thời gian tiếp xúc thực tế rất ngắn. Tiếp xúc chuyển tiếp phụ thuộc vào sự kết hợp quán tính của rô bốt (xem Chú thích 1), quán tính của bộ phận thân thể người (xem Phụ lục A) và vận tốc tương đối của hai quán tính này.

Chú thích 1 Quán tính có liên quan của rô bốt là khối lượng di động được tính toán ở vị trí tiếp xúc. Quán tính này có thể ở bất cứ chỗ nào dọc theo xích động học (nghĩa là, cánh tay máy, các cơ cấu bản lề, bộ các dụng cụ gia công và chi tiết gia công), vì thế ước tính giá trị này để có thể sử dụng tư thế riêng của rô bốt, các vận tốc của các khâu, sự phân bố khối lượng và vị trí tiếp xúc hoặc sử dụng một giá trị trong trường hợp xấu nhất.

Chú thích 2 Quán tính của các bộ phận thân thể người được cho trong các tài liệu tham khảo đã liệt kê trong Thư mục tài liệu tham khảo.

5.5.5.3 Giảm rủi ro cho khả năng có tiếp xúc giữa rô bốt và người vận hành

Phải xem xét giảm rủi ro với các biện pháp sao cho sự tiếp xúc có thể xảy ra giữa người vận hành và thiết bị rô bốt không gây ra tổn hại cho người vận hành. Các biện pháp này đạt được bằng:

- a) xác định các điều kiện trong đó có thể xảy ra sự tiếp xúc;
- b) đánh giá tiềm năng của rủi ro đối với sự tiếp xúc này;
- c) thiết kế thiết bị rô bốt và không gian làm việc hợp tác sao cho sự tiếp xúc này không thường xuyên xảy ra và có thể tránh được;
- d) áp dụng các biện pháp giảm rủi ro để duy trì tình trạng tiếp xúc ở dưới ngưỡng của các giá trị giới hạn.

TCVN 13700:2023

Để đạt được mục đích của đánh giá rủi ro này, nên xem xét bất cứ sự tiếp xúc có tiềm năng nào mà người vận hành không được bảo vệ bởi bất cứ các biện pháp giảm rủi ro nào, bao gồm cả trang bị bảo vệ cá nhân. Sự nhận biết này phải xem xét các tiêu chí sau đối với các biến có tiếp xúc có tiềm năng:

- các vùng thân thể của người vận hành bị phơi nhiễm;
- nguồn gốc của các biến cố tiếp xúc, nghĩa là tác động có chủ đích là một phần của sử dụng theo dự định đối với tiếp xúc không có chủ đích hoặc sử dụng sai hợp lý thấy trước được;
- xác suất hoặc tần suất xuất hiện;
- loại biến cố tiếp xúc, nghĩa là tiếp xúc tựa tĩnh hoặc tiếp xúc chuyển tiếp;
- các bề mặt tiếp xúc, vận tốc, lực, áp lực, xung lực, công suất cơ học, năng lượng hoặc các đại lượng khác đặc trưng cho biến cố tiếp xúc vật lý.

Các đồ vật sắc, nhọn, có các lưỡi xén, lưỡi cắt như các vật hình kim, các loại dao cắt, xén và các chi tiết có thể gây ra thương tích không được hiện diện trong vùng tiếp xúc.

Chú thích 1 Các vỏ che thích hợp, các áo bọc hoặc các mặt phẳng cách ly có thể được sử dụng để giảm nhẹ các mối nguy hiểm tiềm tàng.

Chú thích 2 Có thể có các mối nguy hiểm khác ngoài sự tiếp xúc, bao gồm cả xử lý các mối nguy hiểm.

Sự phơi nhiễm trước tiếp xúc của các vùng thân thể nhạy cảm bao gồm cả sọ, trán, thanh quản, mắt, tai hoặc mặt phải được ngăn ngừa khi có thể thực hiện được.

5.5.5.4 Các biện pháp giảm rủi ro chủ động và bị động

Các biện pháp giảm rủi ro nhằm vào sự tiếp xúc tựa tĩnh và sự tiếp xúc chuyển tiếp về bản chất là các biện pháp bị động hoặc chủ động. Các biện pháp thiết kế an toàn bị động chú tâm vào thiết kế cơ khí thiết bị rõ bắt trong khi các biện pháp thiết kế an toàn chủ động chú tâm vào thiết kế điều khiển thiết bị rõ bắt.

Các phương pháp thiết kế an toàn bị động nhưng không bị giới hạn cho các yêu cầu sau bao gồm:

- a) tăng diện tích bề mặt tiếp xúc:
 - 1) các cạnh, mép và các góc được lượn tròn;
 - 2) các bề mặt bằng phẳng và nhẵn;
 - 3) các bề mặt mềm;
- b) hấp thu năng lượng, kéo dài thời gian truyền năng lượng hoặc giảm các lực va chạm:
 - 1) có lớp lót, lớp điện giảm chấn;
 - 2) các chi tiết dễ biến dạng;
 - 3) các mối nối hoặc mối liên kết mềm;
- c) giới hạn các khối lượng di động.

Các phương pháp thiết kế an toàn chủ động nhưng không bị giới hạn cho các yêu cầu sau bao gồm:

- giới hạn các lực hoặc mômen xoắn;
- giới hạn vận tốc của các bộ phận di động;
- giới hạn động lượng hoặc xung lực, công suất cơ học hoặc năng lượng như là một hàm số của các khối lượng và vận tốc;
- sử dụng các trục mềm được đánh giá an toàn và chức năng giới hạn không gian;
- sử dụng chức năng dừng có giám sát được đánh giá an toàn;
- sử dụng cảm biến để dự báo hoặc phát hiện sự tiếp xúc (ví dụ, phát hiện sự đến gần hoặc tiếp xúc để giảm các lực tụt tĩnh).

Việc áp dụng các phương pháp này và các biện pháp khác có liên quan phải chú tâm vào sự phơi nhiễm mong đợi của người vận hành như đã được xác định bằng đánh giá rủi ro.

Chú thích Có thể cần đến sự kết hợp của các chức năng an toàn, ví dụ, chức năng giới hạn lực an toàn có thể chỉ có hiệu quả đối với một giới hạn vận tốc xác định. Trong trường hợp một chức năng giới hạn vận tốc bổ sung cho an toàn có thể là cần thiết.

Trong biến cố mà một hoặc một tổ hợp các biện pháp giảm rủi ro bị động hoặc chủ động không làm cho rủi ro giảm đi một cách thỏa đáng thì có thể cần đến các biện pháp giảm rủi ro khác, bao gồm cả các bộ phận bảo vệ hoặc bảo vệ bằng rào chắn.

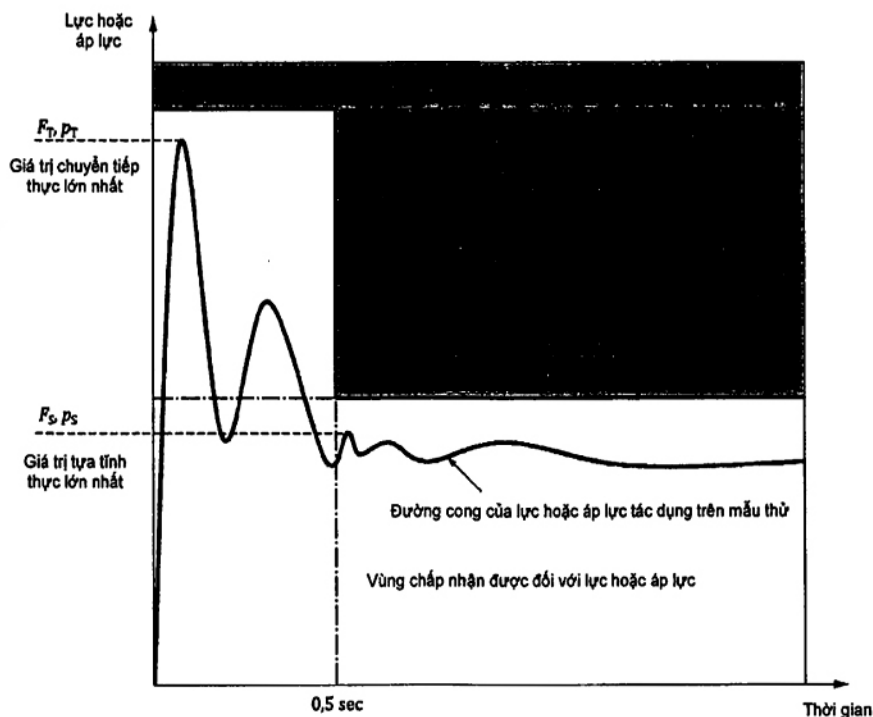
Bất kỳ biến cố kẹp chặt nào giữa thiết bị rô bốt hợp tác và các vùng thân thể của người cũng phải xảy ra theo cách sao cho con người phải có khả năng thoát ra khỏi trạng thái kẹp chặt một cách độc lập và dễ dàng.

5.5.5.5 Các giới hạn điều chỉnh công suất và lực

Thiết bị rô bốt phải được thiết kế để giảm rủi ro một cách thỏa đáng cho một người vận hành bằng cách không vượt quá các giá trị giới hạn của ngưỡng được áp dụng cho các tiếp xúc tụt tĩnh và chuyển tiếp như đã quy định bởi đánh giá rủi ro. Phụ lục A cung cấp thông tin về cách có thể xác định được các giá trị giới hạn của ngưỡng.

Các rô bốt duy trì hoạt động hợp tác với các giới hạn công suất và lực có thể được cung cấp theo cách bố trí các ngưỡng giới hạn, ví dụ, các ngưỡng giới hạn về lực, mômen xoắn, vận tốc, động lượng, công suất cơ học, các khoảng cách trục hoặc các khoảng không gian. Giảm rủi ro gắn liền với tiếp xúc chuyển tiếp có thể liên quan đến giới hạn vận tốc của các bộ phận chuyển động (như là rô bốt, các dụng cụ gia công hoặc chi tiết gia công) và thiết kế thích hợp của các đặc tính vật lý như diện tích bề mặt của bộ phận chuyển động có thể tiếp xúc với người vận hành. Giảm rủi ro gắn liền với tụt tĩnh có thể bao gồm các giới hạn vận tốc và các đặc tính vật lý tương tự như tiếp xúc chuyển tiếp, cộng với các đặc tính thiết kế của các bộ phận trong thiết bị rô bốt có liên quan đến khả năng bị kẹp hoặc bị kẹp của người vận hành hoặc vùng thân thể người vận hành.

Phải phân tích các giá trị giới hạn cho các biến cố tiếp xúc có liên quan trên các vùng thân thể bị phơi nhiễm đối với các giới hạn nghiêm ngặt nhất. Đây là các giá trị giới hạn của ngưỡng trong “trường hợp nguy hiểm nhất” cho các biến cố chuyển tiếp và tựa tĩnh phải được sử dụng trong xác định các mức giảm rủi ro thích hợp. Thiết kế hoặc các biện pháp phải được thực thi sao cho ảnh hưởng của các tiếp xúc đã nhận diện được duy trì ở mức bên dưới các giá trị giới hạn của ngưỡng này.



Hình 4 – Biểu thị bằng đồ thị các lực hoặc áp lực chấp nhận được và không chấp nhận được

Nếu chuyển động của rô bốt dẫn đến kẹp chặt hoặc cặp chặt một vùng thân thể giữa một bộ phận của rô bốt và chi tiết khác trong khu vực dùng rô bốt thì vận tốc của rô bốt phải được giới hạn sao cho thiết bị rô bốt có thể tuân theo các giới hạn bảo vệ gắn liền với vùng thân thể bị phơi nhiễm như đã chỉ ra trên hình 4. Rô bốt cũng phải được trang bị phương tiện để người vận hành giải thoát vùng thân thể bằng tay.

Các giới hạn công thái học có thể khác so với các giới hạn cơ sinh học. Đối với các tiếp xúc hay xảy ra hoặc các trường hợp đặc biệt khác, các giá trị giới hạn áp dụng được của ngưỡng có thể được giảm đi thêm nữa tới một mức có thể chấp nhận được về mặt công thái học.

5.5.5.6 Các giới hạn vận tốc

Để giảm rủi ro gắn liền với các tiếp xúc chuyển tiếp, thiết bị rô bốt phải giới hạn vận tốc của các bộ phận chuyển động của rô bốt. Các giới hạn vận tốc phụ thuộc vào quán tính (khối lượng) và cỡ kích thước nhỏ nhất của vùng trên rô bốt có thể tiếp xúc với vùng thân thể bị phơi nhiễm. Hướng dẫn về cách xác lập các giới hạn vận tốc được cho trong Phụ lục A.

6 Kiểm tra và xác nhận

Về các yêu cầu kiểm tra và hợp thức hóa, xem TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), Điều 6.

7 Thông tin cho sử dụng

7.1 Quy định chung

Các yêu cầu về thông tin cho sử dụng, xem TCVN 13229-1:2020 (ISO 10218-1:2011), Điều 7 và TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), Điều 7.

7.2 Thông tin riêng cho các hoạt động của rô bốt hợp tác

Tài liệu đi kèm một thiết bị rô bốt hợp tác được hướng vào một ứng dụng hợp tác riêng. Thiết bị lấy tích phân phải cung cấp cho người sử dụng thông tin cần thiết về sử dụng thiết bị hợp tác. Thiết bị lấy tích phân phải bao gồm thông tin cho sử dụng các bộ phận bảo vệ an toàn và lựa chọn dạng hoạt động hợp tác cần cho hoạt động hợp tác. Thiết bị lấy tích phân phải cung cấp thông tin sau về thiết kế thiết bị ngoài các yêu cầu trong TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), Điều 7:

- Nhà sản xuất hoặc thiết bị lấy tích phân (nếu thiết bị lấy tích phân được thiết kế cho thiết bị rô bốt hợp tác);
- Tổ chức tiến hành thử nghiệm (nếu thử nghiệm đã được tiến hành);
- Kiểu rô bốt và mô tả tóm tắt về ứng dụng hợp tác;
- Mô tả ứng dụng của địa điểm làm việc (tên của địa điểm làm việc bao gồm cả rô bốt hợp tác).

7.3 Mô tả thiết bị rô bốt hợp tác

Phải lưu giữ tài liệu sau:

- Các dữ liệu về đặc tính kỹ thuật cho sử dụng rô bốt hợp tác trong ứng dụng (bản mô tả, các bản vẽ và ảnh chụp);
- Mô tả và các dữ liệu về đặc tính kỹ thuật cho các bộ phận bảo vệ an toàn được áp dụng cho không gian làm việc hợp tác;
- Mô tả các bộ điều khiển để lựa chọn và không lựa chọn các loại hoạt động hợp tác có liên quan.

7.4 Mô tả ứng dụng địa điểm làm việc

Phải cung cấp các tài liệu sau:

- Mô tả các điều kiện môi trường của không gian, các lối vào, lối ra, đường đi lại;
- Mô tả thiết bị, hệ thống máy móc, máy móc, các chi tiết tùy chọn của thiết bị, các dụng cụ và các vật liệu cho sản xuất trong khu vực làm việc có liên quan đến ứng dụng và định vị các phương tiện này, bao gồm cả thiết bị rô bốt;
- Các bản vẽ chi tiết và hình ảnh.

7.5 Mô tả tác vụ làm việc

Phải chứng minh bằng tài liệu cho các thông tin sau:

- a) Mô tả tất cả các hoạt động làm việc hoặc vận hành có liên quan của người vận hành;
- b) Mô tả các hoạt động làm việc hoặc vận hành có liên quan của thiết bị rô bốt hợp tác;
- c) Đặc điểm của trình tự theo niên đại của tất cả các hoạt động làm việc, đặc biệt là các hoạt động trong phạm vi không gian làm việc hợp tác;
- d) Tài liệu chứng minh cho các phép đo khoảng cách nguy hiểm giữa rô bốt và người trong tất cả các giai đoạn làm việc;
- e) Bản mô tả hoặc bản vẽ của không gian làm việc hợp tác.

7.6 Thông tin riêng cho các ứng dụng giới hạn công suất và lực

Đối với các thiết bị rô bốt đáp ứng các yêu cầu của 5.5.5 và tuân theo hướng dẫn trong Phụ lục A, các yêu cầu sau phải được chứng minh bằng tài liệu:

- a) Thông tin riêng cho rô bốt, bộ dụng cụ và chi tiết gia công (xem A.3.6), bao gồm:
 - 1) trọng tải hiệu dụng (m_L);
 - 2) khối lượng tổng của các bộ phận di động của rô bốt (M);
- b) Các tình huống tiếp xúc biết trước và hợp lý thấy trước được giữa thiết bị rô bốt và người vận hành, bao gồm:
 - 1) các vùng thân thể riêng có thể được tiếp xúc (xem Bảng A.1);
 - 2) bản công bố về sự tiếp xúc là chuyển tiếp hoặc tựa tĩnh;
 - 3) vùng bề mặt được dự tính hoặc các điều kiện về hình học gắn liền với các bề mặt tiếp xúc;
 - 4) các giới hạn cơ sinh học lớn nhất cho phép gắn liền với tiếp xúc (xem Bảng A.2);
- c) Các biện pháp giảm rủi ro được dự định lựa chọn:
 - 1) các biện pháp giảm rủi ro chủ động hoặc bị động được khuyến nghị (xem 5.5.5.4);
 - 2) điều khiển vận tốc được đánh giá an toàn được sử dụng, giá trị giới hạn của vận tốc được đánh giá an toàn phải được chứng minh bằng tài liệu (xem A.3.6).

Đối với các thiết bị rô bốt đáp ứng các yêu cầu của 5.5.5 khi sử dụng các phương pháp khác với hướng dẫn trong Phụ lục A, thông tin cho sử dụng phải bao gồm các dữ liệu và thông tin được dùng để xác lập chức năng giới hạn công suất và lực.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Các giới hạn cho tiếp xúc tựa tĩnh và chuyển tiếp

A.1 Quy định chung

TCVN 13229-2:2020 (ISO 10218-2:2011), 5.11.5.5, yêu cầu các thông số của công suất, lực và công thái học gắn liền với các thiết bị rô bốt được giới hạn về công suất và lực phải được xác định bằng đánh giá rủi ro. Thông tin về thiết kế thiết bị rô bốt hợp tác được cho trong 5.4.4.

Phụ lục này cung cấp hướng dẫn về cách xác lập các giá trị giới hạn của ngưỡng trên thiết bị rô bốt hợp tác, đặc biệt là trên các ứng dụng giới hạn công suất và lực. Giả thiết cơ bản đằng sau hướng dẫn này là các giới hạn trên thiết bị rô bốt hợp tác có thể được tính toán dựa trên các ngưỡng nhạy cảm với nỗi đau tại giao diện người – máy trong các tình huống khi xảy ra sự tiếp xúc này. Các giá trị giới hạn của ngưỡng này có thể được sử dụng để xác lập các giá trị giới hạn của áp lực và lực cho các vùng thân thể khác nhau khi sử dụng một mô hình thân thể. Sau đó các dữ liệu này có thể được tính toán ngoại suy để chỉnh đặt các giới hạn truyền năng lượng tại giao diện người/máy. Các giới hạn vận tốc sau đó có thể được quy định cho một rô bốt di chuyển qua một không gian làm việc hợp tác. Các giá trị giới hạn vận tốc có thể duy trì các giới hạn lực và áp lực ở dưới ngưỡng nhạy cảm với nỗi đau nếu đã xảy ra tiếp xúc với một người vận hành và một rô bốt.

Các giá trị giới hạn trong phụ lục này dựa trên các đánh giá dè dặt (vừa phải) và nghiên cứu khoa học về cảm giác đau đớn.

Hướng dẫn trong phụ lục này được dự định sử dụng như một phương tiện thông tin để phác họa một phương pháp giúp cho các thiết bị lấy tích phân có thể chỉnh đặt các giới hạn trong các ứng dụng giới hạn công suất và lực.

A.2 Mô hình thân thể

Giả thiết của đánh giá rủi ro cho các ứng dụng rô bốt hợp tác có công suất và lực được giới hạn là sự tiếp xúc không quan trọng giữa các bộ phận của thiết bị rô bốt hợp tác và người vận hành có thể xảy ra.

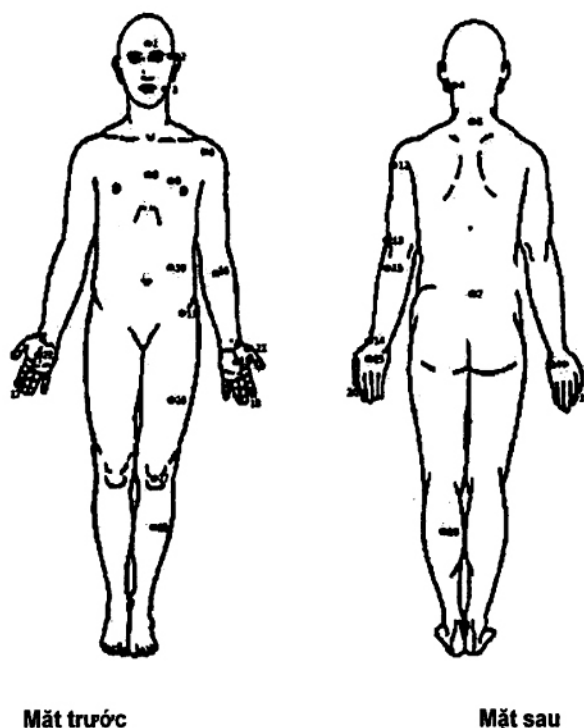
Xem xét ban đầu trong đánh giá rủi ro là để xác định tiếp xúc giữa rô bốt và người vận hành có thể xảy ra ở đâu trên thân thể người vận hành. Đây là trường hợp tới hạn (nguy kịch) vì các vùng thân thể khác nhau sẽ có các ngưỡng khác nhau về chịu tải trọng cơ sinh học mà không có thương tích nhỏ không chữa được.

Để đáp ứng yêu cầu đã nêu trên, phụ lục này đã đưa ra một mô hình thân thể bao gồm 29 vùng thân thể riêng được phân loại thành 12 vùng trên thân thể. Hình A.1 giới thiệu các vùng tiếp xúc trên mô hình thân thể, trong khi Bảng A.1 đưa ra các vùng thân thể riêng được phân loại thành các vùng thân thể phổ biến và được ký hiệu bằng các chữ số ở mặt trước hoặc mặt phía sau của thân thể.

A.3 Các giới hạn cơ sinh học

A.3.1 Quy định chung

Các giới hạn cơ sinh học được công bố để ngăn ngừa tải trọng cơ sinh học được bắt đầu bởi chuyển động của rô bốt để tạo ra tiềm năng gây thương tích không quan trọng cho người vận hành trong biến cố tiếp xúc giữa người vận hành và rô bốt.



Hình A.1 – Mô hình thân thể

Các giá trị áp lực này có thể được sử dụng để dự tính các giới hạn áp lực và lực khi sử dụng các dự tính vừa phải được xác lập bởi các nghiên cứu (xem các tài liệu tham khảo [2], [3], [4] và [7]). Năng lượng truyền do tiếp xúc theo giả thiết giữa một rô bốt và người sau đó có thể được mô hình hóa khi thừa nhận sự tiếp xúc hoàn toàn không đàn hồi giữa rô bốt và người vận hành và có tính đến dung lượng có ích của rô bốt và các yếu tố gắn liền với bộ phận thân thể của người vận hành chịu tiếp xúc. Một khi năng lượng truyền được xác lập, có thể xác lập các khuyến nghị giới hạn vận tốc cho chuyển động của rô bốt trong không gian làm việc hợp tác để duy trì năng lượng truyền ở một mức bên dưới ngưỡng của thương tích không quan trọng gây ra cho một người trong biến cố tiếp xúc giữa rô bốt và người vận hành trong không gian làm việc hợp tác.

A.3.2 Các giá trị lớn nhất của áp lực và lực

Bảng A.2 cung cấp các giá trị định lượng lớn nhất cho các tiếp xúc tĩnh và chuyển tiếp giữa người và thiết bị rô bốt.

Các dữ liệu tiếp xúc trong Bảng A.2 không phản ánh bất cứ sự sử dụng nào đối với trang bị bảo vệ cá nhân hoặc bất cứ vận dụng nào khác ngoài quần áo đặc trưng cho môi trường làm việc.

Mặc dù Bảng A.2 cung cấp các dữ liệu cho tiếp xúc với mặt, sọ và trán, nhưng không cho phép tiếp xúc với các vùng này. Xem 5.5.5.3.

Bảng A.1 – Mô tả về mô hình thân thể

Vùng thân thể	Vùng thân thể riêng		Mặt trước/Mặt sau
Sọ và trán	1	Điểm giữa trán	Mặt trước
	2	Thái dương	Mặt trước
Mặt	3	Bắp cơ nhai	Mặt trước
Cổ	4	Bắp cơ cổ	Mặt sau
	5	Đốt sống cổ thứ 7	Mặt sau
Lưng và vai	6	Khớp vai	Mặt trước
	7	Đốt sống thắt lưng thứ năm	Mặt sau
Ngực	8	Xương ức	Mặt trước
	9	Bắp cơ ngực	Mặt trước
Bụng	10	Bắp cơ bụng	Mặt trước
Khung chậu	11	Xương chậu	Mặt trước
Cánh tay trên và khớp khuỷu tay	12	Bắp cơ tam giác	Mặt sau
	13	Xương cánh tay	Mặt sau
Cánh tay dưới và khớp cổ tay	14	Xương quay	Mặt sau
	15	Bắp cơ cổ tay	Mặt sau
	16	Dây thần kinh cánh tay	Mặt trước
Bàn tay và các ngón tay	17	Đệm ngón tay chỗ D ^a	Mặt trước
	18	Đệm ngón tay chỗ ND ^a	Mặt trước
	19	Khớp đầu mút ngón tay chỗ D ^a	Mặt sau
	20	Khớp đầu mút ngón tay chỗ ND ^a	Mặt sau
	21	Gò lòng bàn tay	Mặt trước
	22	Gan lòng bàn tay D ^a	Mặt trước
	23	Gan lòng bàn tay ND ^a	Mặt trước
	24	Mu bàn tay D ^a	Mặt sau
	25	Mu bàn tay ND ^a	Mặt sau
Đùi và đầu gối	26	Bắp cơ đùi	Mặt trước
	27	Xương bánh chè	Mặt trước
Cẳng chân	28	Phần giữa cẳng chân	Mặt trước
	29	Cơ bắp chân	Mặt sau

^a D= bên thân thể mạnh mẽ hơn; ND = bên thân thể kém mạnh mẽ hơn.

Bảng A.2 – Các giới hạn cơ sinh học

Vùng thân thể	Vùng thân thể riêng		Tiếp xúc tựa tĩnh		Tiếp xúc chuyển tiếp	
			Áp lực lớn nhất cho phép ^a p_s N/cm ²	Lực lớn nhất cho phép ^b N	Bộ nhân áp lực lớn nhất cho phép ^c P_T	Bộ nhân lực lớn nhất cho phép ^c F_T
Sọ và trán ^d	1	Điểm giữa trán	130	130	không áp dụng	không áp dụng
	2	Thái dương	110		không áp dụng	
Mặt ^d	3	Bắp cơ nhai	110	65	không áp dụng	không áp dụng
Cổ	4	Bắp cơ cổ	140	150	2	2
	5	Đốt sống cổ thứ bảy	210		2	
Lưng và vai	6	Khớp vai	160	210	2	2
	7	Đốt sống thắt lưng thứ năm	210		2	
Ngực	8	Xương ức	120	140	2	2
	9	Bắp cơ ngực	170		2	
Bụng	10	Bắp cơ bụng	140	110	2	2
Khung chậu	11	Xương chậu	210	180	2	2
Cánh tay trên và khớp khuỷu tay	12	Bắp cơ tam giác	190	150	2	2
	13	Xương cánh tay	220		2	
Cánh tay dưới và khớp cổ tay	14	Xương quay	190	160	2	2
	15	Bắp cơ cổ tay	180		2	
	16	Dây thần kinh cánh tay	180		2	

^a Các giá trị cơ sinh học này là kết quả nghiên cứu do trường đại học Mainz tiến hành trên các mức đau đớn áp tới. Mặc dù nghiên cứu này đã được thực hiện khi sử dụng các kỹ thuật thử nghiệm có kỷ xảo, các giá trị đã chỉ ra ở đây là kết quả của một nghiên cứu đơn lẻ về một lĩnh vực đề tài chưa có cơ sở nghiên cứu mở rộng. Đã có dự định sẽ tiến hành các nghiên cứu bổ sung trong tương lai nhằm sửa đổi các giá trị này. Thử nghiệm đã được tiến hành với 100 đối tượng thử là người trưởng thành khỏe mạnh trên 29 vùng thân thể riêng và đối với mỗi một trong các vùng thân thể, các giới hạn của áp lực và lực cho tiếp xúc tựa tĩnh đã được xác lập khi đánh giá lúc bắt đầu của các ngưỡng đau đớn. Các giá trị áp lực lớn nhất cho phép được chỉ ra ở đây biểu thị phân vị thứ 75 của phạm vi các giá trị ghi được cho một vùng thân thể riêng. Các giá trị này được xác định là các đại lượng vật lý tương ứng với khi các áp lực tác dụng vào vùng thân thể riêng tạo ra cảm giác tương ứng với lúc bắt đầu đau. Các áp lực lớn nhất dựa trên các phép tính trung bình với độ phân giải 1mm². Các kết quả nghiên cứu dựa trên một thiết bị thử sử dụng một bề mặt mẫu thử phẳng (kim loại) (1,4x1,4) cm có bán kính 2mm tiện tất cả bốn cạnh. Một thiết bị thử khác có khả năng cho ra các kết quả khác. Để biết chi tiết hơn về nghiên cứu này, xem Tài liệu tham khảo [5].

^b Có thể thu được các giá trị của lực lớn nhất cho phép từ nghiên cứu do một tổ chức độc lập thực hiện (xem Tài liệu tham khảo [6]), dựa vào 188 nguồn. Các giá trị này chỉ có liên quan đến các vùng thân thể mà không liên quan đến nhiều vùng thân thể riêng. Lực lớn nhất cho phép dựa trên tiêu chuẩn truyền năng lượng thấp nhất có thể dẫn đến một thương tích nhỏ như vết thâm tím, tương đương với mức nghiêm trọng 1 trên Thang Thương Tích viết tắt (AIS) được xác lập bởi Hiệp hội về sự tiến bộ của y học tự vận động. Tôn trọng các giới hạn sẽ ngăn ngừa xảy ra sự xuyên vào da hoặc mô mềm dẫn đến các vết thương chảy máu, gãy xương hoặc các tổn hại khác của bộ xương và sẽ ở dưới mức AIS 1. Trong tương lai các giới hạn này sẽ được thay thế bằng các giá trị từ nghiên cứu đặc trưng hơn cho các rô bốt hợp tác.

^c Giá trị của bộ nhân cho tiếp xúc chuyển tiếp đã thu được dựa trên các nghiên cứu đã chỉ ra rằng các giá trị giới hạn chuyển tiếp ít nhất có thể lớn hơn hai lần các giá trị tựa tĩnh đối với lực và áp lực. Về các nội dung chi tiết của nghiên cứu, xem Tài liệu tham khảo [2], [3], [4] và [7].

^d Vùng tối hạn (chữ in nghiêng)

Bảng A.2 (tiếp theo)

Vùng thân thể	Vùng thân thể riêng		Tiếp xúc tựa tĩnh		Tiếp xúc chuyển tiếp	
			Áp lực lớn nhất cho phép ^a p_s N/cm ²	Lực lớn nhất cho phép ^b N	Bộ nhân áp lực lớn nhất cho phép ^c P_T	Bộ nhân lực lớn nhất cho phép ^c F_T
Bàn tay và các ngón tay	17	Đệm ngón tay trở D	300	140	2	2
	18	Đệm ngón tay trở ND	270		2	
	19	Khớp đầu mút ngón tay trở D	280		2	
	20	Khớp đầu mút ngón tay trở ND	220		2	
	21	Gõ lòng bàn tay	200		2	
	22	Gan lòng bàn tay D	260		2	
	23	Gan lòng bàn tay ND	260		2	
	24	Mu bàn tay D	200		2	
	25	Mu bàn tay ND	190		2	
Đùi và đầu gối	26	Bắp cơ đùi	250	220	2	2
	27	Xương bánh chè	220		2	
Cẳng chân	28	Phần giữa cẳng chân	220	130	2	2
	29	Cơ bắp chân	210		2	

^a Các giá trị cơ sinh học này là kết quả nghiên cứu do trường đại học Mainz tiến hành trên các mức đau đón áp tới. Mặc dù nghiên cứu này đã được thực hiện khi sử dụng các kỹ thuật thử nghiệm có kỹ xảo, các giá trị đã chỉ ra ở đây là kết quả của một nghiên cứu đơn lẻ về một lĩnh vực đề tài chưa có cơ sở nghiên cứu mở rộng. Đã có dự định sẽ tiến hành các nghiên cứu bổ sung trong tương lai nhằm sửa đổi các giá trị này. Thử nghiệm đã được tiến hành với 100 đối tượng thử là người trưởng thành khỏe mạnh trên 29 vùng thân thể riêng và đối với mỗi một trong các vùng thân thể, các giới hạn của áp lực và lực cho tiếp xúc tựa tĩnh đã được xác lập khi đánh giá lúc bắt đầu của các ngưỡng đau đớn. Các giá trị áp lực lớn nhất cho phép được chỉ ra ở đây biểu thị phần vị thứ 75 của phạm vi các giá trị ghi được cho một vùng thân thể riêng. Các giá trị này được xác định là các đại lượng vật lý tương ứng với khi các áp lực tác dụng vào vùng thân thể riêng tạo ra cảm giác tương ứng với lúc bắt đầu đau. Các áp lực lớn nhất dựa trên các phép tính trung bình với độ phân giải 1mm². Các kết quả nghiên cứu dựa trên một thiết bị thử sử dụng một bề mặt mẫu thử phẳng (kim loại) (1,4x1,4) cm có bán kính 2mm tiền tất cả bốn cạnh. Một thiết bị thử khác có khả năng cho ra các kết quả khác. Để biết chi tiết hơn về nghiên cứu này, xem Tài liệu tham khảo [5].

^b Có thể thu được các giá trị của lực lớn nhất cho phép từ nghiên cứu do một tổ chức độc lập thực hiện (xem Tài liệu tham khảo [6]), dựa vào 188 nguồn. Các giá trị này chỉ có liên quan đến các vùng thân thể mà không liên quan đến nhiều vùng thân thể riêng. Lực lớn nhất cho phép dựa trên tiêu chuẩn truyền năng lượng thấp nhất có thể dẫn đến một thương tích nhỏ như vết thâm tím, tương đương với mức nghiêm trọng 1 trên Thang Thương Tích viết tắt (AIS) được xác lập bởi Hiệp hội về sự tiến bộ của y học tự vận động. Tôn trọng các giới hạn sẽ ngăn ngừa xảy ra sự xuyên vào da hoặc mô mềm dẫn đến các vết thương chảy máu, gãy xương hoặc các tổn hại khác của bộ xương và sẽ ở dưới mức AIS 1. Trong tương lai các giới hạn này sẽ được thay thế bằng các giá trị từ nghiên cứu đặc trưng hơn cho các rô bốt hợp tác.

^c Giá trị của bộ nhân cho tiếp xúc chuyển tiếp đã thu được dựa trên các nghiên cứu đã chỉ ra rằng các giá trị giới hạn chuyển tiếp ít nhất có thể lớn hơn hai lần các giá trị tựa tĩnh đối với lực và áp lực. Về các nội dung chi tiết của nghiên cứu, xem Tài liệu tham khảo [2], [3], [4] và [7].

^d Vùng tới hạn (chữ in nghiêng)

A.3.3 Quan hệ giữa áp lực và lực

Để đánh giá kịch bản tiếp xúc cho đánh giá rủi ro của rô bốt hợp tác cần tính toán và xem xét cả hai giá trị lực và áp lực.

VÍ DỤ 1 Trong biến cố một người vận hành xâm nhập vào vùng dụng cụ của một thiết bị rô bốt đang vận hành, các bàn tay có thể bị kẹp bởi các bộ phận của dụng cụ hoặc chi tiết gia công. Giá trị của lực được tạo ra có thể thấp hơn nhiều so với giá trị giới hạn của ngưỡng lực. Trong trường hợp này giới hạn áp lực cũng có thể là yếu tố giới hạn.

VÍ DỤ 2 Trong biến cố tiếp xúc giữa một vùng thân thể với bề mặt máy có đệm lót có diện tích bề mặt tương đối lớn hoặc một vùng thân thể có tỷ lệ mô mềm cao hơn (như là bụng), giá trị của áp lực được tạo ra có thể thấp hơn nhiều so với giá trị giới hạn của ngưỡng áp lực. Trong trường hợp này giới hạn của lực cũng có thể là yếu tố giới hạn.

Để giảm tiềm năng của áp lực cao tác dụng vào người vận hành, thiết bị rô bốt, bao gồm cả chi tiết gia công nên có diện tích bề mặt càng cao càng tốt. Sự lót thêm đệm có thể làm cho diện tích bề mặt tăng lên và dẫn đến áp lực thấp hơn.

Tiếp xúc giữa các bộ phận cứng chắc của thiết bị rô bốt và các bộ phận thân thể người có thể dẫn đến sự phân bố áp lực không đồng đều (các giá trị đỉnh của áp lực) trên bề mặt tiếp xúc. Trong các trường hợp này sự xuất hiện áp lực lớn nhất (đỉnh) trên vùng tiếp xúc là tất nhiên.

Các giới hạn của áp lực và lực cho trong tiêu chuẩn này không bị hạn chế cho một bề mặt riêng hoặc đường cong của cạnh. Về các hạn chế trên các bộ phận của thiết bị rô bốt hợp tác có các cạnh sắc như các dao và chi tiết hình kim, xem 5.5.5.3.

A.3.4 Mối quan hệ giữa các giới hạn cơ sinh học và truyền năng lượng trong quá trình tiếp xúc chuyển tiếp

Có thể sử dụng các giá trị trong Bảng A.2 để phê chuẩn đặc tính của một thiết bị rô bốt trong tình huống tiếp xúc tựa tĩnh khi sử dụng các dụng cụ đo trên thiết bị rô bốt.

Nếu tác vụ hợp tác đòi hỏi có tiếp xúc chuyển tiếp thì kịch bản của tiếp xúc có thể được mô hình hóa khi sử dụng phương pháp được nêu ra trong điều này. Mô hình hóa được dựa trên cơ sở là đối với một kịch bản tiếp xúc đã cho giữa một rô bốt và người vận hành thì vùng tiếp xúc của thân thể và bề mặt tiếp xúc đã biết và quá trình truyền năng lượng có thể được mô hình hóa bằng điều chỉnh vận tốc của rô bốt tại điểm tiếp xúc.

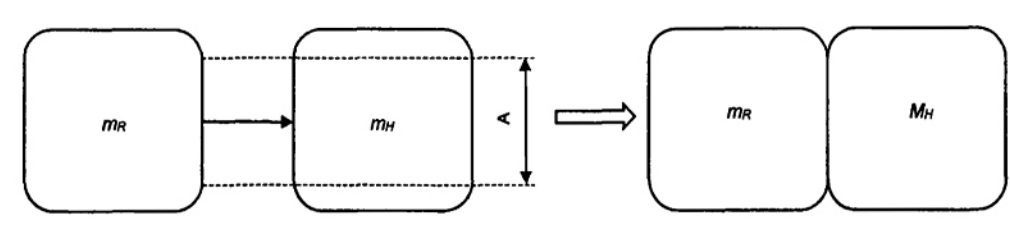
Để mô tả kịch bản tiếp xúc này có thể sử dụng một mô hình hai thân thể như đã phác họa trên Hình A.2. Trong mô hình, khối lượng hiệu dụng của rô bốt, m_R , di chuyển tới tiếp xúc với khối lượng hiệu dụng của vùng thân thể người, m_H , ở một vận tốc vectơ tương đối, v_{rel} , ngang qua vùng bề mặt hai chiều A dẫn đến trạng thái tiếp xúc được giả thử là hoàn toàn không đàn hồi tương đương với giả thiết cho trường hợp xấu nhất. Động năng tương đối được giả thiết là lắng đọng trong vùng thân thể bị ảnh hưởng.

Về mục đích của mô hình tiếp xúc, m_R , có thể được đánh giá ở mức vừa phải là một hàm số của dung lượng có ích của thiết bị rô bốt (bao gồm cả chi tiết gia công) và khối lượng của các bộ phận chuyển động của rô bốt; m_H , có thể được đánh giá như một hàm số của khối lượng thực của vùng thân thể và các tác dụng của vùng thân thể được kết nối với các vùng thân thể khác; các tính toán như đã nêu trên được mô tả chi tiết trong phụ lục này.

Về các mục đích của mô hình hóa, các khối lượng hiệu dụng và các hằng số đàn hồi dùng để biểu thị các vùng thân thể người như đã chỉ ra trong Bảng A.3. Các giá trị hằng số đàn hồi của thân thể cao hơn trong vùng thân thể có tỷ lệ mô mềm cao hơn, các mô mềm này có thể biến dạng và hấp thụ các tiếp xúc.

CHÚ THÍCH Các hằng số đàn hồi đã dẫn ra có hiệu lực cho các diện tích tiếp xúc xấp xỉ bằng 1 cm^2 .

Các giá trị khối lượng hiệu dụng biểu thị một tổ hợp khối lượng của vùng thân thể cùng với các tác dụng của sự liên kết với nhau của vùng thân thể với các vùng thân thể lân cận, đặc biệt là tổ hợp này có liên quan đến khả năng di chuyển của vùng thân thể theo cùng một hướng (chiều) véc tơ tiếp xúc khi xảy ra tiếp xúc.



Chú dẫn

- A khoảng tiếp xúc giữa rô bốt và vùng thân thể
- m_H khối lượng hiệu dụng của vùng thân thể người
- m_R khối lượng hiệu dụng của rô bốt là một hàm của tư thế và chuyển động của rô bốt
- v_{rel} vận tốc tương đối giữa rô bốt và vùng thân thể người

Hình A.2 – Mô hình tiếp xúc cho tiếp xúc chuyển tiếp

Bảng A.3 – Các khối lượng hiệu dụng và các hằng số đàn hồi cho mô hình thân thể

Vùng thân thể	Hằng số đàn hồi hiệu dụng K N/mm	Khối lượng hiệu dụng m_H kg
Sọ và trán	150	4,4
Mặt	75	4,4
Cổ	50	1,2
Lưng và vai	35	40
Ngực	25	40
Bụng	10	40
Khung chậu	25	40
Cánh tay trên và khớp khuỷu tay	30	3
Cánh tay dưới và khớp cổ tay	40	2
Bàn tay và các ngón tay	75	0,6
Đùi và đầu gối	50	75
Cẳng chân	60	75
CHÚ THÍCH Các giá trị khối lượng cho đùi, đầu gối và cẳng chân được chỉnh đặt cho toàn bộ khối lượng thân thể vì các bộ phận thân thể này không tự do bật lại hoặc co lại trong khi người vận hành đang đứng.		

TCVN 13700:2023

Đối với mỗi vùng thân thể, năng lượng truyền lớn nhất cho phép có thể được tính toán như là một hàm số của các giá trị lực lớn nhất hoặc áp lực lớn nhất được chỉ ra trong Bảng A.2 khi sử dụng Công thức (A.1):

$$E = \frac{F_{max}^2}{2k} = \frac{A^2 p_{max}^2}{2k} \quad (A.1)$$

trong đó:

E là năng lượng truyền;

F_{max} là lực tiếp xúc lớn nhất cho vùng thân thể riêng (xem Bảng A.2);

p_{max} là áp lực tiếp xúc lớn nhất cho khoảng thân thể riêng (xem Bảng A.3);

k là hằng số đàn hồi hiệu dụng cho vùng thân thể riêng (xem Bảng A.3);

A là khoảng tiếp xúc giữa rô bốt và vùng thân thể.

Áp dụng Công thức (A.1) cho các giá trị tiếp xúc chuyển tiếp trong Bảng A.2 dẫn đến truyền các giá trị giới hạn của năng lượng cho mỗi vùng thân thể như đã chỉ ra trong Bảng A.4.

Bảng A.4 – Các giá trị giới hạn năng lượng dựa trên mô hình riêng thân thể

Vùng thân thể	Năng lượng lớn nhất được truyền E J
Sọ và trán	0,23
Mặt	0,11
Cổ	0,84
Lưng và vai	2,5
Ngực	1,6
Bụng	2,4
Khung chậu	2,6
Cánh tay trên và khớp khuỷu tay	1,5
Cánh tay dưới và khớp cổ tay	1,3
Bàn tay và các ngón tay	0,49
Đùi và đầu gối	1,9
Cẳng chân	0,52

A.3.5 Mỗi quan hệ giữa năng lượng truyền và vận tốc rô bốt trong quá trình tiếp xúc chuyển tiếp

Một khi xác lập được giá trị giới hạn năng lượng truyền cho kịch bản tiếp xúc thì có thể sử dụng năng lượng này để xác định vận tốc lớn nhất tại đó rô bốt có thể di chuyển qua không gian làm việc hợp tác trong khi vẫn duy trì được các giá trị của lực và áp lực có tiềm năng ở bên dưới các giới hạn của ngưỡng trong Bảng A.2, nếu đã xảy ra tiếp xúc giữa thiết bị rô bốt hợp tác và người vận hành.

Giả thiết đứng sau sự thu được giới hạn vận tốc cho tiếp xúc là làm cân bằng năng lượng đàn hồi của vùng thân thể người với tổng động năng ở tâm của tọa độ khối lượng với giả thiết là tiếp xúc không đàn hồi hoàn toàn. Năng lượng trong mô hình này được biểu thị như công thức (A.2):

$$E = \frac{F^2}{2k} = \frac{1}{2} \mu v_{rel}^2 \quad (A.2)$$

trong đó

v_{rel}^2 là vận tốc tương đối giữa rô bốt và vùng thân thể người;

μ là khối lượng rút gọn của hệ hai thân thể được biểu thị bởi Công thức (A.3):

$$\mu = \left(\frac{1}{m_H} + \frac{1}{m_R} \right)^{-1} \quad (A.3)$$

trong đó

m_H là khối lượng hiệu dụng của vùng thân thể người (xem Bảng A.3);

m_R là khối lượng hiệu dụng của rô bốt là một hàm số của tư thế và chuyển động của rô bốt (xem Hình A.3) được biểu thị bởi Công thức (A.4):

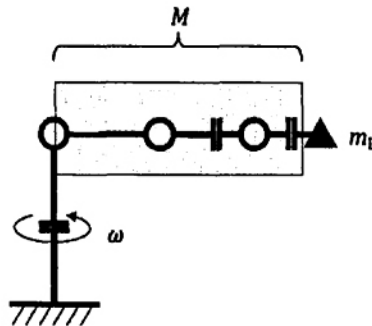
$$m_R = \frac{M}{2} + m_L \quad (A.4)$$

trong đó

m_L là tải trọng hiệu dụng của thiết bị rô bốt, bao gồm cả bộ dụng cụ và chi tiết gia công;

M là tổng khối lượng của các bộ phận chuyển động của rô bốt;

CHÚ THÍCH Các giá trị cho m_L và M được yêu cầu trong thông tin cho sử dụng (xem 7.6).



Chú dẫn

m_L trọng tải hiệu dụng của thiết bị rô bốt.

M tổng khối lượng của các bộ phận chuyển động của rô bốt

ω vận tốc quay

Hình A.3 – Mô hình phân bố khối lượng đơn giản hóa

Như vậy, khi giải Công thức (A.2) đối với v_{rel} sẽ thu được Công thức (A.5):

$$v_{rel} = \frac{F}{\sqrt{\mu k}} = \frac{pA}{\sqrt{\mu k}} \quad (A.5)$$

trong đó p là giá trị áp lực lớn nhất cho phép (xem Bảng A.2):

Vận tốc này có thể được quy định một cách trực tiếp theo các giá trị lớn nhất cho phép trong Công thức (A.6):

$$v_{rel,max} = \frac{F_{max}}{\sqrt{\mu k}} = \frac{p_{max}A}{\sqrt{\mu k}} \quad (A.6)$$

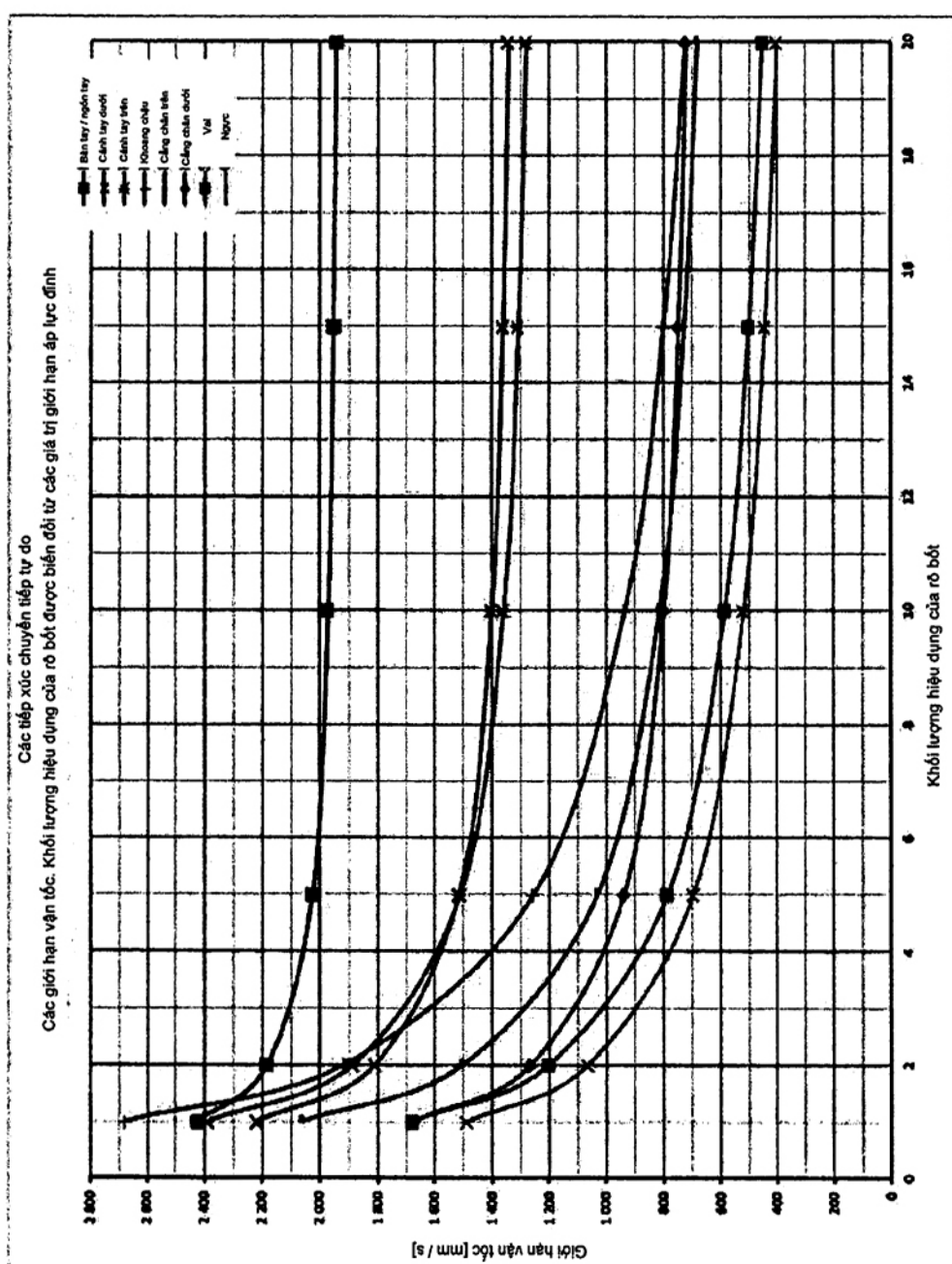
Để áp dụng Công thức (A.6), trước tiên cần tính toán khối lượng rút gọn của hệ hai thân thể, μ , dựa trên m_R và m_H , xác định p_{max} dựa trên các giá trị cho trong Bảng A.1, sau đó xác định k dựa trên các giá trị cho trong Bảng A.3.

Khoảng tiếp xúc A được xác định là khoảng nhỏ hơn trong các khoảng bề mặt của rô bốt hoặc người vận hành. Ở trạng thái khi khoảng bề mặt tiếp xúc của thân thể nhỏ hơn khoảng bề mặt tiếp xúc của rô bốt, như các bàn tay hoặc các ngón tay của người vận hành thì phải sử dụng khoảng bề mặt tiếp xúc của thân thể. Nếu tiếp xúc giữa nhiều vùng thân thể có các khoảng tiếp xúc bề mặt có tiềm năng khác nhau có thể xảy ra thì phải sử dụng giá trị A sinh ra $v_{rel,max}$ thấp nhất.

Các giá trị giới hạn của vận tốc biểu thị bằng mm/s, cho tiếp xúc chuyển tiếp không bị ép buộc có thể thu được khi sử dụng mô hình tiếp xúc thân thể và giả thử giá trị của khoảng tiếp xúc A là 1 cm², được cho trong Bảng A.5. Vẽ biểu đồ các giá trị giới hạn của vận tốc được cho trên Hình A.4. Phải tiến hành đánh giá rủi ro khi sử dụng các giá trị thực cho một thiết bị rô bốt hợp tác đã cho và phải sử dụng các giá trị được tính toán trong đánh giá rủi ro này để xác định xem đơn nguyên sử dụng rô bốt hợp tác có đáp ứng được các mục tiêu đã dự định hay không.

Bảng A.5 – Ví dụ về các giá trị giới hạn của vận tốc tiếp xúc chuyển tiếp dựa trên mô hình thân thể

Vùng thân thể	Giới hạn vận tốc là một hàm số của khối lượng hiệu dụng của rô bốt dựa trên giá trị áp lực lớn nhất với diện tích 1 cm ² mm/s					
	1	2	5	10	15	20
Bàn tay/ngón tay	2 400	2 200	2 000	2 000	2 000	1 900
Cánh tay dưới	2 200	1 800	1 500	1 400	1 400	1 300
Cánh tay trên	2 400	1 900	1 500	1 400	1 300	1 300
Bụng	2 900	2 100	1 400	1 000	870	780
Khung chậu	2 700	1 900	1 300	930	800	720
Cẳng chân trên	2 000	1 400	920	670	560	500
Cẳng chân dưới	1 700	1 200	800	580	490	440
Vai	1 700	1 200	790	590	500	450
Ngực	1 500	1 100	700	520	440	400



Hình A.4 – Biểu thị bằng biểu đồ giới hạn vận tốc tính toán dựa trên mô hình thân thể

Trong một số trường hợp, trong quá trình tiếp xúc tựa tĩnh có thể có một giá trị đỉnh của lực hoặc áp lực, gồm có một khoảng thời gian rất ngắn, khi m_H và m_R đạt được truyền năng lượng ở trạng thái cân bằng trong giai đoạn kẹp. Nếu xuất hiện một giá trị đỉnh của lực hoặc áp lực ban đầu và giá trị này có thể đo được bằng các dụng cụ đo để phân biệt được với lực hoặc áp lực ban đầu từ lực hoặc áp lực ở trạng

thái cân bằng từ giá trị của lực hoặc áp lực ban đầu phải được giới hạn bởi giá trị tiếp xúc chuyển tiếp có liên quan.

A.3.6 Các giới hạn cho mô hình thân thể

Mô hình thân thể là một phương tiện mà các bộ lấy tích phân của các thiết bị rô bốt hợp tác có thể sử dụng các nguyên lý khoa học để chỉnh đặt các giới hạn thích hợp gắn liền với các đánh giá rủi ro về công suất và lực đã hạn chế các hoạt động của rô bốt hợp tác.

Hơn nữa, mô hình thân thể được đưa ra như một phương tiện nhờ đó một bộ lấy tích phân của rô bốt có thể áp dụng các nguyên lý khoa học và tính gần đúng đã tiêu chuẩn hóa cho các xem xét gắn liền với một đánh giá rủi ro có liên quan đến tình huống tiếp xúc theo giả thuyết giữa một người vận hành và một rô bốt giới hạn công suất và lực.

Sự tiếp xúc chuyển tiếp giữa một rô bốt và một bộ phận thân thể người được giả thiết là sẽ dẫn đến sự va chạm giữa hai thân thể hoàn toàn đàn hồi. Kịch bản của sự tiếp xúc chuyển tiếp thực tế có thể nằm giữa một va chạm hoàn toàn đàn hồi và một va chạm hoàn toàn không đàn hồi.

Mô hình tiếp xúc hai thân thể dùng cho phân tích tiếp xúc chuyển tiếp giả thiết rằng vùng bề mặt tiếp xúc giữa một rô bốt và một bộ phận thân thể người là bằng phẳng, có sự phân bố áp lực đồng đều ngang qua vùng bề mặt. Hiện đang có chương trình nghiên cứu đánh giá các ảnh hưởng của hình dạng hình học khác nhau và các cấu hình tiếp xúc gắn liền với mô hình thân thể. Các trạng thái tiếp xúc thực tế, bao gồm cả hình dạng hình học của vùng tiếp xúc có thể cần được so sánh với các giá trị lực và áp lực trong Bảng A.2 thông qua các phép đo hoặc tính toán.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] IEC/TS 62046:2008, *Safety of machinery – Application of protective, equipment to detect the presence of persons (An toàn máy – Áp dụng các thiết bị bảo vệ để phát hiện sự hiện diện của người)*
- [2] EN 12453:2000, *Industrial, commercial and garage doors and gates – Safety in use of power operated doors – Requirements (Các cửa ra vào và cửa công nghiệp, thương mại và gara – An toàn trong sử dụng các cửa ra vào vận hành bằng năng lượng (điện) – Yêu cầu)*
- [3] MEWES D., & MAUSER F. Safeguarding Crushing Points by Limitation of Forces. Int. J. Occup. Saf. Ergon. 2003,9 9 (2) pp.177- 191
- [4] SUITA K., YAMADA Y., TSUCHIDA N., IKEDA H., SUGIMOTO N. A Failure-to-safety " Kyozon" system with simple contact detection and stop capabilities for safe human-autonomous robot coexistence. IEEE International Conference on Robotics and Automation 0-7803-1965-6/95.1995
- [5] Research project No. FP-0317: Collaborative robots – Investigation of pain sensibility at the Man-Machine-Interface. Institute for Occupational, Social and Environmental Medicine at the Johannes Gutenberg University of Mainz, Germany. Final report December 2014
- [6] BG/BGIA Risk assessment recommendations according to machinery directive. Design of workplaces with collaborative robots. U 001/ 2009e October 2009 edition, revised February 2011 http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bg_bgia_empf_u_001e.pdf
- [7] YAMADA Suita IKEDA, Sugimoto, MIURA Nakamura Pain: Evaluation of pain tolerance based on a biomechanical method for human- robot- coexistence. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. No 96-0689. 1997-8
- [8] REPORT No 88-5 USAARL Anthropometry and Mass Distribution for Human Analogues. Military Male Aviators, Vol. I, 1988.
- [9] BEHRENS Roland, & ELKMANN Norber Experimentelle Verifikation der biomechanischen Belastungsgrenzen bei Mensch-Roboter-Kollisionen: Phase I, Fruanhofer-Institut fuer Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF, Magdeburg, October 2014