

Động lực học xe dỡ than có tính đến ảnh hưởng của dòng vật liệu rời

Nguyễn Thái Minh Tuấn^{1,*}, Phạm Thành Chung²
và Phan Đăng Phong³

^{1,2} Bộ môn Cơ học ứng dụng, Đại học Bách khoa Hà Nội

³ Viện Nghiên cứu cơ khí

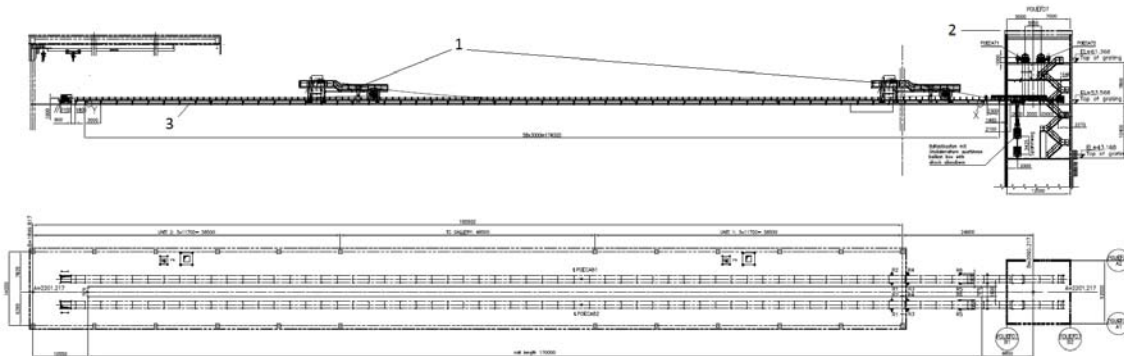
*Email: nguyenthaiminhluan@yahoo.com

Tóm tắt. Xe dỡ than (tripper car) cùng băng tải và dòng vật liệu rời trên băng tải là một hệ thống động lực phức tạp do có vật liệu vào và ra khỏi hệ thống liên tục. Bài báo này đưa ra một số giả thiết nhằm đơn giản hóa việc phân tích động lực học của hệ này. Sau đó, phương pháp năng lượng được sử dụng để thiết lập các phương trình vi phân chuyển động cho xe dỡ than. Các phương trình này giúp dự đoán ứng xử động lực của hệ và hỗ trợ quá trình thiết kế.

Từ khóa: Tripper car, xe dỡ than, ảnh hưởng của dòng vật liệu rời, phương pháp năng lượng.

1. Mở đầu

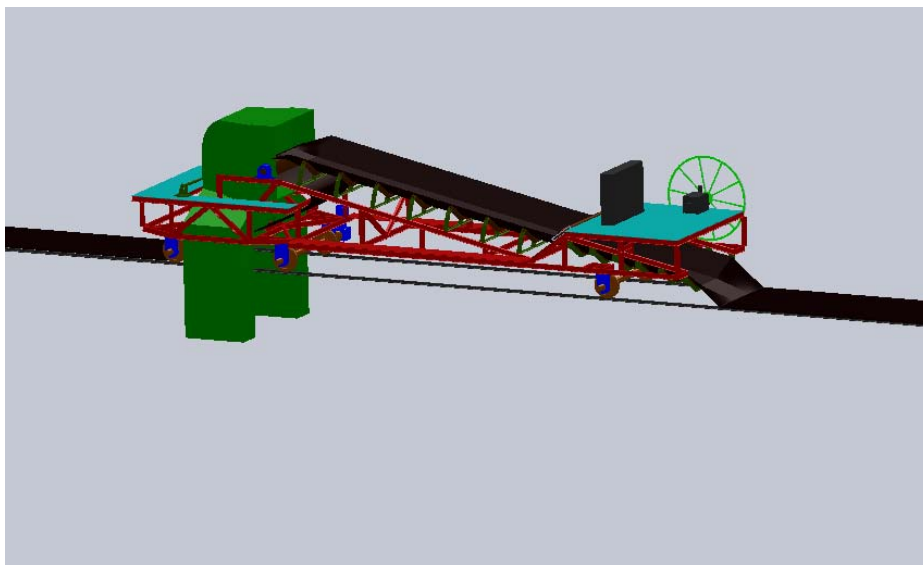
Để vận chuyển than giữa các địa điểm khác nhau trong nhà máy nhiệt điện, người ta dùng hệ thống băng tải. Nhằm xả than ra khỏi hệ thống băng tải tại một vị trí bất kỳ dọc băng tải một cách linh hoạt, cần sử dụng các xe dỡ than (tripper car), thực chất là hệ thống băng tải đặc biệt có thể di chuyển được và có cơ cấu tiếp liệu (hình 1) [1]. Để phục vụ cho việc tính toán thiết kế hoặc điều khiển xe dỡ than cho nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam, bài toán đặt ra là phải tính toán được động lực học của xe dỡ than nhằm đưa ra dự đoán về công suất các động cơ kéo xe và kéo băng tải.



Hình 1. Hệ thống băng tải và xe dỡ than

Xét tổng thể, xe dỡ than là một hệ nhiều vật đặc biệt, gồm nhiều vật rắn chuyển động với tính chất khác nhau (thân xe, con lăn, bánh xe), băng tải và dòng vật liệu liên tục vào-ra (hình 2). Nếu sử dụng các phương pháp tách vật để tính toán sẽ gặp rất nhiều khó khăn do việc tính toán tương tác giữa các vật khá phức tạp và cồng kềnh. Do đó phương pháp năng lượng sẽ được sử dụng. Tuy nhiên, việc có các khối lượng vào và ra khỏi hệ liên tục dẫn đến việc có các phần năng lượng được thêm vào và trừ bớt đi theo thời gian cần được mô tả khi xây dựng phương trình chuyển động.

Báo cáo này sẽ đưa ra một số giả thiết để đơn giản hóa mô hình sau đó thiết lập các phương trình chuyển động dựa trên các giả thiết này và mô phỏng một quy luật chuyển động của xe dỡ than.



Hình 2. Mô hình 3D của xe dờ than

2. Các giả thiết để xây dựng mô hình động lực học

Mô hình động lực học xe dờ than gồm có hai phần chính: xe lăn bánh trên đường ray và băng tải chở vật liệu được kéo bởi bánh tời (hình 3). Ngoài ra, do vật liệu được cấp vào liên tục cũng như được nhả ra liên tục, mô hình cũng phải xét đến hai phần vật liệu này. Xét chuyển động của xe dờ than trong quá trình cấp liệu cho máy đánh đồng, ta chấp nhận các giả thiết sau đây.

i) Phần thân xe coi như chuyển động tịnh tiến thẳng trên phương ngang, tức là coi như đường ray là thẳng và nằm ngang.

ii) Các bánh xe giống nhau về bán kính, có trục quay là trục đối xứng và chuyển động lăn không trượt trên đường ray giống hệt như nhau.

iii) Vận tốc của xe luôn nhỏ hơn nhiều so với vận tốc băng tải.

iv) Vận tốc của các điểm trên băng tải cũng như của vật liệu trên băng tải được coi là bằng nhau và bằng vận tốc dài của băng tải. Điều này có nghĩa là sự biến dạng của băng tải và sự trượt tương đối của vật liệu đối với băng tải được bỏ qua và ảnh hưởng của chuyển động của xe đến vận tốc các điểm trên băng tải là không đáng kể do giả thiết (iii).

v) Phần băng tải chở vật liệu dài hơn nhiều so với chiều cao của xe.

vi) Phần băng tải chở vật liệu dài hơn nhiều so với khoảng di chuyển đang xét của xe.

vii) Tại một thời điểm bất kỳ, phần băng tải chở vật liệu được chia thành hai đoạn: một đoạn nằm ngang và một đoạn nằm nghiêng sao cho hình dáng và vị trí tương đối của đoạn nằm nghiêng so với xe là không đổi. Điều này là hệ quả của giả thiết (v) và (vi).

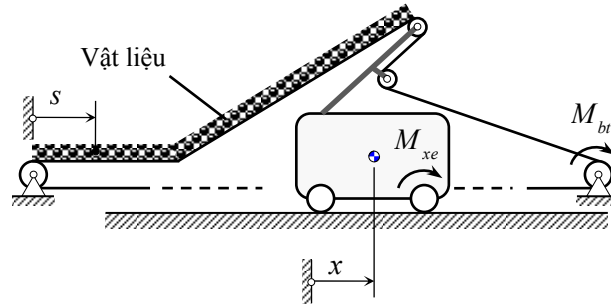
viii) Vật liệu được cấp liên tục vào đầu đoạn nằm ngang của băng tải. Khi chọn mốc tính thế năng trọng trường bằng với đoạn nằm ngang này, cơ năng của vật liệu tại thời điểm trước khi được cấp vào và ngay khi được cấp vào đều bằng không.

ix) Vật liệu trên băng tải phân bố đều theo chiều dài phần băng tải chở vật liệu.

x) Vật liệu ngay khi rời khỏi băng tải có cao độ là h so với vật liệu được cấp vào và có vận tốc bằng không.

xi) Các phần tử có chuyển động khác với các phần đã nêu chẳng hạn như hệ truyền động cơ khí có động năng của chuyển động tương đối so với thân xe không đáng kể.

Giả thiết (viii) và (x) cho phép mô tả một cách đơn giản cơ năng của phần vật liệu chưa được cấp vào hệ và của phần vật liệu đã được nhả ra khỏi băng tải.



Hình 3. Mô hình tính toán xe dỡ than

3. Thiết lập phương trình vi phân chuyển động

Ta sử dụng phương trình Lagrange loại 2 để thành lập phương trình vi phân chuyển động của hệ [2]

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + Q_i^* \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

trong đó hai tọa độ suy rộng $q_1 = x$ và $q_2 = s$ lần lượt là chuyển vị của thân xe và quãng đường một điểm nào đó trên băng tải đã đi được theo quỹ đạo của nó. Do giả thiết (iv), \dot{s} chính là vận tốc băng tải.

Động năng T của hệ được tính bằng tổng động năng của các thành phần trong hệ

$$T = T_{xe} + T_{bt} + T_{vlt} + T_{vls} \quad (2)$$

Động năng của xe T_{xe} bằng tổng động năng của thân xe và bánh xe, và theo giả thiết (i) và (ii) ta tính được động năng này như sau

$$T_{xe} = \frac{1}{2} m_{xe} \dot{x}^2 + \frac{1}{2} J_{bx} \left(\frac{\dot{x}}{r_{bx}} \right)^2 \quad (3)$$

trong đó m_{xe} là khối lượng của xe, bao gồm cả thân xe và bánh xe; J_{bx} là tổng mômen quán tính khối của các bánh xe đối với trục quay của chúng; r_{bx} là bán kính các bánh xe.

Động năng của băng tải và phần vật liệu đang chứa trên băng tải T_{bt} được tính nhờ giả thiết (iii)

$$T_{bt} = \frac{1}{2} (m_{bt} + m_{vl}) \dot{s}^2 \quad (4)$$

trong đó m_{bt} là khối lượng tương đương của băng tải và các bánh tời trong chuyển động dài của băng tải; m_{vl} là khối lượng của phần vật liệu đang chứa trên băng tải.

Thực tế, m_{vl} thay đổi theo thời gian, phụ thuộc vào tọa độ x theo công thức.

$$m_{vl} = \rho A (x + L) \quad (5)$$

Động năng của phần vật liệu chưa vào băng tải T_{vlt} và đã rời khỏi băng tải T_{vls} đều bằng không, theo giả thiết (viii) và (x).

$$T_{vlt} = T_{vls} = 0 \quad (6)$$

Thế năng Π của hệ được tính bằng tổng động năng của các thành phần trong hệ

$$\Pi = \Pi_{xe} + \Pi_{bt} + \Pi_{vlt} + \Pi_{vls} \quad (7)$$

Thế năng của xe Π_{xe} , thế năng của băng tải và vật liệu trên băng tải Π_{bt} và thế năng của vật liệu trước khi vào băng tải Π_{vlt} đều là hằng số do các giả thiết (i), (vii) và (viii). Giá trị chính xác của các hằng số này không quan trọng do khi đạo hàm thế năng trong phương trình Lagrange loại 2 các hằng số sẽ mất đi.

$$\Pi_{xe} = const \quad (8)$$

$$\Pi_{bt} = const \quad (9)$$

$$\Pi_{vlt} = 0 \quad (10)$$

Thế năng của vật liệu sau khi rời khỏi băng tải Π_{vls} được tính theo giả thiết (x) như sau

$$\Pi_{vls} = m_{vls}h \quad (11)$$

trong đó h là cao độ của vật liệu ngay khi rời khỏi băng tải so với vật liệu được cấp vào; m_{vls} là khối lượng của vật liệu đã rời khỏi băng tải và được tính như sau

$$m_{vls} = (s - x - l_0)\rho gA \quad (12)$$

trong đó l_0 là một hằng số (vai trò không quan trọng); ρ là khối lượng riêng của vật liệu; g là gia tốc trọng trường; A là thiết diện chứa vật liệu. Do giả thiết (iii) ta thấy rằng khối lượng này sẽ liên tục tăng lên, điều này phản ánh thực tế là vật liệu được nhả ra liên tục khỏi băng tải và năng lượng do động cơ kéo băng tải sinh ra sẽ chuyển hóa liên tục thành thế năng của phần vật liệu này. Thực tế thì vật liệu sẽ rơi xuống khi nó được nhả ra, nhưng quá trình này không ảnh hưởng đến vấn đề động lực của xe và băng tải nên ta không xét tới.

Các lực suy rộng không thể được tính như sau

$$Q_x^* = -F_{msxe} + F_{xe} = -F_{msxe} + \eta_{xe}i_{xe}M_{xe} \quad (13)$$

$$Q_s^* = -F_{msbt} + F_{bt} = -F_{msbt} + \eta_{bt}i_{bt}M_{bt} \quad (14)$$

trong đó F_{msxe} và F_{msbt} là các lực ma sát quy đổi trong các bộ truyền động của xe và băng tải; F_{xe} và F_{bt} là lực kéo tương đương của xe và của băng tải gây ra do các mô men dẫn động của động cơ xe và động cơ băng tải; M_{xe} và M_{bt} là các mômen dẫn động của động cơ chạy xe và chạy băng tải; η_{xe} và η_{bt} là các hiệu suất truyền lực trong các bộ truyền của xe và băng tải; i_{xe} và i_{bt} là các tỷ số truyền của các bộ truyền của xe và băng tải. Lực ma sát F_{msxe} có thể coi là hằng số do xe di chuyển chậm, luôn có chiều cản trở chuyển động của xe; còn F_{msbt} tỷ lệ bậc nhất với vận tốc băng tải

$$F_{msbt} = c_{bt}\dot{s} \quad (15)$$

trong đó c_{bt} là hệ số cản tuyến tính.

Thế các phương trình từ (2) đến (14) vào các phương trình (1), ta có các phương trình vi phân sau

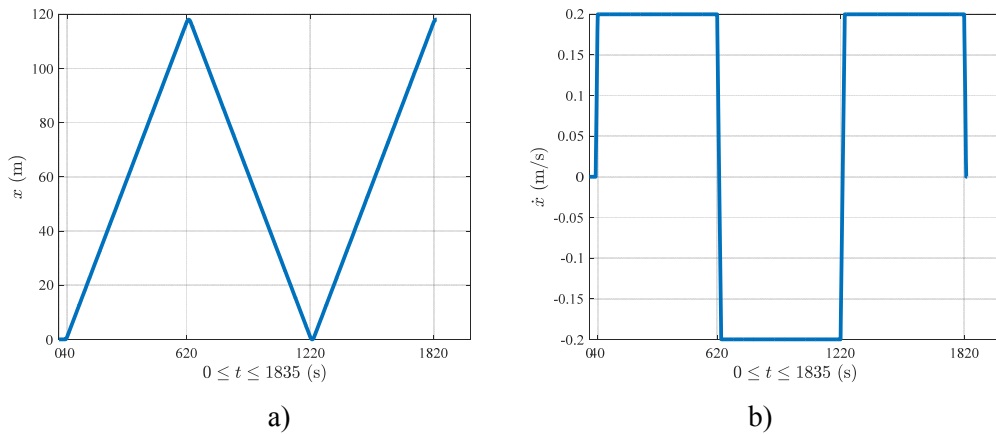
$$\left(m_{xe} + \frac{J_{bx}}{r_{bx}^2} \right) \ddot{x} - \frac{\rho A}{2} \dot{s}^2 = \rho g Ah - F_{msxe} + F_{xe} \quad (16)$$

$$(m_{bt} + \rho A(x + L))\ddot{s} + \rho A\dot{x}\dot{s} = -\rho g Ah - c_{bt}\dot{s} + F_{bt} \quad (17)$$

Có thể thấy các phương trình trên là hệ phương trình phi tuyến, nguồn gốc của tính phi tuyến này là do phần vật liệu nằm trên băng tải có khối lượng thay đổi theo thời gian (5).

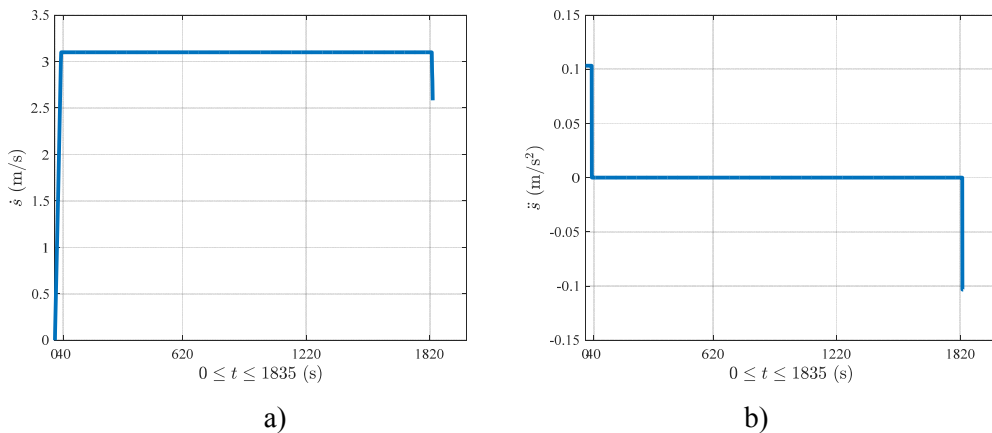
4. Mô phỏng số

Các lực kéo tương đương tác dụng vào xe và băng tải được tính toán dựa theo hệ phương trình (16), (17). Bài toán được giải quyết trong trường hợp đã biết quy luật chuyển động của xe và băng tải. Hầu hết các tham số đầu vào được lấy theo tài liệu kèm theo máy do nhà sản xuất cung cấp [1,3] và phần mô phỏng chuyển động. Một vài tham số và dữ kiện ban đầu, chẳng hạn vận tốc xe, thời gian hoạt động,... được đưa thêm vào để mô phỏng một chuyển động cụ thể của hệ.



Hình 4. Quy luật chuyển động của xe dõ than

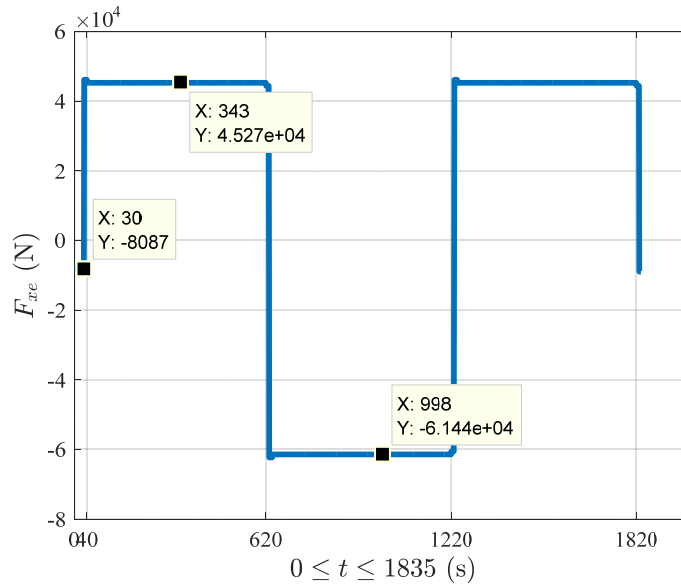
a) vị trí; b) vận tốc



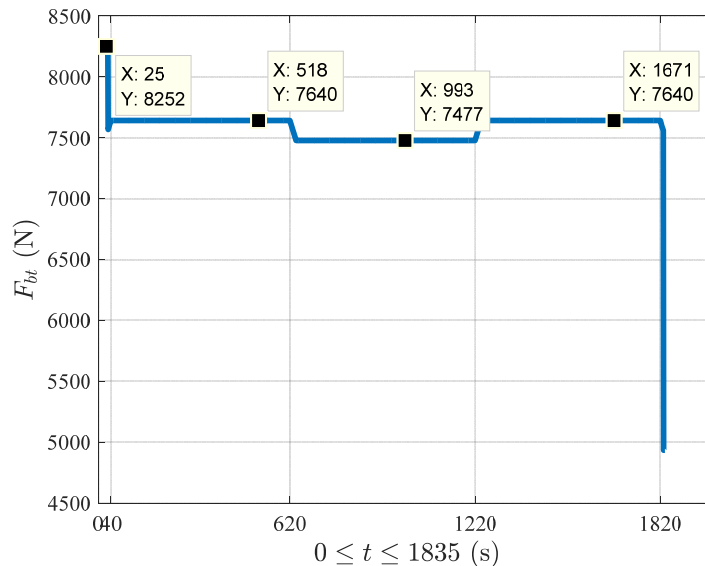
Hình 5. Quy luật chuyển động của băng tải

a) vận tốc; b) gia tốc

Xét một chu kỳ hoạt động của xe dỡ than, gồm quá trình khởi động băng tải trong 30s đầu, hành trình đi thứ nhất 600s, hành trình về 600s, hành trình đi thứ hai 600s và dừng băng tải 30s, với các quy luật chuyển động của xe và băng tải lần lượt cho trên hình 3 và hình 4. Các lực kéo băng tải và lực kéo xe dỡ than tính toán được được biểu diễn lần lượt trên hình 5 và hình 6.



Hình 6. Đồ thị lực kéo xe dỡ than



Hình 7. Đồ thị lực kéo băng tải

Dựa vào kết quả tính toán, có thể thấy lực kéo xe trong hành trình đi cùng chiều chuyển động với băng tải nhỏ hơn so với hành trình về do ảnh hưởng của dòng vật liệu trên băng tải cũng như của quá trình xả than. Ngược lại, lực kéo băng tải trong hành trình về lại nhỏ hơn một chút so với hành trình đi. Điều này là do trong hành trình đi thì chiều dài đoạn băng tải chứa vật liệu ngày càng tăng còn trong hành trình về thì chiều dài này lại giảm dần.

5. Kết luận

Báo cáo này đã đưa ra được các giả thiết để đơn giản hoá quá trình tính toán động lực học cho xe dỡ than. Sau đó các phương trình chuyển động của một mô hình hai bậc tự do của xe dỡ than và băng tải đã được thiết lập bằng phương pháp năng lượng. Các lực kéo xe và lực kéo băng tải được tính toán mô phỏng cho một quá trình làm việc giả định. Kết quả tính toán cho thấy ảnh hưởng của dòng vật liệu khiến các lực kéo này khác nhau trong hành trình đi và hành trình về. Phương trình mà báo cáo này đưa ra sẽ đóng góp vào quá trình tính toán thiết kế xe dỡ than tại Việt Nam.

Lời cảm ơn

Bài báo này nằm trong một chuyên đề thuộc đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp nhà nước có tên “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, tổ hợp và đưa vào vận hành hệ thống bốc dỡ, vận chuyển than cho nhà máy nhiệt điện đốt than có công suất tổ máy đến khoảng 600MW” và mã số “01/HĐ-ĐT/KHCN” do Viện Nghiên cứu Cơ khí (Narime) chủ trì. Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Viện Nghiên cứu Cơ khí. Chuyên đề này sẽ không thể thực hiện thành công nếu thiếu sự hỗ trợ rất nhiệt tình của các cán bộ nghiên cứu cũng như cán bộ quản lý của Viện.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bản vẽ LOAD DRAWING P0EAD81-82 – tên file: SH1-FAM-P0EAD81-C-M02-DFN-0121_revB.pdf/dwg (tài liệu kèm theo máy).
- [2] Nguyễn Văn Khang, *Cơ học kỹ thuật*, Nhà xuất bản Giáo dục, (2009).
- [3] “Song Hau 1 - Coal Handling System - STRUCTURAL CALCULATION TRIPPER CAR P0EAD81-82. Document No: SH1-FAM-P0EAD81-M-M02-CAL-9517” – tên file: SH1-FAM-P0EAD81-M-M02-CAL-9517_RevA.pdf (tài liệu kèm theo máy).