

# Cơ sở khoa học kinh tế của việc sử dụng sức kéo điện trên đường sắt Việt Nam và bài toán đầu tư tối ưu điện khí hóa đường sắt

■ **THS. NGUYỄN SƠN TÙNG**  
Ngân hàng TMCP Quân đội

**TÓM TẮT:** Sử dụng sức kéo điện trên đường sắt đã là xu thế chung của các quốc gia có đường sắt phát triển do những ưu việt của loại hình này mang lại: giảm tác động đến môi trường (giảm khí thải, giảm dầu thải...), nâng cao tốc độ chạy tàu, tăng trọng lượng đoàn tàu... Đầu tư điện khí hóa đường sắt sử dụng sức kéo điện sẽ tạo ra thay đổi cơ bản về kết cấu hạ tầng đường sắt và công nghệ vận tải..., tuy nhiên nguồn vốn đầu tư điện khí hóa đường sắt là rất lớn, khó có thể huy động đầu tư trong một giai đoạn toàn bộ tuyến đường hay khu đoạn. Bài báo trình bày những cơ sở kinh tế khi sử dụng sức kéo điện trên đường sắt và bài toán đầu tư tối ưu điện khí hóa đường sắt.

**TỪ KHÓA:** Khí thải đầu máy, dầu thải đầu máy, toa xe, điện khí hóa đường sắt, sức kéo điện, đầu tư tối ưu, lợi ích kinh tế.

**ABSTRACT:** Using electric traction on railway has been a common trend of countries with developed railways due to the advantages of this type: reducing the impact on the environment (reducing gas emissions, reducing waste oil etc.), improving train speed, increasing train weight etc. Investment in the electrification of rail transport using electric traction would create fundamental changes in railway infrastructure and transport technology. However, the investment capital for the electrification of railway is very large, it is difficult to mobilize investment in an entire or section route. The paper presents the economic basis for using electric traction on railway and the optimal mathematics of investment in the electrification of rail transport.

**KEYWORDS:** Locomotive gas emissions, waste oil for locomotives and wagons, railway electrification, electric traction, optimal investment, economic benefits.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việc nghiên cứu về sử dụng sức kéo điện trên đường sắt đã có nhiều công trình nghiên cứu ở nước ngoài và

trong nước. Các nghiên cứu này đã chỉ ra những ưu việt của việc sử dụng sức kéo điện trên đường sắt. Tuy nhiên, đến thời điểm hiện nay, ở Việt Nam chưa có tuyến đường sắt quốc gia được điện khí hóa để sử dụng sức kéo điện, các tuyến đường sắt hiện đang khai thác đều chưa vào cấp kỹ thuật. Sức kéo đầu máy trên đường sắt đang sử dụng các loại sức kéo diesel, tốc độ thấp, tiêu hao nhiên liệu cao..., từ đó hạn chế khả năng cạnh tranh của vận tải đường sắt với các phương thức vận tải khác.

Vấn đề đầu tư các tuyến đường sắt tốc độ cao, điện khí hóa đường sắt đã được đề cập [1] và hiện nay đang được nghiên cứu ở các giai đoạn cuối cùng. Với việc nghiên cứu của các cơ quan tư vấn trong và ngoài nước, tuyến đường sắt tốc độ cao Hà Nội - TP. Hồ Chí Minh được ưu tiên đầu tư trước và đầu tư theo giai đoạn với từng khu đoạn (Sài Gòn - Nha Trang, Hà Nội - Vinh...). Khi đó, sức kéo điện trên đường sắt điện khí hóa sẽ thay cho sức kéo diesel. Lợi ích kinh tế và xã hội mang lại cần phải được xem xét và việc đầu tư theo giai đoạn với hàm mục tiêu chi phí tối ưu là cơ sở cần nhắc lựa chọn.

## 2. CƠ SỞ KHOA HỌC KINH TẾ CỦA VIỆC SỬ DỤNG SỨC KÉO ĐIỆN TRÊN ĐƯỜNG SẮT VIỆT NAM

Khi sử dụng sức kéo điện trên đường sắt, vấn đề cần xem xét: Khả năng cung cấp điện của nguồn điện lưới cho đường sắt, do tính hoạt động liên tục của vận tải đường sắt (hệ thống cung cấp năng lượng điện phải có nguồn cung cấp và phân phối ổn định, tin cậy). Việc lựa chọn trạm biến áp điện kéo, hệ thống dây tiếp xúc... cấp điện áp, đầu máy điện một chiều, đầu máy điện xoay chiều...

Xét ở góc độ kinh tế của việc sử dụng sức kéo điện trên đường sắt điện khí hóa ở nước ta, cần nghiên cứu các lợi ích đem lại:

### 2.1. Giảm được khí thải ra môi trường

Khí thải từ các đầu máy diesel kéo tàu [6] là sản phẩm cháy của nhiên liệu trong động cơ đầu máy với thành phần chủ yếu gồm CO<sub>2</sub>, CO, chất hữu cơ bay hơi (VOCs), SO<sub>2</sub>, các oxit nitơ (NOx), bồ hóng (muội than)..., những chất này tác động tới môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Khi sử dụng sức kéo điện gần như không phát sinh khí thải đến môi trường.

### 2.2. Giảm được tác động môi trường do không sử dụng dầu bôi trơn

Khi sử dụng sức kéo diesel, cần phải có một lượng

dầu bôi trơn, lượng dầu bôi trơn này chiếm tỷ lệ từ 3 - 5% nhiên liệu sử dụng của đầu máy, khi hết khả năng bôi trơn được thay ra và trở thành dầu thải. Dầu thải có tác động xấu đến môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe con người.

### 2.3. Giảm được TNGT đường sắt

Xét ở khía cạnh khi sử dụng sức kéo điện trên đường sắt điện khí hóa, tốc độ chạy tàu cao, các giao cắt giữa đường sắt và đường bộ phải là giao cắt khác mức và như vậy sẽ hạn chế được tai nạn và tiết kiệm được chi phí do tai nạn gây ra.

### 2.4. Tăng sản lượng vận chuyển hàng hóa

Khi tăng tốc độ chạy tàu sẽ tăng nhanh quay vòng toa xe (với số lượng toa xe hàng vận dụng không tăng thêm và các tác nghiệp về hàng hóa không thay đổi) dẫn đến năng suất toa xe cao. Cùng một số toa xe vận dụng, sản lượng vận chuyển hàng hóa sẽ tăng, dẫn đến doanh thu tăng và giảm được chi phí đầu tư phương tiện.

### 2.5. Tăng khả năng lưu thông vận tải hàng hóa

Khi tốc độ tàu hàng tăng, hàng hóa lưu thông nhanh hơn, đem lại lợi ích (quay vòng vốn nhanh, cạnh tranh tốt hơn...) cho khách hàng tham gia vận chuyển hàng bằng đường sắt.

Hiệu quả của rút ngắn thời gian vận chuyển:  $\Delta L_n = C_n \times m \times \Delta t$ . Trong đó:  $C_n$  - Giá trị của 1 tấn hàng hóa tính trong 1h;  $m$  - Khối lượng hàng hóa vận chuyển;  $\Delta t$  - Thời gian tiết kiệm được trong quá trình vận tải hàng hóa.

### 2.6. Giảm thời gian đi lại của hành khách

Khi sử dụng sức kéo điện trên đường sắt điện khí hóa, tốc độ chạy tàu nâng lên, thời gian đi lại của hành khách được rút ngắn, lợi ích mà hành khách được hưởng là số giờ hành khách tiết kiệm. Giá trị tiết kiệm của hành khách đi tàu được tính từ số giờ tiết kiệm nhân với giá trị bình quân 1h của hành khách;  $\Delta L_k = C_k \times \Delta t$ . Trong đó:  $\Delta t$  - Tổng giờ tiết kiệm của hành khách;  $C_k$  - Giá trị 1h của hành khách.

### 2.7. Thu hút khối lượng vận tải từ các phương tiện khác

Khi tốc độ chạy tàu tăng năng lực thông qua (NLTQ), năng lực chuyên chở (NLCC) của tuyến đường lớn, có tác dụng thu hút một phần khối lượng vận tải từ các phương tiện khác, đặc biệt cự ly dài đối với vận tải hàng hóa và vận tải liên vận quốc tế.

### 2.8. Tiết kiệm năng lượng của sức kéo điện so với sức kéo diesel

Theo [3], hiệu suất tổng cộng của sức kéo điện (25 - 70%) tùy thuộc vào công nghệ ứng dụng trong hệ thống đường sắt điện, cao hơn nhiều so với hiệu suất tổng cộng của sức kéo diesel (33 - 38%). Mặt khác, do đầu máy điện không cần mang theo trọng lượng của động cơ chính, bộ truyền động và nhiên liệu nên giảm được trọng lượng của chính đầu máy.

### 2.9. Giảm chi phí sửa chữa đầu máy

Đối với sức kéo đầu máy điện, chu kỳ sửa chữa lớn dao động trong phạm vi 1.600.000 km, trong khi đó sức kéo đầu máy diesel dao động trong phạm vi 700.000 - 900.000 km, có nghĩa là chu kỳ sửa chữa lớn của đầu máy điện dài hơn 2 lần chu kỳ sửa chữa lớn đầu máy diesel [5].

### 2.10. Giảm chi phí sử dụng máy phát điện tập trung trong đoàn tàu khách

Khi sử dụng điện từ mạng điện lưới cấp cho đầu máy điện, đoàn tàu khách không cần phải kéo theo toa xe công vụ phát điện như hiện nay, lợi ích mang lại không nhỏ: Không có chi phí nhiên liệu chạy máy phát điện và giảm ô nhiễm môi trường, thêm được toa xe khách trong đoàn tàu, tăng doanh thu...).

### 2.11. Sử dụng đầu máy, toa xe hiệu quả hơn

Tốc độ chạy tàu nâng cao, đầu máy và toa xe có năng suất cao hơn, do quay vòng nhanh. Cùng thời gian khấu hao tài sản, nhưng hiệu quả tài sản tham gia vào quá trình sản xuất cao hơn.

### 2.12. Các lợi ích khác khi sử dụng sức kéo điện

Khó có thể lượng hóa được hết các lợi ích đem lại khi sử dụng đầu máy điện trên đường sắt điện khí hóa, như: giảm ách tắc giao thông, thu hút khách du lịch, kết nối thuận tiện được với các phương tiện vận tải khác, tạo điều kiện phát triển kinh tế, thu hút vốn đầu tư, thuận lợi khi tham gia vận tải đường sắt liên vận quốc tế và hiệu quả khi hãm điện đoàn tàu dòng điện sinh ra quay về nguồn cấp điện (hãm tái sinh)...

### 2.13. Tổng hợp lợi ích của sử dụng sức kéo điện

$$L = \sum_{l=1}^m \Delta L_l \quad (1)$$

Khi sử dụng sức kéo điện trên đường sắt điện khí hóa, lợi ích đem lại là các  $\Delta L_l$ , với  $l=1 \div m$ ;  $m$  là các lợi ích có thể được lượng hóa, trình bày ở các mục trên.

## 3. ĐỀ XUẤT BÀI TOÁN TỐI ƯU ĐẦU TƯ ĐIỆN KHÍ HÓA ĐƯỜNG SẮT SỬ DỤNG SỨC KÉO ĐIỆN

### 3.1. Cơ sở xây dựng bài toán

Bài toán đầu tư tối ưu điện khí hóa đường sắt sử dụng sức kéo điện không bao gồm phần kinh doanh vận tải (mua sắm đầu máy toa xe, tổ chức khai thác vận tải...).

Đầu tư kết cấu hạ tầng đường sắt điện khí hóa một tuyến đường hay một khu đoạn (gọi tắt là tuyến đường) cần phải xem xét toàn diện các nội dung: về nguồn vốn, khả năng khai thác của tuyến đường (nhu cầu vận tải, khả năng kết nối với các phương thức vận tải khác, khả năng cung cấp điện năng, lợi ích đem lại cho xã hội...)

Do nguồn vốn đầu tư không thể huy động ngay và đủ theo tổng mức đầu tư, cũng như các điều kiện về công nghệ, nhu cầu vận tải nên cần thiết phải chia ra các giai đoạn.

Đầu tư đường sắt điện khí hóa trên cơ sở đáp ứng thỏa đáng các yêu cầu của từng giai đoạn để tăng cường NLTQ và NLCC.

Trong bối cảnh hiện nay của Việt Nam, chưa có một tuyến đường sắt quốc gia được đầu tư điện khí hóa nên khi tính toán các phương án đầu tư tối ưu, phải sử dụng các yêu cầu về công nghệ, đơn giá, định mức, vật tư và các nội dung liên quan của đường sắt điện khí hóa ở nước ngoài và các nghiên cứu ở trong nước về đường sắt cao tốc Bắc Nam.

Hàm mục tiêu là chi phí tính đổi nhỏ nhất.

Khi đầu tư tuyến đường điện khí hóa đến mức an toàn chạy tàu thì tiến hành chạy tàu, với sức kéo điện, sau đó tiếp

tục đầu tư hoàn thiện để đạt tốc độ và các yêu cầu của mục tiêu lựa chọn ban đầu. Mục tiêu đặt ra là tuyến đường sắt điện khí hóa cho tốc độ chạy tàu 200 km/h.

Trong bài toán này, giai đoạn đầu tư toàn tuyến đạt các yêu cầu chạy tàu an toàn với tốc độ bình quân 120 km/h thì bắt đầu khai thác sử dụng sức kéo điện, do vậy toàn bộ chi phí đầu tư giai đoạn ban đầu này được gọi là  $E_{TDD}$ .

**3.2. Xây dựng bài toán**

Vấn đề đặt ra là, cần xác định hàm mục tiêu với chi phí tính đổi nhỏ nhất, trong các giai đoạn đầu tư kể từ giai đoạn khai thác đầu tiên với tốc độ 120 km/h đến giai đoạn khai thác 200 km/h (chi phí đầu tư đến giai đoạn cho phép chạy tàu tốc độ bình quân 120 km/h, coi như không đổi, quy ước gọi là năm gốc);

\* Mô tả quá trình này bằng mô hình toán:

Giả sử số giai đoạn đầu tư là  $M$  ( $t = 1, 2, \dots, M$ ).

Sau mỗi giai đoạn đầu tư sẽ cho vận tốc cho phép của kết cấu hạ tầng đường sắt điện khí hóa là  $V_M$  (ứng với NLTQ là  $N_M$ ).

Ở mỗi giai đoạn, sau khi đầu tư một số điểm (điểm ở đây hiểu là tổ hợp các công trình đầu tư, như bổ sung trạm biến áp điện kéo, mở rộng bán kính đường cong của khu gian,...), tốc độ cho phép được nâng lên ở mức  $V_1, V_2, \dots, V_M$  tùy theo số điểm đầu tư.

Từ mức  $V_0$ , muốn đạt đến mức  $V_1$  cần đầu tư  $S_1$  điểm (mức  $V_0$  là mức tốc độ cho phép là 120 km/h và bắt đầu sử dụng sức kéo điện để khai thác);

Từ mức  $V_0$  muốn đạt đến mức  $V_2$  cần đầu tư  $S_2$  điểm,

Từ mức  $V_0$  muốn đạt đến mức  $V_M$  cần đầu tư  $S_M$  điểm (toàn bộ).

Các điểm cần đầu tư được đánh số thứ tự  $1, 2, \dots, S_M$ . Nếu gọi điểm đầu tư là  $k$  thì  $k = 1, 2, \dots, S_M$ . Có thể sắp xếp thứ tự các điểm cần đầu tư và số lượng các hạng mục đầu tư ở mỗi điểm như sau:

<b>Các điểm cần đầu tư</b>	1	2	....	k	..	M
<b>Số lượng hạng mục đầu tư ở mỗi điểm</b>	$q_1$	$q_2$	...	$q_k$	...	$q_M$

Để đầu tư điểm  $k$ , cần thực hiện  $q_k$  hạng mục, kinh phí đầu tư điểm  $k$  là:

$$C_k = \sum_{w=1}^{q_k} A_w \times d_w \tag{1}$$

Trong đó:

$C_k$  - Kinh phí cho đầu tư điểm  $k$ ;

$q_k$  - Số lượng các hạng mục cần đầu tư ở điểm  $k$ ;

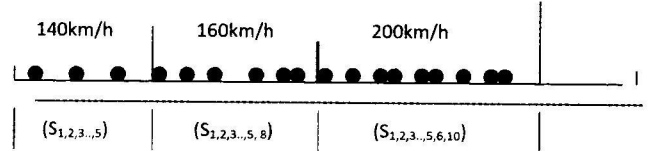
$d_w$  - Đơn giá hạng mục  $w$ ;

$A_w$  - Khối lượng đầu tư các hạng mục  $w$  ở điểm  $k$ .

Để đầu tư nâng tốc độ từ mức  $V_0$  lên mức  $V_i$  cần thực hiện  $S_i$  điểm, do đó kinh phí tương ứng sẽ là:

$$K_{0 \rightarrow i} = \sum_{k=1}^{S_i} c_k = \sum_{k=1}^{S_i} \sum_{w=1}^{q_k} A_w d_w \tag{2}$$

Việc đầu tư 1 điểm chưa có ý nghĩa nâng tốc độ cho phép của toàn tuyến, muốn nâng tốc độ cho phép từ trạng thái ban đầu lên trạng thái  $V_1, V_2, \dots, V_M$  phải tiến hành cải tạo  $S_1, S_2, \dots, S_M$  điểm.



Hình 3.1: Mô tả các điểm cần đầu tư từ 120 km/h đến tốc độ yêu cầu là 200 km/h

Sau khi đã đầu tư số điểm để nâng tốc độ cho phép của tuyến từ  $V_0$  lên  $V_i$ , để nâng tiếp lên mức  $V_j$  ta có công thức:  $K_{ij} = K_{0j} - K_{0i}$ .

$$\text{tức là: } K_{i \rightarrow j} = \sum_{k=1}^{S_j} \sum_{w=1}^{q_k} A_w d_w - \sum_{k=1}^{S_i} \sum_{w=1}^{q_k} A_w d_w \tag{3}$$

Ở mỗi trạng thái của tuyến đường phải thực hiện công tác duy tu với một chi phí xác định theo đơn giá và khối lượng thực tế. Với trạng thái  $V_i$  chi phí duy tu tương ứng là  $D_i$ .

Gọi:  $\Delta E$  - Hệ số quy đổi chi phí về năm tính toán lấy là 0,08 với các công trình vĩnh cửu.

$t$  - Số năm quy đổi;

$r_i$  - Hệ số trượt giá.

Khi đó, tổng chi phí chuyển đổi trạng thái  $K_{t,i,j}$  từ  $i$  sang  $j$ , ở giai đoạn  $t$ , ( $t = 1, 2, \dots, N$ ).

$$K_{ijt} = \left[ \sum_{k=1}^{S_j} \sum_{w=1}^{q_k} A_w \times d_w - \sum_{k=1}^{S_i} \sum_{w=1}^{q_k} A_w \times d_w + D_i \right] \times \frac{r_i}{(1 + \Delta E)^t} \tag{4}$$

Với mỗi trạng thái sau đầu tư sẽ cho các giá trị về lợi ích sử dụng sức kéo điện.

Gọi tổng chi phí của hàm mục tiêu là  $E_{TD}$  ta có:

$$E_{TD} = \sum_{t=1}^N \left\{ \frac{r_i}{(1 + \Delta E)^t} \left[ \sum_{k=1}^{S_j} \sum_{w=1}^{q_k} A_w d_w - \sum_{k=1}^{S_i} \sum_{w=1}^{q_k} A_w d_w - \sum_{i=1}^t \Delta L_i + D_i + E_{TDD} \right] \right\} \rightarrow \min \tag{5}$$

Trong đó:

$E_{TD}$  - Hàm mục tiêu của bài toán đầu tư điện khí hóa đường sắt theo giai đoạn;  $E_{TD}$  phải là nhỏ nhất trong tất cả các giai đoạn đầu tư (từ khi bắt đầu đầu tư đến khi hoàn thành mục tiêu đặt ra).

$N$  - Số giai đoạn của kế hoạch đầu tư.

$A_w, w; d_w; q_k; s_i; s_j; \Delta L; D_i; E_{TDD}$ ,  $m$ : đã được giải thích ở trên;

Các điều kiện ràng buộc:

- Tổng chi phí đầu tư  $K_{t,i,j}$  của từng giai đoạn khi chuyển trạng thái không lớn hơn khả năng huy động của từng giai đoạn  $K_t$  và không lớn hơn tổng vốn đầu tư có thể huy động của tất cả các giai đoạn (tính từ thời điểm bắt đầu khai thác sử dụng sức kéo điện ở tốc độ 120 km/h).

- Tổng chi phí duy tu  $D_i$  bảo trì kết cấu hạ tầng điện khí hóa đường sắt không lớn hơn nguồn cho phép.

- Đảm bảo tốc độ chạy tàu của kết cấu hạ tầng đường sắt điện khí hóa ở trạng thái  $j$  lớn hơn tốc độ chạy tàu của kết cấu hạ tầng đường sắt điện khí hóa ở trạng thái  $i$ .

**3.3. Giải bài toán**

Đây là bài toán quy hoạch động, khi có các số liệu cụ thể bài toán sẽ được giải, có thể giải bài toán theo chiều xuôi, hoặc chiều ngược. Với mỗi giai đoạn khi thay đổi trạng thái của tuyến đường, sử dụng sức kéo điện, có rất nhiều biến và thông số, vì thế cần phải sử dụng các chương trình máy tính với ngôn ngữ lập trình phù hợp để giải. Trong

khuôn khổ của một bài báo, tác giả không trình bày toàn bộ phần lập trình, các dữ liệu đầu vào, kết quả đầu ra.

#### 4. KẾT LUẬN

Đầu tư điện khí hóa đường sắt sử dụng sức kéo điện là bước đi phù hợp với xu thế phát triển hiện đại hóa đường sắt, với những lợi ích mang lại không những cho xã hội, cho sự phát triển của đường sắt Việt Nam mà còn góp phần giảm hiệu ứng nhà kính do hạn chế sự phát thải của các loại khí thải ( $CO_2$ ...).

Khi đã có chủ trương đầu tư điện khí hóa đường sắt thì việc xác định tối ưu nguồn vốn ở từng giai đoạn đầu tư và tổ chức khai thác ngay trong từng bước đầu tư và quá trình hoàn thiện đầu tư là nội dung cần được xem xét thấu đáo, sao cho hiệu quả nhất.

Trên cơ sở những yêu cầu đó, tác giả đã mạnh dạn đề xuất dạng bài toán quy hoạch động để xác định hàm mục tiêu đầu tư với chi phí tính đổi nhỏ nhất.

#### Tài liệu tham khảo

[1]. Thủ tướng Chính phủ (2015), *Điều chỉnh Quy hoạch tổng thể phát triển ngành GTVT đường sắt Việt Nam đến năm 2020, tầm nhìn đến năm 2030*, Quyết định số 1468/2015/QĐ-TTg ngày 24/8/2015.

[2]. Bộ Khoa học và Công Nghệ (2020), *TCVN 8893:2020, cấp kỹ thuật đường sắt quốc gia*.

[3]. Đỗ Việt Dũng (2019), *Lý thuyết hệ thống giao thông điện* (Bài giảng dùng cho học viên cao học), Trường Đại học GTVT.

[4]. Nguyễn Văn Thái (1996), *Tổ chức chạy tàu trong vận tải đường sắt*, tập 1,2, Trường Đại học GTVT.

[5]. Hoa Mậu Côn, Châu Dục Dân, Ngô Xương Nguyên (2003), *Tri thức mới về khoa học kỹ thuật đường sắt*, Liên hiệp Đường sắt Việt Nam, tài liệu dịch từ NXB. Đường sắt Trung Quốc.

[6]. Đề tài cấp Bộ GTVT (2011), *Đánh giá tác động của đầu thải đầu máy toa xe đến môi trường*.

**Ngày nhận bài: 20/4/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 04/5/2021**

**Người phản biện: TS. Lê Tiến Dũng**

**TS. Lê Văn Nam**