

MÔ HÌNH TOÁN HỌC XÁC ĐỊNH CHI PHÍ VÒNG ĐỜI CỦA CÁC PHƯƠNG TIỆN VẬN TẢI

TẠ VIỆT DŨNG

Bộ Khoa học và Công nghệ

LÊ KỶ NAM

Học viện Kỹ thuật Quân sự

Bài báo trình bày mô hình toán học có thể sử dụng để xác định sơ bộ chi phí vòng đời (Life cycle costs - LCC) của các phương tiện vận tải (tàu hỏa, ô tô...). Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn, đặc biệt khi LCC đóng vai trò quan trọng trong việc lựa chọn các nhà cung cấp thiết bị khi tiến hành nâng cấp, hiện đại hóa các phương tiện vận tải. Trong nhiều trường hợp, các quyết định mua sắm các hệ thống kỹ thuật, đặc biệt với các hệ thống đắt tiền, được thực hiện không phải dựa trên giá mua sắm ban đầu mà dựa trên LCC của chúng.

Từ khóa: mô hình toán học, phương tiện vận tải.

MATHEMATICAL MODEL
FOR THE PREDICTION OF
LIFE CYCLE COSTS OF
TRANSPORTATION MEANS

Summary

The given mathematical model may be used for preliminary determination of life cycle costs of transportation means (train, automobile...). The result is applicable, especially for the selection of a supplier for upgrading and modernization of transportation means. In many cases, the acquisition decisions of many engineering systems, particularly expensive ones, are not made based on initial procurement costs but rather on their life cycle costs.

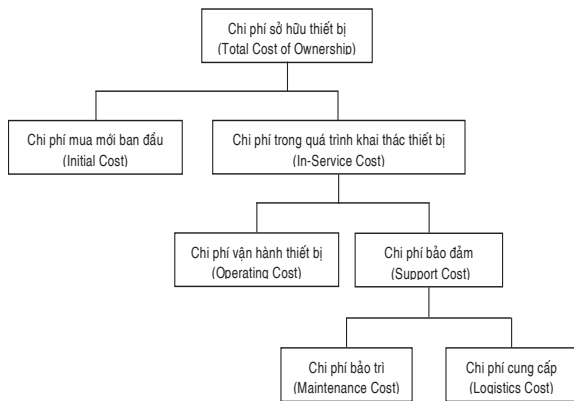
Keywords: mathematical model, transportation means.

Đặt vấn đề

Giá cả thiết bị, máy móc, các hệ thống kỹ thuật... là chỉ tiêu rất quan trọng khi lựa chọn các phương án, lựa chọn nhà cung cấp thiết bị trong các dự án đầu tư công nghệ. Thực tiễn phát triển công nghiệp của hầu hết các nước G7 đã chỉ ra rằng, chi phí sở hữu thiết bị (bao gồm chi phí mua sắm, chi phí vận hành, chi phí bảo trì thiết bị) thường lớn gấp nhiều lần giá mua sắm ban đầu (Initial procurement cost) [1, 2]. Do vậy, các quyết định liên quan đến mua sắm trang bị trong các dự án cải tiến, hiện đại hóa, sửa chữa lớn hoặc sản xuất mới không nên dựa trên giá mua sắm ban đầu mà phải dựa trên LCC. LCC bao gồm toàn bộ các chi phí từ khi hình thành ý tưởng, qua các giai đoạn R&D, sản xuất, vận hành - bảo trì cho đến khi thanh lý thiết bị. Kể từ khi được áp dụng lần đầu tiên tại Bộ Quốc phòng Mỹ năm 1965, đến nay LCC đã được áp dụng ở hầu hết các nước công nghiệp phát triển (Mỹ, NATO, Úc, Nhật Bản, Hàn Quốc...). Ở các nước này, sử dụng LCC mang tính bắt buộc trong các thủ tục mua sắm thiết bị bằng ngân sách nhà nước cả trong quân sự và dân sự [3, 4]. Thực tiễn hoạt động đầu tư công nghệ của Việt Nam cũng đã có nhiều bài học đắt giá liên quan đến lựa chọn các nhà cung cấp thiết bị. Việc lựa chọn thiết bị dựa trên giá mua sắm ban đầu đã tỏ ra không hợp lý, do không dự tính được các chi phí quá lớn trong quá trình vận hành (tiêu thụ năng lượng, nguyên liệu, nhân công...) và bảo trì (bảo dưỡng, sửa chữa...) thiết bị. Có rất nhiều mô hình tính toán LCC cho các sản phẩm của các ngành công nghiệp khác nhau: cơ khí, động lực, điện tử, công nghệ thông tin, tàu thủy, máy bay, các phương tiện vận tải... Trong bài báo này, chúng tôi trình bày mô hình xác định LCC dùng phổ biến trong ngành vận tải (tàu hỏa, ô tô...) [1, 2].

Mô hình tính toán LCC

LCC cho phép lượng hóa mọi chi phí trong suốt vòng đời của sản phẩm: chi phí R&D, chi phí sản xuất, chi phí vận hành và bảo trì (bảo dưỡng, sửa chữa) thiết bị... LCC là công cụ đánh giá hiệu quả cho mọi hoạt động liên quan đến sản phẩm, phục vụ đặc lực công việc quản lý của các nhà sản xuất, cung cấp thiết bị, các nhà sử dụng thiết bị và các cơ quan quản lý nhà nước về đầu tư, nhập khẩu công nghệ, thiết bị... Với các nước đang trong quá trình công nghiệp hóa, nhu cầu thiết yếu là phải lựa chọn đúng các trang thiết bị tiên tiến để đảm bảo hiệu quả khai thác thiết bị tốt nhất, phục vụ đổi mới công nghệ, tạo năng lực cạnh tranh cho nền sản xuất quốc gia. Mô hình LCC phải giúp đánh giá được các chi phí trong quá trình khai thác thiết bị kể từ sau khi mua sắm. LCC trong trường hợp này được gọi là: chi phí sở hữu thiết bị (Total Cost of Ownership - TCO), bao gồm các thành phần sau (hình 1):



Hình 1: các thành phần của chi phí sở hữu thiết bị

Khi tính toán LCC, yếu tố thời gian (tuổi thọ) tùy theo đặc trưng khai thác của thiết bị có thể là các đại lượng khác nhau: số km hành trình sử dụng, số giờ máy nổ (với ô tô, tàu hỏa...), số lần cất, hạ cánh, số giờ bay (với máy bay), số phát bắn (với súng, pháo...). Khi tính toán LCC như chỉ tiêu để so sánh lựa chọn nhà cung cấp thiết bị trong các dự án đầu tư, thời gian được tính theo năm dương lịch (năm tài chính). Ngoài ra, các chi phí theo các năm khai thác được quy đổi theo giá trị tại thời điểm xem xét có tính đến thay đổi của dòng tiền (lãi suất trung bình theo năm).

Xác định chi phí vận hành của thiết bị

Chi phí vận hành của thiết bị bao gồm các chi

phí liên quan trực tiếp đến vận hành như: chi phí nguyên liệu, năng lượng, các vật liệu sử dụng (xăng, dầu, dầu bôi trơn, dầu phanh, chất lỏng công tác, bình điện...), chi phí nhân công, phí giao thông, phí kiểm tra, chứng nhận đăng kiểm... Các chi phí này thường được tính quy về một đơn vị thời gian vận hành của sản phẩm. Chi phí vận hành phụ thuộc vào hiệu suất khai thác thiết bị, đặc trưng bằng tính sẵn sàng và được tính theo công thức:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + DT} \tag{1}$$

Trong đó: A_o là tính sẵn sàng của thiết bị; MTBM là thời gian vận hành trung bình giữa các lần bảo trì; DT là thời gian cần thiết để bảo trì thiết bị.

Theo công thức (1), nếu thiết bị luôn ở trong trạng thái sẵn sàng hoạt động, tức là thời gian dừng vận hành để bảo trì bằng 0, tính sẵn sàng sẽ là 1, hiệu suất khai thác là tối đa.

MTBM là một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất đánh giá độ tin cậy của thiết bị, được thể hiện trong quá trình vận hành thiết bị, song được quyết định chủ yếu từ giai đoạn thiết kế và chế tạo sản phẩm (tính toán bền, lựa chọn vật liệu, lựa chọn sơ đồ kết cấu, lựa chọn công nghệ chế tạo, xác định chế độ vận hành, bảo trì...). Để đánh giá MTBM của các thiết bị công nghiệp, người ta sử dụng các phương pháp của Lý thuyết độ tin cậy dựa trên xử lý số lượng rất lớn các số liệu thống kê thu thập được trong quá trình khai thác các thiết bị trong nhiều thập kỷ của rất nhiều nhà sản xuất công nghiệp. Hiện nay, các phương pháp thử nghiệm gia tốc tiên tiến được áp dụng rộng rãi để khảo sát độ tin cậy của các thiết bị có thời gian khai thác lớn (hàng vài chục năm) trong thời gian được rút ngắn nhiều lần. Trong tính toán TCO, có thể xác định MTBM theo công thức:

$$MTBM = \frac{T}{M(T) + \frac{T}{T_{sm}}} \tag{2}$$

Trong đó: $M(T)$ là số lần hư hỏng yêu cầu dừng thiết bị để sửa chữa; T là thời gian khai thác thiết bị trong một năm; T_{sm} là thời gian giữa các lần bảo dưỡng định kỳ (chu kỳ bảo dưỡng).

Số lần hư hỏng $M(T)$ yêu cầu các sửa chữa ngoài kế hoạch (unscheduled maintenance) của thiết bị là đại lượng ngẫu nhiên, được xác định thông qua các đặc trưng thống kê đánh giá độ tin cậy của thiết bị như: hàm hư hỏng (Failure function), cường độ hỏng (Hazard function). Tương tự như MTBM, các đặc trưng thống kê của hàm hư hỏng, cường độ hỏng của hầu hết các sản phẩm công nghiệp có thể tra cứu qua các cơ sở dữ liệu công nghiệp. Quy trình lấy mẫu khảo sát, phương pháp ước lượng các tham số của các hàm phân bố, hàm mật độ xác suất hư hỏng... đã được chuẩn hóa, quy định trong các tiêu chuẩn về đánh giá độ tin cậy của các thiết bị, hệ thống kỹ thuật [4, 5].

Thời gian cần thiết để bảo trì thiết bị (Down Time - DT) có thể được xác định theo công thức:

$$DT = \frac{M(T) \times MCMT + \frac{T}{T_{sm}} \times MPMT}{M(T) + \frac{T}{T_{sm}}} \quad (3)$$

Trong đó: MCMT là thời gian trung bình để sửa chữa thiết bị; MPMT là thời gian trung bình để bảo dưỡng định kỳ thiết bị.

Nếu như đã biết các chi phí nhiên liệu, nguyên liệu, nhân lực, phí giao thông... quy về một đơn vị thời gian C_{ou} , chi phí vận hành thiết bị tính theo một năm sẽ là:

$$C_O = A_O \times T \times C_{ou} \quad (4)$$

Nếu lãi suất trung bình của tiền gửi hàng năm là r , giá trị hiện tại của chi phí vận hành thiết bị tại năm thứ n $C_{O,n}$ được xác định như sau:

$$C_{O,n} = \frac{A_O \times T \times C_{ou}}{(1+r)^n} \quad (5)$$

Xác định chi phí bảo trì thiết bị

Chi phí bảo trì thiết bị (Maintenance Cost) được xác định theo công thức:

$$C_M = M(T) \times C_{cm} + \frac{T}{T_{sm}} \times C_{pm} + \sum_{i=1}^k \delta_{i,n} \times C_{OH,i} \quad (6)$$

Trong đó: C_{cm} là chi phí trung bình để khắc phục hư hỏng ngẫu nhiên của thiết bị; C_{pm} là chi phí trung bình cho bảo dưỡng định kỳ; $C_{OH,i}$ là chi phí cho sửa chữa cấp i (sửa chữa vừa, sửa chữa lớn...); $\delta_{i,n} = 1$, nếu trong khoảng thời gian xem xét có tiến hành sửa chữa cấp i , trường hợp ngược lại, $\delta_{i,n} = 0$.

Giá trị hiện tại của chi phí bảo trì năm thứ n của thiết bị $C_{M,n}$ được tính theo công thức:

$$C_{M,n} = \frac{1}{(1+r)^n} \left(M(T) \times C_{cm} + \frac{T}{T_{sm}} \times C_{pm} + \sum_{i=1}^k \delta_{i,n} \times C_{OH,i} \right) \quad (7)$$

Xác định chi phí cung cấp

Chi phí cung cấp (Logistics Cost) bao gồm chi phí liên quan đến các phụ tùng sử dụng khi bảo trì thiết bị (maintaining spare parts), các dụng cụ, phương tiện bảo trì và thủ thiết bị sau bảo trì và các chi phí khác liên quan đến việc cung ứng (chi phí vận tải...). Các phụ tùng đóng góp phần lớn trong thành phần tổng chi phí cung cấp. Số lượng phụ tùng sẵn có trong kho đóng vai trò quan trọng đảm bảo tính sẵn sàng của thiết bị. Thông thường, người ta xác định số lượng tối thiểu phụ tùng cần mua trữ trong kho dựa theo tỷ lệ đáp ứng yêu cầu (The Target Fill Rate - xác suất đáp ứng nhu cầu cung cấp các phụ tùng đặc chủng kho vật tư). Tỷ lệ đáp ứng yêu cầu thông thường đạt 85% [2]. Nếu N_s là số lượng phụ tùng tối thiểu thỏa mãn tỷ lệ đáp ứng yêu cầu α , có thể xác định N_s theo công thức sau [2]:

$$\sum_{k=0}^{N_s} \frac{\exp(-\lambda T) \times (\lambda T)^k}{k!} \quad (8)$$

Trong đó: λ là tỷ lệ hư hỏng (Failure Rate) của thiết bị, là giá trị của cường độ hỏng (Hazard Function) trong trường hợp đặc biệt khi cường độ hỏng có giá trị không đổi. Với các thiết bị có hàm mật độ hư hỏng phân bố theo quy luật hàm mũ, $\lambda = \text{Const}$. Giá trị hiện tại của chi phí cung cấp thiết bị trong năm thứ n , $C_{L,n}$ được tính theo công thức:

$$C_{L,n} = \frac{1}{(1+r)^n} N_s \times C_s \quad (9)$$

Trong đó: C_s là giá cả của phụ tùng.

Xác định chi phí sở hữu thiết bị

TCO được xác định từ các thành phần chi phí từ các công thức (5), (7), (9) theo suốt thời gian vòng đời của thiết bị:

$$TCO_D = C_p + \sum_{n=1}^D [C_{O,n} + C_{M,n} + C_{L,n}] \quad (10)$$

Trong đó: C_p là chi phí mua sắm ban đầu; D là tuổi thọ theo thiết kế của thiết bị, tính theo năm.

Ví dụ tính toán chi phí sở hữu thiết bị

Để minh họa cho mô hình toán học xác định TCO, ta xem xét ví dụ cụ thể về tính toán chi phí sở hữu thiết bị trong ngành đường sắt của Ấn Độ [2]. Cần xác định TCO khi đầu tư mua sắm toa xe với các số liệu về thiết bị như sau: chi phí mua sắm ban đầu $C_p = 40.000$ USD; thời gian giữa các lần bảo dưỡng định kỳ là 15 ngày, tương đương với hành trình $T_s = 6.000$ km; thời gian để thực hiện bảo dưỡng định kỳ là 2 ngày, tương đương với hành trình MPMT = 800 km; khi xảy ra hư hỏng ngẫu nhiên, thời gian cần khắc phục hư hỏng là 4 ngày, tương đương với hành trình MCMT = 1.600 km; hành trình sử dụng trung bình mỗi ngày là 400 km, mỗi tháng là 12.000 km, mỗi năm là 144.000 km; quy luật hư hỏng của toa xe tuân theo hàm mũ với tỷ lệ hư hỏng $\lambda = \text{Const}$, thời gian vận hành trung bình giữa các lần hư hỏng MTBF là 16.000 km. Chi phí vận hành quy về một đơn vị thời gian $C_{ou} = 1$ USD/km; chi phí trung bình cho bảo dưỡng định kỳ $C_{pm} = 1.500$ USD; chi phí trung bình để khắc phục hư hỏng của thiết bị $C_{cm} = 800$ USD; sửa chữa vừa toa xe (Routing Overhaul - ROH) được thực hiện sau 24 tháng, chi phí cho sửa chữa vừa $C_{OH1} = 8.000$ USD; sửa chữa lớn toa xe (Periodic Overhaul - POH) được thực hiện sau 48 tháng, thực hiện lần

đầu sau 6 năm; chi phí cho sửa chữa lớn $C_{OH2} = 15.000$ USD. Lãi suất tiền gửi trung bình $r = 6\%$ năm; chi phí cung cấp $N_s \times C_s = 3.000$ USD.

Để tính toán TCO, cần lưu ý đối với thiết bị có hàm hư hỏng theo phân bố mũ, ta có quan hệ sau [1, 2]:

$$M(T) = \lambda \times T. \quad (11)$$

Khi cho trước giá trị thời gian vận hành trung bình giữa các lần hư hỏng (Mean Time Between Failure - MTBF), ta cũng có quan hệ sau [1, 2]:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (12)$$

Tính toán TCO cho đến hết đợt sửa chữa lớn lần đầu (6 năm), các đơn vị thời gian đều quy về hành trình km, với hành trình trong một năm $T = 144.000$ km. Từ đây có thể tiến hành các bước tính toán TCO như sau:

$$M(T) = \frac{T}{MTBF} = \frac{144000 \text{ km}}{16000 \text{ km}} = 9$$

$$MTBM_{\text{wagon}} = \frac{T}{M(T) + \frac{T}{T_{sm}}} = \frac{144000}{9 + \frac{144000}{6000}} = 4363 \text{ km}$$

$$DT_{\text{wagon}} = \frac{M(T) \times MCMT + (\frac{T}{T_{sm}}) \times MPMT}{M(T) + \frac{T}{T_{sm}}} = \frac{9 \times 1600 + 24 \times 800}{9 + 24} = 1018 \text{ km}$$

$$A_{\text{wagon}} = \frac{MTBM_{\text{wagon}}}{MTBM_{\text{wagon}} + DT_{\text{wagon}}} = \frac{4363}{4363 + 1018} = 0,8108$$

Như vậy, tính sẵn sàng của toa xe đạt 81,08%.

Áp dụng công thức (5) có thể xác định chi phí vận hành toa xe trong từng năm, quy về thời điểm sử dụng ban đầu. Các giá trị quy về hiện tại của chi phí vận hành từ năm đầu tiên đến năm thứ 6 thể hiện trong bảng 1.

Năm	Giá trị hiện tại của chi phí vận hành (USD)
1	9178,868
2	8659,309
3	8169,160
4	7706,755
5	7270,523
6	6858,984
Tổng	47843,599

Bảng 1: chi phí vận hành từ năm đầu tiên đến năm thứ 6

Áp dụng công thức (7) có thể xác định chi phí bảo trì toa xe trong từng năm, quy về thời điểm sử dụng ban đầu. Do sửa chữa vừa và sửa chữa lớn toa xe được tiến hành trong khoảng thời gian xem xét (6 năm) nên $\delta_{i,n} = 1$. Các giá trị quy về hiện tại của chi phí bảo trì từ năm đầu tiên đến năm thứ 6 thể hiện trong bảng 2.

Năm	Giá trị hiện tại của chi phí bảo trì (USD)
1	30849,06
2	36222,86
3	27455,55
4	37782,87
5	24435,34
6	28691,89
Tổng	185437,57

Bảng 2: chi phí bảo trì từ năm đầu tiên đến năm thứ 6

Áp dụng công thức (9) có thể xác định chi phí cung cấp trong từng năm, quy về thời điểm sử dụng ban đầu. Các giá trị quy về hiện tại của chi phí cung cấp từ năm đầu tiên đến năm thứ 6 thể hiện trong bảng 3.

Năm	Giá trị hiện tại của chi phí cung cấp (USD)
1	2830,189
2	2669,989
3	2518,858
4	2376,281
5	2241,775
6	2114,882
Tổng	14751,974

Bảng 3: chi phí cung cấp từ năm đầu tiên đến năm thứ 6

Chi phí sở hữu thiết bị TCO được xác định theo công thức (5), (7), (9) và (10) với D = 6 năm:

$$TCO_D = C_P + \sum_{n=1}^D [C_{O,n} + C_{M,n} + C_{L,n}]$$

$$= 40000 + 47843,599 + 185437,57 + 14751,974$$

$$= 288033,143 \text{ USD}$$

So sánh chi phí sở hữu thiết bị (chi phí vòng đời) TCO với chi phí mua sắm ban đầu C_P ta thấy chi phí vòng đời lớn hơn 7 lần so với chi phí mua sắm ban đầu trong trường hợp chỉ tính toán đến lần sửa chữa lớn đầu tiên. Nếu tính cho hết thời gian khai thác toa xe (khoảng 35 năm), sự chênh lệch còn lớn gấp nhiều lần.

Kết luận

Bài báo đã trình bày tóm tắt mô hình tính toán chi phí vòng đời theo mô hình xác định chi phí sở hữu thiết bị, có ví dụ minh họa cho thiết bị vận tải toa xe. Nhờ xác định được TCO, có thể khẳng định việc lựa chọn thiết bị chỉ dựa trên chi phí mua sắm ban đầu rất không hợp lý do chi phí vận hành và bảo trì lớn gấp nhiều lần chi phí ban đầu. Việc định lượng được chi phí vận hành và bảo trì cũng tạo cơ sở để xác định chế độ bảo trì hợp lý, đảm bảo độ tin cậy sử dụng thiết bị cao nhất với giá cả phù hợp... Do các tính toán chi phí vòng đời dựa vào các số liệu thống kê của các nhà sản xuất khi tiến hành đầu tư mua sắm thiết bị, có thể truy cập theo các cơ sở dữ liệu công nghiệp nên hoàn toàn có thể tham khảo áp dụng tại Việt Nam, tạo công cụ hữu ích cho các chủ đầu tư, doanh nghiệp và cơ quan quản lý nhà nước... thực hiện thành công đổi mới công nghệ trong quá trình công nghiệp hóa nước nhà ✍

Tài liệu tham khảo

- [1]. B.S. Dhillon, Life Cycle Costing: Techniques, Models and Applications, Gordon and Breach Science Publishers, 1988.
- [2]. B.S. Dhillon, Life Cycle Costing for Engineers, CRC Press, 2010.
- [3]. U. Dinesh Kumar, Tutorials on Life Cycle Costing and Reliability Engineering, Indian Institute of Management Bangalore 2000.
- [4]. H. Paul Barringer, Life Cycle Cost Tutorial, 1996.
- [5]. Guangbin Yang, Life Cycle Reliability Engineering, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2007.