

NGHIÊN CỨU CHỌN MỨC NƯỚC CHẾT VẬN HÀNH CHO HỒ CHỨA THỦY ĐIỆN PHÙ HỢP VỚI SỰ THAY ĐỔI HỆ THỐNG ĐIỆN

Hoàng Công Tuấn¹

Tóm tắt: Việc xác định các thông số cơ bản của nhà máy thủy điện trong thiết kế không chỉ phụ thuộc vào điều kiện thủy văn mà còn gắn với nhu cầu phụ tải, cơ cấu nguồn và các yêu cầu khai thác tổng hợp. Trong bối cảnh hệ thống điện Việt Nam có sự dịch chuyển thời điểm phụ tải cực đại và sự thay đổi mạnh về cơ cấu nguồn, một số thông số được lựa chọn trước đây, đặc biệt là mực nước chết, cần được đánh giá lại. Bài báo đề xuất tiêu chí lựa chọn mực nước chết vận hành nhằm nâng cao công suất khả dụng của nhà máy thủy điện phù hợp với điều kiện vận hành mới của hệ thống điện. Kết quả áp dụng cho nhà máy thủy điện Sông Tranh 2 cho thấy, việc điều chỉnh mực nước chết vận hành giúp tăng đáng kể công suất khả dụng tại thời điểm phụ tải cực đại (khoảng 52 MW), đồng thời vẫn đáp ứng các yêu cầu khai thác tổng hợp, góp phần nâng cao hiệu quả khai thác thủy điện và đảm bảo an ninh năng lượng.

Từ khóa: Mực nước chết, công suất khả dụng, thủy điện Sông Tranh 2, hệ thống điện.

1. MỞ ĐẦU

Việt Nam có địa hình dốc cùng mạng lưới sông ngòi dày đặc, tạo ra nguồn thủy năng phong phú với trữ năng lý thuyết khoảng 300 tỷ kWh. Việt Nam có thể khai thác được công suất từ 30.000 - 40.000 MW và điện lượng từ 100 - 110 tỷ kWh (Website-EVN). Đến nay, tổng suất lắp đặt nguồn thủy điện đạt 24.550 MW.

Trong thiết kế, việc xác định các thông số cơ bản như mực nước dâng bình thường (MNDBT), mực nước chết (MNC), điện lượng bảo đảm (N_{bd}), công suất lắp máy (N_{lm}), cột nước tính toán (H_{tt})... đóng vai trò quan trọng. Các thông số này, ngoài việc phụ thuộc vào điều kiện thủy văn, còn chịu ảnh hưởng bởi yêu cầu thiết kế, đặc điểm hệ thống điện (HTĐ) như cơ cấu nguồn, biểu đồ phụ tải, cũng như các yêu cầu khai thác tổng hợp (phòng lũ, cấp nước, môi trường,...).

Trong những năm gần đây, HTĐ Việt Nam có sự thay đổi mạnh mẽ về cơ cấu nguồn phát và nhu cầu phụ tải. Nguồn điện ngày càng đa dạng, được bổ sung thêm nhiều nguồn mới, đặc biệt là năng lượng tái tạo (điện mặt trời, điện gió) với tỷ trọng tăng nhanh, trong khi tỷ trọng thủy điện giảm mạnh. Đồng thời, về nhu cầu dùng điện, thời điểm xuất hiện phụ tải cực đại cũng có sự dịch chuyển theo hướng bất lợi cho thủy điện, gây sức ép lớn lên cân bằng công suất của HTĐ. Trong bối cảnh đó, cần thiết phải nghiên cứu đánh giá lại các thông số có khả năng điều chỉnh (như MNC), nhằm đảm bảo cho NMTĐ vận hành hiệu quả, phù hợp với sự thay đổi của HTĐ.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về thủy điện đã được triển khai theo nhiều hướng: phát triển các công cụ trong tính toán vận hành (Nguyễn Đức Nghĩa, 2017; Lê Ngọc Sơn, 2017; Phan Trần Hồng Long và Hoàng Công Tuấn, 2020), tối ưu vận hành hồ chứa (Hoàng Thanh Tùng và nnk., 2013; Hồ Ngọc Dung, 2017; Lê Ngọc Sơn, 2017), lựa chọn các phương thức vận hành hồ chứa (Nguyễn Văn Nghĩa, 2017; Hoàng Công Tuấn và Phan Trần Hồng Long, 2020), hoặc đánh giá ảnh hưởng của các điều kiện ràng buộc theo quy trình vận hành (Nguyễn Đức Nghĩa, 2023). Ngoài ra, các nghiên cứu đã tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của các thông số cụ thể đến hiệu quả phát điện (Hoàng Công Tuấn và Nguyễn Thế Tiến, 2024) hay đề xuất tiêu chuẩn xác định thông số hồ chứa (Hoàng Công Tuấn, 2019).

Trên thế giới, các nghiên cứu về thủy điện cũng rất phong phú, với nhiều cách tiếp cận đa dạng (Vineet Kumar Singh and S. K. Singal, 2017), các nghiên cứu chủ yếu theo hướng tối đa hóa sản lượng điện, giảm chi phí vận hành hay giảm thiểu tác động môi trường (Mukand S. Babel et al., 2012; R. N. Sharma et al., 2015). Các mô hình vận hành hồ chứa đã phát triển từ phương pháp truyền thống đến hiện đại (V. Lai et al., 2022), trong đó các nghiên cứu thường tập trung vào các phương pháp tối ưu (Fang-Fang Li and Jun Qiu, 2015; Zhong-kai Feng et al., 2018), phương pháp điều phối (Xiao Li et al., 2020) hay kết hợp các phương pháp (Pan Liu et al., 2011). Yakup Karakoyun (2024) đã phân tích toàn diện ảnh hưởng của các thông số chính đến hiệu quả phát điện, bao gồm lưu lượng, cột nước phát điện, dung tích hồ, hiệu suất thiết bị và cả các yếu tố bên ngoài

¹Trường Đại học Thủy lợi

như dòng chảy môi trường hay sự biến động theo mùa. Các nghiên cứu khác cũng xem xét tác động của biến đổi khí hậu (Raj Singh et al., 2022) hoặc ảnh hưởng của các tham số thay đổi theo thời gian như xu hướng giảm của hệ số công suất (S. W. D. Turner et al., 2024).

Từ tổng quan trên có thể thấy, mặc dù các nghiên cứu về thủy điện rất phong phú và đa dạng, song vẫn đề phân tích, đánh giá sự phù hợp của các thông số cơ bản trong thiết kế - đặc biệt là các thông số có thể thay đổi được (như MNC) - khi cơ cấu nguồn và biểu đồ phụ tải biến động chưa được quan tâm đúng mức. Do đó, trong nghiên cứu này tập trung tính toán, đánh giá ảnh hưởng của các phương án MNC đến các thông số năng lượng và các yếu tố ràng buộc theo quy định, từ đó đề xuất lựa chọn MNC vận hành phù hợp với sự thay đổi của HTĐ.

2. CƠ SỞ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

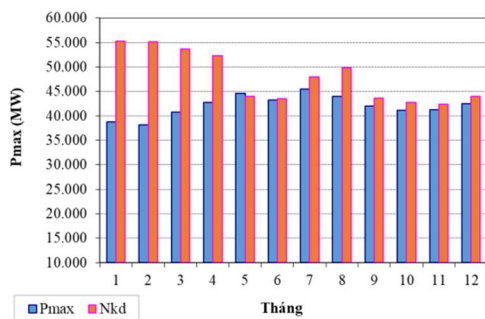
2.1. Sự thay đổi cơ cấu nguồn và nhu cầu sử dụng điện ở Việt Nam

Khoảng một thập kỷ trước (năm 2015), HTĐ Việt Nam chủ yếu gồm hai nguồn chính là thủy điện và nhiệt điện, trong đó thủy điện chiếm hơn 40%. Đến đầu năm 2025, tổng công suất toàn hệ thống đạt 88.480 MW, trong đó: thủy điện là 24.550 MW (27,7%), nhiệt điện than 29.539 MW (33,4%), nhiệt điện khí 8.234 MW (9,3%), năng lượng tái tạo (điện mặt trời và điện

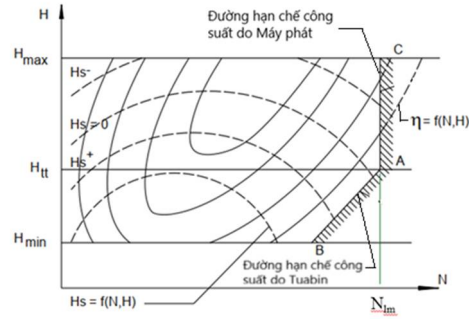
gió) 23.033 MW (26,0%) và các nguồn khác 3.124 MW (3,5%) (Website-NSMO). Hiện cả nước có khoảng 600 NMTĐ đang vận hành, trong đó 42 NMTĐ lớn (≥ 100 MW) với tổng công suất 14358 MW, 68 NMTĐ vừa ($30 \div 100$ MW) có tổng công suất 3781 MW, còn lại là NMTĐ nhỏ (≤ 30 MW).

Theo Quy hoạch điện VIII điều chỉnh (Chính phủ, 2025), đến năm 2030 tổng công suất nguồn điện toàn quốc sẽ đạt 183.291 - 236.363 MW, trong đó thủy điện chiếm 14,7 - 18,2%; nhiệt điện (than và khí) 28,9 - 35,1%; năng lượng tái tạo 39,5 - 47,2%. Đến năm 2050, tổng công suất nguồn điện dự kiến 774.503 - 838.681 MW, thủy điện chỉ còn 4,8 - 5,2%, nhiệt điện than không còn, nhiệt điện khí chiếm 9,0 - 9,6%, và năng lượng tái tạo đạt 62,7 - 63,4%. Như vậy, tỷ trọng năng lượng tái tạo có xu hướng tăng mạnh, trong khi thủy điện giảm rõ rệt.

Phát triển năng lượng tái tạo là xu hướng tất yếu, tuy nhiên nguồn này kém ổn định do phụ thuộc vào điều kiện thời tiết và không thể điều tiết theo biến động phụ tải, gây khó khăn cho an ninh cung cấp điện. Ngược lại, nhiệt điện có hiệu quả cao nhất khi vận hành ổn định, ít thay đổi tải. Trong bối cảnh đó, thủy điện – với tính linh hoạt, chi phí thấp và thân thiện môi trường – tiếp tục đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo HTĐ vận hành an toàn, ổn định và hiệu quả.



(a)



(b)

Hình 1. Tương quan giữa P_{max} và N_{kd} của HTĐ năm 2023 (a), Đường đặc tính vận hành của NMTĐ (b)

Về nhu cầu phụ tải, thời điểm xuất hiện phụ tải cực đại (P_{max}) đã có sự thay đổi rõ rệt. Trước đây, P_{max} thường rơi vào tháng 11–12, thời gian mà mực nước hồ chứa cao, công suất khả dụng (N_{kd}) lớn. Những năm gần đây và dự báo trong tương lai, P_{max} rơi vào tháng 5–7, thời gian mực nước ở hầu hết các hồ chứa xuống thấp, làm N_{kd} giảm mạnh, dẫn đến việc huy động công suất gặp nhiều khó khăn, HTĐ phải làm việc rất căng thẳng. Năm 2023, tình trạng thiếu công suất đã xảy ra ở miền Bắc vào tháng 5–6 khi nhiều hồ lớn như Lai Châu, Sơn La, Tuyên Quang, Bản Chát, Hòa Na, Thác Bà đều đã về mực

nước chết. Hình 1a thể hiện tương quan giữa P_{max} và N_{kd} của HTĐ năm 2023, cho thấy sự căng thẳng trong cân bằng công suất vào các tháng 5–7. Do đó, nghiên cứu các thông số hồ chứa nhằm nâng cao N_{kd} tại thời điểm P_{max} có ý nghĩa quan trọng trong việc tăng khả năng tham gia của thủy điện và giảm căng thẳng cho HTĐ.

2.2. Cơ sở đánh giá, lựa chọn MNC vận hành

NMTĐ vận hành trong HTĐ không chỉ phụ thuộc vào chế độ dòng chảy mà còn bị chi phối bởi phụ tải, cơ cấu các nguồn, thị trường điện, các yêu cầu lợi dụng tổng hợp. Đây cũng là cơ sở để đưa ra tiêu chí xác định

các thông số cơ bản của NMTĐ. Khi các yếu tố này thay đổi so với giai đoạn thiết kế trước đây thì việc nghiên cứu chế độ làm việc của các NMTĐ hiện hữu cho phù hợp với điều kiện mới là rất cần thiết.

Trước đây, việc xác định chế độ của NMTĐ trong năm thiết kế thường theo tiêu chí điện lượng mùa kiệt lớn nhất hoặc thay thế được nhiều nhất N_{lm} của nguồn đối chứng ở các tháng 11-12 (cuối năm). Cách tiếp cận này thường dẫn đến việc chọn MNC thấp. Điều này chỉ phù hợp trong điều kiện P_{max} xảy ra ở các tháng cuối năm (cuối mùa trữ, đầu mùa cấp), khi mực nước hồ chứa cao NMTĐ phát được N_{kd} lớn; còn ở các tháng 5-7 (cuối mùa cấp, đầu mùa trữ) tuy mực nước hồ thấp, NMTĐ không phát được N_{kd} lớn nhưng vẫn bảo đảm an toàn cung cấp điện vì phụ tải thấp. Đồng thời, sự phù hợp này cũng cho phép chọn H_{tt} tương đối lớn so với cột nước nhỏ nhất (H_{min} là cột nước nhỏ nhất khi mực nước hồ về MNC) ở một số NMTĐ.

Kết quả nghiên cứu chế độ làm việc trong năm thiết kế cho 20 NMTĐ với tiêu chí điện lượng mùa kiệt lớn nhất và giữ nguyên các thông số đã chọn như MNC, H_{tt} (Hoàng Công Tuấn và Nguyễn Thế Tiến, 2024) cho thấy: tỷ số H_{min}/H_{tt} càng nhỏ thì N_{kd} trong các tháng 5-7 càng giảm so với N_{lm} . Điều này xảy ra vì H_{tt} là cột nước thấp nhất mà tại đó NMTĐ vẫn phát được N_{lm} , khi cột nước thấp hơn H_{tt} thì công suất phát chỉ đạt $N_{kd} < N_{lm}$ (Hình 1b). Mức độ giảm N_{kd} so với N_{lm} phụ thuộc vào đặc tính của từng kiểu tuabin: lớn nhất đối với tuabin tâm trục, nhỏ hơn đối với tuabin hướng trục và gần như không có đối với tuabin gáo. Tổng N_{kd} của 20 NMTĐ khi mực nước hồ về MNC chỉ còn 6.991 MW, giảm 3.011 MW (tức giảm 30%) so với tổng N_{lm} (10.003 MW). Điều này có nghĩa là khả năng phủ đỉnh biểu đồ phụ tải của các NMTĐ bị hạn chế rất lớn ở các tháng 5-7, gây lên sự thiếu hụt công suất tham gia vào cân bằng công suất của HTĐ. Trong khi đó như chỉ ra ở trên, phụ tải giai đoạn này lại ở mức cao nhất.

Từ đó cho thấy, cần thiết phải nghiên cứu chế độ

làm việc của các NMTĐ trong năm thiết kế nhằm tăng N_{kd} và do đó giảm thiểu hụt công suất ở các tháng cuối mùa cấp, đầu mùa trữ. Điều này đồng nghĩa với việc nghiên cứu nâng cao tỷ số H_{min}/H_{tt} . Vì H_{tt} gắn liền với thiết kế tuabin và không thể thay đổi ở các NMTĐ hiện hữu, giải pháp khả thi là tăng MNC trong giới hạn cho phép theo các yêu cầu lợi dụng tổng hợp. Như vậy, tiêu chí lựa chọn MNC cho các NMTĐ đang vận hành là tăng MNC tối đa trong phạm vi cho phép để nâng cao được N_{kd} và điện lượng.

2.3. Phương pháp tính toán

Trong tính toán thủy năng, công suất và điện lượng được xác định theo các công thức cơ bản:

$$N_t = k \cdot Q_t \cdot H_t \quad (1)$$

$$E_t = N_t \cdot \Delta h_t \quad (2)$$

$$H_t = Z_{tl,t} - Z_{hl,t} - h_{w,t} \quad (3)$$

$$Q_t = Q_{den,t} \pm Q_{h,t} - Q_{tt,t} - Q_{x,t} - Q_{ldh,t} \quad (4)$$

Trong đó:

+ N_t , E_t : công suất, điện lượng ở thời đoạn t ;

+ Q_t , H_t : lưu lượng phát điện, cột nước phát điện ở thời đoạn t .

+ $k = 9,81 \cdot \eta_t$: hệ số công suất, η_t là hiệu suất tổ máy (gồm tuabin và máy phát) xác định theo đặc tính của thiết bị, phụ thuộc vào Q_t và H_t , $\eta_t = f(Q_t, H_t)$. Δh_t : số giờ trong thời đoạn t .

+ $Z_{tl,t}$, $Z_{hl,t}$, $h_{w,t}$: mực nước hồ chứa thượng lưu, mực nước hạ lưu nhà máy, tổn thất cột nước trên tuyến năng lượng ở thời đoạn t ;

+ $Q_{den,t}$, $Q_{h,t}$, $Q_{tt,t}$, $Q_{x,t}$, $Q_{ldh,t}$: lưu lượng đến hồ, lưu lượng cấp (+) từ hồ/trữ (-) vào hồ, lưu lượng tổn thất, lưu lượng xả (không qua phát điện), lưu lượng theo yêu cầu lợi dụng tổng hợp của NMTĐ ở thời đoạn t .

Ngoài ra, trong tính toán các thông số phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc theo yêu cầu kỹ thuật tổ máy và tuân theo các quy định trong quy trình vận hành hồ chứa của các NMTĐ.

Tương quan giữa điện lượng mùa kiệt (E_k), điện lượng năm (E_n) với MNC:

$$E_k = N_k \cdot \Delta h_k \quad (5)$$

$$N_k = k \cdot Q_{fdk} \cdot H_k = k \cdot (Q_{tnk} + Q_h) \cdot H_k = k \cdot Q_{tnk} \cdot H_k + k \cdot Q_h \cdot H_k = N_{tnk} + N_h \quad (6)$$

$$E_k = (N_{tnk} + N_h) \cdot \Delta h_k = N_{tnk} \cdot \Delta h_k + N_h \cdot \Delta h_k = E_{tnk} + E_h \quad (7)$$

$$E_n = E_k + E_l \quad (8)$$

Trong đó:

+ E_n , E_l : điện lượng năm và điện lượng mùa lũ

+ Q_{fdk} , Q_{tnk} , Q_h : lưu lượng phát điện mùa kiệt, lưu lượng tự nhiên trung bình mùa kiệt và lưu lượng được cấp từ hồ chứa trong mùa kiệt. Q_h xác định từ dung tích hữu ích (V_{hi}), trong đó V_{hi} phụ thuộc vào MNC. Do xét

tương quan nên trong công thức này không kể đến tổn thất lưu lượng.

+ N_k , E_k : công suất và điện lượng mùa kiệt.

+ N_{tnk} , E_{tnk} : công suất và điện lượng từ lưu lượng tự nhiên mùa kiệt.

+ N_h , E_h : công suất và điện lượng từ lưu lượng do hồ cấp mùa kiệt.

Như vậy, sự thay đổi của E_n phụ thuộc vào sự thay đổi của E_k và E_l , còn sự thay đổi của E_k sẽ phụ thuộc vào E_{tnk} và E_h tức lượng nước thiên nhiên hay dung tích hữu ích V_{hi} đóng vai trò chủ yếu đối với E_k của NMTĐ.

Việc lựa chọn phương pháp tính toán thủy năng sẽ tùy thuộc vào yêu cầu và mục đích tính toán. Trong nghiên cứu này, nhằm đánh giá quan hệ giữa các phương án MNC với công suất và điện lượng, từ đó làm cơ sở cho việc lựa chọn MNC vận hành phù hợp với sự thay đổi của HTĐ, tính toán thủy năng cần thực hiện cho năm thiết kế và cả chuỗi năm thủy văn với nhiều phương án MNC. Do khối lượng tính toán rất lớn nên phương pháp phù hợp được lựa chọn là phương pháp tính theo trình tự thời gian, với thuật toán lưu lượng phát điện từng mùa không đổi và đảm bảo nguyên tắc điều tiết sao cho mực nước hồ cuối mùa kiệt về MNC và cuối mùa lũ tích lên đến MNDBT (Bộ môn Thủy Điện và Năng lượng tái tạo, 2024). Để phục vụ tính toán mô phỏng cho các năm, ngôn ngữ Python được chọn làm ngôn ngữ lập trình, kết hợp phần mềm Microsoft Excel để xử lý số liệu. Ngôn ngữ Python được tạo ra năm 1989 bởi

Guido Van Rossum (lập trình viên máy tính ở Hà Lan) là một trong những ngôn ngữ lập trình mạnh và phổ biến nhất trên thế giới.

3. KẾT QUẢ ÁP DỤNG TÍNH TOÁN

3.1. Tổng quan đối tượng nghiên cứu: NMTĐ Sông Tranh 2

Đối tượng nghiên cứu là NMTĐ Sông Tranh 2, có hồ chứa điều tiết năm, với các thông số cơ bản được xác định theo đặc điểm HTĐ tại thời điểm thiết kế trước đây. NMTĐ Sông Tranh 2 được xây dựng trên sông Tranh, một nhánh sông Thu Bồn trong hệ thống sông Vu Gia – Thu Bồn, thuộc tỉnh Quảng Nam (nay là Đà Nẵng). Theo thiết kế, nhà máy có N_{lm} là 190 MW, gồm 2 tổ máy, sản lượng điện trung bình hàng năm 679,6 triệu kWh, các thông số chính thể hiện ở Bảng 1. NMTĐ Sông Tranh 2 được xây dựng ở đầu nguồn với dạng NMTĐ sau đập, phía hạ lưu có NMTĐ Sông Tranh 3 (62MW) và Sông Tranh 4 (48MW) đã đi vào vận hành. Ngoài nhiệm vụ phát điện, NMTĐ Sông Tranh 2 còn có vai trò đảm bảo dòng chảy tối thiểu 32 m³/s phục vụ sinh hoạt, sản xuất tại hạ lưu vào mùa khô, đồng thời tham gia cắt giảm lũ cho hạ lưu sông Thu Bồn.

Bảng 1. Các thông số chính của NMTĐ Sông Tranh 2

MNDBT (m)	MNC (m)	V_{tb} (10 ⁶ m ³)	V_{hi} (10 ⁶ m ³)	N_{lm} (MW)	P_{tk} (%)	H_{tt} (m)	Thời gian xây dựng
175	140	729	521	190	90	87,0	2006-2010

Các số liệu đầu vào sử dụng tính toán được lấy từ hồ sơ thiết kế kỹ thuật NMTĐ Sông Tranh 2 và được cập nhật trong giai đoạn vận hành, gồm: các đặc trưng của hồ chứa, quan hệ mực nước hạ lưu, các quan hệ về tồn thất, đặc tính vận hành của thiết bị. Số liệu về dòng chảy là chuỗi dòng chảy tháng, dài 50 năm (1973 - 2022); trong đó, số liệu giai đoạn 1973 - 2010 tính theo phương pháp lưu vực tương tự kết hợp với trạm đo lập riêng cho NMTĐ Sông Tranh 2 (theo hồ sơ thiết kế kỹ thuật), giai đoạn 2010-2022 lấy theo số liệu lưu lượng đến hồ (dựa trên số liệu vận hành của nhà máy). Các ràng buộc về mực nước, lưu lượng được lấy theo Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn (Chính phủ, 2019).

3.2. Kết quả và thảo luận

3.2.1. Kết quả tính ảnh hưởng của các phương án MNC

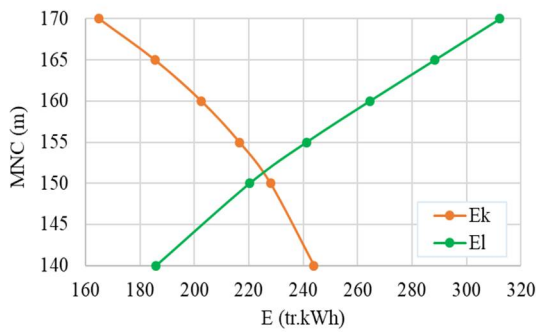
Để có thể lựa chọn MNC trong vận hành phù hợp với sự thay đổi của HTĐ, cần phân tích ảnh hưởng của các phương án MNC giả thiết với điện lượng, N_{kd} và các yêu cầu lợi dụng tổng hợp theo Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn.

a. Đối với điện lượng mùa kiệt và điện lượng năm.

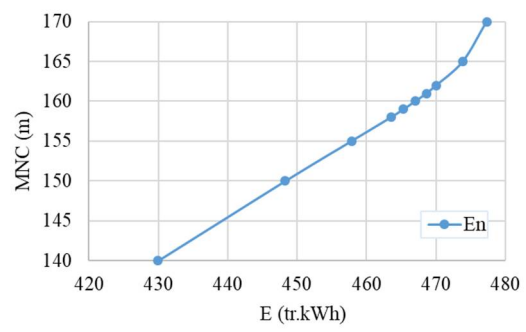
Trước tiên, tiến hành tính thủy năng được thực hiện cho năm thủy văn thiết kế theo các phương án MNC khác nhau, nhằm đánh giá quan hệ giữa MNC với E_k và E_n . Các phương án MNC sẽ được xem xét từ MNDBT trở xuống, kết quả tính toán được thể hiện ở Hình 2.

Kết quả Hình 2a cho thấy, trong khoảng MNC từ 170 m (MNDBT) đến 140 m (MNC thiết kế), khi MNC giảm thì E_k tăng và chưa xuất hiện giá trị cực đại. Điều này phù hợp với việc, MNC = 140 m được chọn trong giai đoạn thiết kế trước nhằm đạt điện lượng mùa kiệt lớn nhất, đồng thời đáp ứng các điều kiện ràng buộc về bồi lắng hồ chứa và chế độ làm việc của tuabin.

Ngược lại, E_n có xu hướng giảm rõ rệt khi MNC giảm (Hình 2b). Mức giảm E_n càng lớn khi MNC càng nhỏ, do E_l giảm mạnh hơn so với mức độ tăng của E_k (Hình 2a). Như vậy, việc giảm MNC (dẫn đến cột nước giảm) đã làm giảm đáng kể E_l , kéo theo sự giảm của E_n . Rõ ràng khi xét đến điện lượng cả năm thì việc hạ thấp MNC sẽ càng bất lợi, vì E_n ứng với năm thủy văn thiết kế cũng tương đương với điện lượng bảo đảm. Việc giảm điện lượng bảo đảm sẽ làm suy giảm vai trò tham gia của thủy điện trong cân bằng hệ thống.

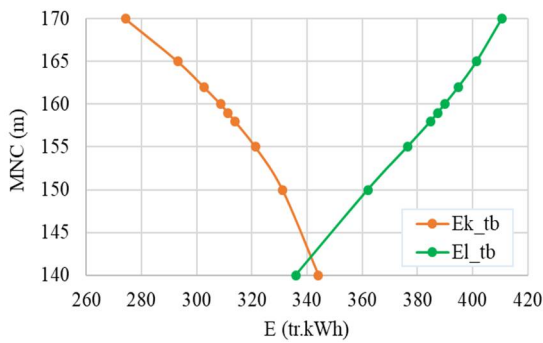


(a)

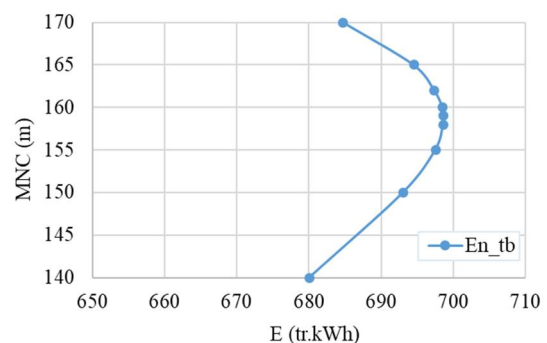


(b)

Hình 2. Quan hệ giữa MNC với E_k và E_{ml} (a), và với E_n (b) với năm thiết kế



(a)



(b)

Hình 3. Quan hệ giữa MNC với E_{k_tb} và E_{l_tb} (a), và với E_{n_tb} (b) với chuỗi dòng chảy 50 năm

Tiếp theo, chuỗi dòng chảy 50 năm (1973-2022) được sử dụng để phân tích quan hệ giữa các phương án MNC với các chỉ tiêu điện lượng trung bình. Kết quả ở Hình 3 cho thấy, khi MNC giảm thì E_{k_tb} (điện lượng mùa kiệt trung bình) tăng (Hình 3a), có nghĩa xét riêng E_{k_tb} thì càng giảm MNC sẽ càng có lợi. Tuy nhiên, E_{n_tb} (điện lượng năm trung bình) lại có quy luật khác, ban đầu E_{n_tb} tăng và đạt cực đại tại MNC = 159 m, sau đó giảm nhanh khi MNC tiếp tục hạ thấp (Hình 3b). Điều này được lý giải do ban đầu mức tăng E_{k_tb} lớn

hơn mức giảm E_{l_tb} (điện lượng mùa lũ trung bình) dẫn đến E_{n_tb} tăng, nhưng sau ngưỡng 159 m thì E_{l_tb} giảm mạnh hơn khiến E_{n_tb} suy giảm.

b. Đối với công suất khả dụng

MNC giảm dẫn đến cột nước phát điện giảm, nếu nhỏ hơn H_{tt} sẽ làm N_{kd} giảm. Kết quả ở Bảng 2 cho thấy, khi MNC giảm thì N_{kd} giảm khá nhanh khi mực nước hồ về MNC. Với mực nước hồ về MNC = 140 m (theo thiết kế), N_{kd} chỉ còn 120,7 MW, tương ứng 63,5% N_{lm} .

Bảng 2. Quan hệ giữa các phương án MNC và N_{kd}

Thông số	Mực nước hồ ứng với các phương án MNC (m)				
	140	145	150	160	165
N_{kd} (MW)	120,7	136,2	152,6	188,3	190
N_{kd}/N_{lm} (%)	63,5	71,7	80,3	99,1	100

Theo tính toán, để duy trì phát được N_{lm} , mực nước hồ thấp nhất phải đạt 160,5 m. Như vậy, trong vận hành, mực nước hồ không nên hạ xuống dưới 160,5 m nếu muốn đảm bảo phát được N_{lm} .

c. Đối với yêu cầu lợi dụng tổng hợp

Theo Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn trong mùa cạn, hàng ngày NMTĐ Sông Tranh 2 phải vận hành đảm bảo duy trì dòng chảy tối thiểu sau đập, xả nước không ít hơn 7 giờ/ngày đối với các thời kỳ I, II, IV và 12

giờ/ngày đối với các thời kỳ III, đồng thời phải đảm bảo tổng lưu lượng xả xuống hạ lưu trung bình ngày theo quy định ở Bảng 3.

Kết quả tính toán cho thấy, để đáp ứng quy định dòng chảy tối thiểu trong năm thiết kế, MNC có thể chọn không vượt quá cao trình 155,9 m.

Trong mùa lũ, hồ chứa có nhiệm vụ phòng lũ cho hạ du. Các yêu cầu về mực nước cao nhất trước lũ và mực nước đón lũ thấp nhất được quy định trong Bảng 4.

Bảng 3. Dòng chảy tối thiểu của NMTĐ Sông Tranh 2

Thời kỳ	Thời gian	Lưu lượng trung bình ngày yêu cầu (m ³ /s)	
		Mức nước hồ nằm trong hoặc cao hơn mực nước quy định ^(*)	Mức nước hồ thấp hơn mực nước quy định ^(*)
I	Từ 16/12 đến 31/01 và từ 11/04 đến 10/05	42	32
II	Từ 01/02 đến 10/04	50	40
III	Từ 11/05 đến 10/06	90	80
IV	Từ 11/06 đến 31/08	52	42

(* Mực nước để vận hành hồ chứa trong mùa cạn theo quy định).

Bảng 4. Quy định về mực nước lũ của hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2

Thông số	Mực nước hồ (m)	
	Từ 01/9-15/11	Từ 16/11 - 15/12
Mực nước cao nhất trước lũ	172,0	173,0 - 175,0
Mực nước đón lũ thấp nhất	165,0	173,0

So với kết quả tính toán, mực nước hồ thấp nhất để NMTĐ Sông Tranh 2 vẫn phát được N_{lm} là 160,5 m. Trong khi đó, mực nước phòng lũ quy định đều cao hơn giá trị này. Do vậy, việc tham gia nhiệm vụ phòng lũ không làm giảm N_{kd} của nhà máy.

3.2.2. Lựa chọn MNC vận hành

Từ các phân tích trên, MNC vận hành cao nhất có thể chọn là 155,9 m, vừa đảm bảo yêu cầu dòng chảy tối thiểu, vừa tuân thủ các điều kiện phòng lũ. So với MNC thiết kế 140 m, phương án MNC =

155,9 m làm N_{kd} tăng thêm 52,4 MW (tăng 43,4%) và E_n ứng sản xuất thiết kế (tương đương điện lượng bảo đảm) tăng thêm 29,98 triệu kWh (tăng 6,1%).

Bảng 5 trình bày kết quả điện lượng giai đoạn 2011-2022 theo vận hành thực tế và theo tính toán ứng với phương án MNC lựa chọn. Kết quả cho thấy, phương án MNC chọn cho sản lượng điện cao hơn trong hầu hết các năm. Bình quân toàn giai đoạn, điện lượng tính toán cao hơn vận hành thực tế 82,9 triệu kWh, tương ứng mức tăng 13,6%.

Bảng 5. Kết quả điện lượng trong các năm vận hành NMTĐ Sông Tranh 2

Năm	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E_n thực tế (10 ⁶ kWh)	669,0	535,0	515,0	453,0	531,0	655,0
E_n tính toán (10 ⁶ kWh)	856,7	600,4	746,0	530,4	630,6	654,5
Tăng (+)/giảm (-) (%)	28,0%	12,2%	44,9%	17,1%	18,7%	-0,1%
Năm	2017	2018	2019	2020	2021	2022
E_n thực tế (10 ⁶ kWh)	830,0	458,0	478,0	588,0	690,4	884,3
E_n tính toán (10 ⁶ kWh)	864,1	465,7	529,8	664,3	786,9	951,9
Tăng (+)/giảm (-) (%)	4,1%	1,7%	10,8%	13,0%	14,0%	7,6%

Điều này cho thấy, việc nâng MNC không những đảm bảo tuân thủ các yêu cầu lợi dụng tổng hợp mà còn gia tăng đáng kể khả năng phát công suất và điện lượng bảo đảm, góp phần nâng cao hiệu quả tham gia cân bằng công suất và năng lượng của NMTĐ Sông Tranh 2 trong HTĐ.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã đưa ra cơ sở, tiêu chí lựa chọn MNC vận hành cho NMTĐ phù hợp với sự thay đổi phụ tải và cơ cấu nguồn của HTĐ. Kết quả áp dụng tính toán cho trường hợp nghiên cứu điển hình tại NMTĐ Sông Tranh 2 cho thấy:

- Việc lựa chọn MNC theo tiêu chí điện lượng

mùa kiệt lớn nhất không còn phù hợp, vì làm giảm N_{kd} ở thời điểm P_{max} , đồng thời làm giảm điện lượng bảo đảm.

- MNC có ảnh hưởng đáng kể đến tương quan giữa E_k và E_n . Giá trị MNC thấp làm E_n giảm mạnh, trong khi MNC cao hơn lại cải thiện rõ rệt N_{kd} vào thời điểm P_{max} .

- MNC vận hành hợp lý được xác định là 155,9 m. So với thiết kế (MNC = 140 m), phương án này làm N_{kd} tăng thêm 52,4 MW (tăng 43,4%), điện lượng bảo đảm tăng 29,98 triệu kWh (tăng 6,1%) và vẫn đáp ứng yêu cầu dòng chảy tối thiểu và nhiệm vụ phòng lũ.

Như vậy, điều chỉnh MNC vận hành theo hướng nâng cao trong giới hạn cho phép là giải pháp khả thi nhằm tăng cường vai trò của thủy điện trong cân bằng công suất và năng lượng của HTĐ, đặc biệt ở các tháng có yêu cầu phụ tải lớn.

Các NMTĐ đang vận hành cần được rà soát, đánh giá lại MNC theo sự biến đổi của phụ tải và yêu cầu cân bằng công suất, thay vì chỉ dựa vào tiêu chí điện lượng mùa kiệt như trước đây.

Cần xây dựng tiêu chí thống nhất lựa chọn MNC vận hành cho các NMTĐ, trong đó xem xét đồng thời các yếu tố: N_{kd} tại thời điểm P_{max} , điện lượng bảo đảm và các yêu cầu lợi dụng tổng hợp nhằm khai thác hiệu quả hơn nguồn thủy điện trong bối cảnh tỷ trọng năng lượng tái tạo ngày càng tăng, HTĐ có sự biến động mạnh và yêu cầu đảm bảo an ninh năng lượng ngày càng cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bộ môn Thủy Điện và Năng lượng tái tạo (2024), *Giáo trình Thủy Năng*. Trường Đại học Thủy lợi, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- Chính phủ (2025), *Quyết định số 768/QĐ-TTg ngày 15/4/2025 của Chính phủ về việc Phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*.
- Chính phủ (2019), *Quyết định số 1856/2019/QĐ-TTg, Quyết định Ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn*.
- Website-EVN, *Tập đoàn điện lực Việt Nam*, <https://evn.com.vn/>.
- Nguyễn Đức Nghĩa (2017), *Xây dựng công cụ hỗ trợ vận hành nhằm nâng cao hiệu quả phát điện trạm thủy điện nhỏ*, Đề tài NCKH cấp cơ sở, Trường ĐH Thủy lợi.
- Lê Ngọc Sơn (2017), *Nghiên cứu cơ sở khoa học kết hợp mô hình mô phỏng – tối ưu – trí tuệ nhân tạo trong vận hành hệ thống hồ chứa đa mục tiêu, áp dụng cho lv sông Ba, LATS*, Hà Nội.
- Phan Trần Hồng Long và Hoàng Công Tuấn (2020), *Xây dựng chương trình tính toán biểu đồ điều phối liên hồ thủy điện bậc thang sử dụng thuật toán quy hoạch động và phương pháp chia lưới không đều*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 71, 42-48.
- Hoàng Thanh Tùng, Hà Văn Khôi và Nguyễn Thanh Hải (2013), *Ứng dụng phần mềm Crystal Ball xác định chế độ vận hành tối ưu phát điện cho hồ chứa Thác Bà, Tuyên Quang và bậc thang hồ chứa Sơn La, Hòa Bình có tính đến nhu cầu cấp nước hạ du*, Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường, 42, 4-11.
- Hồ Ngọc Dung (2017), *Nghiên cứu cơ sở khoa học vận hành tối ưu hệ thống bậc thang hồ chứa thủy điện trên sông Đà trong mùa cạn*, LATS, Hà Nội.
- Nguyễn Văn Nghĩa (2017), *Nghiên cứu lựa chọn quy trình vận hành phát điện hợp lý cho bậc thang thủy điện Krông Nô 2&3*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 41, 1-9.
- Hoàng Công Tuấn và Phan Trần Hồng Long (2020), *Nghiên cứu phương thức phối hợp vận hành nâng cao hiệu quả khai thác nhà máy thủy điện bậc thang*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 63, 94-102.
- Nguyễn Đức Nghĩa (2023), *Nghiên cứu ảnh hưởng của quy trình vận hành hồ chứa đến hiệu quả phát điện của các nhà máy thủy điện*, Tạp chí Khoa học KT thủy lợi và môi trường, 86, 25-33.
- Hoàng Công Tuấn và Nguyễn Thế Tiến (2024), *Nghiên cứu khả năng nâng cao công suất khả dụng của nhà máy thủy điện*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 88, 3-11.
- Hoàng Công Tuấn (2019), *Nghiên cứu tiêu chuẩn chọn mực nước chết cho trạm thủy điện khi tham gia thị trường điện*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 55, 1-7.
- Vineet Kumar Singh và S. K. Singal (2017), *Operation of hydro power plants-a review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 610-619.
- Mukand S. Babel, Chien Nguyen Dinh, Md R. Akter Mullick và Umamahesh V. Nanduri (2012), *Operation of a hydropower system considering environmental flow requirements: A case study in La Nga river basin, Vietnam*, Journal of Hydro-environment Research, 6(1), 63-73.
- R. N. Sharma, Narottam Chand, Veena Sharma và Deepika Yadav (2015), *Decision support system for operation, scheduling and optimization of hydro power plant in Jammu and Kashmir region*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 1099-1113.
- V. Lai, Y. F. Huang, C. H. Koo, A. N. Ahmed và A. El-Shafie (2022), *A Review of Reservoir Operation Optimisations: from Traditional Models to Metaheuristic Algorithms*, Arch Comput Methods Eng, 29(5), 3435-3457.
- Fang-Fang Li và Jun Qiu (2015), *Multi-Objective Reservoir Optimization Balancing Energy Generation and Firm Power*, Energies, 8(7), 6962-6976.

- Zhong-kai Feng, Wen-jing Niu và Chun-tian Cheng (2018), *Optimizing electrical power production of hydropower system by uniform progressive optimality algorithm based on two-stage search mechanism and uniform design*, Journal of Cleaner Production, 190, 432-442.
- Xiao Li, Pan Liu, Ziling Gui, Bo Ming, Zhikai Yang, Kang Xie và Xiaoqi Zhang (2020), *Reducing lake water-level decline by optimizing reservoir operating rule curves: A case study of the Three Gorges Reservoir and the Dongting Lake*, Journal of Cleaner Production, 264, 121676.
- Pan Liu, Shenglian Guo, Xiaowei Xu và Jionghong Chen (2011), *Derivation of Aggregation-Based Joint Operating Rule Curves for Cascade Hydropower Reservoirs*, Water Resources Management, 25(13), 3177-3200.
- Yakup Karakoyun (2024), *Determination of Effective Parameters for Hydropower Plants' Energy Generation: A Case Study*, Applied Sciences, 14(5), 2069.
- Raj Singh, Nawraj Bhattarai, Anita Prajapati và Shree Raj Shakya (2022), *Impact of variation in climatic parameters on hydropower generation: A case of hydropower project in Nepal*, Heliyon, 8(12), e12240.
- S. W. D. Turner, G. R. Ghimire, C. Hansen, D. Singh và S. C. Kao (2024), *Hydropower capacity factors trending down in the United States*, Nat Commun, 15(1), 5445.
- Website-NSMO, National Power System and Market Operator Company, <https://www.nsmo.vn/>.

Abstract:

RESEARCH ON SELECTING THE OPERATING DEAD WATER LEVEL FOR HYDROPOWER RESERVOIRS IN LINE WITH CHANGES IN THE POWER SYSTEM

The determination of key design parameters of hydropower plants depends not only on hydrological conditions but also on load demand, the power generation mix, and other multipurpose requirements. In the context of Vietnam's power system, where the timing of peak demand has shifted and the power generation mix has significant changes, several parameters previously selected - particularly the dead water level - require re-evaluation. This paper proposes criteria for selecting the operational dead water level to enhance the available capacity of hydropower plants in accordance with the new operating conditions of the power system. The results applied to the Song Tranh 2 Hydropower Plant show that adjusting the operational dead water level significantly increases the available capacity at peak load periods (by approximately 52 MW), while still meeting integrated operation requirements, thereby improving hydropower utilization efficiency and contributing to energy security.

Keywords: Dead water level, available capacity, Song Tranh 2 hydropower plant, power system.

Ngày nhận bài: 21/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 02/02/2026