

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TĂNG TRƯỞNG LOGISTIC ĐỂ DỰ BÁO KHAI THÁC CHO TẦNG MIOCENE DƯỚI, MỎ BẠCH HỔ

Trần Đăng Tú, Đinh Đức Huy, Trần Xuân Quý, Phạm Trường Giang, Lê Vũ Quân, Lê Thế Hùng, Lê Quốc Trung, Trần Nguyên Long

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: tutd@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Bài báo ứng dụng mô hình tăng trưởng logistic (LGM) để dự báo khai thác cho tầng Miocene dưới, mỏ Bạch Hổ bằng cách xác định một tập hợp các thông số đường cong suy giảm qua quá trình tái lập lịch sử khai thác sử dụng thuật toán tối ưu (optimisation algorithm). Sai số tương đối trung bình giữa kết quả dự báo bằng mô hình LGM và dữ liệu khai thác thực tế là 0,6%. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình LGM đã cải thiện khả năng dự báo với độ tin cậy cao.

Từ khóa: Mô hình tăng trưởng logistic (LGM), dự báo khai thác, trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (EUR), Miocene dưới, mỏ Bạch Hổ.

1. Giới thiệu

Mô hình LGM được phát triển bởi Pierre Verhulst (Bi) vào năm 1830 [1]. Đường cong tăng trưởng logistic là một tập hợp các mô hình toán học được sử dụng để dự báo dân số. Sau đó, mô hình này được ứng dụng vào các lĩnh vực khác như: vật lý, địa lý, hóa học.... Dựa trên ý tưởng của Malthus (dân số của một quốc gia hoặc một khu vực cụ thể chỉ có thể tăng lên một mức nhất định) [2], Pierre Verhulst đã thêm một hệ số nhân vào phương trình tăng trưởng lũy tiến để tạo ra mô hình LGM.

Phương trình tăng trưởng logistic có một thuật ngữ gọi là khả năng tăng trưởng (carrying capacity). Khả năng tăng trưởng là sức chứa lớn nhất mà dân số có thể tăng lên, tại thời điểm đó sự tăng trưởng dân số sẽ ổn định. Ngoài việc dự báo tăng trưởng dân số, các mô hình LGM còn được sử dụng để dự báo sự tăng trưởng của nấm men, tái tạo các cơ quan và sự thâm nhập của các sản phẩm mới vào thị trường [3]. Mô hình này được sử dụng trước đó trong lĩnh vực dầu khí dưới dạng mô hình Hubbert. Mô hình Hubbert (1956) được sử dụng để dự báo khai thác cho toàn mỏ hoặc vùng khai thác riêng biệt [4]. Mô hình LGM được Tsoularis và Wallace kết hợp tạo thành mô hình LGM tổng quát có dạng:

$$\frac{dN}{dt} = rN^{\alpha} \left[1 - \left(\frac{N}{K} \right)^{\beta} \right]^{\gamma} \quad (1)$$

Trong đó:

N: Dân số

r: Hằng số, $r = n \left(\frac{k}{a} \right)^{\frac{a}{n}}$

α : Số mũ, $\alpha = 1 - \frac{1}{n}$

β : Số mũ, $\beta = 1$

γ : Số mũ, $\gamma = 1 + \frac{1}{n}$

K: Khả năng tăng trưởng

Mô hình được đề xuất sau đây là trường hợp đặc biệt của mô hình LGM tổng quát. Mô hình này rất linh hoạt và có thể thích ứng với nhiều dạng đường cong khác nhau. Với mục đích để dự báo khai thác các giếng dầu và khí, mô hình được hiệu chỉnh có dạng:

$$Q(t) = \frac{K t^n}{a + t^n} \quad (2)$$

Trong đó:

Q: Sản lượng khai thác cộng dồn;

K: Trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (EUR);

a: Hằng số;

n: Hệ số mũ hyperbolic;

t: Thời gian.

Hệ số mũ n hyperbolic kiểm soát độ dốc suy giảm của lưu lượng khai thác theo thời gian sau khi đã được logarit hóa (Hình 1).

Lưu lượng dầu hoặc khí có dạng:

$$q(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{Knat^{n-1}}{(a + t^n)^2} \quad (3)$$

Trong đó, q là lưu lượng khai thác.

2. Các thông số của mô hình LGM

Có 2 hoặc 3 thông số chưa biết trong mô hình LGM và các thông số này được xác định thông qua quá trình tái lập lịch sử khai thác. Đó là:

K : Trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (EUR);

n : Số mũ hyperbolic;

a : Hằng số.

K là thông số quan trọng được xác định dựa trên thuật toán tối ưu sử dụng dữ liệu lịch sử của giếng khai thác, do vậy mô hình LGM có tính thực tế cao hơn so với mô hình ARPS. Sản lượng dầu hoặc khí cộng dồn theo thời gian sẽ tiếp cận trữ lượng có thể thu hồi dầu hoặc khí cho đến cuối đời mỏ. Thông số này cũng là 1 trong 3 thông số có thể xác định trước bằng phương pháp ứng dụng phương trình cân bằng vật chất [5] hoặc khi đã tính toán được trữ lượng tại chỗ (bằng phương pháp thể tích) và hệ số thu hồi. Nếu EUR không biết trước khi khai thác giếng thì sử dụng EUR như một ẩn số. Bài toán trở thành giải phương trình 3 ẩn số sao cho sản lượng dự báo khai thác khớp với lịch sử khai thác.

Hai thông số a và n trong mô hình ảnh hưởng đến trạng thái của mô hình. Để đánh giá sự tác động của các thông số a và n đến hiệu suất của mô hình LGM, các thuật ngữ lưu lượng khai thác và sản lượng khai thác cộng dồn không thứ nguyên đã được đưa ra. Sản lượng khai thác cộng dồn không thứ nguyên là tỷ số giữa sản lượng khai thác cộng dồn và trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (K):

$$Q_D = \frac{Q}{K} \quad (4)$$

Trong đó, Q_D là sản lượng khai thác cộng dồn không thứ nguyên.

Khi sản lượng khai thác cộng dồn đạt đến trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (K), sản lượng khai thác cộng dồn không thứ nguyên sẽ bằng 1. Lưu lượng khai thác không thứ nguyên là tỷ số giữa lưu lượng khai thác hiện tại và lưu lượng khai thác cao nhất hay còn gọi là lưu lượng khai thác ban đầu.

$$q_D = \frac{q}{q_0} \quad (5)$$

Trong đó, q_0 là lưu lượng khai thác không thứ nguyên.

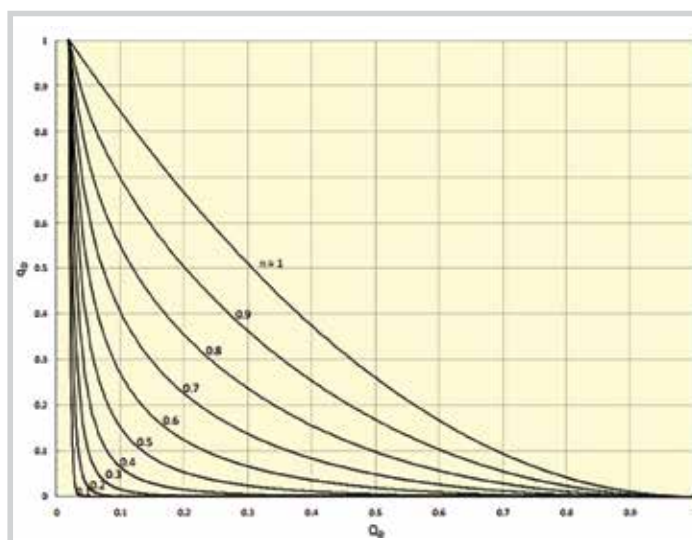
Sử dụng các biến không thứ nguyên, các loại đường cong biểu diễn trạng thái của mô hình được thực hiện. Hình 1 cho thấy lưu lượng khai thác dầu không thứ nguyên và sản lượng khai thác cộng dồn không thứ nguyên ứng với các giá trị " n " khác nhau.

Hình 1 thể hiện trạng thái các đường cong của mô hình với n từ 0 đến 1. Các giá trị " K " và " a " được sử dụng trong ví dụ này là tùy chọn. Giá trị " n " kiểm soát độ dốc suy giảm lưu lượng khai thác. Với n càng nhỏ thì giếng sẽ suy giảm với lưu lượng khai thác cao trong một khoảng thời gian ngắn trước khi ổn định và giảm chậm hơn. Ngược lại với giá trị " n " càng lớn, giếng sẽ suy giảm với lưu lượng khai thác ổn định trong suốt đời mỏ. Khi n vượt quá 1, mô hình sẽ có điểm uốn, trong đó lưu lượng tăng trong một thời gian ngắn trước khi giảm. Điều này không làm cho kết quả dự báo bị sai và trên thực tế có thể được sử dụng để khớp lịch sử cho các giếng có lưu lượng khai thác ban đầu không lớn nhất.

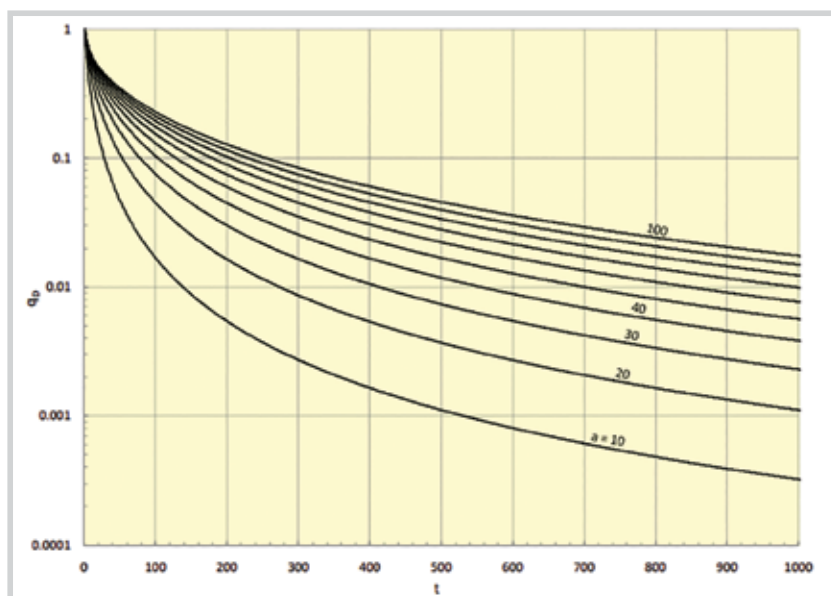
Thông số thứ 3, a là lũy thừa bậc n của t mà tại đó một nửa trữ lượng có thể thu hồi được khai thác. Lưu ý tránh nhầm lẫn với một nửa thời gian cần thiết để sản lượng giếng đạt đến trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng. Phương trình 6 cho thấy tại thời điểm t_n tiến dần đến a , mô hình LGM đạt một nửa trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (K):

$$\lim_{t^n \rightarrow a} \left[\frac{Kt^n}{a + t^n} \right] = \frac{K}{2} \quad (6)$$

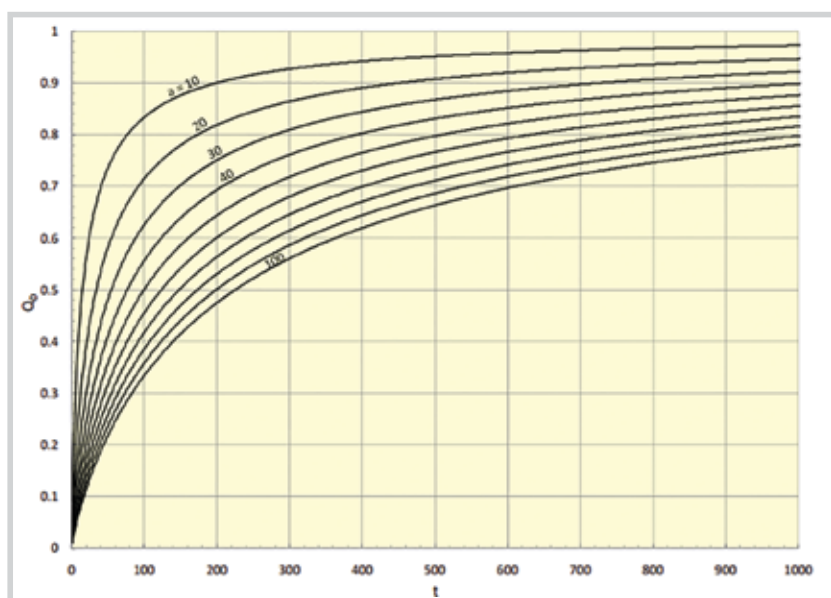
Điều này giúp a hoạt động giống như thông số suy giảm ban đầu D_i trong phương trình của Arps. Giá trị a càng thấp,



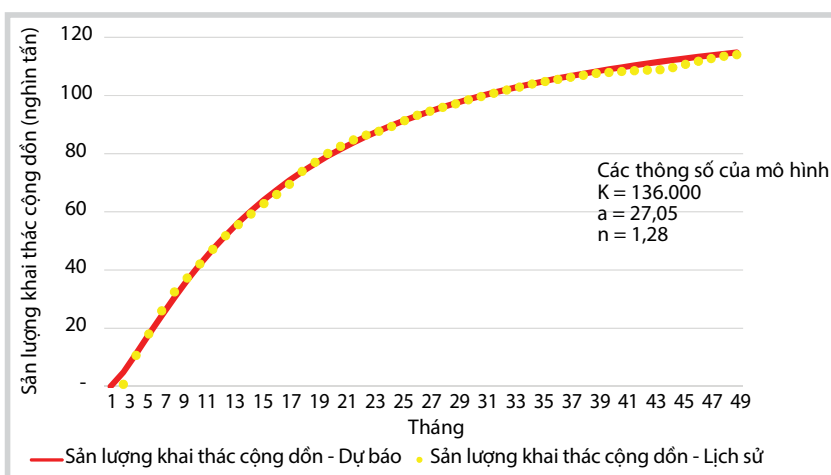
Hình 1. Các loại đường cong không thứ nguyên ứng với các giá trị " n " [6]



Hình 2. Lưu lượng khai thác không thứ nguyên theo thời gian ứng với các giá trị "a" [6]



Hình 3. Sản lượng khai thác cộng dồn không thứ nguyên theo thời gian ứng với các giá trị "a" [6]



Hình 4. Kết quả khớp lịch sử giếng khai thác 0025

lưu lượng khai thác sẽ càng giảm nhanh trước khi ổn định. Ngược lại, giá trị "a" càng cao, lưu lượng khai thác càng ổn định trong suốt đời giếng. Nói cách khác, nếu giá trị "a" thấp, giếng sẽ khai thác với lưu lượng lớn và nhanh chóng thu hồi một nửa lượng dầu hoặc khí, sau đó giảm mạnh và khai thác ổn định phần trữ lượng còn lại ở lưu lượng thấp trong một khoảng thời gian dài. Hình 2 và 3 cho thấy lưu lượng khai thác không thứ nguyên so với thời gian và sản lượng khai thác cộng dồn so với thời gian tương ứng sự thay đổi của thông số a.

Các giá trị a trong Hình 4 và 5 thay đổi từ 10 đến 100 trong khi giá trị K và n được sử dụng tùy ý. Với giá trị a thấp sự suy giảm ban đầu rất mạnh trước khi ổn định trở lại. Ngược lại, giá trị a càng cao thì sự suy giảm sẽ ổn định trong suốt đời giếng.

3. Phương pháp xác định

Một chương trình được viết trên giao diện Matlab sử dụng thuật toán tối ưu để tự động hóa quá trình tái lập lịch sử khai thác và thu được các thông số K, a, n của mô hình LGM. Nếu K biết trước thì có thể tìm được 2 ẩn còn lại thông qua quá trình tái lập lịch sử; nếu K chưa biết thì cả 3 thông số này có thể dự báo được bằng phương pháp trên để tìm ra nghiệm tối ưu cho phương trình LGM. Với các giá trị "K", "a", "n" tìm được từ việc tái lập lịch sử khai thác, kết quả đảm bảo độ tin cậy sẽ được sử dụng tiến hành dự báo khai thác. Hình 4 là ví dụ kết quả khớp lịch sử khai thác giếng 0025.

4. Ứng dụng mô hình LGM để dự báo khai thác cho tầng Miocene dưới, mỏ Bạch Hổ

4.1. Xử lý dữ liệu khai thác tầng Miocene dưới

Tầng Miocene dưới khai thác trong khoảng thời gian từ tháng 5/1988 đến tháng 9/2016 (361 tháng) gồm 79

giếng. Hình 5 là sản lượng khai thác cộng dồn của tầng Miocene dưới theo thời gian và được chia thành các giai đoạn. Tập dữ liệu I từ tháng 5/1988 đến tháng 9/2016 (340 tháng) là tập dữ liệu được sử dụng để tái lập lịch sử thông qua mô hình LGM. Sau khi thu được kết quả tái lập lịch sử khai thác tối ưu và các thông số của mô hình, tập dữ liệu II được sử dụng để dự báo khai thác từ tháng 10/2016 đến tháng 9/2018 (24 tháng).

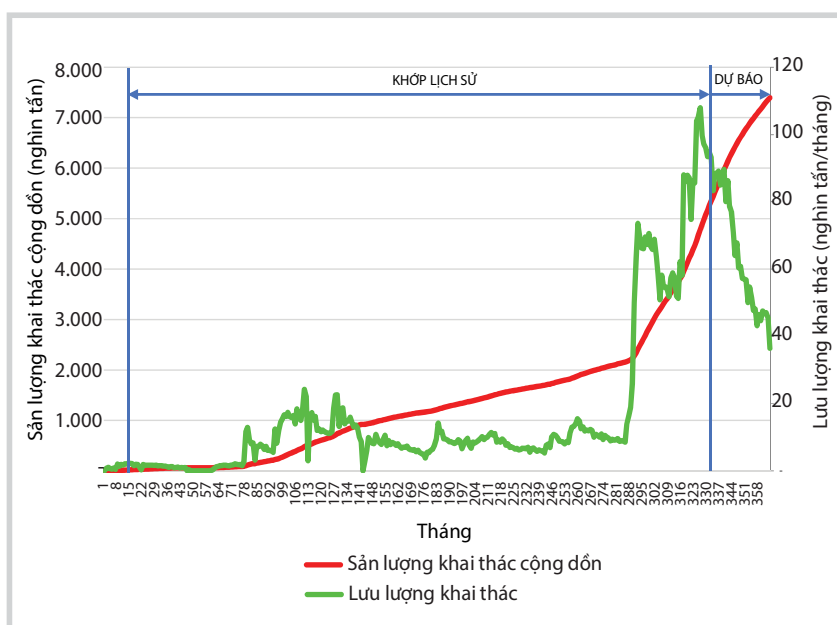
Kết quả tái lập lịch sử từ mô hình LGM cho thấy có 8 giếng lịch sử khai thác bất thường do thay đổi điều kiện vận hành giếng như mở thêm vỉa sản phẩm, đóng giếng, xử lý vùng cận đáy giếng... dẫn đến kết quả tái lập lịch sử gặp khó khăn và đưa ra các kết quả có độ tin cậy thấp (Hình 6). Vì vậy, các kết quả khớp lịch sử 8 giếng này bị loại bỏ. Kết quả tái lập lịch sử cho 71 giếng khai thác còn lại sử dụng mô hình LGM được trình bày chi tiết trong mục 4.2.

Từ Hình 6, kết quả khớp lịch sử không tốt và sản lượng tại tháng thứ 29 bắt đầu tăng đột biến do tháng 8/2015 giếng này có hoạt động sửa chữa giếng gây ra kết quả khớp lịch sử cũng như dự báo khai thác của giếng này không tốt.

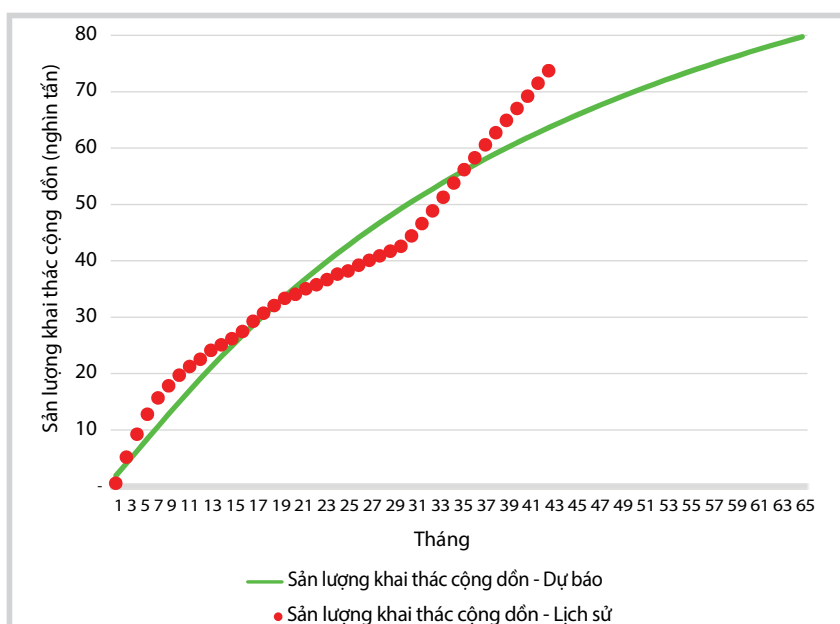
4.2. Kết quả và thảo luận

Phương pháp phân tích thống kê được sử dụng để tính toán hiệu suất khớp lịch sử và dự báo khai thác được tóm tắt trong Bảng 1.

Bảng 1 cho thấy tổng sản lượng khai thác cộng dồn cho 71 giếng được tính toán bởi mô hình LGM phù hợp với dữ liệu khai thác thực tế. Sai số tuyệt đối tổng sản lượng cộng dồn và sai số tuyệt đối trung bình giữa mô hình dự báo và dữ liệu thực tế lần lượt là 10.261; 42.434 tấn. Sai số tương đối trung bình giữa mô hình dự báo và dữ liệu khai thác thực tế là 0,6%. Hơn nữa, số giếng khai thác có sai số tuyệt đối trên 5% là



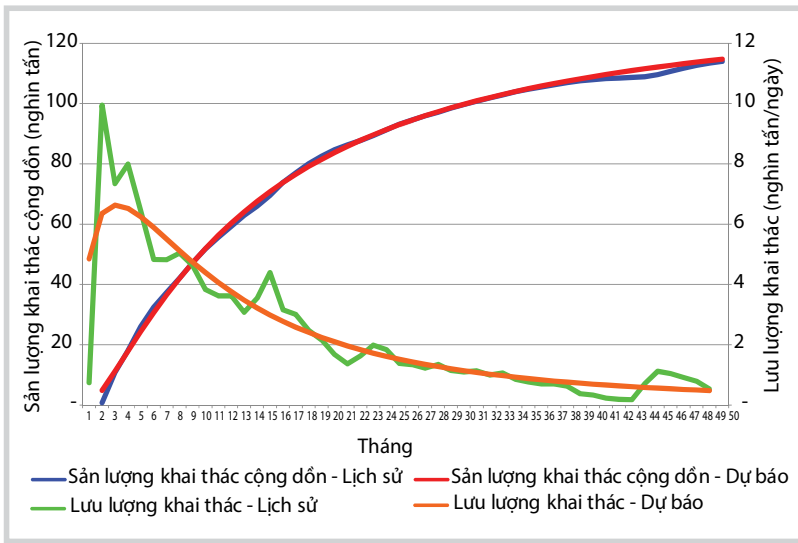
Hình 5. Sản lượng khai thác cộng dồn của tầng Miocene dưới từ tháng 5/1988 đến tháng 9/2016



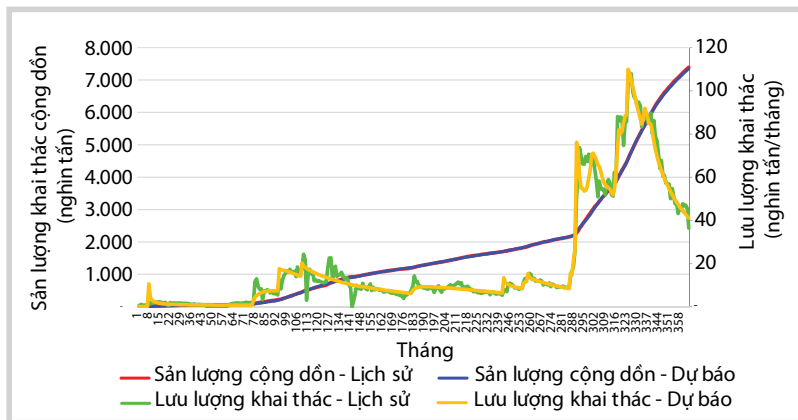
Hình 6. Kết quả khớp lịch sử và dự báo sản lượng khai thác cộng dồn của giếng khai thác 456

Bảng 1. Bảng thống kê đánh giá sai số của mô hình LGM

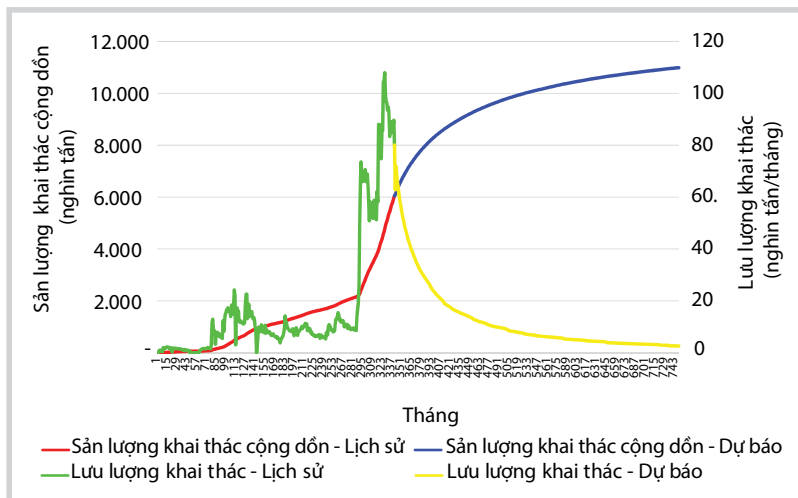
	Thực tế	LGM	Giếng khai thác
Tổng sản lượng cộng dồn (tấn)	7.393.864	7.344.711	
Sai số tuyệt đối tổng sản lượng cộng dồn		10.261	
Sai số tuyệt đối trung bình		42.434	
Sai số tương đối trung bình		0,6%	
Số giếng có sai số tương đối < 5%			52
Số giếng có sai số tương đối > 5%			19
Số giếng bị loại bỏ			8
Tổng EUR trong 34 năm (tấn)		10.988.793	



Hình 7. Kết quả tái lập lịch sử và dự báo sản lượng khai thác cộng dồn của giếng khai thác 0025



Hình 8. Kết quả hợp lịch sử và dự báo sản lượng khai thác cộng dồn của tầng Miocene dưới



Hình 9. Kết quả dự báo khai thác tầng Miocene dưới trong 34 năm

Bảng 2. Bảng thống kê đánh giá các thông số của mô hình LGM

Thông số	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Nhỏ nhất	Lớn nhất
K	235.110	212.410	824	800.000
a	105	135	10	850
n	1,16	0,4	0,48	2,9

19 giếng còn số giếng khai thác có sai số tuyệt đối dưới 5% là 52 giếng. Kết quả này cho thấy các sai số của từng giếng khai thác và của tầng Miocene dưới rất thấp (nằm trong giới hạn cho phép). Mô hình có thể sử dụng như công cụ quản lý khai thác hiệu quả và thực tế.

Kết quả tái lập lịch sử và dự báo sản lượng khai thác (từ tháng thứ 26 đến tháng 49) của giếng khai thác 0025 và tầng Miocene dưới được biểu diễn trên Hình 7 và 8.

Qua quá trình tái lập lịch sử khai thác kết quả cho độ tin cậy cao và nhóm tác giả sử dụng mô hình LGM để dự báo sản lượng khai thác đến cuối đời mỏ trong 34 năm (408 tháng) từ tháng 9/2016 đến 9/2050 với trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (EUR) là khoảng 11 triệu tấn (Hình 9).

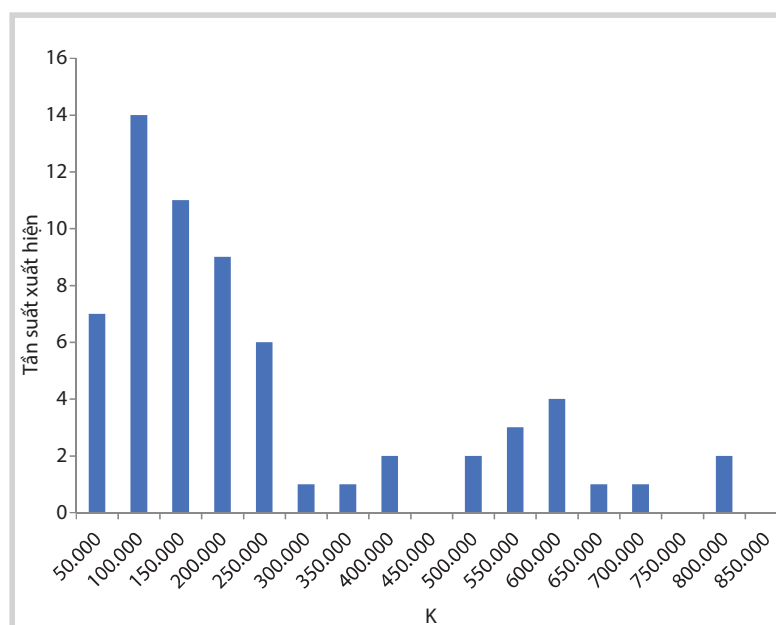
4.3. Phân tích thống kê các thông số của mô hình LGM

Các thông số K, a, n sẽ được phân tích thống kê để xác định giá trị nào quan trọng khi sử dụng mô hình LGM để dự báo khai thác. Phân tích thống kê các kết quả trong Bảng 2.

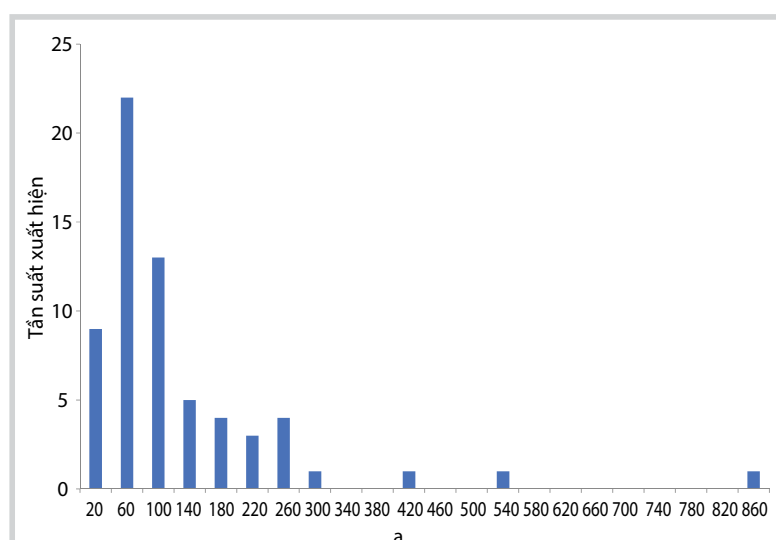
Thông số đầu tiên là trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng (K). Sự phân bố của thông số K được biểu diễn trong Hình 10. Các giá trị "K" thu được gần với giá trị trung bình, trong khi các giếng có sản lượng cao ít có khả năng xảy ra hơn. Bảng 2 cho thấy K trung bình khoảng 235 nghìn tấn với độ lệch chuẩn là 212 nghìn tấn. Giá trị "K" nhỏ nhất 824 trong khi giá trị lớn nhất là 800 nghìn tấn. Điều này cho thấy khoảng giới hạn trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng là rất lớn.

Giá trị a đóng vai trò giống hệ số suy giảm D_i của phương trình Arps. Giá trị a trung bình là 105 tháng với độ lệch chuẩn là 135 tháng. Giá trị a nhỏ nhất trong khoảng 10 và lớn nhất là khoảng 850 (Hình 11).

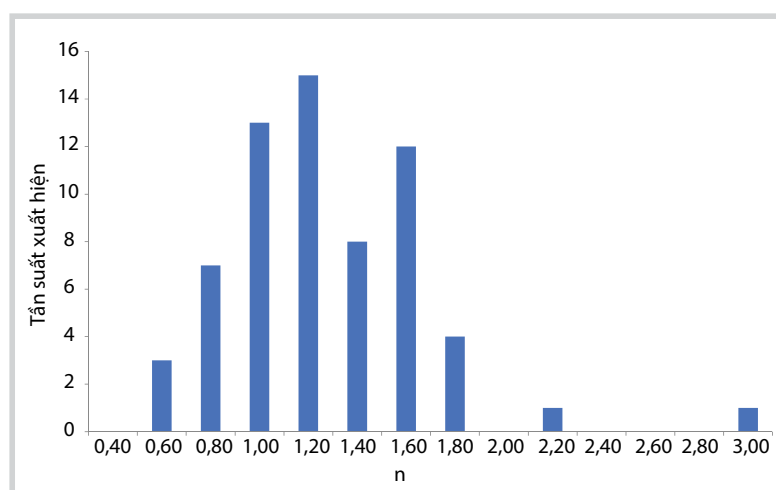
Khi t^n đạt tới giá trị tới hạn a, tổng sản lượng khai thác thu hồi cuối cùng từ mô hình LGM đạt một nửa trữ lượng có thể



Hình 10. Biểu đồ tần suất của giá trị K



Hình 11. Biểu đồ tần suất của giá trị a



Hình 12. Biểu đồ tần suất của giá trị n

thu hồi cuối cùng (K) trong 105 tháng. Nói cách khác, nếu tầng Miocene dưới được kỳ vọng sẽ khai thác trong 34 năm (khoảng 408 tháng) thì một nửa trữ lượng dầu sẽ được thu hồi trong 9 năm đầu, trong khi số dầu còn lại sẽ được thu hồi trong 25 năm tiếp theo.

Thông số cuối cùng là số mũ hyperbolic n . Giá trị n xác định mức độ suy giảm đường cong của mô hình. Trong trường hợp này, có thể thấy trong Hình 12, sự phân bố đồng đều không giống như 2 thông số trên. Giá trị n trung bình đạt 1,16 với độ lệch chuẩn 0,4. Giá trị n nhỏ nhất đạt 0,48 trong khi lớn nhất là 2,9. Khoảng giá trị n nhỏ hơn so với 2 giá trị thu được từ 2 thông số trên. Điều này cho thấy giá trị n sẽ có nhiều khả năng rất gần với giá trị trung bình 1,16 ở tầng Miocene dưới hay nói cách khác thông số n có độ tin cậy cao. Cần lưu ý rằng mặc dù điểm uốn giá trị khi giá trị $n > 1$, mô hình vẫn có thể khớp lịch sử khai thác tốt. Hình 12 biểu đồ của phân bố giá trị n .

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu của Viện Dầu khí Việt Nam đã phát triển thành công một mô hình mới sử dụng thuật toán tối ưu ứng dụng trong dự báo khai thác cho các giếng dầu khí. Kết quả mô hình LGM sử dụng khái niệm trữ lượng có thể thu hồi (K) để dự báo tổng sản lượng dầu cộng dồn trên toàn bộ dữ liệu lịch sử khai thác của giếng và mô cho thấy mức độ tin cậy cao và mang tính khách quan hơn mô hình dự báo truyền thống sử dụng phương trình Aprs. Kết quả dự báo 71 giếng khai thác đối tượng Miocene dưới mỏ Bạch Hổ cho thấy sai số tương đối trung bình giữa mô hình LGM và dữ liệu khai thác thực tế là 0,6%. Bên cạnh đó, mô hình LGM còn dự báo được trữ lượng có thể thu hồi cuối cùng của từng giếng và tầng Miocene dưới khoảng 11 triệu tấn. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình LGM đã cải thiện khả năng dự báo với độ tin cậy cao.

Tài liệu tham khảo

1. Verhulst, Pierre-François. *Notice sur la loi que la population poursuit dans son*

accroissement. Correspondance Mathématique et Physique. 1838; 10: p. 113 - 121.

2. Thomas Robert Malthus. *An essay on the principle of population: or, A view of its past and present effects on human happiness; with an inquiry into our prospects respecting the future removal or mitigation of the evils which it occasions*. 1872.

3. A.Tsoularis, J.Wallace. *Analysis of logistic growth models. Mathematical Biosciences*. 2002; 179(1): p. 21 - 55.

4. M.King Hubbert. *Nuclear energy and the fossil fuel*. Drilling and Production Practice, New York. 1956.

5. Michael J.Economides, A.Daniel Hill, Christine Ehlig - Economides, Ding Zhu. *Petroleum production systems (2nd edition)*. 2012.

6. Aaron James Clark, Larry Wayne Lake, Tadeusz Wiktor Patzek. *Production forecasting with Logistic Growth Models*. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA. 30 October - 2 November 2011.

RESEARCH ON APPLIED LOGISTIC GROWTH MODEL TO FORECAST PRODUCTION FOR LOWER MIOCENE, BACH HO FIELD

**Tran Dang Tu, Dinh Duc Huy, Tran Xuan Quy, Pham Truong Giang, Le Vu Quan
Le The Hung, Le Quoc Trung, Tran Nguyen Long**

Vietnam Petroleum Institute

Email: tutd@vpi.pvn.vn

Summary

The paper presents the research on application of the logistic growth model to forecast production for the Lower Miocene in Bach Ho field by obtaining a set of decline curve parameters through fitting with production data using optimisation algorithms. The average relative error of the LGM model is 0.6%. The research results show that the logistic growth model has improved the ability to predict production with high reliability.

Key words: Logistic growth model, oil production forecasting, estimated ultimate recovery, Lower Miocene, Bach Ho field.