

Xác định thông số vỉa dầu theo lịch sử khai thác trên cơ sở Phương pháp Gauss-Newton sửa đổi

Đặng Thế Ba*

*Khoa Cơ kỹ thuật và Tự động hoá, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội
144 Xuân Thuỷ, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 04 tháng 05 năm 2006

Tóm tắt. Bài báo trình bày việc áp dụng phương pháp giải lặp Gauss-Newton sửa đổi cho hệ phương trình phi tuyến để xác định thông số mô hình mô phỏng của các vỉa dầu theo lịch sử khai thác (phục hồi lịch sử). Phục hồi lịch sử ở đây vẫn dựa trên các bước cơ bản của phương pháp bình phương tối thiểu (cực tiểu hoá tổng bình phương sai số giữa lịch sử khai thác và kết quả mô phỏng). Các thông số vỉa như độ rỗng, độ thấm hay bất kỳ thông số mô hình mô phỏng vỉa dầu cần phải xác định đều có thể coi là các tham biến để cực tiểu hoá hàm tổng bình phương sai số và bất kỳ số liệu thực tế nào cũng có thể sử dụng để đưa vào đánh giá bình phương sai số. Một số kỹ thuật cũng đã được sử dụng để đảm bảo tính hội tụ và giảm thời gian tính khi bài toán lớn và phi tuyến.

Trong các tính toán, chương trình mô phỏng vỉa là chương trình IMEX của CMG, Canada. Một số ví dụ áp dụng cũng đã được thực hiện và trình bày. Các kết quả cũng đã được so sánh, đánh giá và cho thấy quá trình hội tụ là tương đối tốt và đảm bảo độ chính xác. Tuy nhiên thời gian tính tăng nhanh khi kích thước cũng như tính bất đồng nhất của vỉa tăng.

1. Mở đầu

Xác định các thông số cho các mô hình mô phỏng là bài toán cần thiết và có ý nghĩa quan trọng không những trong công nghệ mô phỏng các vỉa dầu mà còn có thể áp dụng cho nhiều vấn đề khác – vấn đề xác định thông số cho các mô hình mô phỏng nói chung.

Việc xác định thông số mô hình vỉa theo lịch sử khai thác là công đoạn quan trọng để xây dựng mô hình số phù hợp mô phỏng hoạt động, tính toán khai thác hiệu quả các vỉa dầu.

Công việc này yêu cầu một quá trình thay đổi, tính thử theo các thông số vỉa giả định và đánh giá sai số giữa kết quả tính toán bằng mô hình và số liệu quan sát thực tế. Quá trình này được thực hiện liên tục cho đến khi nhận được sự phù hợp cần thiết giữa kết quả tính và số liệu khai thác thực tế và hiện nay chủ yếu làm bằng thủ công, tốn nhiều thời gian, độ tin cậy chưa cao vì vậy gây không ít khó khăn trong việc đề xuất kế hoạch khai thác các vỉa dầu, đặc biệt là các vỉa có cấu trúc phức tạp, các vỉa lớn, hoặc mô có nhiều vỉa phân tán [1,2].

Nhiều phương pháp xác định thông số mô hình vỉa bằng các chương trình - Tự động phục hồi lịch sử đã được phát triển [3,4,5]. Trong đó

* ĐT: 84-4-7549667

E-mail: badt@vnu.edu.vn

các phương pháp áp dụng lý thuyết điều khiển tối ưu tỏ ra hiệu quả và được sử dụng nhiều hơn cả. Tuy nhiên một số phương pháp đòi hỏi nhiều kỹ thuật phức tạp, và thường yêu cầu phát triển riêng chương trình tính toán mô phỏng via phù hợp (hoặc phải có chương trình nguồn để thay đổi); khối lượng tính toán lớn, hiệu quả chưa cao [6,7]. Áp dụng phương pháp lặp Gauss-Newton cho hệ phương trình phi tuyến có ưu điểm là đơn giản, cho phép sử dụng các phần mềm mô phỏng via có sẵn (như là một hàm ẩn), vấn đề là điều khiển được các file dữ liệu vào và file kết quả ra của chương trình mô phỏng [8]. Mặc dù vậy, khi sử dụng trực tiếp phương pháp lặp Gauss-Newton thường gặp phải vấn đề hội tụ khi hệ phương trình là phi tuyến mạnh, vì vậy áp dụng cho thực tế còn khó khăn [8,9]. Trong bài báo này, phương pháp lặp Gauss-Newton sửa đổi được sử dụng để giải hệ các phương trình phi tuyến thu nhận được khi cực tiểu hoá hàm sai số đảm bảo tính hội tụ cho các bài toán phi tuyến mạnh, đặc biệt là các via lớn, tính bất đồng nhất cao. Giảm tối đa yêu cầu mô phỏng, tiết kiệm thời gian tính toán. Ngoài ra một số kỹ thuật cũng đã được áp dụng để quá trình lặp vượt qua các điểm dừng hoặc các cực tiểu địa phương.

Trên cơ sở phương pháp và thuật toán đã phát triển, chương trình tính toán xác định một số loại thông số via cơ bản như độ thấm, độ rỗng...cũng đã được tạo lập. Chương trình có thể sử dụng trực tiếp khi dùng chương trình mô phỏng via RESSIM (Viện Cơ học) hoặc IMEX (CMG, Canada, đang sử dụng rộng rãi ở các Công ty dầu khí trên Thế giới và Việt nam) hoặc với những sửa đổi nhỏ khi dùng với một phần mềm mô phỏng via khác. Chương trình đã sử dụng để xác định thông số cho một số mô hình via ví dụ. Các kết quả cho thấy tất các bài toán đều hội tụ và cho kết quả nghiệm với độ chính xác khá cao và hoàn toàn có thể đưa vào

áp dụng cho tính toán thực tế via hiện có của Việt Nam.

2. Xác định thông số mô hình via dầu-khí qua số liệu khai thác

2.1. Mô hình mô phỏng via dầu-khí

Trong tính toán khai thác các via dầu khí hay nước ngầm, công cụ hữu hiệu đã được phát triển và sử dụng rộng rãi để tính toán các phương án khai thác là các chương trình, phần mềm tính toán mô phỏng via. Trong các chương trình, phần mềm này, mô hình sử dụng hiệu quả nhất hiện nay là mô hình dòng chảy ba pha (dầu-khí-nước; kí hiệu với chỉ số o , w , g) trong môi trường rỗng (Black Oil Model) [10,11]. Các phương trình mô tả chuyển động của dòng chảy ba pha trong via viết ở dạng:

$$\nabla \cdot \left[\frac{kk_{ro}}{\mu_o B_o} (\nabla p_o - \rho_o g \nabla D) \right] - q_o = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi S_o}{B_o} \right) \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \left[\frac{kk_{rw}}{\mu_w B_w} (\nabla p_w - \rho_w g \nabla D) \right] - q_w = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi S_w}{B_w} \right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \nabla \cdot \left[\frac{kk_{rg}}{\mu_g B_g} (\nabla p_g - \rho_g g \nabla D) \right] + \\ & \nabla \cdot \left[\frac{kk_{ro} R_s}{\mu_o B_o} (\nabla p_o - \rho_o g \nabla D) \right] - q_g - R_s q_o = \\ & \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(\frac{S_g}{B_g} + \frac{R_s S_o}{B_o} \right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó các thông số của mô hình gồm các thông số đặc trưng cho tính chất hình học và vật lý của môi trường cũng như của các chất lỏng như: độ rỗng (ϕ), độ thấm (k), độ giãn nở thể tích (B), độ nhớt (μ), mật độ (ρ), độ thấm tương đối (k_r), ..., q là lưu lượng tại các giếng. Các tham biến của mô hình là áp suất (P), độ bão hoà của các pha (S).

Ngoài ra để đóng kín hệ phương trình, còn cần thêm các biểu thức đóng kín, các điều kiện ban đầu và điều kiện biên [10,11].

Các phương trình (1)-(3) cùng với các biểu thức đóng kín được giải bằng phương pháp số để thu nhận các phân bố theo thời gian của các tham biến trạng thái chính của vỉa như áp suất, độ bão hoà pha...trong quá trình khai thác. Trong bài báo này chương trình mô phỏng sử dụng là chương trình imex (cmg-canada), phương pháp giải là phương pháp sai phân hữu hạn. Mặc dù vẫn tồn tại những khó khăn nhất định, các chương trình mô phỏng vỉa đã được phát triển và sử dụng rất thành công trong công tác tính toán các phương án khai thác các vỉa dầu khí, nước ngầm trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Tuy nhiên độ chính xác của các kết quả tính bằng mô hình phụ thuộc vào tính chính xác của các thông số mô hình vỉa và hiện nay, khó khăn lớn nhất trong kỹ thuật vỉa vẫn là xác định các thông số mô hình, công việc tốn rất nhiều thời gian, công sức.

2.2. Xác định thông số vỉa qua số liệu khai thác

Khi một mô hình mô phỏng vỉa đã được xây dựng, bài toán tính toán dự báo các phương án khai thác là có thể được giải quyết, vấn đề còn lại trong quản lý khai thác là chọn phương án trên cơ sở các tính toán dự báo. Bài toán quản lý này có thể giải quyết trên cơ sở ghép nối bài toán mô phỏng vỉa với bài toán điều khiển tối ưu.

Khó khăn đầu tiên khi áp dụng phương pháp sử dụng công cụ mô phỏng vào thực tế là các thông số cho mô hình mô phỏng phải được xác định phù hợp, sao cho các kết quả mô phỏng mô tả đúng các quan sát thực tế. Một mô hình mô phỏng vỉa đúng phải thoả mãn hai điều kiện sau:

- Công cụ mô phỏng phải cho phép lập mô hình mô tả đúng với thực tế quan sát vỉa.

- Các thông số của mô hình phải được xác định đúng với các thông số vỉa thực tế.

Trong thực tế, việc xác định chính xác các thông số cho các mô hình cho toàn bộ vỉa là hết sức khó khăn. Tuy nhiên, một may mắn khác là các biến trạng thái (áp suất, độ bão hoà,...) có thể xác định một cách dễ dàng tại các giếng (khai thác hoặc bơm ép) trong quá trình khai thác vỉa (lịch sử khai thác). Từ đó, với yêu cầu một mô hình đúng phải cho kết quả đúng với các giá trị của các biến trạng thái quan sát khi các thông số vỉa được chọn đúng và ngược lại, chúng ta có thể sử dụng các giá trị quan sát của các biến trạng thái để xác định các thông số vỉa thông qua các mô hình mô phỏng vỉa (phục hồi lịch sử).

3. Phương pháp lặp Newton cho hệ phương trình phi tuyến áp dụng cho bài toán xác định thông số vỉa

3.1. Áp dụng phương pháp điều khiển tối ưu cho bài toán xác định thông số vỉa

Trong thực tế mô phỏng vỉa, các tham biến như áp suất tại giếng, tỷ số dầu-nước, tỷ số khí-dầu thường được sử dụng để xác định, hiệu chỉnh các thông số mô hình vỉa. Trong quá trình xác định, hiệu chỉnh các thông số vỉa, một số thông số và tính chất chất lỏng coi như đã biết, một số thông số khác cần phải xác định. Tập các thông số cần phải xác định, hiệu chỉnh ký hiệu là $X(X_1, X_2, \dots, X_N)$. Mục đích đặt ra trong bài báo này là xác định tập các thông số X sao cho sai số bình phương giữa kết quả tính toán từ mô hình và các giá trị quan sát thực tế của các tham biến là bé nhất. Ví dụ, nếu có bộ dữ liệu quan sát là áp suất tại các giếng P_k^{obs} , khi đó hàm mục tiêu sẽ là [3,8,9,12]:

$$E(X_1, X_2, \dots, X_n) = \sum_{k=1}^m w_k^2 (P_k^{obs} - P_k^{cal}(X_1, X_2, \dots, X_n))^2 \quad (4)$$

Trong đó : w_k là trọng số ; P_k^{obs} là giá trị áp suất quan sát, P_k^{cal} là giá trị áp suất tính toán bằng các chương trình mô phỏng via, m là số điểm quan sát.

Các thông số cần xác định $X(X_1, X_2, \dots, X_N)$ thông thường là độ rỗng, độ thấm của các vùng khác nhau trong vỉa, mỗi vùng có thể một hay nhiều ô lưới. Dựa trên các hiểu biết về vỉa thông qua các kỹ thuật vỉa, chúng ta có thể có được các ràng buộc cho miền giá trị của các thông số :

$$X_i^L \leq X_i \leq X_i^U, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

Trong đó X_i^L và X_i^U là các giới hạn miền giá trị của các tham số thương ứng.

Như vậy, bài toán xác định thông số vỉa sử dụng các chương trình mô phỏng vỉa được phát biểu dưới dạng bài toán tối ưu như sau: Xác định tập các giá trị $X(X_1, X_2, \dots, X_N)$ với các ràng buộc (5) để hàm sai số (4), $E(X_1, X_2, \dots, X_N)$ đạt giá trị cực tiểu.

3.2. Phương pháp Gauss-Newton sửa đổi cho hệ phương trình phi tuyến

Để cực hoá (4) ta có phương trình

$$\frac{\partial E(X^0 + \delta X)}{\partial X_i} = 2 \sum_{k=1}^m \left[F^k(X^0 + \delta X) \frac{\partial F^k(X^0)}{\partial X_i} \right] = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

Trong đó X^0 là giá trị giả định ban đầu của tập thông số, δX là số giả phải tìm để hàm E đạt cực tiểu tại $X + \delta X$.

Sử dụng khai triển Taylor đến đạo hàm bậc nhất cho hàm $F(X)$ trong phương trình (6);

$$F(X^0 + \delta X) = F(X^0) + \sum_{j=1}^n \delta X_j \frac{\partial F(X^0)}{\partial X_j} \quad (7)$$

Thay phương trình (7) vào (6), nhận được

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M \frac{\partial F^k}{\partial X_i} \frac{\partial F^k}{\partial X_j} \delta X_j = - \sum_{k=1}^M F^k(X^0) \frac{\partial F^k}{\partial X_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

Đây là hệ phương trình dạng cổ điển của phương pháp Gauss-Newton cho bài toán bình phương tối thiểu. Trong đó, các đạo hàm riêng của hàm ẩn $F(X)$ tính được bằng cách tính toán mô phỏng với một thay đổi của một thông số X_i trong khi giữ nguyên các thông số khác. Đối với bài toán xác định thông số vỉa, phương trình (8) là phi tuyến vì vậy các phương pháp lặp phải được áp dụng và luôn gặp phải vấn đề hội tụ. Để giải quyết vấn đề hội tụ, đã có một số kỹ thuật dò tìm được áp dụng như dò tìm theo hướng (hướng gradient của hàm hoặc hướng của bước lặp Newton), hay xấp xỉ đa thức [3,9,13] để đảm bảo giá trị hàm mục tiêu giảm sau mỗi bước lặp. Tuy nhiên khi áp dụng cho các bài toán thực tế, các kỹ thuật này cũng không mấy hiệu quả vì yêu cầu chạy nhiều mô phỏng xuôi, quá trình lặp hay bị dừng ở cực tiểu địa phương hay các điểm yên ngựa.

Trong chương trình tính của bài báo này chúng tôi đã áp dụng, phát triển và kiểm tra một kỹ thuật đơn giản và hiệu quả hơn, tóm tắt như sau:

Giả sử sau mỗi lần giải lặp Gauss-Newton từ (8), chúng ta có được giá trị $X^{n+1} = X^n + \delta X^n$. giá trị hàm E sau đó được kiểm tra tại X^{n+1} , nếu $E(X^{n+1}) < E(X^n)$ thì bước lặp gọi là thành công và tiếp tục các bước lặp tiếp theo. Nếu $E(X^{n+1}) \geq E(X^n)$ bước lặp Gauss-Newton gọi là không thành công, khi đó quá trình dò tìm theo các hướng khác nhau được áp dụng [Sun Ne-Zheng, 1994]: Hướng quyết định để dò tìm sẽ là

$$d_n = \begin{cases} \delta X^n \text{ nếu } g_n \cdot \delta X^n < 0 \\ -g_n \text{ nếu } g_n \cdot \delta X^n \geq 0 \end{cases} \quad (9)$$

Biểu thức (9) có nghĩa là nếu δX ngược hướng với gradient của hàm mục tiêu, khi đó hướng cần tìm d_n là hướng của δX , ngược lại thì

hướng cần dò tìm là hướng ngược với gradient của hàm mục tiêu, $-g_n$. Khi đó, phương trình lập (8) thay đổi và viết lại ở dạng

$$\sum_{j=1}^N \left(\sum_{k=1}^M \frac{\partial F^k}{\partial X_j} \frac{\partial F^k}{\partial X_j} + \lambda \delta_{ij} \right) \delta X_j = - \sum_{k=1}^M F^k(X^0) \frac{\partial F^k}{\partial X_i}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (10)$$

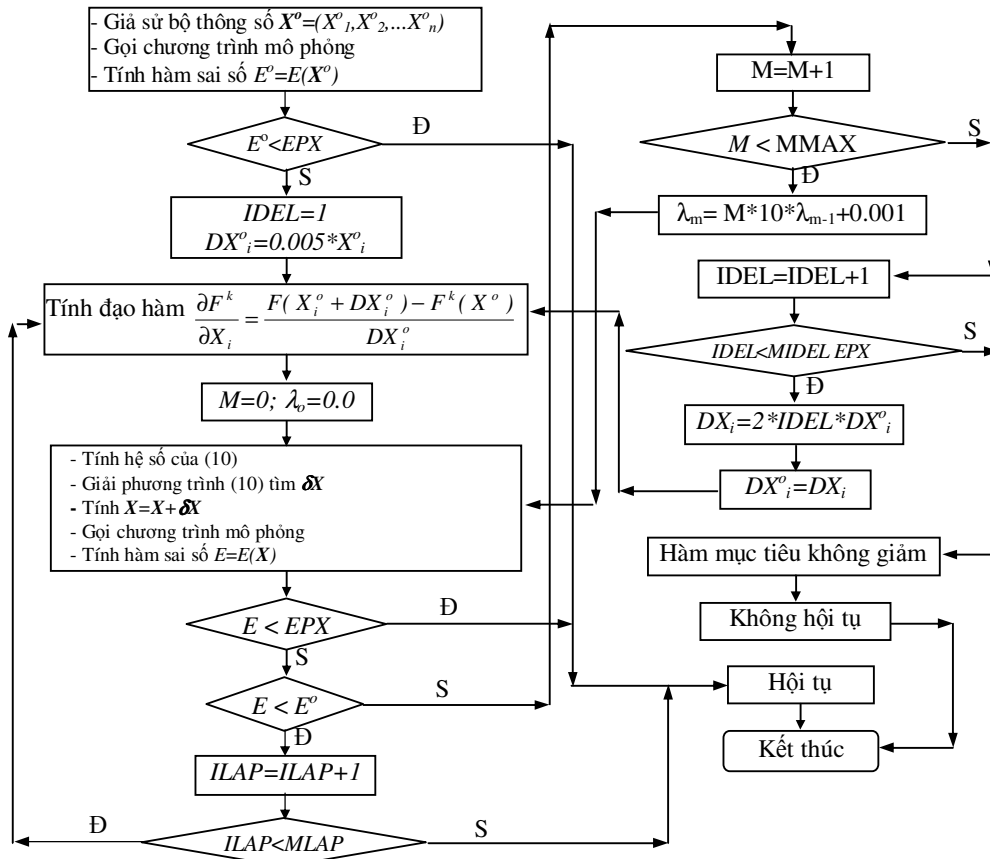
trong đó $I=\{\delta_{ij}\}$ là ma trận đơn vị, λ là hệ số. Khi $\lambda=0$, (10) trở thành phương trình lập Gauss-Newton (9) và hướng dò tìm là hướng của δX^n , khi λ lớn đến vô cùng, δX^n tiến đến 0, và hướng dò tìm trùng với hướng của $-g_n$. Như vậy sau mỗi bước lặp ta luôn có thể tìm được $X^{n+1} = X^n + \delta X^n$ sao cho $E(X^{n+1}) < E(X^n)$ với δX^n xác định từ (10) bằng việc tăng dần giá trị của λ . Trong bài báo này giá trị λ tính theo biểu thức:

$$\lambda_m = m * 10 * \lambda_{m-1} + 0.001 \quad (11)$$

Trong đó $\lambda_0=0.0$; $m=1,2,\dots,M_{MAX}$ là số lần tăng λ cần thiết để để điều chỉnh hướng cho đến khi nhận được điều kiện giảm của hàm mục tiêu trong mỗi bước lặp Gauss-Newton.

Để thoát khỏi các điểm dừng hoặc cực tiểu địa phương, cách gây nhiễu được thực hiện bằng cách tăng lần lượt số gia của các thông số khi tính đạo hàm riêng số của hàm mục tiêu trong (10).

Tên cơ sở phương pháp và các kỹ thuật đã trình bày ở trên, chương trình tính đã được viết bằng ngôn ngữ FORTRAN. Thuật toán chính của chương trình, trình bày trên Hình 1. Chương trình sau đó đã chạy thử, kiểm tra và tính toán cho một số ví dụ áp dụng.



Hình 1. Sơ đồ khối chương trình xác định thông số via.

4. Các ví dụ tính toán áp dụng

4.1. Xác định thông số mô hình vỉa của bài toán SPE1

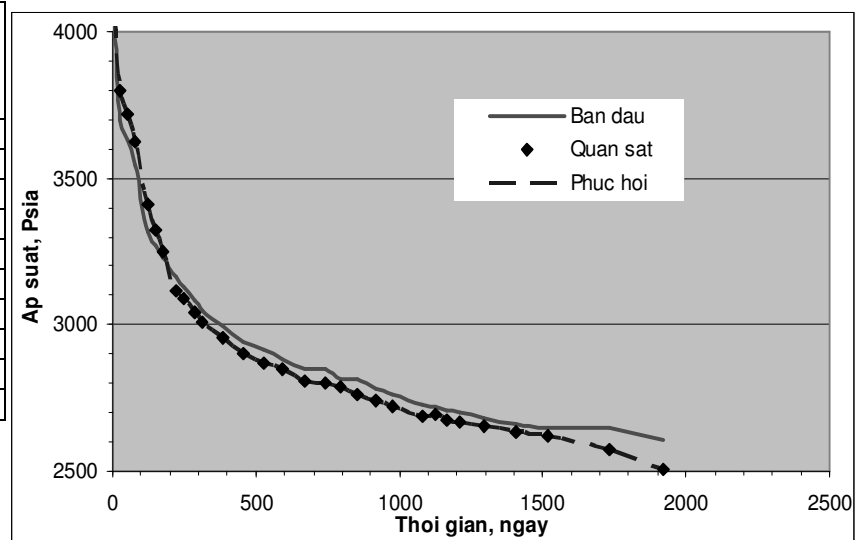
Trong bài toán này, mô hình vỉa đề xuất bởi Aziz, S.O. [14] và được SPE (Society of Petroleum Engineers) sử dụng như một trong những bài toán mẫu (SPE1) để kiểm tra và chuẩn hoá các chương trình mô phỏng vỉa trước khi công bố và đưa vào áp dụng thực tế. Bài toán này thuộc loại bài toán dòng chảy 3 pha, 3 chiều, bơm ép khí 5 điểm. Trong đó pha nước tồn tại dạng nước liên kết và không chuyển động ($S_w=0.12$, $S_{oi}=0.88$, $S_{gi}=0.0$). Vỉa có kích thước 3048x3048x30mm. Quá trình hoạt động của vỉa đã được mô phỏng đầy đủ bằng IMEX với mô hình vỉa gồm 10x10x3 ô lưới. Trong vỉa có 2 giếng, 1 giếng khai thác đặt tại ô lưới (10,10,3), 1 giếng bơm ép đặt tại ô lưới (1,1,1) (lớp trên cùng là 1). Thời gian mô phỏng là 10 năm.

Kết quả mô phỏng với tập thông số gốc của bài toán này được giữ lại một phần như là số liệu quan sát (59 giá trị áp suất tại ô giếng khai thác theo thời gian). Sau đó các thông số vỉa được thay đổi để chương trình xác định thông số tìm lại các thông số sao cho giá trị tính toán mô phỏng phù hợp với số liệu quan sát.

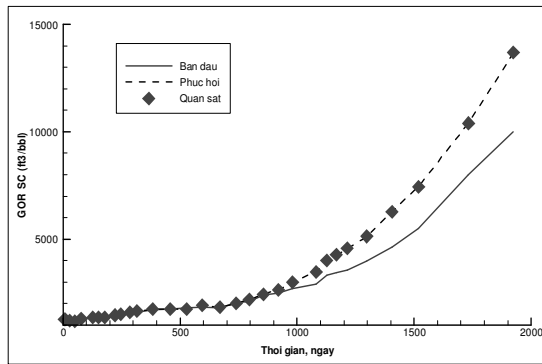
Các thông số cần xác định là độ thấm theo hướng I của các lớp (3 thông số, giá trị độ thấm là bằng nhau trong mỗi lớp). Chương trình đã sử dụng cho hai trường hợp là dòng chảy 1 pha và hai pha (tương ứng là có và không có giếng bơm ép). Trên Bảng 1 là kết quả của quá trình hội tụ và trên Hình 2, Hình 3 và Hình 4 là kết quả phục hồi lịch sử của áp suất tại ô lưới chứa giếng khai thác, lưu lượng dầu và tỷ số khí dầu (GOR) cho bài toán một pha. Tương tự Bảng 2 và Hình 5, Hình 6 và Hình 7 là kết quả tính toán cho bài toán SPE1 hai pha (có giếng bơm ép). Kết quả cho thấy nghiệm tìm được ở bài toán này gần như chính xác vì số thông số ít, vỉa khá đồng nhất và kích thước vỉa không lớn. Thời gian tính ghi trong Bảng 4.

Bảng 1. Hội tụ (1P)

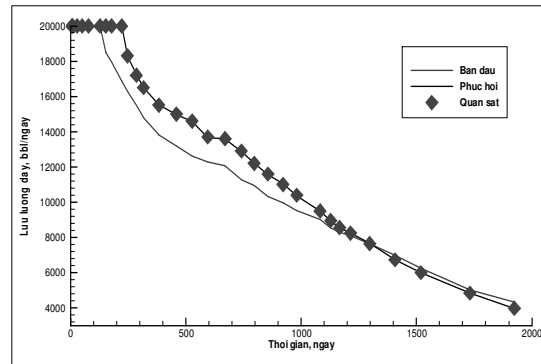
Số lần lặp	Sai số hàm mục tiêu
0	88593
1	10924
2	1503
3	61
4	57
5	40
6	16
7	6
8	5
9	1



Hình 2. Phục hồi áp suất ô giếng khai thác (SPE1, 1 pha).



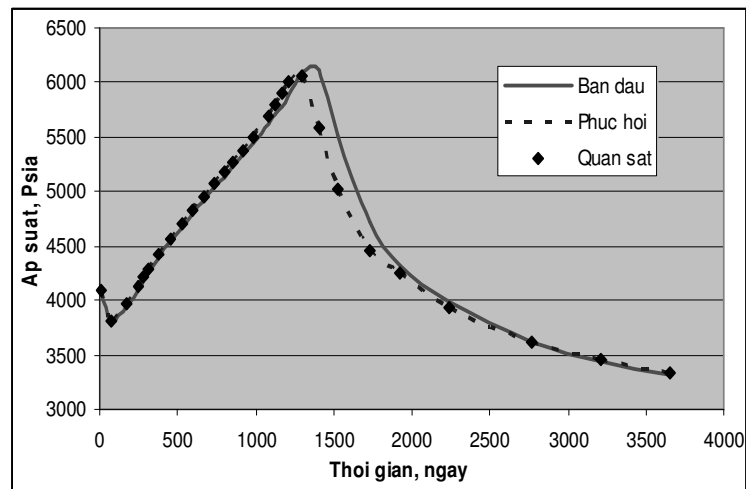
Hình 3. Tỷ số khí dầu (GOR) (1pha).



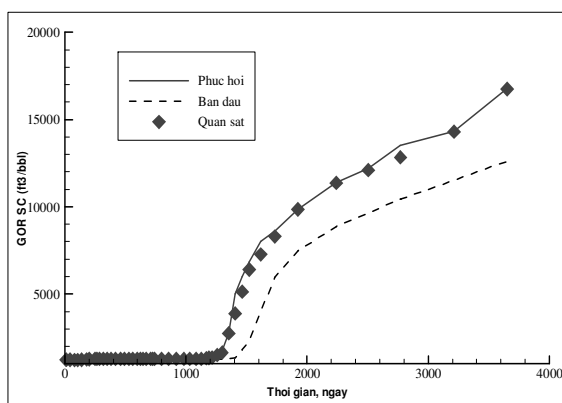
Hình 4. Lưu lượng dầu tại giếng (1pha).

Bảng 2. Hội tụ (2P).

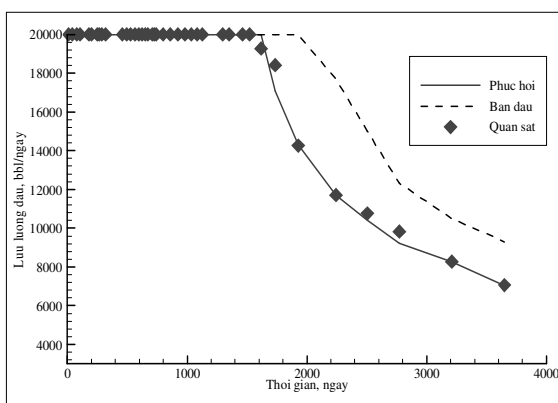
Số lần lặp	Sai số hàm mục tiêu
0	667614
1	117270
2	43992
3	43232
4	14715
5	1944
6	1258
7	917
8	289
9	20
10	13



Hình 5. Phục hồi áp suất ô giếng khai thác (SPE1, 2 pha).



Hình 6. Tỷ số khí dầu (GOR) (2 pha).



Hình 7. Lưu lượng dầu khai thác (2 pha).

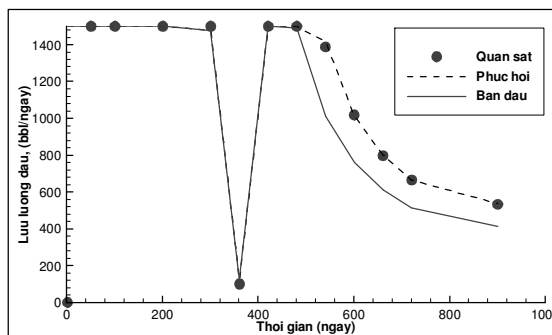
4.2. Xác định thông số cho mô hình vỉa của bài toán SPE9

Bài toán kiểm tra mô hình vỉa thứ 9 của hiệp hội dầu khí (SPE9) [15] là bài toán 3 pha, 3 chiều, vỉa có kích thước 2200x2300x110m và có tính bất đồng nhất cao (độ thấm và độ rỗng thay đổi mạnh theo không gian). Vỉa được khai thác bởi 25 giếng khai thác và 1 giếng bơm ép, thời gian hoạt động là 2.5 năm. Trong bài toán này, mô hình vỉa chia thành 24x25x15 ô lưới có độ thấm khác nhau, độ rỗng của các ô khác nhau theo lớp. Để kiểm tra chương trình xác định thông số mô hình vỉa cho bài toán này, cách làm cũng được tiến hành tương tự như bài

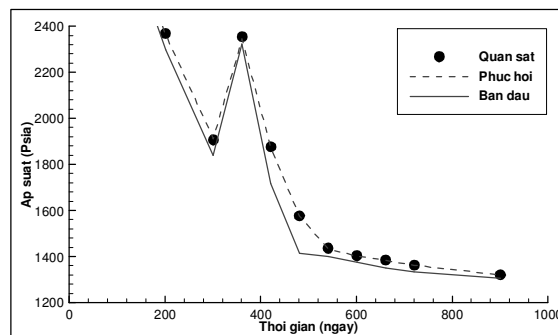
toán SPE1. Kết quả mô phỏng của bài toán SPE9 là áp suất tại các ô giếng khai thác cũng được giữ lại như là số liệu quan sát về áp suất. Sau đó thông số vỉa là độ rỗng cũng bị thay đổi để chương trình tự xác định các giá trị độ thấm cho từng lớp (15 lớp, lớp trên cùng là 1) sao cho kết quả mô phỏng phù hợp với kết quả quan sát. Quá trình hội tụ cho trong Bảng 3. Kết quả phục hồi lịch sử trình bày trên các Hình 8a, 8b, 8c, 8d. Từ kết quả này cho thấy hội tụ của phương pháp cũng khá tốt mặc dù số giếng hoạt động tăng đáng kể, số lượng ô lưới là tương đối lớn và tính bất đồng nhất của vỉa tăng. Thời gian tính ghi trong Bảng 4.

Bảng 3. Quá trình hội tụ của bài toán SPE9

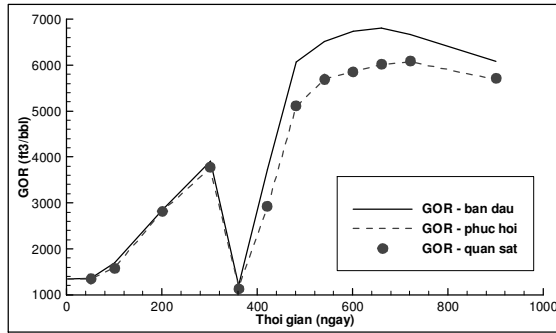
Số lần lặp	Sai số hàm mục tiêu	Số lần lặp	Sai số hàm mục tiêu	Số lần lặp	Sai số hàm mục tiêu	Số lần lặp	Sai số hàm mục tiêu
0	1227234						
1	104874	11	3168	21	1016	31	620
2	43707	12	2807	22	983	32	538
3	15660	13	2694	23	862	33	524
4	13753	14	1538	24	844	34	508
5	7428	15	1502	25	757		
6	7061	16	1273	26	715		
7	6566	17	1169	27	695		
8	5171	18	1095	28	678		
9	4772	19	1072	29	670		
10	4071	20	1025	30	628		



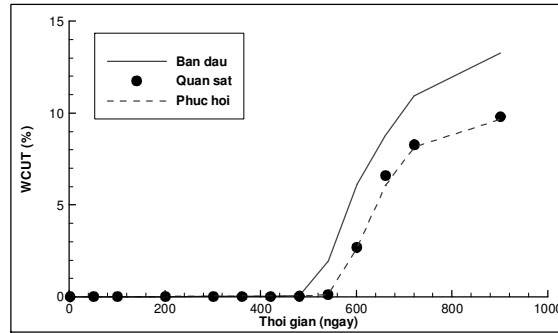
a) Lưu lượng dầu giếng 9



b) Áp suất ô chứa giếng số 9



c) Tỷ số khí dầu (GOR) giếng 9



d) Độ ngập nước (WCUT) giếng 9

Hình 8. So sánh kết quả phục hồi với kết quả ban đầu và quan sát tại giếng 9.

Bảng 4. Thời gian tính của các bài toán

	ô lưới	thông số	Số lần lặp	Sai số	Thời gian
Bài toán SPE1-1P	300	3	9	1	16 phút
Bài toán SPE1-2P	300	3	10	13	60 phút
Bài toán SPE9	9000	15	34	508	360 phút

5. Kết luận

Trên cơ sở sai số bình phương tối thiểu giữa số liệu quan sát và kết quả tính toán từ mô hình, thuật toán tối ưu đã được áp dụng để xây dựng và giải bài toán xác định, hiệu chỉnh thông số mô hình cho các mô hình mô phỏng các vỉa dầu-khí theo số liệu quan sát từ thực tế khai thác. Phương pháp Gauss-Newton sửa đổi và kỹ thuật gây nhiễu đã được áp dụng để đảm bảo sự hội tụ của quá trình giải lặp. Một chương trình tính đã được lập và đã tiến hành tính toán với một số ví dụ. Các kết quả tính kiểm tra cho thấy quá trình hội tụ là tương đối tốt. Chương trình hoàn toàn có khả năng phát triển, áp dụng cho thực tế khai thác các vỉa dầu-khí cũng như các vỉa nước ngầm hiện đang khai thác của Việt Nam.

Bài báo được hoàn thành với sự trợ giúp một phần kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học của Trường Đại học Công nghệ- Đại học Quốc gia Hà nội và Quỹ nghiên cứu cơ bản trong khoa học tự nhiên.

Tài liệu tham khảo

- [1] Phạm Thu Thủy, Xây dựng mô hình khai thác cho tầng móng nứt nẻ, ví dụ áp dụng cho mỏ Ruby, bể Cửu long, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị KHCN "30 năm Dầu khí Việt nam: Cơ hội mới, thách thức mới"*, Hà nội, 7/2005, quyển 1, tr. 987.
- [2] Duong Ngoc Hai, Dang The Ba, Tran Le Dong, Truong Cong Tai, Three-Phase Single Porosity Model, Application to White Tiger Basement Reservoir, *Presented at French-Vietnamese Training-Scientific Workshop on Multiphase Flow in Fault and Fractured Basement Reservoir*, Vungtau-Vietnam, 7-8 March, 2002.
- [3] Trương Công Tài, Nguyễn Văn Út, Một số vấn đề về công nghệ thiết kế khai thác và kết quả khai thác tầng móng mỏ Bạch Hổ, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị KHCN "30 năm Dầu khí Việt nam: Cơ hội mới, thách thức mới"*, Hà nội, 7/2005, quyển 1, trang 962.
- [4] Ne-Zheng Sun, *Inverse Problems in Groundwater Modeling*, Kluwer Academic Publishers, New York, 1994.
- [5] G.E. Slater, E.J. Durrer, Adjustment of Reservoir Simulation Models to Match Field Performance, *SPEJ*, September (1971) 295.

- [6] M.L. Wasserman, A.S. Emanuel, J.H. Seinfeld, Practical Applications of Optimal-Control Theory to History Matching Multiphase Simulator Models, *SPEJ*, August (1975) 347.
- [7] Đặng Thế Ba, Áp dụng lý thuyết điều khiển tối ưu cho bài toán xác định thông số mô phỏng của các mô hình mô phỏng vỉa dầu nhiều pha, *Tuyển tập Báo cáo hội nghị khoa học Thủy khí Toàn quốc*, Đà Nẵng, 7/2003, trang 1.
- [8] Y. Wang, A.R. Kovscek, Streamline Approach for History Matching Production Data, *SPEJ*, October (2000) 353.
- [9] Fengjun Zhang, C. Albert Reynolds, Optimization Algorithms for Automatic History Matching of Production Data, *8th European Conference on The Mathematics of Oil Recovery*, Freiberg, Germany, 3-6 September (2002).
- [10] Duong Ngoc Hai, Dang The Ba, Numerical Model of Three-Phase Three-Dimensional Flow in Porous Media for Reservoir Simulation, *J. Mechanics* Vol. XXIV, No.3 (2002) 151.
- [11] C.M. Calvin, L.D. Robert, *Reservoir Simulation*, SPE monograph series, Richardson TX, 1990.
- [12] J.M. Cheng, W.W.G. Yeh, A Proposed quasi-Newton Method for Parameter Identification in a Flow and Transport System, *Advances in Water Resources*, 15 (1992) 239.
- [13] R. Fletcher, *Practical Methods of Optimization*, John Wiley&Sons, New York, 1987.
- [14] S.O. Aziz, Comparison of Solution to a Three-Dimensional Black-Oil Reservoir Simulation Problem - SPE1, *JPT*, January (1981) 13.
- [15] J.E. Killough, A Reexamination of Black-Oil Simulation, Ninth SPE Comparative Solution Project, *Thirteenth SPE Symposium on Reservoir Simulation*, New York, April (1995).

Modified Gauss-Newton method for automatic history matching

Dang The Ba

*Department of Engineering Mechanics and Automation, College of Technology, VNU
144 Xuan Thuy, Hanoi, Vietnam*

The paper presents an application of modified Gauss-Newton method for a nonlinear equation system to obtain parameters of the oil reservoir models based on production data (automatic history matching). Herein, history matching still followed on the main steps of the least-square method (minimizing the summing of error square between production data and modeling results). For apply to reservoir engineering's practice, any reservoir parameters such as porosity, permeabilities... may be treated as control variables to minimizing the error function and any production data such as well block pressure; water, oil and gas rate... may be used to evaluate the error function. Some techniques are used to ensure the convergence and save the calculating time when the reservoirs are big and heterogeneous.

In this study, the used simulator is IMEX (CMG, Canada). To test the algorithm and program, some test cases are implemented and presented. The results are analyzed, compared and they show the good convergence, although the calculating times are increasing as the reservoir's dimension and heterogeneous increasing.