

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH ĐIỆN DUNG - ĐIỆN TRỞ MỞ RỘNG VÀO VĨA BƠM ÉP NƯỚC

Tạ Quốc Dũng¹, Huỳnh Văn Thuận¹, Phùng Văn Hải², Lê Thế Hà³

¹Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh

²Tổng công ty Thẩm dò và Khai thác Dầu khí

³Tập đoàn Dầu khí Việt Nam

Email: tqdung@hcmut.edu.vn

Tóm tắt

Nghiên cứu phát triển mô hình điện dung - điện trở mở rộng (CRMe, Extended capacitance - resistance models) cho vỉa dầu ở bể Cửu Long, nơi nguồn năng lượng tự nhiên tác động gây nhiễu đến cơ chế năng lượng bơm ép nước, ảnh hưởng đáng kể đến độ tin cậy của kết quả dự báo. Nhóm tác giả đã xây dựng và kết hợp mô hình CRMe và Gentil mở rộng, dự báo tổng sản lượng khai thác cộng dồn sát với số liệu thực tế, từ đó dự báo nhanh tổng sản lượng thu được từ vỉa trong 805 ngày tiếp theo là gần 3,14 triệu thùng dầu.

Từ khóa: Bơm ép nước, mô hình điện dung - điện trở mở rộng, sản lượng khai thác cộng dồn, bể Cửu Long.

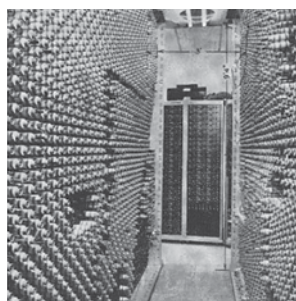
1. Giới thiệu

Mô hình dòng chảy trong vỉa và dòng điện trong mạch điện RC đã được nghiên cứu bởi Bruce (1943) [1]. Tác giả đã xây dựng mạng lưới các đơn vị điện để thể hiện mạng lưới các ô khối trong mô hình vỉa. Các đơn vị điện này được kết nối với nhau để mô phỏng trực tiếp lại ứng xử của vỉa dựa trên sự tương tự giữa dòng điện trong môi trường dẫn (dây dẫn) và dòng chất lưu đi trong môi trường lỗ rỗng. Sau đó Wiess (1951) đã cải tiến tốc độ xử lý và đồng thời cải thiện độ chính xác trong dự báo cho ứng xử dòng chảy không ổn định trong vỉa dầu [2]. Wahl (1962) đã áp dụng thành công mạng điện dung - điện trở, bao gồm 2501 tụ điện liên kết với 4900 điện trở, để phân tích cho bốn vỉa ở Saudi Arabia [3].

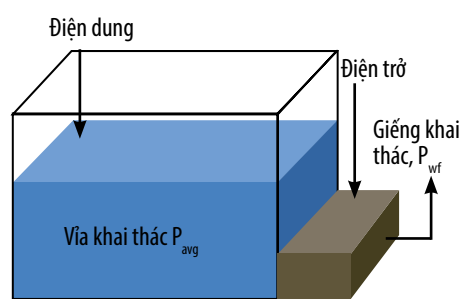
Kết quả cho thấy, các nghiên cứu trước đều tập trung vào tổ chức, thiết kế, thí nghiệm dựa trên mối liên hệ giữa dòng điện và dòng chất lưu trong vỉa. Một hệ thống toán học dựa trên khái niệm tương tự do Larry Lake (2002) và Albertoni (2003) đã đề xuất mô hình kết nối các

giếng lại với nhau bằng cách sử dụng phương pháp hồi quy không tuyến tính đa biến, để dự báo tổng lưu lượng thu được, từ số liệu lịch sử khai thác và bơm ép [4]. Gentil (2005) tiếp tục công trình của Albertoni (2003) bằng giải thích ý nghĩa vật lý của phương trình hàm truyền trong vỉa [5]. Yousef (2006) cải thiện mô hình bằng cách thay thế sự biến động số liệu bằng hằng số thời gian τ [6]. Vào năm 2007, Liang và Sayarpour đã lần đầu tiên áp dụng CRM như một công cụ tối ưu hóa dự báo thu hồi dầu trong giai đoạn tiếp theo dựa trên lưu lượng bơm ép [7]. Sau nhiều lần chỉnh sửa và bổ sung các thông số, mô hình được đưa ra bởi Sayarpour (2008) có thể xem là lần cải tiến mang lại nhiều hiệu quả nhất [8].

Mô hình điện dung - điện trở đã bắt đầu được nghiên cứu ứng dụng cho các mỏ tại Việt Nam [9]. Nhằm bổ sung và hoàn thiện mô hình này để dự báo tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn trong các trường hợp đặc biệt có tác động gây nhiễu từ nguồn năng lượng tự nhiên trong vỉa bơm ép nước, nhóm tác giả sẽ đề xuất phát triển mở rộng các mô hình CRM truyền thống và mô hình Gentil để vừa đánh



Hình 1. Mạng lưới điện dung - điện trở [3]



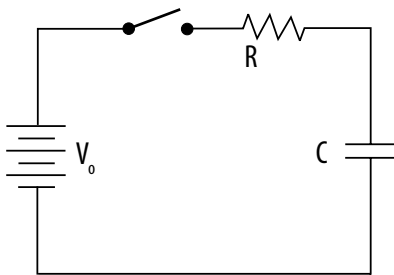
Hình 2. Mô hình thủy lực vỉa [10]

Ngày nhận bài: 5/5/2020. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 5 - 26/5/2020.

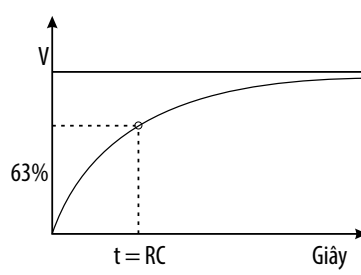
Ngày bài báo được duyệt đăng: 13/8/2020.

Bảng 1. Mối liên hệ giữa các thông số mạch điện RC và mô hình CRM [10]

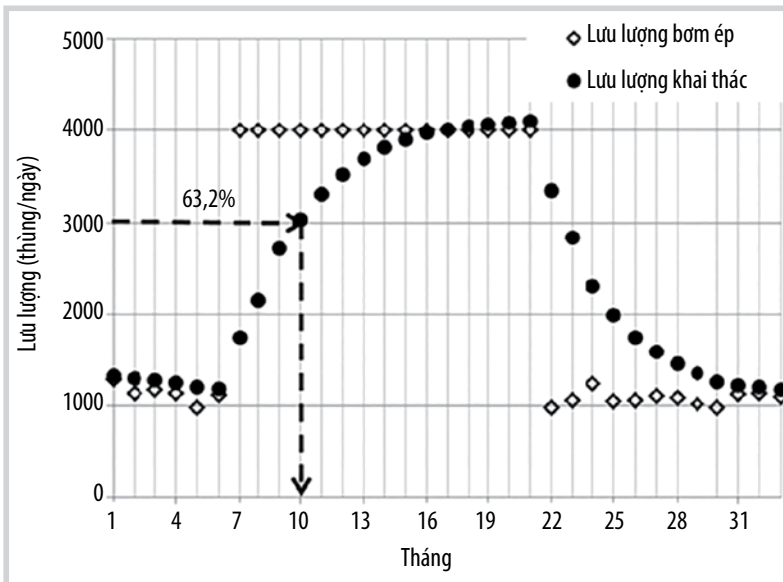
	Mạch điện RC	Mô hình CRM
Nguồn năng lượng	Chênh lệch điện thế, ΔU	Chênh lệch áp suất, ΔP
Phương trình dòng	Định luật Ohm, $I = \frac{\Delta U}{R}$	Định luật Darcy, $q = \frac{\Delta P}{R}$
Phương trình giải phóng năng lượng	Phương trình Faraday	Phương trình hệ số nén
Điện trở R	$R = f_1$ (đặc tính vật liệu dẫn, tiết diện dây, chiều dài L)	$R = f_2$ (đặc tính đá và chất lưu vỉa, tiết diện mặt cắt ngang dòng đi qua, chiều dài xem xét)
Điện dung C	$C = I \frac{dt}{dU}$	$C = -q \frac{dt}{dP}$



Hình 3. Sơ đồ mạch điện RC đơn giản [11]



Hình 4. Biến đổi điện áp trên tụ theo thời gian



Hình 5. Lưu lượng bơm ép biến đổi và lưu lượng khai thác phản hồi [11]

giá mức độ ảnh hưởng gây nhiễu của năng lượng tự nhiên cũng như dự báo nhanh tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn với độ tin cậy cao.

2. Mô hình điện dung - điện trở

Sự tương tự giữa mạch điện RC và CRM: Dòng điện I (ampere) chạy trong dây dẫn là kết quả của sự chênh lệch điện thế ΔU (volt) trên mạch điện [10] và dòng điện tuân theo định luật Ohm, $I = \Delta U/R$ với R (ohm) là tổng điện trở mạch [10]. Tương tự, trong lĩnh vực dầu khí, dòng chảy trong vỉa là kết quả của sự chênh lệch áp suất và tuân theo định luật Darcy, $q = \Delta P/R$ [10], với $\Delta P = P_{\text{avg}} - P_{\text{wf}}$ (psi), là sự chênh lệch áp suất giữa áp suất trung bình vỉa (P_{avg}) và áp suất đáy giếng (P_{wf}). Trở R trong vỉa là hàm của đặc tính đá vỉa với diện tích mặt cắt xem xét là A_c (đơn vị diện

tích) và chiều dài vùng xem xét là L (đơn vị chiều dài).

Tụ điện là thiết bị dùng để tích trữ năng lượng, đại lượng đặc trưng cho tụ là điện dung C (farad). Tụ giải phóng năng lượng theo phương trình Faraday, $I = C \frac{dU}{dt}$ [10]. Tương tự, trong vỉa dầu, tụ C là khả năng cung cấp năng lượng của vỉa dưới dạng áp suất. Tụ vỉa giải phóng năng lượng theo phương trình hệ số nén $C_{\text{nén}} = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}$ (psi⁻¹).

Các thông số cơ bản trong mô hình CRM:

- Hằng số thời gian - Time constant (τ)

Hằng số thời gian là thông số đặc trưng phản hồi khoảng thời gian biến động tuyến tính trong giai đoạn đầu của hệ thống.

Để xác định hằng số thời gian trong mạch RC, đặt vào mạch 1 hiệu điện thế V_0 , khi đóng khóa k dòng điện sẽ nạp điện cho tụ C . Kết quả điện áp trên tụ sẽ tăng dần theo đồ thị Hình 4. Khi đó, hằng số thời gian được định nghĩa là thời gian từ khi bắt đầu nạp điện đến khi điện áp trên tụ bằng 63,2% giá trị điện áp cuối cùng ở trạng thái ổn định, với $\tau = RC$ [11].

Trong hệ thống vỉa cũng tương tự như mạch điện RC. Vì thế, có thể dựa vào định nghĩa trên để xác định hằng số thời gian τ của vỉa.

Hình 5 cho thấy khi lưu lượng bơm ép tăng nhảy vọt từ tháng thứ 6 đến tháng thứ 22 thì thu được tín hiệu phản hồi lưu lượng khai thác biến đổi khá giống sự biến đổi điện áp trên tụ trong mạch điện RC. Tương tự như cách xác định hằng số thời gian ở mạch RC, dòng chất lưu khai thác mất 4

tháng (từ tháng thứ 6 đến tháng thứ 10) để đạt lưu lượng bằng 63,2% lưu lượng khai thác khi đạt trạng thái ổn định. Vì thế, hằng số thời gian cho giếng khai thác trong ví dụ này là 4 tháng và hằng số thời gian được xác định theo công thức:

$$\tau_{ij} = \left(\frac{C_t V_p}{J_t} \right)_{ij} \quad [11] \quad (1)$$

Trong đó:

τ_{ij} : Hằng số thời gian của cặp giếng bơm ép i và khai thác j (ngày);

V_p : Thể tích lỗ rỗng vùng kiểm soát (thùng);

J_t : Hệ số năng suất khai thác (productivity index) (thùng/ngày/psi);

C_t : Hệ số nén tổng (psi^{-1}).

- Hệ số kết nối - Connectivity (f)

Hệ số kết nối là thông số quan trọng và bắt buộc phải xác định trong CRM. Hệ số kết nối f_{ij} biểu thị phần lượng nước từ giếng bơm ép i đóng góp vào tổng lưu lượng khai thác ở giếng j .

3. Các mô hình điện dung - điện trở

3.1. Cơ sở lý thuyết

Mô hình CRM chủ yếu được xây dựng dựa trên các phương trình sau:

Phương trình liên tục:

$$C_t V_p \frac{d\bar{p}}{dt} = i(t) - q(t) \quad [12] \quad (2)$$

Phương trình lưu lượng khai thác:

$$q(t) = J(\bar{p} - p_{wf}) \quad [12] \quad (3)$$

$$q(t) = q(t_0) e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)} + I(t) \left(1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)}\right) - (C_t V_p) \left(\frac{P_{wf,t} - P_{wf,0}}{t - t_0}\right) \left(1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)}\right) \quad (4)$$

Trong đó:

$\bar{p}(t)$, $p_{wf}(t)$: Áp suất trung bình vỉa và áp suất đáy giếng ở thời điểm t (psi);

$I(t)$: Lưu lượng bơm ép (hằng số) của giếng bơm ép trong khoảng thời gian Δt (thùng/ngày).

$q(t)$, $i(t)$: Lưu lượng khai thác và bơm ép ở thời điểm t (thùng/ngày).

Từ phương trình (4) ta thấy lưu lượng khai thác

phụ thuộc chủ yếu vào 3 thành phần chính là:

- Nguồn năng lượng kế thừa ở thời điểm trước, $q(t_0) e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)}$.
- Nguồn dầu được đẩy từ nguồn nước bơm ép bổ sung ở giai đoạn tiếp theo, $I(t) \left(1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)}\right)$.
- Lượng thể tích ảnh hưởng do sự co giãn vật chất của vỉa, $(C_t V_p) \left(\frac{P_{wf,t} - P_{wf,0}}{t - t_0}\right) \left(1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)}\right)$.

3.2. Các mô hình điện dung - điện trở mở rộng

- Kiểm soát cho 1 giếng khai thác và nhiều giếng bơm ép xung quanh (CRMpe: Mô hình điện dung - điện trở cho một giếng khai thác mở rộng).

- Kiểm soát nhanh tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn (ICRMpe: Mô hình điện dung - điện trở kết hợp mở rộng).

3.2.1. CRMpe - Kiểm soát cho 1 giếng khai thác và nhiều giếng bơm ép xung quanh

Mô tả mối quan hệ tương tác giữa các giếng bơm ép thực tế, giả định với giếng khai thác. Tổng lưu lượng ở giếng khai thác tại thời điểm t :

$$q_j(t) = \sum_{i=1}^{n_i} f_{ij} I_i(t) + f_{aj} I_{ak}(t) - \tau_j \frac{dq_j(t)}{dt} - J_j \tau_j \frac{dp_{wf}^{(j)}(t)}{dt} \quad (5)$$

Trong đó:

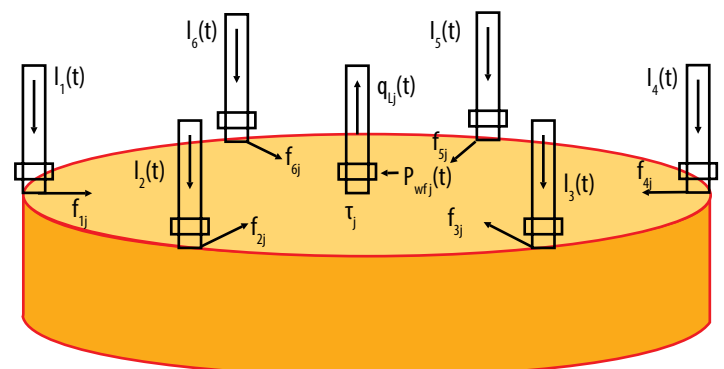
$q_j(t)$: Lưu lượng khai thác của giếng j ở thời điểm t (thùng/ngày);

f_{ij} , f_{aj} : Hệ số kết nối giữa giếng bơm ép i , bơm ép giả định a và giếng khai thác j ;

$I_i(t)$, $I_a(t)$: Lưu lượng bơm ép của giếng bơm ép i và giếng bơm ép giả định ở thời điểm t (thùng/ngày);

n_i : Tổng số giếng bơm ép.

Dựa trên giả thuyết SVIR (step variation of injection rate), lưu lượng bơm ép không đổi và áp suất đáy giếng tuyến tính trong



Hình 6. Mô hình minh họa vỉa bằng CRMpe [13]

từng bước Δt (ngày) từ $l(k-1)$ đến $l(k)$ [8]. Lưu lượng giếng j ở thời điểm k được tính bằng:

$$q_{jk} = q_{j(k-1)} e^{-\Delta t/\tau_j} + (1 - e^{-\Delta t/\tau_j}) \left(\sum_{i=1}^{n_i} f_{ij} I_{ik} + f_{aj} I_{ak} - J_j \tau_j \frac{p_{wf}^{(jk)} - p_{wf}^{(j(k-1))}}{\Delta t} \right) \quad (6)$$

Phương pháp hồi quy không tuyến tính đa biến:

Hệ số kết nối và hằng số thời gian được ước tính theo phương pháp hồi quy không tuyến tính:

$$\text{Min } z = \sum_{k=1}^{n_t} \sum_{j=1}^{n_p} (q_{jk}^{\text{thực tế}} - q_{jk})^2 [11] \quad (7)$$

Trong đó:

q_{jk} : Tổng lưu lượng chất lưu tính toán được từ giếng khai thác ở bước thứ k (thùng/ngày).

n_p : Tổng số giếng khai thác;

n_t : Tổng số bước xem xét.

Hàm xác định chính (7) bị ràng buộc bởi:

$\sum_{j=1}^{n_p} f_{ij} \leq 1$ cho giếng bơm ép thực tế [12];

$\sum_{j=1}^{n_p} f_{aj} \leq 1$ cho giếng bơm ép giả định;

$f_{ij}, f_{aj}, \tau_j \geq 0$ cho tất cả các giếng bơm ép i và giếng khai thác j .

3.2.2. ICRMe - Ước tính tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn

ICRM được xây dựng để ước tính tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn ở giếng khai thác với phương trình cơ sở sau:

$$Q_{p,j}^t = (q_{jo} - q_{jt})\tau_j + \sum_{i=1}^{n_i} (f_{ij} W_i^t) + J_j \tau_j (p_{wf,j}^0 - p_{wf,j}^t) [14] \quad (8)$$

Trong đó:

$(p_{wf,j}^0 - p_{wf,j}^t)$: Áp suất đáy giếng ở thời điểm ban đầu và thời điểm t (psi);

W_i^t : Tổng lượng nước bơm ép cộng dồn của giếng bơm ép i ở thời điểm t (thùng);

$Q_{p,j}^t$: Tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn ở giếng khai thác j tại thời điểm t (thùng).

Khi vỉa còn chịu tác động gây nhiễu bởi năng lượng tự nhiên, giếng giả định a sẽ được thêm vào:

$$Q_{p,j}^t = (q_{jo} - q_{jt})\tau_j + \left(\sum_{i=1}^{n_i} (f_{ij} W_i^t) + f_{aj} W_a^t \right) + J_j \tau_j (p_{wf,j}^0 - p_{wf,j}^t) \quad (9)$$

Trong đó:

f_{aj} : Hệ số kết nối giữa giếng bơm ép giả định a và giếng khai thác j ;

W_a^t : Lượng nước bơm ép cộng dồn của giếng bơm ép giả định a tính đến thời điểm t (thùng).

Phương pháp hồi quy không tuyến tính đa biến:

Hệ số kết nối, hằng số thời gian, các thông số giếng bơm ép giả định a được xác định thông qua hàm sau:

$$\text{Min } z = \sum_{t=1}^{n_t} \sum_{j=1}^{n_p} ((Q_{p,j}^t)_{\text{thực tế}} - (Q_{p,j}^t)_{\text{tính toán}})^2 [14] \quad (10)$$

3.3. Mô hình thực nghiệm Gentil mở rộng

Trên cơ sở mô hình Gentil (2005) [5], nghiên cứu này sẽ mở rộng để ước tính tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn dựa trên tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn được xác định theo ICRMe.

Xuất phát từ phương trình phi tuyến:

$$WOR^* = a W_i^b \quad (11)$$

Giả sử rằng vỉa chỉ tồn tại 2 pha dầu và nước:

$$Q_p = N_p + W_p \quad (12)$$

Lấy logarit tự nhiên 2 vế phương trình (11)

$$\ln(WOR^*) = \ln(a) + b \ln(W_i) \quad (13)$$

Với $WOR^* = \frac{W_p}{N_p}$

$$\ln\left(\frac{Q_p}{N_p} - 1\right) = \ln(a) + b \ln(W_i) \quad (14)$$

Đặt $A = \ln(a)$:

$$\ln\left(\frac{Q_p}{N_p} - 1\right) = A + b \ln(W_i) \quad (15)$$

Xét phương trình (15) cho giếng j ở thời điểm k :

$$\ln\left(\frac{Q_{p,jk}}{N_{p,jk}} - 1\right) = A_j + b_j \ln(W_{ik}) \quad (16)$$

Dựa vào dữ liệu lịch sử khai thác, có thể tính toán 2 thông số thực nghiệm của mô hình là A_j và b_j thông qua phương pháp hồi quy tuyến tính dựa trên phương trình tổng bình phương sai số nhỏ nhất.

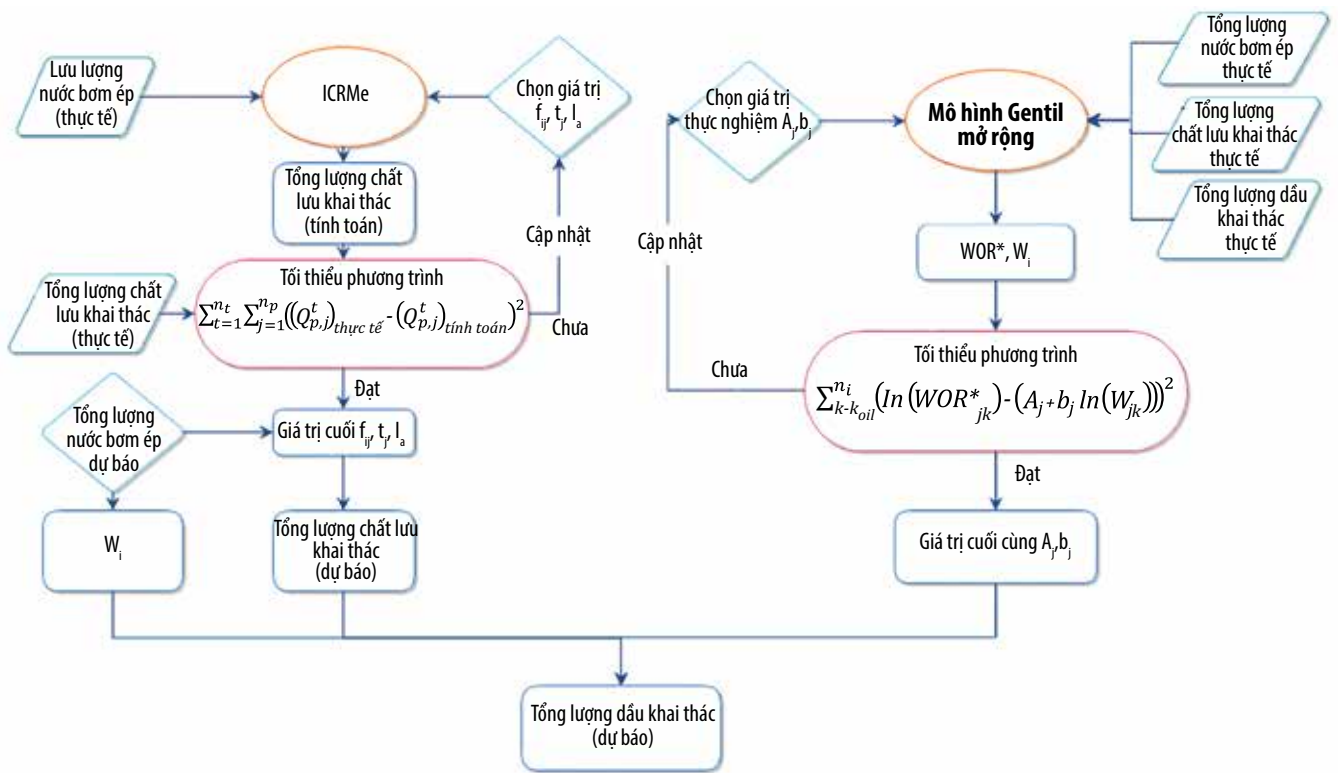
$$\text{Min } z = \sum_{k=k_{oil}}^{n_i} (\ln(WOR_{jk}^*) - (A_j + b_j \ln(W_{jk})))^2 \quad (17)$$

Tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn được xác định theo phương trình:

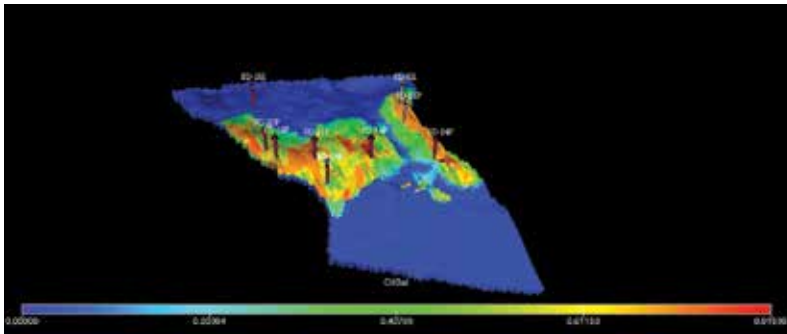
$$N_{p,jk} = \frac{Q_{p,jk}}{1 + e^{A_j + b_j \ln(W_{ik})}} \quad (18)$$

Trong đó:

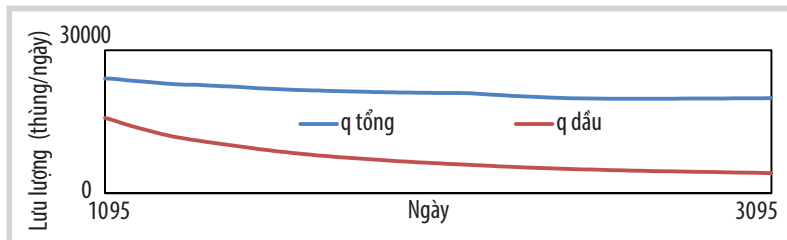
k_{oil} : Thời điểm đầu tiên được xem xét đánh giá lưu



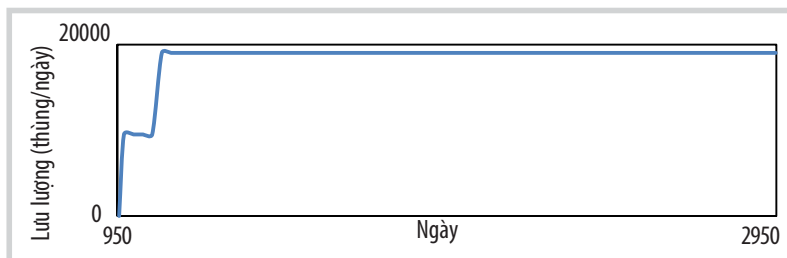
Hình 7. Quy trình tính toán



Hình 8. Mô hình vỉa dầu tại bể Cửu Long



Hình 9. Lưu lượng khai thác của vỉa



Hình 10. Tổng lưu lượng bơm ép của vỉa

lượng dầu thu hồi được khi nước bắt đầu xuất hiện trong lưu lượng tổng;

W_{i_k}, W_{p_k} : Tổng lượng nước bơm ép và khai thác cộng dồn ở tất cả các giếng trong vỉa từ khi bắt đầu bơm ép đến giai đoạn k (thùng);

$Q_{p_{jk}}, N_{p_{jk}}$: Tổng lượng chất lưu và dầu khai thác cộng dồn của giếng j ở thời điểm k (thùng);

A_j và b_j : Các thông số thực nghiệm của giếng khai thác j.

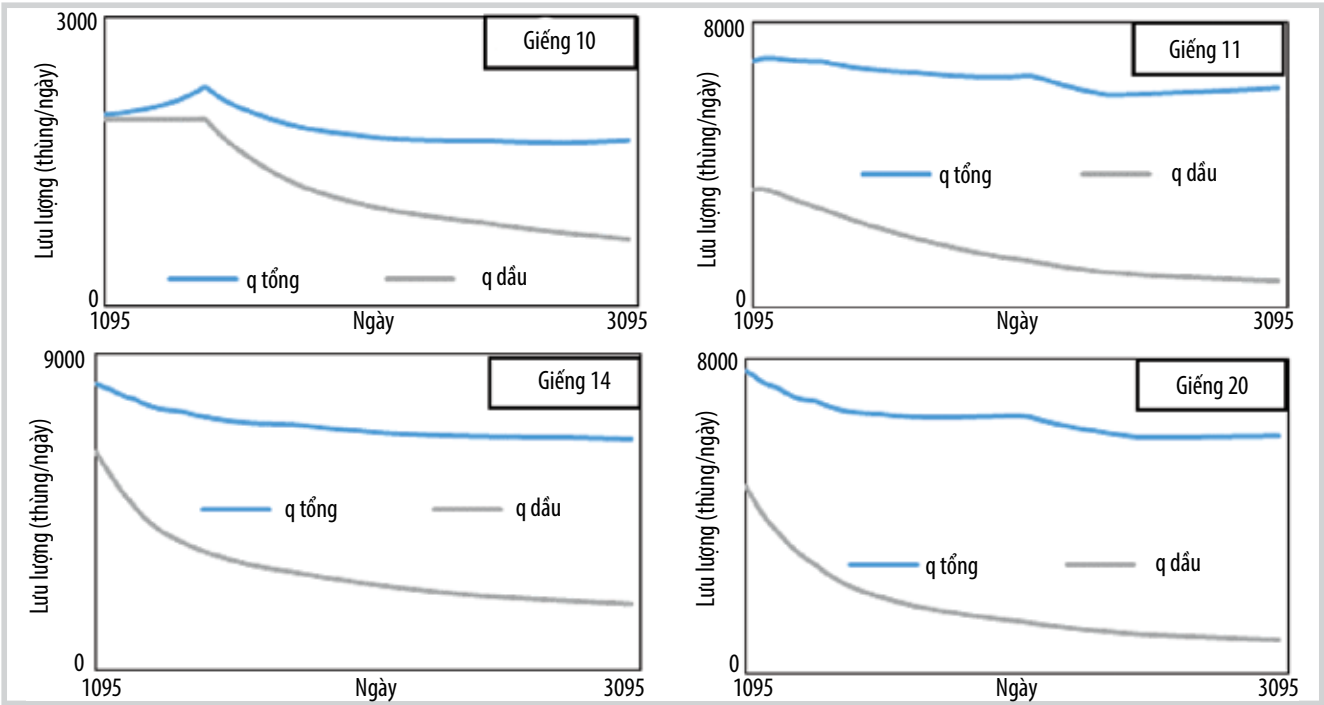
Các thông số thực nghiệm của mô hình này được xác định thông qua hệ số góc phương trình tuyến tính (16), $y = ax + b$, với a là b_j và b là A_j .

3.4. Quy trình tính toán

Quy trình tính toán thể hiện trên Hình 7.

4. Ứng dụng các mô hình điện dung - điện trở cho vỉa dầu tại bể Cửu Long

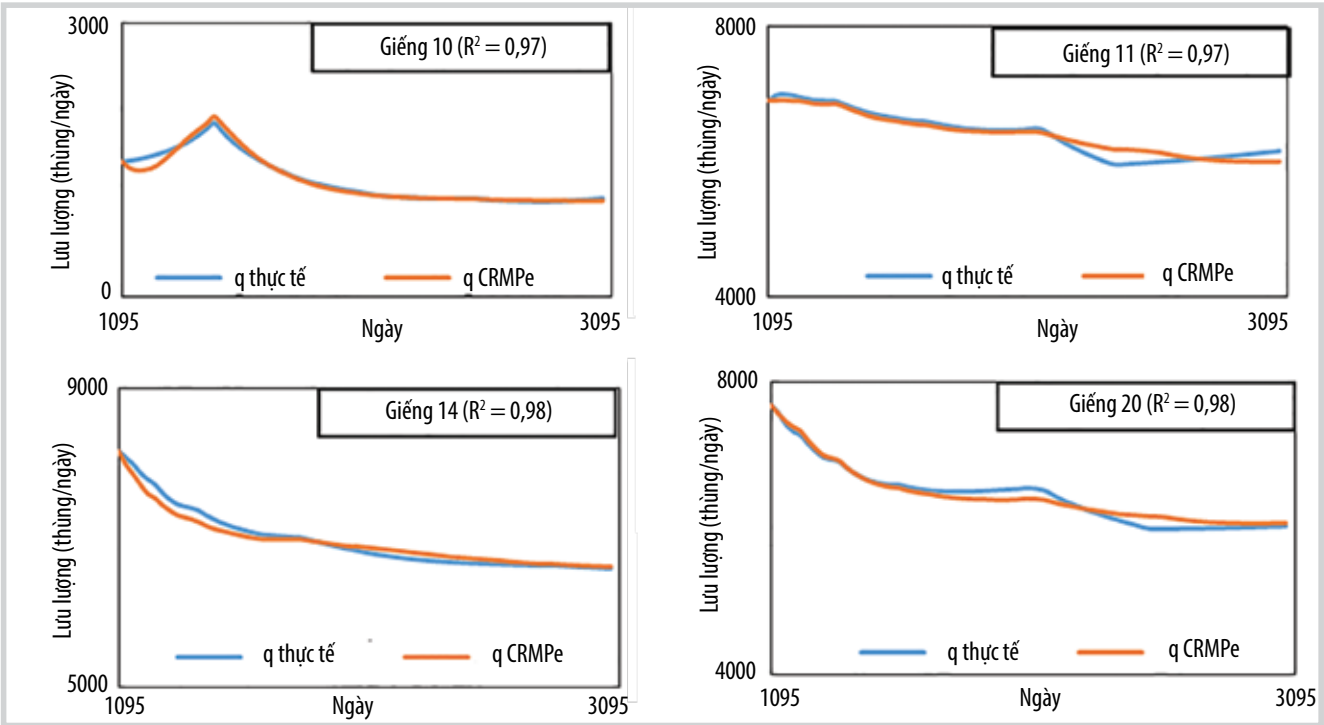
Vỉa dầu ở bể Cửu Long, nằm ngang, không đồng nhất. Vỉa được khai thác bằng cơ chế giãn nở tự nhiên trong 949 ngày đầu



Hình 11. Lưu lượng khai thác ở các giếng

Bảng 2. Thời gian hoạt động của các giếng

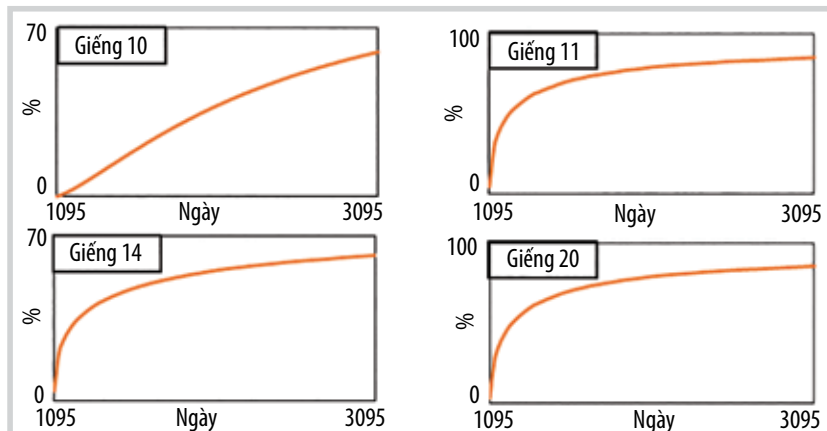
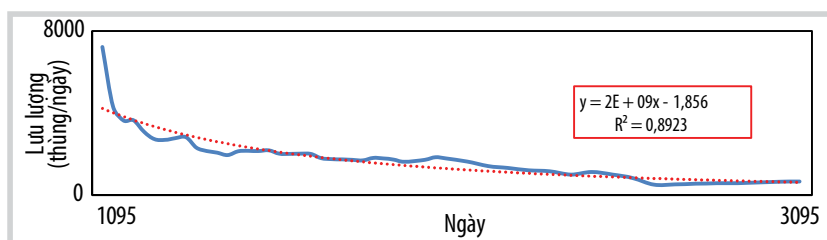
Thời gian (ngày)	0 - 82	83 - 374	375 - 540	541 - 949	950 - 1.094	1.095 - 3.095
P ₁₀						
P ₁₁						
P ₁₄						
P ₂₀						
I ₁₅						
I ₂₅						



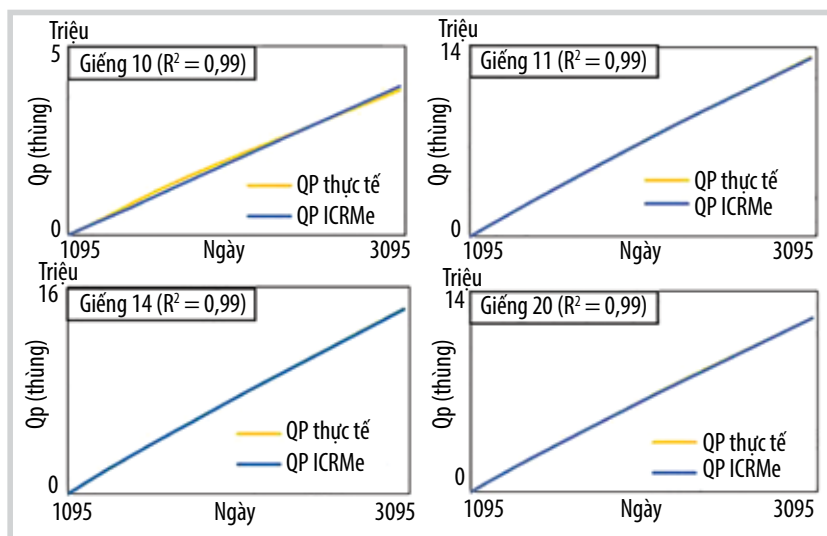
Hình 12. Lưu lượng tổng ước tính theo CRMPe

Bảng 3. Hệ số kết nối của giếng khai thác

	P_{10}	P_{11}	P_{14}	P_{20}	Tổng
$f_{15,j}$	0,16	0,27	0,31	0,26	1,00
$f_{25,j}$	0,01	0,30	0,34	0,33	0,98
$f_{as,j}$	0,00	0,45	0,22	0,33	1,00
τ_j	214,00	295,08	531,60	246,47	

**Hình 13.** Tỷ lệ nước xuất hiện ở các giếng**Hình 14.** Lưu lượng bơm ép giếng giả định**Bảng 4.** Hệ số kết nối theo ICRM mở rộng

	P_{10}	P_{11}	P_{14}	P_{20}	Tổng
$f_{15,j}$	0,17	0,30	0,31	0,22	1
$f_{25,j}$	0,02	0,29	0,35	0,34	1
$f_{as,j}$	0,00	0,42	0,26	0,32	1
τ_j	55,20	197,65	291,32	84,16	

**Hình 15.** Tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn theo ICRM

và được tiến hành bơm ép vào ngày thứ 950. Thời điểm nghiên cứu áp dụng mô hình CRM cho vỉa là ngày thứ 1.095. Đặc biệt, khi tiến hành bơm ép vỉa vẫn còn bị tác động bởi năng lượng tự nhiên.

Lưu lượng bơm ép và khai thác xuất ra từ các phần mềm thương mại sẽ được xem như dữ liệu thực tế để xây dựng mô hình CRM.

Thời gian các giếng bắt đầu đưa vào hoạt động trong vỉa được thu thập lại như Bảng 2, với màu đậm biểu thị giếng đã hoạt động.

4.1. Ứng dụng mô hình điện dung - điện trở cho giếng khai thác mở rộng

CRMPe sẽ được áp dụng nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng năng lượng tự nhiên đến các giếng khai thác trong vỉa thông qua hệ số kết nối.

Các giếng khai thác chủ yếu đều chịu ảnh hưởng bởi nguồn năng lượng tự nhiên (Bảng 3). Lớn nhất là giếng P_{11} với $f_{as,11} = 0,45$ và chỉ duy nhất một giếng đã cạn kiệt nguồn năng lượng này đó là giếng P_{10} với $f_{as,10} = 0$.

Giếng bơm ép I_{25} bị mất một phần nguồn năng lượng vào vỉa, với tổng $f_{25,j} = 0,98$. Nhìn chung lưu lượng chất lưu được ước tính theo mô hình CRMPe khá sát với lưu lượng thực tế (Hình 12). Hệ số hồi quy giữa dữ liệu mô hình và thực tế đều trên 0,9 cho thấy độ tin cậy khá cao.

Nhìn chung, tỷ lệ lượng nước tăng khá nhanh ở các giếng P_{11} , P_{14} , P_{20} (Hình 13), cho thấy các giếng bơm ép ảnh hưởng rất lớn với các giếng khai thác này.

Hình 14 cho thấy lưu lượng giếng bơm ép giả định cũng như nguồn năng

tự nhiên trong vỉa sụt giảm khá nhanh trong giai đoạn khoảng 150 ngày đầu tiên và suy giảm chậm trong giai đoạn sau. Cụ thể, tại thời điểm sau 2.100 ngày khai thác, năng lượng tự nhiên còn tồn đọng lại trong vỉa tương ứng với lưu lượng bơm ép là 3.500 thùng/ngày và giảm xuống xấp xỉ 600 thùng/ngày sau 2.800 ngày khai thác.

Sự biến đổi nguồn năng lượng tự nhiên trong vỉa này được biểu diễn theo phương trình hàm mũ $y = 10464 \times e^{9E-4x}$. Hệ số hồi quy giữa phương trình với kết quả từ CRMPE là khá cao, đây là cơ sở để tiếp tục sử dụng phương trình này và đưa ra ước tính lưu lượng bơm ép trong giai đoạn dự báo.

4.2. Ứng dụng mô hình điện dung - điện trở kết hợp mở rộng

ICRMe sẽ áp dụng cho vỉa này để đánh giá nhanh tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn cũng như phân tích mức độ ảnh hưởng năng lượng tự nhiên đến các giếng khai thác, đồng thời là cơ sở cung cấp dữ liệu đầu vào cho Gentil mở rộng để ước tính tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn.

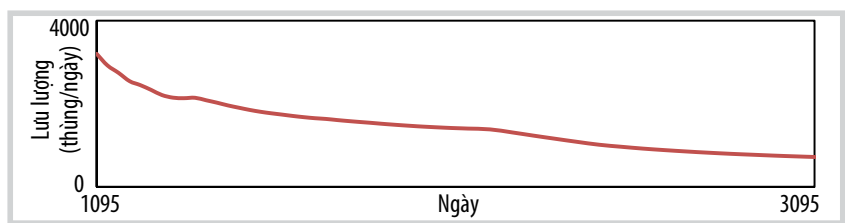
Các giếng bơm ép tương tác với các giếng khai thác trong vỉa. Giếng P_{11} chịu ảnh hưởng lớn nhất và giếng P_{10} gần như không còn chịu tác động bởi nguồn năng lượng tự nhiên.

Tổng lượng chất lưu khai thác theo ICRMe rất sát với số liệu thực tế, R^2 đều trên 0,9 (Hình 15). Kết quả này cho thấy ICRMe là giải pháp hiệu quả để dự báo nhanh tổng lượng chất lưu khai thác cộng dồn cho các vỉa bơm ép nước vẫn còn ảnh hưởng bởi nguồn năng lượng tự nhiên.

ICRMe cũng đánh giá năng lượng tự nhiên trong vỉa đang giảm dần theo thời gian (Hình 16).

Ứng dụng mô hình Gentil mở rộng:

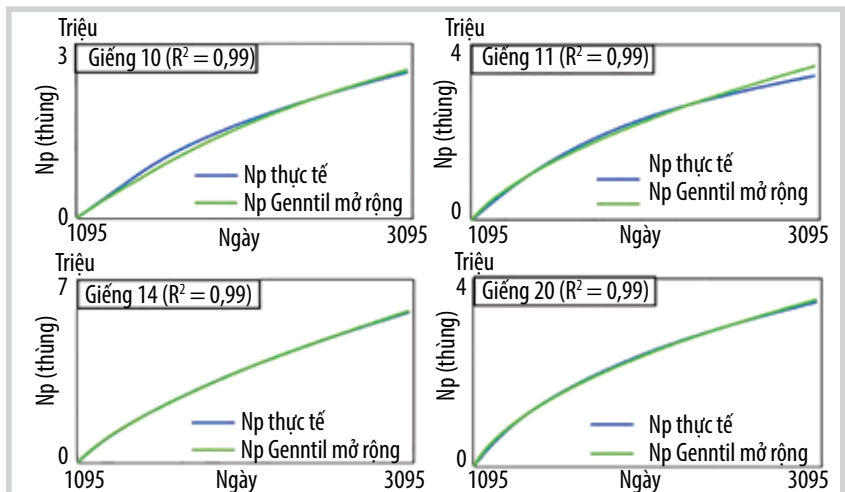
Trên cơ sở kết quả tổng lượng chất



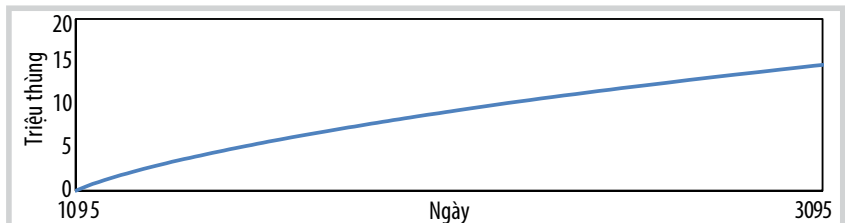
Hình 16. Lưu lượng bơm ép của giếng giả định

Bảng 5. Các thông số thực nghiệm

	P_{10}	P_{11}	P_{14}	P_{20}
A	-17,383	-6,0273	-6,6516	-7,6273
b	1,105	0,4294	0,4276	0,5333



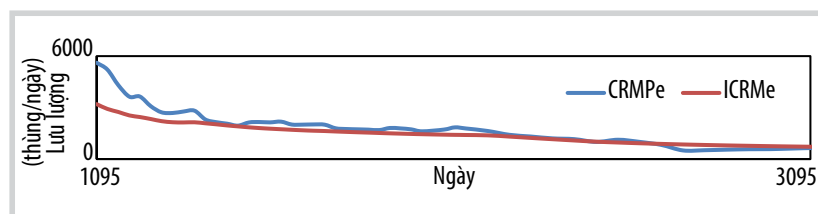
Hình 17. Tổng sản lượng dầu cộng dồn ở các giếng



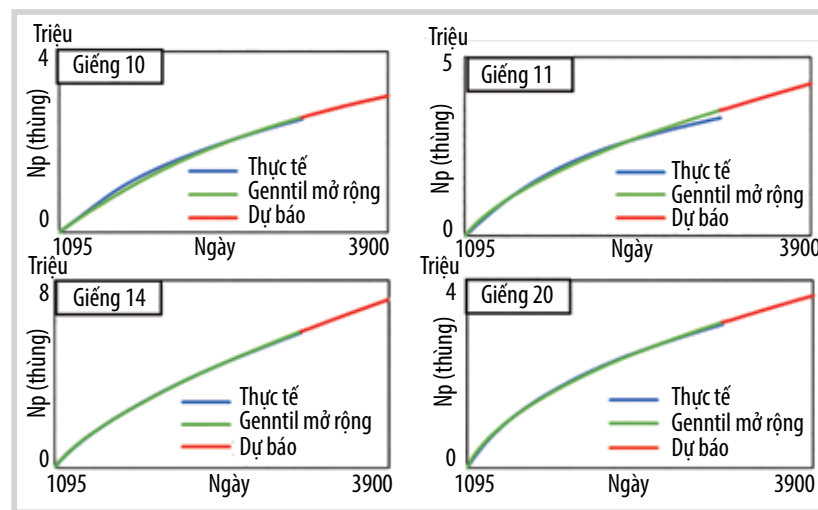
Hình 18. Tổng sản lượng dầu cộng dồn của vỉa

Bảng 6. Bảng so sánh hệ số kết nối giữa ICRMe và CRMPE

			ICRMe	CRMPE
P_{10}	f	I_{15}	0,17	0,16
		I_{25}	0,02	0,01
		I_a	0,00	0,00
	τ		55,20	214,00
P_{11}	f	I_{15}	0,30	0,27
		I_{25}	0,29	0,30
		I_a	0,42	0,45
	τ		197,65	295,08
P_{14}	f	I_{15}	0,31	0,31
		I_{25}	0,35	0,34
		I_a	0,20	0,22
	τ		291,32	531,60
P_{20}	f	I_{15}	0,22	0,26
		I_{25}	0,34	0,33
		I_a	0,32	0,33
	τ		84,16	246,47



Hình 19. Lưu lượng giếng giả định



Hình 20. Dự báo lượng dầu khai thác cộng dồn

lưu cộng dồn vừa được xác định theo ICRMe, mô hình Gentil mở rộng sẽ lấy dữ liệu này làm dữ liệu đầu vào và đưa ra ước tính tổng sản lượng dầu cộng dồn.

Hình 17 cho thấy mô hình Gentil mở rộng khá tốt để ước tính tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn khi biết được tổng lượng chất lưu khai thác. Các hệ số hồi quy đều rất cao.

Tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn của vỉa sau 2.000 ngày bơm ép là gần 15 triệu thùng.

4.3. So sánh kết quả giữa ICRMe và CRMpe

Nhìn chung, hệ số kết nối giữa các cặp giếng bơm ép và khai thác cũng như mức độ ảnh hưởng của nguồn năng lượng tự nhiên được đánh giá từ 2 mô hình ICRMe và CRMpe tương đối giống nhau. Cụ thể, giếng chịu ảnh hưởng lớn nhất là giếng P_{11} và nhỏ nhất là giếng P_{10} - gần như không chịu tác động bởi nguồn năng lượng tự nhiên. Tuy nhiên, ở ICRMe đánh giá thời gian tương tác (hằng số thời gian) của giếng bơm ép đến giếng khai thác là nhanh hơn so với CRMpe.

Hình 19 cho thấy nguồn năng lượng vỉa được ước tính theo ICRMe và CRMpe tương đối giống nhau. Điều này làm tăng mức độ tin cậy cho việc đánh giá giai đoạn sau.

4.4. Dự báo nhanh tổng sản lượng dầu cộng dồn

Sau khi xác định được các thông số biến và các thông số thực nghiệm của mô hình ICRMe, các thông số này được sử dụng để dự báo nhanh.

Kết quả dự báo 805 ngày tiếp theo ở các giếng cho thấy lượng dầu thu được trong giai đoạn này tăng ổn định. Tổng sản lượng dầu khai thác được trong giai đoạn này ở giếng P_{14} là khá cao, hơn 1,5 triệu thùng và tương đối thấp ở giếng P_{10} chỉ với khoảng 0,5 triệu thùng. Kết quả tổng sản lượng dầu thu được từ vỉa này trong 805 ngày tiếp theo là gần 3,14 triệu thùng.

5. Kết luận

Nhằm hoàn thiện và bổ sung cho các nghiên cứu trước trong việc ứng dụng mô hình điện dung - điện trở cho các vỉa tại Việt Nam, nhóm tác giả đã áp dụng quy chuẩn hệ số kết nối tổng về 1 để thuận tiện cho việc đánh giá ảnh hưởng của giếng bơm ép đến giếng khai thác cũng như lựa chọn thực hiện trên Microsoft Excel để đưa ra đánh giá nhanh và hiệu quả.

Nghiên cứu áp dụng CRMpe và ICRMe cho vỉa dầu tại bể Cửu Long, chịu tác động gây nhiễu bởi năng lượng tự nhiên trong dự án bơm ép nước. Kết quả thu được từ 2 mô hình này được so sánh để đánh giá mức độ tương tác giữa các cặp giếng bơm ép - khai thác cũng như mức độ ảnh hưởng năng lượng tự nhiên đến các giếng khai thác.

Nhóm tác giả đã xây dựng mô hình Gentil mở rộng kết hợp với ICRMe và đưa ra dự báo tổng sản lượng dầu khai thác cộng dồn có hệ số hồi quy rất tốt với số liệu thực tế. Từ đó, dự báo nhanh tổng sản lượng dầu thu được trong 805 ngày tiếp theo cho các giếng trong vỉa và cả vỉa dầu. Cụ thể tổng sản lượng dầu dự báo thu được từ vỉa trong giai đoạn này là gần 3,14 triệu thùng.

Tài liệu tham khảo

[1] W.A.Bruce, "An electrical device for analyzing oil-reservoir behavior", *Transactions of the AIME*, 1943, Vol. 151, No. 1. DOI: 10.2118/943112-G.

[2] Byron Wiess, O.L.Patterson, and

K.E.Montague, "High-speed electronic reservoir analyzer", *Drilling and Production Practice*, New York, 1 January 1951.

[3] W.L.Wahl, L.D.Mullins, R.H.Barham, and W.R.Bartlett, "Matching the performance of Saudi Arabian Oil Fields with an electrical model", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 14, No. 11, 1962.

[4] Alejandro Albertoni and Larry W.Lake, "Inferring interwell connectivity only from well-rate fluctuations in waterfloods", *SPE reservoir evaluation & engineering*, Vol. 6, No. 1, 2003. DOI: 10.2118/83381-PA.

[5] Pablo Hugo Gentil, "The use of multilinear regression models in patterned waterfloods: Physical meaning of the regression coefficients", University of Texas at Austin, 2005.

[6] Ali Abdallah Al-Yousef, "Investigating statistical techniques to infer interwell connectivity from production and injection rate fluctuations", University of Texas at Austin, 2006.

[7] Larry W.Lake, Ximing Liang, Thomas F.Edgar, Larry Lake, Ali Al-Yousef, Morteza Sayarpour, and Daniel Weber, "Optimization of oil production base on a capacitance model of production and injection rate", *Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium*, Dallas, Texas, U.S.A., 1 - 3 April 2007. DOI: 10.2118/107713-MS.

[8] Morteza Sayarpour, "Development and application of apacitance-resistive models to water/CO₂ floods". University of Texas at Austin, 2008.

[9] Nguyễn Văn Đô, Trần Văn Tiến, Trần Nguyên Long và Lê Vũ Quân, "Áp dụng mô hình điện dung đánh giá mức độ ảnh hưởng của giếng bơm ép tới giếng khai thác", *Tạp chí Dầu khí*, Số 7, tr. 28 - 36, 2019.

[10] Mohammad Sadeq Shahamat, "Production data analysis of tight and shale reservoirs", University of Calgary, 2014. DOI: 10.11575/PRISM/27446.

[11] Fei Cao, "Development of a two - phase flow coupled capacitance resistance model", University of Texas at Austin, 2014.

[12] Daniel Brent Weber, "The use of capacitance-resistance models to optimize injection allocation and well location in water floods", University of Texas at Austin, 2009.

[13] Rafael Wanderley De Holanda, "Capacitance resistance model in a control systems framework: A tool for describing and controlling waterflooding reservoirs", Texas A&M University, 2015.

[14] Nguyen Anh Phuong, "Capacitance resistance modelling for primary recovery, waterflood and water - CO₂ flood", University of Texas at Austin, 2012.

APPLICATION OF EXTENDED CAPACITANCE - RESISTANCE MODELS FOR WATERFLOODED RESERVOIR

Ta Quoc Dung¹, Huynh Van Thuan¹, Phung Van Hai², Le The Ha³

¹Ho Chi Minh City University of Technology

²Petrovietnam Exploration Production Corporation

³Vietnam Oil and Gas Group

Email: tqdung@hcmut.edu.vn

Summary

This research develops extended capacitance-resistance models (CRMe) for a reservoir in Cuu Long basin, where natural energy sources interfere in the waterflooding energy mechanism, significantly affecting the reliability of forecasting results. The authors have built and combined the CRMe with the extended Gentil model to evaluate cumulative oil production, which is quite close to the actual data. From that, a quick forecast was made that the cumulative oil production of the reservoir in the next 805 days would be nearly 3.14 million barrels.

Key words: Water flooding, extended capacitance-resistance models, cumulative oil production, Cuu Long basin.