

PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH ĐIỆN DUNG - ĐIỆN TRỞ MỞ RỘNG CHO VĨA BƠM ÉP NƯỚC TRONG GIAI ĐOẠN THU HỒI DẦU SƠ CẤP

DEVELOPMENT OF EXTENDED CAPACITANCE – RESISTANCE MODELS FOR
WATER FLOODED RESERVOIR IN THE STAGE OF SECONDARY OIL RECOVERY

Tạ Quốc Dũng^{1*}, Huỳnh Văn Thuận², Trần Thị Mai Hương³, Phùng Văn Hải⁴

^{1,2,3} Khoa Kỹ Thuật Địa Chất và Dầu Khí, Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG TP.HCM

⁴Tổng công ty thăm dò và khai thác dầu khí PVEP

* tqdung@hcmut.edu.vn

Tóm tắt: Nghiên cứu đã áp dụng CRMT, CRMP sửa đổi và CRMpe vào vỉa X. Kết quả thu được cho thấy CRMP mở rộng (CRMpe) đưa ra kết quả hồi quy với số liệu thực tế tương đối tốt hơn CRM sửa đổi. Ngoài ra CRMpe còn cho biết thêm thông tin cụ thể về mức độ ảnh hưởng của nguồn năng lượng tự nhiên còn trong vỉa đến các giếng khai thác, sự sụt giảm của nguồn năng lượng này theo thời gian, cũng như cho phép đánh giá mức độ ảnh hưởng trực tiếp của các giếng bơm ép thực tế đến các giếng khai thác thông qua hệ số kết nối giữa các cặp giếng. Kết quả nghiên cứu đề xuất cải tiến các mô hình CRM cho vỉa bơm ép nước trong giai đoạn nguồn năng lượng tự nhiên còn khá lớn thông qua một giếng bơm ép giả định được đưa trực tiếp vào mô hình CRM. Ngoài ra, mô hình tỷ số dòng Gentil cũng được trình bày cho việc ước tính lưu lượng dầu thông qua nguồn lưu lượng tổng được ước tính từ CRM.

Từ khóa: Mô hình điện dung – điện trở mở rộng, khai thác, thu hồi dầu thứ cấp, bơm ép nước.

Chỉ số phân loại: 2.3

Abstract: Research expands the range of application of capacitance – resistance models, CRM, as well as provide an additional option for the forecasting operation for marginal field. This study will propose extended CRM models for water flooded reservoirs in the period of a high natural energy. The solution to solve this problem is an assumption injection well added to the CRM models. In addition to, Gentil fractional model is also presented for estimating oil rate via the total rate determined from CRM models.

Từ khóa: Extended capacitance – resistance model, production, CMR, secondary oil recovery, water flooded.

Classification number: 2.3

1. Giới thiệu

Để có các kết quả phân tích trong dự án thu hồi dầu bằng hai nguồn năng lượng tự nhiên và năng lượng bơm ép nước với nguồn số liệu có sẵn nhưng hạn chế, đồng thời đưa ra giải pháp kinh tế là điều rất khó khăn. Bài báo này, đề xuất một giải pháp cải tiến từ mô hình điện dung - điện trở truyền thống, nhằm mở rộng phạm vi ứng dụng cho giải pháp CRM cũng như cung cấp thêm một lựa chọn mới cho các kỹ sư mỏ và các kỹ sư khai thác để phân tích, lấy thêm một số thông tin của vỉa đang khai thác đồng thời đưa ra chiến lược khai thác hiệu quả nhất.

2. Tổng quan về CRM

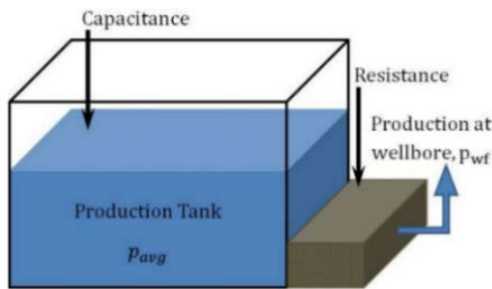
Mô hình điện dung - điện trở được xây dựng từ mối tương tác giữa vỉa dầu và mạch điện dao động RC. Dựa trên các thí nghiệm mô phỏng vỉa của các phần tử điện, mỗi phần

tử điện được xem như là một ô khối để mô phỏng mô hình vỉa dầu. L. Lake và Albertoni [1], phát triển kết quả thí nghiệm này thành các phương trình toán học, tạo ra một giải pháp mới mang tên CRM. Để có thể xây dựng được mô hình CRM, cần xác định hai biến chính là hằng số thời gian – τ (time constant) và hệ số kết nối – f (connectivity) của từng cặp giếng bơm ép – khai thác.

2.1. Sự tương tự giữa mạch điện RC và CRM

Dòng chất lưu trong lỗ rỗng có nhiều điểm tương tự với dòng điện trong dây dẫn mạch RC. Dòng điện I (Ampe) chạy trong dây dẫn là kết quả của sự chênh lệch điện thế ΔU (Volt) trên mạch điện [2]. Trong mạch điện, dòng điện tuân theo định luật Ohm, $I = \Delta U/R$ với R (Ohm) là tổng điện trở mạch [2].

Tương tự thế, trong lĩnh vực dầu khí, dòng chảy trong vỉa là kết quả của sự chênh lệch áp suất và tuân theo định luật Darcy, $q = \Delta P/R$ [2], với $\Delta P = P_{avg} - P_{wf}$ (Psi), là sự chênh lệch áp suất giữa áp suất trung bình vỉa (P_{avg}) và áp suất đáy giếng (P_{wf}). Trờ R 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), nơi mà dòng chảy đi qua trong vỉa. Trờ R theo công thức Darcy thì không có sẵn, nhưng có thể xây dựng dựa trên các thông số có tính chất cản trở dòng chất lưu trong vỉa [2].



Hình 1. Mô hình thủy lực vỉa [2].

Trong lĩnh vực kỹ thuật điện, tụ điện là một thiết bị dùng để tích trữ năng lượng, đại lượng đặc trưng cho tụ là điện dung C (Fara). Tụ giải phóng năng lượng theo phương trình Faraday, $I = C \frac{dU}{dt}$ [2]. Tương tự vậy, trong vỉa dầu, tụ C là khả năng cung cấp năng lượng của vỉa dưới dạng áp suất, thể hiện bằng tổng chất lưu thu được khi áp suất vỉa giảm. Tụ vỉa giải phóng năng lượng theo phương trình hệ số nén $C_{nén} = -\frac{1}{V} \frac{dv}{dp}$ (Psi⁻¹). Nguồn năng lượng này sẽ được giải phóng khi bắt đầu khai thác [2].

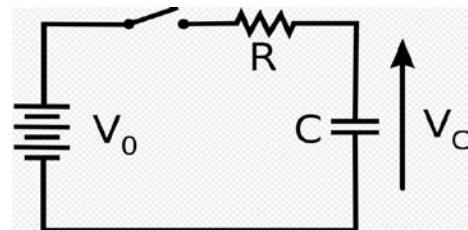
Bảng 1. Mối liên hệ giữa các thông số mạch điện RC và mô hình CRM [2].

	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	$C = I \frac{dt}{dU}$	$C = -q \frac{dt}{dP}$

2.2. Các thông số cơ bản của mô hình CRM

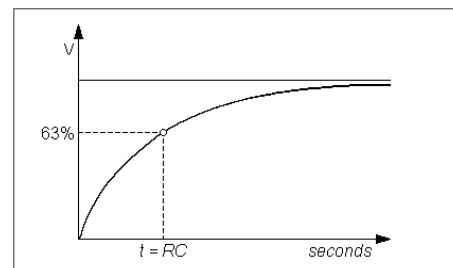
2.2.1. Hằng số thời gian (τ)

Trong vật lý và kỹ thuật, hằng số thời gian là một thông số đặc trưng phản hồi khoảng thời gian biến động tuyến tính trong giai đoạn đầu của hệ thống. Để hiểu rõ hơn, ví dụ rằng có một mạch điện RC đơn giản như hình 2.



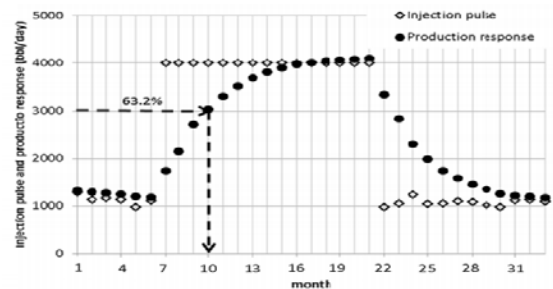
Hình 2. Sơ đồ mạch điện RC đơn giản [3].

Để xác định hằng số thời gian, ta đặt vào mạch một hiệu điện thế V_0 , khi đóng khóa k dòng điện đi qua điện trở R và nạp điện cho tụ điện C . Kết quả điện áp trên tụ sẽ tăng dần theo đồ thị hình 3, với trục tung biểu thị giá trị điện áp của tụ, trục hoành là thời gian. 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 và hằng số thời gian $\tau = RC$ [4].



Hình 3. Sự biến đổi điện áp trên tụ theo thời gian.

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



Hình 4. Sự biến đổi lưu lượng bơm ép và thông tin phản hồi từ giếng khai thác [4].

Hình 4 cho thấy khi lưu lượng bơm ép tăng nhảy vọt từ tháng thứ 6 đến tháng thứ 22 thì thu được tính 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, ta thấy 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.

Trong lĩnh vực dầu khí hằng số thời gian được xác định theo công thức:

$$\tau_{ij} = \left(\frac{c_t V_p}{J_t} \right)_{ij} \quad [5] \quad (1)$$

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 (bbl);

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

C_t : Hệ số nén tổng (psi⁻¹).

2.2.2. Hệ số kết nối - Connectivity (f)

Cũng như hằng số thời gian, hệ số kết nối cũng là một thông số quan trọng và bắt buộc phải xác định trong mô hình điện dung - điện trở. 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 . Tổng tất cả các hệ số kết nối của giếng i với các giếng khai thác phải nhỏ hơn hoặc bằng 1 [5]. Nếu có sự mất chất lưu trong quá trình bơm ép thì hệ số kết nối sẽ nhỏ hơn 1 và hệ số kết nối được giả sử là hằng theo thời gian.

3. Những 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:

$$C_t V_p \frac{d\bar{p}}{dt} = i(t) - q(t) \quad [5] \quad (2)$$

Phương trình lưu lượng khai thác:

$$q(t) = J(\bar{p} - p_{wf}) \quad [5] \quad (3)$$

Kết hợp phương trình (1), (2), (3) ta được:

$$\frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} q(t) = \frac{1}{\tau} j(t) - J \frac{dp_{wf}}{dt} \quad (4)$$

Trong đó:

$\bar{p}(t)$: Áp suất trung bình vỉa ở thời điểm t (psi);

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

$q(t)$: Lưu lượng khai thác của giếng khai thác ở thời điểm t (bbl/ngày);

$i(t)$: Lưu lượng bơm ép của giếng bơm ép ở thời điểm t (bbl/ngày);

$p_{wf}(t)$: Áp suất đáy giếng của giếng khai thác ở thời điểm t (psi).

Sau khi xây dựng phương trình ta thấy lưu lượng khai thác phụ thuộc chủ yếu vào ba thành phần chính là:

$$q(t) = q(t_0) e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)} + I(t) (1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)}) - (c_t V_p) \left(\frac{p_{wf,t} - p_{wf,0}}{t-t_0} \right) (1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)}) \quad (5)$$

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, $I(t) (1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)})$.

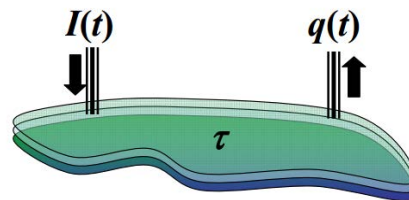
Lượng thể tích ảnh hưởng do sự co giãn vật chất của vỉa, $(c_t V_p) \left(\frac{p_{wf,t} - p_{wf,0}}{t-t_0} \right) (1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\tau}\right)})$.

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

Nghiên cứu này thực hiện áp dụng hai mô hình CRM sau:

- Kiểm soát trên toàn bộ mỏ (CRMT).
- Kiểm soát cho một giếng khai thác và nhiều giếng bơm ép xung quanh (CRMpe, Extended CRM – CRMP mở rộng).

3.2.1. CRMT – Kiểm soát cho toàn mỏ



Hình 5. Mô hình minh họa mỏ gồm một giếng bơm ép và một giếng khai thác [5].

Tổng hợp lưu lượng ở các giếng khai thác vào trong một giếng khai thác giả định và lưu lượng bơm ép của tất cả các giếng bơm ép cho mỏ vào một giếng bơm ép giả định.

Phương trình lưu lượng giếng khai thác giả định:

$$q(t) = I(t) - \frac{c_t V_p}{J} \frac{dq(t)}{dt} - c_t V_p \frac{dp_{wf}(t)}{dt} \quad (6)$$

Trên thực tế một phần nước bơm ép có thể bị mất vào trong vỉa hoặc đi ra ngoài vùng kiểm soát bơm ép (dòng đi vào tầng nước đáy,...), khi đó hệ số kết nối f được đưa vào phương trình (6) để đảm bảo tính cân bằng vật chất trong mô hình:

$$q(t) = fI(t) - \frac{c_t V_p}{J} \frac{dq(t)}{dt} - c_t V_p \frac{dp_{wf}(t)}{dt} \quad [5] \quad (7)$$

Với $\tau = \frac{c_t V_p}{J}$:

$$q(t) = fI(t) - \tau \frac{dq(t)}{dt} - J\tau \frac{dp_{wf}(t)}{dt} \quad (8)$$

Dựa trên sự biến đổi liên tục của lưu lượng bơm ép giữa dữ liệu từ hai điểm. Với giả thuyết SVIR - Step variation of injection rate, lưu lượng bơm ép là hằng và áp suất đáy giếng tuyến tính trong từng bước Δt (ngày) từ $I_{(k-1)}$ đến $I_{(k)}$ [6]. Xét trên từng khoảng, ta xác định được lưu lượng khai thác tại bước thứ k :

$$q_k = q_{(k-1)} e^{-\Delta t/\tau} + (1 - e^{-\Delta t/\tau}) (fI_k - J\tau \frac{p_{wf}^{(k)} - p_{wf}^{(k-1)}}{\Delta t}) \quad [6] \quad (9)$$

Phương pháp hồi quy không tuyến tính đa biến

Những thông số biến (hệ số kết nối và hằng số thời gian) được ước tính bằng phương pháp hồi quy không tuyến tính thông qua phương trình:

$$Min z = \sum_{k=1}^{n_t} (\sum_{j=1}^{n_p} q_{jk}^{obs} - q_k)^2 \quad [5] \quad (10)$$

Trong đó:

q_{jk}^{obs} : Tổng lưu lượng khai thác quan sát từ giếng khai thác j ở bước thời gian thứ k (bbl/n);

q_k : Tổng lưu lượng khai thác tính toán được ở bước thời gian thứ k (bbl/n);

n_p : Tổng số giếng khai thác;

n_t : Tổng số bước xem xét.

3.2.2. CRMPE – Kiểm soát cho một giếng khai thác và nhiều giếng bơm ép xung quanh

Xây dựng để kiểm soát vùng thể tích xung quanh giếng khai thác mô tả mối quan hệ phụ thuộc giữa các giếng bơm ép thực, giả định và giếng khai thác thông qua hệ số kết nối và hằng số thời gian. Tổng lưu lượng ở giếng khai thác tại thời điểm t :

$$q_j(t) = \sum_{i=1}^{n_i} f_{ij} I_i(t) + f_{aj} I_{ak}(t) - \tau_j \frac{dq_j(t)}{dt} - J_j \tau_j \frac{dp_{wf}^{(j)}(t)}{dt} \quad (11)$$

Trong đó:

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

f_{ij} : Hệ số kết nối giữa giếng bơm ép i và giếng khai thác j ;

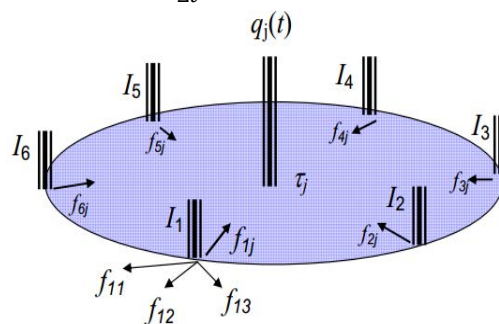
$I_i(t)$: Lưu lượng bơm ép của giếng bơm ép i ở thời điểm t (bbl/n);

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

$I_a(t)$: Lưu lượng bơm ép của giếng bơm ép giả định (bbl/n).

Áp dụng giả thuyết SVIR cho phương trình (11). Khi đó lưu lượng khai thác giếng j tại thời điểm k là $q_j(k)$:

$$q_{jk} = q_{j(k-1)} e^{-\Delta t/\tau_j} + (1 - e^{-\Delta t/\tau_j}) (\sum_{i=1}^{n_i} f_{ij} I_{ik} + f_{aj} I_{ak} - J_j \tau_j \frac{p_{wf}^{(j,k)} - p_{wf}^{(j,k-1)}}{\Delta t}) \quad (12)$$



Hình 6. Mô hình minh họa vỉa bằng CRMP [5].

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:

$$Min z = \sum_{k=1}^{n_t} \sum_{j=1}^{n_p} (q_{jk}^{obs} - q_{jk})^2 \quad [5] \quad (13)$$

Trong đó:

q_{jk} : Tổng lưu lượng khai thác của các giếng khai thác ở bước thứ k .

Hàm xác định chính (13) bị ràng buộc bởi:

$$\sum_{j=1}^{n_p} f_{ij} \leq 1 \text{ cho giếng bơm ép [5];}$$

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

$f_{ij}, f_{aj}, \tau_j \geq 0$ cho tất cả các giếng bơm ép i và giếng khai thác j [5].

3.3. Mô hình thực nghiệm Gentil mở rộng

Nhằm kết hợp với CRM, Gentil (2005) đã đưa ra mô hình tỷ số dòng thực nghiệm, để tính toán lượng dầu khai thác dựa trên số liệu lưu lượng tổng thu được:

$$q_{oik} = \frac{q_{jk}}{1 + \alpha_j CWI_{jk}^{\beta_j}} \quad [7] \quad (14)$$

Trong đó: CWI_{jk} (bbl) là tổng lượng nước bơm ép cộng dồn từ tất cả các giếng bơm ép trong vỉa từ khi bắt đầu bơm ép đến giai đoạn k :

$$CWI_{jk} = \sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} f_{ij} I_{ik} \quad [7] \quad (15)$$

α_j và β_j là các thông số thực nghiệm khác nhau cho từng giếng khai thác. Các hệ số thực nghiệm này được xem là hằng và sử dụng để ước tính lượng dầu khai thác trong giai đoạn tiếp theo.

Công thức (14) được đưa về dạng tuyến tính thông qua hàm $\log(e)$ (CWI)– $\log(e)$ (WOR):

$$\ln\left(\frac{q_{jk}}{q_{oik}} - 1\right) = \ln\left(\frac{q_{wjk}}{q_{oik}}\right) = \ln(\alpha_j) + \beta_j \ln(CWI_{jk}) \quad (16)$$

Trong đó: q_{wjk} là lưu lượng nước khai thác ở giếng j tại giai đoạn k (bbl/n).

Các thông số thực nghiệm của mô hình được xác định thông qua công thức tổng bình phương sai số nhỏ nhất:

$$\text{Min } z = \sum_{k=k_{oil}}^{n_i} (LWOR_{jk} - (\ln(\alpha_j) + \beta_j \ln(CWI_{jk})))^2 \quad (17)$$

Trong đó:

$LWOR_{jk}$: log cơ số e của tỷ số lưu lượng nước/dầu quan sát được ở giếng khai thác j tại giai đoạn k ;

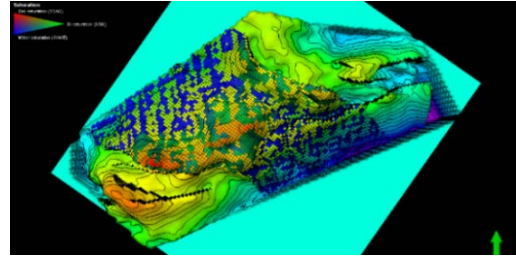
k_{oil} : Thời điểm đầu tiên được xem xét đánh giá lưu lượng dầu thu hồi được khi nước bắt đầu xuất hiện nhiều trong lưu lượng tổng.

Điều kiện biên của phương trình (17) là:

$$\beta_j \geq 0 \quad [7] \quad (18)$$

4. Ứng dụng các mô hình CRM

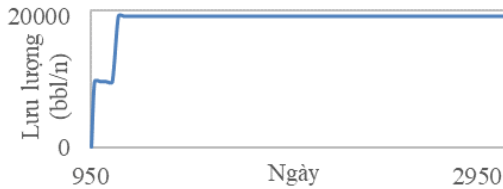
Nghiên cứu này thực hiện ứng dụng CRM trên vỉa X ở bồn trũng Cửu Long.



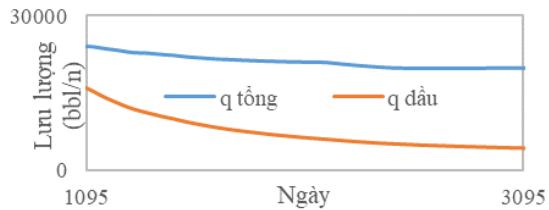
Hình 7. Mô hình mở X .

Vỉa X là vỉa nằm ngang không đồng nhất, các độ thấm theo phương ngang và phương đứng biến đổi khác nhau tại từng khu vực. Vỉa này được khai thác bằng cơ chế giãn nở tự nhiên trong 949 ngày đầu và tiến hành bơm ép vào ngày thứ 950. Thời điểm xem xét áp dụng mô hình CRM cho vỉa là ngày thứ 1095.

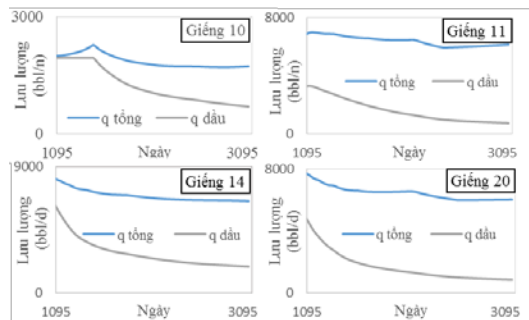
Lưu lượng bơm ép và lưu lượng khai thác được xuất ra từ các phần mềm thương mại. Nguồn dữ liệu này được xem như nguồn dữ liệu thực tế để xây dựng các mô hình CRM cho vỉa. Nghiên cứu thực hiện xem xét cho vỉa với sáu giếng hoạt động (bốn giếng khai thác và hai giếng bơm ép).



Hình 8. Lưu lượng bơm ép tổng của mô X .



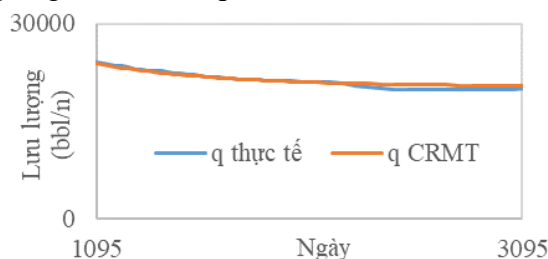
Hình 9. Lưu lượng khai thác mở X .



Hình 10. Lưu lượng khai thác ở các giếng.

4.1. Ứng dụng mô hình CRMT cho vỉa X

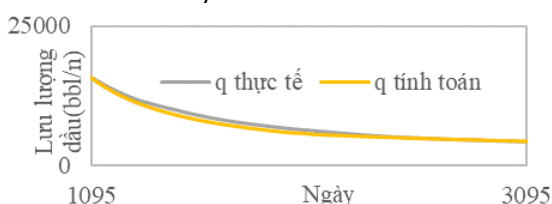
CRMT sẽ được áp dụng cho vỉa X để đánh giá tổng quan. Các giá trị lưu lượng khai thác và lưu lượng bơm ép sẽ được tổng hợp vào hai giếng (một bơm ép và một khai thác).



Hình 11. Lưu lượng chất lưu được ước tính theo CRMT.

Giá trị lưu lượng khai thác được ước tính theo mô hình CRMT khá sát với số liệu thực tế, các thông số biến sau khi chạy hồi quy không tuyến tính đa biến lần lượt là: $\tau = 622$ ngày, $f = 1,012$. Với hằng số thời gian là $f = 1,012 \geq 1$, chỉ với một cặp giếng, điều này cho thấy rằng vỉa này vẫn còn nguồn năng lượng tự nhiên tồn đọng.

Dựa trên lưu lượng tổng vừa thu được, kết hợp với mô hình Gentil để ước tính lưu lượng dầu. Các thông số thực nghiệm xác định được từ mô hình Gentil lần lượt là: $\alpha = 0,000312908$ và $\beta = 0,6967$.



Hình 12. Lưu lượng dầu được ước tính theo mô hình Gentil.

Từ đồ thị hình 12, cho thấy đường lưu lượng dầu ước tính theo mô hình rất sát với số liệu dầu thực tế. Với kết quả này, biểu thị rằng độ tin cậy của các thông số thực nghiệm là rất tốt. Cơ sở để tiếp tục dự báo cho giai đoạn tiếp theo.

4.2. Ứng dụng mô hình CRMP cho vỉa X

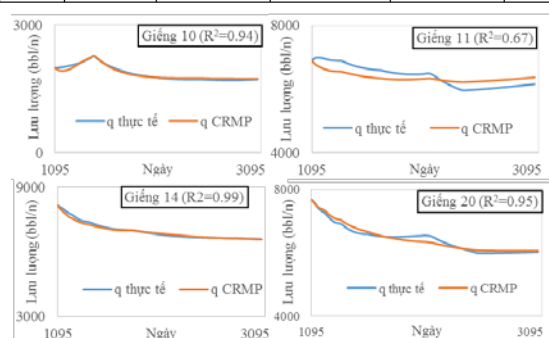
4.2.1. Mô hình CRMP sửa đổi

Sau khi áp dụng mô hình CRMT cho vỉa X, ta thấy rằng vỉa này vẫn còn nguồn năng lượng tự nhiên. Vì thế CRMP sửa đổi [8], sẽ

được áp dụng, trong giải pháp này các ràng buộc cho các biến mô hình CRM truyền thống sẽ được loại bỏ. Khi đó nguồn năng lượng tự nhiên sẽ được đánh giá thông qua hệ số kết nối của các giếng bơm ép thực tế, cụ thể hơn là tổng phần dư hệ số kết nối tổng của các giếng bơm ép hiệu đi 1 [8].

Bảng 2. Các thông số biến ước tính theo CRMP sửa đổi.

	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₄	P ₂₀	Tổng
f _{15,j}	0,17	0,32	0,30	0,26	1,05
f _{25,j}	0,00	0,37	0,35	0,35	1,04
τ_j	75,80	1641,93	1862,53	2149,53	



Hình 13. Lưu lượng tổng ước tính theo CRMP sửa đổi.

Hình 13 thể hiện lưu lượng chất lưu được ước tính theo mô hình CRM sửa đổi tương đối sát với dữ liệu thực tế ở hầu hết các giếng. Tuy nhiên ở giếng P₁₁ kết quả thu được tương đối sai lệch, điều này có thể đưa đến kết quả dự báo trong giai đoạn tiếp theo sẽ có độ tin cậy không cao.

Hệ số kết nối giữa các giếng bơm ép với các giếng khai thác biểu thị rằng nguồn năng lượng tự nhiên vẫn còn tồn đọng trong vỉa, khi hầu hết các giếng bơm ép đều có tổng hệ số kết nối lớn hơn 1. Với kết quả này, CRMT và CRMP sửa đổi đều xác định rằng vỉa vẫn còn nguồn năng lượng tự nhiên. Tuy nhiên hai mô hình hiện tại chưa phân tích được nguồn năng lượng tự nhiên còn lại cụ thể trong giếng khai thác nào, và sự sụt giảm nguồn năng lượng này theo thời gian ra sao, cũng như chưa phân tích được mức độ ảnh hưởng của các giếng bơm ép thực tế đến các giếng khai thác.

4.2.2. Mô hình CRMP mở rộng – CRMPe

Nhằm có thể giải quyết những khó khăn hiện tại. Trong mô hình CRMP, một giếng

bơm ép giả định độc lập sẽ được đưa vào để đại diện cho nguồn năng lượng tự nhiên còn tồn đọng trong vỉa.

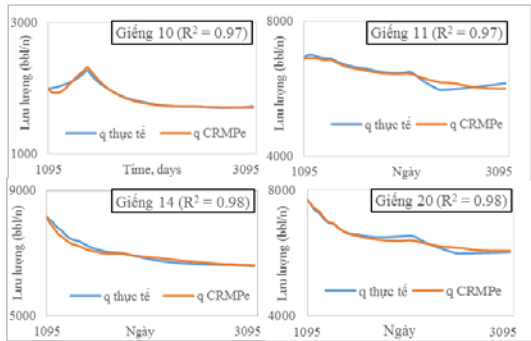
Khi đó các giếng khai thác có hệ số kết nối với giếng bơm ép giả định khác không, tức các giếng này vẫn còn tồn tại nguồn năng lượng tự nhiên. Cũng như đánh giá được mức độ ảnh hưởng trực tiếp các giếng bơm ép thực tế đến các giếng khai thác. Từ đó các kỹ sư có thể đưa ra chiến lược bơm ép thích hợp nhất ứng với từng khu vực.

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	0,42	0,27	0,31	1,00
τ _j	214,00	29,08	531,60	246,47	

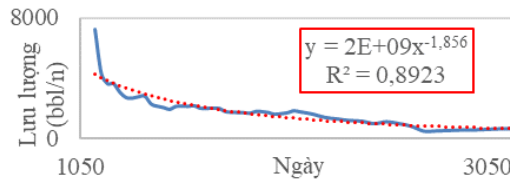
Hầu hết các giếng khai thác đều đang chịu ảnh hưởng bởi nguồn năng lượng tự nhiên. Lớn nhất là giếng P₁₁ (f_{as,11} = 0,42) và chỉ giếng P₁₀ cạn kiệt nguồn năng lượng tự nhiên với f_{as,10} = 0.

Từ bảng 3, giếng bơm ép I₂₅ bị mất một phần nguồn năng lượng vào vỉa, khi tổng hệ số kết nối của giếng này với các giếng khai thác chỉ là 0,98.



Hình 14. Lưu lượng tổng ước tính theo CRMPe.

Nhìn chung lưu lượng chất lưu được ước tính theo mô hình CRMPe khá sát với lưu lượng thực tế, hình 14. Hầu hết hệ số hồi quy giữa dữ liệu mô hình và thực tế đều trên 0,9. Điều này cho thấy CRMPe đã cải thiện được mức độ tin cậy, để từ đó có thể áp dụng cho các vỉa bơm ép bị nhiễu dữ liệu dự báo bởi nguồn năng lượng tự nhiên.



Hình 15. Lưu lượng bơm ép giếng giả định.

Giếng giả định được đưa vào mô hình CRMP để biểu thị cho nguồn năng lượng tự nhiên trong vỉa. Hình 15, sự biến đổi lưu lượng bơm ép của giếng giả định cũng như sự sụt giảm nguồn năng lượng tự nhiên trong vỉa theo thời gian. Kết quả cho thấy, nguồn năng lượng tự nhiên trong vỉa sụt giảm khá nhanh trong giai đoạn khoảng 150 ngày đầu tiên khi dự án bơm ép nước được đưa vào và suy giảm chậm trong giai đoạn sau. Vì thế khi áp dụng các CRM truyền thống, nguồn năng lượng tự nhiên này sẽ làm nhiễu các thông số tính toán trong công tác dự báo khai thác. Sự biến đổi nguồn năng lượng tự nhiên trong vỉa này được biểu diễn theo phương trình hàm mũ $y = 2 \cdot 10^9 \cdot x^{-1,856}$. Hệ số hồi quy giữa phương trình này với kết quả từ CRMPe là khá cao. Cơ sở để tiếp tục sử dụng phương trình này và đưa ra ước tính lưu lượng bơm ép của giếng giả định trong giai đoạn tiếp theo.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã giới thiệu việc xây dựng mô hình điện dung – điện trở bắt nguồn từ mối liên hệ tương tự giữa hệ thống mạch điện RC và hệ thống vỉa dầu, cũng như xem xét mối liên hệ tương tự cho từng thông số cụ thể giữa hai hệ thống.

Xây dựng mô hình CRM mở rộng (CRMPe), giếng bơm ép giả định cho vỉa, nơi mà nguồn năng lượng tự nhiên vẫn còn trong cơ chế năng lượng chung của vỉa thu hồi dầu thứ cấp. Ngoài ra, mô hình tỷ số dòng Gentil cũng được đề xuất để ước tính lưu lượng dầu thông qua nguồn lưu lượng tổng được ước tính từ CRM.

Nghiên cứu đã áp dụng CRMT, CRMP sửa đổi của các nghiên cứu trước và CRMPe vào vỉa X. Kết quả thu được cho thấy CRMP mở rộng cho ra kết quả hồi quy với số liệu thực tế tương đối tốt hơn CRM sửa đổi. Ngoài ra CRMPe còn cho biết thêm thông tin cụ thể về mức độ ảnh hưởng của nguồn năng lượng tự nhiên còn trong vỉa đến các giếng khai thác,

sự sụt giảm của nguồn năng lượng này theo thời gian, cũng như cho phép đánh giá mức độ ảnh hưởng trực tiếp của các giếng bơm ép thực tế đến các giếng khai thác thông qua hệ số kết nối giữa các cặp giếng, thay vì chỉ thu được các hệ số kết nối bị nhiễu như các mô hình CRM truyền thống □

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG – HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T0-ĐCDK-2018-05.

Tài liệu tham khảo

- [1] Larry W.Lake, Alejandro Albertoni, *Inferring Interwell Connectivity Only From Well-Rate Fluctuations In Waterfloods*, SPE, 2003.
- [2] M. S. Shahamat, *Production Data Analysis of Tight and Shale Reservoirs*, Mohammad Sadeq Shahamat, Calgary, Canada, May, 2014.
- [3] *Điện tử/Mạch Điện Điện Tử/Mạch RC Nối Tiếp*, WikiBooks, [Online]. Available: https://vi.wikibooks.org/wiki/Điện_tử/Mạch_Điện_Tử/Mạch_RC_Nối_Tiếp. [Accessed 24 March 2018].
- [4] F. Cao, *Development of a Two – Phase Flow Coupled Capacitance Resistance Model*, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 2014.
- [5] B. Daniel Brent Weber, *The Use of Capacitance-Resistance Models to Optimize Injection*, University of Texas at Austin, Austin, Texas, August 2009.
- [6] M. Sayarpour, *Development and Application of Capacitance-Resistive Models to Water/CO2 Floods*, University of Texas at Austin, Austin, Texas, August 2008.
- [7] B. Pablo Hugo Gentil, *The Use of Multilinear Regression Models in Patterned Waterfloods*, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, August, 2005.
- [8] S. Altaheini and A.Al - Towijri, Saudi Aramco; T. Ertakin, *Introducing A New Capacitance - Resistance model And Solutions To Current Modeling Limitations*, SPE, 2016.

Ngày nhận bài: 10/3/2019

Ngày chuyển phản biện: 13/6/2019

Ngày hoàn thành sửa bài: 4/7/2019

Ngày chấp nhận đăng: 11/7/2019