

## QUẢN LÝ GIẾNG BƠM ÉP NƯỚC BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TRỞ ĐIỆN DUNG VÀ ĐỒ THỊ HALL

**Nguyễn Văn Đô**

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: donv@vpi.pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2021.04-03>

### Tóm tắt

Khi tiến hành bơm ép nước duy trì áp suất mỏ, việc giám sát và đánh giá quá trình bơm ép nước nhằm nâng cao hiệu quả thu hồi dầu đóng vai trò quan trọng. Sự suy giảm độ tiếp nhận của giếng bơm ép nước gây ra các vấn đề phức tạp, ảnh hưởng không tốt tới các thiết bị trên bề mặt cũng như thiết bị trong lòng giếng. Ngoài ra việc bơm ép không đúng lưu lượng gây ra hiện tượng ngập nước sớm tại các giếng khai thác ảnh hưởng đến thu hồi dầu. Bài báo giới thiệu chương trình quản lý giếng bơm ép nước bằng phương pháp điện trở điện dung và đồ thị Hall (Hall plot) nhằm hạn chế tối thiểu các vấn đề phức tạp này.

**Từ khóa:** Bơm ép nước, đồ thị Hall, mô hình điện trở điện dung, mô hình Koval, mỏ Sư Tử Đen.

### 1. Giới thiệu

Kỹ thuật bơm ép nước duy trì áp suất mỏ đã được chứng minh là phương pháp hiệu quả để nâng cao hiệu quả thu hồi dầu nhờ các ưu thế trong việc đẩy dầu và có giá thành thấp hơn so với các phương pháp sử dụng các chất bơm ép khác. Khi tiến hành bơm ép nước, cần thiết phải giám sát và quản lý hiệu quả của các giếng bơm ép nhằm duy trì áp suất mỏ, tránh hiện tượng nước xâm nhập vào giếng khai thác sớm làm ảnh hưởng đến thu hồi dầu. Bất kỳ sự thay đổi nào về khả năng tiếp nhận của giếng bơm ép nước đều có thể ảnh hưởng tới áp suất vỉa, hiệu suất quét và tốc độ khai thác dầu.

Dựa trên nguyên lý xếp chồng toán học và các phương trình liên tục, Viện Dầu khí Việt Nam (VPI) đã phát triển mô hình điện trở điện dung (Capacitance Resistance Model - CRM) để đánh giá mức độ ảnh hưởng của bơm ép nước tới giếng khai thác cũng như phương pháp đồ thị Hall và đạo hàm để giúp các nhà thầu quản lý giếng bơm ép nâng cao hiệu quả khai thác.

### 2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.1. Mô hình điện trở điện dung kết hợp với mô hình Koval trong quản lý và dự báo độ ngập nước

So với mô hình điện trở điện dung đã xây dựng [1] thì mô hình hiện nay đã được tối ưu hơn về thuật toán cũng như thêm sự kết hợp với mô hình Koval.

Mô hình điện trở điện dung vẫn được xây dựng theo mô hình CRMIP dựa trên công thức sau:

$$q_i(t_n) = \sum_{j=1}^{N_{ij}} q_{ij}(t_n) = \sum_{j=1}^{N_{ij}} q_{ij}(t_0) e^{-\frac{(t_n - t_0)}{\tau_{ij}}} + \sum_{j=1}^{N_{ij}} f_{ij} \left[ i_i(t_n) - e^{-\frac{(t_n - t_0)}{\tau_{ij}}} i_i(t_0) \right] - \sum_{j=1}^{N_{ij}} \left\{ \tau_{ij} \sum_{k=1}^n e^{-\frac{(t_n - t_k)}{\tau_{ij}}} \left( 1 - e^{-\frac{\Delta t_k}{\tau_{ij}}} \right) \left( \frac{f_{ij} \Delta t_k^{(k)}}{\Delta t_k} + J \frac{\Delta p_{wf,j}^{(k)}}{\Delta t_k} \right) \right\} \quad (1)$$

Trong đó:

$i$ : Số lượng giếng bơm ép;

$i_i$ : Lưu lượng bơm ép;

$j$ : Hệ số sản phẩm;

$\Delta p_{wf,j}$ : Hiệu số áp suất đáy;

$t_0$ : Thời gian ban đầu;

$f_{ij}$ : Sự tương tác của giếng bơm ép tới giếng khai thác ( $0 \leq f \leq 1$ );

$t_n$ : Thời gian;



Ngày nhận bài: 2/3/2021. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 2 - 30/3/2021.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 1/4/2021.

$\tau_{ij}$ : Thời gian tương tác;

$q_{ij}(t_n)$ : Lưu lượng khai thác theo thời gian;

$\Delta t_i$ : Bước nhảy thời gian bơm ép;

$q_{ij}(t_0)$ : Lưu lượng khai thác ban đầu;

$n$ : Tổng số điểm đưa vào;

$k$ : Số điểm từ 1-n.

### 2.1.1. Mô hình Koval

Mô hình Koval được đề xuất bởi Cao [2] sẽ được sử dụng để tính toán tỷ phần nước trong lỗ rỗng bằng cách xem xét các ảnh hưởng của tính bất đồng nhất và độ nhớt tương đối như sau:

$$f_w = \begin{cases} 0 & t_D < \frac{1}{K_{val}} \\ \frac{K_{val} - \sqrt{\frac{K_{val}}{t_D}}}{K_{val} - 1} & \frac{1}{K_{val}} < t_D < K_{val} \\ 1 & t_D \geq K_{val} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó,  $K_{val}$  là hệ số Koval, phản ánh tính bất đồng nhất của vỉa và độ nhớt của chất lưu. Hệ số Koval lớn thường hàm ý mức độ không đồng nhất của vỉa cao hoặc tỷ lệ độ nhớt dầu - nước cao.  $t_D$  là thời gian không thứ nguyên biểu thị lưu lượng bơm ép cộng dồn.

$$t_D = \frac{\sum_k \sum_i f_{ij} I_i}{V_{pj}} \quad (3)$$

Trong đó:

$f_{ij}$ : Hệ số tương tác có thể được ước tính bằng cách sử dụng mô hình CRMIP cải tiến để khớp lịch sử;

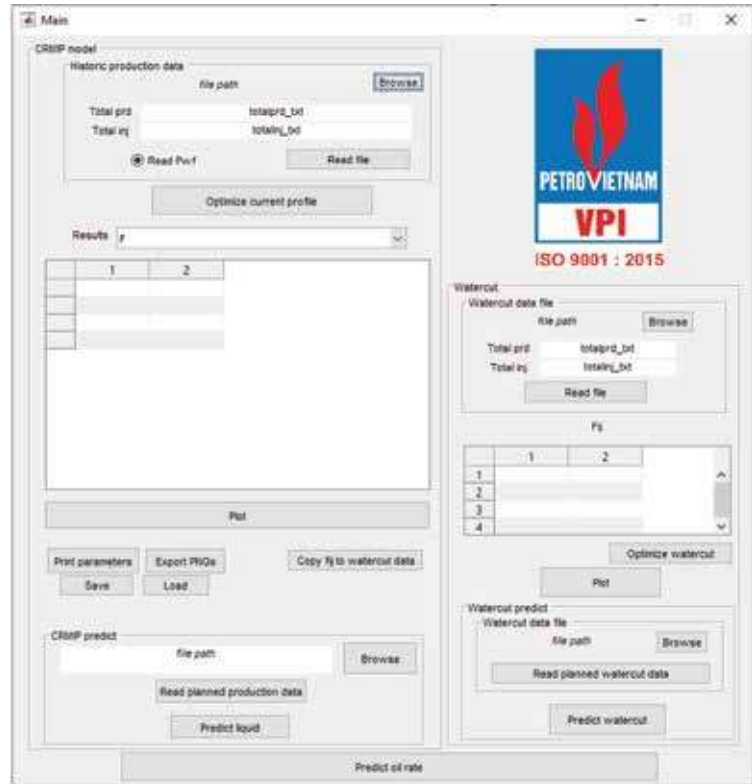
$V_{pj}$ : Lưu lượng kênh dẫn của 1 cặp giếng bơm ép - khai thác, thùng;

$I_i$ : Sự đóng góp giếng bơm ép đến giếng khai thác ở thời điểm  $t_k$  thùng/ngày.

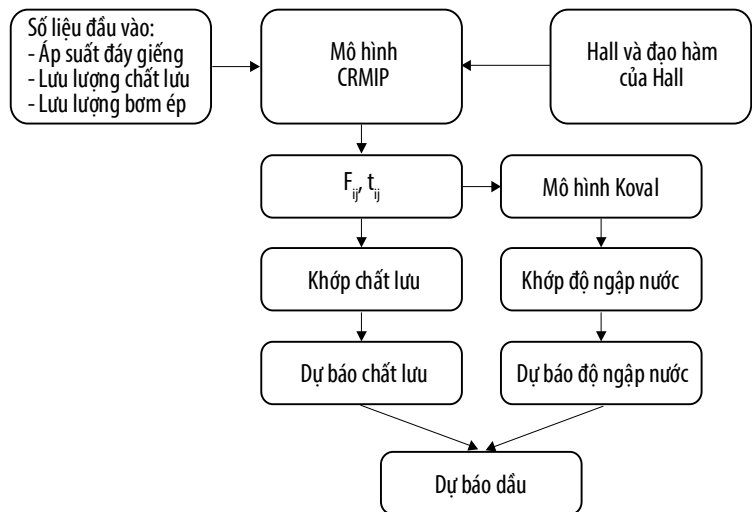
Đối với dòng chảy 2 pha dầu - nước, lưu lượng khai thác dầu hoặc nước của giếng khai thác  $j$  ở thời điểm  $t_k$  có thể dễ dàng có được dựa trên ý nghĩa vật lý của phương trình tỷ phần nước được biểu thị sau:

$$q_{wj}(t_k) = q_j(t_k) f_{wj}(t_k) \quad (4)$$

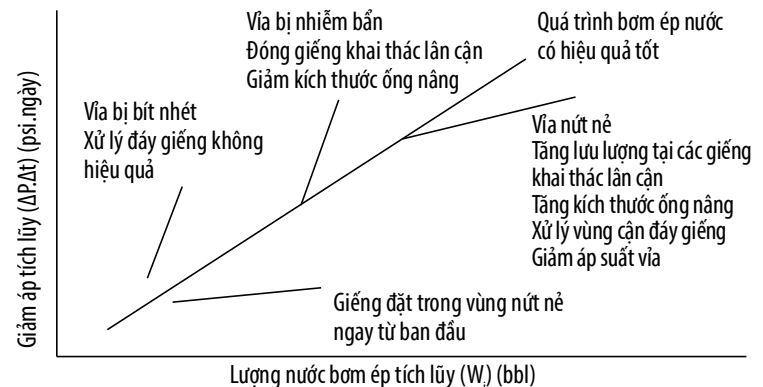
$$q_{wj}(t_k) = q_j(t_k) [1 - f_{wj}(t_k)] \quad (5)$$



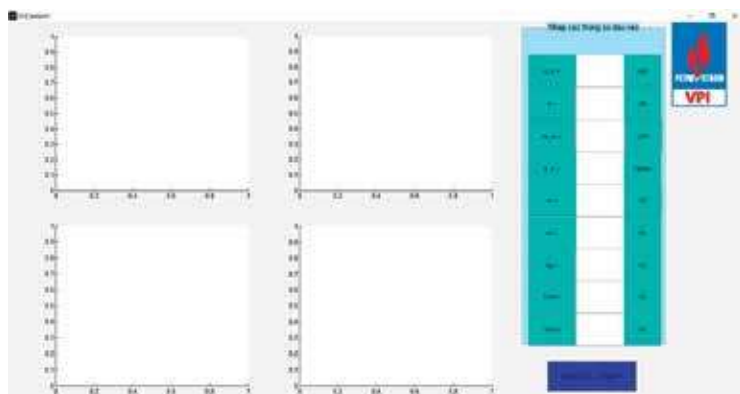
Hình 1. Giao diện chương trình điện trở điện dung.



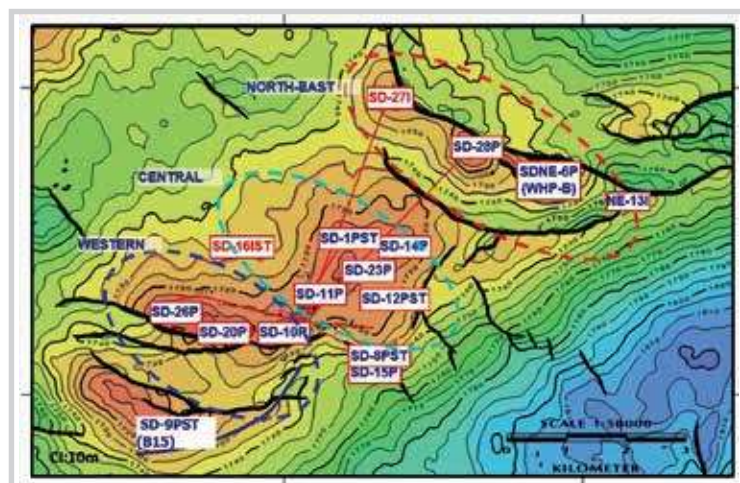
Hình 2. Các bước tính toán của chương trình.



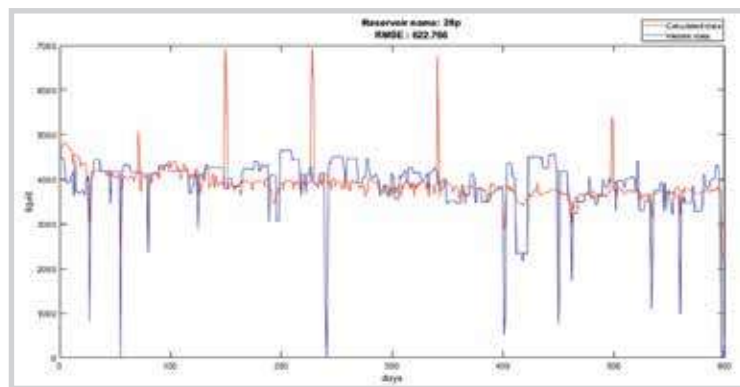
Hình 3. Đồ thị Hall.



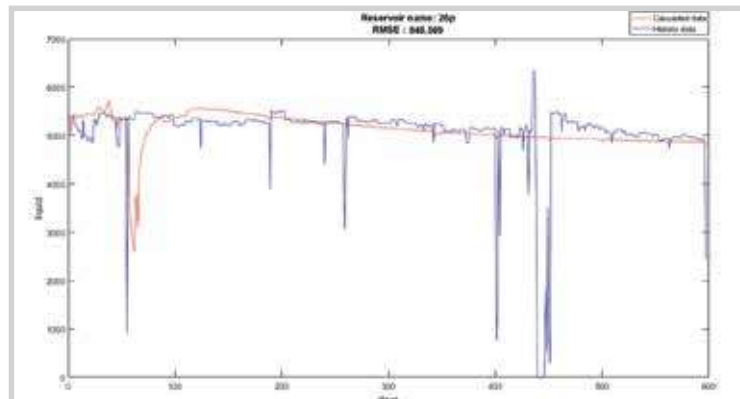
Hình 4. Giao diện chương trình.



Hình 5. Vị trí các giếng mỏ Sư Tử Đen.



Hình 6. Kết quả khớp lịch sử giếng 28P.



Hình 7. Kết quả khớp lịch sử giếng 26P.

Sử dụng mô hình CRMIP - Koval cải tiến để ước tính hệ số tương tác giữa giếng bơm ép đến giếng khai thác, 6 ẩn số chưa biết cho mỗi cặp giếng bơm ép - khai thác đó là hệ số tương tác, hằng số thời gian trễ, lưu lượng (thùng/ngày) chảy vào vỉa (water influx), lưu lượng khai thác chất lưu ở thời điểm  $t_o$ , hệ số Koval và thể tích kênh dẫn được ước tính bằng phương pháp hồi quy đa biến phi tuyến tính, hàm mục tiêu có bình phương nhỏ nhất được mô tả như sau:

$$\min_{u \in R^{N_u}} J(u) = \sum_{k=1}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_{pro}} \left\{ [q_j^{cal}(t_k) - q_j^{obs}(t_k)]^2 + [q_{oj}^{cal}(t_k) - q_{oj}^{obs}(t_k)]^2 \right\} \quad (6)$$

Ngoại trừ phương trình (5) và (6) hàm mục tiêu cũng bị ràng buộc bởi

$$T_{ij} \geq 0, e_{wij} \geq 0, K_{val} \geq 1$$

$$\sum_j^{N_{pro}} V_{pj} \leq V_{pField}$$

Trong đó,  $V_p$  là tổng thể tích lỗ rỗng (kênh dẫn) của một vỉa hay khối.

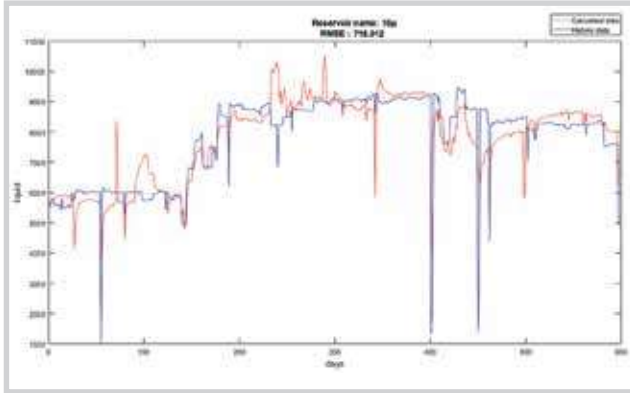
### 2.1.2. Chương trình tính toán

Mô hình điện trở điện dung kết hợp với mô hình Koval được xây dựng trên phần mềm Matlab có các bước tính toán được thể hiện trong Hình 1 và 2.

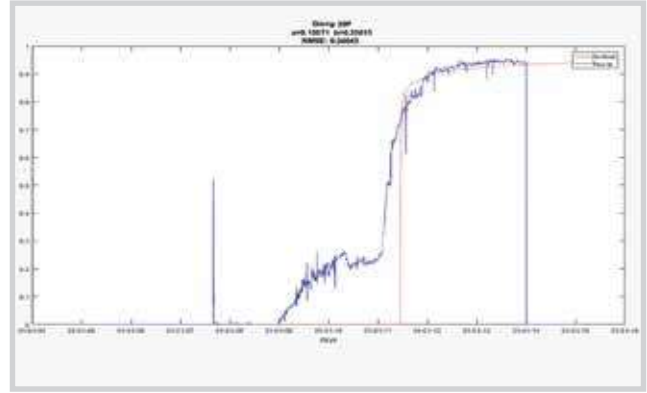
### 2.2. Mô hình đồ thị Hall và đạo hàm

Theo tác giả về áp dụng phương pháp đồ thị Hall để theo dõi và dự báo hiệu quả giếng bơm ép nước [3], đồ thị Hall biểu diễn mối quan hệ giữa lượng nước bơm ép tích lũy ( $W_p$ ) và giảm áp tích lũy.

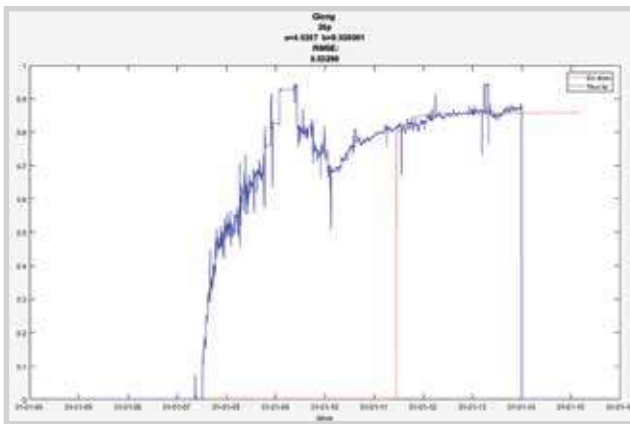
Các dữ liệu cần để vẽ đồ thị Hall là áp suất miệng giếng và lưu lượng bơm ép hàng ngày. Khi biểu diễn đồ thị giảm áp tích lũy và lượng nước bơm ép tính lũy theo ngày, đồ thị Hall cho thấy nếu như giếng bơm ép được xử lý vùng cận đáy hoặc tiến hành nút vỉa thì độ dốc của đường cong giảm, còn khi vùng cận đáy giếng bị nhiễm bẩn thì độ dốc của đường cong sẽ tăng (Hình 3).



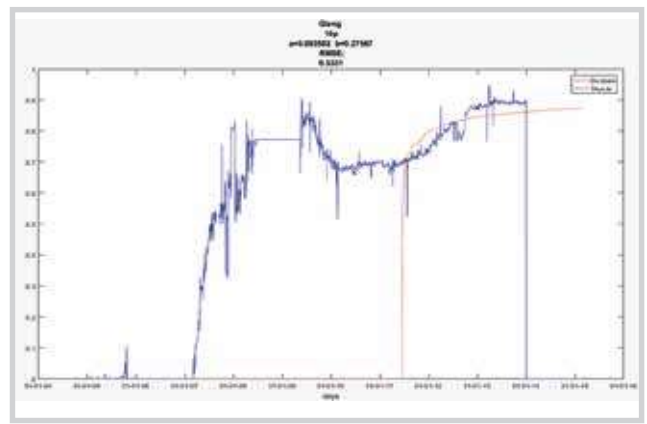
Hình 8. Kết quả khớp lịch sử giếng 10P.



Hình 9. Kết quả khớp độ ngập nước giếng 28P.



Hình 10. Kết quả khớp độ ngập nước giếng 26P.



Hình 11. Kết quả khớp độ ngập nước giếng 10P.

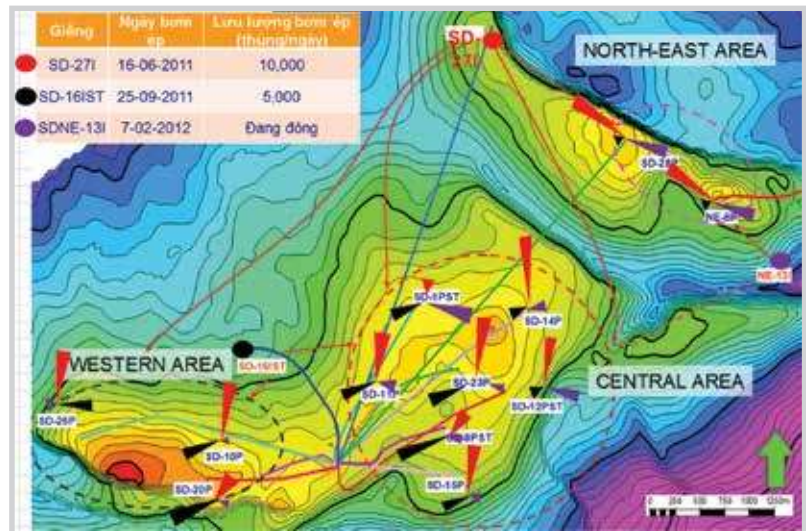
### 3. Áp dụng thực tế

- Đánh giá trên chương trình điện trở điện dung

Dựa trên số liệu đã có nhóm tác giả tiến hành đánh giá sự tương tác của giếng bơm ép tới giếng khai thác của các đối tượng ở Miocene dưới mỏ Sư Tử Đen để kiểm định và thử nghiệm, hiệu chỉnh mô hình xây dựng. Mỏ Sư Tử Đen có 12 giếng khai thác và 3 giếng bơm ép tại tầng B10 được thể hiện ở Hình 5.

Kết quả khớp giữa lưu lượng thực tế với lưu lượng dự đoán và mức độ tương tác, thời gian ảnh hưởng được thể hiện trong các Hình 6 - 8. Nhìn chung, toàn bộ 12 giếng khai thác đều cho thấy kết quả khớp tốt, điển hình là các giếng 28P, 26P, 10P.

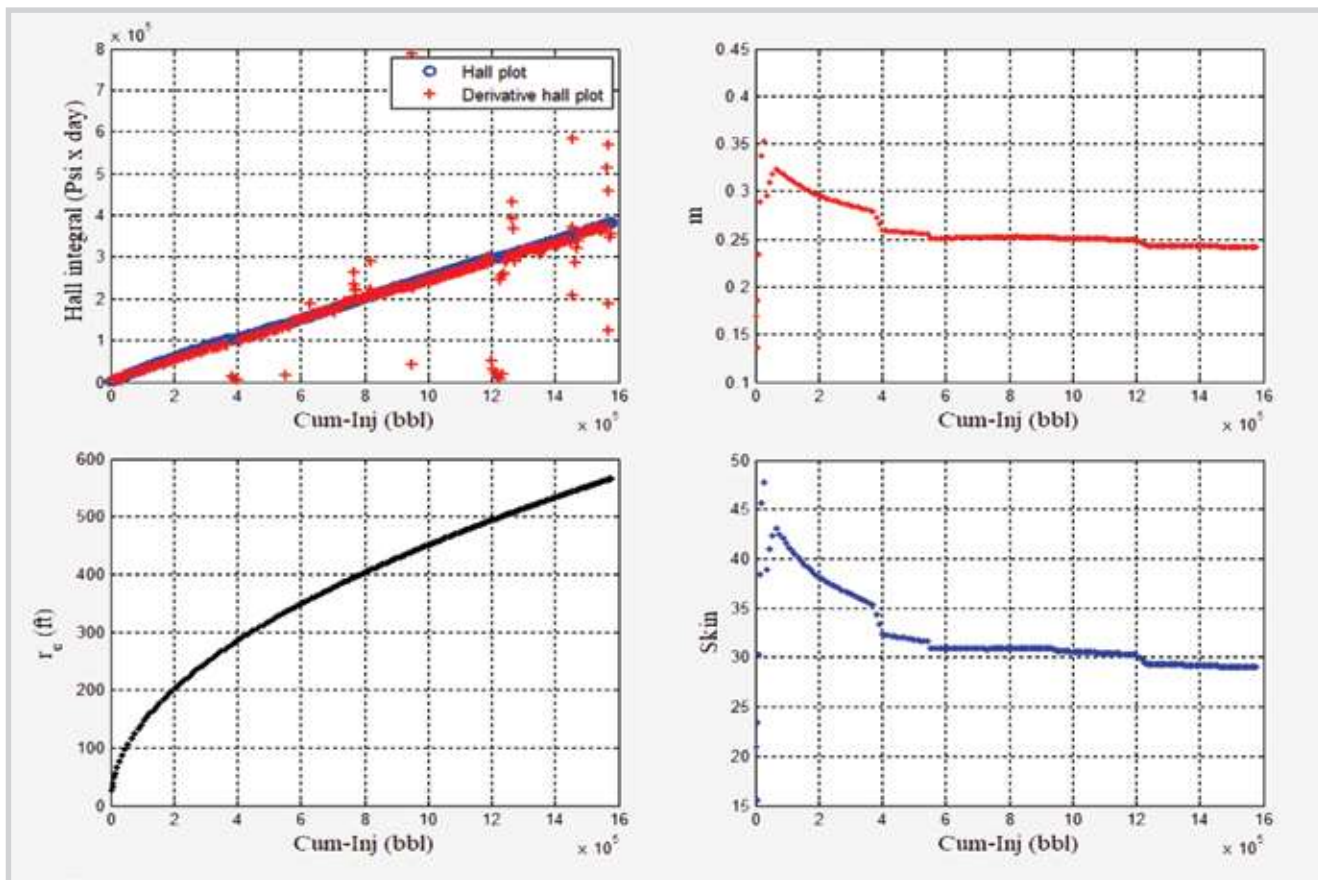
Trên cơ sở mức độ tương tác và thời gian tương tác được lấy từ mô hình điện trở điện dung sẽ được đưa vào mô hình Koval để tiến hành khớp độ ngập nước được thể hiện trong các Hình 9 - 11.



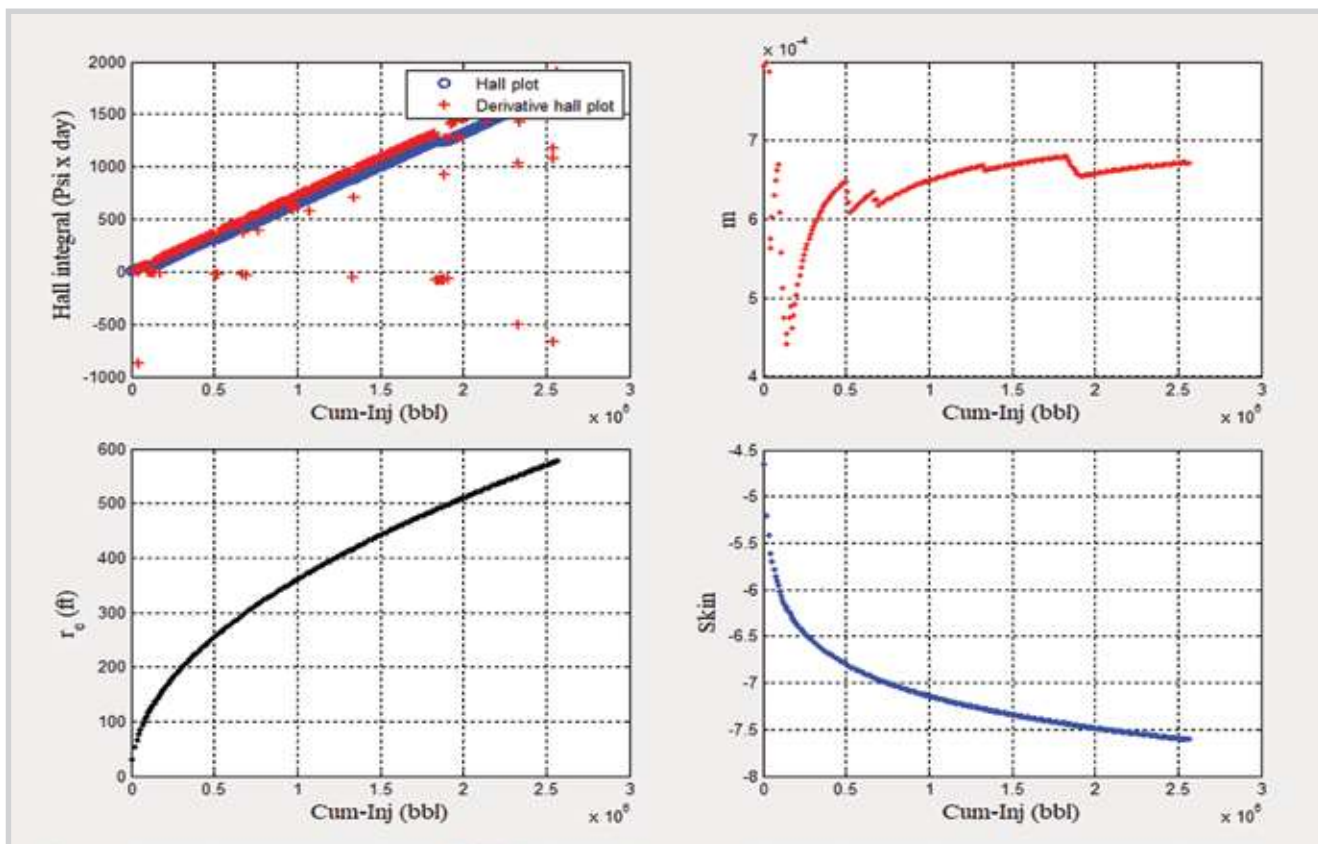
Hình 12. Kết quả ảnh hưởng của các giếng bơm ép tới giếng khai thác.

- Đánh giá phương pháp đồ thị Hall và đạo hàm áp dụng cho mỏ Sư Tử Đen

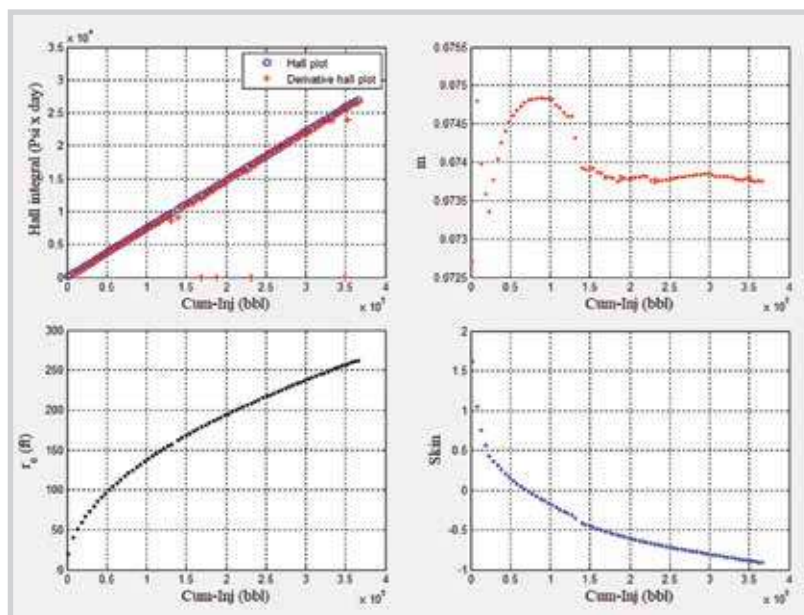
Đối với giếng 16I và 27I cho thấy sự thay đổi xu hướng của đường đạo hàm và đồ thị Hall phản ánh quá trình xử lý vùng cận đáy giếng trong giai đoạn này. Còn giếng 13I phản ánh quá trình bơm ép ổn định không có sự thay đổi nào xảy ra.



Hình 13. Đồ thị Hall và đạo hàm cho giếng 16l.



Hình 14. Đồ thị Hall và đạo hàm cho giếng 27l.



Hình 15. Đồ thị Hall và đạo hàm cho giếng 131.

## 5. Kết luận

- Mô hình điện trở điện dung được xây dựng mới đã tối ưu hơn so với mô hình xây dựng trước đó về cả thuật toán lẫn giao diện.
- Phương pháp đồ thị Hall và đạo hàm là phương pháp đơn giản, hiệu quả trong quản lý quá trình bơm ép do phương pháp này chỉ yêu cầu thông số đầu vào là số liệu về áp suất miệng giếng và lưu lượng bơm ép theo ngày.
- Mô hình điện trở điện dung kết hợp với mô hình Koval cho thấy mức độ phù hợp trong khớp độ ngập nước tại mỏ Sư Tử Đen.
- Kết hợp cả 2 phương pháp CRM và Hall giúp hỗ trợ tốt trong quản lý giếng bơm ép nhằm duy trì áp suất vỉa và nâng cao thu hồi dầu.

- Trong thời gian tới, tác giả sẽ tiếp tục cập nhật thêm phương pháp, đưa thêm mạng lưới cũng như thông số đặc tính vỉa chứa để hoàn thiện hơn nữa mô hình quản lý giếng bơm ép.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Văn Đô, “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.
- [2] Fei Cao, *Development of a two-phase flow coupled capacitance resistance model*. The University of Texas at Austin, December 2014.
- [3] Nguyễn Văn Đô, “Áp dụng phương pháp đồ thị Hall để theo dõi và dự báo hiệu quả giếng bơm ép nước”, *Tạp chí Dầu khí*, số 4, tr. 20 - 23, 2020.
- [4] Rafael Wanderley de Holanda, Eduardo Gildin, Jerry L. Jensen, Larry Lake and Shah Kabir, “A State-of-the-Art literature review on capacitance resistance models for reservoir characterization”, *Energies*, Vol. 11, No. 12, 2018. DOI:10.3390/en11123368.

# WATER INJECTION MANAGEMENT USING CAPACITANCE RESISTANCE METHOD AND HALL PLOT

**Nguyen Van Do**

Vietnam Petroleum Institute

Email: donv@vpi.pvn.vn

## Summary

In waterflooding operation, the surveillance and evaluation of injection well performance are very important to ensure optimum oil recovery. Loss in injectivity can cause several problems and will give a bad impact on both surface and subsurface facilities. In addition, the incorrect flow of pumping causes early flooding in the production wells, affecting oil recovery. This article introduces the management programme of water injection wells using capacitance resistance model and Hall plot to minimise these complications.

**Key words:** Waterflooding, Hall plot, capacitance resistance model, Koval model, Su Tu Den field.