

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA THỐNG KÊ TRONG DỰ BÁO CÁC THÔNG SỐ ĐỊA CƠ HỌC VÀ ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SANDPIT3D TRONG DỰ BÁO SINH CÁT CHO GIẾNG KHAI THÁC Ở BỂ NAM CÔN SƠN

Tạ Quốc Dũng¹, Lê Thế Hà², Nguyễn Tiến Đạt¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Tập đoàn Dầu khí Việt Nam

Email: tqdung@hcmut.edu.vn; halt01@pvn.vn

Tóm tắt

Bài báo ứng dụng phương pháp địa thống kê trong việc dự báo các thông số địa cơ học cho 1 giếng khai thác ở bể Nam Côn Sơn. Kết quả thu được của mô hình địa cơ học sẽ được sử dụng để đánh giá khả năng sinh cát của giếng theo mô hình tính toán ứng suất cắt của S.M.Wilson dựa trên tiêu chuẩn Mohr-Coulomb. Áp suất đáy giếng tới hạn ứng với mỗi áp suất vỉa tại từng thời điểm khác nhau cũng được tính toán nhằm đưa ra chế độ khai thác hợp lý trong quá trình quản lý mỏ.

Từ khóa: Địa thống kê, variogram, kriging, mô hình địa cơ, sandpit3D, bể Nam Côn Sơn.

1. Giới thiệu

Nguồn tài nguyên dầu khí trong khu vực bể Nam Côn Sơn chủ yếu được chứa trong đá trầm tích. Các giếng đang trong giai đoạn đầu của quá trình khai thác nên chưa xảy ra hiện tượng sinh cát.

Tuy nhiên, sau một thời gian khai thác, hiện tượng sinh cát có thể xuất hiện do áp suất vỉa giảm, xuất hiện nước trong giếng khai thác.

Hiện tượng sinh cát gây khó khăn cho quá trình khai thác, ăn mòn các thiết bị hoặc làm tắc nghẽn đường ống, gây thiệt hại lớn về kinh tế... do đó cần nghiên cứu dự báo sớm.

Dữ liệu cần thiết của giếng sẽ được nội suy từ các giếng lân cận đã khoan trước đó. Việc dự đoán các thuộc tính địa cơ học, các thông số vỉa, độ bền thành hệ cho các khu vực lân cận chỉ có thể thực hiện nhờ vào địa thống kê.

Lĩnh vực này bao gồm các quá trình: thu thập dữ liệu, xử lý dữ liệu thô, thiết lập thuật toán, mô phỏng, kết quả cuối cùng là đưa ra mô hình của giếng lân cận.

2. Phương pháp địa thống kê và dự báo khả năng sinh cát của giếng

2.1. Phương pháp địa thống kê

2.1.1. Variogram

Variogram được sử dụng trong kỹ thuật địa thống kê để mô tả mối quan hệ không gian. Variogram được định nghĩa như là một nửa kỳ vọng toán học của biến ngẫu nhiên $[Z_x - Z_{x+h}]^2$, nghĩa là [1, 2]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z_x - Z_{x+h}]^2 = \frac{1}{2v} \int [Z_x - Z_{x+h}]^2 dv \quad (1)$$

Trong đó: Z_x, Z_{x+h} : 2 đại lượng ở 2 điểm nghiên cứu cách nhau một đoạn h . Variogram thực nghiệm được xác định [1, 2]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_x - Z_{x+h}]^2 \quad (2)$$

2.1.2. Covariance

Nếu 2 biến ngẫu nhiên Z_x và Z_{x+h} cách nhau một đoạn " h " có phương sai, chúng cũng có 1 covariance và được diễn đạt [1, 2]:

$$C(h) = E\{[Z_x - m][Z_{x+h} - m]\} \quad (3)$$

Với m là kỳ vọng toán học của hàm $C(h)$ thực nghiệm được tính [1, 2]:

$$C(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{[Z_x - m][Z_{x+h} - m]\} \quad (4)$$

2.1.3. Kriging

Tùy vào ứng dụng thực tế, các thuật toán khác nhau sẽ sử dụng cho mục đích khác nhau.

Simple Kriging (SK): Đơn giản nhất nhưng không phù hợp với thực tiễn.

Ordinary Kriging (OK): Sử dụng phổ biến nhất, linh hoạt hơn Simple Kriging và cho phép các biến thay đổi cục bộ.

CoKriging (Co-K): Cho phép ước tính 1 biến dựa trên thông tin không gian của các biến khác liên quan. Đặc biệt hữu ích khi có 1 biến được lấy mẫu rộng rãi và 1 biến được lấy mẫu thưa thớt và chúng có tương quan không gian.

Universal Kriging (UK): Dùng khi dữ liệu mẫu biểu hiện theo 1 phương và giả thiết ổn định có thể không hợp lệ.

Do tính phổ biến và ứng dụng linh hoạt hơn các phương pháp khác nên nhóm tác giả sẽ sử dụng phương pháp Ordinary Kriging cho việc tính toán.

Ordinary Kriging:

Trong thuật toán SK, giả thiết rằng giá trị trung bình $m(u)$ được biết. Bằng giả thiết ổn định bậc 1, $m(u)$ giảm thành m . Phải biết giá trị m trước khi sử dụng 1 biểu thức SK. Trong thực tiễn, giá trị trung bình thực toàn cục rất hiếm khi được biết nếu không giả thiết giá trị trung bình mẫu bằng giá trị trung bình toàn cục. Ngoài ra, giá trị trung bình cục bộ trong vùng nghiên cứu lân cận có thể thay đổi trên khu vực quan tâm, do đó giả thiết ổn định có thể không hoàn toàn hợp lệ. Thủ tục OK sẽ khắc phục vấn đề này bằng cách xác định phương trình ước tính.

Xét phương trình [1, 2]:

$$z^*(u_0) = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \times z(u_i) \tag{5}$$

Với điều kiện không lệch, yêu cầu thỏa mãn điều kiện phương sai cực tiểu. Cực tiểu hóa phương sai với ràng buộc thu được kết quả:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j C(u_i, u_j) + \mu = C(u_i, u_0) \quad i = 1, \dots, n \tag{6}$$

Với μ là thông số Lagrange và C đại diện cho hiệp phương sai. Phương trình có thể được viết dưới dạng ma trận [1, 2]:

$$\begin{bmatrix} C(u_1, u_1) & C(u_1, u_2) & \dots & C(u_1, u_n) & 1 \\ C(u_2, u_1) & C(u_2, u_2) & \dots & C(u_2, u_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ C(u_n, u_1) & C(u_n, u_2) & \dots & C(u_n, u_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(u_1, u_0) \\ C(u_2, u_0) \\ \vdots \\ C(u_n, u_0) \\ 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

Khi λ_i được tính, giá trị ước tính $z^*(u_0)$ sẽ thu được từ phương trình. Ước tính hiệp phương sai [1, 2]:

$$\sigma^2_{OK} = C(u_0, u_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i C(u_i, u_0) - \mu \tag{8}$$

2.2. Hiện tượng sinh cát trong các giếng khai thác

2.2.1. Khái niệm sinh cát

Sinh cát là hiện tượng xuất hiện số lượng nhỏ hay lớn về thành phần hạt rắn đi cùng với dung dịch chất lưu trong vỉa. Số lượng có thể khác nhau từ vài gam hoặc ít hơn trên một tấn dung dịch. Khi lượng cát sinh ra lớn hơn một giới hạn sinh cát nào đó (giới hạn này phụ thuộc vào điều kiện mỏ quy định) thì cần phải áp dụng các biện pháp khống chế cát [3].

Sinh cát phụ thuộc vào 3 thành phần chính:

- Độ bền của đá và các tính chất cơ học khác của đá.
- Các ứng suất tác dụng xung quanh giếng hoặc lỗ bắn mở vỉa.
- Tải trọng cục bộ tác dụng lên giếng hoặc lỗ bắn mở vỉa do sự hiện diện của dòng chảy, áp suất lỗ rỗng suy giảm, sự hiện diện của nước.

Nếu không thể kiểm soát được lượng cát sinh ra sẽ gây ra thiệt hại rất lớn, có thể sụp lở trong thành hệ, làm bào mòn các thiết bị hoặc làm nghẽn đường ống.

Độ bền của thành hệ cát kết được kiểm soát bởi các yếu tố [3]:

- Số lượng và loại của xi măng dùng để giữ các hạt riêng lẻ lại với nhau.
- Lực ma sát giữa các hạt.
- Áp suất chất lưu trong các lỗ rỗng của đá.
- Lực ép mao dẫn.

2.2.2. Đồ thị đường log UCS - TWC

Biểu đồ log UCS - TWC giúp dự báo các khoảng độ sâu mà thành hệ có khả năng bị phá hủy và sinh cát, từ đó đưa ra quyết định bắn mở vỉa ở khoảng độ sâu phù hợp và kế hoạch hoàn thiện giếng tốt nhất.

Để xây dựng được biểu đồ này, cần chú ý đến các giá trị như Dt - Wave Transit time (đơn vị $\mu\text{s}/\text{ft}$) và giá trị độ rỗng ϕ .

Đối với giá trị Dt, trong quá trình đo địa vật lý các bộ phát sóng âm của thiết bị truyền các tia sóng gặp thành hệ và phản hồi về các đầu thu.

Ứng với mỗi thành hệ cũng như mỗi tập khác nhau thì giá trị thu về sẽ khác nhau, thông qua minh giải sẽ được một giá trị là Dt, từ đó xác định được lần lượt giá trị UCS và TWC.

Đối với giá trị độ rỗng ϕ , log mật độ là phương pháp dùng để xác định độ rỗng, thông qua việc đo mật độ electron trong vỉa. Nó có thể giúp các nhà địa chất: xác định được các khoáng vật lắng đọng từ sự bốc hơi của các dung dịch, đánh giá các đới chứa khí, xác định hàm lượng hydrocarbon, đánh giá độ sét trong đá chứa dạng cát pha và một số đặc điểm thạch học. Dụng cụ đo mật độ gồm nguồn phát ra năng lượng tia gamma sao cho các tia gamma đi vào bên trong vỉa. Nguồn gamma có thể là Co-60 (Cobalt) hay Ce-137 (Cesium).

Khi biết các giá trị Dt và ϕ có thể tính UCS (psi) theo công thức sau:

Mô hình của McNally (1987) [4]:

$$UCS = 40165 e^{-10\phi} \quad (9)$$

Giá trị UCS trong khoảng 300 và 52.000psi và độ rỗng ϕ bé hơn 0,3 [4]:

$$UCS = 36830(1 - 2,7\phi)^2 \quad (10)$$

Thành hệ cát kết đã cố kết với độ rỗng $\phi < 0,3$ [4]:

$$TWC = 80,8765 UCS^{0,58} \quad (11)$$

Giá trị TWC (psi) được xác định từ UCS như sau (áp dụng cho hầu hết vỉa cát kết trên thế giới) [4]:

$$TWC = 20,62\phi^{-3,54} \quad (12)$$

Ngoài ra còn có thể xác định TWC theo giá trị độ rỗng ϕ ở thành hệ cát kết yếu [4]:

$$\sigma_{t1} = 3\sigma_h - \sigma_H - p_{wf}(1 - A) - Ap_r \quad (13)$$

Mô hình dựa trên việc tính toán UCS và TWC theo độ sâu, vẽ được đường cong tích lũy để xác định được giá trị ứng suất P (% đất đá thành hệ có độ bền nhỏ hơn, các điểm có giá trị TWC nhỏ hơn thì thành hệ tại đó yếu nhất) là điểm ứng suất tới hạn cho sự phá hủy cát và sinh cát từ việc áp dụng xác suất cho giếng, khoảng đường cong TWC nào có giá trị nhỏ hơn đường P thì tại đó có khả năng sinh cát nhất.

2.2.3. Mô hình áp suất phá hủy thành hệ (SandPit3D)

Mô hình sau đây được xây dựng để bắt đầu tính toán sinh cát, tức là tính toán áp suất dòng chảy đáy giếng tới hạn dẫn đến sinh cát, CBHFP. Mô hình có thể áp dụng cho

cả giếng thân trần và giếng hoàn thiện ống chống, bắn mở vỉa. Các ứng suất cục bộ được biểu diễn như Hình 1. Sự định hướng của giếng khoan được thể hiện trong tính toán của các ứng suất tiếp σ_1, σ_2 với $\sigma_1 > \sigma_2$ (hay còn gọi là ứng suất vòng) từ các ứng suất chính tại vị trí đó (σ_H, σ_h). Các ứng suất tiếp trên bề mặt của thành giếng được xác định bởi [5]:

$$\sigma_{t1} = 3\sigma_h - \sigma_H - p_{wf}(1 - A) - Ap_r \quad (14)$$

$$\sigma_{t2} = 3\sigma_H - \sigma_h - p_{wf}(1 - A) - Ap_r \quad (15)$$

Trong đó:

p_{wf} : Áp suất đáy giếng;

p_r : Áp suất vỉa;

A: Hệ số poro-elastic được tính theo công thức sau [5]:

$$A = \frac{(1 - 2\nu)\alpha}{(1 - \nu)} \quad (16)$$

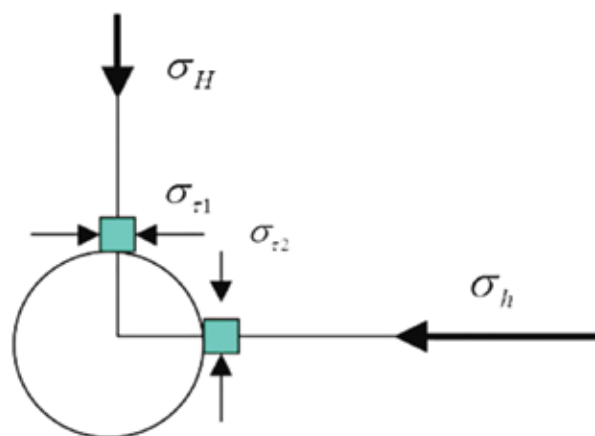
Với ν là hệ số Poisson và α là hệ số Biot's

Sự phá hủy xảy ra khi các giá trị ứng suất tiếp tuyến bị thay đổi, mặc dù các giá trị ứng suất khác cũng đóng vai trò vào việc gây ra sự phá hủy, tuy nhiên không đáng kể. Để tránh việc cát xuất hiện thì giá trị ứng suất tiếp tuyến hiệu dụng lớn nhất tại vị trí đang xét ($\sigma_{t2} - P_{wf}$) phải nhỏ hơn độ bền hiệu dụng U của thành hệ, như vậy ta có quan hệ [5]:

$$(\sigma_{t2} - p_{wf}) \leq U \quad (17)$$

Thay (15) vào (17) ta có mối quan hệ cho CBHFP như sau [5]:

$$p_{wf} \geq CBHFP = \frac{3\sigma_H - \sigma_h - U}{2 - A} - p_r \frac{A}{2 - A} \quad (18)$$



Hình 1. Các ứng suất tại thành giếng [5]

Với: p_{wf} : Áp suất đáy giếng (psi);

CBHFP (psi): Áp suất đáy giếng tới hạn để thành hệ không bị phá hủy;

p_r : Áp suất vỉa (psi);

A: Hệ số poro-elastic;

U: Độ bền hiệu dụng thành hệ (psi).

Độ giảm áp tới hạn-Critical Drawdown Pressure (CDP) được định nghĩa là độ giảm áp từ áp suất vỉa tới giá trị áp suất tại đó gây ra sự phá hủy thành hệ. Khi đó, áp suất đáy giếng được xác định [5]:

$$p_{wf} = p_r - CDP \quad (19)$$

Từ (18) và (19) ta có biểu thức tính sau [5]:

$$CDP = \frac{1}{2-A} [2p_r - (3\sigma_H - \sigma_h - U)] \quad (20)$$

Áp suất vỉa tới hạn (Critical Reservoir Pressure, CRP), là giá trị áp suất vỉa mà tại đó vỉa bị phá hủy dưới bất kỳ độ giảm áp nào. Với $CDP = 0$ ta có công thức tính CRP [5]:

$$CRP = \frac{3\sigma_H - \sigma_h - U}{2} \quad (21)$$

Độ bền hiệu dụng của thành hệ U, được xác định dựa vào thí nghiệm mẫu trực thành dày (TWC) với tỷ số đường kính ngoài và đường kính trong nằm trong khoảng từ 3 - 3,8. Với giá trị b_f dựa vào thí nghiệm để hiệu chỉnh [5]:

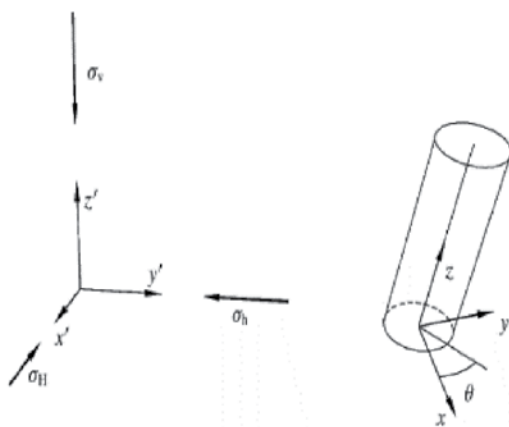
$$U = b_f \times 1,55 \times TWC \quad (22)$$

Với: $b_f = 1,6$ đối với giếng thân trần;

$b_f = 2$ đối với giếng ống chống bắn mở vỉa.

Chuyển đổi tọa độ:

Từ các thông số như trên có thể xây dựng 1 mô hình



Hình 2. Phương pháp đổi trục tọa độ [6]

phá hủy đơn giản cho các giếng thẳng đứng với các số liệu đầu vào tương ứng. Tuy nhiên, các giếng được hoàn thiện chủ yếu đều có độ nghiêng, do đó cần phải hiệu chỉnh các giá trị ứng suất cho phù hợp. Cách đơn giản nhất là sử dụng phương pháp dời trục tọa độ để tính lại các giá trị ứng suất mới (Hình 2) [6]:

Việc dời trục sẽ cho các giá trị ứng suất mới. Do đó cần phải tính toán lại các giá trị này theo các giá trị ứng suất cũ kết hợp với góc nghiêng và góc phương vị tương ứng tại vị trí giếng.

Hình 3 cho thấy việc xác định các ứng suất mới sẽ phụ thuộc vào các góc nghiêng i và góc giữa hướng giếng khoan với phương của ứng suất ngang lớn nhất θ . Các giá trị ứng suất mới sẽ được tính toán theo các công thức dưới đây [6]:

$$\sigma_x = \sigma_H \cos^2 \theta \cos^2 i + \sigma_h \sin^2 \theta \cos^2 i + \sigma_v \sin^2 i \quad (23)$$

$$\sigma_y = \sigma_H \sin^2 \theta + \sigma_h \cos^2 \theta \quad (24)$$

$$\sigma_z = \sigma_H \cos^2 \theta \sin^2 i + \sigma_h \sin^2 \theta \sin^2 i + \sigma_v \cos^2 i \quad (25)$$

Trong đó, với giếng hoàn thiện ống chống, bắn mở vỉa thì góc nghiêng i sẽ là góc ψ_{perf} (góc nghiêng của lỗ bắn mở vỉa) và góc θ sẽ là góc β_{perf} (góc giữa hướng bắn vỉa với ứng suất ngang lớn nhất). Các đại lượng được tính theo công thức sau [7]:

$$\psi_{perf} = 90 - \psi \cos(\phi_{perf}) \quad (26)$$

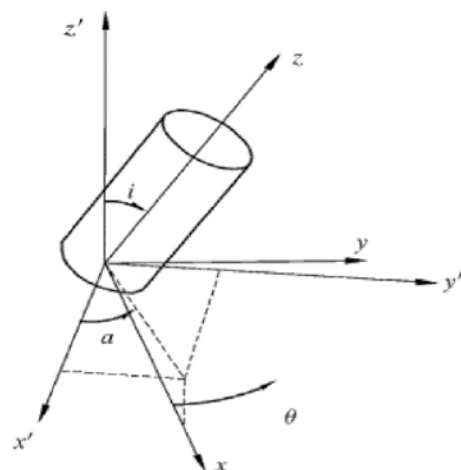
$$\lambda_{perf} = W_{az} + 90 \sin(\phi_{perf}) \quad (27)$$

$$\beta_{perf} = \sigma_{haz} + 90 - \lambda_{perf} \quad (28)$$

Trong đó:

ϕ_{perf} : Góc bắn mở vỉa;

λ_{perf} : Góc phương vị của lỗ bắn mở vỉa;



Hình 3. Các thông số hình học mới của giếng [6]

$$\beta_{perf} = 0 \text{ nếu } \psi_{perf} = 0.$$

Như các biểu thức đã nêu trên, thông qua công thức liên hệ (19) và tính các thông số liên quan như CRP, hệ số A, TWC, độ bền hiệu dụng U... ta tính được CDP theo từng giá trị áp suất vỉa thay đổi, dựa vào công thức (19) tính được CBHFP áp suất đáy giếng tới hạn để thành hệ không bị phá hủy và sinh cát. Từ đó vẽ được đồ thị giữa CBHFP và áp suất vỉa sẽ được mô hình phá hủy thành hệ.

3. Dự báo các thông số địa cơ học cho giếng P

Từ dữ liệu của các giếng ban đầu là giếng 5, giếng 9 và giếng 11. Tiến hành dự báo các thông số địa cơ học cho giếng P lân cận.

3.1. Xác định thêm các thông số địa cơ học của các giếng đầu vào

- Độ rỗng đá

Độ rỗng của đá được tính dựa vào công thức thực nghiệm, dựa vào UCS đã cho tính được độ rỗng theo mô hình Venik (1993) với thành hệ cát kết có độ rỗng nhỏ hơn 0,3:

$$\phi = \frac{1 - \sqrt{\frac{UCS}{36830}}}{2,7}$$

- Độ bền nén một trục UCS

Để xác định đồ thị log UCS dọc theo độ sâu của thành hệ một cách chính xác, lấy kết quả thí nghiệm nén 1 trục UCS ở các độ sâu khác nhau để hiệu chỉnh với mô hình phù hợp cho mỗi thành hệ với các dữ liệu well logs như thời gian truyền sóng, độ rỗng, neutron, thể tích sét... Để xác định đường log UCS từ dữ liệu well log cho toàn thân giếng dùng công thức thực nghiệm của McNally (1987):

$$UCS = 10^5 e^{(-0,037 Dt)}$$

Vì trong bài báo này các thông số UCS và các giá trị ứng suất đã được tính trước từ mô hình địa cơ nên tác giả sẽ không tính lại UCS từ đường log sonic.

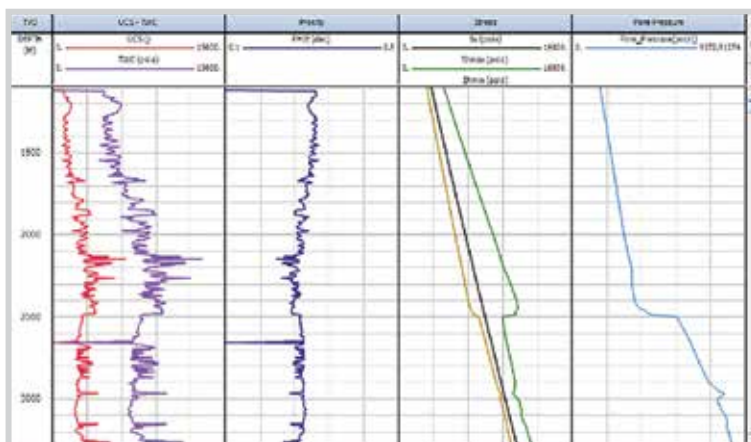
- Độ bền TWC (mẫu trực thành dày)

Các thí nghiệm TWC thường được sử dụng trong các dự báo về sinh cát, phân tích và lưu lượng cát. Trong các thí nghiệm này, một mẫu hình trụ rỗng được đặt quanh buồng nén, bên

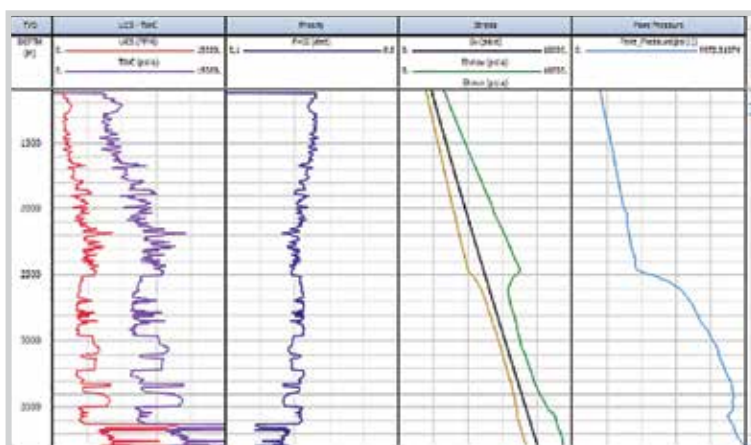
trong dưới sự gia tăng của áp lực thủy tĩnh, tăng đều áp lực theo chiều dọc và chiều ngang cho đến khi sự sập lở xảy ra trong mẫu. Nhóm tác giả xây dựng đường TWC từ tương quan thực nghiệm với đường log UCS theo công thức áp dụng cho các vỉa cát kết:

$$TWC = 80,8765 UCS^{0,58}$$

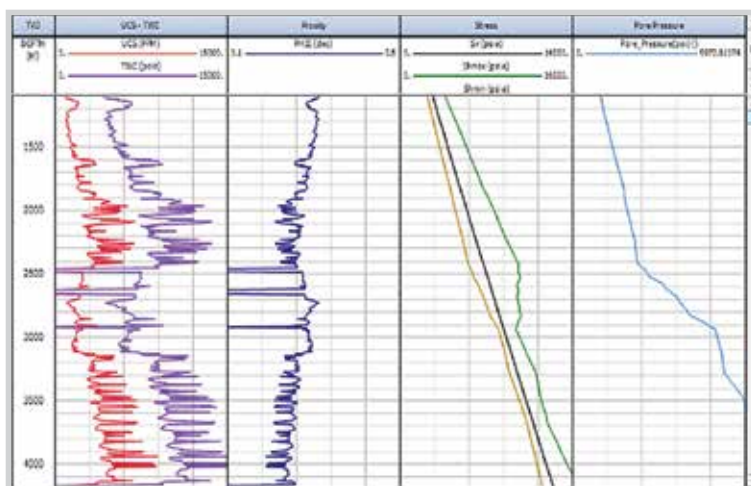
Từ các thông số trên, xây dựng được các thông số địa cơ học cho từng giếng.



Hình 4. Các thông số địa cơ học của giếng 5



Hình 5. Các thông số địa cơ học của giếng 9



Hình 6. Các thông số địa cơ học của giếng 11

3.2. Nội suy Kriging giá trị UCS

Từ các số liệu đầu vào từ giếng 5, giếng 9, giếng 11 và các đường log xây dựng được trên IP, tiến hành nội suy các thông số địa chất cho giếng P. Xây dựng mô hình nội suy Kriging cho 3 giếng theo mặt cắt 2D. Mặt cắt theo phương TVD (y) và Bắc - Nam (x).

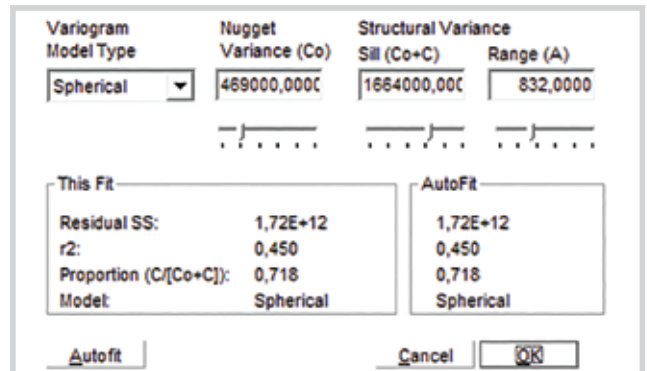
Tiến hành chạy mô hình Variogram với mẫu là độ bền nén một trục UCS để kiểm tra dữ liệu và chọn mô hình phù hợp cho việc nội suy Kriging.

Từ kết quả Hình 8 và 9 thu được kết quả mô hình Variogram của UCS chung cho 3 giếng là mô hình cầu (Spherical). Các thông số khác cũng được thể hiện trên Hình 9 như: bán kính ảnh hưởng (A), giá trị Sill, hệ số tương quan r^2 .

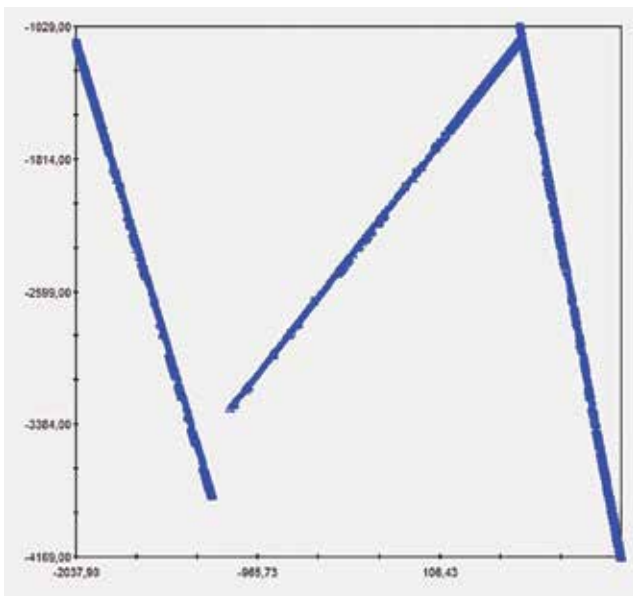
Một cách đơn giản mô hình Variogram là hàm biểu hiện mối quan hệ không gian giữa các dữ liệu. Mô hình

được lựa chọn là mô hình cầu và cũng là loại mô hình phổ biến nhất thường được sử dụng. Vì các loại như mô hình Gaussian, mô hình mũ thì yêu cầu về tính đồng nhất địa chất, yêu cầu về bán kính nên có tính liên tục kém và thường ít sử dụng.

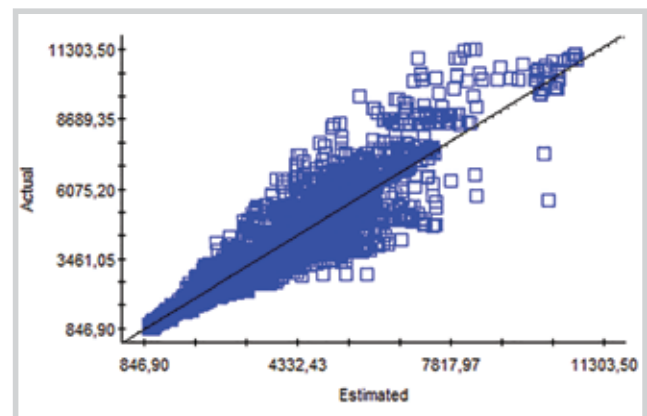
Mô hình có giá trị Sill đạt được là 1.664.000 và bán kính ảnh hưởng là 832m. Sill là ngưỡng phương sai khi giá



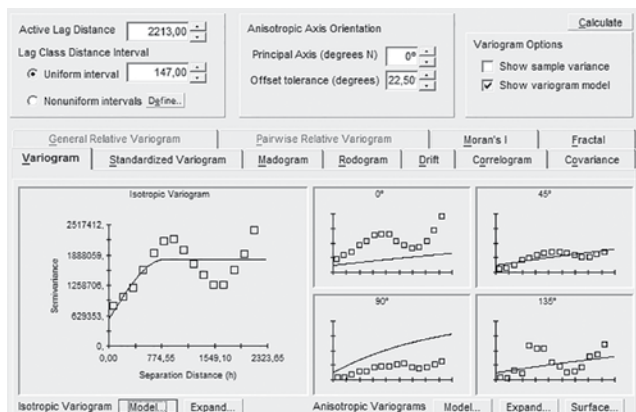
Hình 9. Thông số mô hình Variogram của UCS



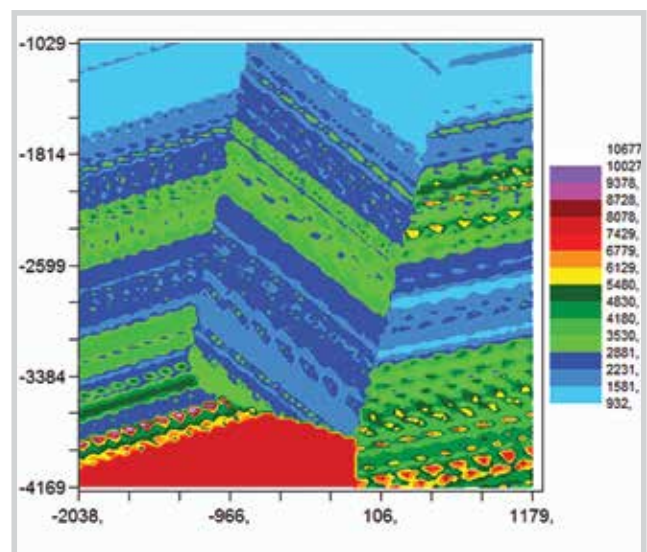
Hình 7. Mặt cắt của giếng khoan 5, giếng 9 và giếng 11 theo phương TVD - Bắc



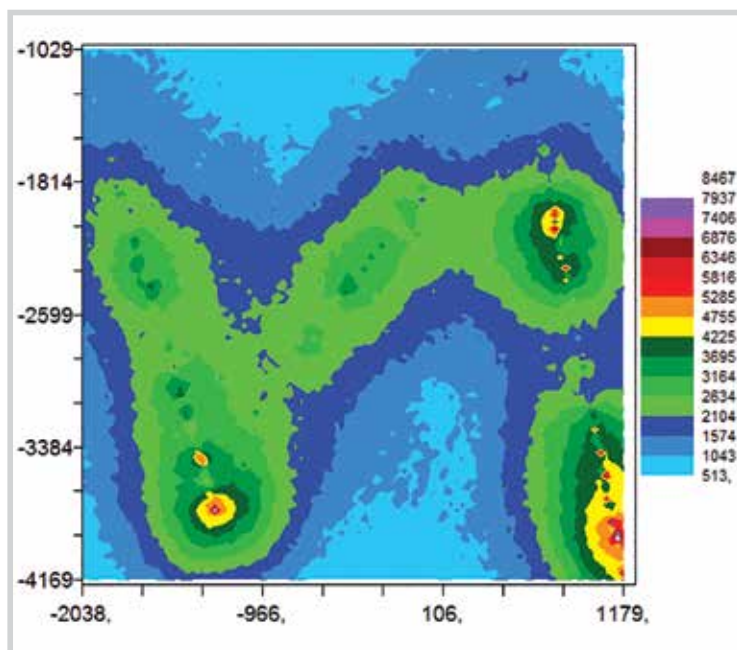
Hình 10. Cross Validation của UCS



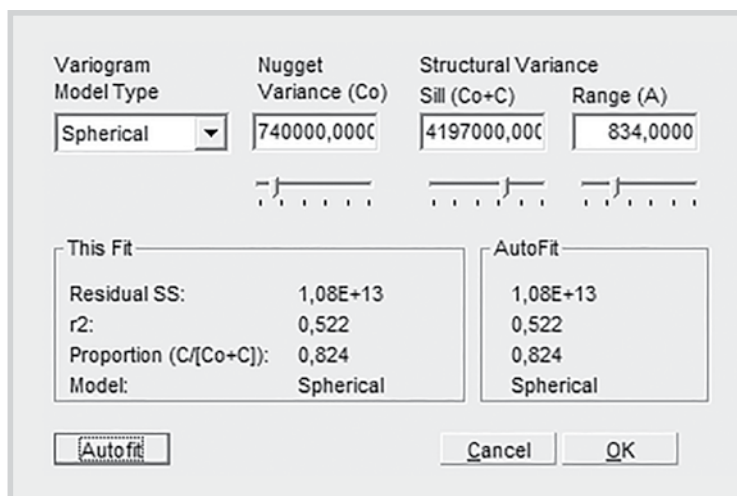
Hình 8. Kết quả tính toán mô hình Variogram của UCS theo phương TVD - Bắc



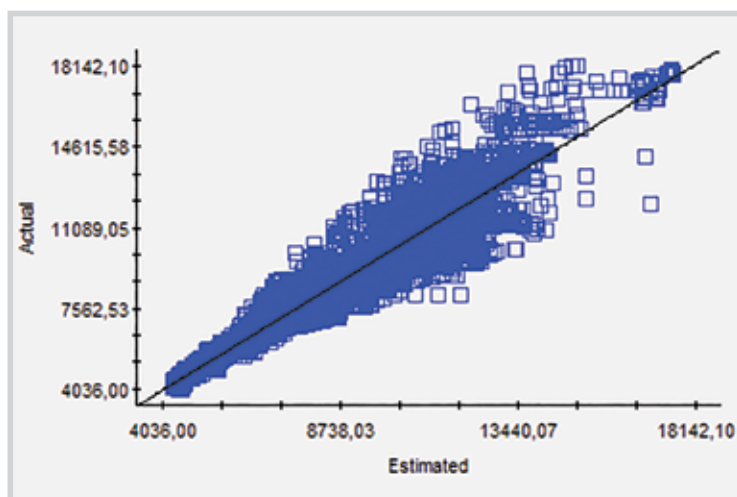
Hình 11. Nội suy Kriging giá trị UCS của 3 giếng cho khu vực nghiên cứu



Hình 12. Mô phỏng giá trị UCS cho khu vực nghiên cứu



Hình 13. Thông số mô hình Variogram



Hình 14. Kiểm định mô hình của TWC

trị h (separation distance) càng tăng thì đồ thị sẽ đạt đến Sill. Giá trị Sill càng cao thì sai số của bộ dữ liệu càng lớn. Bán kính ảnh hưởng càng lớn thì càng làm giảm phương sai của Kriging.

Có được mô hình Variogram phù hợp, tiến hành nội suy Kriging nhưng trước hết cần kiểm tra hệ số hồi quy của dữ liệu (Hình 10).

Từ kết quả cho thấy dữ liệu đầu vào là rất tốt, bởi hệ số tương quan giữa điểm mẫu và điểm ước tính là $r^2 = 0,923$ và hệ số hồi quy là 1,013 gần bằng 1. Tức là ứng với mỗi điểm giá trị thực ta có, dựa vào Kriging có thể nội suy ra giá trị ước tính gần như chính xác (các điểm nằm quy tụ gần đường thẳng).

3.3. Nội suy Kriging giá trị TWC

Cũng tương tự như quá trình nội suy của UCS, đầu tiên tiến hành chạy mô hình Variogram để kiểm tra sự liên quan giữa các giá trị và tìm ra mô hình phù hợp cho cả 3 giếng, dùng cho nội suy Kriging.

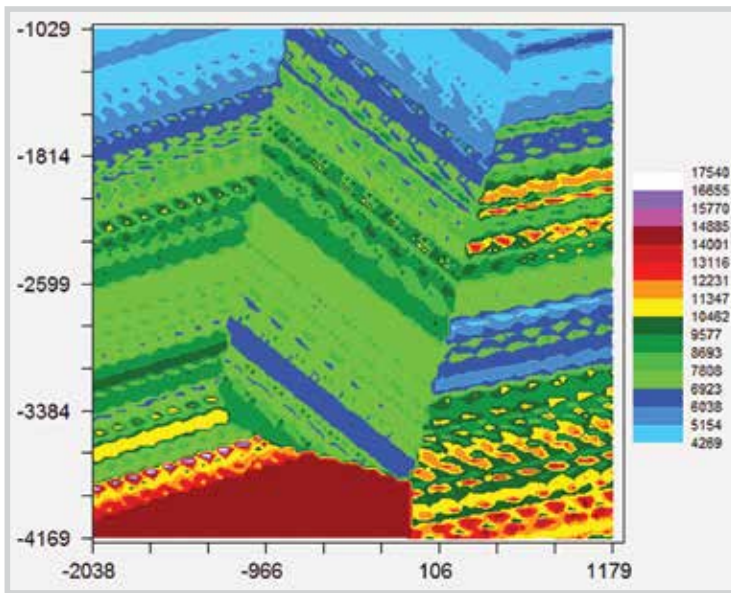
Từ kết quả chạy mô hình Variogram (Hình 13), mô hình được lựa chọn là mô hình cầu (Spherical). Giá trị ngưỡng Sill là 4.197.000 và bán kính ảnh hưởng là 834m. Để biết tính chính xác của mô hình nội suy ta cần kiểm định mô hình (Cross validation) dựa trên bộ số liệu có sẵn.

Kiểm định cho thấy giá trị hồi quy rất tốt là 1,009 và hệ số tương quan giữa các điểm mẫu và điểm ước tính là 0,943 (Hình 14). Hai hệ số này nằm trong khoảng cho phép để nội suy dữ liệu.

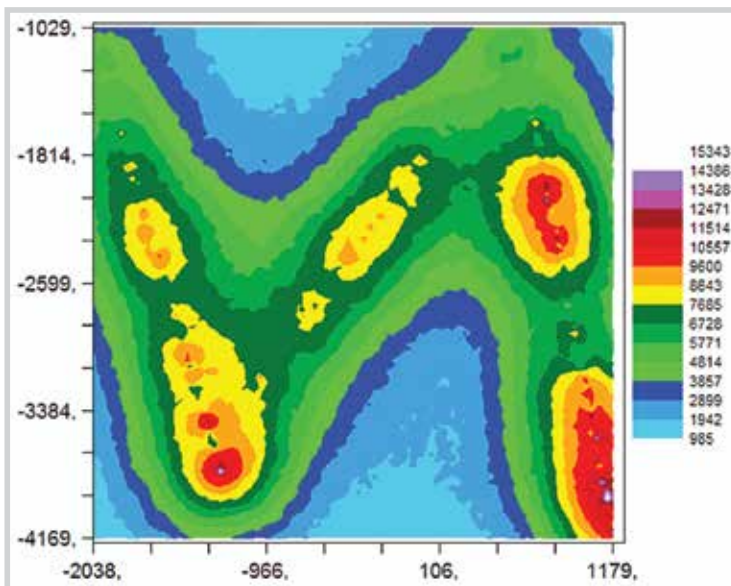
Tương tự như việc nội suy cho độ bền thành hệ UCS và TWC, còn nội suy các thông số địa cơ học khác như: độ rỗng, ứng suất ngang nhỏ nhất, ứng suất ngang lớn nhất, ứng suất thẳng đứng, áp suất lỗ rỗng... để cung cấp đầy đủ các thông số trong việc dự báo sinh cát. Kết quả thu được là đáng tin cậy với hệ số hồi quy ban đầu cao.

4. Dự báo sinh cát cho giếng P

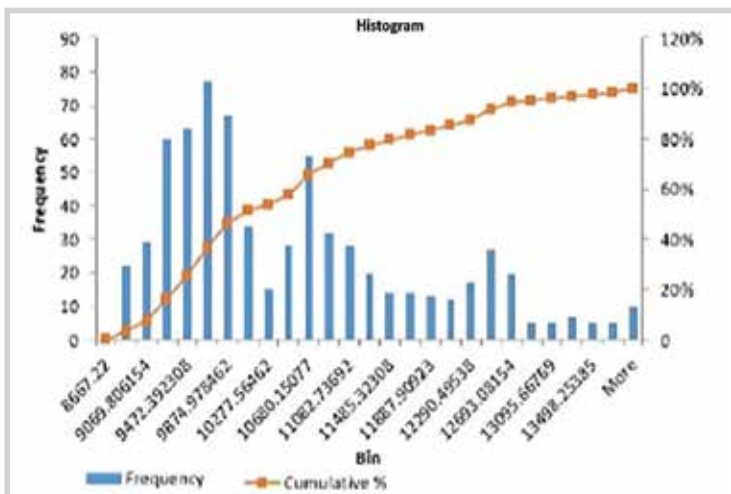
Từ các dữ liệu nội suy được ở phần trước cho giếng P, nhóm tác giả sẽ xây dựng biểu đồ đường log UCS - TWC cho giếng, tính toán khoảng bắn và không nên bắn mở vỉa. Từ đó sẽ khảo sát độ nhạy sinh cát bằng mô hình Sandpit3D ở một độ sâu nhất định, thay đổi theo góc bắn mở vỉa khác



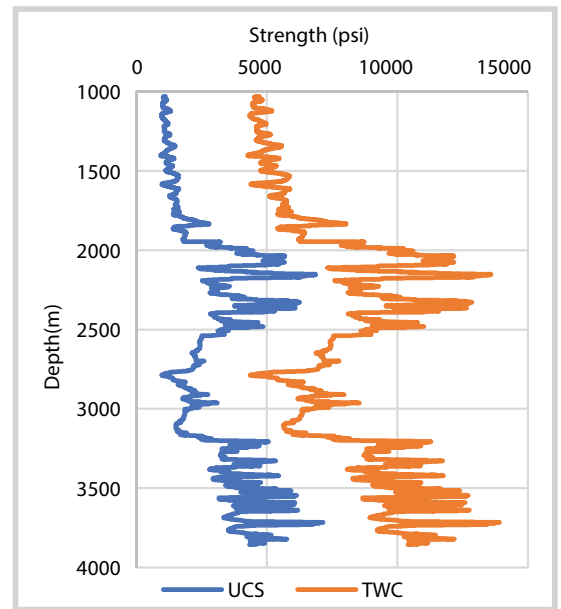
Hình 15. Nội suy Kriging giá trị TWC của 3 giếng cho khu vực nghiên cứu



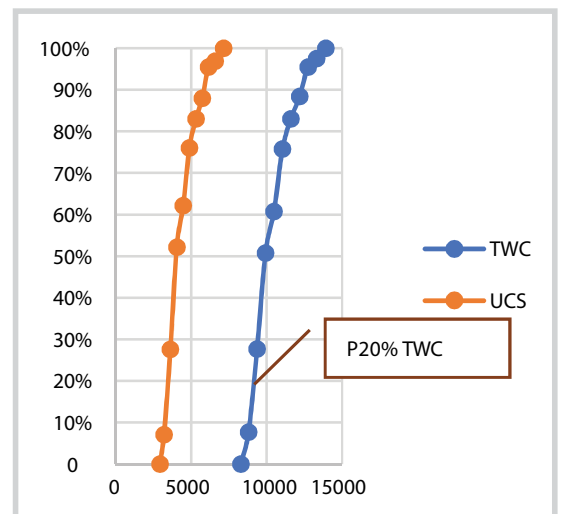
Hình 16. Mô phỏng giá trị TWC cho khu vực giếng nghiên cứu



Hình 19. Biểu đồ Histogram và phần trăm tích lũy của giá trị TWC



Hình 17. Biểu đồ log UCS_TWC cho toàn bộ thân giếng P



Hình 18. Biểu đồ tích lũy của UCS và TWC

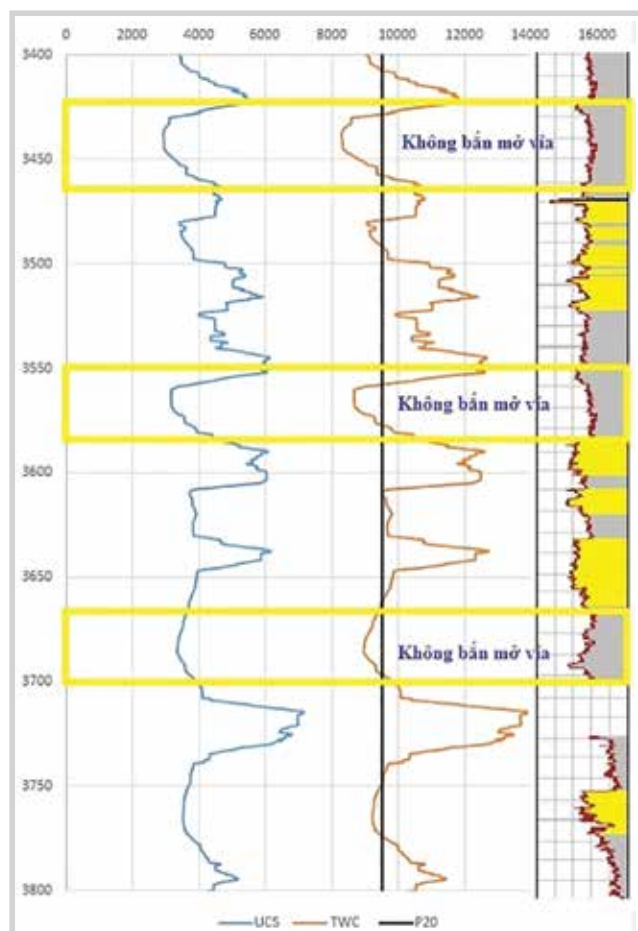
nhau. Cuối cùng là xây dựng đường áp suất khai thác dự kiến cho giếng P.

4.1. Xác định khoảng bắn mở vỉa

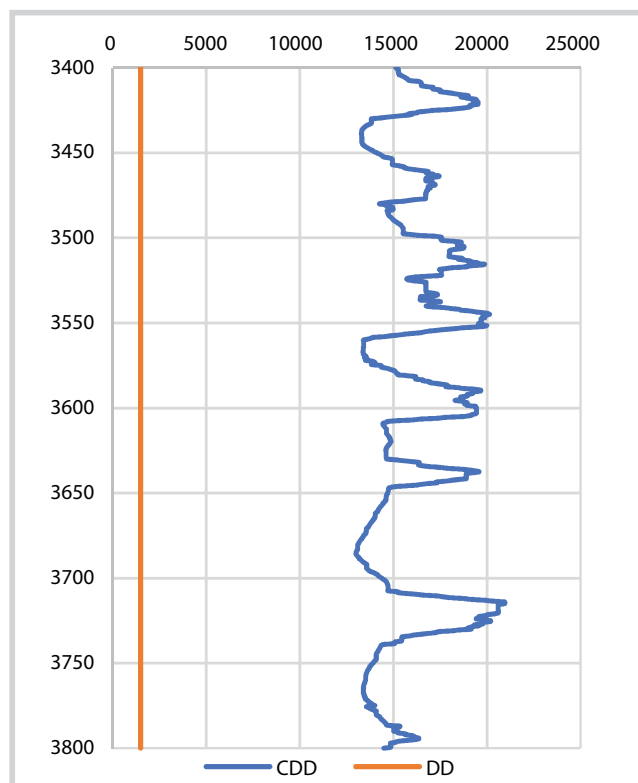
Nhóm tác giả lựa chọn vỉa để khảo sát sinh cát cho nghiên cứu. Vỉa LMH10 độ sâu từ 3.458 - 3.542m, LMH20 độ sâu từ 3.542 - 3.667m, LMH30 độ sâu từ 3.667 - 3.771m.

- Xác định bằng đường P20

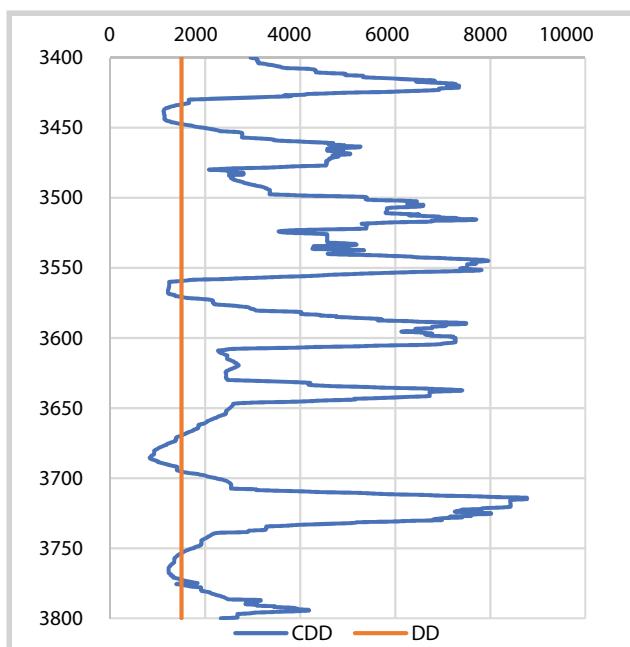
Tùy theo tính chất thành hệ của mỗi khu vực khác nhau và các yếu tố khách quan về dữ liệu để xây dựng các tiêu chuẩn ứng suất tới hạn có thể là P10, P20, P30. Giá trị P20 (20% đất đá thành hệ có độ bền nhỏ hơn, những điểm có giá trị TWC nhỏ



Hình 20. Mô hình phân bố UCS - TWC và đường ứng suất tới hạn P20



Hình 21. Đồ thị đánh giá nguy cơ sinh cát khi áp suất vỉa ban đầu $p_i = 10.362\text{psi}$



Hình 22. Đồ thị đánh giá nguy cơ sinh cát khi áp suất vỉa suy giảm đi 6.000psi

hơn thì thành hệ tại đó yếu nhất) là điểm ứng suất tới hạn cho sự phá hủy cát và sinh cát từ việc áp dụng xác suất cho giếng, khoảng đường cong TWC nào có giá trị nhỏ hơn đường P20 thì tại đó có khả năng sinh cát nhất.

Từ Hình 18 có thể ngoại suy theo cách thông thường để có được P20 hoặc có thể tính theo các giá trị lớn hơn P20% và nhỏ hơn P20% để nội suy P20%. Nhóm tác giả cũng có thể hiệu chỉnh các khoảng chia ứng suất để đạt giá trị P20% mà không cần ngoại suy theo hình hay nội suy theo số liệu tính, tuy nhiên vẫn có cách khác dễ hơn đó là sử dụng biểu đồ Histogram.

Vùng tô đậm màu vàng ở Hình 19 cho thấy giá trị P20 của TWC nằm trong khoảng từ 9271,19 - 9472,39psi. Theo đó có thể tìm được $P20 = 9350,98\text{psi}$ dựa vào công thức nội suy tuyến tính (ô màu xanh).

Từ Hình 20 xác định được những khoảng độ sâu có độ bền TWC nhỏ hơn đường P20, những khoảng không nên thực hiện bắn mở vỉa đó là 3.425 - 3.465m, 3.550 - 3.580m và 3.670 - 3.700m.

- Xác định bằng đồ thị CDD [8]

Như vậy khi áp suất vỉa p_i suy giảm đi 6.000psi, áp suất vỉa lúc này là 4.264psi. Nếu tiếp tục khai thác với áp suất chênh lệch là 1.500psi từ vỉa vào giếng thì lúc này xuất hiện các vùng sinh cát ở các khoảng độ sâu 3.425 - 3.465m, 3.550 - 3.580m và 3.670 - 3.700m. Đây là các khoảng độ sâu dự báo không nên bắn mở vỉa.

4.2. Dự báo sinh cát khi khai thác tại một độ sâu

Từ các dữ liệu đầu vào và các giá trị được nội suy cho giếng P, tiến hành chạy mô hình SandPit3D trên phần mềm IP. Kết quả như Hình 23.

Hình 23 cho thấy giá trị áp suất vỉa tới hạn (CRP) từ khoảng 1.200 - 1.600psi thay đổi từ góc bắn mở vỉa 0 - 90°. Thay đổi góc bắn mở vỉa từ 0 - 90°, cho thấy góc bắn mở vỉa càng cao thì vùng an toàn càng lớn (vùng sinh cát càng nhỏ) và giá trị áp suất vỉa tới hạn CRP cũng nhỏ theo và ngược lại.

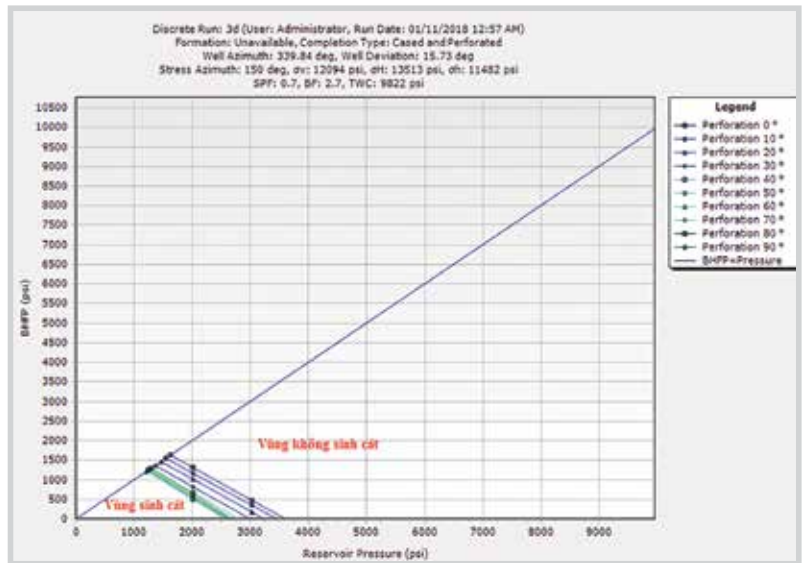
Qua mô hình áp suất sinh cát trên Hình 24, nhóm tác giả rút ra kết luận sau:

Nhận xét cụ thể tại Hình 24 cho thấy, giả sử giếng P này rơi vào trường hợp 1 và 2, cả 2 giếng đều có chung áp suất vỉa lúc này là 2.200psi, tuy nhiên giếng trong trường hợp 1 là an toàn và không sinh cát, còn giếng trong trường hợp 2 nằm trong vùng sinh cát vì có cùng áp suất vỉa nhưng áp suất đáy giếng lại khác nhau. Điều này cho thấy, ở cùng điều kiện vỉa (cùng áp suất vỉa) nếu khai thác với độ chênh áp lớn như trường hợp 2 sẽ có nguy cơ sinh cát cao hơn và ngược lại.

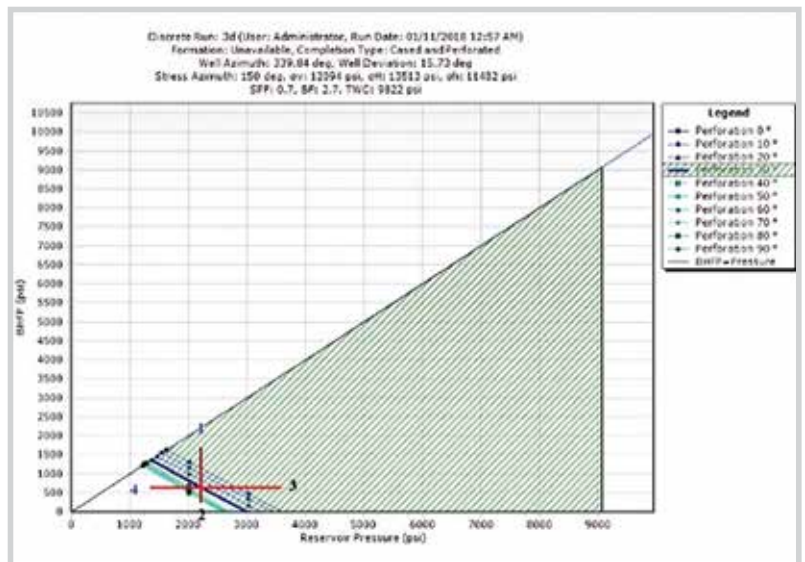
Tương tự khi giếng này rơi vào trường hợp 3 và 4, tuy cùng áp suất đáy giếng nhưng áp suất vỉa khác nhau và trường hợp giếng 3 nằm trong vùng an toàn, giếng 4 nằm trong vùng sinh cát. Như vậy, áp suất vỉa là một thông số ảnh hưởng rất lớn đến nguy cơ sinh cát. Trong quá trình khai thác, nếu áp suất vỉa giảm thì nguy cơ sinh cát càng cao. Chính vì vậy, giải pháp duy trì áp suất vỉa bằng biện pháp bơm ép nước sẽ có tác dụng hạn chế nguy cơ sinh cát.

- Khảo sát khi độ bền TWC nhỏ nhất

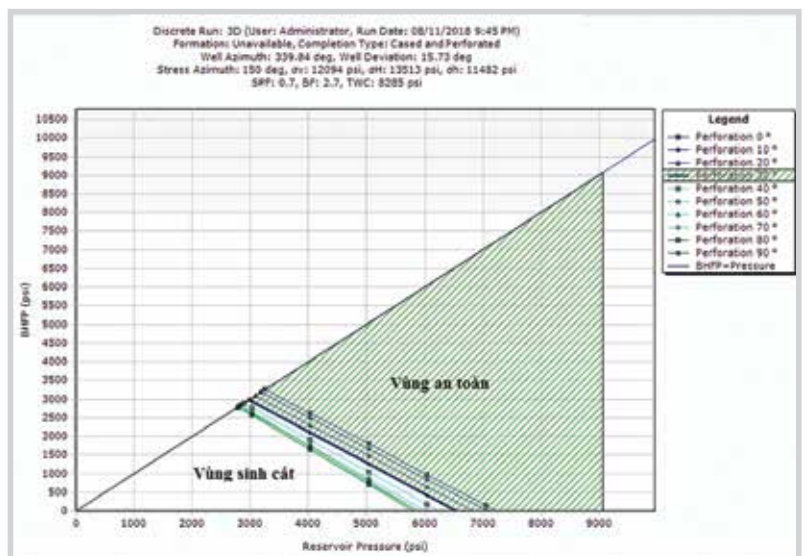
Khi mô hình đạt TWC (min), lúc này ứng suất thành hệ thấp nhất nên mô hình có vùng an toàn nhỏ hơn, vùng sinh cát lớn hơn so với các hình khảo sát trước đó. Nếu bắn mở vỉa ở vùng có TWC (min) này khai thác sẽ có nguy cơ sinh cát cao hơn, cụ thể là khi khai thác rơi vào thời điểm tại áp suất



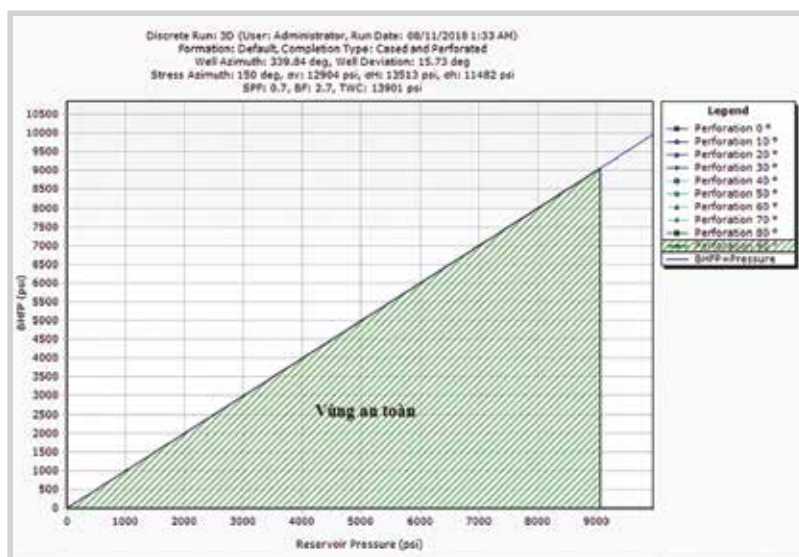
Hình 23. Mô hình áp suất sinh cát theo các góc bắn mở vỉa khác nhau



Hình 24. Phân tích vùng sinh cát và vùng không sinh cát theo góc bắn mở vỉa 30°



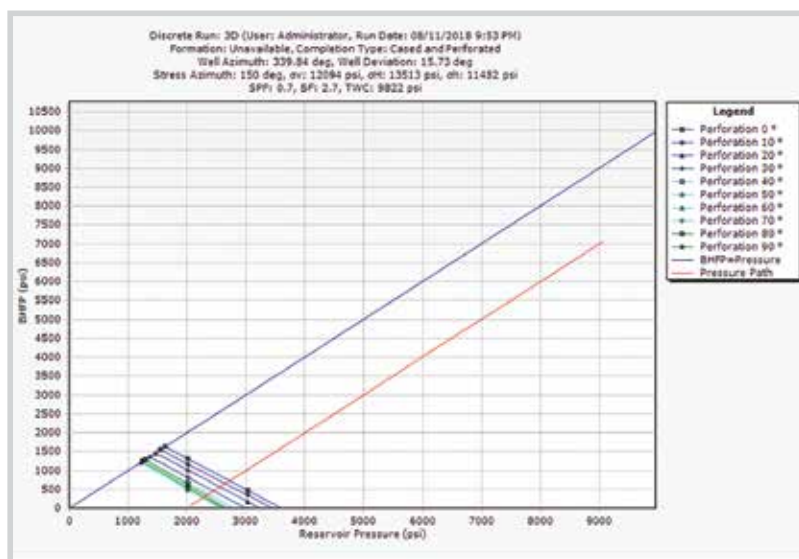
Hình 25. Khảo sát mô hình áp suất sinh cát khi TWC_Min



Hình 26. Mô hình áp suất sinh cát khi TWC_Max (Clip curves)

Bảng 1. Số liệu vòng đời mỏ theo chu kỳ 5 năm

Năm	Áp suất vỉa (psi)	BHFP (psi)
0	9.162	7.162
5	7.762	5.762
10	6.362	4.362
15	4.962	2.962
20	3.562	1.562
25	2.162	162



Hình 27. Vùng đời khai thác của giếng P

via nhỏ hơn từ 6.000psi và có áp suất đáy giếng tới hạn nhỏ hơn trong khoảng 2.800 - 3.300psi thì giếng sẽ sinh cát.

- Khi độ bền TWC cực đại

Mô hình đang khai thác hoàn toàn nằm trong vùng an toàn và không sinh cát dù khai thác ở bất kỳ áp suất hay góc bắn mở vỉa nào do độ bền TWC rất lớn (13.900psi).

4.3. Dự báo sinh cát cho giếng P sau khoảng thời gian khai thác

Nhóm tác giả mô phỏng biểu đồ sinh cát cho giếng P (Bảng 1), với áp suất khi bắt đầu khai thác là 9.162psi, độ giảm áp từ vỉa vào giếng của mỗi năm là 2.000psi và sự sụt giảm áp suất vỉa theo chu kỳ mỗi 5 năm là 1.400psi.

Hình 27 cho thấy chỉ trong 5 năm cuối, khi áp suất vỉa giảm sâu, giếng P hoàn toàn nằm trong vùng có khả năng sinh cát cao, dù bất kỳ góc bắn mở vỉa nào giếng cũng đều có khả năng sinh cát.

5. Kết luận

Kết quả nội suy Kriging cho thấy số liệu nội suy. Kết quả cho thấy mô hình Variogram được lựa chọn cho bộ dữ liệu của UCS và TWC đều là mô hình cầu (Spherical).

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình áp suất sinh cát thay đổi theo từng góc bắn mở vỉa từ 0 - 90° trên phần mềm IP. Các kết quả được tổng hợp như sau:

Sinh cát sẽ xảy ra khi áp suất vỉa nhỏ hơn khoảng 2.500 - 3.500psi, tùy vào từng góc bắn mở vỉa khác nhau.

Khi góc bắn mở vỉa từ 0 - 30°, vùng sinh cát dao động khi áp suất vỉa nhỏ hơn 3.500psi và áp suất đáy giếng nhỏ hơn 1.600psi. Khi góc bắn mở vỉa từ 60 - 90°, cho thấy vùng có khả năng sinh cát nhỏ hơn, dao động ở vùng có áp suất vỉa nhỏ hơn khoảng 3.000psi và áp suất đáy giếng nhỏ hơn khoảng 1.300psi.

Tài liệu tham khảo

1. Trương Xuân Luận. *Lý thuyết địa thống kê*. Đại học Mở - Địa chất.
2. Mohan Kelkar, Godofredo Perez. *Applied geostatistics for reservoir characterization*. Society of Petroleum Engineers. 2002.
3. *Completion technology for unconsolidated formations*. Rev. 2. 1995.
4. Abbas Khaksar, Philip Geoffrey

Taylor, Zhi Fang, Toby John Kayes, Abraham Salazar, Khalil Rahman. *Rock strength from core and logs: Where we stand and ways to go*. Europec/Eage Conference and Exhibition, Amsterdam, Netherlands. 8 - 11 June, 2009.

5. S.M.Willson, Z.A.Moschovidis, J.R.Cameron, I.D.Palmer. *New model for predicting the rate of sand production*. SPE/ISRM Rock Mechanics Conference, Irving Texas. 20 - 23 October 2002.

6. Erling Fjaer, R.M.Holt, P.Horsrud, A.M.Raaen, R.Risnes. *Petroleum related rock mechanics* (2nd edition). Developments in Petroleum Science. 2008.

7. Khalil Rahman, Abbas Khaksar, Toby Kayes. *An integrated geomechanical and passive sand-control approach to minimizing sanding risk from openhole and cased-and-perforated wells*. SPE Drilling & Completion. 2010; 25(2): p.155 - 167.

8. Gbenga Folorunso Oluyemi, M.Babs Oyenehin. *Analytical critical drawdown (CDD) failure model for real time sanding potential prediction based on hoek and brown failure criterion*. Journal of Petroleum and Gas Engineering. 2010; 1(2): p. 16 - 27.

9. Michael J.Economides, Tony Martin. *Modern fracturing - enhancing natural gas production*. Energy Tribune Publishing. 2007.

10. Colin McPhee, Rick Lemanczyk, Lynne Morgan, Philip McCurdy, Derek Littlejohn, Gill Daniels, Juan Carlos Chavez. *Appendix 1: Geomechanical models methods and procedures*. 2007.

11. Jonathan Bellarby. *Well completion design*. Developments in Petroleum Science. 2009.

12. Michael J.Pyrcz, Clayton V.Deutsch. *Geostatistical reservoir modeling*. Oxford University Press. 2014.

APPLYING GEOSTATISTICAL APPROACH TO PREDICT GEOMECHANIC PARAMETERS AND APPLYING SANDPIT3D MODEL TO PREDICT SAND PRODUCTION FOR A PRODUCTION WELL IN NAM CON SON BASIN

Ta Quoc Dung¹, Le The Ha², Nguyen Tien Dat¹

¹Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT)

²Vietnam Oil and Gas Group

Email: tqdung@hcmut.edu.vn, halt01@pvn.vn

Summary

The paper applies the geostatistical approach to predict geomechanical parameters for a production well in the Nam Con Son basin. The results of the geomechanical model will be used to evaluate the sand production ability of the well according to the shear stress calculation model of S. M. Wilson based on the Mohr-Coulomb standard. The critical well bottom pressure for each reservoir pressure at different times is also calculated to provide a reasonable production regime in the reservoir management process.

Key words: Geostatistics, Variogram, Kriging, geomechanical model, Sandpit3D, Nam Con Son basin.