

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ ĐẾN THỜI GIAN KHOAN CỦA CHÒNG

Nguyễn Hữu Trường
Đại học Dầu khí Việt Nam
Email: truongnh@pvu.edu.vn

Tóm tắt

Trong quá trình thi công giếng khoan, thời gian khoan của chòong khoan chịu ảnh hưởng bởi rất nhiều thông số như: tải trọng thực lên chòong, chiều sâu của giếng khoan, tốc độ vòng quay, lưu lượng nước rửa, tính chất của đất đá, tính chất của dung dịch khoan sử dụng. Vì vậy, cần phải xây dựng chính xác mô hình thời gian làm việc của chòong khoan cho đối tượng khoan móng. Nếu không đánh giá chính xác thời gian làm việc của chòong khoan, trong quá trình thi công khoan sẽ gặp các sự cố như chòong mất chóp, tốc độ khoan chậm, làm tăng chi phí giá thành khoan. Bài báo đề xuất xây dựng mô hình thời gian làm việc của chòong cho đối tượng khoan móng với độ tin cậy cao bằng phương pháp toán thống kê, từ đó đánh giá các thông số khác nhau ảnh hưởng tới thời gian làm việc của chòong bằng phương pháp phân tích hồi quy đa biến.

Từ khóa: Thời gian khoan của chòong, các thông số khác nhau, phần mềm toán thống kê, phân tích hồi quy đa biến.

1. Mô hình đánh giá ảnh hưởng của tải trọng lên chòong tới tốc độ mài mòn của chòong khoan

Galle và Woods đã đưa ra mô hình đánh giá ảnh hưởng của tải trọng lên chòong tới tốc độ mài mòn tức thời của chòong khoan theo dạng như sau [1]:

$$\frac{dh}{dt} \propto \frac{1}{1 - \log\left(\frac{W}{d_b}\right)} \quad (1)$$

Trong đó:

W: Tải trọng lên chòong (1.000lbm);

d_b : Đường kính của chòong khoan (inch);

Điều kiện có tốc độ mài mòn của chòong khi:

Theo mô hình tốc độ mài mòn của chòong khoan (1), khi tải trọng lên chòong tăng dẫn tới tốc độ mài mòn nhanh hơn, thời gian mòn chòong nhanh hơn.

$$\frac{W}{d_b} < 10$$

Tốc độ mài mòn của chòong khoan ứng với các tải trọng lên chòong khác nhau và được biểu diễn trong một hệ thống tính toán tốc độ mài mòn của chòong. Ở các tải trọng lên chòong khác nhau thì tốc độ mài mòn của chòong được biểu diễn trong một điều kiện biên nhất định của tải trọng lên chòong là 4.000lbf/inch. Mô hình sẽ có dạng như sau:

$$\frac{dh}{dt} \propto \frac{0,3979 \left(\frac{dh}{dt}\right)_s}{1 - \log\left(\frac{W}{d_b}\right)} \quad (2)$$

Trong điều kiện biên của tải trọng lên chòong lớn nhất và điều kiện biên tải trọng lên chòong tối thiểu tại 4.000lbf/inch, mô hình tốc độ mài mòn của chòong được biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{dh}{dt} \propto \left(\frac{dh}{dt}\right)_s \left[\frac{\left(\frac{W}{d_b}\right)_m - 4}{\left(\frac{W}{d_b}\right)_m - \frac{W}{d_b}} \right] \quad (3)$$

Trong đó:

$\left(\frac{W}{d_b}\right)_m$: Tải trọng lên chòong lớn nhất do nhà chế tạo đã kiểm tra, 10.000lbm/inch;

$\frac{W}{d_b}$: Tải trọng lên chòong ở các tải trọng khác nhau trong quá trình thi công khoan, 10.000lbm/inch.

Như vậy tải trọng lên chòong tăng, dẫn tới tốc độ mài mòn của chòong tăng theo, thời gian khoan của chòong sẽ giảm.

2. Mô hình ảnh hưởng của tốc độ vòng quay tới tốc độ mài mòn của chòong [1]

Galle và Woods đã biểu diễn mối liên hệ tức thời của tốc độ mài mòn chòong khoan với tốc độ vòng quay của chòong khoan theo mô hình [1]:

$$\frac{dh}{dt} \propto N + 4,34 \times 10^{-5} N^3 \quad (4)$$

Có nhiều nghiên cứu gần đây đã đưa ra mối liên hệ của tốc độ vòng quay tới độ mài mòn tức thời của chòong khoan theo mô hình sau:

$$\frac{dh}{dt} \propto N^{H_1} \quad (5)$$

Giá trị H_1, H_2 hằng số ứng với các loại chòong khoan khác nhau. Galle và Woods đưa ra mối liên hệ giữa tốc độ mài mòn chòong tức thời với tốc độ vòng quay cho loại chòong khoan Milled-tooth cho khoan đất đá mềm. Trong điều kiện biên tốc độ vòng quay tại 60 vòng/phút [1], tốc độ mài mòn chòong được biểu diễn như sau:

$$\frac{dh}{dt} \propto \left(\frac{dh}{dt}\right)_s \left(\frac{N}{60}\right)^{H_1} \tag{6}$$

Trong đó:

N: Tốc độ vòng quay (vòng/phút);

$\frac{dh}{dt}$: Tốc độ mài mòn của chòong.

Như vậy, tốc độ vòng quay của chòong khoan tăng thì tốc độ mài mòn của chòong sẽ tăng và thời gian khoan sẽ giảm.

3. Ảnh hưởng của lưu lượng nước rửa tới tốc độ mài mòn của chòong khoan [1]

Ảnh hưởng của lưu lượng nước rửa tới hiệu quả làm sạch mùn khoan ở đáy giếng, làm mát chòong khoan đối với chòong khoan kim cương rất quan trọng so với mức độ ảnh hưởng của lưu lượng nước rửa tới chòong khoan chóp xoay. Hệ dung dịch khoan có ảnh hưởng rất lớn đến thời gian khoan của chòong khoan. Nếu hệ dung dịch khoan không đáp ứng đủ để bảo đảm làm mát chòong khoan, dẫn đến nhiệt độ sinh ra do ma sát giữa chòong khoan với việc phá hủy đất đá tại đáy giếng tăng lên, làm

Bảng 1. Yêu cầu hệ số mài mòn cho chòong khoan chóp xoay [1]

Loại chòong khoan	H_1	H_2	(W/d)max
1-1 tới 1-2	1,90	7	7,0
1-3 tới 1-4	1,84	6	8,0
2-1 tới 2-2	1,80	5	8,5
2-3	1,76	4	9,0
3-1	1,70	3	10,0
3-2	1,65	2	10,0
3-3	1,60	2	10,0
4-1	1,50	2	10,0

Bảng 2. Số liệu thông số khoan thực tế giếng khoan X, đường kính chòong 4½inch

Số chòong khoan đã sử dụng	Chiều sâu giếng (m)	Thời gian khoan (giờ)	Số mét khoan được (m)	Tải trọng lên chòong (1.000lbm)	Tốc độ vòng quay (vòng/phút)	Lưu lượng nước rửa (gallons/phút)
1	4.070	30,15	70	11,0	60	127
2	4.140	43,00	113	13,2	60	127
3	4.253	41,75	100	13,2	60	127
4	4.353	24,50	66	13,2	60	127
5	4.419	18,75	48	15,4	65	111
6	4.467	25,50	79	13,2	65	111
7	4.546	17,50	54	13,2	65	111
8	4.600	25,50	77	15,4	65	127
9	4.677	9,00	27	15,4	65	127

thay đổi tính chất của các răng chòong khoan kim cương. Nếu thủy lực khoan tại chòong khoan không được tối ưu sẽ làm giảm tốc độ khoan và tăng tốc độ mài mòn của chòong khoan ở đáy giếng khoan, thời gian khoan của chòong sẽ giảm nhanh hơn so với chương trình thủy lực khoan đã được tối ưu.

4. Mô hình giá thành khoan

Mô hình giá thành khoan thực tế rất phức tạp, phụ thuộc vào nhiều yếu tố, thông số. Về mặt kỹ thuật, mô hình cơ bản của giá thành khoan trung bình được biểu diễn như sau:

$$CPF = \frac{C_B + C_r(T_d + T_c + T_t + T_i)}{F} \tag{7}$$

Trong đó:

CPF: Giá thành khoan trung bình (USD/m);

ROP: Tốc độ cơ học khoan (m/giờ);

C_B : Giá thành của chòong khoan được sử dụng (USD);

C_r : Giá thành thuê giàn khoan (USD/giờ);

T_d : Thời gian khoan của chòong khoan (giờ);

T_c : Thời gian nối cần khoan (giờ);

F: Số mét khoan được, m;

T_i : Thời gian kéo cần khoan để thay chòong khoan, hay thay thế bộ khoan cụ mới, thời gian thả cần khoan (giờ);

T_t : Thời gian chết (Downtime) do hệ thống khoan không tham gia khoan giếng như: cất cáp khoan, sửa máy bơm, sửa máy phát điện, sửa tời khoan, sửa hệ thống nâng hạ, thời gian xử lý sự cố trong khoan sẽ làm gia tăng giá thành khoan. Một số sự cố như: thời gian xử lý mất dung dịch, thời gian xử lý kẹt bộ khoan cụ, thời gian khoan và xử lý các fishing hay các mảnh kim loại rơi vào bên trong giếng khoan. Trong quá trình tháo lắp bộ khoan cụ, các

mảnh kim loại nhỏ hay thiết bị cầm tay có thể bị rơi xuống giếng như: chông bị rơi chóp, các mảnh vụn kim loại do quá trình cọ xát giữa cột cần khoan với thân giếng, thời gian bơm đập giếng... Như vậy, để giảm giá thành khoan, thì tốc độ khoan phải nhanh, thời gian khoan của chông dài, thời gian nối cần ngắn, thời gian kéo cần khoan nhanh và thời gian sửa chữa hệ thống khoan ngắn, thời gian xử lý các sự cố ngắn.

5. Xây dựng mô hình thời gian làm việc của chông khoan 4½inch khi khoan móng

Dựa trên số liệu thực tế khoan trong Bảng 2, mô hình thời gian khoan của chông khoan 4½inch có dạng tổng quát sau:

$$T_d = f(W, N, Q, MD)$$

Trong đó:

MD: Chiều sâu của giếng (m);

Q: Lưu lượng nước rửa (gallons/phút).

Đề xuất mô hình thời gian khoan của chông có dạng sau [2]:

$$T_d = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (8)$$

Trong đó:

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$: Các hệ số trong mô hình;

X_1 : Chiều sâu của giếng, MD, (m);

X_2 : Tải trọng lên chông khoan (1.000lbm);

X_3 : Tốc độ vòng quay của chông khoan (vòng/phút);

X_4 : Lưu lượng nước rửa (gallons/phút).

Mô hình về thời gian khoan của chông khoan theo số liệu có trong Bảng 2 như sau:

$$T_d = 245 - 0,0379X_1 + 1,84X_2 - 1,24X_3 + 0,005X_4 \quad (9)$$

Bảng 3 chỉ ra hệ số độ tin cậy trong mô hình (9) chỉ đạt $R^2 = 65,7\%$, điều đó chứng tỏ các tham số có trong mô hình (9) chỉ giải thích được 65,7%. Như vậy mô hình (9) còn đến 34,3% các tham số tham gia trong mô hình chưa được giải thích, mặt khác giá trị F test trong Bảng 3 đạt giá trị rất nhỏ là 1,91. Như vậy mô hình (9) chưa đạt độ tin cậy cao.

Mô hình thời gian khoan của chông có độ tin cậy cao và có sự tương tác ảnh hưởng của các tham số tới thời gian khoan của chông được đề xuất như sau [2]:

$$T_d = \alpha_0 + \alpha_1 Y_1^2 + \alpha_2 Y_2^2 + \alpha_3 Y_3^2 + \alpha_4 Y_4^2 + \alpha_5 Y_1 Y_2 + \alpha_6 Y_2 Y_3 + \alpha_7 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 \quad (10)$$

Trong đó:

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$ và α_7 là các hệ số của các tham số trong mô hình (10), ảnh hưởng của sự tương tác giữa các tham số trong mô hình (10);

Bảng 3. Bảng kết quả ANOVA

Thời gian khoan của chông (giờ)	Bậc tự do (DF)	Tổng bình phương (SS)	Bình phương trung bình (MS)	Giá trị thống kê (F)	P
Các tham số tham gia hồi quy	4	637,27	159,32	1,91	0,273
Phần dư	4	333,28	83,32		
Tổng	8	970,54			

$S = 9,12792 \quad R^2 = 65,7\% \quad R^2_{(adj)} = 31,3\%$

Bảng 4. Giải thích các hệ số có trong mô hình (9) của mô hình thời gian khoan của chông khoan chóp xoay 4½inch

Thời gian khoan của chông (giờ)	Hệ số	Độ lệch chuẩn (SE Coefficient)	Kiểm định các tham số (T)	P
Hằng số	245	194,4	1,26	0,277
Chiều sâu của giếng (m)	-0,0379	0,03935	-0,96	0,390
Tải trọng lên chông (1.000lbm)	1,84	3,614	0,51	0,637
Tốc độ vòng quay (vòng/phút)	-1,237	3,815	-0,32	0,762
Lưu lượng nước rửa (gallons/phút)	0,0049	0,6846	0,01	0,995

Khoảng tin cậy = 95%

Bảng 5. Bảng kết quả ANOVA

Thời gian khoan của chông (giờ)	Bậc tự do (DF)	Tổng bình phương (SS)	Bình phương trung bình (MS)	Giá trị thống kê (F)	P
Các tham số tham gia hồi quy	7	967,07	138,15	39,81	0,121
Phần dư	1	3,47	3,47		
Tổng	8	970,54			

$S = 1,86298 \quad R^2 = 99,6\% \quad R^2_{(adj)} = 97,1\%$

Bảng 6. Giải thích các hệ số có trong mô hình (11) của mô hình thời gian khoan của chòong khoan chóp xoay 4½inch

Thời gian khoan của chòong (giờ)	Hệ số	Độ lệch chuẩn (SE Coefficient)	Kiểm định các tham số (T)	P
Hằng số	-30.553	6.663	-4,59	0,137
Y_1^2	-0,00006286	0,0001553	-4,05	0,154
Y_2^2	-45,175	8,456	-5,34	0,118
Y_3^2	5,05	1,240	4,07	0,153
Y_4^2	1,0062	0,2186	4,60	0,136
$Y_1 Y_2$	0,8088	0,1885	4,29	0,146
$Y_2 Y_3$	-8,748	3,632	-2,41	0,251
$Y_1 Y_2 Y_3 Y_4$	-0,00005387	0,00001181	-4,56	0,137

Khoảng tin cậy = 95%

Y_1 : Chiều sâu giếng khoan (m);

Y_2 : Tải trọng lên chòong (1.000lbm);

Y_3 : Tốc độ vòng quay (vòng/phút);

Y_4 : Lưu lượng nước rửa (gallons/phút) .

Từ Bảng 4 thu được mô hình thời gian khoan của chòong khoan chóp xoay 4½inch.

$$T_d = -30553 - 0,000629 Y_1^2 - 45,2 Y_2^2 + 5,05 Y_3^2 + 1,01 Y_4^2 + 0,809 Y_1 Y_2 - 8,75 Y_2 Y_3 - 0,000054 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 \quad (11)$$

Bảng 5 chỉ ra hệ số độ tin cậy của mô hình (11) đạt $R^2 = 99,6\%$, chứng tỏ các tham số có tham gia trong mô hình (11) đã được giải thích gần như tuyệt đối. Trong mô hình về thời gian khoan của chòong (11) chỉ có 0,4% tham số tham gia mô hình chưa được giải thích, mặt khác giá trị F test trong Bảng 5 đạt giá trị 39,81. Như vậy, mô hình (11) biểu diễn thời gian khoan của chòong có độ tin cậy cao với $R^2 = 99,6\%$.

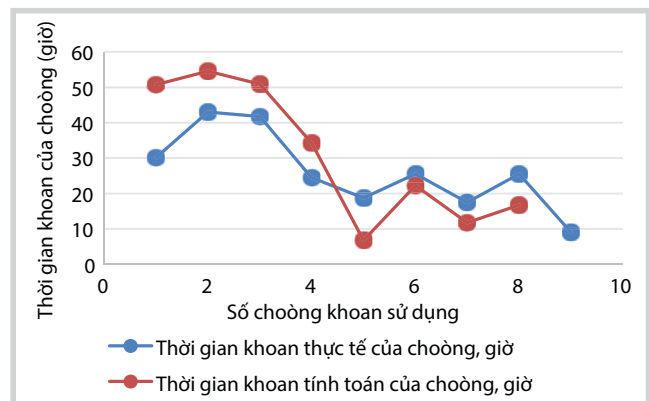
6. Phân tích sự ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau đến thời gian khoan của chòong khoan 4½inch

- Ảnh hưởng của chiều sâu của giếng

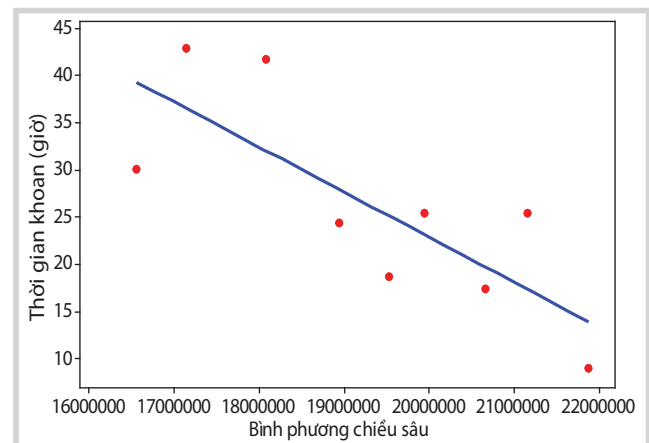
Hình 2 cho thấy khi chiều sâu của giếng tăng lên thì thời gian khoan của chòong giảm xuống. Điều này được giải thích khi chiều sâu giếng khoan tăng, đất đá thành hệ chặt sít hơn do hiệu ứng nén ép của đất đá, có nghĩa khi khoan càng xuống sâu, đất đá có cường độ bền nén tăng theo, do đó thời gian phá hủy của chòong khoan cũng khó khăn hơn, dẫn tới thời gian khoan của chòong giảm trước khi chòong khoan bị mất chóp hay giếng gặp sự cố.

- Ảnh hưởng của tải trọng và tốc độ vòng quay

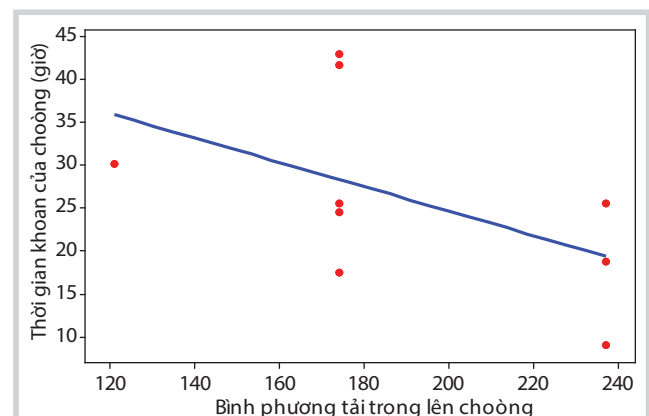
Hình 3 và 4 cho thấy khi tăng tải trọng lên chòong, răng chòong bị mài mòn nhanh hơn, thời gian khoan của chòong giảm đi và khi tăng tốc độ vòng quay, răng



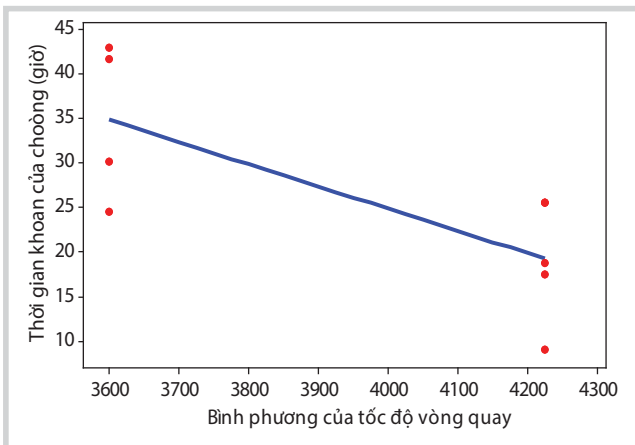
Hình 1. Thời gian khoan của chòong



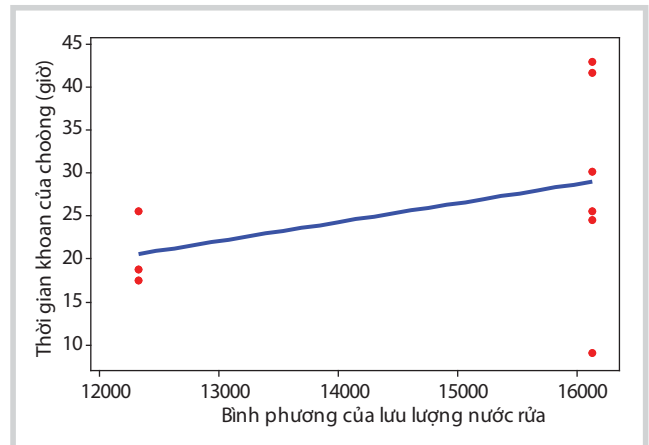
Hình 2. Ảnh hưởng của chiều sâu của giếng tới thời gian khoan của chòong



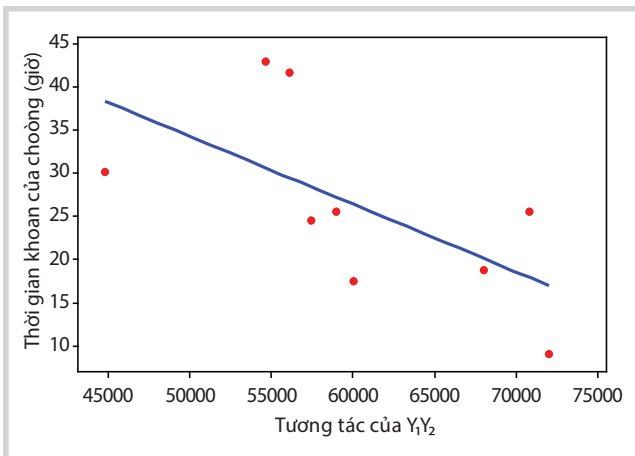
Hình 3. Ảnh hưởng của tải trọng lên chòong tới thời gian khoan của chòong



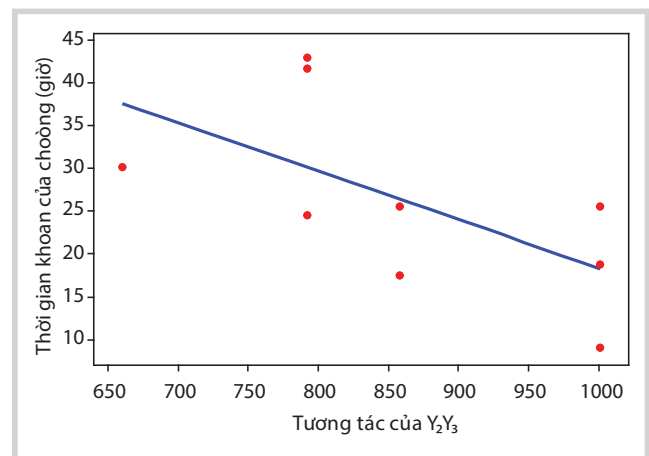
Hình 4. Ảnh hưởng của tốc độ vòng quay tới thời gian khoan của chòong



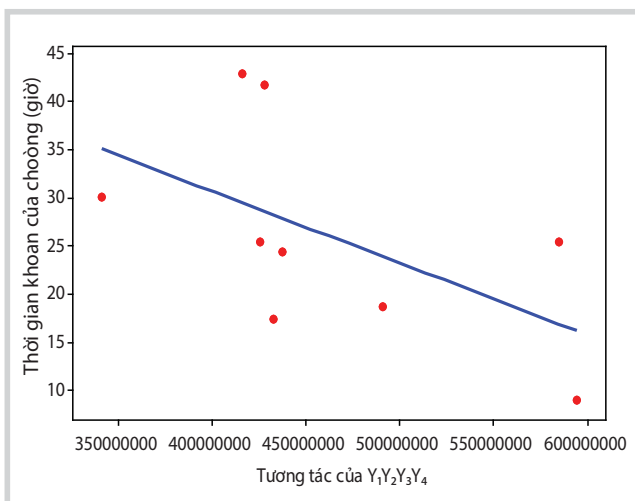
Hình 5. Ảnh hưởng của lưu lượng nước rửa tới thời gian khoan của chòong



Hình 6. Ảnh hưởng của chiều sâu giếng và tải trọng lên chòong tới thời gian khoan của chòong



Hình 7. Ảnh hưởng của tải trọng lên chòong và tốc độ vòng quay lên thời gian khoan của chòong



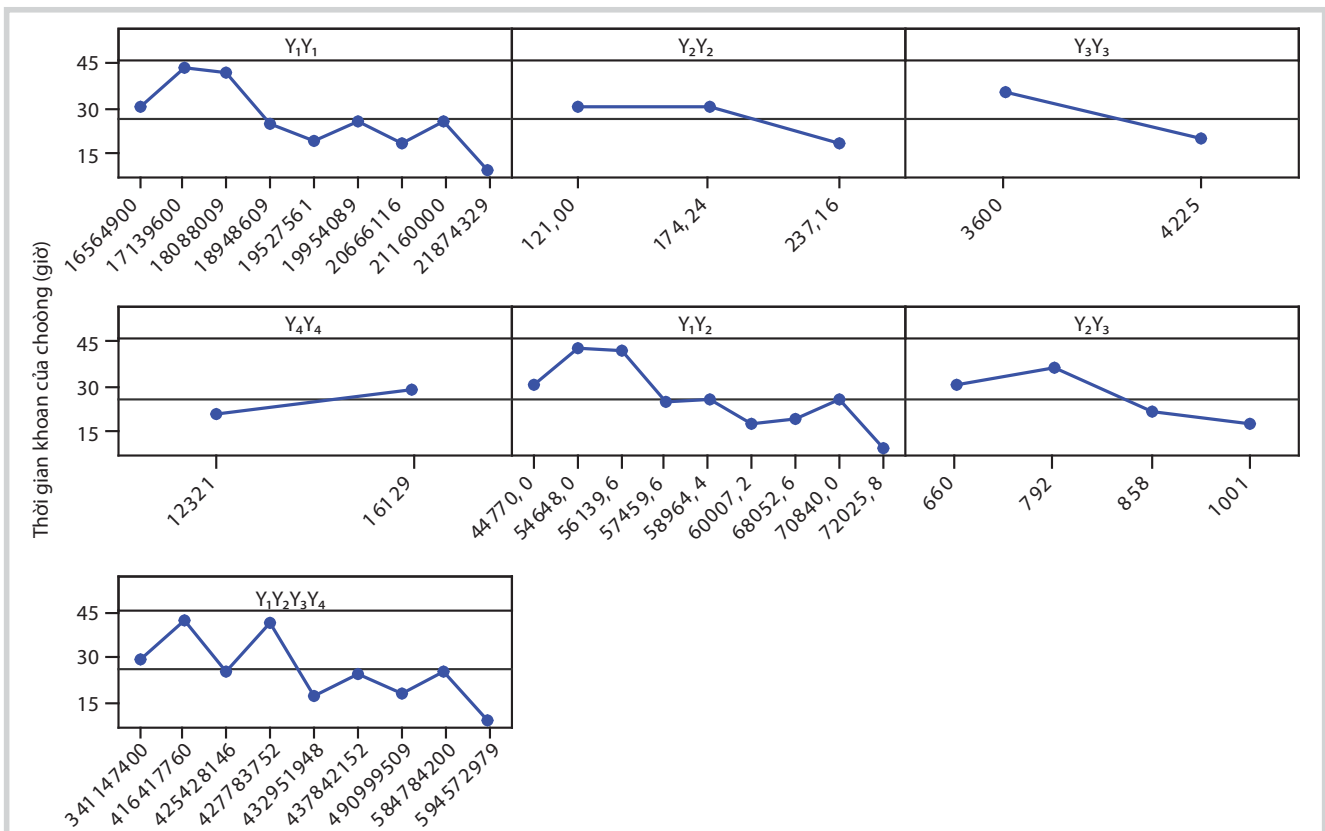
Hình 8. Ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 tới thời gian khoan của chòong

chòong sẽ bị mài mòn nhanh hơn như mô hình ảnh hưởng của tốc độ vòng quay tới tốc độ mài mòn của chòong của Galle và Woods, dẫn tới thời gian khoan của chòong bị giảm khi tăng tốc độ vòng quay trước khi chòong gặp vấn đề.

- Ảnh hưởng của lưu lượng nước

Hình 5 cho thấy khi tăng lưu lượng nước rửa thì chòong khoan được giảm nhiệt độ tối đa do sinh ra ma sát giữa chòong khoan và phá hủy đất đá ở đáy giếng khoan, giúp gia tăng phá hủy đất đá do hiệu ứng phá hủy của vôi phun, làm thời gian khoan của chòong tăng lên.

Ngoài ra còn có ảnh hưởng của sự tương tác giữa các yếu tố khác nhau trong quá trình khoan tới thời gian khoan của chòong (từ Hình 6 - 8). Khi các yếu tố tương tác của chiều sâu giếng khoan với tải trọng lên chòong tăng, thời gian khoan của chòong cũng giảm xuống trước khi chòong gặp sự cố. Tương tự khi giải thích sự ảnh hưởng của tốc độ vòng quay với tải trọng lên chòong và ảnh hưởng của chiều sâu của giếng, tải trọng lên chòong, tốc độ vòng quay, lưu lượng nước rửa tới thời gian làm việc của chòong... cho thấy các yếu tố tương tác này đều làm giảm thời gian làm việc của chòong, có nghĩa là tổng số vòng quay thực tế sẽ nhỏ hơn nhiều so với thiết kế từ nhà sản xuất.



Hình 9. Ảnh hưởng của các thông số lên thời gian khoan của chòong chớp xoay 4 1/2 inch

7. Kết luận

Qua nghiên cứu xây dựng mô hình thời gian làm việc của chòong khoan 4 1/2 inch dựa trên mô hình hồi quy đa biến, trên cơ sở các số liệu thu được từ thực tế khoan, đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau tới thời gian khoan của chòong, nhóm tác giả rút ra một số nhận xét sau:

- Để xây dựng mô hình thời gian làm việc của chòong khoan có độ tin cậy cao, phản ánh đúng các yếu tố tác động tới thời gian làm việc của chòong trong quá trình khoan, thông qua hệ số tin cậy $R^2 = 99,6\%$;
- Trong thực tế thi công khoan móng, các yếu tố sau làm giảm thời gian khoan của chòong, có nghĩa là chòong khoan bị mòn nhanh: tăng tải trọng lên chòong, tăng chiều sâu khoan giếng, tăng tốc độ vòng quay, tăng sự tương tác của các yếu tố chiều sâu giếng khoan và tải trọng lên chòong, tăng sự tương tác của tải trọng lên chòong và tốc độ vòng quay, tăng sự tương tác của chiều sâu của giếng khoan, tải trọng lên chòong, tốc độ vòng quay và lưu lượng nước rửa.
- Tăng lưu lượng nước rửa sẽ làm tăng thời gian làm việc khoan của chòong, có nghĩa là tốc độ mài mòn chòong sẽ diễn ra chậm hơn. Như vậy, khi tối ưu các thông

số: lưu lượng nước rửa, độ nhớt, tỷ trọng, lưu biến, độ thái nước, hàm lượng pha rắn, độ bền gel của dung dịch, áp lực vòi phun tại chòong, điều chỉnh tỷ trọng tuần hoàn nằm trong vùng áp suất vừa và áp suất nứt vừa... sẽ làm chậm tốc độ mài mòn của chòong.

- Tiếp tục nghiên cứu về các yếu tố khác tác động tới thời gian làm việc của chòong khoan 4 1/2 inch trong quá trình thi công khoan, để từ đó điều chỉnh các thông số hợp lý nhằm giảm độ mài mòn của chòong.

Tài liệu tham khảo

1. Adam T.Bourgoyne Jr, Keith K.Millheim, Martin E.Chenevert, F.S.Young Jr. *Applied drilling engineering*. Society of Petroleum Engineers. 1986.
2. Raymond H.Myers, Douglas C.Montgomery, Christine M.Anderson-Cook. *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments (4th edition)*. Wiley. 2016.
3. Xin Yan, Xiao Gang Su. *Linear regression analysis - Theory and computing*. World Scientific. 2009.
4. E.Tanseau. *A heuristic approach to drilling optimization*. Society of Petroleum Engineers. 1975.

5. Nguyễn Thế Vinh, Nguyễn Trần Tuấn, Nguyễn Hữu Trường, Nguyễn Xuân Thảo. *Ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau tới tốc độ cơ học khoan*. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 21. Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội. 2014.

6. Petrovietnam. *Fractured basement reservoir*. Science and Technics Publishing House. 2008.

Investigating the effects of various parameters on the bit life

Nguyen Huu Truong
Petrovietnam University
Email: truongnh@pvu.edu.vn

Summary

During well drilling execution, several parameters affect the bit life, such as weight on the bit, well depth, rotary speed, pump flow rate, rock properties, drilling technology, and the rheological properties of the drilling fluid that has been used. It is, therefore, important to accurately construct the bit life model for the basement. If the bit life is not accurately predicted, there will be certain risks during the drilling process in the field such as cone loss and low penetration rate, leading to increase in the cost of drilling. In this article, the authors propose to construct a highly reliable bit life model to drill wells in the basement with the statistical software, based on which the effects of various parameters on the bit life will be estimated using multiple regression analysis.

Key words: *Bit life, various parameters, statistical software, multiple-regression analysis.*