

CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TỔN THẤT ÁP SUẤT DO MA SÁT CỦA DÒNG CHẤT LỎNG KHOAN TRONG KHOẢNG KHÔNG VÀNH XUYẾN GIẾNG KHOAN ĐỨNG

PHẠM ĐỨC THIÊN, Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Tóm tắt: Một trong những yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả khoan các giếng khoan thăm dò, khai thác khoáng sản đó là quá trình tuần hoàn chất lỏng khoan. Trong bài báo này đề cập đến việc tính toán tổn thất áp suất do ma sát của dòng chất lỏng khoan chảy trong khoảng không vành xuyên trên cơ sở xem xét sự ảnh hưởng của các yếu tố như độ nhớt, trọng lượng riêng chất lỏng, trọng lượng riêng hạt mùn, vận tốc dòng chất lỏng, vận tốc cơ học khoan. Với kết quả xác định sự ảnh hưởng của các yếu tố trên, từ đó có thể đề xuất các thông số hợp lý của dòng chất lỏng nhằm nâng cao hiệu quả khoan.

1. Đặt vấn đề

Trong quá trình khoan thăm dò và khai thác dầu khí nói riêng và khoáng sản nói chung, một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng tới hiệu quả khoan đó là tuần hoàn dung dịch khoan làm mát bộ dụng cụ đáy và làm sạch mùn khoan trên đáy giếng đồng thời vận chuyển ra khỏi giếng khoan. Trong quá trình tuần hoàn dung dịch khoan luôn luôn có sự ma sát với bề mặt thành giếng và dụng cụ khoan trong giếng tạo ra sự tổn thất áp suất do ma sát, làm giảm khả năng vận tải mùn của dòng chất lỏng khoan. Vấn đề đặt ra là cần xác định sự ảnh hưởng của các yếu tố đến tổn thất áp suất do ma sát, từ đó ta chọn được các thông số phù hợp để tổn thất áp suất hợp lý nhằm tăng năng suất khoan.

2. Chất lỏng khoan và biểu thức tổn thất áp suất do ma sát

Chất lỏng khoan hiện nay chủ yếu là chất lỏng phi Newton, tùy theo hóa phẩm pha chế mà có các mô hình chất lỏng khoan như Bingham, Power Law, Herschel Bulkley, Casson,... Theo quy ước của Viện Dầu khí Mỹ (API) chọn mô hình Power Law làm chất lỏng khoan tiêu chuẩn, chính vì vậy mà nội dung tiếp sau đây chỉ tính toán và đề cập đến chất lỏng khoan có mô hình là chất lỏng Power Law. Chất lỏng Power Law được mô tả bởi biểu thức:

$$\tau = k \cdot S^n, \quad (1)$$

trong đó: τ - ứng suất trượt, Pa; k - hệ số đậm đặc, Pa.sⁿ; S - gradient vận tốc, s⁻¹; n - chỉ số dòng chảy. Độ nhớt tương đương chất lỏng Newton của dòng chất lỏng khoan chảy trong khoảng không vành xuyên (KKVX) được xác định [1]:

$$\mu_e = \frac{2^{\left(\frac{-n^2+2n+1}{n}\right)}}{32} k(v_a)^{n-1} \frac{(D_h + D_{op})^n}{(D_h - D_{op})^{\frac{2n+1}{n}}} \left(\frac{n+1}{3n+1}\right) \times \left[D_h^2 + D_{op}^2 - \frac{(D_h^2 - D_{op}^2)}{\ln \frac{D_h}{D_{op}}} \right], \quad (2)$$

trong đó:

μ_e - độ nhớt tương đương chất lỏng Newton, Pa.s;

v_a - vận tốc trung bình chất lỏng trong KKVX, m/s;

D_{op} - đường kính ngoài cần khoan, m;

D_h - đường kính thành lỗ khoan, m.

Để xác định tổn thất áp suất do ma sát, xét một đoạn dòng chảy trong KKVX giếng đứng có chiều dài dl , lực tác động bao gồm áp lực, lực ma sát và trọng lực (hình 1).

Công thức tổng hợp các lực tác động lên dòng chất lỏng khoan hỗn hợp trong KKVX:

$$P_1 - P_2 - T - F_G = 0, \quad (3)$$

Chuyển về các thông số dòng chảy, được:

$$A_a \left(\frac{dp}{dl} \right) = \tau_{ms} \mathcal{X} + \rho_{hd} g A_a, \quad (4)$$

trong đó:

P_1, P_2 - áp lực ở mặt cắt 1-1, 2-2, N;

T - lực ma sát nhớt chất lỏng, N;

F_G - trọng lực;

$N; \frac{dp}{dl}$ - gradient áp suất (Gradp) trong

KKVX, Pa/m;

τ_{ms} - ứng suất ma sát, Pa;

χ - chu vi ướt, m;

G - gia tốc trọng trường, m/s^2 ;

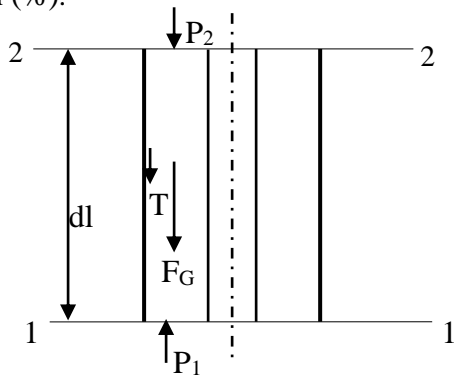
A_a - tiết diện KKVX, m^2 ;

ρ_{hd} - khối lượng riêng hỗn hợp giữa chất lỏng khoan với mùn khoan, kg/m^3 .

Khối lượng riêng hỗn hợp được xác định:

$$\rho_{hd} = \rho_s C_t + \rho_L (1 - C_t), \quad (5)$$

trong đó: ρ_s, ρ_L - khối lượng riêng hạt mùn và chất lỏng khoan; C_t - tổng nồng độ mùn khoan (%).



Hình 1. Lực tác động lên đoạn dòng chảy trong KKVX

Chu vi ướt được xác định:

$$\chi = \pi(D_h + D_{op}), \quad (6)$$

Tổng nồng độ mùn khoan là hàm số của tốc độ cơ học khoan trung bình, được xác định:

$$C_t = \frac{v_{CH}}{v_{CH} + v_a \left(\frac{D_c^2 - D_{op}^2}{D_c^2} \right)}, \quad (7)$$

trong đó:

D_c - đường kính danh nghĩa của chòong khoan (m);

v_{CH} - tốc độ cơ học khoan (m/s).

Ứng suất ma sát xác định bởi:

$$\tau_{ms} = \frac{1}{2} \rho_{hd} v_a^2 f, \quad (8)$$

trong đó: f - hệ số ma sát Fanning, được cho bởi [2]:

$$f = 0,00454 + 0,645 Re^{-0,7}, \quad (9)$$

với Re - số Reynolds, $Re = \rho_{hd} v_a (D_h - D_{op}) / \mu_e$.

Nếu thống nhất về hệ số ma sát của Darcy, thì $\lambda = 4f$, khi đó:

$$\tau_{ms} = \frac{1}{8} \rho_{hd} v_a^2 \lambda, \quad (10)$$

với λ - hệ số ma sát Darcy.

Công thức (4) có thể viết thành:

$$\text{Gradp} = \frac{1}{A_a} [\tau_{ms} \chi + \rho_{hd} g A_a], \quad (11)$$

Công thức (11) thể hiện gradient áp suất phân bố trên dòng chảy chất lỏng khoan trong KKVX. Để đưa về gradient tổn thất áp suất do ma sát (tức tổn thất áp suất do ma sát trên một đơn vị chiều dài giếng khoan), ta lấy gradient áp suất trừ đi cột áp thủy tĩnh trên 1m được gradient tổn thất áp suất do ma sát.

Từ công thức (11), được:

$$\text{Gradp}_{ms} = \frac{1}{A_a} [\tau_{ms} \chi + \rho_{hd} g A_a] - \rho_{hd} g, \quad (12)$$

trong đó: Gradp_{ms} - gradient tổn thất áp suất do ma sát, Pa/m;

$\rho_{hd} g$ - cột áp thủy tĩnh trên 1m chiều dài thân giếng, Pa/m.

3. Thông số cơ sở tính toán sự ảnh hưởng của các yếu tố đến tổn thất áp suất do ma sát

Theo nghiên cứu của Mojis [4] về chất lỏng khoan gốc nước với hai loại chính là: nước cộng sét với các phụ gia và nước biển cộng polymer với các phụ gia. Loại nước sét được dựa trên chất lỏng nền (CLN), pha chế gồm 15g bentonite trong 350 ml nước (tương đương 15 lbm bentonite trong 1bbl nước) cộng thêm một lượng xút (NaOH) đủ để độ pH bằng 9. Thông thường khi sử dụng trong khoan người ta cho thêm một hàm lượng nhất định KCL.

Bảng 1. Thông số dữ liệu cơ sở (chọn dữ liệu cơ sở dựa trên CLN+2%KCl)

Các thông số	Giá trị
Chỉ số chảy chất lỏng khoan (n)	0,32
Hệ số đậm đặc chất lỏng khoan (k)	1,37 Pa.s ⁿ
Đường kính giếng khoan	311,15 mm
Đường kính ngoài cột cần khoan	127 mm
Khối lượng riêng mùn khoan	2600 kg/m ³
Khối lượng riêng chất lỏng	1100 kg/m ³
Kích thước hạt mùn trung bình	5mm
Tốc độ cơ học khoan	0,005556m/s (20 m/h)

4. Ảnh hưởng của các yếu tố đến tổn thất áp suất do ma sát

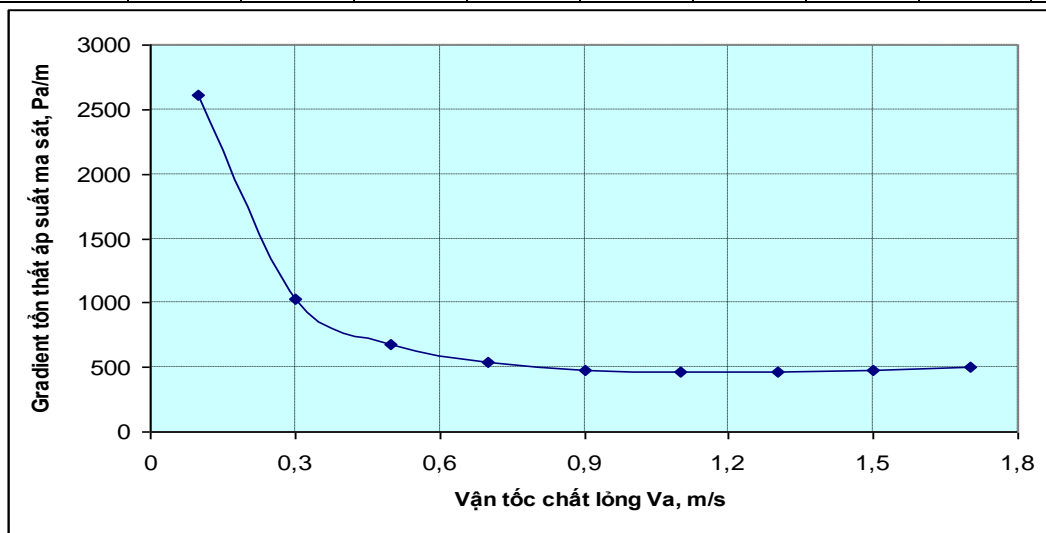
Để xác định sự ảnh hưởng của các yếu tố đến tổn thất áp suất do ma sát của dòng chất lỏng khoan chảy trong KKVX giếng đứng, ta sử dụng các công thức (1, 2, 5, 7, 8, 9, 12), đồng thời dựa trên thông số dữ liệu cơ sở trong bảng 1. Quá trình tính toán được thực hiện bằng phần mềm Matlab. Để tính gradient tổn thất áp suất do ma sát của dòng chất lỏng trong KKVX, khi chạy chương trình tính toán, các thông số: vận tốc chất lỏng khoan trong KKVX, tính lưu biến của chất lỏng, khối lượng riêng mùn khoan, khối lượng riêng chất lỏng, kích thước hạt mùn, tốc độ cơ học khoan lần lượt được thay đổi, các thông số còn lại theo giá trị dữ liệu cơ sở.

4.1. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX khi vận tốc chất lỏng khoan thay đổi

Sự ảnh hưởng của vận tốc chất lỏng khoan đến Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX được tính toán dựa vào thông số dữ liệu cơ sở, còn vận tốc chất lỏng cho thay đổi giá trị từ 0,1m/s đến 1,7m/s. Kết quả tính toán mô phỏng được thể hiện trên bảng 2 và hình 2.

Bảng 2. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX khi v_a thay đổi

v_a , m/s	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
Grad _{p_{ms}} , Pa/m	2613	1025	677	541	482	459	459	474	501



Hình 2. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX khi v_a thay đổi

Theo bảng 2 và hình vẽ 2, ta thấy tổn thất áp suất do ma sát giảm nhanh khi giá trị vận tốc chất lỏng nhỏ, đặc biệt là vận tốc chất lỏng nhỏ hơn 0,4 m/s. Khi tiếp tục tăng vận tốc chất lỏng cường độ giảm tổn thất giảm dần, sự giảm này đạt đến giá trị vận tốc chất lỏng khoảng 1,3 m/s. Nếu tiếp tục tăng vận tốc chất lỏng thì tổn thất tăng theo.

4.2. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo tính lưu biến của chất lỏng

Ảnh hưởng của tính lưu biến chất lỏng khoan đến gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX được tính toán theo các chất lỏng khoan sử dụng thể hiện trong bảng 3, chất lỏng được mô tả có độ nhớt khác nhau thông qua hệ số đậm đặc khác nhau, còn khối lượng riêng và chỉ số dòng chảy giữ nguyên giá trị dữ liệu cơ sở. Độ nhớt tương đương Newton được tính toán nhờ công thức (2) và dữ liệu cơ sở trong bảng 1. Kết quả tính toán gradient tổn thất áp suất do ma sát thể hiện trong bảng 4.

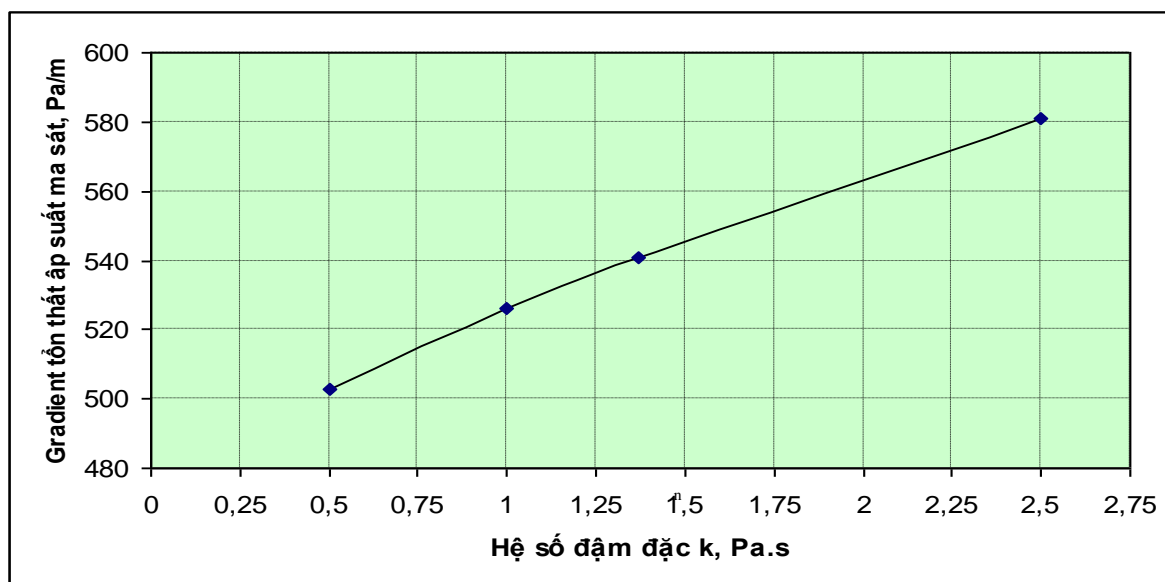
Bảng 3. Thông số lưu biến của các chất lỏng khoan khi thay đổi hệ số k

Thông số	CLCS	Chất lỏng khoan A	Chất lỏng khoan B	Chất lỏng khoan C
k (Pa.s ⁿ)	1,37	0,5	1,0	2,5
μ_e (Pa.s)	0,5327	0,1944	0,3889	0,9721

Bảng 4. $Grad_{p_{ms}}$ trong KKVX theo tính lưu biến chất lỏng khoan khi v_a thay đổi.

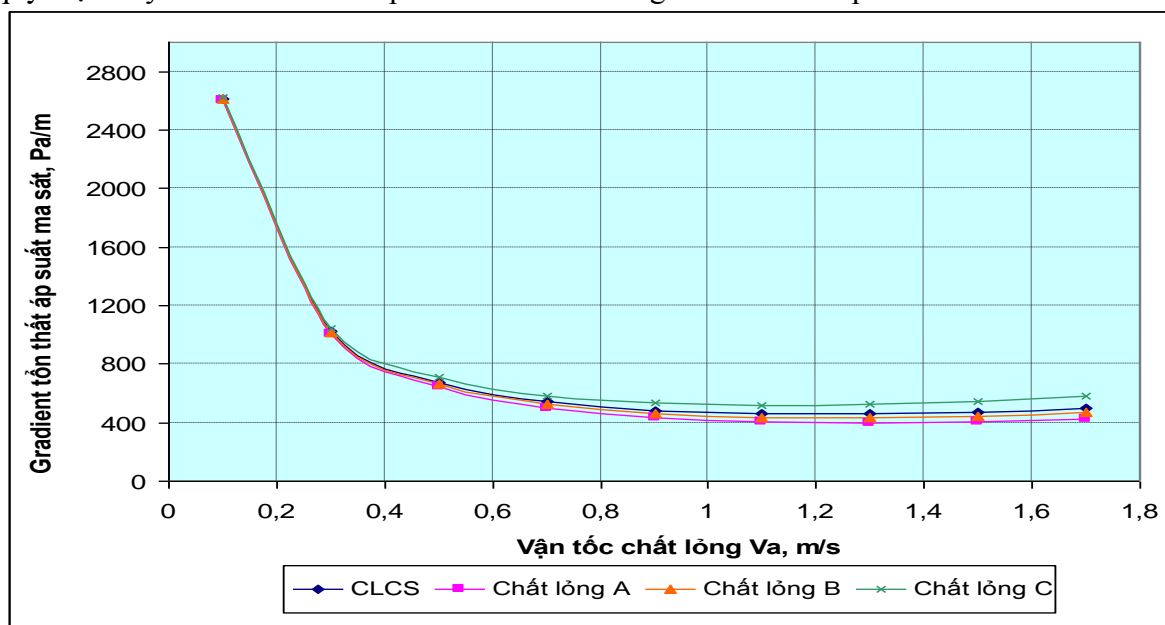
v_a , m/s		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
$Grad_{p_{ms}}$, Pa/m	CLCS	2613	1025	677	541	482	459	459	474	501
	Chất lỏng A	2605	1005	648	503	434	403	395	402	421
	Chất lỏng B	2610	1017	666	526	463	437	434	446	469
	Chất lỏng C	2622	1045	708	581	531	517	526	549	584

Kết hợp bảng 3, bảng 4, ta được mối quan hệ giữa gradient tổn thất áp suất do ma sát và hệ số đậm đặc k như trên hình 3.



Hình 3. $Grad_{p_{ms}}$ trong KKVX theo tính lưu biến chất lỏng khoan tại $v_a = 0,7$ m/s

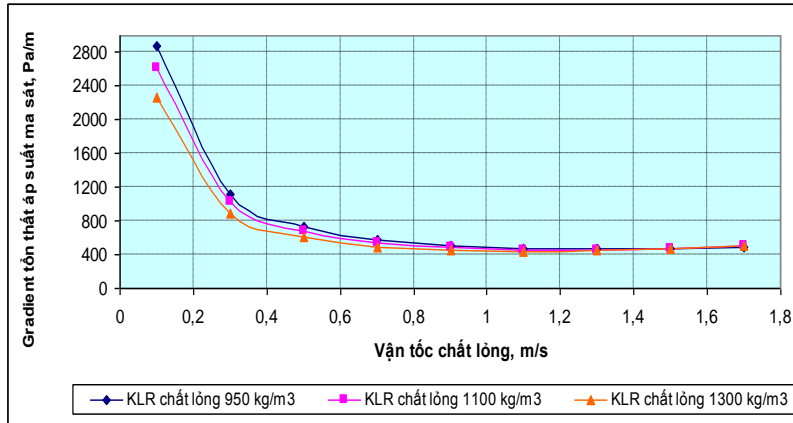
Từ hình vẽ 3, ta thấy khi ở cùng giá trị vận tốc chất lỏng, tổn thất áp suất do ma sát tăng khi độ nhớt của chất lỏng tăng, cường độ tăng càng lớn khi ở độ nhớt cao. Khi vận tốc chất lỏng thay đổi thì quy luật thay đổi của tổn thất áp suất do ma sát cũng diễn ra như ở phần trên đã mô tả.



Hình 4. $Grad_{p_{ms}}$ trong KKVX theo tính lưu biến chất lỏng khoan khi v_a thay đổi

4.3. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo khối lượng riêng (KLR) chất lỏng
Bảng 5. Grad_{p_{ms}} trong KKVX theo KLR chất lỏng khoan khi v_a thay đổi

v _a , m/s		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
Grad _{p_{ms}} , Pa/m	ρ _L = 950 kg/m ³	2872	1120	733	578	505	474	465	472	491
	ρ _L = 1100 kg/m ³	2613	1025	677	541	482	459	459	474	501
	ρ _L = 1300 kg/m ³	2268	897	602	491	448	439	450	476	512



Hình 5. Grad_{p_{ms}} trong KKVX theo KLR chất lỏng khi v_a thay đổi

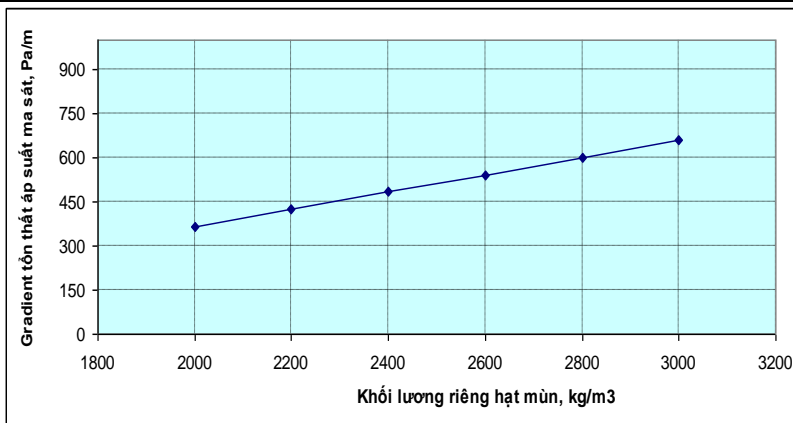
Trên bảng 5 và hình 5, cho thấy ở vận tốc chất lỏng nhỏ thì tổn thất áp suất do ma sát của chất lỏng có KLR lớn nhỏ hơn so với chất lỏng có KLR nhỏ. Nhưng khi tăng vận tốc chất lỏng đến một giá trị nào đó thì chất lỏng có KLR càng lớn thì tổn thất áp suất do ma sát càng lớn. Còn quy luật theo vận tốc chất lỏng cũng vẫn như trên mô tả.

4.4. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo khối lượng riêng hạt mùn

Khi tính toán Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo khối lượng riêng hạt mùn, ta thay đổi khối lượng riêng từ 2000kg/m³ và chọn vận tốc chất lỏng ở 0,7m/s. Kết quả tính toán mô phỏng được thể hiện trên bảng 6 và hình 6,7.

Bảng 6. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo khối lượng riêng hạt trong giếng đứng ở v_a=0,7 m/s

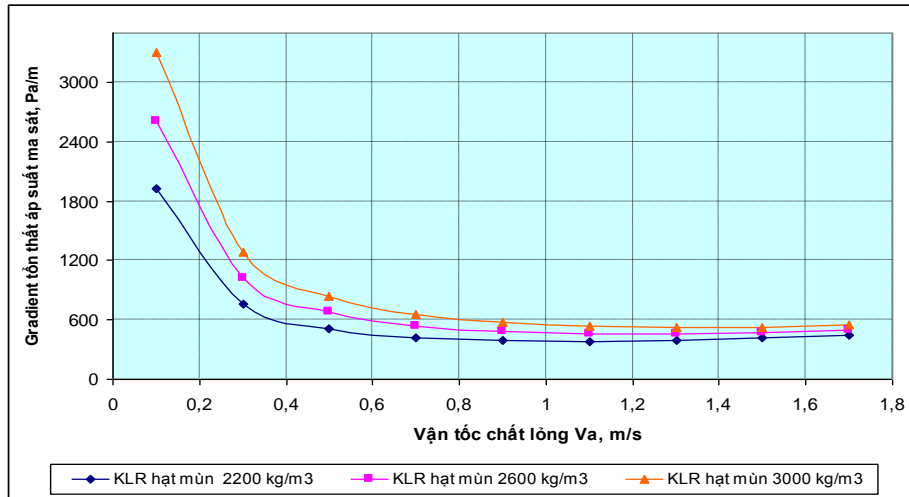
ρ _p , kg/m ³	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Grad _{p_{ms}} , Pa/m	366	424	483	541	600	658



Hình 6. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo KLR hạt ở v_a=0,7 m/s

Bảng 7. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo KLR hạt khi v_a thay đổi

V _a , m/s		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
Grad _{p_{ms}} , Pa/m	ρ _p =2200 kg/m ³	1921	763	516	424	390	383	395	418	451
	ρ _p =2600 kg/m ³	2613	1025	677	541	482	459	459	474	501
	ρ _p =3000 kg/m ³	3306	1287	839	658	573	535	524	530	550



Hình 7. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo KLR hạt khi v_a thay đổi

Khi khối lượng riêng hạt mùn tăng làm tổn thất áp suất do ma sát tăng, như trên hình 6 thể hiện sự tăng giữa hai đại lượng này quan hệ theo quy luật đường thẳng.

4.5. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo kích thước hạt mùn

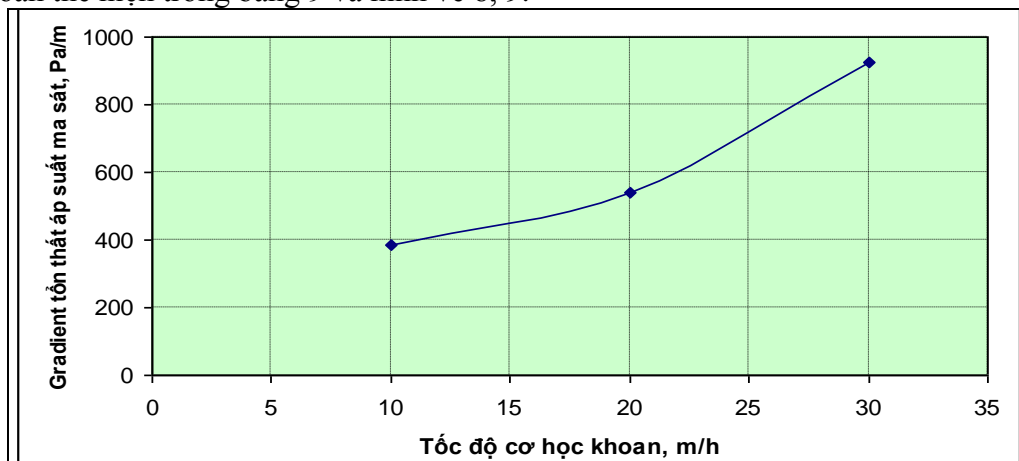
Khi tính toán Gradient tổn thất áp suất ma sát trong KKVX theo kích thước hạt mùn, ta cũng dựa vào thông số dữ liệu cơ sở và cho kích thước hạt thay đổi từ 1mm đến 9mm, kết quả tính toán mô phỏng thu được thể hiện trong bảng 8. Từ kết quả này chỉ ra rằng kích thước hạt không ảnh hưởng đến tổn thất áp suất do ma sát.

Bảng 8. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo kích thước hạt mùn

d_p , mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gradp, Pa/m	658	658	658	658	658	658	658	658	658

4.6. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo tốc độ cơ học khoan

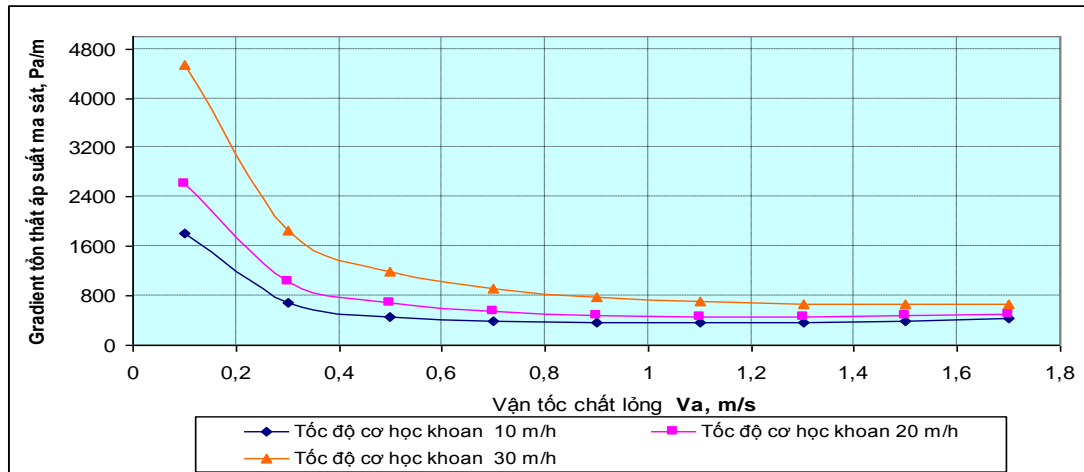
Để xác định sự ảnh hưởng của tốc độ cơ học khoan đến tổn thất áp suất do ma sát, chọn ba tốc độ khoan để tính toán là 10 m/h (0,002778 m/s), 20 m/h (0,005556m/s), 30 m/h (0,008333 m/s). Kết quả tính toán thể hiện trong bảng 9 và hình vẽ 8, 9.



Hình 8. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo v_{CH} khi $v_a = 0,7$ m/s

Bảng 9. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo v_{CH} khi v_a thay đổi

v_a , m/s		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7
Gradp, Pa/m	$v_{CH}= 10$ m/h	1820	686	463	385	358	357	372	398	433
	$v_{CH}= 20$ m/h	2613	1025	677	541	482	459	459	474	501
	$v_{CH}= 30$ m/h	4551	1849	1200	924	784	709	673	661	666



Hình 9. Gradient tổn thất áp suất do ma sát trong KKVX theo v_{CH} khi v_a thay đổi

Tốc độ cơ học khoan thể hiện qua nồng độ hạt mùn trong dòng chảy chất lỏng khoan, tốc độ cơ học khoan càng lớn thì nồng độ hạt càng lớn. Như trên hình 8, khi tốc độ cơ học khoan tăng làm tổn thất áp suất do ma sát tăng, cường độ tăng tổn thất áp suất do ma sát càng lớn khi tốc độ cơ học khoan càng lớn.

5. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu, tính toán trên ta có thể kết luận rằng:

- Các yếu tố ảnh hưởng đến tổn thất áp suất do ma sát bao gồm vận tốc chất lỏng trong KKVX, tính lưu biến chất lỏng, khối lượng riêng chất lỏng, KLR hạt mùn, tốc độ cơ học khoan. Khi độ nhớt chất lỏng, KLR hạt mùn, tốc độ cơ học khoan tăng làm tổn thất áp suất do ma sát tăng;

- Vận tốc chất lỏng khoan là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến tổn thất áp suất do ma sát. Qua các hình vẽ và kết quả thể hiện ở trên, ta thấy nếu trong khoan sử dụng dòng chất lỏng chảy trong KKVX có vận tốc nhỏ hơn 0,4 m/s thì tổn thất áp suất do ma sát rất lớn, khi vận tốc chất lỏng lớn hơn 1,3 m/s, tổn thất áp suất do ma sát tăng khi vận tốc tăng. Do vậy, để giá trị

tổn thất áp suất do ma sát hợp lý ta không nên khoan ở vận tốc dòng chất lỏng trong KKVX nhỏ hơn 0,4 m/s và lớn hơn 1,3 m/s.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Đức Thiên, 2011. Độ nhớt tương đương Newton và phân biệt chế độ chảy của chất lỏng phi Newton trong cột cần và khoảng không vành xuyên giếng khoan. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 33 tháng 01-2011. Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- [2]. Doron, P. and Barnea, D, 1993. A Three-Layer Model for Solid-Liquid Flow in Horizontal Pipes, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 19, No. 6, 1993, p.1029-1043.
- [3]. EXLOG, 1985. Theory and application of drilling fluid hydraulics. International Human Resources Development Corporation, Boston.
- [4]. Jamal J. Azar, G. Robello Samuel, 2007. Drilling Engineering. Tulsa, Oklahoma, USA.
- [5]. Mojisola G. Enilari, 2005. Development and evaluation of various drilling fluids for slime hole wells, Master graduated, Norman, Oklahoma.

SUMMARY

Effects of parameters on friction pressure losses of drilling fluid flow in vertical annulus well

Pham Duc Thien, University of Mining and Geology

Circulation drilling fluid are important respect effect on drilling efficiency of production and exploration wells. This paper, the author study effecting of parameters as annulus velocity, fluid rheology, fluid density, cutting density, cutting size, and rate of penetration on friction pressure losses. From that propose sensible parameters of drilling fluid flow to enhance drilling efficiency.