

# PHẦN MỀM TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH BƠM TRÁM XI MĂNG GIẾNG KHOAN DẦU KHÍ

Phạm Hữu Hậu, Lê Phước Hảo, Trịnh Hữu Tuấn,

Đỗ Quang Khánh, Hoàng Trọng Quang

Khoa Địa chất và Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 15 tháng 08 năm 2003)

**TÓM TẮT:** Tính toán và mô phỏng quá trình bơm trám xi măng giếng khoan dầu khí đóng một vai trò quan trọng trong việc cải tiến, hoàn thiện và nâng cao chất lượng công tác bơm trám xi măng.

Phần mềm tính toán và mô phỏng quá trình bơm trám xi măng giếng khoan dầu khí Cement version 1.0 được các tác giả lập trình dựa trên ngôn ngữ Matlab 5.3 bước đầu đã đáp ứng được các yêu cầu cơ bản của quá trình bơm trám xi măng trong thực tế. Ngoài việc tính toán và mô phỏng một cách khá chi tiết và đầy đủ các thông số cần thiết trong quá trình bơm trám xi măng, nó còn cho phép theo dõi và hiệu chỉnh các thông số để đạt được các yêu cầu đặt ra.

## 1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Trong quá trình bơm trám xi măng, áp suất thủy tĩnh thay đổi và xuất hiện các thành phần tổn thất áp suất. Phương trình cân bằng áp suất tổng quát cho toàn bộ chất lưu chuyển động trong quá trình bơm trám xi măng tại đáy giếng có thể được viết như sau:

$$P_{hc} - P_{fc} + P_{wh} = P_{ha} + P_{fa}$$

trong đó:  $P_{hc}, P_{ha}$ : Áp suất thủy tĩnh trong ống và trong vành xuyên

$P_{fc}, P_{fa}$ : Tổn thất áp suất trong ống và trong vành xuyên

$P_{wh}$ : Áp suất đầu giếng.

- Thành phần áp suất thủy tĩnh được tính theo công thức:

$$P_{tt} = 0,052\rho D, \text{ (psi)}$$

trong đó:  $\rho$  là khối lượng riêng dung dịch (lb/gal),  $D$  là chiều sâu cột dung dịch (ft).

- Các thành phần tổn thất áp suất do ma sát được tính dựa trên các mô hình toán học mô tả mối quan hệ dòng chảy của vữa xi măng, thường được áp dụng là mô hình Bingham và mô hình hàm mũ. Các phương trình xác định tổn thất áp suất do ma sát đối với hai mô hình này có thể tóm lược trong bảng sau.

Mô hình Bingham	Mô hình hàm mũ
<p>a-Trong đường ống:</p> <p>Chảy tầng: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{\mu_p V_{tb}}{1500d^2} + \frac{\tau_y}{225d}</math></p> <p>Chảy rối: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{\rho^{0,75} V_{tb}^{1,75} \mu_p^{0,25}}{1800d^{1,25}}</math></p>	<p>a-Trong đường ống:</p> <p>Chảy tầng: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{Kv_{tb}^n}{144000d^{n+1}} \left[ \frac{3 + \frac{1}{n}}{0,0416} \right]^n</math></p> <p>Chảy rối: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{fpv_{tb}^2}{25,8d}</math></p>

Mô hình Bingham	Mô hình hàm mũ
<p><i>b- Trong vành xuyên:</i></p> <p>Chảy tầng: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{\mu_p v_{tb}}{1000(d_2 - d_1)^2} + \frac{\tau_y}{200(d_2 - d_1)}</math></p> <p>Chảy rối: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{\rho^{0.5} v_{tb}^{1.75} \mu_p^{0.25}}{1396(d_2 - d_1)^{1.25}}</math></p>	<p><i>b- Trong vành xuyên</i></p> <p>Chảy tầng: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{Kv_{tb}^n}{144000(d_2 - d_1)^{n+1}} \left[ \frac{2 + \frac{1}{n}}{0,0208} \right]^n</math></p> <p>Chảy rối: <math>\frac{dP_f}{dL} = \frac{f \rho v_{tb}^2}{25,8(d_2 - d_1)}</math></p>

trong đó:

$v_{tb}$  là vận tốc trung bình của dòng chảy, được tính theo công thức:

$v_{tb} = Q/(2,448d^2)$ : đối với dòng chảy trong đường ống,

$v_{tb} = Q/[2.448(d_2^2 - d_1^2)]$ : đối với dòng chảy trong vành xuyên.

Q là lưu lượng dòng chảy (gal/min); d là đường kính trong của ống (in);

$d_1$  là đường kính ngoài của bộ khoan cụ (in);

$d_2$  là đường kính trong của ống chống hay đường kính của giếng (in)

K là chỉ số độ sệt ( $lbf.s^n/100ft^2$ ),  $\mu_p$  là độ nhớt của chất lỏng (cp),

n là chỉ số đặc trưng cho ứng xử cơ học của dòng chảy,

$\tau_y$  là ứng suất trượt tới hạn ( $lbf/100ft^2$ ), f là hệ số ma sát.

## 2. PHẦN MỀM TÍNH TOÁN VÀ MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH BƠM TRÁM XI MĂNG GIẾNG KHOAN DẦU KHÍ

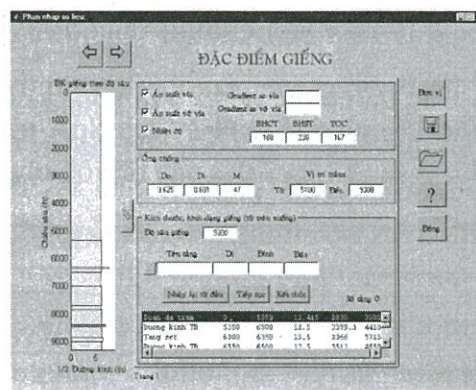
Phần mềm tính toán và mô phỏng quá trình bơm trám xi măng giếng khoan dầu khí (Cement version 1.0) được lập trình dựa trên ngôn ngữ Matlab 5.3, sử dụng công cụ guide layout tạo giao diện và các thông số xuất nhập được xử lý thông qua các file \*.m.

Giao diện chính điều khiển xử lý toàn bộ quá trình tính toán và mô phỏng của chương trình bao gồm các menu tập tin, xử lý, kết quả, trợ giúp.

### 2.1. Nhập số liệu

Phần nhập số liệu của phần mềm gồm:

- Cửa sổ thứ nhất (hình 1) nhập đặc điểm của giếng gồm: vị trí trám, độ sâu giếng, địa tầng giếng, các thông số về ống chống, nhiệt độ, áp suất vỉa, áp suất vỡ vỉa. Áp suất vỉa, áp suất vỡ vỉa có thể nhập theo gradient hoặc theo độ sâu. Nhiệt độ gồm nhiệt độ đáy giếng lúc đang tuần hoàn (BHCT), lúc ngưng tuần hoàn (BHST) và nhiệt độ đỉnh cột vữa xi măng (TOC). Cột địa tầng được nhập theo thứ tự từ trên xuống. Các thông số của cột địa tầng sau khi nhập được lưu lại dưới dạng bảng và được vẽ trong đồ thị kế bên.



Hình 1. Cửa sổ nhập các thông số đặc điểm giếng

- Cửa sổ thứ hai (hình 2) nhập các thông số của vữa xi măng gồm: khối lượng riêng, thời gian đông cứng, vị trí trong giếng. Vữa được nhập theo trình tự của quá trình trám. Loại vữa được chọn dựa vào các loại vữa có sẵn hoặc theo yêu cầu. Khối lượng riêng của vữa có

thể được chọn hoặc được giới hạn trong một phạm vi hẹp nếu có nhập áp suất vỉa, áp suất vỡ vỉa, nhiệt độ. Chọn màu ứng với từng loại vỉa để mô phỏng trong phần kết quả, ứng với mỗi vỉa có hai mô hình chất lỏng để lựa chọn là mô hình Bingham và hàm mũ. Thời gian đông cứng của vỉa xi măng có thể không nhập nhưng cần nhập vị trí của mỗi loại vỉa trong và ngoài ống chống. Sau khi nhập số liệu, kết quả được lưu trong bảng và vị trí từng loại vỉa được vẽ trong đồ thị (hình 4) kế bên.

- Cửa sổ thứ ba (hình 3) nhập lưu lượng bơm trám và hoàn thiện lịch trình bơm.

Cửa sổ nhập thứ ba này sẽ cho biết thể tích của vỉa, vị trí của từng loại vỉa và mỗi loại vỉa có thể thay đổi tốc độ bơm nhiều lần. Nếu tốc độ bơm thay đổi phải nhập vận tốc và thể tích của mỗi lần bơm.

Đơn vị của các thông số nhập được chọn tùy ý giữa hai hệ SI và BES (mặc định là hệ BES). Chương trình có ưu điểm là có thể chọn đơn vị cho một thông số bất kỳ trước khi nhập giúp cho người sử dụng thuận tiện trong quá trình tính toán và hiển thị kết quả.

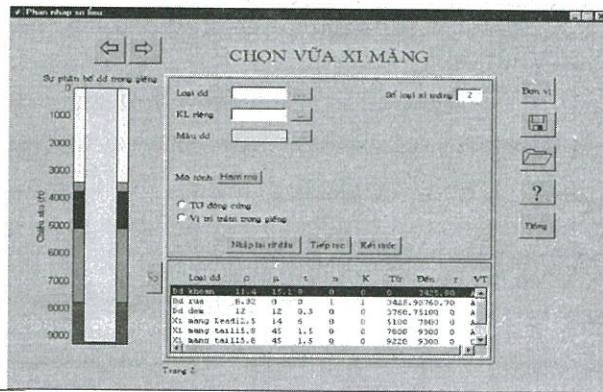
**2.2. Kết quả xử lý**

Kết quả có được sau khi tính toán và xử lý, gồm bốn phần:

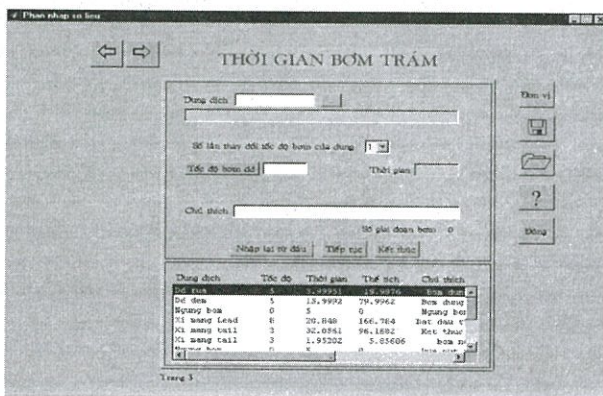
- Phần kết quả chung: xuất ra các thông số tính được trong quá trình xử lý. Phần này cho phép đánh giá tổng quát về quá trình bơm trám của một giếng, như tổng thời gian bơm trám, vị trí trám, nhiệt độ giếng, loại ống chống dùng trong giếng và quan trọng nhất là số liệu của các thông số thay đổi theo thời gian như lưu lượng bơm, áp suất thủy tĩnh trong và ngoài cột ống tổn thất ma sát trong và ngoài vành xuyên.

- Phần đồ thị của các thông số: vẽ đồ thị của áp suất vỉa và áp suất vỡ vỉa theo độ sâu, đồ thị của tốc độ bơm, áp suất đầu giếng, áp suất đáy giếng, lưu lượng, tỷ trọng tuần hoàn tương đương theo thời gian. Các đồ thị này hỗ trợ cho việc theo dõi quá trình trám chặt chẽ hơn, kịp thời điều chỉnh quá trình bơm nếu phát hiện một thông số nào đó không đúng theo kết quả tính toán.

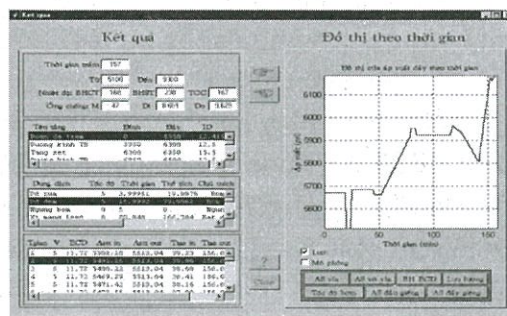
- Phần xác định các thông số theo vị trí: các thông số được xác định khi dùng chuột tác động vào đồ thị. Phần này cho phép tương tác trực tiếp vào đồ thị, khi nhấp chuột vào



Hình 2. Cửa sổ chọn vỉa xi măng



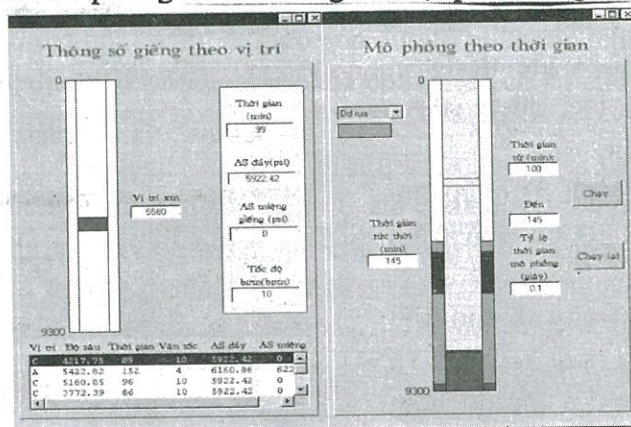
Hình 3. Cửa sổ nhập thời gian bơm trám



Hình 4. Cửa sổ kết quả và đồ thị theo thời gian

giữa là xi măng đã bơm tới vị trí đó trong ống chống, khi nhấp chuột vào hai bên là xi măng đã trám tới vị trí đó trong vành xuyên. Các thông số có liên quan được xuất ra tương ứng với mỗi lần nhấp chuột.

- Phần mô phỏng theo thời gian: quá trình trám được tái hiện lại trong quá trình mô phỏng này, có thể quan sát được vị trí của các dung dịch trong bất kỳ một khoảng thời gian nào, bằng cách nhập thời gian bắt đầu và thời gian kết thúc. Tốc độ chạy mô phỏng nhanh hay chậm tùy thuộc vào tỷ lệ thời gian mô phỏng. Tỷ lệ thời gian mô phỏng là thời gian chạy trong phần mềm mô phỏng so với thời gian một phút trong thực tế.



Hình 5. Cửa sổ hiển thị thông số giếng và mô phỏng theo thời gian

### 3. BÀI TOÁN ÁP DỤNG

#### 3.1. Số liệu ban đầu

##### a. Hình dạng kích thước giếng

- Trám xi măng ống chống 47 lbm/ft, 9 5/8 in, tới độ sâu 9300 ft (2835 m).
- Giếng thẳng đứng và ống chống cấp trước là 68 lbm/ft, 13 3/8 in, tới độ sâu 5350 ft (1631 m).
- Đường kính mở lỗ 12,5 in (32 cm), có hai vùng sọc lỗ đường kính 15,5 in (39,2 cm) và hai vùng trương nở đường kính 12,25 in (31 cm).

##### b. Đặc điểm giếng

Đới sản phẩm chính từ 8450 ft → 8850 ft (2576 – 2697 m), là vùng có áp suất vỉa lớn nhất. Một số đới nước nông hơn có áp suất vỉa thấp, cần kiểm tra kỹ trước khi trám. Áp suất vỉa của toàn bộ giếng thấp, trong đó có một khoảng từ 6500 → 7700 ft (vùng cạn kiệt) có gradient áp suất vỉa thấp nhất. Do đó khối lượng riêng của vỉa khoan là 11,4 lb/gal (1,37 g/cm<sup>3</sup>).

##### c. Nhiệt độ

- Nhiệt độ tĩnh đáy giếng (BHST) 238 °F (114 °C)
- Gradient địa nhiệt 1,7 °F/100ft.
- Tra bảng theo API, xác định được nhiệt độ tuần hoàn đáy giếng (BHCT) 168 °F (76°C).
- Nhiệt độ đỉnh cột vữa xi măng (TOC) 167 °F (75°C).

Bảng 1. Các thông số của giếng

Hình dạng giếng	Đường kính (in)	Chiều sâu (ft)		Áp suất (psi)	
		MD	TVD	Vía	Vỡ vĩa
1. Thành hệ đã trám	12,415	5350,0	5350,0		
2. Thành hệ bình thường	12,500	6300,0	6300,0	3339,3	4410,0
3. Tầng sét	15,500	6350,0	6350,0		5715,0
4. Thành hệ bình thường	12,500	6500,0	6500,0	3512,9	4550,0
5. Tầng cạn kiệt	12,500	7000,0	7000,0	3492,1	4690,0
6. Thành hệ bình thường	12,500	7700,0	7700,0	4001,4	5544,0
7. Tầng nước	12,500	7850,0	7850,0	4364,9	5887,5
8. Thành hệ bình thường	12,500	8400,0	8400,0	4365,1	5880,0
9. Tầng sét	14,000	8450,0	8450,0		7605,0
10. Tầng sản phẩm chính	12,500	8850,0	8850,0	4966,9	6637,5
11. Thành hệ bình thường	13,000	9000,0	9000,0	4770,5	6300,0
12. Thành hệ bình thường	12,500	9300,0	9300,0	5026,1	6696,0

Trong đó: MD - chiều sâu đo được (trung bình), TVD - tổng chiều sâu theo phương thẳng đứng.

### 3.2. Phân tích lựa chọn

Dựa vào các số liệu ban đầu, vữa xi măng được thiết kế như sau:

#### a- Xi măng lead

Chọn loại G theo tiêu chuẩn API, có chất phụ gia, có chất làm chậm đông, xi măng được trộn với tỷ trọng 12,5 lb/gal (1,5 g/cm<sup>3</sup>), thời gian đông cứng 4 – 5 giờ, độ thải nước: 150 – 300 ml/30 phút.

#### b- Xi măng tail

Chọn loại G theo tiêu chuẩn API, chứa 35% BWOC bột silica, có chất phụ gia, có chất làm chậm, có chất hoạt tính bề mặt, xi măng được trộn với tỷ trọng 15,8 lb/gal (1,9 g/cm<sup>3</sup>), thời gian đông cứng 3 – 4 giờ, độ thải nước: 50 – 150 ml/30 phút.

#### c. Dung dịch

Dung dịch rửa: 20 bbl, dung dịch đệm: 12lb/gal (1,44 g/cm<sup>3</sup>), 80 bbl, dung dịch rửa và dung dịch đệm được bơm ở vận tốc 10 bpm.

### 3.3. Kết quả tính toán

Từ các số liệu ban đầu và phân tích lựa chọn, chúng tôi đã tiến hành tính toán và mô phỏng quá trình bơm trám xi măng trên bằng chính phần mềm Cement version 1.0. Kết quả xử lý tóm lược trong các bảng sau:

Bảng 2. Vị trí và thể tích dung dịch

Dung dịch	Thể tích (bbl)	Độ sâu				Thể tích tới bề mặt (bbl)	
		Đỉnh (ft)		Đáy (ft)	Lấp đầy (ft)		
Polymer	204,6	0,0	A	3425,9	A	3425,9	0,0
Dung dịch rửa	20,0	3425,9	A	3760,7	A	334,8	204,6
Dung dịch đệm	80,0	3760,7	A	5100,0	A	1339,3	224,6
Xi măng lead	166,8	5100,0	A	7800,0	A	2700,0	304,6
Xi măng tail	102,0	7800,0	A	9220,0	C	1500,0	471,4
Polymer	675,0	0,0	C	9220,0	C	9220,0	0,0

C: ở trong ống chống, A: ở trong vành xuyên.

**Bảng 3. Các thông số áp suất**

Chiều sâu (ft)	Áp suất vỉa (psi)	Áp suất thủy tĩnh		Áp suất nổ ống (psi)	Áp suất bóp méo (psi)	Áp suất vỡ vỉa (psi)	Kết luận
		Trong (psi)	Ngoài (psi)				
5350,0	2835,8	3169,4	3171,9	6870,0	4750,0	3745,0	Đạt
6300,0	3339,3	3732,2	3788,9	6870,0	4750,0	4410,0	Đạt
6350,0	3431,8	3761,8	3821,4	6870,0	4750,0	5715,0	Đạt
6500,0	3512,9	3850,7	3918,9	6870,0	4750,0	4550,0	Đạt
7000,0	3492,1	4146,9	4243,6	6870,0	4750,0	4690,0	Đạt
7700,0	4001,4	4561,6	4698,3	6870,0	4750,0	5544,0	Đạt
7800,0	4337,1	4620,8	4763,3	6870,0	4750,0	5850,0	Đạt
7850,0	4364,9	4650,4	4804,4	6870,0	4750,0	5887,5	Đạt
8400,0	4365,1	4976,2	5255,9	6870,0	4750,0	5880,0	Đạt
8450,0	4742,4	5005,9	5297,0	6870,0	4750,0	7605,0	Đạt
8850,0	4966,9	5242,8	5625,4	6870,0	4750,0	6637,5	Đạt
9000,0	4770,5	5331,7	5748,6	6870,0	4750,0	6300,0	Đạt
9220,0	4982,9	5462,0	5929,2	6870,0	4750,0	6638,4	Đạt
9300,0	5026,1	5527,7	5994,9	6870,0	4750,0	6696,0	Đạt

#### 4. KẾT LUẬN

Việc thiết kế và bơm trám xi măng giếng khoan dầu khí phụ thuộc vào nhiều yếu tố và ngày càng đòi hỏi chính xác và chi tiết dẫn đến một nhu cầu xây dựng và phát triển các phần mềm chuyên ngành. Vì vậy, tính toán và mô phỏng quá trình bơm trám xi măng đóng một vai trò quan trọng trong việc cải tiến, hoàn thiện và nâng cao chất lượng công tác bơm trám xi măng.

Phần mềm tính toán và mô phỏng quá trình bơm trám xi măng giếng khoan dầu khí Cement version 1.0 bước đầu đã đáp ứng được các yêu cầu cơ bản của quá trình bơm trám xi măng trong thực tế. Ngoài việc tính toán và mô phỏng một cách khá chi tiết và đầy đủ các thông số cần thiết trong quá trình bơm trám xi măng, nó còn cho phép theo dõi và hiệu chỉnh các thông số để đạt các yêu cầu đặt ra.

Các thông số tính toán cũng đã được đối chiếu với các phần mềm thương mại khác như Hydmod, Wellbore cementing cho thấy kết quả khá chính xác và độ tin cậy của phần mềm Cement version 1.0. Tuy nhiên, đây là phiên bản đầu tiên nên còn một số hạn chế (phân tích độ nhạy, cơ sở dữ liệu các thông số lựa chọn còn ít), hy vọng sẽ được khắc phục trong những phiên bản tiếp theo.

### SOFTWARE FOR CALCULATION AND MODELIZATION OF WELL CEMENTING PROCESS

Pham Huu Hau, Le Phuoc Hao, Trinh Huu Tuan

Hoang Trong Quang, Nguyen Kien Cuong

Faculty of Geology & Petroleum, University of Technology – VNU-HCM

**ABSTRACT:** *Calculating and simulating the process of well cementing is very important to improve and enhance the quality of well cementing process.*

*This software of calculating and simulating well cementing process version 1.0 was programmed by authors basing on Matlab 5.3 language. In fact, it initially met the basis requirements of well cementing process. Besides calculating, modeling and supplying necessary parameters for the process in details, it can help to control and adjust the parameters to reach needed commands.*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ADAM T. BOURGOYNE JR, KEITH K. MILLHEIM, MARTIN E. CHENNVERT, F. S. YOUNG JR, *Applied Drilling Engineering*, Richardson Texas 1991.
- [2] Dowell Schlumberger, *Cementing principles*.
- [3] ERIK B. NELSON, *Well cementing*, 1990.
- [4] HYDMOD software.
- [5] Seminar *Wellbore Cementing Model*.