

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN THIẾT BỊ ĐỂ XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CỦA DẦU THÔ TRÊN CƠ SỞ ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP CỘNG HƯỞNG TỪ HẠT NHÂN

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF EQUIPMENT TO DETERMINE THE PARAMETERS OF CRUDE OIL ON THE BASIS OF APPLICATION NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE METHOD

Nguyễn Đức Anh^{1,*},
Kashaev R.S.¹, Trần Văn Tùng²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.316>

TÓM TẮT

Hiện nay trong công nghiệp sản xuất dầu, việc kiểm soát đầy đủ các thông số của chất lỏng giếng khoan (dầu, nhũ tương dầu, ...) như tính chất lý - hóa, tỉ lệ các pha vật chất, ... là cơ sở quan trọng cho việc đánh giá khả năng vận hành thu gom và vận chuyển các sản phẩm ở các giếng mỏ. Bài báo này giới thiệu về phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân (proton) và nghiên cứu phát triển thiết bị phân tích dựa trên phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân để kiểm soát nhanh các thông số của dầu thô, nhũ tương dầu. Các thử nghiệm được tiến hành đo đạc với việc sử dụng dầu thô từ mỏ Bạch Hổ và các mỏ của Liên bang Nga. Kết quả đo đạc được xử lý bằng phần mềm Advanced Grapher để vẽ đồ thị và xây dựng các công thức phù hợp để xác định nhanh các thông số của dầu thô.

Từ khóa: Tính chất lý - hóa, nhũ tương dầu, cộng hưởng từ hạt nhân (proton), hàm lượng, thời gian thư giãn T_2 , spin hạt nhân.

ABSTRACT

Currently in the oil production industry, fully controlling the parameters of well fluids (oil, oil emulsions, etc.) such as physical-chemical properties, ratios of material phases, etc. is an important basis for evaluating the ability to collect and transport products from oil wells. This paper introduces the nuclear magnetic resonance (proton) method and studies the development of an analysis device based on the nuclear magnetic resonance method to quickly control the parameters of crude oil and oil emulsions. Tests were carried out by measuring using crude oil from the Bach Ho field and fields of the Russian Federation. The measurement results were processed using Advanced Grapher software to plot graphs and determine suitable formulas to quickly identify the parameters of crude oil.

Keywords: Physico-chemical properties, oil emulsion, nuclear magnetic resonance (proton), content, T_2 relaxation time, nuclear spin.

¹Trường Đại học Năng lượng Quốc gia Kazan, Liên bang Nga

²Khoa Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: navypro1991@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 27/9/2024

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa	A	MHz ² cm ³	Biên độ tín hiệu spin-echo
W	%	Nồng độ của nước trong hỗn hợp	$\Delta B/B_0$	ppm	Độ không đồng đều
B	T	Từ trường	ν_0	MHz	Tần số cộng hưởng
			C_{Asph}	%	Hàm lượng asphalten

C_{Res}	%	Hàm lượng nhựa
η	mPa.s	Độ nhớt động
ν	mm ² /s	Độ nhớt động học
ρ	g/cm ³	Mật độ chất lỏng
τ	μ s	Khoảng giữa các xung 90 ^o và xung 180 ^o

CHỮ VIẾT TẮT

NMR	Nuclear Magnetic Resonance
PMRR	Proton Magnetic Resonance Relaxometry
PMR	Proton Magnetic Resonance
TD-NMR	Time Domain Nuclear Magnetic Resonance
CPMG	Carr-Purcell-Meibum-Gill
ASTM	American Society for Testing and Materials
FID	Free Induction Decay

1. GIỚI THIỆU

Các mỏ dầu của Việt Nam được phát hiện tập trung ở các bồn trũng Cửu Long và Nam Côn Sơn, trong đó Bạch Hổ là mỏ có trữ lượng lớn nhất và được Liên doanh VietsoPetro đưa vào khai thác từ năm 1986. Dầu thô khai thác tại mỏ Bạch Hổ thuộc họ nhiều paraffin với nồng độ W > 20%, có nhiệt độ đông đặc thấp và xảy ra ở trạng thái dẻo nhớt ở nhiệt độ phòng [1]. Ngoài ra các đặc tính lý hóa của dầu thô cũng thay đổi đáng kể giữa các giếng khoan và địa tầng khác nhau trong cùng một mỏ [2]. Sự khác biệt này được xác định bởi thành phần, nồng độ của các loại hydrocacbon (dầu nhẹ, dầu nặng, parafin, asphalt, nhựa) và sự hiện diện của các thành phần khác (lưu huỳnh, muối,...) [3]. Các kỹ thuật phân tích dầu thô chủ yếu hiện nay được tiêu chuẩn hóa bởi ASTM và được sử dụng phổ biến để xác định các đặc tính hóa lý của dầu thô [4]. Hạn chế của các kỹ thuật phân tích này là chỉ có thể được thực hiện ở các phòng thí nghiệm; Mỗi thông số hóa lý của mẫu dầu thô thường được cung cấp bằng một kỹ thuật phân tích riêng biệt và duy nhất, dẫn đến cần phải vận hành với nhiều dụng cụ và thiết bị khác nhau với thời gian đáng kể để thu thập bộ dữ liệu toàn diện và đáng tin cậy.

Phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân (NMR) có cơ hội lớn nhưng chưa được khám phá để phân tích nhanh các đặc tính nhũ tương, nồng độ nước và trạng thái của các phân tử trong pha phân tán và môi trường [5, 6]. Để giải quyết chìa khóa các vấn đề của kỹ thuật dầu khí thì NMR là công nghệ được quan tâm nhiều nhất [7]. Đặc điểm độc

đảo của phương pháp NMR là tính đa dạng của các tính chất vật lý và hóa học ở các cấp độ cấu trúc khác nhau có thể được truy cập bằng cách sử dụng một thiết bị NMR không tiếp xúc, không phá hủy và đa chức năng [13]. Trên cơ sở của nó có thể nghiên cứu động lực học của các phân tử, thành phần pha, quá trình trao đổi và khuếch tán trong môi trường và các tập hợp dầu và dầu - nước [8]. Cơ hội rộng rãi của phép đo độ thư giãn cộng hưởng từ proton (PMRR) để xác định các thông số dầu đã được chứng minh rằng PMRR là phương pháp tối ưu nhất để kiểm soát nhanh dầu thô và các chất lỏng giếng khoan khác.

Mục đích của nghiên cứu này là phát triển thiết bị phân tích dầu mới cho phép xác định các thông số lý - hóa của dầu thô hoặc chất lỏng giếng khoan dựa trên phương pháp đo độ thư giãn cộng hưởng từ hạt nhân. Thiết bị mới phải có khả năng xác định nhanh các thông số lý - hóa của dầu thô chỉ trên một thiết bị với độ tin cậy xác định nhưng vẫn bảo đảm gọn nhẹ và khả năng di động.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Cộng hưởng từ hạt nhân (hoặc PMR khi hạt nhân là ¹H) là phương pháp nghiên cứu thành phần, cấu trúc và động học các phân tử của vật chất thông qua phân tích phổ cộng hưởng từ NMR (NMR phổ) hoặc nồng độ, hàm lượng các chất trong hỗn hợp dựa trên việc đo đặc thời gian phục hồi khác nhau của spin nguyên tử các chất (TD-NMR hoặc độ thư giãn NMR). Điều này đạt được nhờ sự thay đổi của mức năng lượng (trạng thái) của spin nguyên tử khi được đặt trong một từ trường đều. Quá trình thay đổi trạng thái mức năng lượng cao (trạng thái kích thích) về trạng thái có mức năng lượng thấp (trạng thái thư giãn) của spin nguyên tử tạo ra một lượng năng lượng nhỏ dưới dạng điện từ trường. Giá trị này là không giống nhau ở các nguyên tử khác nhau, từ đó cho phép xác định thành phần, cấu trúc hoặc nồng độ, hàm lượng các chất khác nhau.

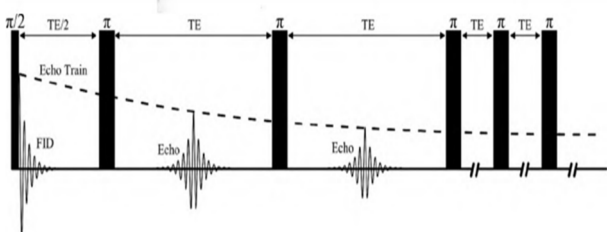
NMR phổ đòi hỏi yêu cầu cao về thiết bị, điều kiện cơ sở hạ tầng và chất lượng đội ngũ nhân lực khai thác thiết bị. Các thiết bị NMR phổ có khối lượng, kích thước lớn, giá thành đắt đỏ, vì vậy không phù hợp cho các ứng dụng để bàn hoặc nằm trong các tổ hợp phân tích di động. Ngược lại, TD-NMR lại không đòi hỏi cao về thiết bị và điều kiện cơ sở hạ tầng, thiết bị có kích thước, khối lượng nhỏ, dễ dàng triển khai trong các tổ hợp phân tích di động hoặc bố trí tại hiện trường.

Trong phép đo độ thư giãn PMR, thời gian phục hồi spin-spin hoặc thời gian thư giãn ngang T₂ được sử dụng, vì phép đo này mất ít thời gian hơn hàng chục lần so với đo thời gian thư giãn mạng spin (dọc) T₁. Thời gian T₂ nhạy hơn với các chuyển động phân tử chậm đặc trưng

của cấu trúc có trật tự. Nó là thông số đặc trưng cho sự biến mất của từ hóa trong mặt phẳng xy (M_{xy}), vuông góc với hướng của từ trường ngoài B_0 . Để xác định thời gian thư giãn ngang T_2 cần đo giá trị từ hóa theo trục x (M_x) hoặc theo trục y (M_y) tùy theo thời gian trong quá trình thiết lập trạng thái cân bằng nhiệt động trong hệ spin. Với mục đích này, hệ thống spin của mẫu được kích thích bằng xung 90° , sau đó giá trị của M_x hoặc M_y theo thời gian được mô tả bằng phương trình:

$$M_{x,y}(t) = M_0 e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (1)$$

Đối với một hệ spin gồm các hạt nhân tương đương từ tính cùng loại, sự thay đổi $M_{x,y}$ phụ thuộc vào t được mô tả bằng một hàm mũ duy nhất với hằng số thời gian T_2 . Nếu hệ spin bao gồm các hạt nhân cùng loại, nhưng khác nhau về tần số tiến động (độ dịch chuyển hóa học) và thời gian hồi phục T_2 , thì sự phân rã của tín hiệu cảm ứng tự do (FID) sau xung 90° sẽ được xác định bởi sự chồng chất của số mũ. Để xác định giá trị thời gian T_2 , có thể sử dụng phương pháp xung Carr-Purcell-Meibum-Gill (CPMG). Phương pháp xung này được biểu diễn ở hình 1, trong đó chuỗi xung CPMG có thể được mô tả bằng biểu thức: $[90^\circ - \tau - (180^\circ - 2\tau)_N - T_0 -]_n$. Trong đó: τ là khoảng giữa các xung 90° và xung 180° , N là số xung $180^\circ - x$, T_0 là khoảng thời gian lặp lại của chuỗi xung CPMG, n là số lần lặp lại (tích lũy).



Hình 1. Sơ đồ mô tả chuỗi xung Carr-Purcell-Meibum-Gill (CPMG)

Trong phép đo độ thư giãn PMR, sự phụ thuộc của đường bao biên độ xung phản hồi spin A_e , theo quy luật là hàm số mũ và được mô tả bằng các phương trình:

$$A_e = 1 - A_0 \sum [P_{1i} \exp(-t/T_{1i})] \quad (2)$$

$$A_e = A_0 \sum [P_{2i} \exp(-t/T_{2i})] \quad (3)$$

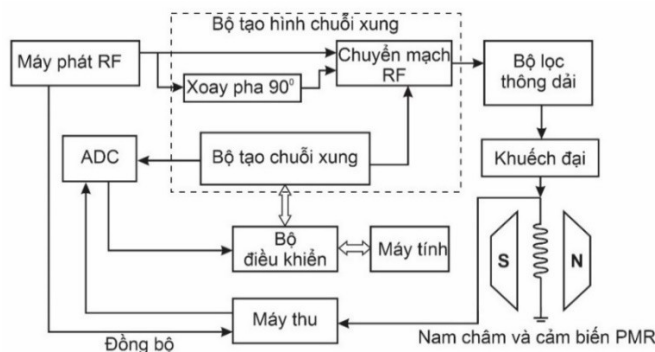
trong đó, A_0 là tổng biên độ tín hiệu và P_{1i} và P_{2i} là số lượng tương đối của proton có độ linh động phân tử khác nhau tương ứng với mạng spin (T_{1i}) và thời gian thư giãn spin-spin (T_{2i}) của các pha proton $i = A, B, C$ với quần thể (nồng độ spin tính bằng phân số đơn vị) tương ứng là P_{Ai} , P_{Bi} và P_{Ci} .

Thông qua việc xác định giá trị thời gian T_2 , các tham số PMR được xác định bằng cách xây dựng một đường bao theo tỷ lệ bán logarit theo thời gian và chia đường bao này thành ba thành phần bằng đồ họa. Sau khi lấy logarit của các giá trị biên độ xung phản hồi spin qua các điểm rơi vào sự phụ thuộc tuyến tính trong thời gian dài, vẽ một đường thẳng theo thang bán logarit, mô tả bởi phương trình:

$$\ln\left(\frac{A_t}{A_0}\right) = \frac{-t}{T_{2i}} + \ln A_1 \quad (4)$$

Bằng cách trừ tuần tự đường thẳng này và các đường thẳng tiếp theo tương ứng với thành phần thứ i từ các điểm thí nghiệm, $T_{1,2i}$, A_0 và $P_{1,2i}$ lần lượt thu được cho từng pha proton. Hằng số $T_{1,2i}$ đối với mỗi đường thẳng được lấy là thời gian trong đó biên độ của tín hiệu xung spin giảm đi một hệ số e . Đường bao được phân thành 3 thành phần tương ứng với 3 pha của dầu.

Trên cơ sở phương pháp PMR xung này, thiết bị để đo đặc, phân tích thời gian thư giãn T_2 dựa trên phương pháp xung CPMG được xây dựng. Hình 2 trình bày sơ đồ khối chức năng tổng quát của thiết bị. Thiết bị gồm các khối chính như: Khối thiết bị phát bao gồm: Máy phát RF, bộ xoay pha 90° , chuyển mạch RF, bộ tạo chuỗi xung; Khối thiết bị thu bao gồm: máy thu, bộ ADC; Khối điều khiển bao gồm: Bộ điều khiển, máy tính; Khối cảm biến PMR và nam châm cộng hưởng.



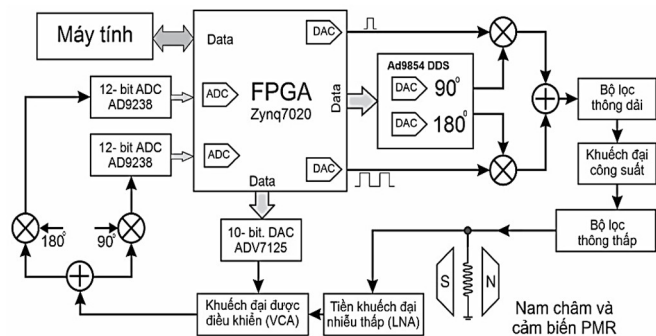
Hình 2. Sơ đồ khối chức năng thiết bị đo thời gian thư giãn PMR

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Thiết bị đo thời gian thư giãn PMR

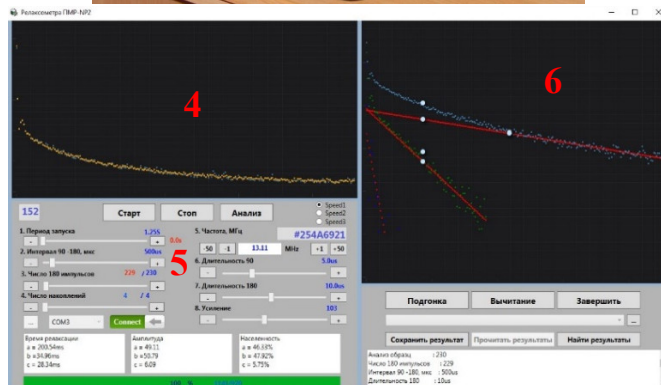
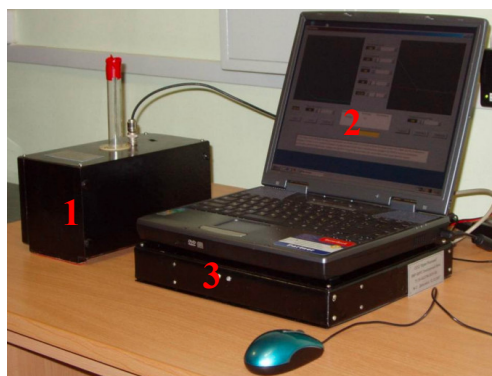
Thiết bị đo thời gian thư giãn di động PMR được phát triển để có thể được cấp nguồn bằng pin (điện áp DC12V) hoặc từ nguồn điện dân dụng với việc sử dụng bộ chuyển đổi điện áp từ AC220V sang DC12V. Thời gian đo các mẫu trung bình không quá 2 phút. Các thông số cấu hình cho thiết bị được điều khiển và cài đặt từ máy tính thông qua giao diện phần mềm điều khiển, ngoài ra trên phần mềm

có giao diện để hiển thị kết quả đo và phân tích. Sơ đồ khối chức năng của thiết bị đo thời gian thư giãn được phát triển được trình bày ở hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối chức năng của thiết bị đo thời gian thư giãn PMR được phát triển

Thiết bị đo thời gian thư giãn PMR được phát triển bao gồm một bộ điều khiển dựa trên chip FPGA ZYNQ7020 của hãng Xilinx, bộ tổng hợp tần số loại AD9854 của hãng Analog Device được kết nối với bộ điều chế - giải điều chế tín hiệu, các bộ lọc và khuếch đại công suất xung (máy phát) và các bộ khuếch đại tín hiệu PMR (máy thu). Tín hiệu hữu ích (tín hiệu spin-echo) từ cảm biến PMR nằm giữa các cực của nam châm được cung cấp cho đầu vào máy thu. Giao tiếp USB giữa bộ điều khiển và máy tính cho phép truyền các thông số được cài đặt cho quá trình đo đạc từ máy tính xuống bộ điều khiển và kết quả đo tín hiệu spin-echo từ bộ điều khiển lên máy tính. Nam châm sử dụng cho thiết bị đo là loại nam châm vĩnh cửu dựa trên hợp kim NdFeB có khối lượng 12kg với kích thước 20x12x15cm, cho giá trị từ trường trong khe hở giữa hai cực là $B_0 = 0,22 - 0,43$ (T) với độ không đồng nhất $\Delta B/B_0$ không lớn hơn 1000ppm tại tâm của khe hở từ 30 - 10mm. Giá trị từ trường này cho phép xác định tần số cộng hưởng theo định luật Lamor [9] là: $\nu_0 = 9,35 - 18,45$ MHz đối với hạt nhân 1H . Độ nhạy của máy thu không nhỏ hơn $2\mu V$ với tỷ lệ tín hiệu trên tạp âm (S/N) là 2 đối với cuộn dây cảm biến có đường kính $D = 30$ mm. Biên độ tín hiệu $A \sim \nu_0^2 D^3 = 900 - 1290$ MHz²cm³, gần bằng $A \sim 1600$ MHz²cm³ của máy đo độ giãn trong phòng thí nghiệm Minispec PC120 (Bruker, Đức) và lớn hơn $A \sim 100$ MHz²cm³ của phòng thí nghiệm MQA 6005 (Oxford, Anh). Một phiên bản nam châm khác được phát triển dựa trên lý thuyết mảng nam châm Halbach [10, 11] cho giá trị từ trường và độ không đồng nhất tương tự nhưng khối lượng chỉ 4,5kg với kích thước 14x14x12cm. Thiết bị đo thời gian thư giãn PMR và phần mềm điều khiển - hiển thị được trình bày ở hình 4. Trên phần mềm có 3 khu vực (4, 5 và 6) để cài đặt thông số cho bộ điều khiển, hiển thị kết quả đo và hiển thị kết quả phân tích.



Hình 4. Thiết bị đo thời gian thư giãn PMR và phần mềm điều khiển - hiển thị kết quả: 1- Nam châm; 2- Máy tính với phần mềm; 3- Khối thiết bị đo đặc, điều khiển; Trên giao diện phần mềm: 4- Màn hình hiển thị kết quả đo, 5- Bảng cài đặt thông số, 6- Màn hình hiển thị kết quả phân tích

Theo các phương pháp phân tích nhanh đã phát triển, máy đo thời gian thư giãn di động PMR được phát triển có thể xác định:

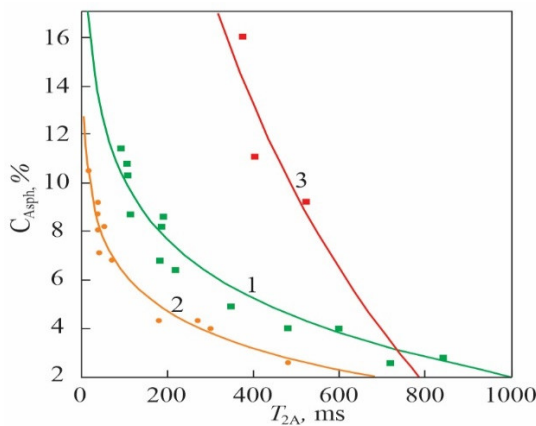
- Nồng độ của nước W trong dầu và nhiên liệu trong khoảng 0,02 - 100% với sai số tương đối là $\pm 2\%$;
- Khối lượng riêng ρ_H của dầu thô trong phạm vi 700 - 1100kg/m³ với sai số $\Delta\rho/\rho_{max} = 0,98\%$;
- Độ nhớt động học η trong phạm vi 0 - 350mm²/c với sai số $\Delta = 1,2\%$;
- Hàm lượng asphalt trong dầu thô trong phạm vi $C_{Asph} = 0 - 15\%$ với sai số $\Delta = 0,44\%$;
- Nồng độ của lưu huỳnh trong nhiên liệu, dầu thô, diesel đốt trong khoảng 0,02 - 8% với sai số tuyệt đối $\pm 0,3\%$;
- Sự phân bố phân tán của các giọt nước trong nhũ tương nước - dầu và nước - bitum trong phạm vi đường kính giọt 1,5 - 15 μ m với sai số tương đối là $\pm 2\%$;
- Ô nhiễm nước thải, nước thải do dầu và sản phẩm dầu trong khoảng 0,1 - 100% với sai số tuyệt đối $\pm 0,03\%$;
- Nồng độ ion thuận từ của kim loại nặng trong nước thải, nước thải từ 0,05mg/l (giới hạn trên không bị giới hạn);

Ngoài ra một số thông số lý - hóa khác của dầu và nhũ tương dầu cũng có thể được xác định nhờ sử dụng các tổ hợp thiết bị phân tích dựa trên phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân.

Kết quả đo các thông số độ thư giãn PMR trên dầu thô từ mỏ Bạch Hổ và một số mẫu dầu của Liên bang Nga

Như đã trình bày, thiết bị đo thời gian thư giãn có khả năng xác định rất nhiều tính chất lý - hóa của dầu thô, nhũ tương dầu thô,... Tuy nhiên trong phạm vi nghiên cứu của bài báo, các tác giả chỉ tập trung trình bày kết quả đo đặc nhằm xác định độ nhớt, hàm lượng asphalten và sự liên quan của chúng đến các thông số thư giãn T_{2A} . Nguyên nhân do asphalten là thành phần nặng nhất và phân cực nhất của dầu, tạo thành lõi đơn vị cấu trúc xung quanh các lớp vỏ aliphatic-naphthenic hòa tan được nhóm lại. Những cấu trúc này có thể chịu trách nhiệm cho các tính chất của dầu nói chung, độ nhớt của dầu nói riêng. Các phép đo từng mẫu dầu được tiến hành lần lượt trên máy đo độ thư giãn PMR, các kết quả sau đó được thu thập và xử lý trên phần mềm Advanced Grapher. Thông qua đó các công thức mô tả gần đúng được xây dựng để nhanh chóng tính toán các thông số theo yêu cầu.

Hình 5 trình bày các mối quan hệ thu được đối với thời gian thư giãn PMR T_{2A} của mẫu dầu Volga (đường cong 1), dầu Siberia (đường cong 2) và của dầu Bạch Hổ (đường cong 3) với hàm lượng asphalten.



Hình 5. Mối tương quan giữa nồng độ asphalten và thời gian thư giãn T_{2A} của dầu thô Volga (đường cong 1), Siberia (đường cong 2) và Bạch Hổ (đường cong 3)

Ta nhận thấy rằng thời gian thư giãn T_{2A} có đặc tính liên hệ mật thiết với sự gia tăng hàm lượng asphalten. Giá trị T_{2A} của mẫu dầu Bạch Hổ cao hơn mẫu dầu Siberia cho thấy đây là loại dầu chứa nhiều asphalten, parafil hơn mẫu dầu Siberia. Mặc dù giá trị T_{2A} của mẫu dầu Bạch Hổ thấp hơn dầu Volga, nhưng tỉ lệ hàm lượng asphalten lại cao hơn đáng kể cho thấy dầu Bạch Hổ còn chứa các

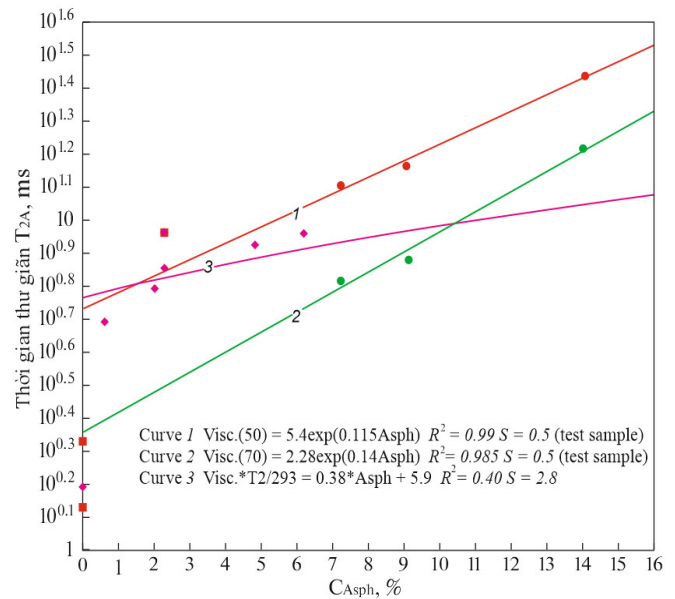
thành phần nặng khác với độ phân cực mạnh khác tương tự asphalten như nhựa hoặc parafin. Điều này được nhận thấy khi đường cong số 3 có biên độ và độ dốc lớn hơn đáng kể so với đường cong 1 và 2. Trên cơ sở đó nồng độ asphalten của các mẫu dầu Volga, Siberia của Nga và dầu Bạch Hổ có thể được xác định với hệ số tương quan $R^2 = 0,956$ và $S = 0,7$ bằng các phương trình:

$$C_{Asph} = 3,48\ln(T_{2A}) + 24 \tag{5}$$

$$C_{Asph} = 2,2\ln(T_{2A}) + 14,3 \tag{6}$$

$$C_{Asph} + C_{Rse} = 16,6\ln(T_{2A}) + 111 \tag{7}$$

Các phương trình (5), (6) áp dụng cho dầu Volga và Siberia của Liên bang Nga, công thức (7) áp dụng cho dầu Bạch Hổ để nhanh chóng xác định hàm lượng asphalten và nhựa trong các mẫu dầu. Ta biết rằng độ nhớt động của dầu tỉ lệ thuận hàm lượng của asphalten - vốn là thành phần có tỉ trọng lớn nhất trong dầu. Ngoài ra hàm lượng asphalten cũng tỉ lệ thuận với thời gian thư giãn T_{2A} do đây là thành phần phân cực nhất trong dầu. Vì vậy có thể biểu diễn sự phụ thuộc của độ nhớt, hàm lượng asphalten và thời gian thư giãn T_{2A} lẫn nhau.



Hình 6. Sự phụ thuộc độ nhớt động của dầu Bạch Hổ ở 50°C (1) và 70°C (2) vào hàm lượng asphalten thông qua giá trị thời gian thư giãn T_{2A} (ms)

Hình 6 cho thấy sự phụ thuộc của độ nhớt động η (mPa.s) = $\nu\rho$ đối với dầu ở mức 50°C và 70°C đối với nồng độ asphalten (AspRs, %) - đường cong 1, 2 cũng như mối tương quan giữa độ nhớt và thời gian thư giãn $T_{2A} - \eta T_{2A}/T$ (đường cong 3) của mẫu dầu Bạch Hổ. Trục tung của biểu đồ được chia theo tỉ lệ lũy thừa của 10 theo chương trình xử lý dữ liệu Advanced Grapher. Các quan hệ $\eta = \nu\rho$ được mô tả với $R^2 = 0,98$ và $S = 0,5$ theo các phương trình:

$$\eta(\text{mPa.s}) = 5,4 \exp(0,115 \text{Asph.}) \text{ tại mức } 50^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$\eta(\text{mPa.s}) = 2,28 \exp(0,14 \text{Asph.}) \text{ tại mức } 70^\circ\text{C} \quad (9)$$

Đối với dầu Bạch Hổ, công thức (7), (8) và (9) có thể được áp dụng như một phương pháp nhanh để xác định độ nhớt và hàm lượng asphalten của dầu thô mỏ Bạch Hổ trong quá trình khai thác và vận chuyển.

So sánh với các phương pháp hiện nay để xác định các thông số của dầu thô [4, 12] cho thấy phương pháp PMR giúp tiết kiệm thời gian và chi phí đáng kể với việc sử dụng ít mẫu hơn nhưng lại cho kết quả với độ chính xác tương đương. Bảng 1 trình bày ưu điểm của phương pháp phân tích PMR với phương pháp ASTM trên dầu của mỏ Bạch Hổ với các chỉ tiêu về độ nhớt và nồng độ asphalten.

Bảng 1. So sánh ưu điểm của phương pháp PMR với các phương pháp ASTM

STT	Phương pháp		Đơn vị	ASTM	PMR
	Chỉ tiêu				
1	Độ nhớt động ở 50°C		mP.s	24,23	24,218
2	Độ nhớt động ở 70°C		mP.s	14,10	14,108
3	Nồng độ asphalten		%	14,04	14,1
4	Thể tích mẫu cần cho mỗi chỉ tiêu cần đo		ml	1000	200
5	Thời gian phân tích	Độ nhớt ở 50°C	phút	>30	<2
		Độ nhớt ở 70°C	phút	>30	<2
		Nồng độ asphalten	phút	>30	<2
6	Giá thành phân tích	Độ nhớt ở 50°C	VNĐ	150.000	<50.000
		Độ nhớt ở 70°C	VNĐ	150.000	<50.000
		Nồng độ asphalten	VNĐ	300.000	<50.000

4. KẾT LUẬN

Phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân được chứng minh là phương pháp hiện đại, có độ chính xác cao trong việc đánh giá, định lượng các thành phần trong dầu thô. Việc phát triển các thiết bị phân tích mới dựa trên phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân cho phép cải thiện thời gian, chi phí cho các phân tích các thành phần dầu thô; nâng cao hiệu quả trong quá trình sản xuất và vận chuyển dầu. Thiết bị đo thời gian thư giãn được phát triển có khối lượng và kích thước nhỏ, dễ di chuyển và lắp đặt. Độ chính xác tương đương nhưng giá thành rẻ hơn đáng kể so với các thiết kế tương tự đang có mặt trên thị trường.

Các thực nghiệm trên thiết bị đo độ thư giãn PMR được phát triển cho thấy nồng độ asphalten trong dầu là

yếu tố chính ảnh hưởng đến độ nhớt của dầu. Thông qua đo đạc và phân tích trên các mẫu dầu của Liên bang Nga và dầu từ mỏ Bạch Hổ, chúng tôi xác định được mối quan hệ giữa độ nhớt và nồng độ asphalten với thời gian thư giãn PMR T₂. Từ đó xây dựng các phương trình toán học để xác định nồng độ asphalten và độ nhớt động của dầu. Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng dầu từ mỏ Bạch Hổ chứa nhiều asphalten hơn dầu từ Siberia. Mặc dù giá trị thời gian thư giãn T_{2A} của dầu Bạch Hổ thấp hơn dầu Volga nhưng hàm lượng asphalten và các thành phần nặng khác với độ phân cực tương tự asphalten cao hơn đáng kể so với dầu Volga.

So sánh với các phương pháp phân tích ASTM cho thấy, phương pháp PMR tỏ ra hiệu quả hơn đáng kể, giúp tiết kiệm thời gian và giảm giá thành trong khi vẫn bảo đảm độ chính xác. Từ đó mở ra tiềm năng rộng lớn cho việc áp dụng phương pháp PMR và thiết bị đo độ thư giãn vào các dự án dầu khí của Việt Nam trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kashaev R.S., Kien N.T., Tung C.V., et al., "Correlation of Physicochemical Properties of Bach Ho Oils with Proton NMR Relaxation Parameters and Their Temperature Dependence," *Pet. Chem.* 59 (Suppl 1), 21-29, 2019. <https://doi.org/10.1134/S0965544119130073>.
- [2]. Le Khanh Duy, Do Luong Phuong Thao, Nguyen Hoai Vu, et al, "Characteristic of chemical physical of paraffin oil in Vietsovpetro fields," *Journal of Mining and Earth Sciences*, 54, 29-34, 2016.
- [3]. Lúcio L. Barbosa, Flávio V.C. Kock, et al., "Low-field nuclear magnetic resonance for petroleum distillate characterization," *Fuel Processing Technology*, 138, 202-209, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.05.027>.
- [4]. Talha Furkan Canan, Salim Ok, Waleed Al-Bazzaz, et al., "Rapid characterization of crude oil by NMR relaxation using new user-friendly software," *Fuel*, 320, 123793, 1-2, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123793>.
- [5]. Sultanhamitovich K.R., Anh N.D., Vladimirovich K.O., "Apparatus-program complex for on-line express-control of crude oils properties by proton magnetic resonance method," in *Forum "Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA - INDIA"*, UAE, January 27, 2023.
- [6]. Kashaev R.S., Kien N.C., Tung T.V., et al., "Fast Proton Magnetic Resonance Relaxometry Methods for Determining Viscosity and Concentration of Asphaltenes in Crude Oils," *J Appl Spectrosc*, 86, 890-895, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10812-019-00911-4>.
- [7]. N.G. Min, M. Ku, J. Yang, S.H. Kim, "Microfluidic production of uniform microcarriers through phase separation in emulsion droplets," *Chem. Mater.*, 28, 1430-1438, 2016.

[8]. Kashaev R.S., Suntsov I.A., Tung C.V., et al, "Apparatus for Rapid Measurement of Oil Density and Molecular Mass Using Proton Magnetic Resonance," *J Appl Spectrosc*, 86, 289-293, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10812-019-00814-4>.

[9]. Serai S.D., "Basics of magnetic resonance imaging and quantitative parameters T1, T2, T2*, T1rho and diffusion-weighted imaging," *Pediatr Radiol*, 52, 217-227, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00247-021-05042-7>.

[10]. Nguyen D.A., Kashaev R.S., Kozelkov O.V., "Development of improved magnets on the Halbach assembly and instruments for measuring the magnetic field," *International research competition: Research Initiative*, Petrozavodsk, 311-315, 2023.

[11]. Nguyen D.A., Kashaev R.S., "Improvement of the Halbach magnet model for a proton magnetic resonance relaxometer," in *VIII National Scientific and Practical Conference: Instrumentation and Automated Electric Drive in the Fuel and Energy Complex and Housing and Communal Services*, Kazan, 82-87, December 08-09, 2022.

[12]. Ngai Quang, *Crude Oil Assays Report #02/2016: Bach Ho Crude Oil* (Viet Nam National Oil and Gas Group "Binh Son Refining & Petrochemical Co.,"), 2016.

[13]. Kashaev R.S., Tung C.V., et al., "Flow oil analyzer based on a proton magnetic resonance relaxometer," in *International scientific and practical conference: Science, Technology, Education: Interaction and Integration in Modern Society*, Smolensk, 89-91, June 30, 2018.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duc Anh¹, Kashaev R.S.¹, Tran Van Tung²

¹Kazan State Power Engineering University, Russia

²Faculty of Electronic Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam