



Kết quả nghiên cứu, áp dụng các hệ hóa phẩm để xử lý vùng cận đáy giếng nhằm nâng cao hiệu quả khai thác dầu tại Liên doanh Việt-Nga Vietsovpetro

Results of research, application of chemical systems for bottom-hole zone treatment to improve the efficiency of oil explosion at Vietsovpetro

Lê Văn Công^{1,3*}, Nguyễn Quốc Dũng², Nguyễn Văn Ngọ¹, Đào Quốc Tuy³, Đỗ Thành Trung¹

¹ Tổng Công ty Hóa chất và Dịch vụ Dầu khí-CTCP

² Liên doanh Việt-Nga Vietsovpetro

³ Viện Kỹ thuật hóa học, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: conglv@pvchem.com.vn

Hội thảo khoa học "Vật liệu tiên tiến ứng dụng trong xúc tác Hấp phụ và năng lượng" – Huế 2020

ARTICLE INFO

Received: 08/9/2020

Accepted: 15/12/2020

Keywords:

Bottom-hole zone treatment, oil production increases, chemicals.

ABSTRACT

The bottom-hole zone treatment to eliminate contaminating materials is one of the most effective measures to improve oil and gas exploitation efficiency. At Joint Venture Vietsovpetro, in addition to utilizing of traditional acid systems to treat the bottom-hole zone, researchs and applications of new technologies have been conducted to improve treatment efficiency, especially for wells with specific conditions and wells which are entering the final stage of exploitation. In this report, the results of research and assessments of the effectiveness of the chemical systems currently used by Vietsovpetro and the results of research and applications of some new technological solutions in this field in the period 2015-2019 will be presented

Giới thiệu chung

Các dạng nhiễm bẩn vùng cận đáy giếng và phương pháp xử lý, làm sạch để nâng cao hiệu quả khai thác dầu. Trong công nghiệp khai thác dầu khí, xử lý vùng cận đáy giếng (vùng vỉa lân cận thân đáy giếng khoan) là một trong những biện pháp hữu hiệu trong nâng cao sản lượng và hiệu quả khai thác. Mục tiêu của xử lý là phục hồi hoặc làm tăng độ thấm vùng cận đáy giếng, còn đối tượng cần xử lý là các vật liệu nhiễm bẩn nằm trong các kênh dẫn hoặc là một phần vật liệu thành hệ kênh dẫn vỉa vùng cận đáy giếng. Việc xử lý được thực hiện bằng việc bơm vào vùng cận đáy giếng dung dịch hóa phẩm có khả năng hòa tan vật

liệu nhiễm bẩn, tiếp theo là thao tác kéo (hoặc đẩy) sản phẩm phản ứng ra khỏi vùng cận đáy giếng.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu nhiễm bẩn, vật liệu gây bít nhét kênh dẫn, giảm độ thấm vùng cận đáy giếng thường được phân thành một số nhóm có chung bản chất hóa học, khoáng vật như sau [1]:

- 1) Vật liệu nhiễm bẩn vô cơ (SiO_2 ; các loại khoáng sét; mảnh vụn đá vỉa; các loại muối kết tinh (CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)...);
- 2) Vật liệu nhiễm bẩn hữu cơ (Asphalten, nhựa, paraffin

có nhiệt độ kết tinh cao; nhũ tương dầu/nước, nước/dầu có độ nhớt cao...);

3) Các cụm nước cục bộ (nước bị mắc lại trong những mao quản nhỏ do lực hút mao quản).

Cơ chế hình thành lên nhiễm bẩn có thể chia thành 4 loại: cơ chế hóa học (phân rã sét, trương nở sét, hấp phụ hóa học, hình thành nhũ tương, tạo nhiễm bẩn do kết quả của phản ứng hóa học...); cơ chế nhiệt học (hòa tan, biến đổi sét, giảm độ thấm...); cơ chế cơ học (dịch chuyển sét, sự xâm nhập của các pha rắn từ quá trình khoan...), cơ chế sinh học (sự ăn mòn bởi các vi sinh vật, tạo nhiễm bẩn từ sinh khối của vi sinh vật...) [2].

Để xử lý loại trừ những nhóm vật liệu nhiễm bẩn nêu trên có thể dùng các hệ hóa phẩm sau đây:

+ Hệ hóa phẩm loại trừ nhiễm bẩn vô cơ thường là các axit hoặc hỗn hợp axit (HCl, HF, Axit hữu cơ...), chất ức chế ăn mòn, chất ức chế trương nở sét, chất hoạt động bề mặt, chất chống kết tủa thứ cấp...[1];

+ Hệ hóa phẩm loại trừ nhiễm bẩn hữu cơ có thành phần chính là các dung môi hữu cơ (xylen, kerosen, terpen...), các chất hoạt động bề mặt, chất phân tán, dung môi đồng hóa tan.... [3].

+ Hệ hóa phẩm loại trừ nhiễm bẩn bởi các cụm nước cục bộ có thành phần là các chất hoạt động bề mặt, các rượu mạch ngắn hoặc khí CO₂[3].

Trên cơ sở các hệ hóa phẩm cơ bản như đã nêu ở trên, hiện nay các công ty dịch vụ dầu khí trên thế giới, các tổ chức, các nhà khoa học nghiên cứu về vấn đề này đã và đang tiếp tục nghiên cứu nhiều hệ hóa phẩm khác nhau để áp dụng, xử lý cho từng đối tượng riêng biệt hoặc tối ưu hóa cho phù hợp với điều kiện của từng mỏ khác nhau.

Kết quả và thảo luận

Công nghệ xử lý nhiễm bẩn vô cơ bằng các hệ axit truyền thống

Tại LD Việt-Nga Vietsovetro (VSP), công tác xử lý vùng cận đáy giếng đã được áp dụng từ năm 1988. Trong đó hệ hóa phẩm chính được sử dụng là hệ hóa phẩm xử lý nhiễm bẩn vô cơ. Nhiều hệ hóa phẩm đã được sử dụng như hệ axit sét (trên cơ sở HCl/HF/CH₃COOH), axit muối (trên cơ sở HCl/CH₃COOH), hỗn hợp axit sét, axit muối, nhũ tương axit, polymer axit, bột axit...Thực tế áp dụng các hệ hóa phẩm nêu trên đã góp phần quan trọng vào việc nâng cao hiệu quả khai thác dầu tại VSP.

Ngoài các hệ axit chính nêu trên, VSP cũng áp dụng các hệ hóa phẩm để xử lý loại trừ các nhiễm bẩn hữu cơ tại vùng cận đáy giếng. Các hệ hóa phẩm này được sử dụng riêng biệt hoặc kết hợp trong cùng trong một lần xử lý với các hệ hóa phẩm axit.

Tại Bảng 1 đưa ra thống kê về số lượng các giếng được xử lý vùng cận đáy giếng bằng các hệ hóa phẩm truyền thống nêu trên tại Vietsovetro trong giai đoạn 2015-2019 [4, 5]. Kết quả tại Bảng 1, cho thấy trong giai đoạn 2015-2019, trên cơ sở các hệ axit nêu trên, VSP đã tiến hành 88 lượt xử lý, trong đó 48 lượt xử lý thành công với hệ số thành công trung bình trong 5 năm là 50%. Tổng lượng dầu khai thác thêm được là 158.238 tấn. Tuy nhiên, xu hướng chung trong những năm gần đây là hiệu quả xử lý bị suy giảm, rất nhiều trường hợp sau khi xử lý, sản lượng khai thác dầu giảm so với trước khi xử lý, hàm lượng nước trong dầu khai thác tăng mạnh sau xử lý. Cá biệt có những trường hợp sau xử lý giếng không thể khai thác được và phải chuyển thành giếng bơm ép.

Sự suy giảm hiệu quả xử lý vùng cận đáy giếng trong những năm gần đây liên quan đến trạng thái vỉa. Phần lớn các mỏ tại VSP đã bước vào giai đoạn khai thác cuối, áp suất vỉa suy giảm mạnh, hàm lượng nước trong dòng dầu khai thác tăng nhanh, tính chất dầu có nhiều biến đổi. Các nguyên nhân khách quan đó làm cho các hệ hóa phẩm đã từng phát huy hiệu quả trong thời gian trước đây thì nay trở lên không hiệu quả.

Trong những năm gần đây, VSP đã triển khai áp dụng nhiều giải pháp để nâng cao hiệu quả xử lý vùng cận đáy giếng. Được sự hỗ trợ của các Chương trình nghiên cứu khoa học cấp nhà nước (Chương trình Khai khoáng, Chương trình KC.02/16-20), Tổng Công ty Hóa chất và Dịch vụ Dầu khí-CTCP (PVChem) đã phối hợp cùng VSP tiến hành nghiên cứu tối ưu hóa, hoàn thiện các hệ axit, cũng như nghiên cứu chế tạo các hệ hóa phẩm mới để xử lý vùng cận đáy giếng, áp dụng cho giai đoạn khai thác cuối.

Công nghệ xử lý vùng cận đáy giếng bằng thành phần không chứa axit

Đặc trưng dầu thô tại các mỏ của VSP (mỏ Bạch Hổ, Rồng, Gấu Trắng) là hàm lượng paraffin cao. Theo các kết quả nghiên cứu của VSP [5], khi nghiên cứu về các mẫu lắng đọng hữu cơ tại mỏ Bạch Hổ cho thấy, thành phần chính của các mẫu là paraffin (chiếm hơn 80% khối lượng), asphalten (chiếm 3÷4% khối lượng), còn lại là phân đoạn nhẹ hơn của dầu và các tạp chất vô

ơ khác. Các mẫu cặn này có nhiệt độ kết tinh thấp (<65°C), nhiệt độ nóng chảy cao (≈ 80°C). Nhiều giếng thường xuyên xảy ra hiện tượng tạo lắng đọng hữu cơ trên cần ống khai thác. Để xử lý lắng đọng hữu cơ trên cần ống khai thác, VSP thường sử dụng hơi nước nóng. Theo thống kê của VSP, trong những năm gần đây số lượng giếng cần xử lý lắng đọng hữu cơ trên cần ống khai thác, cũng như số lần xử lý theo từng

năm không ngừng gia tăng (Bảng 2). Khi bước vào giai đoạn khai thác cuối, nhiệt độ vỉa suy giảm, hàm lượng nước trong dòng dầu khai thác tăng lên thì nguy cơ hình thành lắng đọng hữu cơ sẽ càng trở nên trầm trọng. Trước đây, VSP chưa có sự quan tâm nhiều đến đối tượng nhiễm bẩn này nên có ít các dạng hóa phẩm và công nghệ được sử dụng.

Bảng 1: Thống kê số lượng các giếng được xử lý vùng cặn đáy giếng bằng các hệ hóa phẩm truyền thống tại VSP trong giai đoạn 2015-2019.

STT	Năm	Số lượng giếng xử lý	Số lượng giếng thành công	Hệ số thành công, %	Tổng lượng dầu khai thác thêm được, tấn
1	2015	10	5	50,0	19.453
2	2016	25	14	56,0	35.039
3	2017	14	8	57,1	6.033
4	2018	26	14	53,8	70.156
5	2019	7	3	42,9	27.557
Tổng cộng:		82	44	50,0	158.238

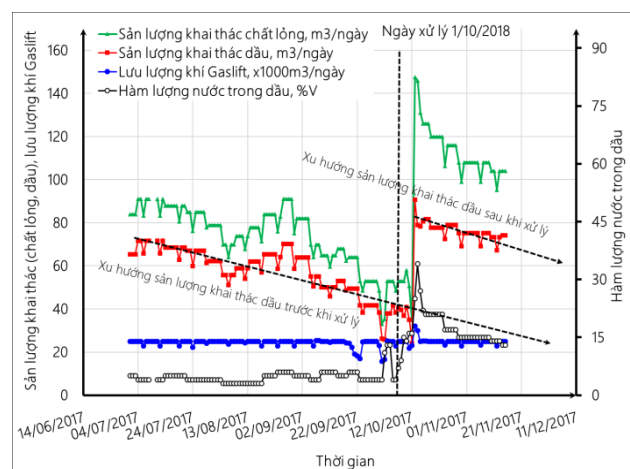
Bảng 2: Thống kê số lượng các giếng được thường xuyên phải rửa lắng đọng hữu cơ trên cần ống khai thác bằng hơi nước nóng [5-6].

STT	Năm	Số lượng giếng xử lý	Số lần xử lý
1	2017	90	1731
2	2018	119	2061
3	2019	134	2414

Bằng các kết quả nghiên cứu, PVChem và VSP đã đưa vào ứng dụng công nghệ nâng cao sản lượng khai thác dầu bằng thành phần hóa phẩm không chứa axit tại đối tượng lục nguyên các mỏ của VSP. Bản chất của công nghệ là sử dụng hệ hóa phẩm trên cơ sở các dung môi hydrocacbon, dung môi đồng hòa tan để xử lý, làm sạch các nhiễm bẩn hữu cơ, cặn nước. Các hóa phẩm này không chứa axit hoặc không chứa các thành phần không tạo axit trong điều kiện vỉa, chính vì vậy mà công nghệ có tên là "Non-acid". Thành phần của dung môi hydrocacbon bao gồm các hydrocacbon mạch thẳng và mạch vòng. Tỷ lệ của chúng trong hỗn hợp được lựa chọn để đảm bảo khả năng hòa tan tốt lắng đọng hữu cơ như paraffin, asphalten. Ngoài ra trong thành phần hệ hóa phẩm còn có chất phân tán, chống hiện tượng tái lắng đọng của paraffin sau hòa tan. Các hóa phẩm khác của công nghệ (dung môi đồng hòa tan) có tác dụng phá vỡ dạng nhiễm bẩn là nhũ tương có độ nhớt lớn, được hình thành trong quá trình hoạt động của giếng, cũng như loại trừ các nhiễm bẩn là các cụm nước cục bộ.

Việc thử nghiệm công nghệ nêu trên đã được thực hiện tại giếng 1606 và 1610/BK-16 vào tháng 10/2017. Kết quả xử lý cho thấy các giếng đều có hiệu quả

dương sau xử lý, sản lượng khai thác dầu tăng lên ở cả 2 giếng. Tại giếng 1606/BK-16 sản lượng khai thác dầu sau khi xử lý đạt 89 tấn/ngày so với 69,3 tấn/ngày trước khi xử lý, sản lượng khai thác dầu tại giếng 1610/BK-16 sau xử lý đã tăng từ 41,7 tấn/ngày lên tới 77,7 tấn/ngày (Hình 1).



Hình 1: Các thông số làm việc của các giếng khai thác 1610/BK16 trước và sau khi xử lý bằng công nghệ Non-acid

Theo tính toán, tổng lượng dầu thu thêm được từ 02 giếng tính đến 31/12/2017 là 3.832 tấn và hiệu quả tiếp

tục kéo dài trong năm 2018. Doanh thu tăng thêm từ lượng dầu khai thác thêm này là 1.733.400 USD. Lợi nhuận sau thuế VSP thu được là 397.500 USD. Trên cơ sở các kết quả thu được, trong năm 2019, VSP tiếp tục áp dụng công nghệ nêu trên tại 03 giếng (2 giếng thuộc mỏ Gấu Trắng, 01 giếng thuộc mỏ Rồng), theo kế hoạch năm 2021 VSP tiếp tục sẽ áp dụng công nghệ tại 03 giếng nữa.

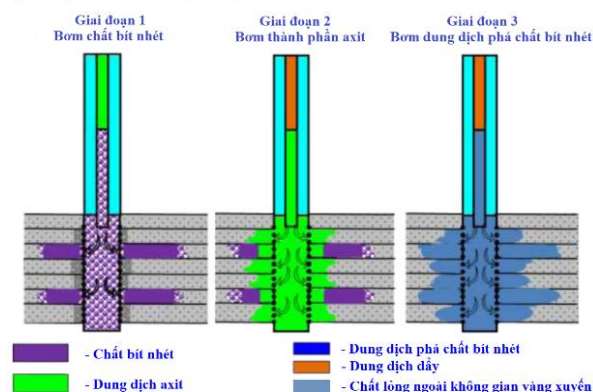
Như vậy, công nghệ nâng cao sản lượng khai thác dầu bằng thành phần hóa phẩm không chứa axit để xử lý, làm sạch các nhiễm bẩn hữu cơ, cặn nước tại vùng cận đáy giếng đã có hiệu quả khi áp dụng trong quá trình khai thác dầu của VSP. Hiện nay, PVChem đang tiếp tục thực hiện các nghiên cứu nhằm chế tạo, nâng cao hiệu quả của hệ hóa phẩm, mở rộng khả năng xử lý sang các dạng nhiễm bẩn hữu cơ khác... Dự kiến các kết quả nghiên cứu sẽ từng bước được triển khai áp dụng thử nghiệm trên các đối tượng giếng của VSP trong thời gian tới.

Công nghệ xử lý axit vùng cận đáy giếng có chọn lọc tại các giếng bơm ép để làm cân bằng độ tiếp nhận nhằm nâng cao hiệu quả bơm ép

Bơm ép nước cho đến nay là giải pháp hiệu quả nhất góp phần làm tăng lưu lượng các giếng, ổn định tỷ số khí - dầu, nâng cao hệ số thu hồi dầu và đặc biệt là ổn định sản lượng dầu khai thác tại các mỏ của VSP [6]. Tuy nhiên trong quá trình bơm ép, mặc dù nước bơm ép đã được xử lý (khử oxy, dùng chất ức chế ăn mòn, chất diệt khuẩn...), nhưng sau một thời gian dài bơm ép, vùng cận đáy giếng của giếng bơm ép vẫn bị nhiễm bẩn. Hệ quả của sự nhiễm bẩn này dẫn tới làm giảm lưu lượng bơm ép. Đặc biệt tại các giếng bơm ép, vì sự nhiễm bẩn nên làm mất cân bằng độ tiếp nhận giữa các khoảng mở vỉa, dẫn đến giảm hiệu quả bơm ép nước, gia tăng độ ngập nước tại các giếng khai thác, các tầng cần nhận được nhiều nước bơm ép để nâng cao hiệu quả khai thác dầu thì không nhận được nước do bị bít nhét bởi các vật liệu gây nhiễm bẩn. Do vậy, cần nghiên cứu và đưa vào áp dụng giải pháp xử lý axit có chọn lọc để xử lý làm sạch các nhiễm bẩn vô cơ, trong đó quan trọng nhất là xử lý chọn lọc những vùng có độ thấm thấp để làm cân bằng độ tiếp nhận. Để giải quyết vấn đề nêu trên, PVChem và VSP đã nghiên cứu đưa vào áp dụng công nghệ xử lý axit có chọn lọc tại giếng bơm ép. Bản chất của công nghệ là sử dụng thành phần chất lái dòng (Diverting agent) trên cơ sở chất bít nhét dạng hạt (hỗn hợp Dicarboxylic acid) được pha trong dung dịch chất hoạt động bề mặt nhớt đàn hồi (Viscoelastic surfactant – VES) để bít nhét có chọn lọc. Hỗn hợp bít nhét sẽ bít nhét tạm thời

vùng có độ thấm lớn (giai đoạn 1), dung dịch axit bơm sau đó sẽ tiến hành xử lý, làm sạch nhiễm bẩn tại các vùng có độ thấm nhỏ để phục hồi độ thấm ban đầu (giai đoạn 2). Sau khi xử lý bằng axit, thành phần chất bít nhét sẽ được loại trừ bằng dung dịch phá (giai đoạn 3). Kết quả của việc áp dụng công nghệ nêu trên là xử lý, làm sạch các nhiễm bẩn tại vùng có độ thấm thấp, cân bằng độ tiếp nhận của giếng bơm ép. Bản chất của công nghệ mô tả ở trên được thể hiện trong Hình 2 [5].

Năm 2018, công nghệ nêu trên đã được áp dụng thử nghiệm tại 02 giếng bơm ép 1605/BK15 và 1215/BK14 thuộc mỏ Bạch Hổ. Kết quả xác định độ tiếp nhận tại từng khoảng mở vỉa trước và sau khi xử lý đối với từng giếng được nêu tại Bảng 3 và Bảng 4. Theo kết quả khảo sát sự thay đổi độ tiếp nhận, tại giếng 1605/BK-16 sau khi xử lý đã làm tăng được độ tiếp nhận ở khoảng mở vỉa có độ tiếp nhận thấp. Đối với giếng 1215/BK-14, cho thấy, đã diễn ra sự thay đổi mặt cắt độ tiếp nhận theo hướng cân bằng hơn. Nhìn chung có thể thấy rằng với giếng này, hệ số tiếp nhận đã tăng hơn 1,6 lần. Mục đích xử lý đạt được tại 5/6 đoạn.



Hình 2: Các giai đoạn trong công nghệ xử lý axit có chọn lọc tại giếng bơm ép nhằm làm cân bằng độ tiếp nhận

Một trong những mục đích quan trọng của việc áp dụng công nghệ này là làm nâng cao hiệu quả bơm ép, gia tăng lượng dầu khai thác thêm được tại các giếng ảnh hưởng từ các giếng bơm ép nêu trên. Theo kết quả đánh giá các thông số làm việc của các giếng ảnh hưởng từ giếng 1215/BK14 cho thấy đã ghi nhận được sản lượng khai thác dầu tại các giếng 1212 và 1216/BK14 tăng lên (Hình 3). Tương tự như vậy, việc cân bằng độ tiếp nhận tại giếng 1605/BK16 sau khi xử lý đã làm gia tăng sản lượng dầu khai thác được tại giếng 1603B/BK16. Theo kết quả tính toán tại thời điểm 8/2018, tổng lượng dầu khai thác thêm được là 1811,9 Tấn, doanh thu từ lượng dầu khai thác thêm được là 863.000 USD. Hiệu quả gia tăng sản lượng khai thác dầu hiện vẫn được tiếp tục.

Như vậy, bằng việc áp dụng công nghệ mới để xử lý axit có chọn lọc vùng cận đáy giếng các giếng bơm ép đã giúp xử lý, loại trừ nhiễm bẩn, làm sạch tại vùng cận đáy giếng. Mục đích xử lý đã đạt được ở khía cạnh giúp tăng độ tiếp nhận tại các khoảng vỉa mà trước đó

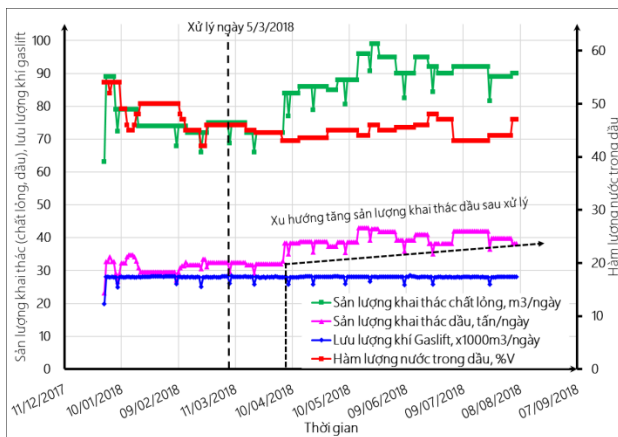
có độ tiếp nhận thấp. Kết quả theo dõi các giếng khai thác ảnh hưởng cho thấy việc xử lý cân bằng độ tiếp nhận tại giếng bơm ép đã có ảnh hưởng tích cực đến các giếng khai thác, sản lượng dầu khai thác thêm được đã ghi nhận ở các giếng ảnh hưởng.

Bảng 3: Sự thay đổi độ tiếp nhận theo từng khoảng mở vỉa của giếng 1605/BK-16 trước và sau khi xử lý

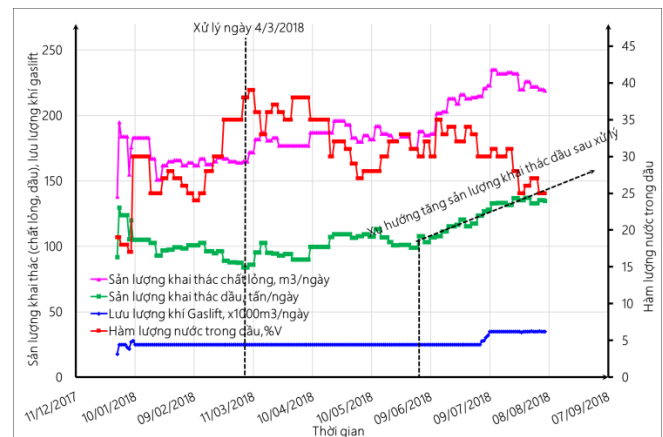
Khoảng mở vỉa, m		Độ tiếp nhận, m ³ /ngày		Độ tiếp nhận, %		Sự thay đổi độ tiếp nhận	
		Trước xử lý	Sau xử lý	Trước xử lý	Sau xử lý	m ³ /ngày	%
2982	2986	16.0	12.3	3.2	2.6	-3.7	-23%
2989	2992	7.3	36.7	1.5	7.6	29.5	405%
2997	2999	473.7	434.5	95.3	89.9	-39.2	-8%
Tổng cộng		496.9	483.5	100.0	100.0		

Bảng 4: Sự thay đổi độ tiếp nhận theo từng khoảng mở vỉa của giếng 1215/BK-14 trước và sau khi xử lý

Khoảng mở vỉa, m		Độ tiếp nhận, m ³ /ngày		Độ tiếp nhận tiếp nhận, %		Sự thay đổi độ tiếp nhận	
		Trước xử lý	Sau xử lý	Trước xử lý	Sau xử lý	m ³ /ngày	%
3316	3320	25.9	35.6	6.5	8.9	9.7	38%
3322	3325	20.7	54.2	5.2	13.6	33.5	162%
3328	3331	112.4	51.4	28.3	12.9	-61.0	-54%
3337	3343	26.9	18.3	6.8	4.6	-8.6	-32%
3348	3354	102.8	181.9	25.9	45.5	79.1	77%
3363	3375	107.8	58.6	27.2	14.5	-49.2	-46%
Tổng cộng		396.5	400.0	100.0	100.0		



Hình 3: Các thông số làm việc của các giếng khai thác 1212/BK14 ảnh hưởng trực tiếp từ giếng 1215/BK-14 trước và sau khi xử lý giếng 1215/BK-14



Hình 4: Các thông số làm việc của các giếng khai thác 1603/BK16 ảnh hưởng trực tiếp từ giếng 1605/BK-16 trước và sau khi xử lý giếng 1605/BK-16

Kết luận

Trong thời gian qua, VSP cùng với PVChem đã nghiên cứu và đưa vào thử nghiệm và bước đầu đã cho thấy hiệu quả của một số công nghệ mới để xử lý vùng cận đáy giếng, áp dụng cho một số đối tượng giếng có điều kiện đặc biệt. Đây chính là cơ sở để tiếp tục hoàn thiện công nghệ, triển khai áp dụng ở quy mô rộng hơn, đồng thời cần tiếp tục nghiên cứu, đưa các công nghệ mới trên thế giới trong lĩnh vực xử lý vùng cận đáy giếng để áp dụng trong điều kiện các mỏ của VSP đã bước vào giai đoạn khai thác cuối, việc xử lý trở lên khó khăn hơn, các công nghệ, hóa phẩm truyền thống không đem lại hiệu quả.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ trong đề tài mã số KC.02.12/16-20.

Tài liệu tham khảo

1. Petrom. Stimulation by Acidizing. 2012.
2. Mahes Chandra Patel, Aaditya Singh. SPE-179011-MS. SPE International conference & exhibition on formation damage control held in Lafayette, Louisiana, USA, 2016. <https://doi.org/10.2118/179011-MS>.
3. Gene Braddus. Well, J. petro. Technol. (1988) 40 (06) 685-687.
4. Science Research & Engineering Institute, Vietsovetro JV. Analysis of the state of the production well, recommendations for optimizing its operation and intensification of oil production. Annual reports. 2015-2018.
5. Science Research & Engineering Institute, Vietsovetro JV. Analysis of the state of the production well, recommendations for optimizing its operation and intensification of oil production. Annual reports. 2019.
6. Phung Dinh Thuc, Petrovietnam J. 2018, 7, 18-34