

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI TỪ HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG CỦA MÁY GIA CÔNG CNC

RESEARCH ON WASTEWATER TREATMENT FROM AUTOMATIC SYSTEMS OF PROCESSING MACHINES (CNC)

Trần Thị Nga¹, Phạm Tiến Dương¹,
Trần Tiến Chinh¹, Phạm Hương Quỳnh^{2,*}

TÓM TẮT

Nghiên cứu chỉ ra: Nước thải cắt gọt kim loại CNC có hàm lượng dầu và một số kim loại nặng như sắt, Niken và Kẽm khá cao và đều cao hơn rất nhiều so với quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp cột B. Nghiên cứu phá vỡ dung môi bằng NaClO nồng độ 150mg/l là tối ưu nhất. Nước thải sau quá trình phá vỡ dung môi được xử lý bằng phương pháp đông keo tụ với phèn nhôm nồng độ 200mg/l cho hiệu quả xử lý tốt nhất, nước sau xử lý đạt QCVN 40:2011/BTNMT cột B. 4. Có thể thu hồi được từ 50 - 70ml dầu/1 lít nước thải, dầu thành phẩm có thể sử dụng cho các mục đích khác.

Từ khóa: Nước thải, máy gia công CNC.

ABSTRACT

Research shows that: CNC metalworking wastewater has a high content of oil and some heavy metals such as iron, nickel and zinc, which is much higher than the National Technical Regulations on columnar industrial wastewater. B. Research on breaking the solvent with NaClO concentration 150mg/l is the most optimal. Wastewater after solvent breaking process is treated by coagulation and coagulation with aluminum alum concentration 200mg/l for the best treatment efficiency, the treated water meets QCVN 40:2011/BTNMT column B. 4. It is possible to recover from 50 - 70ml of oil / 1 liter of wastewater, the finished oil can be used for other purposes.

Keywords: Waste water, CNC processing machine.

¹Lớp ĐH Công nghệ Kỹ thuật Môi trường 01 - K12, Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: quynhktmt@hau.edu.vn

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển kinh tế, tình hình ô nhiễm môi trường cũng gia tăng đến mức báo động. Cùng với đó là vấn đề ô nhiễm môi trường do nước thải nhiễm dầu cũng là một mối quan tâm hàng đầu của nhiều quốc gia có nền công nghiệp dầu khí phát triển trên thế giới. Nước thải nhiễm dầu nếu không xử lý sẽ gây rất nhiều hậu quả, không chỉ về cảnh quan môi trường, động thực vật, thiệt hại về kinh tế mà còn ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Bên cạnh đó, vấn đề cung cấp nước sạch cũng là vấn đề quan tâm lớn của nhiều quốc gia, tổ chức xã hội và chính bản thân của mỗi cộng đồng dân cư.

Tình hình ô nhiễm nguồn nước do các nguồn thải chưa qua xử lý đang ngày trở nên nghiêm trọng trên thế giới và ở Việt Nam. Một trong những nguồn thải phổ biến đó chính là nước thải nhiễm dầu do các hoạt động lưu trữ, súc rửa dầu và sản phẩm của dầu gây ra. Nước thải nhiễm dầu gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái bởi chứa nhiều các thành phần hydrocarbon độc hại, khó phân hủy như phenol, naphthalene, pyrene,... Vì vậy, việc nghiên cứu xử lý nước thải từ hệ thống tự động của máy gia công CNC là rất cần thiết.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Nước thải nhiễm dầu chứa thành phần chính là dầu khoáng, ngoài ra còn có rác, cặn lắng, đất sét, chất hoạt động bề mặt... Bản chất dầu là chất lỏng sánh, có mùi đặc trưng, nhẹ hơn nước, chúng bị oxy hóa rất chậm, có thể tồn tại đến 50 năm.

Thành phần các chất ô nhiễm gồm: Dầu, chất rắn, bùn, hạt kim loại, chất nhũ hóa, chất tẩy rửa, xà phòng, dung môi và các chất cặn bã khác. Nước thải từ các quá trình gia công cơ khí: Dầu mỡ, COD, kim loại nặng, Cd²⁺, Pb²⁺, Co²⁺, Ni²⁺ và Pt²⁺.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp quan trắc

Khảo sát quá trình phát sinh và đánh giá sơ bộ chất lượng nước thải CNC của Trung tâm Việt - Nhật trường đại học Công Nghiệp Hà Nội

Tiến hành lấy mẫu nước thải nhà ăn theo TCVN 6663-1:2011 (Chất lượng nước - lấy mẫu - Phần 1: Hướng dẫn thiết kế chương trình lấy mẫu và kỹ thuật lấy mẫu).

Bảo quản mẫu nước thải theo TCVN 6663-3:2011 (Chất lượng nước - lấy mẫu - phần 3: Hướng dẫn bảo quản và lưu giữ mẫu).

Lấy mẫu nước thải nước thải CNC của Trung tâm Việt - Nhật, Trường Đại học Công Nghiệp Hà Nội trước khi xử lý, mẫu lấy về được phân tích ngay.

Mẫu được phân tích tại phòng thí nghiệm với các chỉ tiêu: pH, COD, chất rắn lơ lửng (SS). Mẫu phân tích được lặp lại 3 lần lấy giá trị trung bình.

- Phương pháp phân tích trong phòng thí nghiệm

+ Xác định đo pH

Tiến hành đo pH bằng máy đo pH cầm tay Lovibond của Đức theo TCVN 6492:2011.

+ Xác định chất rắn lơ lửng (SS) theo TCVN 6625:2000

Nguyên tắc: SS được xác định bằng phương pháp khối lượng, dựa vào sự tăng khối lượng của giấy lọc sấy khô ở 105°C đến khối lượng không đổi trước và sau khi chứa mẫu.

Dụng cụ: Bình định mức 50ml, cân phân tích, tủ sấy và giấy lọc.

+ Xác định nhu cầu oxy hóa học (COD) theo TCVN 6491:1999

Nguyên tắc: Đun hồi lưu mẫu với lượng kali dicromat đã biết trước khi có mặt thủy ngân (II) sunfat và xúc tác bạc trong axit sunfuric đặc trong khoảng thời gian nhất định, trong quá trình đó một phần dicromat bị khử do sự có mặt các chất có khả năng bị oxy hóa. Chuẩn độ lượng dicromat còn lại với sắt (II) amon sunfat. Tính toán giá trị COD từ lượng dicromat bị khử, 1 đương lượng dicromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) tương đương với 8 gam oxy (O_2).

Dụng cụ: Ống phản ứng chịu nhiệt 10ml có nắp vặn, thiết bị phản ứng nhiệt DRB200, buret chính xác dung tích 25ml và các dụng cụ thông thường của phòng thí nghiệm.

+ Nghiên cứu xử lý nước thải bằng phương pháp đông keo tụ

Phương pháp đông keo tụ là một trong những phương pháp phổ biến để xử lý nước thải. Trong thực tế, những chất keo tụ thường được sử dụng là nhôm sunfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, phèn sắt $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ và PAC (Poly Aluminium Chloride).

Cách tiến hành: Đổ nước thải vào các cốc thủy tinh 1 lít của thiết bị khuấy trộn đến vạch 500ml, rồi điều chỉnh pH ở vùng tối ưu để quá trình xử lý đạt hiệu quả cao nhất. Đối với $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ pH nằm trong khoảng từ 5 - 7,5; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ từ 5,5 - 6,5 và PAC từ 6,5 - 8,5 [12].

Bổ sung vào cốc 1 hàm lượng chất keo tụ là $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ và PAC với nồng độ là 100 đến 300mg/l

Cho thiết bị khuấy trộn làm việc ở tốc độ cao (250vòng/phút) trong thời gian 30 giây, sau đó tiến hành khuấy trộn chậm (40vòng/phút) trong 5 phút, sau đó để lắng 30 phút.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng nước thải CNC

Bảng 1. Đặc trưng nước thải CNC

STT	Thông số	Đơn vị	Kết quả	QCVN 40:2011/BTNMT Cột B
1	pH	-	5,8	5,5 đến 9
2	Dầu mỡ	mg/l	632	10
3	COD	mg/l	23.640	150

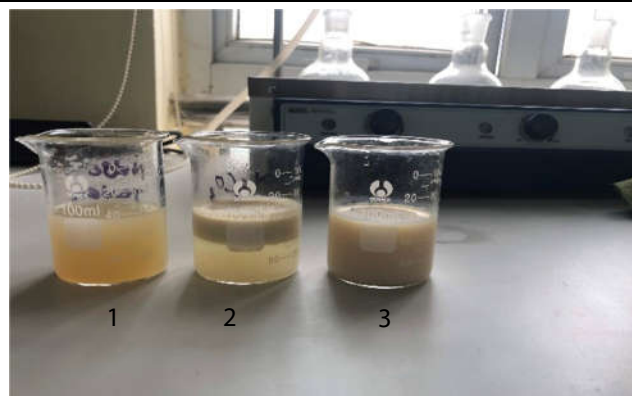
4	NH_4^+	mg/l	2,8	10
5	PO_4^{3-}	mg/l	6,1	6
6	SS	mg/l	322	100
7	Tổng sắt	mg/l	222	5
8	Niken	mg/l	83	0,5
9	Kẽm	mg/l	161	3

3.1.1. Lựa chọn hoá chất phá vỡ dung môi

Nghiên cứu được thực hiện với 3 cốc 1000ml có 500ml nước thải CNC. Bổ sung 100mg/lit hoá chất NaClO , Na_2CO_3 , Hexan, nước thải không điều chỉnh pH. Đưa vào khuấy trộn cùng con từ 50 vòng/phút trong vòng 3 phút. Sau đó hỗn hợp để lắng và phân tích COD và SS

Bảng 2. Bảng kết quả dòng vào và dòng ra sau khi phá dung môi bằng các loại hóa chất khác nhau

Thông số	Đơn vị	Vào	Ra NaClO	Ra Na_2CO_3	Ra Hexan
Dầu	mg/l	632	105	198	-
SS	mg/l	322	267	273	-
COD	mg/l	23640	385	543	-



Hình 1. Hỗn hợp hóa chất phá vỡ dung môi và nước thải CNC

1) Na_2CO_3 ; 2) NaClO ; 3) Hexan

3.1.2. Nghiên cứu khảo sát nồng độ NaClO trong phá vỡ dung môi

Bảng 3. Kết quả nghiên cứu nồng độ NaClO để phá vỡ dung môi

Thông số	Đơn vị	Dòng vào	Nồng độ NaClO nghiên cứu			
			100 mg/l	150 mg/l	200 mg/l	250 mg/l
Dầu	mg/l	632	105	47	46	49
SS	mg/l	322	267	262	270	264
COD	mg/l	23640	385	211	213	209

3.2. Xử lý SS và kim loại nặng bằng phương pháp đông keo tụ

3.2.1. Nghiên cứu xử lý bằng phèn nhôm ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

+ Nghiên cứu ảnh hưởng của pH

Nước thải ở lớp phía dưới sau khi tách dầu sẽ được xử lý bằng đông keo tụ với COD vào 211 và SS = 226mg/l.

Thí nghiệm được thực hiện với thể tích mẫu là 50 ml với 6 cốc khác nhau và có pH lần lượt là 4, 5, 6, 7, 8, 9. Cho phèn nhôm có nồng độ 100 mg/l vào các cốc và thực hiện khuấy nhanh bằng máy khuấy từ với tốc độ cao (200 vòng/phút) trong 6 phút, sau đó tiến hành khuấy trộn chậm (50 vòng/phút) trong 20 phút rồi để lắng trong 30 phút. Sau khi tạo bông và keo tụ mẫu được lấy và phân tích COD và SS, kết quả phân tích được thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Ảnh hưởng của pH đến hiệu suất xử lý của phèn nhôm

STT	Thông số	pH nghiên cứu					
		4	5	6	7	8	9
1	COD _{vào} (mg/l)	221	221	221	221	221	221
2	COD _{ra} (mg/l)	77	75	61	34	69	70
3	SS _{vào} (mg/l)	226	226	226	226	226	226
4	SS _{ra} (mg/l)	120	114	80	22	45	58
5	HQXL _{COD} (%)	65,16	66,06	72,24	84,62	68,78	68,33
6	HQXL _{SS} (%)	46,90	49,56	64,60	90,27	80,09	74,34

+ Nghiên cứu nồng độ phèn nhôm sunfat (Al₂(SO₄)₃.18H₂O)

Điều chỉnh pH của mẫu bằng 7 (pH tối ưu đối với phèn nhôm đã thực hiện ở trên). Chuẩn bị 3 cốc 1000ml đựng 500ml mẫu, cho phèn nhôm vào các cốc đã được chuẩn bị với nồng độ là: 100, 200, 300 (mg/l). Thực hiện khuấy nhanh 200 vòng/phút trong 6 phút, sau đó khuấy chậm 50 vòng/phút trong 20 phút rồi để lắng trong 30 phút

Sau khi tạo bông và keo tụ mẫu được lấy và phân tích SS, COD. Kết quả phân tích được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Kết quả keo tụ bằng phèn nhôm

STT	Thông số	Nồng độ nghiên cứu		
		100 (mg/l)	200 (mg/l)	300 (mg/l)
1	COD _{vào} (mg/l)	221	221	221
2	COD _{ra} (mg/l)	34	28	23
3	SS _{vào} (mg/l)	226	226	226
4	SS _{ra} (mg/l)	22	20	21
5	HQXL _{COD} (%)	84,62	87,33	89,59
6	HQXL _{SS} (%)	90,27	91,15	90,71

3.2.2. Nghiên cứu xử lý bằng phèn sắt (FeSO₄.6H₂O)

+ Nghiên cứu ảnh hưởng của pH

Thí nghiệm được thực hiện với thể tích mẫu là 50ml với 6 cốc khác nhau và có pH lần lượt là 4, 5, 6, 7, 8, 9. Cho phèn sắt có nồng độ 100mg/l vào các cốc và thực hiện khuấy nhanh bằng máy khuấy từ với tốc độ cao (200 vòng/phút) trong 6 phút, sau đó tiến hành khuấy trộn chậm (50 vòng/phút) trong 20 phút rồi để lắng trong 30 phút. Sau khi tạo bông và keo tụ mẫu được lấy và phân tích COD và SS, kết quả phân tích được thể hiện ở bảng sau:

Bảng 6. Ảnh hưởng của pH đến hiệu suất xử lý của phèn sắt

STT	Thông số	pH nghiên cứu					
		4	5	6	7	8	9
1	COD _{vào} (mg/l)	221	221	221	221	221	221
2	COD _{ra} (mg/l)	82	61	55	57	66	74
3	SS _{vào} (mg/l)	226	226	226	226	226	226
4	SS _{ra} (mg/l)	60	48	40	46	55	64
5	HQXL _{COD} (%)	62,90	72,40	75,11	74,21	70,14	66,52
6	HQXL _{SS} (%)	73,45	78,76	82,30	79,65	75,66	71,68

+ Nghiên cứu nồng độ phèn sắt (FeSO₄.6H₂O)

Điều chỉnh pH của mẫu bằng 6 (pH tối ưu đối với phèn sắt đã thực hiện ở trên). Chuẩn bị 3 cốc 1000ml đựng 500ml mẫu, cho phèn sắt vào các cốc đã được chuẩn bị với nồng độ là: 100, 200, 300 (mg/l). Thực hiện khuấy nhanh (200 vòng/phút) trong 6 phút sau đó khuấy chậm (50 vòng/phút) trong 20 phút rồi để lắng 30 phút.

Sau khi tạo bông và keo tụ mẫu được lấy và phân tích SS, COD. Kết quả phân tích được trình bày trong bảng 7.

Bảng 7. Kết quả quá trình keo tụ bằng phèn sắt

STT	Thông số	Nồng độ nghiên cứu		
		100 (mg/l)	200 (mg/l)	300 (mg/l)
1	COD _{vào} (mg/l)	221	221	221
2	COD _{ra} (mg/l)	56	48	40
3	SS _{vào} (mg/l)	226	226	226
4	SS _{ra} (mg/l)	40	34	27
5	HQXL _{COD} (%)	74,66	78,28	81,90
6	HQXL _{SS} (%)	82,30	84,96	88,05

3.2.3. Nghiên cứu xử lý bằng PAC (Poly Aluminium Chloride)

+ Nghiên cứu ảnh hưởng của pH

Thí nghiệm được thực hiện với thể tích mẫu là 50ml với 6 cốc khác nhau có pH lần lượt là 4, 5, 6, 7, 8, 9. Cho PAC có nồng độ 100mg/l vào các cốc và thực hiện khuấy nhanh bằng máy khuấy từ với tốc độ 200 vòng/phút trong 6 phút, sau đó khuấy chậm 50 vòng/phút trong 20 phút rồi để lắng trong 30 phút. Mẫu sau khi lắng được mang đi phân tích COD và SS, kết quả phân tích được thể hiện ở bảng 8.

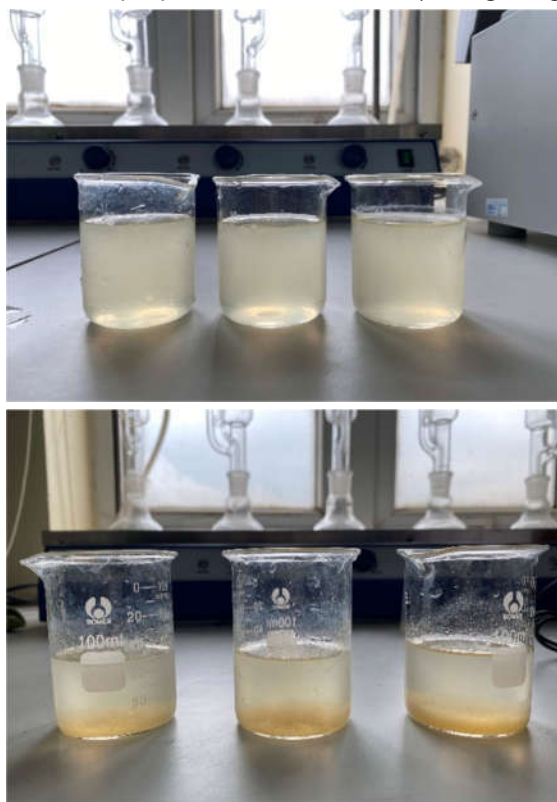
Bảng 8. Ảnh hưởng của pH đến hiệu suất xử lý của PAC

STT	Thông số	pH nghiên cứu					
		4	5	6	7	8	9
1	COD _{vào} (mg/l)	221	221	221	221	221	221
2	COD _{ra} (mg/l)	78	66	53	44	41	42
3	SS _{vào} (mg/l)	226	226	226	226	226	226
4	SS _{ra} (mg/l)	69	54	38	30	28	29
5	HQXL _{COD} (%)	64,71	70,14	76,02	80,09	81,45	80,99
6	HQXL _{SS} (%)	69,47	76,11	83,19	86,73	87,61	87,17

Nhận xét: pH = 8 cho thấy hiệu quả xử lý COD (81,45%) và hiệu quả xử lý SS (87,61%) là tối ưu nhất.

Điều chỉnh pH của mẫu bằng 8 (pH tối ưu đối với PAC đã thực hiện ở trên). Chuẩn bị 3 cốc 100ml đựng mẫu, cho PAC vào các cốc đã được chuẩn bị với nồng độ là: 100, 200, 300mg/l. Thực hiện khuấy nhanh 200 vòng/phút trong 6 phút sau đó khuấy chậm 50 vòng/phút trong 20 phút rồi để lắng 30phút.

Sau khi tạo bông và keo tụ mẫu được lấy và phân tích SS, COD. Kết quả phân tích được trình bày trong bảng 9.



Hình 2. Mẫu nước thải trước khi keo tụ và sau khi keo tụ bằng PAC ở các nồng độ khác nhau.

Bảng 9. Kết quả keo tụ bằng PAC

STT	Thông số	Nồng độ nghiên cứu		
		100 (mg/l)	200 (mg/l)	300 (mg/l)
1	COD _{vào} (mg/l)	221	221	221
2	COD _{ra} (mg/l)	42	38	35
3	SS _{vào} (mg/l)	226	226	226
4	SS _{ra} (mg/l)	28	24	23
5	HQXL _{COD} (%)	80,99	82,81	84,16
6	HQXL _{SS} (%)	87,61	89,38	89,82

3.3. Nghiên cứu thu hồi dầu

Sau khi phá vỡ dung môi, phần dầu thải phía trên sẽ được xử lý bằng cách gia nhiệt ở 80°C trong 30 phút ta thu được hỗn hợp dầu và cặn như ở hình 3a. Sau đó tiếp tục mang đi xử lý ly tâm để tách cặn ra khỏi dầu, cuối cùng ta

được dầu thành phẩm cuối cùng như hình 3b. Cuối cùng ta sẽ thu được 50 đến 70ml dầu trong 1 lít nước thải.



a) Trước ly tâm



b) Sau ly tâm

Hình 3. Dầu thải thu được trước và sau ly tâm

3.4. Xử lý liên tục với các thông số tối ưu

Bảng 10. Kết quả quá trình xử lý liên tục

STT	Thông số	Đơn vị	Dòng vào	Dòng ra sau tách dầu NaClO	Dòng ra sau keo tụ	Hiệu suất của quá trình	QCVN 40:2011/ BTNMT Cột B
1	pH	-	5,8	7,2	7,3	-	5,5-9
2	Dầu mỡ	mg/l	632	47	0,7	99,89%	10
3	COD	mg/l	23.640	212	22	99,91%	150
4	NH ₄ ⁺	mg/l	2,8	2,1	1,2	57,14%	10

5	PO ₄ ³⁻	mg/l	5,1	4,2	3,1	39,22%	6
6	SS	mg/l	322	226	21	93,48%	100
7	Tổng sắt	mg/l	222	184	7,5	96,62%	5
8	Niken	mg/l	83	77	4,6	94,46%	0,5
9	Kẽm	mg/l	161	143	3,7	97,70%	3

4. KẾT LUẬN

Qua quá trình thu thập số liệu và phân tích các thông số của nước thải gia công công cơ khí CNC có thể thấy nước thải có hàm lượng chất ô nhiễm khá cao, chủ yếu là dầu và một số kim loại nặng.

Sau quá trình nghiên cứu, thực nghiệm trong phòng thí nghiệm để xử lý nước thải CNC bằng các phương pháp hóa học và hóa lý ta thu được kết quả như sau:

- Nước thải cất gọt kim loại CNC có hàm lượng dầu và một số kim loại nặng như sắt, Niken và Kẽm khá cao và đều cao hơn rất nhiều so với Quy chuẩn Kỹ thuật Quốc gia về nước thải công nghiệp cột B.

- Nghiên cứu phá vỡ dung môi bằng NaClO nồng độ 150mg/l là tối ưu nhất.

- Nước thải sau quá trình phá dung môi được xử lý bằng phương pháp đông keo tụ với phèn nhôm nồng độ 700mg/l cho hiệu quả xử lý tốt nhất, nước sau xử lý đạt QCVN 40:2011/BTNMT cột B.

- Có thể thu hồi được từ 50 - 70ml dầu/1 lít nước thải, dầu thành phẩm có thể sử dụng cho các mục đích khác.

[8]. Atta A.M., Allohedan H.A., El-Mahdy G.A, 2014. *Dewatering of petroleum crude oil emulsions using modified Schiff base polymeric surfactants*. Journal of Petroleum Science and Technology.

[9]. PGS.TS Hoàng Xuân Tiến, Nguyễn Đức An, 2016. *Nghiên cứu xử lý cặn dầu phế thải thành sản phẩm có ích nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế và góp phần bảo vệ môi trường*. Luận văn thạc sĩ kĩ thuật, kỹ thuật hóa học Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

[10]. ThS. Lâm Vĩnh Sơn, Phan Thanh Hải. *Nghiên cứu xử lý nước thải nhiễm dầu bằng mô hình hợp khối kết hợp phương pháp cơ học và sinh học*.

[11]. Nguyễn Xuân Thị Diễm Trinh, Trần Thế Nam, Huỳnh Thị Hồng Hoa, 2020. *Nghiên cứu quy trình xử lý dầu trong nước thải của cơ sở chế biến cơm dừa tại tỉnh Trà Vinh bằng phương pháp vi sinh*.

[12]. Trần Văn Nhân, Ngô Thị Nga, 2006. *Giáo trình công nghệ xử lý nước thải*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Văn Nhân, Ngô Thị Hoa, 2000. *Giáo trình công nghệ xử lý nước thải*. NXB Khoa học Kỹ thuật.

[2]. Lê Văn Tuấn, 1999. *Nghiên cứu các phương pháp phá nhũ để nâng cao hiệu quả xử lý nhũ tương nghịch và sơ đồ công nghiệp, xử lý dầu trên trạm rót dầu ở bến Chí Linh*. Đồ án tốt nghiệp khoa Dầu khí, Trường Đại học Mỏ địa chất.

[3]. Dinesh .M and Rathina Raj .C, 2017. *Separation Of Water-In-Oil Emulsions By Freeze/Thaw Method And Microwave Radiation*. International Journal of Advanced Research in Civil,Structural,Environmental and Infrastructure Engineering and Developing, Volume: 3, Issue: 1.

[4]. Hoàng Tuấn Bằng, 2008. *Nghiên cứu xử lý nước thải có dầu dạng nhũ tương*. Luận án tiến sĩ trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

[5]. Yuliya N. Romanovaa, Tatyana A. Maryutina, Natalya S. Musina, Evgeny V. Yurtov, Boris Ya. Spivakov, 2019. *Demulsification of water-in-oil emulsions by exposure to magnetic field*, Journal of Petroleum Science and Engineering.

[6]. Fan Yea, Xia Jianga, Yuanzhu Mi, Jiazhe Kuanga, 2019. *Preparation of oxidized carbon black grafted with nanoscale silica and its*. Journal Colloids and Surfaces A.

[7]. Rafael Martínez-Palou, Ricardo Cerón-Camacho and partner, 2013. *Demulsification of heavy crude oil-in-water emulsions: A comparative*, Journal Fuel.