

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH KẾT DÍNH DỊ THỂ THỦY ĐỘNG LỰC HỌC TRONG XỬ LÝ NƯỚC KHỎI CÁC VI HẠT CHẤT RẮN

RESEARCH ON HETEROADAGULATION FOR PURIFICATION WATER FROM MICRODROPLETS AND MICROPARTICLES

Vương Thị Lan Anh

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp kết dính dị thể được ứng dụng trong công nghệ làm sạch nước khỏi vi hạt chất rắn kích thước 0,8 - 10 micron, và nồng độ 0,02 - 2,0%. Một phương pháp dựa hoàn toàn vào những tương tác kỵ nước và mô hình toán học mô tả sự đông tụ dị thể của các vi hạt được đề xuất. Hiệu suất của quá trình làm sạch đạt tới 93 - 98% trong vòng 5 - 20 phút. Phương pháp đã có được ứng dụng trong lọc nước khỏi các vi hạt lỏng và rắn khác nhau. Những ứng dụng của phương pháp này được mở rộng nhiều trong những năm gần đây, đặc biệt khi thiết kế hệ thống thành một quá trình liên tục. Khi đó phương pháp này trở thành một kỹ thuật xử lý nước, là sự kết hợp các quá trình hấp phụ với đông tụ cho hệ lỏng-lỏng-rắn. Điều này mở ra những tính chất mới của quá trình đòi hỏi cần được nghiên cứu sâu hơn.

Từ khóa: Vi hạt, cao lanh, dầu, kết dính dị thể, thủy động lực học, động học, sợi cacbon, sợi polyester, giấy nhôm.

ABSTRACT

The research on the method of hydrodynamic heteroadagulation for water purification from solid microparticles of 0.8 - 10 microns, and a concentration of 0.02 - 2.0% was developed. Method completely based on hydrophobic interactions and mathematical model describing of droplets heteroadagulation was created. Cleaning from microparticles and droplets occurs on the 93 - 98% for 5 - 20 minutes. The method has been used for the purification of water from various liquid and solid microparticles. The applications of this method have expanded considerably in recent years, especially when designing the system into a continuous process. This method becomes a water treatment technique, which combines the adsorption processes with coagulation for liquid-liquid-solid system. This opens up new features of the process, demanding the need of further investigation.

Keywords: Microparticles, kaolinite, oil, heteroadagulation, kinetics, carbon cloth, polyester-fabric, aluminum foil.

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

Email: lananh.vuong2211@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/01/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 21/10/2020

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình đông tụ dị thể đã được biết đến từ lâu [1], nhưng thực tế chưa trở thành một phương pháp ứng dụng

quan trọng trong xử lý các dòng nước khác nhau khỏi các vi vật thể nhiễm bẩn, cũng như chưa là đối tượng nghiên cứu của các tương tác hóa lý giữa các vi vật thể với các bề mặt có tính chất khác nhau. Quá trình đông tụ dị thể chưa được nghiên cứu rõ các yếu tố thành phần thủy động học và hơn nữa chưa có một mô hình toán học thực tiễn cho phép các kỹ sư dễ dàng sử dụng, cũng như các kỹ sư lý hóa và phân tích hiểu được ý nghĩa của thông tin thu được từ các giá trị trong mô hình.

Khi mà quá trình đông tụ dị thể được xem như hiện tượng thủy động lực học đã mở ra nhiều triển vọng ứng dụng phương pháp này, mặc dù các vấn đề có thể chưa được làm rõ đến tận cùng nhưng chắc chắn là rất hữu ích và cần thiết.

Trong tài liệu [1] và một số bài báo cũng như công trình khác [2-6] đã nêu ra một số quy luật tương tác của các hạt rất nhỏ, rằng chúng diễn ra ngay cả với vận tốc dòng chảy chậm, thực tế là gần như theo quán tính. Kích thước của những hạt này nhỏ hơn cả kích thước của các chuyển động hỗn loạn trong dòng chảy. Vì vậy, chuyển động đối lưu ở đây không cần phải tính đến khi xác định hằng số tốc độ của quá trình đông tụ dị thể.

Khác với các hạt này, các hạt kích cỡ micron hoặc gần micron có thể nhìn thấy bằng mắt thường và tạo ra độ đục của nước. Chúng có thể tự lắng cho dù khá chậm (hàng giờ và ngày), tạo ra nhiều vấn đề trong các công nghệ xử lý khác nhau. Những hạt này bị giữ lại trong các dòng chuyển động nhanh. Để lắng chúng đòi hỏi cần có các thiết bị lắng chuyên dụng hoặc bằng cách tăng lực tác dụng lên hạt.

Chúng ta biết rằng, để quá trình đông tụ xảy ra cần vượt qua hàng rào năng lượng. Trong bài báo đề xuất phương pháp vượt qua hàng rào năng lượng này bằng cách tổ chức dòng chảy hợp lý mà không sử dụng đến các hóa chất hay lượng nhiệt để hỗ trợ. Quan trọng nhất là việc sử dụng phương pháp va đập dòng với thành ống tạo nên sự gia tăng gia tốc, dẫn tới sự tăng gia tốc trọng trường g. Cách thức này được áp dụng triệt để trong nghiên cứu này, và đóng vai trò quyết định. Sự va đập của các hạt micron với các vật thể không chuyển động, được phủ bởi các vật liệu

dạng sợi, gần giống như các vật thể bẫy các hạt đã đưa đến thành công của phương pháp này. Ngoài ra, trong phương pháp này những dòng chảy tầng được tạo ra và hướng tới thành ống có phủ các vật liệu dạng sợi.

Mặc dù có các hiệu ứng thủy động lực học được tạo ra, cơ sở của các quá trình diễn ra ở khoảng cách nhỏ hơn khoảng cách bé nhất của các chuyển động hỗn loạn vẫn là thuyết DLVO và phát triển rộng hơn trong [1,2] các khái niệm áp lực đệm và thành phần entropy của nó. Điều này có nghĩa là các dung dịch huyền phù và nhũ tương pha loãng giữ được trạng thái phân tán hạt khá lâu. Việc tổ chức dòng chảy trong môi trường như vậy và những va đập của các vi hạt với các vật thể không chuyển động có thể làm tăng tốc quá trình tạo các hạt lớn lên 100-1000 lần [6-8] và dẫn tới sự lắng của chúng khỏi dòng chảy. Sự tương đồng tính chất giữa vật liệu của vật thể không chuyển động với các vi hạt và vi giọt đóng vai trò đặc biệt quan trọng.

Trong bài báo này, tác giả đưa ra một số kết quả nghiên cứu phương pháp đông tụ dị thể nhằm kiểm nghiệm khả năng ứng dụng phương pháp này trong công nghệ làm sạch nước khỏi vi hạt chất lỏng và rắn kích thước 0,8 - 10 micron và mở rộng sự hiểu biết về động học của quá trình này.

2. THỰC NGHIỆM

Theo lý thuyết có hai hình thức tương tác của các vi hạt với các bẫy hạt.

Đông tụ dị thể

Đông tụ dị thể từ lâu đã có vị trí dẫn đầu vững chắc với những ứng dụng thực tế trong công nghệ nano và trong các nghiên cứu lý thuyết. Đông tụ dị thể chiếm ưu thế khi tỷ lệ pha phân tán tương đối đáng kể (lớn hơn 1%), còn thành của bình pha và lưu giữ các dung dịch huyền phù và nhũ tương không có ái lực với các hạt cỡ micro và nano. Trong trường hợp ngược lại thì sẽ xảy ra các quá trình kết dính dị thể và dẫn tới sự gộp lại các hạt trong các bẫy vi hạt.

Trong tài liệu [9] đề xuất một phương pháp thú vị để phân loại nhỏ các hạt nano bằng cách sử dụng việc lọc qua các cột lọc, chứa xỉ Fe-Ni. Những hạt có kích cỡ khoảng 100nm có thể dễ dàng đi qua cột, còn những hạt kích cỡ 300nm sẽ bị giữ lại vì xỉ Fe-Ni đã tạo ra sức cản đáng kể cho chuyển động của chúng.

Kết dính dị thể

Kết dính dị thể là quá trình mà các vi hạt từ pha lỏng sẽ tấn công vào các hạt giống chúng, được hấp phụ trên bề mặt của các vật thể không chuyển động. Sự lưu chuyển các vi hạt tới bề mặt xảy ra rất nhanh (với các dòng chảy đối lưu của pha lỏng). Trên phương diện động học thì quá trình này có ưu thế hơn nhiều về tốc độ tạo thành các hạt đồng tụ. Ngoài ra, kết dính dị thể xảy ra khi pha phân tán có nồng độ nhỏ.

Sự khác nhau giữa đông tụ dị thể và kết dính dị thể về bản chất không nhiều lắm, tuy nhiên sự khác biệt này lại có ý nghĩa lớn trong việc ứng dụng các phương pháp vào thực tiễn.

Các quá trình bản ngược lại của dòng chảy khi đập vào thành ống và diễn tiến tiếp theo của quá trình này trên các bẫy vi hạt bằng sợi cũng đóng vai trò quan trọng cho dù vai trò đó chưa được nghiên cứu đầy đủ. Các quá trình này có lẽ chính là nguyên nhân gây nên sự dao động và phân nắc trên các đường cong biểu diễn quá trình kết dính dị thể.

Ví dụ về ý nghĩa có lợi và có hại của các quá trình kết dính dị thể trong thực tế khá nhiều. Có thể xem quá trình kết dính các chất nhựa đường - paraffin trong các đường ống dẫn dầu hay việc ứ đọng dầu bơ thực vật trên thành các đường ống dẫn trong công nghệ thực phẩm là những ví dụ có hại. Việc ứng dụng các quá trình kết dính dị thể trong việc làm sạch các dòng nước thải khỏi các vi hạt và vi giọt lại mang ý nghĩa thực tiễn tích cực. Việc làm sạch nước thải ít nhiều cũng sẽ chấm dứt các diễn biến thay đổi bất lợi trong các hệ sinh học tự nhiên.

Thông thường thì thành của các bình phản ứng, các vách ngăn hay các chi tiết khác của thiết bị làm sạch nước cũng là các vật không chuyển động. Ví dụ như bể lắng cặn lớp mỏng người ta thường sẽ tăng lên đáng kể diện tích các giá không chuyển động để lắng và giảm chiều cao lắng các hạt. Điều này sẽ giảm đáng kể thời gian lắng và như vậy tăng hiệu suất lắng các hạt. Trong ví dụ này tính chất bề mặt của các giá trong bể lắng nhiều ngăn cũng như sự một chiều của quá trình lắng các hạt trên các giá đóng vai trò lớn. Hạt ở gần các giá (hay thành bể) có thể nhanh chóng "dính" vào chúng, và cũng có thể rời khỏi chúng khi bị các dòng xoáy cuốn theo. Trong trường hợp đó sẽ xảy ra quá trình ngược lại, làm giảm đáng kể hiệu suất của bể lắng.

Tuy nhiên cũng có thể sử dụng các vật liệu dạng sợi nguồn gốc khác nhau (đặc biệt dạng sợi lỏng) để phủ lên các giá và tổ chức dòng chảy của các dung dịch huyền phù/nhũ tương đúng trong các thiết bị lắng cặn lớp mỏng để thay đổi hiệu suất. Hình dạng lỏng của các vật liệu sợi vải này sẽ tăng tốc đáng kể quá trình lắng. Cách tiếp cận như vậy đã được chúng tôi sử dụng trong thảo luận các cách có thể hoàn thiện hóa các bể lắng lớp mỏng nhiều vách ngăn cho các vi hạt, lắng trên các vật liệu bằng vải từ sợi cacbon hoặc sợi polyester.

Kết hợp 2 quá trình đông tụ dị thể và kết dính dị thể

Thông thường chúng ta hay gặp kết luận về việc xảy ra đồng thời cả hai quá trình - đông tụ dị thể và chống lại nó là kết dính dị thể, dẫn tới sự lớn lên của các hạt kích cỡ micro và nano.

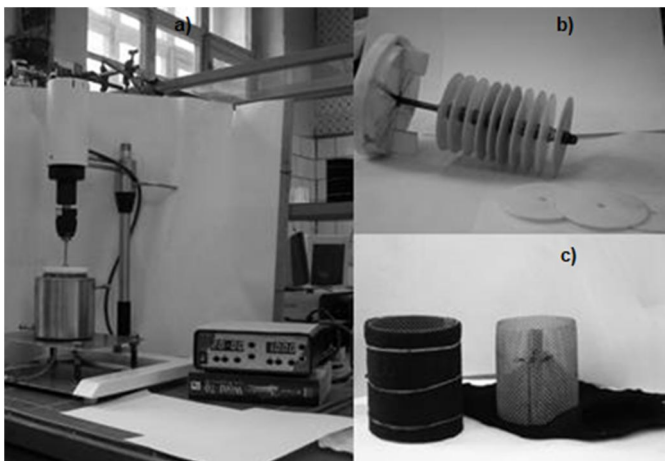
Phương pháp làm sạch các vi hạt và vi giọt ra khỏi nước sử dụng quá trình kết dính dị thể thủy động lực học được nghiên cứu và tiến hành thực nghiệm qua hai giai đoạn: 1) Quá trình pha và lưu giữ các dung dịch huyền phù/nhũ tương chứa các vi hạt lỏng và rắn với động lực học gần như ổn định; 2) Tập hợp được các vi hạt thành các hệ hai pha sử dụng quá trình kết dính dị thể để đạt đến mức chúng có thể lắng hoặc nổi và tách ra khỏi dòng nước.

Các dung dịch huyền phù/nhũ tương được coi là tương đối ổn định nếu chúng giữ được trạng thái ít nhất 70% pha

phân tán trong vòng 24 giờ. Đối với các vi hạt rắn thì dung dịch phải giữ được trạng thái ổn định ít nhất 50% trong vòng 12 giờ. Các thiết bị để chuẩn bị các dung dịch huyền phù/nhũ tương “ổn định” bao gồm một máy khuấy IKA DI 25 được trang bị dụng cụ phun S25N-18G, bình thủy tinh 500ml có các vách chắn chữ nhật và các vách ngăn, nhằm đảm bảo sự xáo trộn và làm giảm ảnh hưởng của phễu dòng trung tâm. Không có chất tạo huyền phù hay chất ổn định nào được thêm vào trong quá trình chuẩn bị các dung dịch huyền phù/nhũ tương.

Máy khuấy IKA DI 25 hoạt động dựa trên việc cắt dòng chảy của dung dịch có tần suất 1333 - 4000Hz, đạt được bằng cách quay ống rôto với các khe tương ứng với ống stato có cùng số lượng khe. Cách này đảm bảo sự pha trộn tại chỗ rất hiệu quả. Chất phân tán với một lượng rất nhỏ 0,5 - 3,0ml được phun vào pha lỏng bằng ống tiêm và được khuấy trộn đều bằng máy khuấy. Quá trình phân tán được tiến hành trong khoảng 30 phút. Các dung dịch tạo thành trong điều kiện trên có khả năng hấp phụ quang ổn định và thành phần phân tán không đổi. Xét trên phương diện thủy động lực học, các huyền phù/nhũ tương có thể được coi là những dung dịch đồng nhất vì các quá trình động học dòng chảy trong chúng chỉ bị ảnh hưởng rất nhỏ bởi các xung lực của chuyển động hỗn loạn. Các huyền phù/nhũ tương của các vi hạt thu được đã được chụp lại bằng máy ảnh kỹ thuật số tốc độ cao Nikon Coolpix 4500.

Điều quan trọng trong thí nghiệm chính là việc sử dụng một tấm lưới được quấn các loại sợi khác nhau, đóng vai trò làm bẫy các vi hạt, trong đó sợi cacbon được ứng dụng nhiều nhất. Quá trình cuốn thực hiện đến độ dày khi mà tấm lưới vẫn còn đưa được vào vừa trong bình phản ứng (hình 1). Tần suất quay của các đĩa dao động từ 100 đến 2000 phút^{-1} . Việc thay các loại sợi khác nhau cũng được thực hiện dễ dàng bằng cách thay thế các lớp cuốn trên lưới sắt sát thành bình phản ứng.



Hình 1. Thiết bị nghiên cứu quá trình kết dính dị thể và các bộ phận của thiết bị
 a) Thiết bị gồm bình phản ứng đã được lắp ráp với máy khuấy và bộ đo tần suất quay của các đĩa vách ngăn.
 b) Các đĩa vách ngăn của máy khuấy.
 c) Tấm lưới được quấn các lớp sợi cacbon.

Lợi thế của máy khuấy đĩa này rất rõ ràng: nó cho phép đạt tới tốc độ khuấy cao mà không tạo sự phân tán mới nào (sự tái phân tán). Số lượng đĩa có thể thay đổi từ 1 đến 10 và đối với mỗi một hệ dung dịch, ta có thể tìm ra số lượng đĩa tối ưu, thường là 6 đĩa phân bố cách đều từ mặt pha lỏng đến đáy của bình phản ứng. Các đĩa khuấy có đường kính nhỏ hơn đường kính của tấm lưới là 4mm. Điều này cho phép đưa ống vào để hút lấy mẫu nghiên cứu.

Các dòng dòng chảy tạo thành khi các vách khuấy làm việc đóng một vai trò khá quan trọng. Lớp pha lỏng, chuyển động qua các lớp sợi cũng là những phần quan trọng của hệ được nghiên cứu. Khi tăng số lượng đĩa sẽ dẫn tới tăng số lượng các dòng dòng chảy. Một mặt nó thúc đẩy quá trình truyền khối, nhưng mặt khác lại dẫn đến tăng sự va chạm giữa các dòng chảy. Vì vậy, kết quả chúng tôi đã thực hiện thí nghiệm với số lượng cánh khuấy ít, dưới 3 cái. Số lượng cánh khuấy và tần suất hoạt động của máy khuấy được xác định tối ưu bằng thực nghiệm.

Trong các thí nghiệm các mẫu được tiến hành đo quang bằng máy đo màu KPK hoặc máy đo quang phổ Spekkord 40M.

Phương pháp xử lý số liệu và cơ chế của quá trình được tham khảo bổ sung từ các tài liệu [10,11,12].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong phạm vi nghiên cứu này, tác giả đặt mục tiêu nghiên cứu các quá trình diễn ra trong các dung dịch huyền phù/nhũ tương nồng độ thấp bằng phương pháp đồng tụ kết dính dị thể các vi hạt rắn trên các vật liệu sợi, gọi là các bẫy (bảng 1).

Bảng 1. Các vi hạt và các bẫy

Các hạt, chịu sự kết dính dị thể	Vật liệu của các bẫy
Cao lanh (0,5 - 2 μm)	Màng nhôm thực phẩm (giấy nhôm)
Oxit Kẽm (0,5 - 1 μm)	Sợi cacbon
Bồ hóng đen (1 - 5 μm)	Sợi polyester
Đất sét đáy biển ($\approx 0,5\mu\text{m}$)	Sợi polypropylen

Vấn đề mang tính xử lý môi trường ở đây không chỉ là việc làm sạch nước khỏi các chất độc hại mà còn làm sạch các hạt gây đục nước, làm giảm lượng ánh sáng đi qua, tạo điều kiện cho việc phát triển một số vi sinh, tảo, dẫn đến phú dưỡng nước.

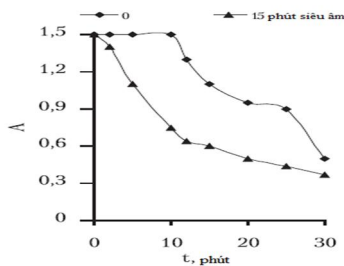
Tuy nhiên, về cơ bản muốn hiểu xem có thể làm sạch nước khỏi các vi hạt, mà những hạt đó không phải tất cả và không phải lúc nào cũng là những hạt có tính kỵ nước. Ví dụ như các hạt bùn sét đáy biển, sau khi chịu tác động sấy khô bởi không khí, chắc chắn không phải là các hạt kỵ nước, nhưng ta cũng sẽ thấy chúng được tách ra khỏi nước bằng phương pháp kết dính dị thể.

Các vi hạt và các bẫy có thể lựa chọn bất kỳ từ 16 phương án kết hợp có thể và đã được thực hiện, cho phép đưa ra các kết luận sau:

✓ Trong tất cả 16 phương án kết hợp đều đạt được hiệu suất làm sạch không dưới 97% các vi hạt, đặc biệt trên sợi cacbon, hơn nữa trong khoảng thời gian nhỏ hơn 30 phút. Thời gian của quá trình này thường khoảng 15 phút.

✓Sau khi đạt đến hiệu suất cao (khoảng > 97%) thì bắt đầu có hiện tượng “đốc xuống”, dấu hiệu của chúng được giải thích là sự phá vỡ lớp kết dính “mọc lên” bởi các dòng chảy xoáy, khi đó pha lỏng vừa được làm sạch lại đục trở lại.

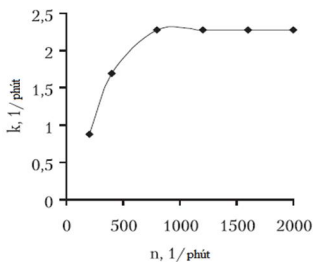
Trước hết cần lưu ý rằng việc xác định điều kiện ban đầu trước khi tiến hành thí nghiệm lắng các vi hạt rắn phức tạp hơn các vi hạt lỏng. Trong thời gian tiến hành các thí nghiệm (15 - 20 phút) không cho phép lượng lắng tự nhiên của các vi hạt vượt quá 1 - 2% (xác định trong mẫu thử bằng phương pháp đo quang). Các đường cong lắng sẽ “mịn màng” hơn nếu như các dung dịch huyền phù/nhũ tương được xử lý trước bằng sóng siêu âm tần suất 24,8kHz và cường độ 11,6W/cm² trong vòng 15 phút. Cách xử lý như này được áp dụng nhằm phá vỡ các “lông” trong cấu trúc nước, đã giữ các hạt pha phân tán lại, làm chậm quá trình lắng và gây ra đoạn trễ - kéo dài trên đường cong lắng (hình 2).



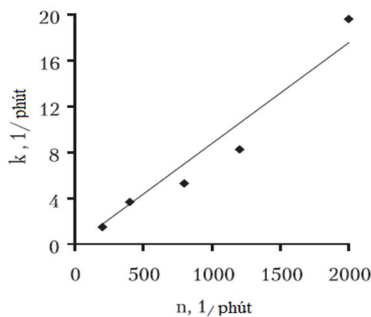
Hình 2. Sự ảnh hưởng của sóng siêu âm lên đường cong lắng hạt cao lanh

Động học quá trình kết dính dị thể

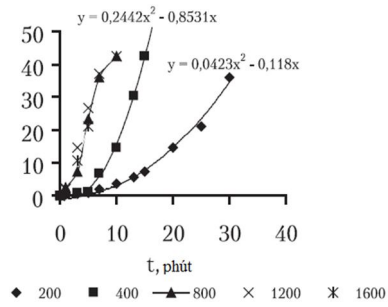
Việc nhận được phương trình phụ thuộc $k = f(n)$ với k - hằng số tốc độ lắng, n - tần số quay của cánh khuấy trong bể phản ứng thực nghiệm đã mở ra hướng để giải thích cơ chế hình thành các cụm vi hạt “mọc lên”, khi đạt đến giá trị giới hạn chúng sẽ tương tác với các xung lực của chuyển động hỗn loạn dẫn tới sự phá vỡ các cụm vi hạt “mọc lên” này.



Hình 3. Sự hình thành khoảng ngang trên đường $k = f(n)$ trong quá trình kết dính dị thể ôxit Kẽm trên sợi cacbon, giải thích cho sự chuyển đổi vùng động học



Hình 4. Sự phụ thuộc hệ số tốc độ quá trình kết dính dị thể vi hạt bồ hóng đen trên sợi polyester vào tần số quay của cánh khuấy



Hình 5. Động học quá trình kết dính dị thể hạt sét trên sợi polyester có chứa nano bạc. Xuất hiện quá trình tự xúc tác - đường cong dạng chữ S và quá trình bão hòa

Xác định chế độ động học của quá trình

Sợi cacbon thể hiện là một bể các vi hạt tuyệt vời. Trong đó, ở một số chỗ giữa vi hạt rắn và sợi cacbon có tương tác kỵ nước, còn ở một số chỗ khác lại kết hợp tương tác Van der Waals và lực tĩnh điện.

Ta thấy rằng quá trình kết dính ôxit Kẽm là quá trình 2 chiều. Giới hạn đạt được khi tần số quay của cánh khuấy bằng 800 phút⁻¹. Hình 3 thể hiện khả năng giữ chắc các vi hạt ôxit Kẽm của sợi cacbon và không có vùng động học khuếch tán hoàn toàn.

Trong trường hợp kết dính dị thể vi hạt bồ hóng đen chúng ta lần đầu tiên nhận được sự phụ thuộc tuyến tính của $k = f(n)$, chúng tỏ chế độ dòng chảy quá độ kéo dài và các hệ số tốc độ tương đối lớn, hơn 11 phút⁻¹ (hình 4). Sự tồn tại lâu dài vững chắc của các cụm vi hạt “mọc lên” có lẽ được gây nên bởi cấu trúc dạng tấm phẳng của các vi hạt bồ hóng và rất nhiều chỗ tiếp xúc kỵ nước, bị nước “rửa trôi” kém. Những vi hạt bồ hóng có các hiện tượng này nhờ có sự kết hợp cả các lực kỵ nước với các tương tác Van der Waals và lực tĩnh điện. Tuy nhiên cũng cần hiểu rằng những sự tương tác khác nhau này thể hiện vai trò của mình ở những chỗ khác nhau trên các vi hạt. Quá trình kết dính dị thể vi hạt bồ hóng đen là quá trình một chiều. Nó được tăng dần lên đến giá trị tần số quay giới hạn là 2000 phút⁻¹. Tốc độ kết dính dị thể lớn đến mức hiệu suất làm sạch giới hạn 99% đạt được chỉ sau 2,5 phút.

Khi xử lý các kết quả đo quang thấy xuất hiện một chi tiết quan trọng, đó là đường cong dạng chữ S của quá trình kết dính dị thể hạt sét đáy biển trên sợi polyester (hình 5). Điều đáng quan tâm là bản chất của hiện tượng này là gì? Giả thuyết tạm đặt ra là quá trình tự xúc tác. Các vi hạt sét với kích cỡ đặc biệt nhỏ có khả năng chui vào sâu bên trong sợi vải polyester chứa nano bạc (được đưa vào để khử trùng trong sợi vải). Trong quá trình chui vào bên trong các lớp sợi vải, các vi hạt biến thành các trung tâm kết dính mới gắn với các nguyên tử Ag. Chính điều đó đã dẫn tới dạng đường cong của quá trình tự xúc tác.

Bảng 2 đưa ra kết quả tổng hợp về các giá trị k_{max} phút⁻¹ thu được trong nghiên cứu này với các vi hạt rắn, vật liệu bẫy và tần suất quay của cánh khuấy khác nhau.

Các vi hạt chất rắn được đưa vào nước dưới dạng dung dịch bột mịn phun vào và khuấy đều ngay trong toàn bộ

thể tích lò phản ứng. Thời gian của quá trình này thường là 15 phút với tốc độ phân tán là 9500min⁻¹. Nồng độ chất rắn trong nước không quá 1 %. Trong cột thứ 3 của bảng 2 thể hiện các vật liệu bẫy khác nhau đã được sử dụng trong từng trường hợp và trong cột tiếp theo là các giá trị tần suất quay tối ưu của cánh khuấy đã đạt được mà vẫn đảm bảo chế độ ổn định của dòng chảy. Trong cột cuối cùng mô tả các đặc tính của quá trình kết dính dị thể và các giá trị giới hạn của các hệ số và hằng số tốc độ của quá trình này.

Các hệ số và hằng số được xác định khi áp dụng các phương trình động học sau:

1/ Hệ số tốc độ từ phương trình: $\Delta = (1/A_t - 1/A_0) = kt$, trong đó A_t, A_0 - giá trị đo quang của nước chứa các vi hạt ở thời điểm ban đầu và sau khoảng thời gian t.

2/ Hằng số tốc độ từ phương trình: $kn = f(n)$

Bảng 2. Kết quả nghiên cứu quá trình kết dính dị thể các vi hạt rắn

STT	Hạt được đưa vào trong nước	Vật liệu bẫy vi hạt	Tần suất quay tối ưu của cánh khuấy	k_{max} , phút ⁻¹
1a	Cao lanh (0,5 - 2µm)	Màng nhôm thực phẩm (giấy nhôm)	400	0,088
1b	Cao lanh (0,5 - 2µm)	Sợi cacbon	800	3,12
1c	Cao lanh (0,5 - 2µm)	Sợi polyester	1200	Đường cong dạng S, $k_{max} = 4,3$ phút ⁻¹
2a	Oxit Kẽm (0,5 - 1µm)	Màng nhôm thực phẩm (giấy nhôm)	800	2,31
2b	Oxit Kẽm (0,5 - 1µm)	Sợi cacbon	800	2,56
2c	Oxit Kẽm (0,5 - 1µm)	Sợi polyester	2000	4,00
3a	Bồ hóng đen (1 - 5µm)	Sợi polypropylen	800	0,92
3b	Bồ hóng đen (1 - 5µm)	Sợi polyester	2000	19,6
4a	Đất sét đáy biển (≈ 0,5µm)	Sợi polyester	1200	Đường cong dạng S, $k_{max} = 3,4$ phút ⁻¹
4b	Đất sét đáy biển (≈ 0,5µm)	Sợi cacbon	400	0,76

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả đã ứng dụng phương pháp nghiên cứu quá trình kết dính dị thể của các vi hạt rắn hình dạng không đồng nhất. Nghiên cứu nhận thấy sự khác biệt là không có sự dao động và phân nắc trên các đường cong biểu diễn quá trình kết dính dị thể của vi hạt rắn khi so sánh với quá trình của các vi hạt lỏng trong nghiên cứu trước đó.

Các lớp khuếch tán bề mặt của các vi hạt rắn có cả 3 vùng chế độ: chảy tầng, chảy rối và chảy quá độ.

Xác định được các bẫy vi hạt tốt nhất từ các vật liệu sợi (trong số các phương án nghiên cứu), cho phép dưới 30 phút làm sạch các vi hạt khỏi nước (bảng 2). Trong quá trình này không đòi hỏi thêm bước lọc, hóa chất hoặc nhiệt lượng bổ sung và trong một số trường hợp, việc tái sinh các bẫy vi hạt xảy ra ngay trong quá trình làm sạch nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Deryagin B.V. *Các lực bề mặt*. M.: Nauka, 1987, Chương IX, trang 274-288.

[2]. Deryagin B.V. *Lý thuyết vững bền của các dung dịch keo và màng mỏng*. M.: Nauka, 1986, 205 trang.

[3]. Dukhin A.S., S.S. Dukhin, P.J. Goetz, 2007. *Gravity as a factor of aggregative stability and coagulation*. Advances in Colloid and Interface Sci. 2007. V.134-135. P. 35-71.

[4]. Laitphut E., 1977. *Các hiện tượng truyền khối trong các hệ sống. Các khía cạnh y sinh của truyền chuyển động và khối lượng*. M.: Mir, 518 trang.

[5]. Voutsikii S.S. *Cơ sở hóa lý của quá trình ngâm tẩm vật liệu sợi bằng các dung dịch polime*. L.: Khimya, 1969, 336 trang.

[6]. Kralchevsky P.A., Danov K.D., Denkov N.D., 2009. *Chemical physics of colloid systems and interfaces*. In Handbook of surface and colloid chemistry. Third edition. Ed. K.S. Birdi., CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. 2009. Chapter 7. P. 197-377.

[7]. Tarasov V.V., 2008. *Làm sạch nước khỏi các vi hạt lỏng dầu thực phẩm trong các thiết bị có lưới sợi*. Chemical Technology. Tập. 9. №1. trang. 45-48.

[8]. Tarasov V.V., 2008. *Làm sạch nước khỏi các vi hạt dầu kỹ thuật*. Chemical Technology. Tập. 9. №2. trang. 84-87.

[9]. Wakabayashi K., S. Sekita, H. Hayashi, H. Sasaki, 2005. *Rapid size classification of ultra fine particles using surface characteristics*. KONA. №23. P. 173-179.

[10]. Tarasov V.V., Shilin S.A., 2007. *Models of heterogeneous hydrodynamic coagulation in the presence of a second solvent*. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, V. 41. № 2. pp.191-196

[11]. Tarasov V.V., 2009. *Effect of joint dispersion and heteroadagulation on concentration of "XA-30" oil droplets in water*. Water: chemistry and ecology, № 1. pp. 14-23.

[12]. Kristina Georgieva, 2013. *Clogging of Microchannels by Nano-particles due to Hetero-coagulation in Elongational Flow*. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 01-2013.

AUTHOR INFORMATION

Vuong Thi Lan Anh

Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry