

Đánh giá công nghệ xử lý VOC và mùi trong ngành công nghiệp sơn phủ

Lê Cao Chiên^{1*}, Nguyễn Hồng Quang¹, Lê Thị Song¹, Trần Thị Phương Thúy¹, Nguyễn Huy Biền¹

¹ TT. Thiết bị, Môi trường & An toàn Lao động - Viện Vật liệu Xây dựng

TỪ KHOÁ

Phát thải VOC
Kiểm soát mùi
Dung môi sơn
Hợp chất hữu cơ dễ bay hơi
Hấp thụ

TÓM TẮT

Trong quá trình sơn, các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) từ dung môi sơn được thải ra khí quyển. Hầu hết lượng khí thải VOC đến từ hoạt động phun sơn thông qua việc sử dụng sơn gốc dung môi. Các VOC bao gồm các hydrocarbon thơm và béo, xeton, este, rượu và glycoethers. Các VOC ưa nước được giữ lại trong nước, và hầu hết các VOC kỵ nước được thu giữ bởi một hệ thống xử lý. Trong bài viết này, các quy trình công nghệ liên quan đến kiểm soát VOC và mùi trong ngành sơn phủ được đánh giá. Các chủ đề sau được xem xét trong bài viết: tổng quan về phát thải VOC trong ngành sơn, bản chất của VOC, các công nghệ kiểm soát VOC và mùi (hấp phụ, ngưng tụ, công nghệ oxy hóa, công nghệ hấp thụ), đánh giá các công nghệ xử lý và đề xuất công nghệ xử lý phù hợp với điều kiện kinh tế kỹ thuật của Việt Nam.

KEYWORDS

VOC emissions
Odor control
Paint solvents
Volatile organic compounds
Adsorption

ABSTRACT

During painting, volatile organic compounds (VOCs) associated with the paint solvents are emitted into the atmosphere. Most VOC emissions come from spraying operations via the use of solvent-based paints. The VOCs consist of aromatic and aliphatic hydrocarbons, ketones, esters, alcohols, and glycol ethers. Some hydrophilic VOCs are captured and retained in the water, and most of the VOCs are captured by a control system. In this paper, the processes involved in painting and in VOC control are reviewed. The topics include: the overview of VOC emissions in the painting industry, the nature of VOCs, VOC-control processes (adsorption, condensation, oxidation technology, absorption technology), and assessment of control technologies and recommendations for control technology suitable to the technical and economic conditions of Vietnam.

1. Giới thiệu

Ô nhiễm không khí, vốn được biết là mối đe dọa đối với các nền kinh tế và chất lượng cuộc sống của người dân, đang gia tăng ở mức báo động. Sức khỏe của người dân có nguy cơ ở nhiều nơi trên thế giới do ô nhiễm không khí. Theo thống kê của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), gần 99 % dân số thế giới hít thở không khí vượt tiêu chuẩn chất lượng không khí của WHO. Bên cạnh đó, khoảng 7 triệu người chết mỗi năm do ô nhiễm không khí trong nhà và xung quanh trên toàn thế giới, trong khi khoảng 2,2 triệu người chết mỗi năm chỉ riêng ở Khu vực Tây Thái Bình Dương. Do vậy việc bắt buộc phải giám sát chất lượng không khí và kiểm soát nó vì một tương lai tốt đẹp hơn và cuộc sống lành mạnh cho tất cả mọi người.

Các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) được tìm thấy trong bầu khí quyển bị ô nhiễm bao gồm nhiều loại hydrocarbon, halogelcarbon và hydrocarbon oxy hóa [1]. Một số loại VOC, chẳng hạn như benzen, 1,3-butadien và formaldehyde, độc hại và gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người [2]. Việc vô tình hoặc tiếp xúc ngắn hạn với nồng độ VOC cao có thể gây kích ứng mắt, mũi, họng và phổi cũng như tổn thương gan, thận và hệ thần kinh trung ương. Tiếp xúc lâu dài với nồng độ thậm chí thấp có thể dẫn đến bệnh hen suyễn, giảm chức năng phổi, bệnh tim mạch và ung thư nghiêm trọng [3]. Cơ quan Nghiên cứu Ung

thư Quốc tế (IARC) và Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (USEPA) đã phân loại benzen là chất gây ung thư đã biết ở người (Nhóm A), etylbenzen và styren có thể gây ung thư cho con người (Nhóm 2B), và tetrachloroetylen và trichloroetylen là chất có thể gây ung thư cho con người (Nhóm 2A) [4]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng hít phải là con đường tiếp xúc chính với VOC [5] và có thể tồn tại những rủi ro đáng kể đối với công nhân của các ngành công nghiệp khác nhau (công nhân trạm xăng, nhà máy sản xuất lốp xe và khu liên hợp công nghiệp nhuộm, v.v.) [6]. Xem xét các tác động độc hại tiềm ẩn của VOC đối với sức khỏe con người trong môi trường làm việc, giám sát các hợp chất này và đánh giá rủi ro sức khỏe của chúng là cách đầu tiên để áp dụng các biện pháp kiểm soát phơi nhiễm nghề nghiệp và các mục đích quản lý ở cấp quốc gia và quốc tế. Dung môi hữu cơ vẫn là một trong những thành phần chính của sơn, công nhân từ ngành công nghiệp sơn và sử dụng sơn thường xuyên tiếp xúc với chúng. Nghiên cứu Golbabi và công sự cho thấy rủi ro gây ung thư đối với benzen, etylbenzen và xylen trong phần sơn của ngành công nghiệp ô tô cao hơn mức khuyến nghị [7]. Mặt khác, thị trường đang hướng tới các ứng dụng sơn công nghiệp trong các ngành như xây dựng, ô tô, tổng hợp, sơn cuộn, gỗ, hàng không vũ trụ, và sơn phủ bao bì, dẫn đến nhu cầu sơn ngày càng tăng lên. Vì vậy, trong bài báo này, các vấn đề về phát thải VOC và kiểm soát chúng đối với ngành công nghiệp sơn được xem xét.

*Liên hệ tác giả: lecaochien@gmail.com

Nhận ngày 10/12/2023, sửa xong ngày 19/02/2023, chấp nhận đăng 01/03/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2023.569>

2. Bản chất của VOC

VOC bao gồm các hydrocarbon như ankan, anken, ankin, các hợp chất thơm và tecpen, cũng như các hóa chất có oxy như rượu, este, andehyt, xeton và axit hữu cơ. VOC khác bao gồm amid, amin, nitriles, halocarbon và các hợp chất organosulphur. Không có định nghĩa nào được thống nhất rộng rãi cho VOC, nhưng thường được chấp nhận rằng chúng là các hợp chất có điểm sôi thấp ở áp suất khí quyển tiêu chuẩn (và do đó áp suất hơi tương đối cao ở nhiệt độ môi trường) và có thể ảnh hưởng đến chất lượng không khí. Các hợp chất có nhiệt độ sôi cao hơn nhưng có thể phân chia giữa pha khí và pha ngưng tụ thường được gọi là các hợp chất hữu cơ bán bay hơi [8].

Để có thể điều chỉnh lượng khí thải của các VOC nói trên phát thải ra từ các hoạt động của con người, chi thị của Châu Âu ngày 11 tháng 3 năm 1999 [9] đưa ra một định nghĩa chính xác hơn về VOC: “bất kỳ hợp chất hữu cơ nào có áp suất hơi 10 Pa trở lên ở nhiệt độ 293,15 K hoặc có độ bay hơi tương ứng ở điều kiện sử dụng cụ thể” đều là các hợp chất VOC. Metan sau đó được miễn trừ do nó không góp phần gây ô nhiễm quang hóa. Đạo luật sau đó đưa ra thuật ngữ là hợp chất hữu cơ dễ bay hơi không chứa metan (NMVOCs). Theo luật Mỹ (US), thuật ngữ VOC qui định VOC là bất kỳ các hợp chất của carbon, không bao gồm carbon monoxide, carbon dioxide, axit cacbonic, cacbua kim loại hoặc cacbonat, và amoni cacbonat, tham gia vào các phản ứng quang hóa trong khí quyển [10]. Tại Việt Nam thì định nghĩa VOC được đưa ra trong QCVN 16: 2014/BXD: “là những chất hữu cơ ở dạng rắn và/hoặc lỏng có thể bay hơi một cách tự nhiên khi tiếp xúc với áp suất khí quyển tại nhiệt độ thường, có khả năng gây nguy hại cho con người và môi trường. Hợp chất hữu cơ dễ bay hơi là những hợp chất như: methylene chloride (dichloromethane); 1,1,1-trichloroethane (methy chloroform); parachlorobenzotrifluoride (PCBTF); methylated siloxanes mạch nhánh, vòng, thẳng, axeton, perchloroethylene tetrachloroethylene); methyl acetate; t-butyl acetate) có điểm sôi không lớn hơn 250°C ở điều kiện áp suất 101,3 kPa.” [11]; TCVN 10736-29:2017 thì phân loại theo tổ chức Y tế thế giới xác định là Hợp chất hữu cơ có điểm sôi trong khoảng từ (50°C - 100°C) đến (240°C - 260°C) [12]. Có thể tóm lại VOC là các hợp chất hóa học hữu cơ dễ bay hơi ở nhiệt độ phòng khoảng từ (50°C - 100°C) đến (240°C - 260°C), có hoạt tính quang hóa trong không khí. Các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi không có hoạt tính quang hóa được loại trừ như Metan; metyl axetat; etan; metylen clorua (diclometan); 1,1,1-trichloroetan (metyl clorofom),....

Trong thực tế, phát thải VOC có thể được nhóm lại theo các loại hóa chất truyền thống bao gồm: các hợp chất hữu cơ không halogen hóa: ankan (ví dụ: metan, etan), anken (ví dụ: etylen, propylen), chất thơm (ví dụ benzen, toluen, chất thơm đa vòng hydrocarbon (PAH)), rượu (ví dụ: metanol, etanol), aldehyde (ví dụ: formaldehyde), xeton (ví dụ: axeton), este; hợp chất hữu cơ halogen hóa: hydrocarbon halogen hóa (ví dụ: metan clo hóa, etan clo hóa), các chất hữu cơ halogen hóa khác (ví dụ: vinyl clorua, polychlorin hóa biphenyl, dioxin, CFC). Tuy nhiên, sự phân loại như vậy có thể gây hiểu lầm vì ảnh hưởng của VOC

cụ thể đến sức khỏe và môi trường không nhất thiết tương quan với các loại này. Tuy nhiên, phân loại này hữu ích để giải quyết các loại chất ô nhiễm được phát thải bởi các loại nguồn rộng như dung môi sử dụng trong công nghiệp. Một phân tích về việc sử dụng dung môi tại Châu Âu được ước tính trong Bảng 1 như sau [13]:

Bảng 1. Ước tính lượng sử dụng dung môi tại Châu Âu trong các lĩnh vực chính.

Đơn vị: nghìn tấn

Nhóm VOC	Sơn	In	Keo	Dược	Khác	Tổng
Nhóm hydrocarbon béo	383	100	35		395	913
Nhóm hydrocarbon vòng	442	30	90		213	775
Nhóm rượu	202	25	50	230	340	847
Nhóm chứa oxy khác	403	80	70	120	205	878
Nhóm hydrocarbon clo hóa		60			450	510
Tổng	1430	295	245	350	1603	3923

Trong các ngành công nghiệp hóa chất có ảnh hưởng quan trọng đến việc phát thải VOC vào môi trường. Ngành công nghiệp sản xuất sơn phủ là một nguồn phát thải VOC vào môi trường lớn, vì quá trình sản xuất chúng từ việc đòi hỏi nguyên liệu thô tổng hợp đến các quy trình sản xuất khác phụ thuộc vào việc đốt nhiên liệu hóa thạch [14]. Hàm lượng VOC trong sơn có nguồn gốc từ dung môi hữu cơ không phân cực thường được gọi là dung môi hoặc vật liệu dễ bay hơi, có áp suất hơi từ 0,01 kPa trở lên ở 20°C. Khi các lớp phủ trải qua giai đoạn đóng rắn hoặc làm khô, VOCs được tạo ra bởi quá trình bay hơi dung môi. Dung môi thường được coi là sản phẩm độc hại với môi trường và ảnh hưởng đến con người, động vật và thực vật theo những cách khác nhau. Mức độ gây hại của chúng phụ thuộc vào thành phần hóa học và nồng độ của chúng. Thành phần này được đặc trưng bởi sự có mặt trong cấu trúc phân tử của ít nhất một nguyên tử carbon và một hoặc nhiều nguyên tử hydro, oxy, lưu huỳnh, photpho, silic, nitơ, hoặc halogen.

Quy mô thị trường sơn và chất phủ toàn cầu được định giá là \$146,2 tỷ vào năm 2019 và dự kiến sẽ đạt 209,09 tỷ đô la vào năm 2027, với mức tốc độ tăng trưởng kép hàng năm là 4,5% từ năm 2020 đến năm 2027. Ngoài ra, thị trường đã chuyển qua các lĩnh vực ứng dụng sơn trong cách công nghiệp khác nhau, chẳng hạn như ngành xây dựng, thị trường ô tô, công nghiệp nói chung, gỗ, hàng không vũ trụ, và lớp phủ bao bì, cũng thúc đẩy tăng trưởng nhu cầu sử dụng sơn [15]. Trong những năm gần đây, thị trường đã thay đổi theo nhu cầu của từng ngành công nghiệp, điều này đã dẫn dắt ngành công nghiệp sơn phủ đưa ra nhiều quy trình và công nghệ sản xuất. Các

ngành công nghiệp sơn phủ đã nghiên cứu các vật liệu thân thiện với môi trường, và không chỉ tránh việc sử dụng các kim loại như chì và crom trong bột màu, mà còn bằng cách giảm phát thải VOC dễ bay hơi nhất, từ quá trình tổng hợp nguyên liệu thô cho mục đích sử dụng cuối cùng của chúng với lớp phủ có VOC thấp hoặc bằng không.

3. Các công nghệ kiểm soát VOC và mùi trong ngành công nghiệp sơn

Các chất VOC có thể được loại bỏ khỏi không khí bằng một hệ thống kiểm soát bổ sung bao gồm thiết bị thu và thiết bị loại bỏ. Thiết bị chụp hút thu nhận không khí chứa nhiều VOC từ khu vực phát thải và dẫn dòng khí thải đến thiết bị thu hồi (ví dụ: hệ thống thiết bị hấp phụ) hoặc thiết bị đốt (ví dụ: lò đốt) để loại bỏ VOC ra khỏi không khí. Hiệu quả tổng thể của hệ thống kiểm soát được tính bằng cách nhân hiệu quả của hệ thống thu với hiệu quả của thiết bị loại bỏ. Do đó, sự kết hợp của một thiết bị thu giữ 80 phần trăm lượng khí thải VOC tại nguồn phát thải được dẫn đến thiết bị loại bỏ để loại bỏ 90 phần trăm VOC trong dòng phát thải sẽ mang lại hiệu suất tổng thể 72 phần trăm [16].

Thiết kế hệ thống thu gom cho một cơ sở sản xuất có thể là một nhiệm vụ phức tạp hơn so với thiết kế hệ thống loại bỏ. Một hệ thống thu gom phải được thiết kế xung quanh các khu vực chức năng và cách bố trí thiết bị có thể thay đổi đáng kể giữa các nhà máy.

3.1. Thiết bị thu gom khí

Một số thiết bị chụp hút như thùng loa, chụp hút và các thiết bị khác có thể được sử dụng trong ngành sơn và mực in để loại bỏ hơi và chất lỏng ra khỏi khu vực sản xuất và vận chuyển chúng đến một thiết bị loại bỏ thích hợp.



Hình 1. Hệ thống thu gom khí công nghiệp.

Khi thiết kế hệ thống thu gom khí ngoài việc quan tâm tới thông số lưu lượng dòng khí và chi phí thì cũng cần phải xem xét nguy cơ cháy và nổ, và yêu cầu về tầm nhìn. Để ngăn ngừa nguy cơ cháy hoặc nổ, nồng độ VOC tối đa trong các hệ thống thu gom và loại bỏ phải được giữ thấp hơn 25 phần trăm giới hạn nổ của VOC. Phải

duy trì tầm nhìn để người vận hành có thể quan sát rõ ràng thiết bị sản xuất khi cần thiết.

Sử dụng các thiết bị kín, là một cấu trúc được xây dựng xung quanh nguồn phát thải sao cho tất cả lượng khí thải VOC được thu gom và thải hết qua một thiết bị đốt hoặc ống dẫn đến thiết bị kiểm soát. Với hệ thiết bị kín này sẽ không có khí thải rò rỉ ra ngoài, chỉ có khí thải lò đốt. Một cơ sở sản xuất sơn hoặc mực in có thể rất thích hợp để sử dụng phương pháp tiếp cận thu gom toàn bộ này để thu giữ VOC. Nắp thùng trộn có thể được cấu tạo bằng một mặt bích bên ngoài có thể được kết nối với mặt bích thứ hai ở cuối hệ thống xử lý bởi ống mềm. Hệ thống ống dẫn, được kết nối với thiết bị đốt hoặc thu hồi, được lắp đặt tại trạm trộn và được gắn vào nắp thùng trộn trong quá trình hoạt động trộn. Mặc dù không thể thực hiện được việc phát thải ống dẫn từ bể chứa di động trong khi nó đang được lưu trữ nhưng việc thải khí thải từ bể chứa này là khả thi khi nó được giữ cố định trong quá trình hoạt động sản xuất. Kỹ thuật này có thể được áp dụng cho các nắp đậy phù hợp với các thùng trộn và thùng phuy ở mọi kích cỡ. Việc sử dụng hệ thống này cho phép bề có mái che trở thành một thiết bị kín hiệu quả. Loại bỏ khí thải một cách hoàn toàn trong hệ thống kiểm soát [16].



Hình 2. Hệ thống buồng kín kiểu phòng để phun sơn.

Loại thiết bị thứ hai là sử dụng hệ thống kín kiểu phòng hoặc vây kín hoàn toàn một quy trình nhỏ (Hình 2). Trong ngành sản xuất sơn và mực in, có thể bao bọc các khu vực xác định trong cơ sở sản xuất và hút khí thải khu vực đó vào thiết bị đốt hoặc thu hồi. Hiệu suất thu hồi đối với các thùng loa có thể đạt gần 100%. Các thùng loa tổng có thể được sử dụng trong các khu vực có thiết bị tự động và các hoạt động con người được giảm thiểu. Mặc dù các hệ thống kín một phần, chẳng hạn như máy hút mùi được lắp đặt trên thiết bị xử lý, có thể được sử dụng ở nhiều khu vực hơn so với hệ thống kín hoàn toàn nhưng hiệu quả của chúng không lớn bằng.

3.2. Công nghệ và thiết bị xử lý VOC

Thiết bị xử lý VOC là những thiết bị loại bỏ bằng vật lý hoặc hóa

học một hợp chất VOC khỏi dòng phát thải và chuyển đổi hợp chất đó thành một dạng khác (thông thường là chất lỏng) để sử dụng sau này. Hiệu quả loại bỏ của các kỹ thuật thu hồi thường phụ thuộc vào các đặc tính hóa học và vật lý của hợp chất cần loại bỏ. Công nghệ xử lý được sử dụng trong công nghiệp bao gồm một số loại chính sau:

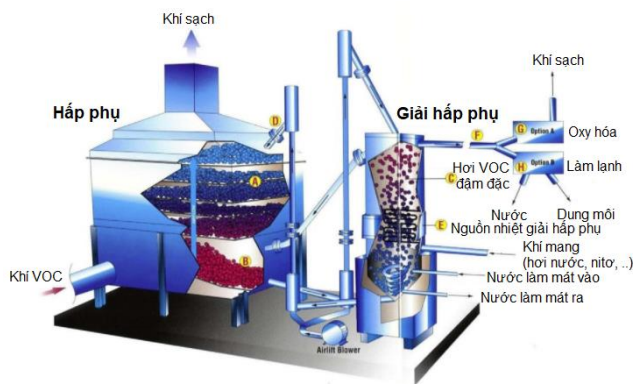
3.2.1. Công nghệ hấp phụ cacbon

Trong quá trình hấp phụ cacbon, các dòng phát thải VOC được di chuyển qua lớp than hoạt tính, trong đó các phân tử VOC bị bắt giữ trên bề mặt lỗ xốp cacbon bởi lực Van der Waals. Khả năng hấp phụ của lớp cacbon có xu hướng tăng theo nồng độ VOC trong pha khí, khối lượng phân tử, độ khuếch tán, độ phân cực và điểm sôi của VOC. Sau khi đạt đến khả năng bão hòa của cacbon, VOC có thể được khử hấp thụ khỏi cacbon và thu gom để tái sử dụng [16].

Việc giải hấp dung môi từ lớp cacbon đã sử dụng thường đạt được bằng cách cho hơi nước áp suất thấp đi qua lớp này. Trong chu trình tái sinh, nhiệt từ hơi nước kéo VOC để khử cacbon. Sau khi lớp cacbon đã được loại bỏ hoàn toàn, nó sẽ được làm mát và thay thế để xử lý dòng khí thải. Trong khi đó, hơi nước chứa nhiều VOC được ngưng tụ, và VOC được tách ra bằng cách gạn hoặc chưng cất; nếu VOC không được phục hồi để tái sử dụng hoặc chế biến lại, nó có thể bị tiêu hủy.

Hai hệ thống hấp phụ cacbon hiện đang được sử dụng là hệ thống tầng cố định và hệ thống tầng sôi. Trong hệ thống hấp phụ tầng cố định, các tầng cacbon không di chuyển được luân phiên đặt trên dây chuyền và tái sinh. Khi một dòng phát thải liên tục đang được xử lý, ít nhất một tầng đang thực hiện xử lý và một tầng đang thực hiện tái sinh tại bất kỳ thời điểm nào. Dòng khí thổi qua lớp vật liệu hấp phụ làm lớp vật liệu hấp phụ chuyển động và sau đó rơi xuống làm quá trình hấp phụ xảy ra đồng đều.

- Hệ thống tầng cố định (Hình 3).



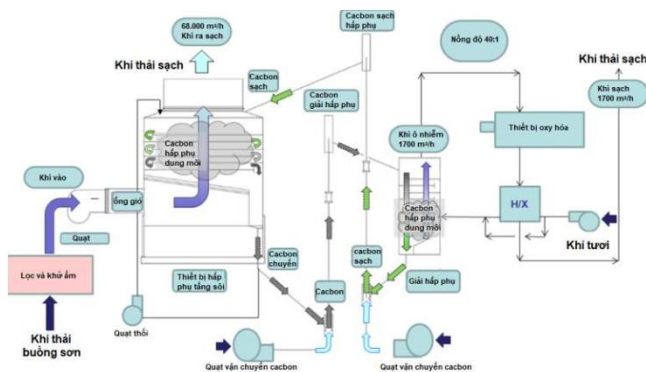
Hình 3. Sơ đồ hệ thống hấp phụ cacbon tầng cố định.

Trong hệ thống tầng cố định hoạt động liên tục, dòng phát thải VOC được truyền qua hai hoặc nhiều tầng chứa cacbon cố định. Trong hệ thống hai tầng, một tầng nằm trên dòng phát thải trong khi tầng còn lại đang được tái sinh hoặc ở chế độ chờ. Khi tầng thứ nhất đạt đến khả năng bão hòa, dòng phát thải được chuyển hướng đến tầng thứ hai, và

tầng thứ nhất được tái sinh. Mặc dù hệ thống hai tầng là phổ biến, nhưng ba hoặc nhiều tầng có thể được sử dụng với nhiều cấu hình khác nhau, với nhiều hơn một tầng làm việc tại một thời điểm.

- Hệ thống tầng sôi (Hình 4 và Hình 5)

Hệ thống hấp phụ tầng sôi chứa một hoặc nhiều tầng than cacbon hoạt tính dạng hạt, rời. Dòng phát thải VOC hướng lên trên qua lớp đệm nơi các VOC được hấp phụ vào cacbon. Lưu lượng của dòng phát thải khuấy động các hạt cacbon, làm cho chúng "sôi" và chảy bên trong chất hấp phụ. Không khí được làm sạch, VOC thoát ra khỏi chất hấp phụ được đi qua bộ hút bụi, và sau đó được giải phóng vào không khí. Cacbon tươi liên tục được đưa vào lớp hấp phụ trong khi cacbon chứa nhiều VOC được loại bỏ để tái sinh.



Hình 4. Sơ đồ hệ thống hấp phụ cacbon tầng sôi [17].

Ưu điểm của hệ thống hấp phụ tầng sôi:

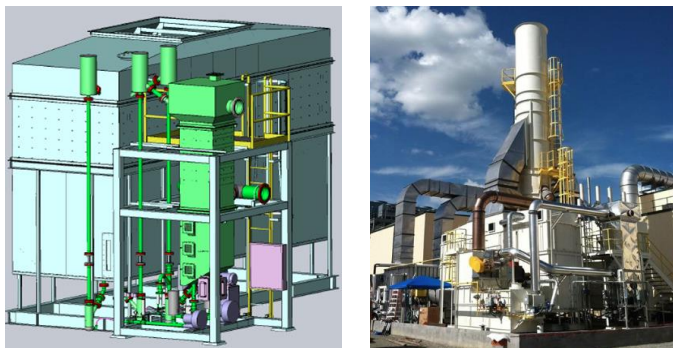
- Vì chuyển động mạnh và trộn lẫn nên không có sự phân lớp chất hấp phụ giữa các hạt đã làm việc và hạt chưa làm việc, nghĩa là không có khu vực chết.
- Nhiệt độ phân bố đều trong lớp chất hấp phụ do đó tránh được hiện tượng quá nhiệt;
- Trở lực nhỏ, năng suất lớn;
- Dễ vận chuyển trong dây chuyền sản xuất.

Nhược điểm:

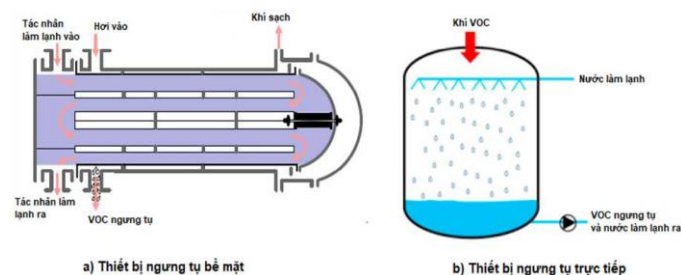
- Vì có sự trộn lẫn các hạt chưa làm việc và các hạt đã hấp phụ nên động lực của quá trình giảm;
- Hạt chóng mòn, đòi hỏi hạt có độ bền cơ học cao;
- Khi các hạt hấp phụ chuyển động mạnh sẽ làm cho thành thiết bị cũng bị bào mòn.

3.2.2. Công nghệ ngưng tụ

Hệ thống ngưng loại bỏ VOC khỏi dòng phát thải bằng cách làm cho VOC ngưng tụ và tách khỏi khí. Các khí VOC có thể được ngưng tụ bằng cách giảm hoặc tăng áp suất ở một nhiệt độ nhất định. Thiết bị ngưng tụ bề mặt và thiết bị ngưng tụ tiếp xúc là hai hệ thống ngưng tụ VOC bằng cách làm mát dòng phát thải ở áp suất khí quyển (Hình 6). Hiệu quả loại bỏ của hệ thống ngưng tụ phụ thuộc vào các đặc tính, nồng độ và thiết kế dòng không khí [16].



Hình 5. Thiết bị hấp phụ carbon tầng sôi để xử lý VOC tại nhà máy Honda (Mỹ) [17].



Hình 6. Thiết bị ngưng tụ xử lý VOC:
a) ngưng tụ bề mặt; b) ngưng tụ trực tiếp

Trong thiết bị ngưng tụ bề mặt, dòng phát thải được đi qua bởi một ống hoặc ống góp chứa chất lỏng được làm lạnh. Khi dòng phát thải tiếp xúc với bề mặt được làm lạnh, các VOC sẽ ngưng tụ, và sau đó thoát ra nơi lưu trữ hoặc thải bỏ. Không có sự tiếp xúc nào xảy ra giữa chất làm mát và dòng phát xạ Hình 6-a.

Thiết bị ngưng tụ tiếp xúc thường ngưng tụ VOC bằng cách phun chất lỏng (chẳng hạn như nước) ở nhiệt độ môi trường xung quanh hoặc chất lỏng hơi lạnh trực tiếp vào dòng khí trong buồng phun đơn giản hoặc thiết bị tương tự. Ngược lại với thiết bị ngưng tụ bề mặt, thiết bị ngưng tụ tiếp xúc kết hợp chặt chẽ giữa tác nhân làm mát với chất làm lạnh cần thiết. Hỗn hợp VOC và chất làm mát được thu gom để xử lý lại hoặc thải bỏ Hình 6-b.



Hình 7. Hệ thống thu hồi VOC ngưng tụ trong nhà máy dược phẩm.

3.2.2. Công nghệ đốt

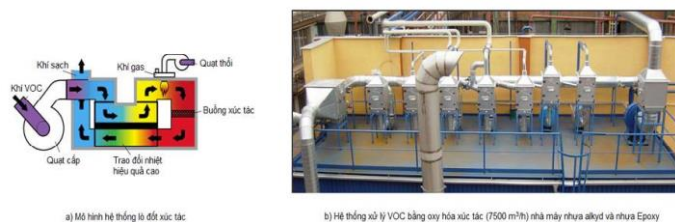
Công nghệ đốt xử lý VOC phổ biến nhất là thiêu đốt. Lò đốt loại bỏ VOC khỏi dòng phát thải bằng cách đốt cháy, chuyển VOCs thành carbon dioxide, hơi nước và một lượng nhỏ các hợp chất khác. Dòng phát thải chứa nhiều VOC đi vào lò đốt, nơi các VOC được đốt cháy, tối thiểu là với sự hỗ trợ của chất xúc tác. Hiệu suất lò đốt là một hàm của nhiệt trị đốt nóng khí thải thứ cấp, hàm lượng tro, hàm lượng nước chứa trong khí thải và lượng không khí đốt dư. Các biến số thiết kế khác bao gồm mức độ trộn, thời gian lưu trú và loại đốt phụ được sử dụng [16].

Khác với các qui trình xử lý VOC khác như hấp phụ, hấp thụ hoặc ngưng tụ, công nghệ đốt không thu hồi VOC để tái sử dụng. Tuy nhiên, nhiệt được tạo ra trong quá trình phản ứng đốt cháy có thể được thu hồi để sử dụng ở những nơi khác trong nhà máy. Hai phương pháp đốt phổ biến nhất là đốt nhiệt và đốt xúc tác, trong đó các dòng khí thải được dẫn đến một thiết bị đốt để kiểm soát khí thải hữu cơ. Lò đốt nhiệt và lò đốt xúc tác được minh họa trong Hình 8 và Hình 9.



Hình 8. Công nghệ lò đốt nhiệt xử lý VOC.

- Lò đốt nhiệt: Dẫn dòng khí thải qua một buồng đốt nơi các khí VOC được đốt cháy ở nhiệt độ dao động từ 700 đến 1300°C. Ban đầu, quá trình đốt cháy được bắt đầu với sự hỗ trợ của ngọn lửa khí đốt tự nhiên hoặc nguồn nhiệt tương tự. Nếu VOC trong dòng khí thải có nhiệt trị và nồng độ đủ lớn, nhiệt độ bắt cháy có thể được duy trì bằng công suất kết hợp và nhiệt phụ có thể được tắt. Nếu nhiệt độ của hệ thống đánh lửa không thể được duy trì chỉ bằng quá trình đốt cháy, thì cần phải bật nhiệt phụ. Nhiệt phụ trợ có thể được cung cấp bởi các nhiên liệu như khí đốt tự nhiên, và nhiệt thu hồi thải ra trong quá trình vận hành. Các khí thải từ lò đốt nhiệt thường được thoát ra khí quyển.



Hình 9. Công nghệ lò đốt xúc tác xử lý VOC.

- Lò đốt xúc tác tương tự như lò đốt nhiệt ở chỗ chúng loại bỏ VOC khỏi dòng thải thông qua quá trình đốt cháy. Tuy nhiên nhiệt độ hoạt động thấp hơn nhiệt độ bắt lửa bình thường. Bằng cách cho phép phản ứng khởi động xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn yêu cầu đối với lò đốt nhiệt, cần ít năng lượng làm nóng sơ bộ dòng phát thải từ nhiệt phụ hơn và tiết kiệm nhiên liệu đáng kể.

3.2.3. Công nghệ hấp thụ

Trong quá trình hấp thụ, VOC được loại bỏ khỏi dòng phát thải bằng cách hấp thụ trong dung môi lỏng như hợp chất dầu cao phân tử. Tháp phun, máy rửa khí, hoặc các phương pháp khác được sử dụng để đưa chất hấp thụ tiếp xúc với dòng phát thải. Sau khi VOC hòa tan vào dung môi, khí đã làm sạch được thoát ra khỏi thiết bị hấp thụ. Khí VOC đã được giữ lại trong chất hấp thụ, chúng cất phân đoạn hoặc một số phương pháp khác có thể được sử dụng để thu hồi VOC từ chất hấp thụ. Sự hấp thụ hiệu quả nhất khi VOC hòa tan trong chất hấp thụ và khi nhiệt độ sôi của chất hấp thụ cao hơn đáng kể so với khí VOC hấp thụ. Các chất hấp thụ đã được chứng minh là có khả năng giữ lại từ 86 đến hơn 99 phần trăm VOC dòng chất thải tùy theo loại khí VOC.



Hình 10. Công nghệ hấp thụ xử lý VOC

4. Đánh giá các công nghệ xử lý VOC

Trong số các phương pháp thu hồi và xử lý VOC, phương pháp hấp thụ có công nghệ ổn định và mức chi phí đầu tư thấp, đồng thời có thể xử lý tốc độ dòng khí thải cao và nồng độ VOC trung bình và cao của khí thải ở nhiệt độ phòng. Phương pháp hấp thụ có hiệu quả lọc tốt, nhưng có nhược điểm là ô nhiễm thứ cấp, ngộ độc chất hấp thụ và các vấn đề khác có thể xảy ra. Công nghệ hấp thụ có thể xử lý nồng độ thấp và lưu lượng khí thải lớn. Phương pháp ngưng tụ vận hành đơn giản, nhưng tiêu thụ một lượng lớn năng lượng và chi phí vận hành cao. Phương pháp này thường được sử dụng cho các khí thải hữu cơ có nồng độ cao, giá trị sử dụng cao.

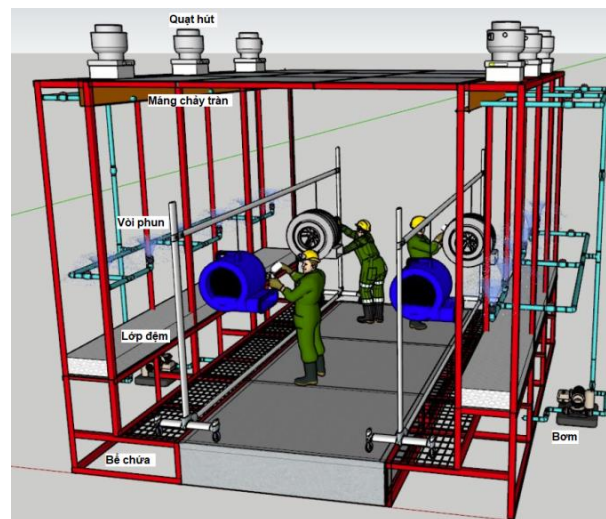
Phương pháp đốt là một phương pháp rất hiệu quả để xử lý khí thải. Trong số các công nghệ đốt này, đốt trực tiếp đắt hơn. Mối quan tâm chính là vấn đề an toàn và lãng phí năng lượng nhiệt. Trong thực tế, đốt cháy trực tiếp khí thải hữu cơ hiếm khi được sử dụng. Đốt cháy xúc tác và đốt cháy xúc tác tái sinh đều có nhiệt độ đốt cháy thấp hơn.

Ngược lại, quá trình đốt cháy xúc tác tái sinh tiết kiệm năng lượng hơn. Hạn chế chung của chúng là có khả năng ngộ độc chất xúc tác. Hứa hẹn nhất trong số các phương pháp đốt cháy lưu trữ nhiệt là phương pháp đốt cháy lưu trữ nhiệt quay. Do sự nhỏ gọn của thiết bị. Thiết bị có độ kín khí tốt và cho phép khí thải đầu vào liên tục. Sự tồn tại của lớp cách nhiệt bên ngoài của thiết bị giúp giảm đáng kể sự thất thoát nhiệt. Tỷ lệ thu hồi nhiệt cao cho phép tự cung cấp nhiệt, tiết kiệm nhiên liệu và cải thiện tỷ lệ sử dụng năng lượng cao. Hiệu quả xử lý khí của phương pháp này lên đến >99%. Hầu hết các thiết bị đốt tái sinh quay có cấu trúc van đảo chiều quay phức tạp và ma sát của phốt phốt lớn; vì vậy, hiệu suất của thiết bị có thể được cải thiện bằng cách đơn giản hóa cấu trúc van đảo chiều quay và giảm ma sát gioăng phốt. Có hai vấn đề chính: Một trong những vấn đề là tắc tích cồng kênh do sự tách biệt của buồng tái sinh và buồng đốt. Vấn đề thứ hai là quá trình đốt cháy khó duy trì bằng cách tự sưởi ấm.

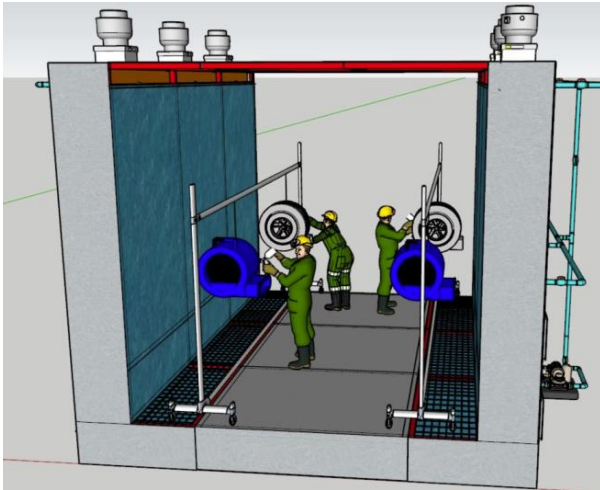
Tóm lại, do nguồn gốc và tính chất hóa học của VOC rất đa dạng, việc lựa chọn công nghệ xử lý VOC cần xem xét toàn diện nhiều yếu tố, chẳng hạn như bản chất của khí thải, nồng độ phát thải, tốc độ dòng khí và các điều kiện áp dụng của công nghệ. Việc lựa chọn công nghệ hợp lý góp phần mang lại lợi ích kép là xử lý hiệu quả khí thải và tối đa hóa lợi ích xã hội.

5. Thiết kế buồng phun sơn công nghiệp kết hợp hệ thống xử lý VOC và mùi

Để phù hợp với thực tế ứng dụng tại Việt Nam. Hệ thống xử lý VOC gây mùi công nghiệp được đề xuất thiết kế trong Hình 6.18 là một hệ thống buồng sơn. Quạt hút có công suất 20,000-25,000 m³/giờ tạo ra áp suất âm trong buồng sơn hút không khí chứa VOC gây mùi cần xử lý vào trong hệ thống hấp thụ VOC. Kích thước hệ thống xử lý khí thải: tiết diện ngang: 6,0 x 0,6 x 2 m = 7,2 m². Chiều cao hệ thống xử lý: 4,5 m.



Hình 11. Bản vẽ 3D khung buồng phun sơn kết hợp hấp thụ VOC và xử lý mùi.



Hình 12. Bản vẽ 3D mặt ngoài buồng phun sơn kết hợp hấp thụ VOC và xử lý mùi.

Buồng sơn và hệ thống xử lý khí thải được lắp hợp khối với nhau. Hệ thống xử lý khí thải bao gồm vùng xử lý khí là không gian tiếp xúc giữa khí thải và dung dịch hấp thụ. Khoang chứa chế phẩm hấp thụ sau khi đã tiếp xúc với dòng khí thải có nhiệm vụ thu lại các thành phần dung môi gây ô nhiễm và các hạt bụi sơn vào dung dịch. Tại khoang chứa dung dịch được lắp đặt bơm tuần hoàn dung dịch và hệ thống các cửa vệ sinh văng sơn và van xả vệ sinh bùn cặn. Tại khoang xử lý khí được lắp đặt hệ thống lọc đệm tách hạt mùn dung dịch đồng thời tăng bề mặt tiếp xúc của dòng khí thải với dung dịch hấp thụ.

Khoang chứa chế phẩm hấp thụ VOC có khả năng chứa 2000-3000 L dung dịch chế phẩm hấp thụ VOC, được bơm liên tục lên máng chảy tràn tạo thành một màng dung dịch hấp thụ phía trước các sản phẩm cần sơn. Chi tiết cần sơn được đưa vào buồng sơn bằng hệ thống băng chuyền. Trong không gian buồng sơn bố trí 02 công nhân thao tác sơn liên tục cho 02 dãy sản phẩm được cấp vào liên tục hoặc theo mẻ, dòng khí phát sinh từ thiết bị phun sơn được hướng vào tấp và đập vào màng lỏng (dung dịch chế phẩm hấp thụ) có tác dụng thu hồi các giọt sơn không dính vào chi tiết và dung môi có trong sơn. Các hạt bụi sơn và dung môi không va đập và tẩm màng dung dịch được dòng khí hút xuống sàn buồng sơn và đưa sang hệ thống xử lý khí. Lực tạo ra để chuyển các hạt sơn và khí từ buồng sơn sang hệ thống xử lý do hệ thống các quạt hút (06 quạt hướng trục) được lắp tại đầu ra của hệ thống xử lý. Dòng khí chứa các hạt bụi sơn, dung môi gây mùi tại thiết bị xử lý được tiếp xúc với dung dịch hấp thụ chủ yếu tại lớp đệm rửa khí có tác dụng tách các hạt mùn dung dịch cũng như tăng bề mặt tiếp xúc của khí và lỏng. Dòng khí sau khi đi qua lớp đệm đã được tách loại các thành phần ô nhiễm là bụi sơn và dung môi gây mùi được quạt hút phóng không qua hệ thống ống xả. Dung dịch hấp thụ được chảy về khoang chứa, tại đây dung dịch được định kỳ vớt bỏ văng sơn và bổ sung hóa chất để ổn định nồng độ cũng như hoạt tính sau đó được bơm tuần hoàn cấp cho tẩm màng lỏng và phun vào khoang xử lý khí.

6. Kết luận

Đối với những nhà máy sản xuất và sử dụng sơn, để kiểm soát và loại bỏ VOC ra khỏi không khí thì cần bổ sung hệ thống thu gom và hệ thống xử lý VOC. Trong các cơ sở phun sơn công nghiệp thì hệ thống thu gom khí VOC bằng buồng kín kiểu phòng là phù hợp hơn cả. Các phương pháp thu hồi và xử lý VOC, phương pháp hấp thụ có công nghệ ổn định, mức chi phí đầu tư và vận hành đơn giản với chi phí thấp nhất, đồng thời có thể xử lý tốc độ dòng khí thải cao và nồng độ VOC trong khí thải từ trung bình đến cao ở nhiệt độ phòng. Do đó công nghệ hấp thụ VOC là công nghệ xử lý VOC phù hợp với điều kiện kinh tế, kỹ thuật của Việt Nam.

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Bộ Công thương và Công ty CP Cơ điện TOMECO đã cấp kinh phí và hỗ trợ cho nhóm nghiên cứu thực hiện Nhiệm vụ khoa học và công nghệ mã số hợp đồng: 0.19.2021.ĐT.BO/HĐKHCN.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Atkinson, R., *Atmospheric chemistry of VOCs and NOx*. Atmospheric Environment, 2000. 34(12): p. 2063-2101.
- [2]. WHO, *Air quality guidelines for Europe*. 2000: Copenhagen: World Health Organization.
- [3]. Soni, V., et al., *Effects of VOCs on Human Health*. 2018. p. 119-142.
- [4]. Cancer, I.A.f.R.o., *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Polychlorinated dibenzo-para-dioxins and polychlorinated dibenzofurans, 1997.
- [5]. Fang, L., et al., *Toxic volatile organic compounds in 20 homes in Shanghai: Concentrations, inhalation health risks, and the impacts of household air cleaning*. Building and Environment, 2019. 157: p. 309-318.
- [6]. Zheng, J., et al., *Industrial sector-based volatile organic compound (VOC) source profiles measured in manufacturing facilities in the Pearl River Delta, China*. Science of The Total Environment, 2013. 456-457: p. 127-136.
- [7]. Golbabaie, F., et al., *Health risk assessment of chemical pollutants in a petrochemical complex*. Iran occupational health, 2012. 9(3).
- [8]. Thurston, G.D., *Outdoor Air Pollution: Sources, Atmospheric Transport, and Human Health Effects*, in *International Encyclopedia of Public Health (Second Edition)*, S.R. Quah, Editor. 2017, Academic Press: Oxford. p. 367-377.
- [9]. Union, E., *Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. 2010.
- [10]. ASTM D3960-05(2018) *Standard Practice for Determining Volatile Organic Compound (VOC) Content of Paints and Related Coatings*. 2018.
- [11]. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 16:2014/BXD về Sản phẩm, hàng hóa vật liệu xây dựng. 2014.
- [12]. TCVN 10736-29:2017 (ISO 16000-29:2014) về Không khí trong nhà - Phần 29: Phương pháp thử các thiết bị để hợp chất hữu cơ bay hơi (VOC). 2017.
- [13]. Vigneron, S., et al., *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries: Proceedings of the Second International Symposium on Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries, Louvain-la-Neuve, Belgium, 3-5 November 1993*. 1994: Elsevier.
- [14]. Jiménez-López, A. and G. Hincapié, *Identification of factors affecting the reduction of VOC emissions in the paint industry: Systematic literature review - SLR*. Progress in Organic Coatings, 2022. 170: p. 106945.

- [15]. Garside, M., *Market volume of paints and coatings worldwide from 2015 to 2019 (in billion gallons)*, Statista
<https://www.statista.com/statistics/1042799/paints-and-coatings-market-volume-worldwide>, 2020.
- [16]. Agency, U.S.E.P., *Control of Voc Emissions from Ink and Paint Manufacturing Processes*. 2018: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- [17]. https://en.wikipedia.org/wiki/Fluidized_bed_concentrator.