



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0034345

(51)⁷ B01D 53/04; B01D 53/26; C10L 3/10; (13) B
B01D 53/047

(21) 1-2018-01240

(22) 10/08/2016

(86) PCT/US2016/046369 10/08/2016

(87) WO 2017/039990 09/03/2017

(30) 62/213,270 02/09/2015 US

(45) 26/12/2022 417

(43) 25/06/2018 363A

(73) EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH COMPANY (US)

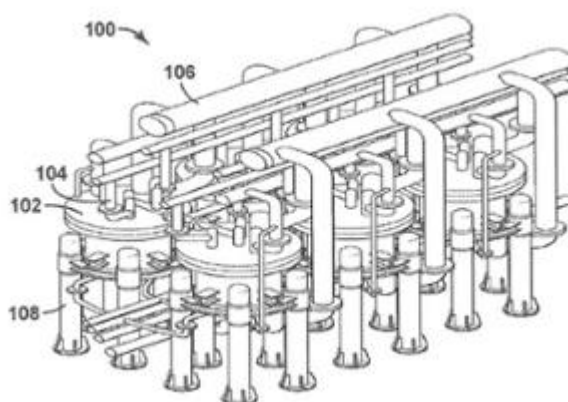
CORP-URC-E2.4A.296, 22777 Springwoods Village Parkway, Spring, TX 77389,
United States of America

(72) MARSHALL, Bennett, D. (US); KELLEY, Bruce, T. (US); NAGAVARAPU,
Ananda, K. (IN); DECKMAN, Harry, W. (US); JOHNSON, Robert, A. (US);
RAMKUMAR, Shwetha (IN); OELFKE, Russell, H. (US).

(74) Công ty TNHH dịch vụ sở hữu trí tuệ DREWMARKS (DREWMARKS CO.,LTD.)

(54) QUY TRÌNH VÀ HỆ THỐNG LOẠI BỎ TẠP CHẤT KHỎI DÒNG CẤP DẠNG
KHÍ

(57) Sáng chế đề cập đến quy trình và hệ thống để loại bỏ tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí. Thiết bị và hệ thống được đề xuất để thực hiện quy trình hấp phụ dao động. Quy trình hấp phụ dao động bao gồm việc đưa các dòng qua các bộ phận tầng hấp phụ để xử lý khí tự nhiên chất lượng đường ống để tạo ra dòng phù hợp với thông số kỹ thuật của khí tự nhiên hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG). Quy trình có thể bao gồm tổ hợp của quy trình hấp phụ dao động nhiệt độ (temperature swing adsorption - TSA) và quy trình hấp phụ dao động áp suất (pressure swing adsorption - PSA), mà được sử dụng để loại bỏ tạp chất khỏi dòng cấp.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến hệ thống được kết hợp với tổ hợp của quy trình hấp phụ dao động nhiệt độ (temperature swing adsorption - TSA) và quy trình hấp phụ dao động áp suất (pressure swing adsorption - PSA). Cụ thể, hệ thống bao gồm quy trình TSA và PSA được kết hợp để xử lý khí tự nhiên chất lượng ống dẫn đến các thông số kỹ thuật của khí tự nhiên hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Việc phân tách khí là có ích trong nhiều ngành công nghiệp và thường được hoàn thành bằng cách cho chảy hỗn hợp khí qua nguyên liệu hấp phụ mà ưu tiên hấp phụ một hoặc nhiều thành phần khí trong khi không hấp phụ một hoặc nhiều thành phần khí khác. Các thành phần không được hấp phụ được thu hồi như sản phẩm riêng biệt.

Một loại công nghệ phân tách khí cụ thể là hấp phụ dao động, như hấp phụ dao động nhiệt (temperature swing adsorption - TSA), hấp phụ dao động áp suất (pressure swing adsorption - PSA), hấp phụ dao động áp suất riêng phần (partial pressure swing adsorption - PPSA), hấp phụ dao động nhiệt chu kỳ nhanh (rapid cycle temperature swing adsorption - RCTSA), hấp phụ dao động áp suất chu kỳ nhanh (rapid cycle pressure swing adsorption - RCPSA), hấp phụ dao động áp suất riêng phần chu kỳ nhanh (rapid cycle partial pressure swing adsorption - RCPPSA), và không giới hạn ở đó mà còn là tổ hợp của các quy trình nêu trên, như sự hấp phụ dao động áp suất và nhiệt độ. Như ví dụ, các quy trình PSA phụ thuộc vào hiện tượng khí được sẵn sàng hấp phụ trong kết cấu lỗ hoặc thể tích tự do của vật liệu hấp phụ khi khí chịu áp suất. Tức là, áp suất khí càng cao, lượng khí sẵn sàng được hấp phụ được hấp phụ càng lớn. Khi áp suất giảm, thành phần được hấp phụ được giải phóng, hoặc được hấp phụ từ vật liệu hấp phụ.

Các quy trình hấp phụ dao động (ví dụ, PSA và/hoặc TSA) có thể được sử dụng để phân tách các khí của hỗn hợp khí vì các khí khác nhau có xu hướng làm đầy lỗ xốp mịn của vật liệu hấp phụ đến các mức khác nhau. Ví dụ, nếu hỗn hợp khí, như khí tự

nhiên, được chuyển dưới áp suất qua bình chứa vật liệu hấp phụ mà chọn lọc cacbon dioxit hơn so với metan, ít nhất một phần cacbon dioxit được hấp phụ chọn lọc bởi vật liệu hấp phụ, và khí thoát khỏi bình được làm giàu metan. Khi vật liệu hấp phụ gần hết khả năng hấp phụ cacbon dioxit, nó có thể được tái sinh bằng cách hạ áp suất, từ đó giải phóng cacbon dioxit bị hấp phụ. Sau đó, vật liệu hấp phụ thường được làm sạch và gia áp lại trước khi bắt đầu chu trình hấp phụ khác.

Các quy trình hấp phụ dao động thường bao gồm các bộ phận tầng hấp phụ, mà chứa các tầng hấp phụ được bố trí trong hộp và được tạo kết cấu để duy trì chất lưu tại nhiều áp suất cho các bước khác nhau trong chu kì nằm trong bộ phận. Các bộ phận tầng hấp phụ này sử dụng vật liệu đệm kín khác nhau trong các kết cấu tầng. Ví dụ, các bộ phận tầng hấp phụ sử dụng gạch ô, tầng sỏi hoặc vật liệu đệm kín khác. Như sự nâng cấp, một số tầng hấp phụ có thể sử dụng sự đệm kín được thiết kế trong kết cấu tầng. Sự đệm kín được thiết kế gồm có vật liệu được cung cấp trong kết cấu cụ thể, như rỗ tổ ong, các dạng sứ hoặc tương tự.

Hơn nữa, các bộ phận tầng hấp phụ có thể được ghép với nhau với các ống dẫn và các van để kiểm soát lượng dòng chảy của chất lỏng qua chu kì. Việc phối các bộ phận tầng hấp phụ bao gồm phối hợp các bước trong chu kì cho mỗi tầng hấp phụ với các bộ phận tầng hấp phụ khác trong hệ thống. Chu kì đầy đủ có thể thay đổi từ giây đến phút vì chu kì chuyển nhiều dòng khí qua một hoặc nhiều bộ phận tầng hấp phụ.

Các quy trình thông thường được sử dụng để xử lý hydrocacbon gồm các dòng chứa CO₂ để chuẩn bị dòng cho thông số kỹ thuật LNG. Ví dụ, thông số kỹ thuật LNG điển hình yêu cầu lượng CO₂ là nhỏ hơn 50 phần triệu mol (parts per million molar - ppm). Các thông số kỹ thuật chính xác được áp dụng cho các dòng khí tự nhiên trong mạng lưới đường ống điển hình. Ví dụ, lượng CO₂ cho khí đường ống trong dòng đường ống có thể cao tới 2% theo thể tích. Như vậy, đối với các công trình LNG sử dụng khí đường ống như nguồn cấp thô, có thể cần đến các bước xử lý bổ sung. Đối với khí chứa CO₂ với lượng ít hơn vài trăm ppm, có thể sử dụng quy trình hấp phụ dao động áp suất hoặc nhiệt độ thông thường. Tuy nhiên, vì lượng CO₂ trong dòng khí tăng, quy trình này trở nên không khả thi về mặt kinh tế. Đối với khí chứa CO₂ với lượng cao hơn, hệ thống phân tách trên cơ sở dung môi amin thường được sử dụng.

Các hệ thống phân tách dựa trên dung môi amin có phần tiếp xúc và trọng lượng lớn, và cần sự đầu tư vốn lớn. Ngoài ra, các hệ thống này bao gồm việc sử dụng dung môi, mà phải được bổ sung như phần của quy trình. Hơn nữa, quy trình yêu cầu bộ phận này phân tử lớn để khử nước khí xuôi dòng của hệ thống phân tách amin, vì khí là ở điều kiện bão hòa nước.

Không may là, các quy trình thông thường để xử lý các dòng LNG có hạn chế nhất định. Với các thao tác LNG, kích thước và trọng lượng của hệ thống thông thường có thể là vấn đề, mà còn được ghép cho các cơ sở hạ tầng nổi. Trọng lượng và diện tích mặt bằng cho các hệ thống thông thường bổ sung độ phức tạp của cơ sở hạ tầng nổi và tăng diện tích cơ sở hạ tầng. Tương tự, kích thước và độ phức tạp thêm vào làm tăng chi phí đầu tư vốn cùng với chi phí vận hành cho cơ sở hạ tầng nổi. Hơn nữa, vì các quy trình thông thường sử dụng các dung môi hoặc các vật liệu khác mà đòi hỏi sự bổ sung thường xuyên, chi phí vận hành và độ phức tạp tăng thêm. Khía cạnh này còn phức tạp hơn nếu cơ sở hạ tầng nổi được đặt ở nơi hẻo lánh và khó tiếp cận để tái cung cấp.

Mục đích của sáng chế

Sáng chế đáp ứng một số nhu cầu trong ngành công nghiệp cho thiết bị, phương pháp, và các hệ thống mà cung cấp sự tăng cường cho việc xử lý các dòng cấp vào hệ thống LNG. Hơn nữa, nhu cầu tồn tại để giảm chi phí, kích thước, và trọng lượng của cơ sở hạ tầng để xử lý các dòng chất lượng đường ống trước khi hóa lỏng, mà được cung cấp cho hệ thống LNG mà phải tuân theo thông số kỹ thuật LNG.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Trong một hoặc nhiều phương án, các kỹ thuật theo sáng chế bao gồm quy trình để loại bỏ tạp chất từ dòng cấp dạng khí, quy trình bao gồm các bước: a) thực hiện một hoặc nhiều bước hấp phụ, trong đó mỗi bước trong số một hoặc nhiều bước hấp phụ bao gồm cho dòng cấp dạng khí đi qua bộ phận tầng hấp phụ có tầng hấp phụ để phân tách một hoặc nhiều tạp chất từ dòng cấp dạng khí để tạo ra dòng sản phẩm; b) thực hiện một hoặc nhiều bước hạ áp, trong đó áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ được giảm bởi lượng được định trước với mỗi bước hạ áp liên tiếp; c) thực hiện bước gia nhiệt, trong đó bước gia nhiệt bao gồm cho dòng gia nhiệt tại nhiệt độ gia nhiệt đi vào

bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng gia nhiệt được đi theo hướng ngược dòng so với hướng của dòng cấp và nhiệt độ gia nhiệt là nhỏ hơn 500°F (260°C) (ví dụ, có thể gia nhiệt chỉ một phần của tầng); d) thực hiện bước làm sạch, trong đó bước làm sạch bao gồm cho dòng tinh khiết đi vào bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng tinh khiết được đi theo hướng ngược dòng so với hướng dòng cấp và trong đó sự chênh lệch nhiệt độ tại phần cuối của bước làm sạch là nằm trong khoảng giữa 50°F (27,8°C) và 400°F (222,2°C) (hoặc khoảng giữa 100°F (55,6°C) và 400°F (222,2°C), trong đó sự chênh lệch nhiệt độ giữa đầu cấp của tầng hấp phụ và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ; và e) lặp lại các bước từ a) đến d) cho ít nhất một chu kỳ, trong đó khoảng thời gian của chu kỳ là khoảng lớn hơn 1 giây và nhỏ hơn 600 giây. Sự chênh lệch nhiệt độ nằm trong khoảng giữa 125°F (69,4°C) và 350°F (194,4°C) hoặc nằm trong khoảng giữa 175°F (97,2°C) và 300°F (166,7°C).

Trong phương án khác, hệ thống loại bỏ tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí được mô tả. Hệ thống bao gồm: bộ phận tầng hấp phụ, bộ phận xử lý khí tự nhiên được hóa lỏng, một hoặc nhiều bộ phận làm sạch và cơ cấu gia nhiệt. Bộ phận tầng hấp phụ được tạo kết cấu để phân tách các tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí và để đưa ra dòng sản phẩm, trong đó bộ phận tầng hấp phụ bao gồm tầng hấp phụ, trong đó bộ phận xử lý khí tự nhiên được hóa lỏng là thông chất lưu với bộ phận tầng hấp phụ và được tạo kết cấu để nhận dòng sản phẩm và phân tách dòng sản phẩm thành dòng sản phẩm cuối cùng và dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh. Một hoặc nhiều bộ phận làm sạch thông chất lưu với bộ phận xử lý khí tự nhiên được hóa lỏng và được tạo kết cấu để cung cấp dòng tinh khiết cho bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng tinh khiết được cung cấp từ một trong số một phần của dòng sản phẩm, dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh, dòng khí sôi và tổ hợp bất kì của chúng. Cơ cấu gia nhiệt thông chất lưu với bộ phận tầng hấp phụ và được tạo kết cấu để: cho dòng gia nhiệt tại nhiệt độ cao đi qua bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng gia nhiệt được tạo kết cấu để tạo ra sự chênh lệch nhiệt độ nằm trong khoảng giữa 50°F (27,8°C) và 400°F (222,2°C), trong đó sự chênh lệch nhiệt độ là sự chênh lệch về nhiệt độ giữa đầu cấp của tầng hấp phụ và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ; và kết hợp phần của dòng gia nhiệt với dòng tinh khiết mà đi qua bộ phận tầng hấp phụ. Cơ cấu gia nhiệt có thể là vòng lặp gia nhiệt. Một hoặc nhiều bộ phận

làm sạch có thể bao gồm một hoặc nhiều máy nén được tạo kết cấu để nén một hoặc nhiều dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh, dòng khí sôi và bất kỳ tổ hợp nào của chúng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các ưu điểm đã nêu và ưu điểm khác của sáng chế có thể trở nên rõ ràng nhờ phần mô tả chi tiết và các hình vẽ về các ví dụ không giới hạn của các phương án dưới đây:

Fig.1 là sơ đồ ba chiều của hệ thống hấp phụ dao động với sáu bộ phận tầng hấp phụ và ống dẫn nối liền phù hợp với phương án của các kỹ thuật hiện thời.

Fig.2 là sơ đồ của phần của bộ phận tầng hấp phụ có bộ phận lắp ráp và ống góp van liên kết và phù hợp với phương án của các kỹ thuật hiện thời.

Fig.3 là sơ đồ của hệ thống thông thường để xử lý của dòng cấp để tạo ra dòng khí tự nhiên được hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG).

Fig.4 là sơ đồ minh họa hệ thống xử lý dòng cấp để tạo ra dòng LNG phù hợp với phương án của kỹ thuật hiện thời.

Các Fig.5A, Fig.5B, Fig.5C, Fig.5D và Fig.5E là các sơ đồ minh họa phù hợp với kết cấu trên Fig.4 phù hợp với phương án của kỹ thuật hiện thời.

Các Fig.6A, Fig.6B và Fig.6C là các sơ đồ minh họa được kết hợp với vòng kín gia nhiệt và các bộ phận tầng hấp phụ phù hợp với phương án của kỹ thuật hiện thời.

Fig.7 là sơ đồ minh họa khác hệ thống xử lý dòng cấp để tạo ra dòng LNG phù hợp với phương án của kỹ thuật hiện thời.

Fig.8 là sơ đồ minh họa khác hệ thống xử lý dòng cấp để tạo ra dòng LNG phù hợp với phương án của kỹ thuật hiện thời.

Mô tả chi tiết sáng chế

Trừ khi có giải thích khác, tất cả thuật ngữ kỹ thuật và khoa học được sử dụng trong bản mô tả này có ý nghĩa như được hiểu thông thường bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực của sáng chế. Trừ khi có quy định rõ ràng khác, các dạng danh từ số ít và dạng danh từ xác định bao hàm cả dạng số nhiều. Tương tự, từ "hoặc" nhằm bao gồm "và" trừ khi có quy định rõ ràng khác. Thuật ngữ "kể cả" có nghĩa là

"bao gồm". Trừ khi có quy định khác, tất cả các patent và công bố nêu trong bản mô tả này được kết hợp bằng cách tham khảo toàn bộ nội dung của chúng. Trong trường hợp có sự mâu thuẫn về nghĩa của một thuật ngữ hoặc cụm từ, bản mô tả này, bao gồm các giải thích về thuật ngữ sẽ điều chỉnh. Thuật ngữ định hướng như "phía trên", "phía dưới", "trên đỉnh", "đáy", "phía trước", "phía sau", "thẳng đứng", và "nằm ngang" được sử dụng trong bản mô tả này để thể hiện và làm rõ mối quan hệ giữa các chi tiết khác nhau. Phải hiểu rằng các thuật ngữ này không thể hiện hướng tuyệt đối (ví dụ, bộ phận "thẳng đứng" có thể trở nên nằm ngang bằng cách quay thiết bị). Các nguyên liệu, phương pháp, và ví dụ được nêu trong bản mô tả này chỉ mang tính minh họa và không mang tính giới hạn.

Như được sử dụng ở đây, "dòng" đề cập đến chất lưu (ví dụ, chất rắn, lỏng, và/hoặc khí) được dẫn qua nhiều thiết bị. Thiết bị có thể bao gồm các đường dẫn, các bình chứa, các ống góp hoặc các thiết bị phù hợp khác.

Như được sử dụng ở đây, phần trăm thể tích dựa trên các điều kiện tiêu chuẩn. Các điều kiện tiêu chuẩn cho phương pháp có thể được chuẩn hóa tại nhiệt độ 0°C (ví dụ, 32°F) và áp suất tuyệt đối là 100 kiloPascal (kPa) (1 bar - (10⁵ Pa)).

Như được sử dụng ở đây, "đường dẫn" đề cập đến chi tiết dạng ống mà qua đó truyền tải một thứ gì đó. Ống dẫn có thể bao gồm một hoặc nhiều ống, ống góp, ống tuýp hoặc tương tự.

Các quy trình, thiết bị, và hệ thống của kỹ thuật hiện thời có thể được sử dụng để loại bỏ tạp chất (CO₂, H₂O, và H₂S) từ các dòng cấp, như các dòng chứa hydrocacbon. Như được đánh giá và lưu ý ở trên, dòng cấp chứa hydrocacbon có thể có các hợp phần khác nhau. Ví dụ, dòng cấp hydrocacbon thay đổi nhiều ở lượng khí axit, ví dụ từ một vài phần triệu khí axit đến 90% thể tích khí axit. Ví dụ không giới hạn về nồng độ khí axit từ nguồn dự trữ khí ví dụ bao gồm các nồng độ gồm xấp xỉ: (a) H₂S với lượng 4ppm, CO₂ với lượng 2% theo thể tích, H₂O với lượng 100ppm (b) H₂S với lượng 4ppm, CO₂ với lượng 0,5% theo thể tích, H₂O với lượng 200ppm (c) H₂S với lượng 1% theo thể tích, CO₂ với lượng 2% theo thể tích, H₂O với lượng 150ppm, (d) H₂S với lượng 4ppm, CO₂ với lượng 2% theo thể tích, H₂O với lượng 500ppm, và (e) H₂S với lượng 1% theo thể tích, CO₂ với lượng 5% theo thể tích, H₂O với lượng 500 ppm. Hơn

nữa, trong một số ứng dụng nhất định, dòng chứa hydrocacbon có thể phần lớn bao gồm các hydrocacbon với lượng CO₂ cụ thể và/hoặc nước. Ví dụ, dòng chứa hydrocacbon có thể có CO₂ với lượng lớn hơn 0,00005% theo thể tích dựa trên tổng thể tích của dòng cấp dạng khí và CO₂ với lượng nhỏ hơn 2% theo thể tích dựa trên tổng thể tích của dòng cấp dạng khí; hoặc CO₂ với lượng nhỏ hơn 10% theo thể tích của dòng cấp dạng khí. Việc xử lý dòng cấp có thể trở nên khó khăn hơn khi đặc tính kỹ thuật nhất định phải được đáp ứng. Theo đó, kỹ thuật hiện thời cung cấp các kết cấu và quy trình mà được sử dụng để tăng cường việc phân tách tạp chất từ dòng cấp để tạo ra dòng khí tự nhiên hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG) mà phù hợp với thông số kỹ thuật LNG. Ví dụ, các dòng cấp dạng khí tự nhiên cho các ứng dụng LNG có các thông số kỹ thuật nghiêm ngặt trên lượng CO₂ để đảm bảo tránh sự hình thành CO₂ rắn tại nhiệt độ lạnh. Các thông số kỹ thuật LNG có thể bao gồm CO₂ với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 50ppm. Thông số kỹ thuật như vậy không được áp dụng cho các dòng khí tự nhiên, mà bao gồm CO₂ với lượng lên đến 2% thể tích dựa trên tổng thể tích của dòng cấp dạng khí. Như vậy, đối với các cơ sở hạ tầng LNG mà sử dụng khí đường ống (ví dụ, khí tự nhiên) như khí thô, các bước xử lý bổ sung được sử dụng để làm sạch dòng. Hơn nữa, các kỹ thuật này có thể được sử dụng để hạ thấp lượng nước của dòng xuống ít hơn 0,1ppm.

Dòng sản phẩm, mà có thể là dòng cấp LNG, có thể có hydrocacbon với lượng lớn hơn 98% thể tích trên tổng thể tích của dòng sản phẩm, trong khi CO₂ và nước có lượng thấp hơn ngưỡng nhất định. Các thông số kỹ thuật LNG có thể bao gồm CO₂ với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 100ppm hoặc tốt hơn là nhỏ hơn hoặc bằng 50ppm, trong khi lượng nước của dòng có thể nhỏ hơn 0,1ppm.

Trong các phương án nhất định, hệ thống sử dụng quy trình hấp phụ dao động, mà tổ hợp TSA và PSA, để xử lý khí tự nhiên chất lượng của đường ống để loại bỏ tạp chất để dòng đáp ứng thông số kỹ thuật LNG. Quy trình sử dụng các bộ phận tầng hấp phụ (ví dụ, mỗi bộ phận có các tầng hấp phụ kênh), trong đó các bộ phận tầng hấp phụ được hạ áp và được gia nhiệt sử dụng vòng lặp gia nhiệt tại nhiệt độ gia nhiệt và dòng tinh khiết tại nhiệt độ làm sạch cho sự giải hấp áp suất riêng phần được hỗ trợ nhiệt. Khi đó, dòng cấp được sử dụng để làm mát bộ phận tầng hấp phụ trong suốt bước hấp phụ của chu kỳ. Cụ thể, quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh được sử dụng để xử

lý khí tự nhiên mà có trong thông số kỹ thuật đường ống (ví dụ, dòng cấp của hydrocacbon chiếm ưu thế với CO₂ với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 2% mol và/hoặc H₂S với lượng nhỏ hơn hoặc bằng 4ppm) để tạo ra dòng đáp ứng thông số kỹ thuật LNG (ví dụ, CO₂ với lượng nhỏ hơn 100ppm hoặc thậm chí 50ppm và H₂S với lượng nhỏ hơn khoảng 4ppm). Bằng ví dụ, dòng cấp dạng khí có thể bao gồm hydrocacbon và CO₂, trong đó CO₂ với lượng nằm trong phạm vi một trăm phần triệu theo thể tích và nhỏ hơn hoặc bằng 5% mol của dòng cấp dạng khí hoặc trong phạm vi hai trăm phần triệu theo thể tích và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 2% mol của dòng cấp dạng khí. Bước gia nhiệt có thể cũng cung cấp việc làm sạch bổ sung bằng cách loại bỏ một hoặc nhiều tạp chất từ bộ phận tăng hấp phụ.

Như được so sánh với hệ thống phân tách trên cơ sở dung môi amin thông thường, kỹ thuật theo sáng chế cung cấp nhiều cải tiến. Các kỹ thuật theo sáng chế có thể bao gồm thực hiện các chu kỳ nhanh (ví dụ, thực hiện chu kỳ ngay trong vài phút thay vì vài giờ) và/hoặc có thể bao gồm sử dụng các cấu trúc tầng hấp phụ kênh song song mở, mà cung cấp kết cấu cho các dòng khí cao hơn, mà cung cấp việc chảy nhanh hơn trong suốt các bước gia nhiệt và hấp phụ) để cung cấp sự linh hoạt để xử lý các mức CO₂ cao. Hơn nữa, các bộ phận tầng hấp phụ có thể gọn gàng hơn vì việc sử dụng quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh. Kết quả là, cấu trúc có thể ít diện tích mặt bằng và vốn đầu tư thấp hơn so với hệ thống phân tách trên cơ sở dung môi amin thông thường. Theo đó, nồng độ CO₂ cao hơn có thể được giảm đến thông số kỹ thuật đích LNG bằng cách kinh tế hơn, và với diện tích mặt bằng nhỏ hơn và khối lượng nhẹ hơn các bộ phận này phân tử thông thường có thể được đề xuất.

Hơn nữa, như được so sánh với hệ thống hấp phụ TSA, kỹ thuật theo sáng chế cung cấp nhiều cải tiến. Ví dụ, một trong số các cải tiến của kỹ thuật theo sáng chế là nó có thể mở rộng đường bao vận hành hiệu quả về kinh tế của quy trình hấp phụ dao động nhiệt và/hoặc áp suất trên cơ sở chất hấp phụ cho việc xử lý khí như vậy. Cụ thể, kỹ thuật theo sáng chế có thể kéo dài đến các mức nồng độ CO₂ cao hơn so với có thể được xử lý bởi các hệ thống hấp phụ TSA. Thực tế, các kỹ thuật theo sáng chế đề xuất hệ thống mà chỉ ra kích thước lớn và hiệu quả kinh tế kém của các hệ thống thông thường.

Trong một hoặc nhiều phương án, kỹ thuật theo sáng chế cung cấp tổ hợp độc nhất của sự hấp phụ dao động nhiệt độ và áp suất chu kỳ nhanh để cung cấp sự phân tách cần thiết. Ví dụ, trong bước hấp phụ hoặc bước cấp, khí cấp chất lượng của đường ống có thể được đưa vào như dòng cấp vào trong tầng hấp phụ chứa vật liệu hấp phụ được chọn để tốt hơn là hấp phụ CO₂. Sau đó, dòng khí ra khỏi tầng hấp phụ, mà dòng sản phẩm, là ở thông số kỹ thuật LNG (ví dụ, chứa CO₂ với lượng nhỏ hơn 100ppm hoặc CO₂ với lượng nhỏ hơn 50ppm). Vì tầng hấp phụ gần bão hòa, dòng cấp bị gián đoạn và làm trệch hướng đến tầng hấp phụ khác nhau, và tầng hấp phụ hiện thời được tái sinh trong bước tái sinh. Bước tái sinh có thể bao gồm một hoặc nhiều bước hạ áp, như một hoặc nhiều bước làm sạch và/hoặc một hoặc nhiều bước thổi khí, trong đó áp suất trong nhà của tầng hấp phụ được giảm cho mỗi bước tiếp theo. Các bước tái sinh dẫn đến việc hấp phụ của một số khí metan cùng được hấp phụ với CO₂ trong suốt bước hấp phụ. Dòng đầu ra thổi khí thường có độ tinh khiết cao và có thể được nén để trộn với dòng sản phẩm mà đang có thông số kỹ thuật LNG. Cách khác, nếu có CO₂ với lượng cao hơn trong dòng này, do đó, có thể được nén để trộn với dòng cấp.

Tiếp theo, tầng hấp phụ phải chịu bước gia nhiệt tại áp suất thấp hơn. Bước gia nhiệt này thực hiện sự kết hợp của sự hấp phụ dao động áp suất riêng phần và sự hấp phụ dao động nhiệt độ để tạo điều kiện tái sinh tầng hấp phụ. Bước gia nhiệt có thể được cung cấp bằng một vài cách, như gia nhiệt điện để kim loại trong tầng hấp phụ, đi qua dòng gia nhiệt qua tầng hấp phụ và/hoặc gia nhiệt đối lưu từ chất lưu gia nhiệt được đóng kín. Khi bước gia nhiệt được thực hiện tại áp suất thấp, nồng độ CO₂ trong dòng này có thể được làm giảm, như được phân bố qua các tầng hấp phụ. Trong các phương án nhất định, bước gia nhiệt có thể bao gồm trộn dòng tinh khiết đầu ra (ví dụ, sản phẩm của dòng tinh khiết) với dòng vòng kín gia nhiệt và sau đó dẫn ra khỏi dòng được tổ hợp để thu được nhiên liệu. Ngoài ra, vòng kín gia nhiệt có thể được thực hiện tại áp suất và nhiệt độ cao với dòng chủ yếu là CO₂. Trong các kết cấu như vậy, bước thổi gió có thể được thực hiện tại áp suất khí quyển với dòng thổi gió được dẫn ra khỏi để thu nhiên liệu (không phải sản phẩm), và sau đó tầng hấp phụ có thể được làm sạch. Tuy nhiên, chu kỳ được yêu thích có thể bao gồm giới hạn lượng CO₂ trong dòng gia nhiệt (ví dụ, đến thấp hơn khoảng 20% mol).

Trong các khía cạnh nhất định, như được mô tả dưới đây, các kỹ thuật theo sáng chế có thể bao gồm sử dụng vòng kín gia nhiệt nhiệt độ cao để gia nhiệt tầng hấp phụ cho quy trình hấp phụ dao động được tổ hợp, mà được thực hiện tại nhiệt độ gia nhiệt và áp suất gia nhiệt. Các nhiệt độ gia nhiệt có thể nhỏ hơn 500°F (260°C), nhỏ hơn 450°F (232,2°C) hoặc có thể nhỏ hơn 400°F (204,4°C), và có thể lớn hơn 100°F (55,6°C) so với nhiệt độ cấp, lớn hơn 150°F (83,3°C) so với nhiệt độ cấp hoặc lớn hơn 200°F (111,1°C) so với nhiệt độ cấp. Áp suất gia nhiệt có thể nằm trong khoảng giữa 0,01 bar (10^3 Pa) và 100 bar (10^7 Pa) giữa 1 bar (10^5 Pa) và 80 bar (80×10^5 Pa), hoặc giữa 2 bar (2×10^5 Pa) và 50 bar (5×10^6 Pa). Vòng kín gia nhiệt có thể bao gồm ống dẫn và ống góp mà cung cấp đường chất lưu cho dòng gia nhiệt qua bình chứa, bộ phận gia nhiệt (lò đốt và/hoặc bộ trao đổi nhiệt), và quạt gió hoặc bộ nén để tiếp xúc chất lưu với một hoặc nhiều tầng hấp phụ. Dòng gia nhiệt có thể chứa chủ yếu metan (ví dụ, dòng gia nhiệt) cùng với CO₂ hoặc các tạp chất khác. Vì tầng hấp phụ được gia nhiệt, ít nhất phần CO₂ được hấp phụ trong tầng hấp phụ được giải phóng, mà trộn với dòng gia nhiệt và được dẫn ra khỏi tầng hấp phụ vào dòng chảy của vòng kín gia nhiệt. Bước này loại bỏ đáng kể lượng CO₂ mà được hấp phụ trong tầng hấp phụ, trong một số ứng dụng có thể lên đến 85% mol của tổng lượng CO₂ được hấp phụ. Hơn nữa, áp suất gia nhiệt thấp hơn cũng tăng cường việc loại bỏ CO₂ khỏi tầng hấp phụ.

Bước gia nhiệt có thể không gia nhiệt toàn bộ chiều dài của tầng hấp phụ để giảm thiểu bất kỳ sự đột phá tạp chất. Vì tầng hấp phụ được làm lạnh bởi các dòng và các phản ứng nhất định, sự chênh lệch nhiệt độ có thể cung cấp cho sóng hấp phụ để tạo ra tại đầu cấp (ví dụ, phía trước tầng hấp phụ được làm mát) và sau đó di chuyển theo hướng cấp dọc theo tầng hấp phụ. Vì mặt hấp phụ tạo ra ở phía trước tầng hấp phụ (ví dụ, gần đầu cấp), phần còn lại của tầng hấp phụ được làm mát bởi việc cấp trước mặt hấp phụ tiến đến điểm đó. Điều này cung cấp cơ cấu cho quy trình để tạo ra khí chất lượng LNG trong giây đầu tiên hoặc tương tự của việc cấp. Ví dụ, bước gia nhiệt có thể được tạo kết cấu để dẫn đến sự chênh lệch nhiệt độ giữa đầu cấp và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ. Sự chênh lệch nhiệt độ là sự chênh lệch về nhiệt độ giữa đầu cấp của tầng hấp phụ và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ, mà có thể được tính toán bằng cách trừ nhiệt độ tại đầu sản phẩm của tầng hấp phụ từ nhiệt độ tại đầu cấp của tầng hấp phụ. Các nhiệt độ có thể là nhiệt độ được đo bởi cặp nhiệt hoặc thiết bị đo nhiệt độ

khác. Đầu cấp hoặc phía cấp là đầu của tầng hấp phụ mà dòng cấp ban đầu đi vào, trong khi đầu sản phẩm là phần của tầng hấp phụ ngược với đầu nạp và trong đó dòng cấp thoát khỏi tầng hấp phụ. Sự chênh lệch nhiệt độ có thể nằm trong khoảng từ 50°F (27,8°C) đến 400°F (222,2°C), nằm trong khoảng từ 100°F (55,6°C) đến 400°F (222,2°C), nằm trong khoảng từ 125°F (69,4°C) đến 350°F (194,4°C) hoặc nằm trong khoảng từ 175°F (97,2°C) đến 300°F (166,7°C). Sự chênh lệch nhiệt độ có thể được sử dụng để có dòng cấp đi vào tầng hấp phụ từ đầu cấp và loại bỏ tạp chất (ví dụ, CO₂ và/hoặc nước) trước khi được phơi với phần nhiệt độ cao của tầng hấp phụ. Phần nhiệt độ thấp hơn của tầng hấp phụ có thể được đề cập đến như vùng cấp gia nhiệt, phần của tầng hấp phụ mà tại nhiệt độ gia nhiệt có thể được đề cập đến như vùng sản phẩm gia nhiệt và phần của tầng hấp phụ mà các chuyển tiếp từ vùng cấp gia nhiệt đến vùng sản phẩm gia nhiệt (ví dụ, phần với mặt gia nhiệt tăng giữa chênh lệch nhiệt độ của các vùng này) có thể được đề cập đến như vùng mặt gia nhiệt. Các vùng khác nhau này có thể thay đổi vì bước gia nhiệt được thực hiện với đầu của bước gia nhiệt là vùng sản phẩm gia nhiệt tối đa và vùng cấp gia nhiệt tối thiểu. Vùng cấp gia nhiệt có thể là phần cụ thể của tầng hấp phụ từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 2% của chiều dài tầng, từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 5% của chiều dài tầng, từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 10% của chiều dài tầng hoặc từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 20% của chiều dài tầng. Vùng sản phẩm gia nhiệt có thể là phần cụ thể của tầng hấp phụ từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 60% của chiều dài tầng, từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 55% của chiều dài tầng hoặc từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 50% của chiều dài tầng. Hơn nữa, bước gia nhiệt có thể bao gồm gia nhiệt phần của tầng hấp phụ từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ nằm trong phạm vi nhất định quanh nhiệt độ gia nhiệt (ví dụ, 10% của nhiệt độ gia nhiệt và/hoặc nằm trong khoảng 5% của nhiệt độ gia nhiệt). Chuyển động của mặt làm mát hướng về đầu sản phẩm trong suốt bước hấp phụ và về phía đầu cấp trong suốt bước gia nhiệt.

Tiếp theo, tầng hấp phụ được làm sạch được lắp tại nhiệt độ làm sạch và áp suất làm sạch. Dòng tinh khiết có thể là dòng metan độ tinh khiết cao, mà có thể được cung cấp từ thiết bị xử lý xuôi dòng. Ví dụ, dòng tinh khiết có thể là khí nhiên liệu bốc hơi nhanh bắt nguồn từ quy trình hóa lỏng LNG, mà thường là dòng được tinh chế (ví dụ, chủ yếu là metan, nhưng có thể bao gồm khí nitơ nhỏ hơn 40%). Dòng tinh khiết này

có thể được sử dụng để loại bỏ ít nhất phần của CO₂ mà được hấp phụ trong tầng hấp phụ, do đó hoàn thành việc tái sinh tầng hấp phụ. Dòng đầu ra làm sạch thoát khỏi tầng hấp phụ có thể được trộn với dòng gia nhiệt trong vòng kín gia nhiệt. Từ vòng kín gia nhiệt này, dòng nhiên liệu có thể được rút ra khỏi vòng kín gia nhiệt này để duy trì cân bằng và loại bỏ một phần của CO₂ từ dòng gia nhiệt và quy trình.

Hơn nữa, các kỹ thuật theo sáng chế có thể không loại bỏ tất cả CO₂ được hấp phụ trong tầng trong suốt bước tái sinh, mà loại bỏ phần của CO₂ sao cho đầu sản phẩm của tầng hấp phụ có tải CO₂ đủ thấp để cung cấp dòng sản phẩm với CO₂ nhỏ hơn 50ppm. Theo đó, đầu sản phẩm của tầng hấp phụ có thể được duy trì gần như không có CO₂ (ví dụ, tải CO₂ cho vùng gần đầu sản phẩm là nhỏ hơn 1 milimol mỗi gram (mmol/g), nhỏ hơn 0,5mmol/g hoặc nhỏ hơn 0,1mmol/g). Mức tải CO₂ có thể thấp hơn phía cấp của tầng hấp phụ trong suốt bước làm sạch, nhưng chiều dài của tầng hấp phụ mà chứa CO₂ được giảm trong suốt bước làm sạch. Ví dụ, vùng cấp có thể là phần cụ thể của tầng hấp phụ từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 10% của chiều dài tầng, từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 25% của chiều dài tầng hoặc từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 40% của chiều dài tầng. Vùng sản phẩm có thể là phần cụ thể của tầng hấp phụ từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 10% của chiều dài tầng, từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 25% của chiều dài tầng hoặc từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 40% của chiều dài tầng. Sự di chuyển trước sau của CO₂ trong suốt bước làm sạch và về phía trước trong bước hấp phụ là cơ bản của khả năng dao động của quy trình. Trong phần, điều này đạt được bằng cách sử dụng lượng khí làm sạch trong dòng khí làm sạch cùng với việc gia nhiệt của tầng hấp phụ trong quy trình này và kết cấu này.

Tiếp theo, tầng hấp phụ được nén lại quay trở về áp suất cấp và chu kỳ được lặp lại. Việc tái điều áp của tầng hấp phụ có thể được sử dụng mà không có vòng kín làm mát. Bước làm sạch và bước gia nhiệt có thể gia nhiệt tầng hấp phụ và bước hấp phụ có thể được sử dụng để làm mát tầng hấp phụ, mà tăng cường hiệu quả của hệ thống bằng cách loại bỏ sự cần thiết của vòng kín làm mát riêng lẻ.

Kỹ thuật theo sáng chế có thể bao gồm sử dụng hai hoặc nhiều tầng hấp phụ, mà được vận hành trên chu kỳ tương tự mà thực hiện các bước khác nhau của chu kỳ

(không được đồng bộ với nhau) để duy trì dòng chất lưu ổn định cho các dòng khác nhau (ví dụ, dòng cấp, dòng sản phẩm, dòng gia nhiệt, và dòng tinh khiết).

Hơn nữa, trong các phương án khác, áp suất của dòng khác nhau có thể được thay đổi. Ví dụ, dòng cấp có thể bao gồm áp suất cấp nằm trong khoảng giữa 40 bar tuyệt đối (bar absolute - bar) (40×10^5 Pa) và 150 bar (15×10^6 Pa), giữa 50 bar (50×10^5 Pa) và 150 bar (15×10^6 Pa), hoặc tốt hơn là giữa 50 bar (50×10^5 Pa) và 100 bar (10^7 Pa), nhưng không chỉ giới hạn ở phạm vi này. Nhiệt độ cấp có thể nằm trong khoảng từ -40°F (-40°C) đến 200°F ($93,3^\circ\text{C}$), nằm trong khoảng từ 0°F ($-17,8^\circ\text{C}$) đến 200°F ($93,3^\circ\text{C}$), nằm trong khoảng từ 20°F ($-6,7^\circ\text{C}$) đến 175°F ($79,4^\circ\text{C}$) hoặc nằm trong khoảng từ 40°F ($4,4^\circ\text{C}$) đến 150°F ($65,6^\circ\text{C}$). Áp suất thổi gió, áp suất gia nhiệt, và áp suất làm sạch có thể được điều chỉnh phụ thuộc vào chu kỳ, có thể phụ thuộc vào vật liệu hấp phụ được sử dụng và/hoặc có thể nằm trong khoảng từ chân không đến áp suất cấp. Ví dụ, nếu vật liệu hấp phụ là zeolit 4A, phạm vi áp suất thổi gió có thể nằm giữa 0,01 bar (10^3 Pa) đến 45 bar (45×10^5 Pa), hoặc tốt hơn là nằm trong khoảng giữa 1 bar (10^5 Pa) và 25 bar (25×10^5 Pa). Ví dụ này có thể phụ thuộc vào nồng độ cấp của CO_2 . Tương tự, trong các phương án khác, bước hạ áp có thể được điều chỉnh sao cho dao động áp suất đạt được trong các bước để thay đổi lượng metan khử hấp trong suốt mỗi bước, nếu có. Ngoài ra, áp suất gia nhiệt trong vòng kín gia nhiệt có thể được vận hành tại áp suất khác với áp suất làm sạch hoặc áp suất thổi gió trong các bước tương ứng. Tương tự, các phương án nhất định có thể không bao gồm dao động áp suất, nhưng có thể phụ thuộc vào dao động nhiệt độ cho bước tái sinh. Tương tự, trong các phương án khác, không có dao động nhiệt độ có thể được thực hiện và bước tái sinh có thể được thực hiện bởi dao động áp suất.

Trong các phương án khác nữa, các kỹ thuật theo sáng chế có thể được tích hợp với các quy trình khác, như các ứng dụng vùng đóng băng điều khiển (control freeze zone - CFZ), các ứng dụng phục hồi chất lỏng khí tự nhiên (Natural Gas Liquid - NGL) làm lạnh cryo. Mỗi ứng dụng trong số các ứng dụng khác này có thể bao gồm các thông số kỹ thuật khác nhau cho dòng cấp trong quy trình tương ứng. Ví dụ, các biến thể của kỹ thuật theo sáng chế có thể được sử dụng để xử lý khí chứa các lượng CO_2 cao hơn hoặc thấp hơn như được so với thông số kỹ thuật LNG hoặc thông số kỹ thuật đường ống.

Hơn nữa, trong các phương án nhất định, quy trình nêu trên có thể được sử dụng để phân tách bất kỳ hai hoặc nhiều tạp chất từ dòng cấp (ví dụ, để xử lý dòng cấp, mà có thể là khí chất lượng đường ống, thành thông số kỹ thuật LNG). Ví dụ, nếu dòng cấp bao gồm thiết bị bổ sung (ví dụ, bộ phận hấp phụ khử nước, như bộ phận hấp phụ rây phân tử và/hoặc bộ phận tầng hấp phụ khử nước) để loại bỏ nước khỏi dòng và có thể được tích hợp với kỹ thuật theo sáng chế để còn xử lý dòng. Ví dụ, quy trình khử nước có thể được thực hiện ngược dòng của sự loại bỏ CO₂ trong các bộ phận tầng hấp phụ bằng thiết bị khử nước, như quy trình rây phân tử hoặc hấp phụ dao động (ví dụ, RCPSA và/hoặc RCTSA). Cụ thể, bộ phận rây phân tử hoặc bộ phận tầng hấp phụ thứ nhất có thể được sử dụng để loại bỏ nước, trong khi bộ phận tầng hấp phụ thứ hai có thể được sử dụng để loại bỏ CO₂. Ngoài ra, trong kết cấu khác, hệ thống hấp phụ chu kỳ nhanh được tích hợp có thể được sử dụng để loại bỏ nhiều tạp chất (ví dụ, nước và CO₂). Vật liệu hấp phụ hoặc các lớp hấp phụ thích hợp có thể được sử dụng để cung cấp việc khử nước, mà có thể tương tự hoặc khác với vật liệu hấp phụ được sử dụng trong việc loại bỏ các tạp chất, như CO₂.

Hơn nữa, sáng chế có thể bao gồm dòng quy trình cụ thể để loại bỏ các tạp chất, như CO₂ và nước. Ví dụ, quy trình có thể bao gồm bước hấp phụ và bước tái sinh, mà tạo thành chu kỳ. Bước hấp phụ có thể bao gồm việc chuyển dòng cấp dạng khí ở áp suất cấp và nhiệt độ cấp qua bộ phận tầng hấp phụ để phân tách một hoặc nhiều tạp chất từ dòng cấp dạng khí để tạo thành dòng sản phẩm. Dòng cấp có thể được chuyển qua tầng hấp phụ theo hướng thuận (ví dụ, từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến đầu sản phẩm của tầng hấp phụ). Sau đó, sự chảy của dòng cấp dạng khí có thể được ngắt quãng cho bước tái sinh. Bước tái sinh có thể bao gồm một hoặc nhiều bước hạ áp, một hoặc nhiều bước gia nhiệt và một hoặc nhiều bước làm sạch. Các bước hạ áp, mà có thể bao gồm bước thổi gió, có thể bao gồm việc làm hạ áp suất của bộ phận tầng hấp phụ với lượng được xác định trước cho từng bước hạ áp liên tiếp, mà có thể là một bước đơn và/hoặc có thể là nhiều bước. Bước hạ áp có thể được cung cấp theo hướng thuận hoặc tốt hơn là có thể được cung cấp theo hướng nghịch (ví dụ, từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến đầu cấp của tầng hấp phụ). Bước gia nhiệt có thể bao gồm chuyển dòng gia nhiệt vào bộ phận tầng hấp phụ, mà có thể là dòng được tái chế qua vòng kín gia nhiệt và được sử dụng để gia nhiệt vật liệu hấp phụ. Ví dụ, tỉ lệ dòng gia

hiệt (ví dụ, khí vòng kín) để cấp dòng (ví dụ, khí cấp) có thể dựa trên loại vật liệu hấp phụ, nồng độ cấp của CO₂ trong dòng cấp, và tần số của việc gia nhiệt tầng hấp phụ. Nhiệt độ của vòng kín gia nhiệt rời khỏi tầng hấp phụ là thấp hơn nhiệt độ đầu vào vòng kín gia nhiệt là ít nhất 50°F (27,8°C). Đối với các nồng độ cấp CO₂ thấp trong dòng cấp, thời gian dài hơn của bước hấp phụ có thể bao gồm việc gia nhiệt lại tầng hấp phụ ít hơn. Ví dụ, nếu dòng có CO₂ với lượng 2% mol trong dòng cấp, khi đó khoảng 50% thể tích đến 60% thể tích của dòng cấp có thể được sử dụng trong dòng gia nhiệt, trong khi đối với CO₂ với lượng 0,5% mol trong gia nhiệt, khi đó khoảng 15% thể tích đến 25% thể tích của dòng cấp có thể được sử dụng trong dòng gia nhiệt.

Dòng gia nhiệt, mà có thể được cung cấp tại nhiệt độ gia nhiệt và áp suất gia nhiệt, có thể được cung cấp theo dòng nghịch so với dòng cấp. Bước làm sạch có thể bao gồm việc chuyển dòng tinh khiết thành bộ phận tầng hấp phụ, mà có thể là một lần qua bước làm sạch và dòng tinh khiết có thể được cung cấp theo dòng chảy nghịch so với dòng cấp. Dòng tinh khiết có thể được cung cấp tại nhiệt độ làm sạch và áp suất làm sạch, mà có thể bao gồm nhiệt độ làm sạch và áp suất làm sạch giống với nhiệt độ gia nhiệt và áp suất gia nhiệt được sử dụng trong bước gia nhiệt. Sau đó, chu kỳ có thể được lặp lại cho các dòng bổ sung. Thêm vào đó, quy trình có thể bao gồm một hoặc nhiều bước tái điều áp sau bước làm sạch và trước bước hấp phụ. Một hoặc nhiều bước tái điều áp có thể được thực hiện, trong đó áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ được tăng với từng bước tái điều áp bởi lượng được định trước với từng bước tái điều áp. Khoảng thời gian chu kỳ có thể là cho khoảng lớn hơn 1 giây và nhỏ hơn 1200 giây, lớn hơn 2 giây và nhỏ hơn 600 giây, cho khoảng lớn hơn 2 giây và nhỏ hơn 300 giây, cho khoảng lớn hơn 2 giây và nhỏ hơn 180 giây, hoặc cho khoảng lớn hơn 5 giây và nhỏ hơn 90 giây.

Trong phương án nhất định, kỹ thuật theo sáng chế, dòng cấp dạng khí có thể được làm mát ngược dòng của quy trình hấp phụ dao động hoặc ngược dòng của một trong số các bộ phận tầng hấp phụ. Bước làm mát dòng cấp dạng khí có thể được thực hiện ngược dòng của bộ phận tầng hấp phụ để tăng dung tích cho vật liệu hấp phụ. Ví dụ, bộ làm mát propan có thể được sử dụng để làm mát dòng khí xuống -20°C. Điều này dẫn đến việc tăng dung tích của chất hấp phụ.

Trong một hoặc nhiều phương án, hệ thống hấp phụ dao động có thể bao gồm một hoặc nhiều bộ phận làm sạch thông chất lưu với bộ phận xử lý khí tự nhiên hóa lỏng. Các bộ phận làm sạch có thể được tạo kết cấu để cung cấp dòng tinh khiết cho mỗi tầng hấp phụ, trong đó dòng tinh khiết được cung cấp từ một trong số một phần của dòng sản phẩm, dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh, dòng khí sôi và tổ hợp bất kì của chúng. Bằng cách theo ví dụ, các bộ phận làm sạch có thể bao gồm một hoặc nhiều máy nén được tạo kết cấu để nén một hoặc nhiều dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh, dòng khí sôi và bất kỳ tổ hợp nào của chúng. Tương tự, các bộ phận làm sạch có thể hoặc bao gồm một hoặc nhiều thiết bị hạ áp suất (ví dụ, các bộ giãn hoặc van) được tạo kết cấu để hạ áp cho phần của dòng sản phẩm. Phần của dòng sản phẩm có thể là từ tầng bất kỳ trong số các tầng hấp phụ nằm trong hệ thống hấp phụ dao động.

Trong một hoặc nhiều phương án, các công nghệ theo sáng chế có thể được sử dụng cho bất kỳ loại quy trình hấp phụ dao động nào. Các quy trình hấp phụ dao động không giới hạn đối với sáng chế có thể bao gồm hấp phụ dao động áp suất (PSA), hấp phụ dao động áp suất chân không (VPSA), hấp phụ dao động nhiệt độ (TSA), hấp phụ dao động áp suất riêng phần (PPSA), hấp phụ dao động áp suất chu kỳ nhanh (RCPSA), hấp phụ dao động nhiệt chu kỳ nhanh (RCTSA), hấp phụ dao động áp suất riêng phần chu kỳ nhanh (RCPPSA), cũng như tổ hợp của các quy trình này. Ví dụ, quy trình hấp phụ dao động có thể bao gồm sự hấp phụ dao động áp suất tổ hợp và sự hấp phụ dao động nhiệt độ, mà có thể được thực hiện như quy trình chu kỳ nhanh. Các quy trình hấp phụ dao động làm ví dụ được mô tả trong các công bố đơn sáng chế Mỹ số 2008/0282892, 2008/0282887, 2008/0282886, 2008/0282885, 2008/0282884 and 20140013955, mà được kết hợp ở đây bằng cách tham chiếu đến toàn bộ các tài liệu này.

Bằng cách minh họa, quy trình hấp phụ dao động có thể bao gồm các bước cụ thể trong việc thực hiện chu kỳ. Quy trình hấp phụ dao động có thể bao gồm cơ cấu gia nhiệt, mà được tạo kết cấu để cho dòng gia nhiệt tại nhiệt độ cao đi qua bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng gia nhiệt được tạo kết cấu để tạo ra sự chênh lệch nhiệt độ nằm trong khoảng giữa 50°F (27,8°C) và 400°F (222,2°C), trong đó sự chênh lệch nhiệt độ là sự chênh lệch về nhiệt độ giữa đầu cấp của tầng hấp phụ và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ; và có thể kết hợp phần của dòng gia nhiệt với dòng tinh khiết mà đi qua bộ

phần tầng hấp phụ. Cơ cấu gia nhiệt có thể gồm có vòng kín gia nhiệt mà bao gồm bộ phận gia nhiệt được tạo kết cấu để gia nhiệt dòng gia nhiệt trước khi chuyển dòng gia nhiệt đến bộ tầng hấp phụ. Hơn nữa vòng kín gia nhiệt có thể bao gồm quạt gió thông chất lưu với bộ phận gia nhiệt và được tạo kết cấu để tăng áp suất của dòng gia nhiệt trước khi chuyển dòng gia nhiệt sang bộ phận tầng hấp phụ. Tương tự, cơ cấu gia nhiệt có thể bao gồm một hoặc nhiều ống dẫn và van mà được tạo kết cấu để cho dòng sản phẩm tinh khiết đi từ bộ phận tầng hấp phụ thứ hai qua bộ phận tầng hấp phụ.

Như ví dụ thứ nhất, quy trình hấp phụ dao động có thể bao gồm (i) bước hấp phụ để đưa dòng cấp dạng khí qua bộ phận tầng hấp phụ và sản xuất dòng sản phẩm, (ii) bước thổi gió để hạ thấp áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ và làm sạch tạp chất, (iii) bước gia nhiệt để gia nhiệt tầng hấp phụ, mà có thể bao gồm cơ cấu gia nhiệt (ví dụ, vòng kín gia nhiệt, nhiều bước làm sạch hoặc phương pháp phù hợp khác để gia nhiệt tầng hấp phụ; (iv) bước làm sạch mà bao gồm đưa dòng tinh khiết qua bộ phận tầng hấp phụ để loại bỏ tạp chất từ bộ phận tầng hấp phụ; (v) bước tái điều áp tùy chọn để tăng áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ và khi đó quy trình có thể lặp lại các bước (i) đến (v) đối với chu kỳ bổ sung. Như ví dụ thứ hai, quy trình hấp phụ dao động có thể bao gồm một hoặc nhiều bước làm sạch mà được sử dụng như bước gia nhiệt. Cụ thể, phương pháp có thể bao gồm (i) bước hấp phụ để đưa dòng cấp dạng khí qua bộ phận tầng hấp phụ và tạo ra dòng sản phẩm, (ii) bước thổi gió để hạ thấp áp suất nằm trong bộ phận tầng hấp phụ và làm sạch các tạp chất; (iii) bước làm sạch thứ nhất để đưa dòng tinh khiết thứ nhất qua bộ phận tầng hấp phụ tại áp suất làm sạch thứ nhất và áp suất làm sạch thứ nhất (ví dụ, nhỏ hơn 500°F (260°C) hoặc nằm trong khoảng từ 50°F (27,8°C) cao hơn dòng cấp và 450°F (232,2°C)) để loại bỏ tạp chất (ví dụ, dòng từ dòng tinh khiết tầng hấp phụ khác, mà có thể được gia nhiệt trước), (iv) bước làm sạch thứ hai để đưa dòng tinh khiết thứ hai qua bộ phận tầng hấp phụ tại áp suất làm sạch thứ hai và nhiệt độ làm sạch thứ hai (mà có thể nằm trong phạm vi nhiệt độ của nhiệt độ làm sạch thứ nhất) để loại bỏ tạp chất (ví dụ, dòng từ dòng tinh khiết tầng hấp phụ khác); (v) bước làm sạch thứ ba để đưa dòng tinh khiết thứ ba đi qua bộ phận tầng hấp phụ tại áp suất làm sạch thứ ba để loại bỏ tạp chất (ví dụ, dòng chưa đi qua tầng hấp phụ); (vi) bước tái điều áp tùy chọn để tăng áp suất nằm trong bộ phận tầng hấp phụ và khi đó quy trình có thể lặp lại các bước (i) đến (vi) đối với chu kỳ bổ sung. Như ví dụ

thứ ba, quy trình hấp phụ dao động có thể bao gồm (i) bước hấp phụ để đưa dòng cấp dạng khí qua bộ phận tầng hấp phụ và tạo ra dòng sản phẩm, (ii) bước thổi gió để hạ thấp áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ và làm sạch các tạp chất; (iii) bước làm sạch thứ nhất để đưa dòng tinh khiết thứ nhất qua bộ phận tầng hấp phụ tại áp suất làm sạch thứ nhất để loại bỏ các tạp chất, (iv) bước làm sạch thứ hai để đưa dòng tinh khiết thứ hai qua bộ phận tầng hấp phụ tại áp suất làm sạch thứ hai để loại bỏ các tạp chất, trong đó áp suất làm sạch thứ hai là thấp hơn áp suất làm sạch thứ nhất; (v) bước tái điều áp tùy chọn để tăng áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ và khi đó quy trình có thể lặp từ bước (i) đến (v) đối với chu kỳ bổ sung.

Hơn nữa, trong một hoặc nhiều phương án, nhiều vật liệu hấp phụ có thể được sử dụng để cung cấp cơ cấu cho việc phân tách. Các ví dụ bao gồm zeolit 3 A, 4A, 5 A, ZK4 và MOF-74. Tuy nhiên, quy trình không được giới hạn đến các vật liệu hấp phụ, và các vật liệu khác cũng có thể được sử dụng.

Theo một cách có ích, các kỹ thuật theo sáng chế đề xuất các nâng cao khác nhau qua các kỹ thuật thông thường. Ví dụ, các kỹ thuật theo sáng chế đề xuất thiết kế môđun, mà có thể được tạo kết cấu để làm giảm diện tích mặt bằng, trọng lượng, và chi phí đầu tư của hệ thống được sử dụng để xử lý khí đường ống được sử dụng để tạo ra dòng LNG mà phù hợp với thông số kỹ thuật LNG. Tương tự, vì quy trình này không sử dụng bất kỳ môi trường nước (ví dụ, chất tẩy amin), các bước khử nước tiếp theo được giảm thiểu hóa hoặc được loại bỏ. Hơn nữa, các kỹ thuật theo sáng chế có thể làm giảm hoặc loại bỏ việc sử dụng các dung môi, mà loại bỏ dung môi khỏi quy trình. Hơn nữa, các kỹ thuật theo sáng chế có thể bao gồm khí thải được giảm (ví dụ, loại bỏ các lỗ thông tái tạo amin) như được so sánh với các quy trình thông thường. Các kỹ thuật theo sáng chế còn bao gồm việc hiệu rõ hơn với sự tham chiếu đến các hình vẽ từ Fig.1 đến Fig.8 dưới đây.

Fig.1 là sơ đồ ba chiều của hệ thống hấp phụ dao động 100 có sáu bộ phận tầng hấp phụ và ống nối. Trong khi kết cấu này là ví dụ cụ thể, sáng chế liên quan đến các bộ phận tầng hấp phụ mà có thể được triển khai theo hướng đối xứng, hoặc bất đối xứng và/hoặc tổ hợp của nhiều để trượt phần cứng. Hơn nữa, kết cấu cụ thể này là cho

các mục đích minh họa như các kết cấu khác có thể bao gồm số lượng các bộ phận tầng hấp phụ khác nhau.

Trong hệ thống này, các bộ phận tầng hấp phụ, như bộ phận tầng hấp phụ 102, có thể được tạo kết cấu cho quy trình hấp phụ dao động theo chu kỳ để loại bỏ các tạp chất ra khỏi dòng cấp (ví dụ, chất lưu, khí, hoặc lỏng). Ví dụ, bộ phận tầng hấp phụ 102 có thể bao gồm các ống dẫn khác nhau (ví dụ, ống dẫn 104) để quản lý lưu lượng chất lỏng thông qua, đến hoặc từ tầng hấp phụ nằm trong bộ phận tầng hấp phụ 102. Các ống dẫn này từ các bộ phận tầng hấp phụ 102 có thể được ghép với ống góp (ví dụ, ống góp 1-6) để phân phối dòng chảy của dòng đến, từ hoặc giữa các thành phần. Tầng hấp phụ trong bộ phận tầng hấp phụ có thể phân tách một hoặc nhiều tạp chất từ dòng cấp để tạo thành dòng sản phẩm. Như có thể được đánh giá, các bộ phận tầng hấp phụ có thể bao gồm các ống dẫn khác để điều khiển dòng chất lưu khác như phần của quy trình, như dòng tinh khiết, dòng hạ áp, và tương tự. Cụ thể, các bộ phận tầng hấp phụ có thể bao gồm vòng kín gia nhiệt (không được thể hiện), như được lưu ý dưới đây, được sử dụng để loại bỏ tạp chất khỏi tầng hấp phụ. Hơn nữa, bộ phận tầng hấp phụ cũng có thể bao gồm một hoặc nhiều bình cân bằng, như bình cân bằng 108, mà được dành cho bộ phận tầng hấp phụ và có thể được dành cho một hoặc nhiều bước trong quy trình hấp phụ dao động.

Như ví dụ, mà được thảo luận dưới đây trong Fig.2, bộ phận tầng hấp phụ 1-2 có thể bao gồm vỏ, mà có thể bao gồm phần đầu và các phần thân khác, mà tạo ra vách ngăn về cơ bản không thấm khí tầng hấp phụ được lắp trong vỏ và nhiều van (ví dụ, van đĩa) cung cấp các đường dòng chất lưu qua các lỗ mở rong vỏ giữa vùng bên trong của hộp và các vị trí bên ngoài vùng bên trong của vỏ. Từng van đĩa có thể gồm phần tử đĩa mà có thể đặt vào trong đầu hoặc phần tử đĩa mà có thể đặt vào trong chân van riêng rẽ được chèn trong đầu (không được thể hiện). Kết cấu của các van đĩa có thể có các kiểu dáng van khác nhau hoặc kết cấu của các loại van đĩa. Ví dụ là, bộ phận tầng hấp phụ có thể gồm một hoặc nhiều van đĩa, từng van thông dòng chảy với ống dẫn khác kết hợp với các dòng khác nhau. Các van đĩa có thể cung cấp sự thông chất lưu giữa tầng hấp phụ và một trong số các ống dẫn, ống góp, ống phun tương ứng. Thuật ngữ "thông dòng chảy trực tiếp" hoặc "thông chất lưu trực tiếp" có nghĩa là thông dòng chảy trực tiếp mà không xen kẽ các van hoặc các phương tiện đóng kín để cản trở

dòng chảy. Có thể được đánh giá cao là các cải biến khác cũng có thể được hình dung trong phạm vi của sáng chế này.

Tầng hấp phụ bao gồm vật liệu hấp phụ rắn có khả năng hấp phụ một hoặc nhiều thành phần từ dòng cấp. Các vật liệu hấp phụ rắn này được chọn để bền với các điều kiện vật lý và hóa học trong bộ phận tầng hấp phụ 102 và có thể bao gồm các vật liệu kim loại, gốm hoặc các vật liệu khác, phụ thuộc vào quy trình hấp phụ. Các ví dụ nữa về các vật liệu hấp phụ được lưu ý thêm dưới đây.

Hình 2 là sơ đồ của phần của bộ phận tầng hấp phụ có bộ phận lắp ráp và ống góp van liên kết và phù hợp với phương án của sáng chế. Phần của bộ phận tầng hấp phụ 200, mà có thể là một phần của bộ phận tầng hấp phụ 102 của Fig.1, gồm vỏ hoặc thân, mà có thể gồm thành hình trụ 214 và lớp cách ly hình trụ 216 cùng với đầu phía trên 218 và đầu phía dưới 220. Tầng hấp phụ 210 được bố trí giữa đầu phía trên 218 và đầu phía dưới 220 và lớp cách ly 216, dẫn đến vùng mở phía trên, và vùng mở phía dưới, mà các vùng mở về cơ bản chứa thể tích đường dòng chảy mở. Thể tích đường dòng chảy mở như vậy trong bộ phận tầng hấp phụ chứa khí mà phải được kiểm soát cho các bước khác nhau. Vỏ có thể được tạo kết cấu để duy trì áp suất giữa 0 bar (bar tuyệt đối) (0 Pa) đến 100bar (10^7 Pa) trong vùng bên trong.

Đầu phía trên 218 và đầu phía dưới 220 chứa các lỗ mở mà các kết cấu van có thể được chèn vào, như lần lượt là các cụm van 222 đến 240, (ví dụ, các van đĩa). Thể tích đường dòng chảy mở phía trên hoặc phía dưới giữa đầu 218 hoặc 220 tương ứng và tầng hấp phụ 210 cũng có thể chứa các đường phân phối (không được thể hiện) mà phân phối trực tiếp chất lưu vào trong tầng hấp phụ 210. Đầu phía trên 218 chứa các lỗ mở khác nhau (không được thể hiện) để cung cấp các đường đi của dòng chảy qua các ống góp lối vào 242 và 244 và các ống góp lối ra 248, 250 và 252, trong khi đầu phía dưới 220 chứa các lỗ mở khác nhau (không được thể hiện) để cung cấp các đường đi của dòng chảy qua ống góp lối vào 254 và các ống góp lối ra 256, 258 và 260. Được bố trí thông chất lưu với các ống góp 242 đến 260 tương ứng là các cụm van 222 đến 240. Nếu các cụm van 222 đến 240 là các van đĩa, từng cụm van có thể bao gồm phần tử đĩa được nối với phần tử thân mà có thể được định vị trong ống lót hoặc ống dẫn hướng van. Phần tử thân có thể được nối với phương tiện dẫn động, như phương tiện

dẫn động (không được thể hiện), mà được tạo kết cấu để có chuyển động tuyến tính cản trở van tương ứng tới thân tương ứng. Như có thể được đánh giá cao, phương tiện dẫn động có thể được vận hành độc lập cho các bước khác nhau trong quy trình để kích hoạt van đơn hoặc phương tiện dẫn động đơn có thể được sử dụng để điều khiển hai hoặc nhiều van. Hơn nữa, trong khi các lỗ mở về cơ bản có thể giống nhau về kích thước, các lỗ mở và các van cửa vào cho các ống góp cửa vào có thể có đường kính nhỏ hơn đường kính của các ống góp cửa ra, cho rằng thể tích khí chuyển qua các cửa vào có thể có xu hướng thấp hơn thể tích sản phẩm chuyển qua các cửa ra.

Trong các quy trình hấp phụ dao động, chu kỳ bao gồm hai hoặc nhiều bước mà từng bước có khoảng thời gian nhất định, mà được tính tổng lại cùng nhau thành thời gian chu kỳ hoặc khoảng chu kỳ. Các bước này bao gồm tái sinh của tầng hấp phụ sau bước hấp phụ sử dụng các phương pháp khác nhau gồm dao động áp suất, dao động chân không, dao động nhiệt độ, làm sạch (thông qua bất kỳ loại chất lưu tinh khiết phù hợp nào cho quy trình), và tổ hợp của các phương pháp này. Ví dụ, chu kỳ PSA có thể gồm các bước hấp phụ, hạ áp, làm sạch và tái điều áp. Khi thực hiện phân tách ở nhiệt độ cao, việc hạ áp và tái điều áp (mà được đề cập đến như làm cân bằng) có thể được thực hiện trong nhiều bước để làm giảm sự thay đổi áp suất cho từng bước và nâng cao hiệu quả. Trong một số quy trình hấp phụ dao động, như các quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh, một phần cơ bản của tổng thời gian chu kỳ là ở trong quá trình tái sinh của tầng hấp phụ. Theo đó, việc giảm bất kỳ lượng thời gian cho việc tái sinh dẫn đến làm giảm tổng thời gian chu kỳ. Sự giảm này có thể cũng làm giảm toàn bộ kích thước của hệ thống hấp phụ dao động.

Như được lưu ý trên đây, các hệ thống thông thường chứa amin để loại bỏ tạp chất khỏi quy trình xử lý khí trong chuỗi hóa lỏng. Như ví dụ, hình 3 là sơ đồ của hệ thống thông thường 300 để xử lý của dòng cấp để tạo ra dòng khí tự nhiên được hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG). Như được thể hiện trên sơ đồ, hệ thống 300 bao gồm các thiết bị, như các bộ phận 302, 306, 308, 310, 312, 314, 318, 320 và 322, mà được sử dụng để xử lý dòng thành dòng cấp trong ống dẫn 304 và sau đó vào dòng LNG trong ống dẫn 316.

Quy trình bắt đầu tại bộ phận loại bỏ thủy ngân 302, mà nhận dòng và phân tách chì ra khỏi dòng đầu vào. Dòng đầu ra từ bộ phận loại bỏ thủy ngân 302 là dòng cấp được cung cấp qua ống dẫn 304 đến bộ phận amin 306. Bộ phận amin 306 được sử dụng để phân tách tạp chất khỏi dòng cấp. Các tạp chất có thể bao gồm CO₂ và loài chứa sulfua. Đầu ra từ bộ phận amin 306 được cấp cho bộ lọc 308. Bộ lọc 308 được tạo kết cấu để loại bỏ cả hạt và giọt chất lỏng mang từ bộ phận amin 306. Sau đó, đầu ra từ bộ lọc 308 được cung cấp từ bộ phận rây phân tử 310. Bộ phận rây phân tử 310 được tạo kết cấu để phân tách các tạp chất bổ sung, như nước từ dòng. Đầu ra được tách nước từ bộ phận rây phân tử 310 được chuyển đến bộ phận xử lý LNG dẫn 314. Khí tự nhiên hóa lỏng được đưa ra từ bộ phận xử lý LNG 314 là sản phẩm cuối cùng mà có thể được sử dụng cho kinh doanh, vận chuyển hoặc lưu trữ. Dòng bổ sung từ bộ phận xử lý LNG 314 có thể được đề cập đến như dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh, khí bốc hơi nhanh hoặc khí bốc hơi nhanh/nhiên liệu hoặc khí bốc hơi nhanh cuối và thấp hơn dòng phía metan tinh khiết cao áp suất thấp hơn. Dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh được chuyển đến bộ phận nén khí nhiên liệu. Phần của đầu ra bộ phận nén khí nhiên liệu 318 được gia nhiệt trong bộ phận gia nhiệt 320, mà là lò đốt hoặc bộ trao đổi nhiệt, và dòng thu được, mà là dòng tinh khiết, được sử dụng để dao động nhiệt độ để giải hấp của bộ phận rây phân tử 310. Dòng đầu ra tinh khiết được đưa ra khỏi bộ phận rây phân tử 310, được làm mát trong bộ phận trao đổi nhiệt 322. Dòng đầu ra tinh khiết được làm mát được tổ hợp với phần còn lại của đầu ra của bộ phận nén khí nhiên liệu 318 từ ống dẫn 326. Dòng thu được được đưa ra khỏi ống dẫn 328 để sử dụng như nhiên liệu. Ngoài ra, dòng khí sôi có thể còn được bổ sung một cách tùy chọn vào phần thượng lưu dòng đầu ra tinh khiết của ống dẫn 326.

Như được mô tả trên đây, các dòng cấp dạng khí tự nhiên cho các ứng dụng LNG có các thông số kỹ thuật nghiêm ngặt trên lượng CO₂ để đảm bảo tránh sự hình thành CO₂ rắn tại nhiệt độ lạnh. Như vậy, đối với các công trình LNG sử dụng khí đường ống như nguồn cấp thô, có thể sử dụng các bước xử lý bổ sung, như trong sáng chế. Ví dụ, kỹ thuật theo sáng chế có thể bao gồm kết cấu mà nhận khí cấp chất lượng đường ống, xử lý các dòng trong bộ phận rây phân tử để tách nước dòng trước khi đưa vào bộ phận tăng hấp phụ. Bộ phận tăng hấp phụ có thể thực hiện quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh để loại bỏ CO₂ từ dòng để thỏa mãn thông số kỹ thuật LNG, như được

thể hiện trên Fig.4. Tương tự, trong phương án thay thế, dòng khí đường ống được tách nước sử dụng quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh, như được thể hiện trên Fig.7, trong khi phương án thay thế khác có thể bao gồm quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh được tích hợp để khử nước và loại bỏ CO₂ khỏi dòng khí đường ống để thỏa mãn thông số kỹ thuật LNG, như được thể hiện trên Fig.8.

Fig.4 là sơ đồ minh họa hệ thống 400 xử lý dòng cấp để tạo ra dòng khí tự nhiên hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG) phù hợp với phương án của kỹ thuật theo sáng chế. Hệ thống bao gồm bộ phận rây phân tử 404 được tạo kết cấu để loại bỏ nước ngược dòng với bộ phận tầng hấp phụ 406 được tạo kết cấu để loại bỏ CO₂. Bộ phận tầng hấp phụ 406 có thể được sử dụng để thực hiện quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh, mà có thể bao gồm đưa các dòng khác nhau qua bộ phận tầng hấp phụ 406. Như là phần của quy trình này, bước gia nhiệt qua vòng kín gia nhiệt có thể được sử dụng cùng với bước làm sạch để loại bỏ các tạp chất từ tầng hấp phụ trong bộ phận tầng hấp phụ 406. Như có thể được đánh giá cao, bộ phận tách nước rây phân tử 404 và bộ phận tầng hấp phụ 406 có thể bao gồm nhiều bộ phận để thực hiện các quy trình tương ứng. Hơn nữa, bộ phận tách nước rây phân tử 404 và bộ phận tầng hấp phụ 406 mỗi bộ phận này có thể vận hành với các chu kỳ khác nhau, mà bao gồm các bước hấp phụ và các bước tái tạo trong các chu kỳ tương ứng. Tương tự, như thiết bị hoặc các bộ phận nhất định tương tự với các thiết bị trên Fig.3, các bộ phận này được viện dẫn đến bởi các ký hiệu tham chiếu giống nhau trong hệ thống 400 này.

Trong hệ thống này, quy trình bắt đầu tại bộ phận loại bỏ thủy ngân 302, mà nhận dòng đầu vào và phân tách chì ra khỏi dòng đầu vào. Dòng đầu ra từ bộ phận loại bỏ thủy ngân 302 được cung cấp qua ống dẫn 304 đến bộ phận lọc 402, mà được tạo kết cấu để loại bỏ bất kỳ vấn đề cụ thể nào từ dòng. Dòng đầu ra từ bộ phận lọc 402 là dòng cấp đến bộ phận tách nước rây phân tử 404, trong suốt bước hấp phụ của mình. Bộ phận khử nước rây phân tử 404 bao gồm vỏ có vật liệu hấp phụ được bố trí trong vỏ. Trong suốt bước hấp phụ, bộ phận tách nước rây phân tử 404 được tạo kết cấu để hạ thấp lượng nước của dòng để nhỏ hơn 0,1ppm bằng cách hấp phụ nước từ dòng vào vật liệu hấp phụ và đưa phần còn lại của dòng ra khỏi vật liệu hấp phụ và bộ phận. Dòng được tách nước từ bộ phận tách nước rây phân tử 404 được cung cấp cho bộ phận tầng hấp phụ 406 trong suốt bước hấp phụ. Bộ phận tầng hấp phụ 406, mà có thể

bao gồm một hoặc nhiều bộ phận tầng hấp phụ được thảo luận trên đây trong Fig.1 và Fig.2, có thể bao gồm vỏ với vật liệu hấp phụ được bố trí trong vỏ. Bộ phận tầng hấp phụ 406 có thể được tạo kết cấu để loại bỏ ít nhất phần của CO₂ từ dòng được tách nước (ví dụ, CO₂ với lượng nhỏ hơn 100ppm hoặc nhỏ hơn 50ppm) để tạo ra dòng cấp LNG.

Sau khi loại bỏ tạp chất trong các bộ phận 402, 404, và 406, dòng cấp LNG được cung cấp cho sự xử lý LNG theo cách tương tự như thảo luận ở Fig.3 nêu trên. Dòng cấp LNG được đưa qua bộ trao đổi nhiệt 312 và dòng cấp LNG được làm mát được cung cấp cho bộ phận xử lý LNG 314. Từ bộ phận xử lý LNG 314 này, dòng khí tự nhiên hóa lỏng, được cung cấp qua ống dẫn 316 và dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh được cung cấp cho bộ phận nén khí 318.

Trong kết cấu này, hệ thống bao gồm bước gia nhiệt mà được tổ hợp với bước làm sạch như phần của bước tái tạo trong chu kỳ cho bộ phận tầng hấp phụ 406. Dòng tinh khiết được tạo ra từ đầu ra từ bộ phận nén khí nhiên liệu 318, mà có thể được tổ hợp với dòng khí sôi từ ống dẫn 408. Dòng tinh khiết này được đưa qua bộ phận tầng hấp phụ 406 trong suốt bước làm sạch như khí làm sạch. Cách khác, trong các cấu hình khác, phần của dòng sản phẩm có thể được sử dụng như dòng tinh khiết hoặc được tổ hợp với các dòng khác để được sử dụng như dòng tinh khiết. Dòng gia nhiệt được tạo ra như phần của dòng đầu ra từ bộ phận tầng hấp phụ 406, mà được phân tách thành vòng kín gia nhiệt 410 (ví dụ, đường dòng chảy qua thiết bị gia nhiệt) mà đi qua bộ phận chứa 411, bộ phận gia nhiệt 412 và quạt gió 414. Bộ phận chứa 411 là bình mà được tạo kết cấu để chứa dòng gia nhiệt và là nguồn của phần của dòng gia nhiệt, và để cung cấp phần của dòng gia nhiệt như khí nhiên liệu qua ống dẫn hoặc thiết bị khác (không được thể hiện). Bộ phận gia nhiệt 412 có thể là lò đốt và/hoặc bộ trao đổi nhiệt mà được tạo kết cấu để tăng nhiệt độ của dòng gia nhiệt và đóng vai trò như cơ cấu để gia nhiệt chất lưu trong dòng gia nhiệt cho sự tái tạo bộ phận tầng hấp phụ 406, trong khi quạt gió 414 có thể là bộ nén hoặc thiết bị khác mà được tạo kết cấu để tăng áp suất của dòng gia nhiệt và/hoặc chuyển dòng gia nhiệt dọc theo đường dòng của vòng kín gia nhiệt 410.

Phần còn lại của dòng từ tầng hấp phụ 406 và phần được gia nhiệt mà được đi qua và xuất ra khỏi bộ phận tầng hấp phụ 406 được tổ hợp và được đi qua bộ phận điều hòa 416 đến bộ phận tách nước rây phân tử 404 cho bước tái tạo. Bộ phận điều hòa 416 có thể được sử dụng để gia nhiệt dòng được tổ hợp cho việc tái tạo bộ phận tách nước rây phân tử 404 và có thể cũng được sử dụng để tăng áp suất của dòng được tổ hợp. Cụ thể, bộ phận điều hòa có thể là bộ trao đổi nhiệt hoặc lò đốt được ghép với bộ nén (ví dụ, bộ nén đứng một mình hoặc một hoặc nhiều bước trong bộ phận nén khí nhiên liệu 318) Sau khi đầu ra của bộ trao đổi nhiệt 418 được sử dụng để gia nhiệt và tái tạo bộ phận tách nước rây phân tử 404, dòng tái tạo thoát khỏi bộ phận tách nước rây phân tử 404 và được chuyển qua bộ trao đổi nhiệt 418. Bộ trao đổi nhiệt 418 được tạo kết cấu để điều hòa dòng trong bộ trao đổi nhiệt 418. Sau đó, dòng từ bộ trao đổi nhiệt 418 được cung cấp như dòng khí nhiên liệu xử lý trong ống dẫn 422.

Như được lưu ý trên đây, các bộ phận tầng hấp phụ 406 có thể thể hiện hai hoặc nhiều hơn hai bộ phận tầng hấp phụ, mà có thể thực hiện chuỗi cụ thể các bước như phần của chu kỳ tương ứng. Các bộ phận tầng hấp phụ này có thể được sử dụng cùng nhau để quản lý dòng chất lưu trong các dòng khác nhau trong quy trình. Các bước có thể gồm bước hấp phụ được theo bởi một hoặc nhiều bước thổi gió, một hoặc nhiều bước gia nhiệt và một hoặc nhiều bước làm sạch, một cách tùy chọn, một hoặc nhiều bước tái điều áp. Ví dụ, chu kỳ có thể có chiều dài 90 giây và bao gồm các bước sau: bước giữ thứ nhất trong 0,25 giây, bước quạt gió thứ nhất trong 7 giây, bước giữ thứ hai trong 0,25 giây, bước quạt gió thứ hai trong 7 giây, bước giữ thứ ba trong 0,25 giây, bước gia nhiệt trong 36 giây, bước làm sạch trong 18 giây, bước giữ thứ tư trong 0,25 giây, bước tái điều áp trong 3 giây, và bước hấp phụ trong 18 giây. Như được đánh giá cao, thời gian chu kỳ được lựa chọn theo kết cấu là bước làm sạch, bước gia nhiệt và bước hấp phụ là liên tục. Trong các kết cấu như vậy, hai bộ phận tầng hấp phụ thực hiện bước gia nhiệt, một bộ phận tầng hấp phụ thực hiện bước hấp phụ, một bộ phận tầng hấp phụ thực hiện bước làm sạch và một bộ phận tầng hấp phụ thực hiện bước tái điều áp, bước quạt gió hoặc các bước giữ ở giữa.

Như ví dụ, quy trình có thể bao gồm bộ phận tầng hấp phụ 406 thể hiện việc sử dụng năm bộ phận tầng hấp phụ và chứa tổng 1365 kg zeolit 4A như vật liệu hấp phụ, mà được phân phối như lớp phủ trên vật nguyên khối kim loại vách mỏng được tạo kết

cầu. Trong ví dụ này, dung tích gia nhiệt thông thường của tầng hấp phụ là 2,5 Jun mỗi gam hấp phụ mỗi độ K (J/g chất hấp phụ/K). Chu kỳ hấp phụ dao động có thể chứa các bước khác nhau như nêu trong Bảng 1.

Bảng 1

Bước	Dãy	Khoảng thời gian	Thời gian bắt đầu	Thời gian kết thúc	Hướng
		(giây)	(giây)	(giây)	so với cấp
Giữ 1	1	0,25	0	0,25	không có dòng
Thổi gió 1	2	7	0,25	7,25	cùng dòng
Giữ 2	3	0,25	7,25	7,5	không có dòng
Thổi gió 2	4	7	7,5	14,5	cùng dòng
Giữ 3	5	0,25	14,5	14,75	không có dòng
Gia nhiệt vòng kín	6	36	14,75	50,75	bộ đếm
Làm sạch nóng	7	18	50,75	68,75	bộ đếm
Giữ 4	8	0,25	68,75	69	không có dòng
Tái điều áp cấp	9	3	69	72	cùng dòng
Cấp	10	18	72	90	cùng dòng
	tổng thời gian chu kỳ	90			

Như được thể hiện trên Bảng 1, bốn bước giữ được sử dụng, mà cả đầu phía trước và đầu phía sau của các tầng hấp phụ được khép đồng thời để đảm bảo sự đóng hoàn toàn các van đầu vào và đầu ra trước khi theo bước tiếp theo. Hướng dòng chảy của bước tiếp theo được biểu thị so với hướng dòng chảy của các dòng trong suốt bước hấp phụ cấp. Tổng chu kỳ 90 giây được sử dụng cho mỗi tầng hấp phụ, với năm tầng hấp phụ mỗi chu kỳ tại các bước khác nhau để cung cấp gần dòng chảy liên tục của các dòng.

Trong ví dụ này, các toàn bộ các tốc độ dòng, áp suất và nhiệt độ của các dòng khác nhau được biểu thị trong Bảng 2, cũng như việc chỉ ra các dòng khác nhau so với sơ đồ được thể hiện trên Fig.4. Nên lưu ý rằng các áp suất được biểu thị là các áp suất cuối cùng (ví dụ, áp suất của dòng mà tại cuối mỗi bước). Do đó, ví dụ, dòng tinh khiết có thể đi vào bộ phận 406 tại 6 bar (6×10^5 Pa), trải qua sự sụt áp suất qua tầng hấp phụ, và thoát ra khỏi bộ phận tại 5 bar (5×10^5 Pa) như được chỉ ra. Các nhiệt độ được thể hiện cho các bước Cấp, Làm sạch nóng, và Gia nhiệt vòng kín là các nhiệt độ ban đầu của các dòng này, trong đó các nhiệt độ được thể hiện cho Sản phẩm và hai bước Thổi gió là các nhiệt độ khí trung bình. Đối với dòng nhiên liệu, nhiệt độ được biểu thị là nhiệt độ của các dòng vòng kín tinh khiết và nóng như được chứa trong bộ phận lưu trữ 411. Các dòng BD1 và BD2 có thể được nén để được cung cấp đến bộ phận trao đổi nhiệt 312.

Bảng 2

Các điều kiện dòng và Tổng bộ phận dòng chảy

Dòng	Dòng như được thể hiện trên Fig.4	Lưu lượng (MSCFD)	Áp suất (bar)*	Trung bình Nhiệt độ (F)
Cấp	từ bộ phận 404	759,6	66,2 ($66,2 \times 10^5$ Pa)	77
Sản phẩm	đến bộ phận 312	715,6	64,9 ($64,9 \times 10^5$ Pa)	285
BD1	đến bộ phận 312	19,5	20 (20×10^5 Pa)	129
BD2	đến bộ phận 312	6,6	5 (5×10^5 Pa)	126
Làm sạch	từ bộ phận 318 cộng với dòng 408	71,3	5 (5×10^5 Pa)	400
Nhiên liệu 1	đến bộ phận 416	86,5	5 (5×10^5 Pa)	92
Vòng kín	vòng kín dòng 410	420,1	5 (5×10^5 Pa)	430

Các hợp chất của các dòng khác nhau trong ví dụ này được liệt kê chi tiết trong Bảng 3. Như được thể hiện, việc cấp chứa đáng kể CO₂ và hydrocacbon nặng C₂⁺, cũng như các mức theo dõi N₂ và H₂S. Giả thiết rằng bộ phận rây phân tử đã giảm các mức nước trong dòng cấp xuống 0,1ppm, như được thể hiện trên Bảng 3. Còn có thể thấy rằng nồng độ CO₂ được giảm trong bộ phận 406 từ giá trị cấp là 20.000ppm (ví dụ, 2%) để thấp đáng kể so với 50 ppm, như mong muốn cho việc cấp vào nhà máy LNG. Các mức H₂S cũng được giảm đáng kể. CO₂ loại bỏ được cô đặc và loại bỏ khỏi hệ thống bộ phận 406 trong dòng nhiên liệu.

Bảng 3

Tổng bộ phận cấu thành dòng

Dòng	Dòng như được thể hiện trên Fig.4	CO ₂ ppm	phân số mol CH ₄	phân số mol N ₂	H ₂ S ppm	H ₂ O ppm	phân số mol C ₂ ⁺
Cấp	từ bộ phận 404	20000	0,854	0,010	16,0	0,100	0,116
Sản phẩm	đến bộ phận 312	2,1	0,874	0,011	0,87	0,013	0,115
BD1	đến bộ phận 312	1,7	0,872	0,010	1,68	0,000	0,117
BD2	đến bộ phận 312	2,4	0,866	0,010	1,82	0,000	0,124
Làm sạch	từ bộ phận 318 cộng với dòng 408	1,0	0,900	0,100	0,000	0,000 0,000	
Nhiên liệu	đến bộ phận 416	173888	0,722	0,077	131	0,536	0,027
Vòng kín	vòng kín dòng 410	173882	0,722	0,077	131	0,541	0,027

Như phương án thay thế của hệ thống 400, bộ phận lọc 402 có thể được sử dụng trong các vị trí khác. Ví dụ, bộ phận lọc 402 có thể được bố trí ngược dòng so với bộ phận tách nước rây phân tử 404. Trong cấu hình khác, bộ phận lọc có thể được bố trí ngược dòng so với bộ phận tách nước rây phân tử 404 (ví dụ, thông chất lưu với bộ

phân tách nước rây phân tử 404). Trong cấu hình khác, dòng tinh khiết có thể bỏ qua bể chứa 411 và đi trực tiếp đến bộ phận 416.

Các hình vẽ Fig.5A, Fig.5B, Fig.5C, Fig.5D và Fig.5E là các sơ đồ minh họa 500, 520, 540, 560 và 580 phù hợp với cấu hình trên Fig.4 phù hợp với phương án của kỹ thuật theo sáng chế. Các sơ đồ 500, 520, 540, 560 và 580 còn mô tả các đặc điểm khác nhau được kết hợp với tầng hấp phụ trong bộ phận tầng hấp phụ 406 của Fig.4 và thời điểm các bước trong chu kỳ minh họa của quy trình hấp phụ dao động. Cụ thể, Fig.5A là sơ đồ khối 500 của đường đáp ứng nhiệt độ 508 và đường đáp ứng áp suất 510 cho các bước khác nhau trong chu kỳ. Các hình vẽ Fig.5B, Fig.5C, Fig.4D và Fig.5E là các sơ đồ tương ứng 520, 540, 560 và 580 minh họa lượng nước (H₂O) hấp phụ, lượng cacbon dioxit (CO₂) hấp phụ và phản hồi nhiệt độ dọc theo chiều dài tầng tiêu chuẩn đối với thời gian khác nhau và các bước khác nhau trong chu kỳ của sơ đồ 500.

Fig.5A là sơ đồ 500 của đường đáp ứng áp suất 510 được thể hiện dọc theo trục áp suất 502 theo bar đối với trục thời gian 504 theo giây (second - s) và đường đáp ứng nhiệt độ 508 được thể hiện dọc theo trục nhiệt độ 506 theo độ Fahrenheit (°F) đối với trục thời gian 504. Trong sơ đồ này, các đường đáp ứng 508 và 510 được thể hiện đối với các bước khác nhau trong chu kỳ. Chu kỳ minh họa đối với bộ phận tầng hấp phụ 406 có thể bao gồm thực hiện bước hấp phụ và bước tái tạo, với bước tái tạo bao gồm bước thổi gió, bước gia nhiệt và bước làm sạch. Cụ thể, bước thổi gió là chu kỳ thời gian từ không giây đến mười bốn giây, bước gia nhiệt là từ mười bốn giây đến năm mươi một giây, bước làm sạch là từ năm mươi một giây đến sáu mươi tám giây và bước hấp phụ là từ sáu mươi tám giây đến chín mươi giây. Như được thể hiện bởi đường đáp ứng nhiệt độ 508 trong suốt chu kỳ, nhiệt độ tăng từ nhiệt độ cấp là khoảng 85°F (29,4°C) trong suốt bước gia nhiệt để gia nhiệt nhiệt độ là khoảng 385°F (196,1°C), mà là về nhiệt độ mà bước làm sạch được thực hiện, và giảm trong suốt bước hấp phụ đến nhiệt độ cấp là khoảng 85°F (29,4°C). Tương tự, đường đáp ứng áp suất 510 trong suốt chu kỳ tăng trong suốt bước hấp phụ đến áp suất cấp và giảm trong bước tái tạo đến áp suất làm sạch. Fig.5B là sơ đồ 520 của đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 528, đường đáp ứng hấp phụ nước 530, và đường đáp ứng nhiệt độ 532 được thể hiện dọc theo chiều dài tầng tại thời gian 0 giây vào chu kỳ (ví dụ, tại cuối bước hấp

phụ và trước bước thổi gió). Trong sơ đồ 520 này, đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 528 và đường đáp ứng hấp phụ nước 530 được thể hiện dọc theo trục hấp phụ 522 theo milimol mỗi gam (millimoles per gram - mmol/g) so với trục chiều dài tầng 524 theo chiều dài tầng tiêu chuẩn (z/L) và bộ đáp ứng nhiệt độ 532 được thể hiện dọc theo trục nhiệt độ 526 theo °F so với trục chiều dài tầng 524. Như được thể hiện bởi đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 528, vùng sản phẩm gần đầu sản phẩm của tầng hấp phụ của tầng hấp phụ (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ lớn hơn 0,8 của chiều dài tầng tiêu chuẩn) không xuất hiện để có CO₂ được hấp phụ, trong khi nước được hấp phụ giới hạn ở vùng cấp gần đầu cấp (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ nhỏ hơn 0,1 của chiều dài tầng tiêu chuẩn). Hơn nữa, nhiệt độ dọc theo chiều dài tiêu chuẩn của tầng hấp phụ xuất hiện để thay đổi từ 85°F (29,4°C) đến 105°F (40,6°C).

Fig.5C là sơ đồ 540 của đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 548, đường đáp ứng hấp phụ nước 550, và đường đáp ứng nhiệt độ 552 được thể hiện dọc theo chiều dài tầng tại thời gian 14,5 giây vào chu kỳ (ví dụ, tại cuối bước thổi gió và đầu bước gia nhiệt). Trong sơ đồ 540 này, đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 548 và đường đáp ứng hấp phụ nước 550 được thể hiện dọc theo trục hấp phụ 542 theo mmol/g so với trục chiều dài tầng 544 theo z/L và đường đáp ứng nhiệt độ 552 được thể hiện dọc theo trục nhiệt độ 546 theo °F so với trục chiều dài tầng 544. Như được thể hiện bởi đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 548, vùng sản phẩm gần đầu sản phẩm của tầng hấp phụ của tầng hấp phụ (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ lớn hơn 0,8 của chiều dài tầng tiêu chuẩn) không xuất hiện để có CO₂ được hấp phụ, trong khi nước được hấp phụ giới hạn ở vùng cấp gần đầu cấp (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ nhỏ hơn 0,1 của chiều dài tầng tiêu chuẩn). Hơn nữa, nhiệt độ dọc theo chiều dài tiêu chuẩn của tầng hấp phụ xuất hiện để thay đổi từ 35°F (1,7°C) đến 105°F (40,6°C).

Fig.5D là sơ đồ 560 của đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 568, đường đáp ứng hấp phụ nước 570, và đường đáp ứng nhiệt độ 572 được thể hiện dọc theo chiều dài tầng tại thời gian 50,75 giây vào chu kỳ (ví dụ, tại cuối bước gia nhiệt và đầu bước làm sạch). Trong sơ đồ 560 này, đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 568 và đường đáp ứng hấp phụ nước 570 được thể hiện dọc theo trục hấp phụ 562 theo mmol/g so với trục chiều dài tầng 564 theo z/L và đường đáp ứng nhiệt độ 572 được thể hiện dọc theo trục nhiệt độ 566 theo °F so với trục chiều dài tầng 564. Như được thể hiện bởi đường đáp ứng

hấp phụ CO₂ 568, CO₂ được hấp phụ xuất hiện để cao hơn vùng cấp của tầng hấp phụ (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ nhỏ hơn 0,4 của chiều dài tầng tiêu chuẩn), trong khi nước được hấp phụ giới hạn ở vùng cấp gần đầu cấp (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ nhỏ hơn 0,1 của chiều dài tầng tiêu chuẩn). Bước gia nhiệt tăng lượng CO₂ được hấp phụ qua toàn bộ chiều dài của tầng hấp phụ. Hơn nữa, nhiệt độ dọc theo chiều dài tiêu chuẩn của tầng hấp phụ xuất hiện để thay đổi từ 105°F (40,6°C) đến 410°F (210°C), mà dựa trên vị trí trong tầng hấp phụ.

Từ sơ đồ 560, đường đáp ứng nhiệt độ 572 biểu thị rằng bước gia nhiệt không tăng nhiệt độ của toàn bộ tầng hấp phụ đến nhiệt tương tự. Đầu sản phẩm của tầng hấp phụ có nhiệt độ khoảng 410°F (210°C) tại đầu cấp của tầng hấp phụ có nhiệt độ khoảng 105°F (40,6°C). Chênh lệch nhiệt độ thu được giữa đầu cấp và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ là khoảng 305°F (169,4°C) (ví dụ, 410°F trừ 105°F (210°C trừ 40,6°C)). Vùng cấp là từ đầu cấp của tầng hấp phụ đến 0,05 của chiều dài tầng tiêu chuẩn, vùng sản phẩm gia nhiệt là từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 0,4 của chiều dài tầng tiêu chuẩn và vùng mặt gia nhiệt là từ 0,05 của chiều dài tầng tiêu chuẩn đến 0,4 của chiều dài tầng tiêu chuẩn.

Fig.5E là sơ đồ 580 của đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 588, đường đáp ứng hấp phụ nước 590, và đường đáp ứng nhiệt độ 592 được thể hiện dọc theo chiều dài tầng tại thời gian 68,75 giây vào chu kỳ (ví dụ, tại cuối bước làm sạch và đầu bước hấp phụ). Trong sơ đồ 580 này, đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 588 và đường đáp ứng hấp phụ nước 590 được thể hiện dọc theo trục hấp phụ 582 theo mmol/g so với trục chiều dài tầng 584 theo z/L và đường đáp ứng nhiệt độ 592 được thể hiện dọc theo trục nhiệt độ 586 theo °F so với trục chiều dài tầng 584. Như được thể hiện bởi đường đáp ứng hấp phụ CO₂ 588, CO₂ được hấp phụ xuất hiện để cao hơn vùng cấp của tầng hấp phụ (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ nhỏ hơn 0,2 của chiều dài tầng tiêu chuẩn), trong khi nước được hấp phụ giới hạn ở vùng cấp gần đầu cấp (ví dụ, phần của tầng hấp phụ là từ nhỏ hơn 0,1 của chiều dài tầng tiêu chuẩn). Hơn nữa, nhiệt độ dọc theo chiều dài tiêu chuẩn của tầng hấp phụ xuất hiện để thay đổi từ 210°F (98,9°C) đến 405°F (207,2°C).

Fig.6A là sơ đồ minh họa hệ thống gia nhiệt 600 tạo ra vòng kín gia nhiệt và các bộ phận tầng hấp phụ được kết hợp 602, 603, 604, 605, và 606 phù hợp với phương án của kỹ thuật theo sáng chế. Vòng kín gia nhiệt này có thể được sử dụng để gia nhiệt các tầng hấp phụ trong các bộ phận tầng hấp phụ tương ứng 602, 603, 604, 605, và 606. Trong suốt chu kỳ này, một hoặc nhiều bộ phận trong số các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606 có thể được cung cấp dòng gia nhiệt, mà tại nhiệt độ gia nhiệt và áp suất gia nhiệt. Để vận hành, vòng kín gia nhiệt có thể bao gồm bể chứa 601, bộ phận gia nhiệt 618 và quạt gió 616, mà được kết nối cùng với các ống dẫn và ống góp, như các ống dẫn 610 và 612 để cung cấp đường dòng chất lưu qua các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606. Bể chứa 601 có thể là bình chứa mà có vỏ tạo ra vùng bên trong. Bể chứa 601 có thể được tạo kết cấu để nhận chất lưu gia nhiệt từ bộ phận tầng hấp phụ, để chứa thể tích của chất lưu gia nhiệt cho dòng gia nhiệt, để cung cấp chất lưu gia nhiệt cho bộ phận gia nhiệt 618 và cung cấp phần của chất lưu gia nhiệt cho khí nhiên liệu qua ống dẫn 614. Bộ phận gia nhiệt 618 có thể là lò đốt và/hoặc bộ trao đổi nhiệt, mà được tạo kết cấu để nhận dòng gia nhiệt từ bể chứa 601, để gia nhiệt chất lưu gia nhiệt, sao cho chất lưu gia nhiệt có thể được cung cấp cho các bộ phận tầng hấp phụ tương ứng 602, 603, 604, 605, và 606 tại nhiệt độ gia nhiệt; và phát ra dòng gia nhiệt đến quạt gió 616. Quạt gió 616 có thể là bộ nén hoặc thành phần khác mà có thể chuyển dòng gia nhiệt qua các bộ phận tầng hấp phụ. Quạt gió có thể được tạo kết cấu để tăng áp suất của dòng gia nhiệt, sao cho dòng gia nhiệt có thể sử dụng các chênh lệch áp suất để đi qua các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606.

Trong suốt bước gia nhiệt, dòng gia nhiệt được chuyển từ bể chứa 601 đến bộ phận gia nhiệt 618 để tăng nhiệt độ của dòng gia nhiệt. Khi đó, dòng được gia nhiệt được chuyển từ bộ phận gia nhiệt 618 đến quạt gió 616, mà được tạo kết cấu để tăng áp suất của dòng gia nhiệt. Từ quạt gió 616, dòng gia nhiệt đi qua ống dẫn 610 đến một hoặc nhiều bộ phận của các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606 tại nhiệt độ gia nhiệt. Từ các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606, dòng được cung cấp đến bể chứa 601 và ống dẫn 612.

Trong suốt bước gia nhiệt, dòng gia nhiệt được chuyển từ bể chứa 601 đến bộ phận gia nhiệt 618 để tăng nhiệt độ của dòng gia nhiệt. Khi đó, dòng được gia nhiệt

được chuyển từ bộ phận gia nhiệt 618 đến quạt gió 616, mà được tạo kết cấu để tăng áp suất của dòng gia nhiệt. Từ quạt gió 616, dòng gia nhiệt đi qua ống dẫn 610 và được tổ hợp với dòng tinh khiết qua ống dẫn 620 trước khi được cung cấp đến một hoặc nhiều bộ phận của các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606 tại nhiệt độ gia nhiệt. Từ các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606, dòng được cung cấp đến bể chứa 601 và ống dẫn 612. Để duy trì sự cân bằng khối lượng trong vòng kín gia nhiệt, phần của dòng từ các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606 được chuyển để kinh doanh nhiên liệu.

Kết cấu thay thế, bước gia nhiệt có thể bao gồm gia nhiệt phần tầng hấp phụ nằm trong bộ phận tầng hấp phụ. Ví dụ, phần của tầng hấp phụ mà được gia nhiệt có thể là từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 80% độ dài của tầng, từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 60% độ dài của tầng hoặc từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 40% độ dài của tầng. Trong cấu hình này, bộ phận gia nhiệt điện tử có thể được sử dụng để gia nhiệt để kim loại trong tầng hấp phụ hoặc phần cụ thể của tầng hấp phụ để được gia nhiệt có thể được gia nhiệt bởi dòng gia nhiệt. Trong cấu hình sau, bộ phận tầng hấp phụ có thể bao gồm khoảng trống hoặc chỗ rạn trong bộ phận tầng hấp phụ tại vị trí mong muốn (vị trí gia nhiệt) dọc theo chiều dài của tầng hấp phụ. Một hoặc nhiều van có thể được sử dụng để đưa dòng gia nhiệt đến tầng hấp phụ tại vị trí gia nhiệt và đưa dòng gia nhiệt từ vị trí gia nhiệt đến đầu sản phẩm của tầng hấp phụ.

Trong khi các dòng cấp có CO₂ với lượng có thể nằm trong khoảng từ 20.000ppm đến 5.000ppm, vòng kín gia nhiệt riêng và bước gia nhiệt có thể bao gồm dưới dạng vòng kín gia nhiệt, như lưu ý trên đây. Tuy nhiên, tại nồng độ CO₂ thấp, kết cấu có thể bao gồm vòng kín gia nhiệt được biến đổi mà kết cấu tinh khiết gấp đôi. Ví dụ, kết cấu này có thể hữu ích đối với các dòng có nồng độ CO₂ thấp là nhỏ hơn 2.000ppm hoặc nhỏ hơn 400ppm. Bằng ví dụ, dòng cấp dạng khí có thể bao gồm hydrocacbon và CO₂, trong đó CO₂ với lượng nằm trong phạm vi một trăm phần triệu theo thể tích và nhỏ hơn hoặc bằng 5% mol của dòng cấp dạng khí hoặc trong phạm vi hai trăm phần triệu theo thể tích và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 2% mol của dòng cấp dạng khí. Bước gia nhiệt có thể cũng cung cấp việc làm sạch bổ sung bằng cách loại bỏ một hoặc nhiều tạp chất từ bộ phận tầng hấp phụ.

Fig.6B là sơ đồ minh họa khác của hệ thống gia nhiệt 650 có vòng kín gia nhiệt được biến đổi mà cung cấp kết cấu làm sạch kép cho các bộ phận tầng hấp phụ được kết hợp 602, 603, 604, 605, và 606 phù hợp với phương án của kỹ thuật theo sáng chế. Vòng kín gia nhiệt được biến đổi này có thể được sử dụng để gia nhiệt và làm sạch các tầng hấp phụ trong các bộ phận tầng hấp phụ tương ứng 602, 603, 604, 605, và 606 trong các bước khác nhau trong chu kỳ.

Vòng kín gia nhiệt được biến đổi có thể bao gồm việc thực hiện sự làm sạch kép với các cải biên khác nhau cho chu kỳ. Ví dụ, quy trình có thể là một hoặc nhiều bước thổi gió, hai hoặc nhiều hơn hai bước làm sạch (ví dụ, có thể được đề cập đến như bước gia nhiệt hoặc được sử dụng để gia nhiệt các tầng hấp phụ), và bước tái điều áp. Ví dụ cụ thể được thể hiện viển dẫn đến Fig.6B. Trong sơ đồ 650 này, các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606 thực hiện các bước khác nhau trong chu kỳ. Bộ phận tầng hấp phụ 602 thực hiện bước hấp phụ mà bao gồm đưa dòng cấp từ ống dẫn 652 qua tầng hấp phụ trong bộ phận tầng hấp phụ 602 đến ống dẫn 654. Sự vận hành bước này có thể là giống với quy trình trước đó như được lưu ý trên đây. Sự vận hành của bước thổi gió được thể hiện bởi bộ phận tầng hấp phụ 606, mà có dòng thổi gió được đưa vào ống dẫn 664 và sau đó được trộn với dòng trong ống dẫn 654. Khi đó, bước gia nhiệt có thể được thực hiện với dòng tinh khiết. Đối với kết cấu làm sạch kép này, dòng tinh khiết đi qua tầng hấp phụ thứ nhất như bước làm sạch cuối cùng và sau đó đi qua tầng hấp phụ thứ hai như bước làm sạch ban đầu. Sự làm sạch kép này được thể hiện khi dòng tinh khiết được đi qua bộ phận tầng hấp phụ 603 từ ống dẫn 656 và đến bộ phận nén 658 và sau đó dòng nén đi qua bộ phận gia nhiệt 660 trước khi đi qua tầng hấp phụ thứ hai trong bộ phận tầng hấp phụ 604, sau đó đến ống dẫn 662. Gia nhiệt với dòng tinh khiết tái sử dụng được gia nhiệt, mà là dòng tinh khiết ban đầu, được bắt nguồn từ dòng tinh khiết đầu ra của tầng hấp phụ khác, như bộ phận tầng hấp phụ 603, và chứa CO₂ được loại bỏ từ tầng hấp phụ trước. Dòng có thể hoặc không thể được nén đến áp suất cao hơn và/hoặc được gia nhiệt (ví dụ, có thể bỏ qua bộ phận nén 658 và bộ phận gia nhiệt 660). Tương tự, nếu cần nhiệt bổ sung, dòng có thể được tái sử dụng hoặc các bộ phận gia nhiệt bổ sung có thể được sử dụng trong dòng tinh khiết. Dòng tinh khiết cuối cùng (ví dụ, dòng metan sạch từ khí bốc hơi nhanh LNG tương tự với bước làm sạch trong quy trình trên Fig.4) có thể bao gồm lượng nhỏ hoặc không

CO₂. Bộ phận tầng hấp phụ 605 có thể nằm trong bước giữ. Trong khi không được thể hiện, một bước bổ sung có thể là bước tái điều áp mà bao gồm việc đặt tầng hấp phụ vào dịch vụ hoặc bước hấp phụ. Hơn nữa, trong các phương án nhất định, dòng sản phẩm tinh khiết có thể được tái sử dụng hoặc có thể được sử dụng như dòng tinh khiết cho tầng hấp phụ khác. Nhiệt độ của vòng kín gia nhiệt rời khỏi tầng hấp phụ là thấp hơn nhiệt độ đầu vào vòng kín gia nhiệt là ít nhất 50°F (27,8°C).

Fig.6C là sơ đồ 670 của đường đáp ứng áp suất 672 được thể hiện dọc theo trục áp suất 674 theo bar đối với trục thời gian 676 theo giây (second - s) và đường đáp ứng nhiệt độ 678 được thể hiện dọc theo trục nhiệt độ 680 theo độ Fahrenheit (°F) đối với trục thời gian 676. Trong sơ đồ này, các đường đáp ứng 672 và 678 được thể hiện đối với các bước khác nhau trong chu kỳ. Chu kỳ minh họa cho bộ phận tầng hấp phụ, mà có thể là một trong số các bộ phận tầng hấp phụ 602, 603, 604, 605, và 606 của Fig.6B, có thể bao gồm thực hiện bước hấp phụ và bước tái tạo, với bước tái tạo bao gồm bước thổi gió thứ nhất, bước làm sạch thứ nhất, bước thổi gió thứ hai và bước làm sạch thứ hai, mà được thực hiện trong chu kỳ có thời gian là 200 giây.

Chu kỳ này là dành cho dòng cấp với CO₂ với lượng 2.000 ppm. Đối với các nồng độ CO₂ thấp hơn này, bước hấp phụ có thể được thực hiện trong thời gian dài hơn do dung tích hấp phụ nhiều hơn do ít CO₂ để hấp phụ. Vì kết cấu này là dành cho các bộ phận tầng hấp phụ, hai bộ phận tầng hấp phụ có thể nhận dòng cấp cùng lúc. Các bước hấp phụ lâu hơn có thể dẫn đến việc gia nhiệt ít thường xuyên của các bộ phận tầng hấp phụ, mà cũng dẫn đến ít khí gia nhiệt như phần trăm cấp. Trong kết cấu làm sạch, mỗi bộ phận tầng hấp phụ phải chịu hai bước làm sạch, mà là bước làm sạch áp suất cao và bước làm sạch áp suất thấp. Dòng tinh khiết áp suất cao cho bước làm sạch áp suất cao thu được từ dòng tinh khiết đầu ra (ví dụ, khí thoát) của bước làm sạch áp suất thấp hơn, để dòng tinh khiết áp suất cao được thực hiện với khí “bẩn” mà có thể chứa CO₂ với lượng khoảng 4% mol. Bước làm sạch áp suất cao được sử dụng để gia nhiệt tầng hấp phụ. Sau bước làm sạch áp suất cao, áp suất trong tầng hấp phụ được giảm thêm và phải chịu việc làm sạch “sạch” áp suất thấp mà đến từ khí bốc hơi nhanh LNG và/hoặc BOG. Việc làm sạch áp suất thấp tái tạo tầng hấp phụ như dòng tinh khiết cuối cùng. Một cách có lợi, cấu hình làm sạch kép có thể không bao gồm các bộ gia nhiệt hoặc bộ nén.

Fig.7 là sơ đồ minh họa hệ thống 700 xử lý dòng cấp để tạo ra dòng khí tự nhiên hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG) phù hợp với phương án của kỹ thuật theo sáng chế. Trong hệ thống 700 này, dòng khí đường ống có thể được tách nước sử dụng bộ phận tầng hấp phụ cho việc tách nước, như bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702, mà thông chất lưu với bộ phận tầng hấp phụ 406, mà được cấu hình để loại bỏ phần của CO₂. Các bộ phận tầng hấp phụ 702 và 406 có thể được sử dụng để thực hiện các quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh, mà có thể bao gồm đưa các dòng khác nhau qua các bộ phận tầng hấp phụ 702 và 406. Như là phần của quy trình này, bước gia nhiệt qua vòng kín gia nhiệt 410 có thể được sử dụng cùng với bước làm sạch để loại bỏ các tạp chất từ các tầng hấp phụ trong các bộ phận tầng hấp phụ 406 và 702. Như có thể được đánh giá cao, bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 và bộ phận tầng hấp phụ 406 có thể bao gồm nhiều bộ phận để thực hiện các quy trình trong các bộ phận tương ứng. Hơn nữa, bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 và bộ phận tầng hấp phụ 406 mỗi bộ phận này có thể vận hành với các chu kỳ khác nhau, mà bao gồm các bước hấp phụ và các bước tái tạo trong các chu kỳ tương ứng. Tương tự, như thiết bị hoặc các bộ phận nhất định tương tự với các thiết bị trên Fig.3 và Fig.4, thiết bị và các bộ phận này được viện dẫn đến bởi các ký hiệu tham chiếu giống nhau trong hệ thống 700 này.

Trong hệ thống này, quy trình bắt đầu tại bộ phận loại bỏ thủy ngân 302, mà nhận dòng đầu vào và phân tách chì ra khỏi dòng đầu vào. Dòng đầu ra từ bộ phận loại bỏ thủy ngân 302 được cung cấp qua ống dẫn 304 đến bộ phận lọc 402, mà được tạo kết cấu để loại bỏ bất kỳ vấn đề cụ thể nào từ dòng. Dòng đầu ra từ bộ phận lọc 402 là dòng cấp đến bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702, trong suốt bước hấp phụ của mình. Bộ phận tầng hấp phụ tách nước bao gồm vỏ có vật liệu hấp phụ được bố trí trong vỏ, mà có thể là một trong số các bộ phận tầng hấp phụ được lưu ý trên đây trong Fig.1 và Fig.2. Trong suốt bước hấp phụ, bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 được tạo kết cấu để hạ thấp lượng nước của dòng để nhỏ hơn 0,1ppm nước bằng cách hấp phụ nước từ dòng vào vật liệu hấp phụ và đưa phần còn lại của dòng ra khỏi vật liệu hấp phụ và bộ phận. Dòng được tách nước từ bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 được cung cấp cho bộ phận tầng hấp phụ dao động 406 trong suốt bước hấp phụ của mình, mà có thể được xử lý bằng cách tương tự như được lưu ý trên đây khi thảo luận trên Fig.4. Sau sự loại bỏ các tạp chất trong các bộ phận 402, 702 và 406, dòng cấp LNG phải chịu sự xử lý

LNG trong bộ trao đổi nhiệt 312, bộ phận xử lý LNG 314 và bộ phận nén khí nhiên liệu 318 bằng cách tương tự như được thảo luận trên Fig.4. Các kết quả xử lý, trong dòng khí tự nhiên hóa lỏng, được cung cấp qua ống dẫn 316 và dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh được cung cấp cho bộ phận nén khí 318.

Trong kết cấu này, hệ thống 700 bao gồm bước làm sạch mà được tổ hợp với bước gia nhiệt như phần của bước tái tạo trong chu kỳ cho bộ phận tầng hấp phụ 406. Dòng tinh khiết được tạo ra từ đầu ra từ bộ phận nén khí nhiên liệu 318, mà có thể được tổ hợp với dòng khí sôi từ ống dẫn 408 và được đi qua bộ phận tầng hấp phụ 406 trong suốt bước làm sạch của chu kỳ như khí làm sạch. Dòng gia nhiệt được thực hiện như phần của dòng đầu ra từ bộ phận tầng hấp phụ 406 được tách thành vòng kín gia nhiệt 410, mà đi qua bộ phận chứa 411, bộ phận gia nhiệt 412 và quạt gió 414, mà vận hành theo cách tương tự như được mô tả trên Fig.4. Phần còn lại của dòng từ tầng hấp phụ 406 và phần được gia nhiệt mà được đi qua và xuất ra khỏi bộ phận tầng hấp phụ 406 được tổ hợp và được đi qua đến bộ phận điều hòa 704. Bộ phận điều hòa 704 có thể được sử dụng để gia nhiệt dòng được tổ hợp cho việc tái tạo bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 và có thể cũng được sử dụng để tăng áp suất của dòng được tổ hợp. Cụ thể, bộ phận điều hòa 704 có thể là bộ trao đổi nhiệt hoặc lò đốt được ghép với bộ nén (ví dụ, bộ nén đứng một mình hoặc một bước trong bộ phận nén khí nhiên liệu 318) Đầu ra từ bộ phận điều hòa 704 là được đưa đến bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702, cho bước tái tạo. Dòng gia nhiệt tầng hấp phụ của bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 để loại bỏ nước khỏi tầng hấp phụ. Dòng đầu ra từ bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 trong suốt bước làm sạch thoát khỏi bộ phận tầng hấp phụ tách nước 702 và được đưa qua bộ trao đổi nhiệt 418. Bộ trao đổi nhiệt 418 điều chỉnh nhiệt độ của dòng và dòng thu được có thể được cấp như dòng khí nhiên liệu của quy trình trong ống dẫn 422.

Fig.7 là sơ đồ minh họa hệ thống 800 xử lý dòng cấp để tạo ra dòng khí tự nhiên hóa lỏng (liquefied natural gas - LNG) phù hợp với phương án của kỹ thuật theo sáng chế. Trong hệ thống 800, quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh được tích hợp được sử dụng để tách nước và loại bỏ CO₂ từ dòng khí đường ống để tạo ra dòng mà phù hợp với thông số kỹ thuật LNG. Cụ thể, dòng đầu vào (ví dụ, dòng khí đường ống) có thể được tách nước và có CO₂ được loại bỏ bằng cách sử dụng bộ phận tầng hấp

phụ 802. Bộ phận tầng hấp phụ 802 có thể được sử dụng để thực hiện các quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh, mà có thể bao gồm đưa các dòng khác nhau qua bộ phận tầng hấp phụ 802. Như là phần của quy trình này, bước gia nhiệt qua vòng kín gia nhiệt 410 có thể được sử dụng cùng với bước làm sạch để loại bỏ các tạp chất từ tầng hấp phụ trong bộ phận tầng hấp phụ 802. Như có thể được đánh giá cao, bộ phận tầng hấp phụ 802 có thể bao gồm nhiều bộ phận để thực hiện các quy trình. Hơn nữa, bộ phận tầng hấp phụ 802 có thể vận hành với chu kỳ, mà bao gồm các bước hấp phụ và các bước tái tạo. Tương tự, như thiết bị hoặc các bộ phận nhất định tương tự với các thiết bị trên Fig.3 và Fig.4, thiết bị và các bộ phận này được viện dẫn đến bởi các ký hiệu tham chiếu giống nhau trong hệ thống 800 này.

Trong hệ thống này, quy trình bắt đầu tại bộ phận loại bỏ thủy ngân 302, mà nhận dòng đầu vào và phân tách chì ra khỏi dòng đầu vào, và bộ phận lọc 402, mà nhận dòng qua ống dẫn 304 và được tạo kết cấu để loại bỏ bất kỳ vật chất cụ thể nào từ dòng. Dòng đầu ra từ bộ phận lọc 402 là dòng cấp đến bộ phận tầng hấp phụ 802, trong suốt bước hấp phụ của mình. Bộ phận tầng hấp phụ 802 bao gồm vỏ có vật liệu hấp phụ được bố trí trong vỏ, mà có thể là một trong số các bộ phận tầng hấp phụ được lưu ý trên đây trong Fig.1 và Fig.2. Tầng hấp phụ có thể bao gồm vật liệu hấp phụ mà được tạo kết cấu để có tính chọn lọc so với nước và CO₂ cao hơn và/hoặc có thể bao gồm hai hoặc nhiều vật liệu hấp phụ, với mỗi vật liệu có tính chọn lọc cao hơn so với nước và CO₂. Trong suốt bước hấp phụ, bộ phận tầng hấp phụ 802 được tạo kết cấu để hạ thấp lượng nước của dòng để nhỏ hơn 0,1ppm nước bằng cách hấp phụ nước từ dòng vào tầng hấp phụ; để hạ thấp lượng CO₂ của dòng dưới 50ppm bằng cách hấp phụ CO₂ từ dòng vào tầng hấp phụ; và để đưa phần còn lại của dòng ra khỏi tầng hấp phụ và bộ phận. Dòng được khử tạp chất trong các bộ phận tầng hấp phụ 802 được cung cấp như dòng cấp LNG đến bộ trao đổi nhiệt 312, bộ phận xử lý LNG 314 và bộ phận nén khí nhiên liệu 318, mà có thể vận hành theo cách tương tự như thảo luận trên Fig.4. Các kết quả xử lý, trong dòng khí tự nhiên hóa lỏng, được cung cấp qua ống dẫn 316 và dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh được cung cấp cho bộ phận nén khí 318.

Trong kết cấu này, hệ thống 800 bao gồm bước làm sạch mà được tổ hợp với bước gia nhiệt như phần của bước tái tạo trong chu kỳ cho bộ phận tầng hấp phụ 802. Dòng tinh khiết được tạo ra từ đầu ra từ bộ phận nén khí nhiên liệu 318, mà có thể

được tổ hợp với dòng khí sôi từ ống dẫn 408 và được đi qua bộ phận tầng hấp phụ 802 trong suốt bước làm sạch của chu kỳ như khí làm sạch. Dòng gia nhiệt được thực hiện như phần của dòng đầu ra từ bộ phận tầng hấp phụ 802 được tách thành vòng kín gia nhiệt 410, mà đi qua bộ phận chứa 411, bộ phận gia nhiệt 412 và quạt gió 414, mà vận hành theo cách tương tự như được mô tả trên Fig.4. Phần còn lại của dòng từ tầng hấp phụ 802 và phần được gia nhiệt mà được đi qua và xuất ra khỏi bộ phận tầng hấp phụ 802 được tổ hợp và được đi qua đến bộ trao đổi nhiệt 418. Bộ trao đổi nhiệt 418 điều chỉnh nhiệt độ của dòng và dòng thu được có thể được cấp như dòng khí nhiên liệu của quy trình trong ống dẫn 422.

Trong một hoặc nhiều phương án, vật liệu có thể bao gồm vật liệu hấp phụ được hỗ trợ trên bộ đỡ không hấp phụ. Các vật liệu hấp phụ có thể bao gồm nhôm ôxit, zeolit vi mao quản, cacbon, zeolit cation, zeolit silic oxit cao, vật liệu lỗ mao quản trung bình được sắp xếp silic cao, các vật liệu gel sol, các vật liệu photpho nhôm và oxi (aluminum phosphorous and oxygen - ALPO), (các vật liệu lỗ vi mao quản và lỗ mao quản trung bình chứa chủ yếu photpho nhôm và oxi), các vật liệu photpho nhôm silic oxit và oxi (silicon aluminum phosphorous and oxygen - SAPO) (các vật liệu lỗ vi mao quản và mao quản trung bình chứa chủ yếu photpho nhôm silic oxit và oxi), các vật liệu khung hữu cơ kim loại (metal organic framework - MOF) (các vật liệu lỗ vi mao quản và mao quản trung bình chứa khung hữu cơ kim loại) và các vật liệu khung imidazolat zeolit (zeolitic imidazolate frameworks - ZIF) (các vật liệu lỗ vi mao quản và mao quản trung bình chứa các khung imidazolat zeolit). Các vật liệu khác bao gồm chất hấp phụ lỗ vi mao quản và mao quản trung bình được phân chức năng với nhóm chức năng. Các ví dụ về các nhóm chức năng bao gồm: các amin sơ cấp, thứ cấp, cấp ba và các nhóm cơ bản không nguyên thủy khác như amidin, guanidin và biguanit.

Trong một hoặc nhiều phương án, bộ phận tầng hấp phụ có thể được sử dụng để tách các tạp chất từ dòng cấp. Phương pháp có thể bao gồm đưa dòng cấp dạng khí tại áp suất cấp qua bộ phận tầng hấp phụ có bộ tiếp xúc chất hấp phụ để phân tách một hoặc nhiều tạp chất từ dòng cấp dạng khí để tạo ra dòng sản phẩm, trong đó bộ tiếp xúc chất hấp phụ có phần thứ nhất và phần thứ hai; gián đoạn dòng chảy của dòng cấp dạng khí; thực hiện bước hạ áp, trong đó bước hạ áp hạ áp suất nằm trong bộ phận

tầng hấp phụ; thực hiện bước gia nhiệt, trong đó bước gia nhiệt tăng nhiệt độ của bộ phận tầng hấp phụ để tạo ra sự chênh lệch nhiệt độ giữa đầu cấp của tầng hấp phụ và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ; và thực hiện bước làm sạch, trong đó bước làm sạch hạ áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ; thực hiện bước tái điều áp, trong đó bước tái điều áp tăng áp suất trong bộ phận tầng hấp phụ; và lặp lại các bước a) đến e) cho ít nhất một chu kỳ bổ sung. Hơn nữa, trong một hoặc nhiều phương án, bộ phận tầng hấp phụ có thể bao gồm tầng hấp phụ mà có thể được sử dụng cho việc phân tách khí đích tạo ra hỗn hợp khí. Chất hấp phụ thường bao gồm vật liệu hấp phụ được đỡ trên bộ đỡ không hấp phụ, hoặc bộ tiếp xúc. Các bộ tiếp xúc này chứa các kênh dòng chảy về cơ bản song song trong đó 20 phần trăm thể tích, tốt hơn là 15 phần trăm thể tích hoặc ít hơn thể tích lỗ mở của bộ tiếp xúc, ngoại trừ các kênh dòng chảy, là có số lỗ lớn hơn khoảng 20 ăng-xtrôm. Kênh dòng chảy được thực hiện để phần của bộ tiếp xúc mà khí chảy trong đó, nếu sự chênh lệch áp suất trạng thái ổn định được áp dụng giữa điểm hoặc vị trí mà tại đó dòng cấp đi vào bộ tiếp xúc và điểm hoặc vị trí mà tại đó dòng sản phẩm rời khỏi bộ tiếp xúc. Trong bộ tiếp xúc, tầng hấp phụ được kết hợp vào vách của kênh dòng chảy.

Trong một hoặc nhiều phương án, khi sử dụng RCTSA, tổng thời gian chu kỳ thường nhỏ hơn 600 giây, tốt hơn là nhỏ hơn 180 giây, tốt hơn là nhỏ hơn 90 giây, và thậm chí tốt hơn là nhỏ hơn 60 giây. Trong phương án khác, quy trình hấp phụ dao động chu kỳ nhanh có thể có tổng thời gian chu kỳ nhỏ hơn 600 giây, tốt hơn là nhỏ hơn 180 giây, tốt hơn là nhỏ hơn 90 giây, và thậm chí tốt hơn là nhỏ hơn 60 giây.

Xét đến nhiều các phương án khả thi mà các nguyên tắc cơ bản của sáng chế có thể được áp dụng, nên nhận ra rằng các phương án minh họa chỉ là các ví dụ tốt hơn của sáng chế và không làm hạn chế phạm vi của sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình loại bỏ tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí, trong đó quy trình này bao gồm các bước:

a) thực hiện một hoặc nhiều bước hấp phụ, trong đó mỗi bước trong số một hoặc nhiều bước hấp phụ này bao gồm việc đưa dòng cấp dạng khí qua bộ phận tầng hấp phụ có tầng hấp phụ để phân tách một hoặc nhiều tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí để tạo ra dòng sản phẩm;

b) thực hiện một hoặc nhiều bước hạ áp, trong đó áp suất nằm trong bộ phận tầng hấp phụ được giảm bởi lượng được định trước với mỗi bước hạ áp liên tục;

c) thực hiện bước gia nhiệt, trong đó bước gia nhiệt này bao gồm việc đưa dòng gia nhiệt tại nhiệt độ gia nhiệt vào bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng gia nhiệt được đưa theo hướng nghịch so với hướng của dòng cấp và nhiệt độ gia nhiệt là thấp hơn 500°F (260°C);

d) thực hiện bước làm sạch, trong đó bước làm sạch này bao gồm việc đưa dòng tinh khiết vào bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng tinh khiết được đưa theo hướng nghịch so với hướng của dòng cấp và trong đó chênh lệch nhiệt độ xuất hiện tại cuối bước làm sạch nằm trong khoảng từ 50°F (27,8°C) đến 400°F (222,2°C), trong đó chênh lệch nhiệt độ là chênh lệch về nhiệt độ giữa đầu cấp của tầng hấp phụ và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ; và

e) lặp lại các bước a) đến d) đối với ít nhất một chu kỳ bổ sung, trong đó khoảng chu kỳ là trong thời gian lớn hơn 1 giây và nhỏ hơn 600 giây,

trong đó việc đưa dòng gia nhiệt bao gồm việc gia nhiệt phần của tầng hấp phụ từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 40% chiều dài tầng đến trong phạm vi 10% nhiệt độ gia nhiệt.

2. Quy trình theo điểm 1, trong đó chênh lệch nhiệt độ là nằm trong khoảng từ 125°F (69,4°C) và 350°F (194,4°C).

3. Quy trình theo điểm 1, trong đó chênh lệch nhiệt độ là nằm trong khoảng từ 175°F (97,2°C) và 300°F (166,7°C).

4. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó dòng cấp dạng khí là dòng chứa hydrocacbon có hydrocacbon với lượng nhiều hơn một phần trăm theo thể tích dựa trên tổng thể tích dòng cấp.
5. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó dòng cấp dạng khí chứa các hydrocacbon và CO₂, trong đó CO₂ với lượng nằm trong khoảng từ một trăm phần triệu theo thể tích và nhỏ hơn hoặc bằng khoảng 5% theo thể tích của dòng cấp dạng khí.
6. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 5, trong đó bộ phận tăng hấp phụ được tạo kết cấu để hạ thấp mức cacbon dioxit (CO₂) đến thấp hơn 50 phần triệu.
7. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 6, trong đó dòng cấp dạng khí được cung cấp tại áp suất cấp nằm trong khoảng giữa 50 bar tuyệt đối (bar absolute - bara) (50×10^5 Pa) và 150 bar tuyệt đối (15×10^6 Pa) và tại nhiệt độ cấp nằm trong khoảng giữa -40°F (-40°C) và 200°F (93,3°C).
8. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 7, trong đó việc đưa dòng gia nhiệt bao gồm việc gia nhiệt phần của tầng hấp phụ từ đầu sản phẩm của tầng hấp phụ đến 10% chiều dài tầng đến nhiệt độ chênh lệch nằm giữa nhiệt độ gia nhiệt và chênh lệch nhiệt độ.
9. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 8, trong đó quy trình này còn bao gồm các bước:
 - đưa dòng đầu vào đến bộ phận hấp phụ tách nước; và
 - hấp phụ phần của H₂O từ dòng đầu vào trong suốt bước hấp phụ, trong đó phần còn lại của dòng đầu vào là dòng cấp dạng khí; và
 - đưa phần H₂O ra khỏi bộ phận hấp phụ tách nước trong suốt bước tái tạo.
10. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 9, trong đó quy trình này còn bao gồm các bước:
 - đưa dòng sản phẩm từ bộ phận tăng hấp phụ đến bộ phận xử lý khí tự nhiên hóa lỏng (LNG); và

phân tách dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh từ bộ phận xử lý LNG để được sử dụng như ít nhất phần của dòng tinh khiết.

11. Quy trình theo điểm 10, trong đó quy trình này còn bao gồm tổ hợp dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh từ bộ phận xử lý LNG với dòng khí sôi để tạo ra dòng tinh khiết.

12. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 11, trong đó thời gian chu kỳ là lớn hơn 2 giây và nhỏ hơn 300 giây.

13. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 12, trong đó việc đưa dòng gia nhiệt tại nhiệt độ gia nhiệt vào bộ phận tầng hấp phụ còn bao gồm việc tái sử dụng dòng gia nhiệt qua tầng hấp phụ bằng vòng kín gia nhiệt.

14. Quy trình theo điểm 13, trong đó quy trình này còn bao gồm việc đưa dòng gia nhiệt đến bộ phận gia nhiệt để tăng nhiệt độ của dòng gia nhiệt trước khi đưa dòng gia nhiệt tại nhiệt độ gia nhiệt vào bộ phận tầng hấp phụ.

15. Quy trình theo điểm 14, trong đó quy trình này còn bao gồm việc đưa dòng gia nhiệt từ quạt gió đến bộ phận gia nhiệt để tăng áp suất của dòng gia nhiệt trước khi đưa dòng gia nhiệt vào bộ phận tầng hấp phụ.

16. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 15, trong đó quy trình này còn bao gồm việc thực hiện bước làm sạch thứ hai trước bước làm sạch, trong đó bước làm sạch thứ hai đi qua dòng tinh khiết thứ hai vào bộ phận tầng hấp phụ để loại bỏ tạp chất khỏi bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng tinh khiết thứ hai là dòng sản phẩm tinh khiết đầu ra từ bộ phận tầng hấp phụ khác.

17. Quy trình theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 12, trong đó việc đưa dòng gia nhiệt tại nhiệt độ gia nhiệt vào bộ phận tầng hấp phụ còn bao gồm việc đưa dòng tinh khiết đầu ra ra khỏi bộ phận tầng hấp phụ.

18. Hệ thống loại bỏ tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí, trong đó hệ thống này bao gồm:

bộ phận tầng hấp phụ được tạo kết cấu để phân tách các tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí và để đưa ra dòng sản phẩm, trong đó bộ phận tầng hấp phụ này bao gồm tầng hấp phụ;

bộ phận xử lý khí tự nhiên được hóa lỏng được thông chất lưu với bộ phận tầng hấp phụ và được tạo kết cấu để nhận dòng sản phẩm và phân tách dòng sản phẩm thành dòng sản phẩm cuối cùng và dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh; và

một hoặc nhiều bộ phận làm sạch được thông chất lưu với bộ phận xử lý khí tự nhiên được hóa lỏng và được tạo kết cấu để cung cấp dòng tinh khiết cho bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng tinh khiết được cung cấp từ một trong số một phần của dòng sản phẩm, dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh, dòng khí sôi và tổ hợp của chúng;

cơ cấu gia nhiệt được thông chất lưu với bộ phận tầng hấp phụ và được tạo kết cấu để:

đưa dòng gia nhiệt tại nhiệt độ cao đi vào bộ phận tầng hấp phụ, trong đó dòng gia nhiệt được tạo kết cấu để tạo ra sự chênh lệch nhiệt độ nằm trong khoảng giữa 50°F (27,8°C) và 400°F (222,2°C), trong đó sự chênh lệch nhiệt độ là sự chênh lệch về nhiệt độ giữa đầu cấp của tầng hấp phụ và đầu sản phẩm của tầng hấp phụ;

kết hợp phần của dòng gia nhiệt với dòng tinh khiết mà được đi qua bộ phận tầng hấp phụ,

trong đó nhiệt độ tại đầu cấp của tầng hấp phụ thấp hơn nhiệt độ tại đầu sản phẩm của tầng hấp phụ.

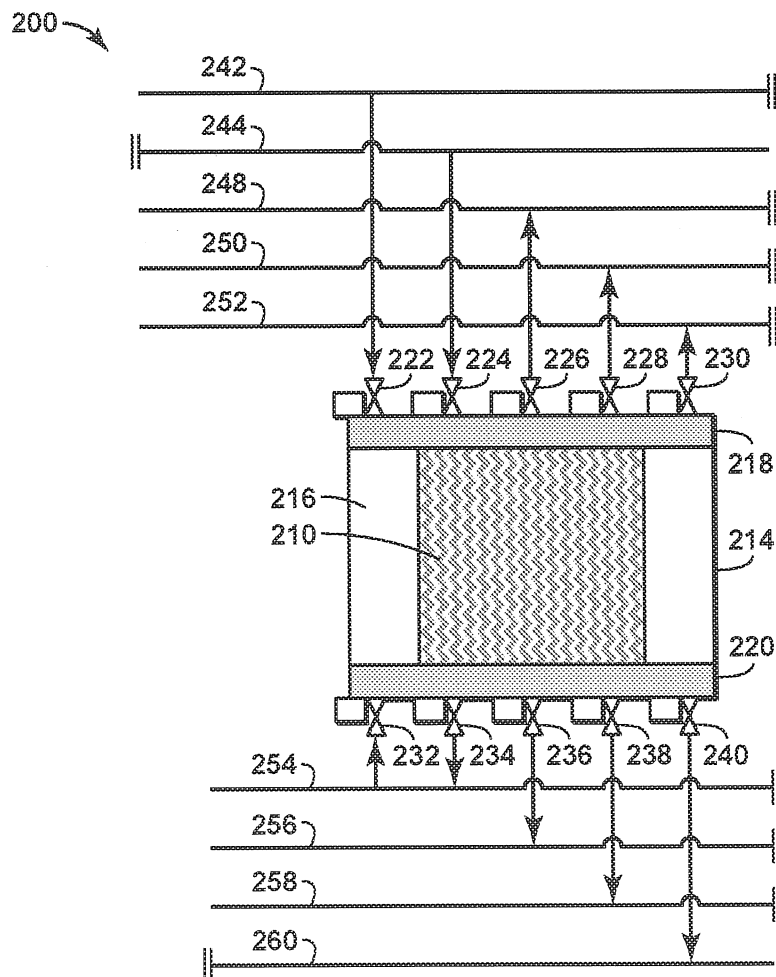
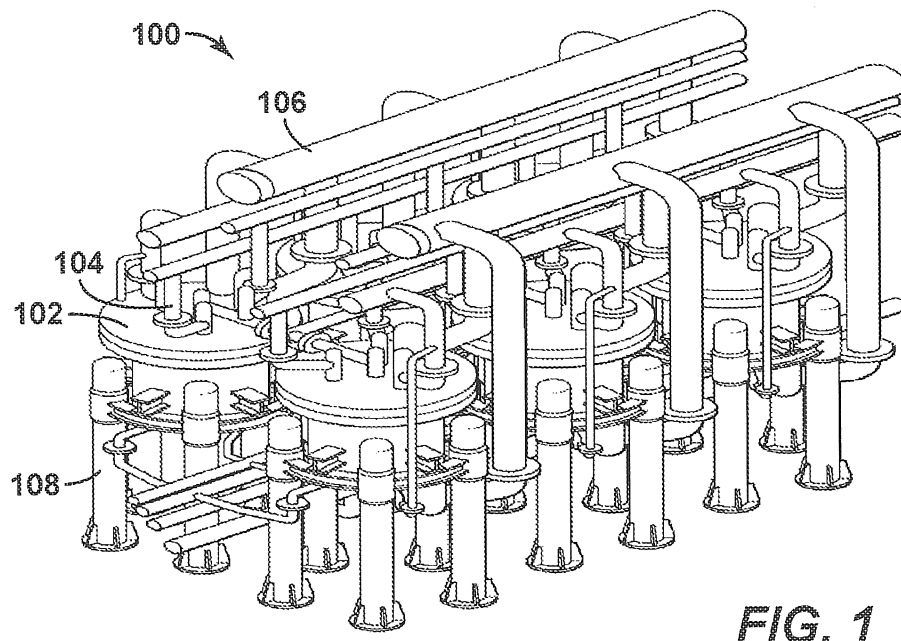
19. Hệ thống theo điểm 18, trong đó hệ thống này còn bao gồm bộ phận hấp phụ tách nước được thông chất lưu với bộ phận tầng hấp phụ và được tạo kết cấu để nhận dòng đầu vào và tạo ra dòng cấp dạng khí, trong đó bộ phận hấp phụ tách nước được tạo kết cấu để hấp phụ phần của H₂O từ dòng đầu vào trong suốt bước hấp phụ, trong đó phần còn lại của dòng đầu vào là dòng cấp dạng khí; và để đưa phần của H₂O ra khỏi bộ phận hấp phụ tách nước trong suốt bước tái tạo.

20. Hệ thống theo điểm 19, trong đó bộ phận hấp phụ tách nước là bộ phận hấp phụ rây phân tử.

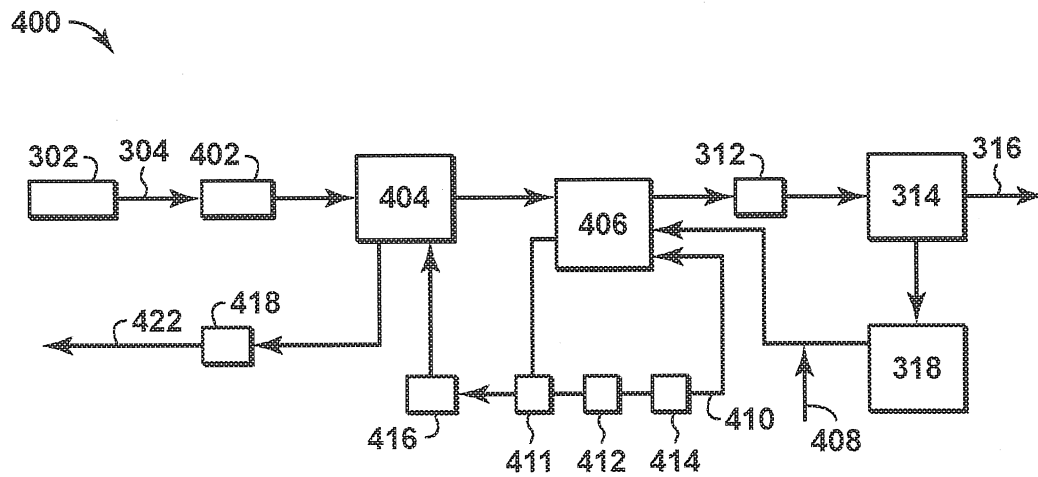
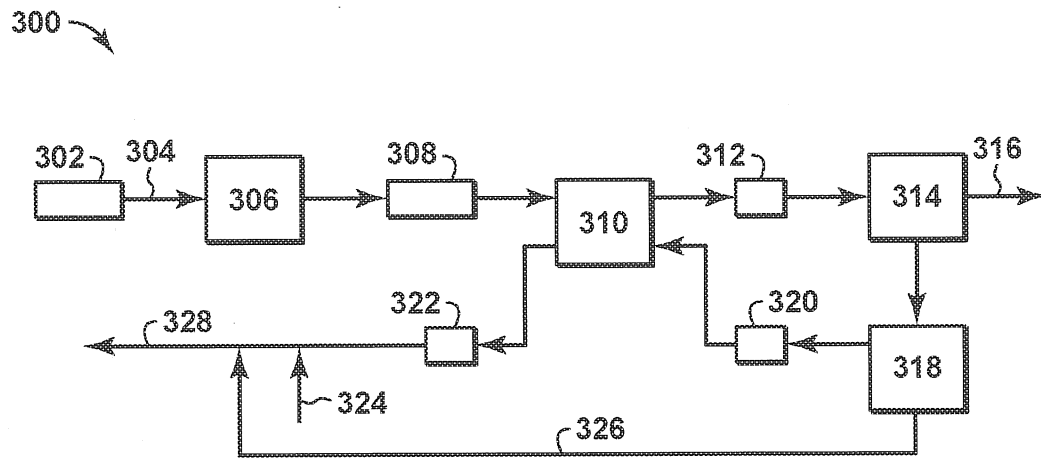
21. Hệ thống theo điểm 19, trong đó bộ phận hấp phụ tách nước là bộ phận tầng hấp phụ được tạo kết cấu để thực hiện quy trình hấp phụ dao động nhiệt chu kỳ nhanh.

22. Hệ thống theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 18 đến 21, trong đó cơ cấu gia nhiệt là vòng kín gia nhiệt mà bao gồm bộ phận gia nhiệt được tạo kết cấu để gia nhiệt dòng gia nhiệt trước khi đưa dòng gia nhiệt đến bộ tầng hấp phụ.
23. Hệ thống theo điểm 22, trong đó vòng kín gia nhiệt bao gồm quạt gió thông chất lưu với bộ phận gia nhiệt và được tạo kết cấu để tăng áp suất của dòng gia nhiệt trước khi đưa dòng gia nhiệt đến bộ phận tầng hấp phụ.
24. Hệ thống theo điểm 18, trong đó hệ thống này còn bao gồm bộ phận tầng hấp phụ thứ hai được tạo kết cấu để phân tách tạp chất khỏi dòng cấp dạng khí và cung cấp dòng sản phẩm, trong đó dòng cấp dạng khí bao gồm tầng hấp phụ thứ hai; và để đưa dòng tinh khiết đầu ra từ bộ phận tầng hấp phụ thứ hai như dòng gia nhiệt.
25. Hệ thống theo điểm 18, trong đó cơ cấu gia nhiệt bao gồm một hoặc nhiều ống dẫn và van mà được tạo kết cấu để cho dòng sản phẩm tinh khiết đi từ bộ phận tầng hấp phụ thứ hai qua bộ phận tầng hấp phụ.
26. Hệ thống theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 18 đến 25, trong đó một hoặc nhiều bộ phận làm sạch bao gồm một hoặc nhiều máy nén được tạo kết cấu để nén một hoặc nhiều dòng nhiên liệu bốc hơi nhanh, dòng khí sôi và bất kỳ tổ hợp nào của chúng.

1/6



2/6



3/6

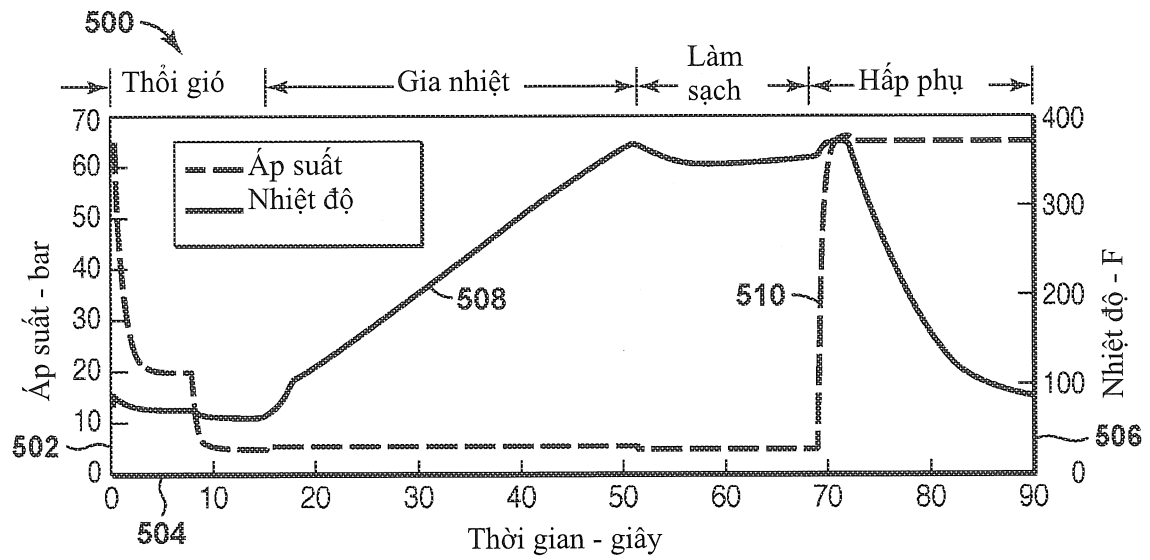


FIG. 5A

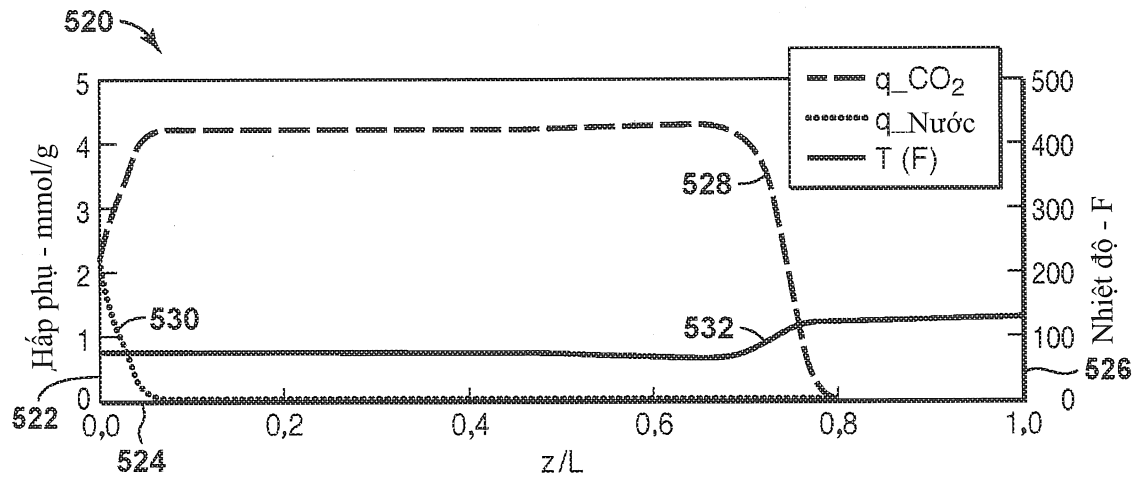


FIG. 5B

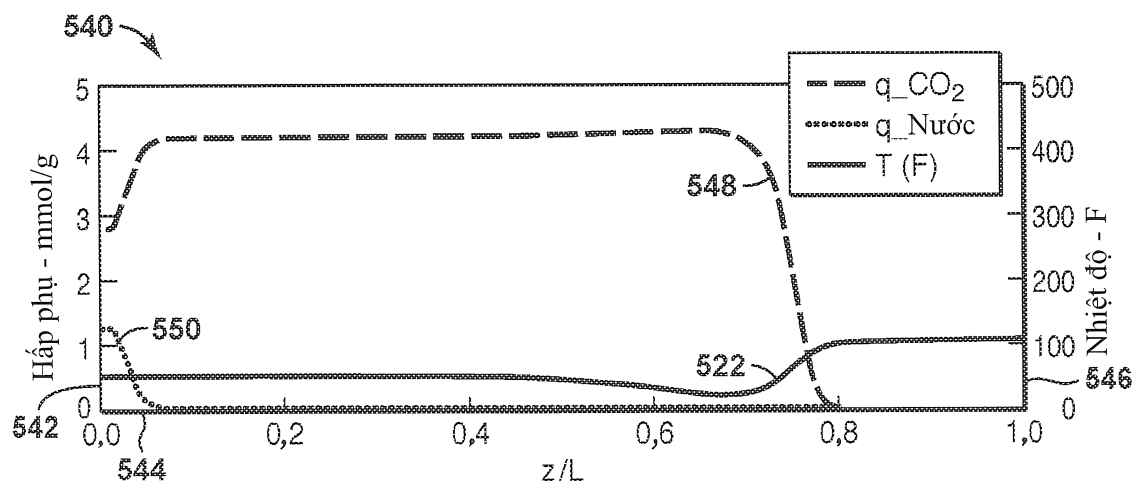


FIG. 5C

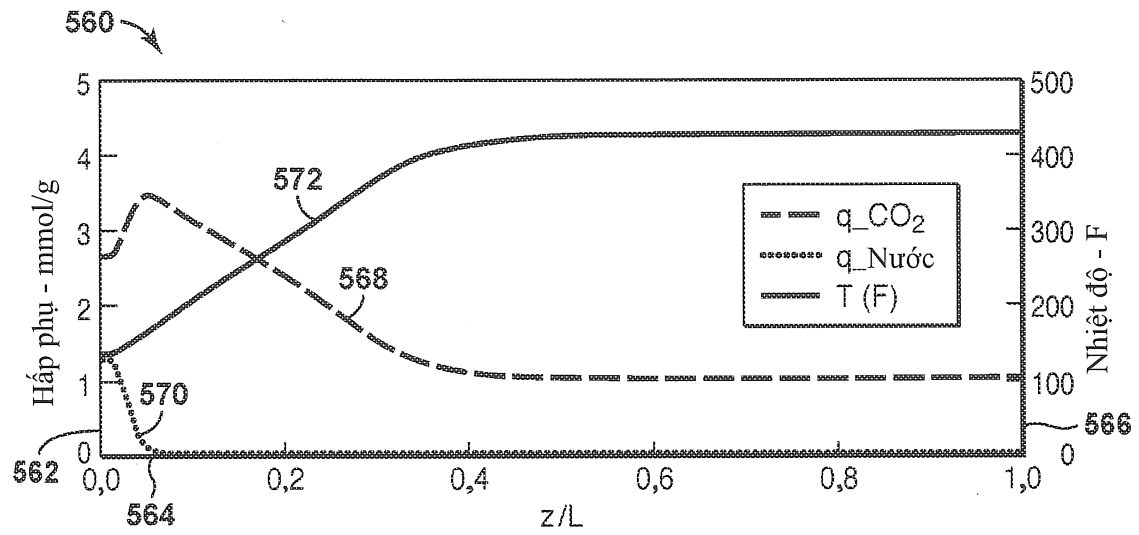


FIG. 5D

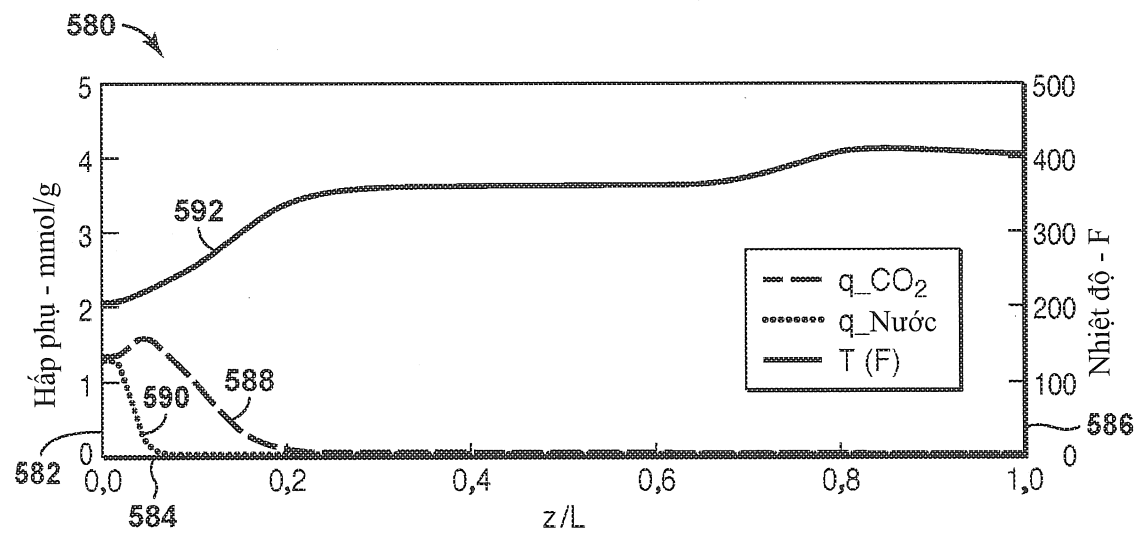


FIG. 5E

5/6

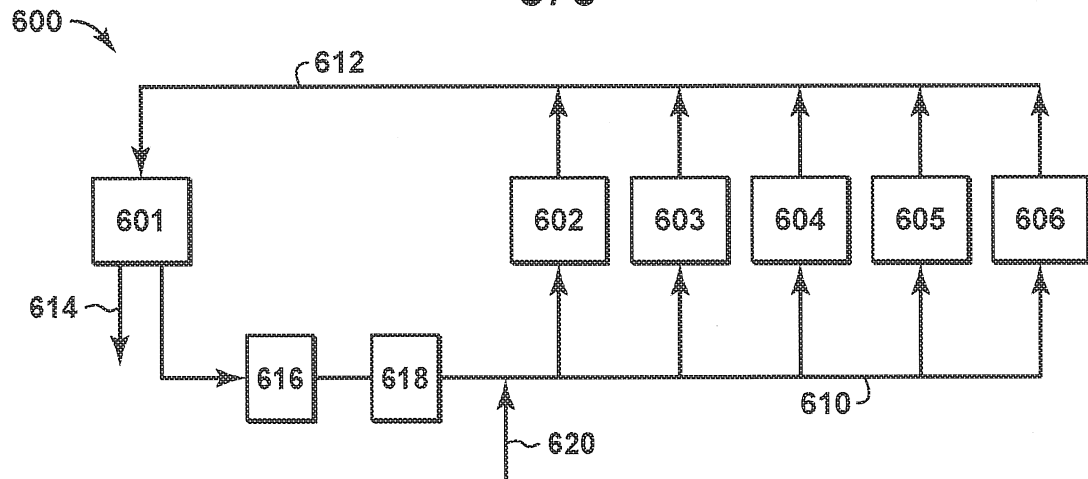


FIG. 6A

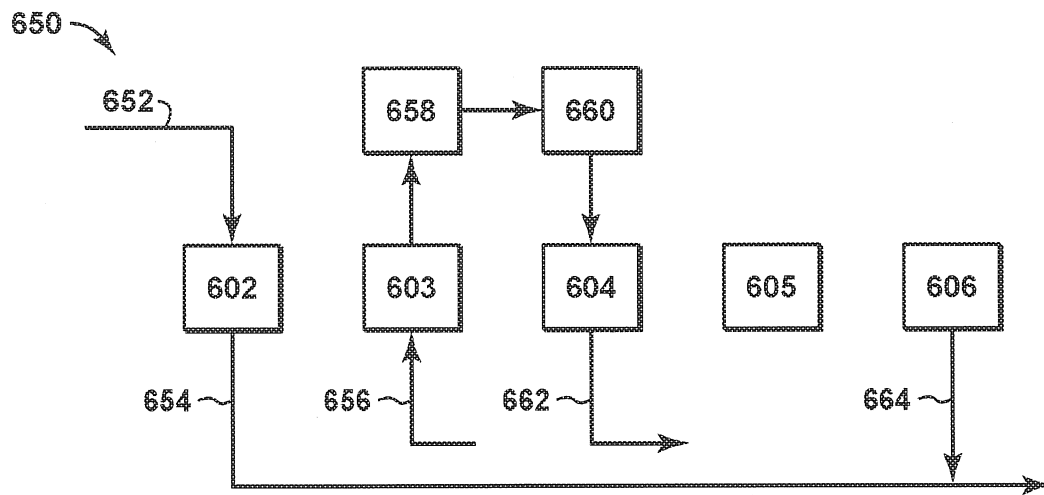


FIG. 6B

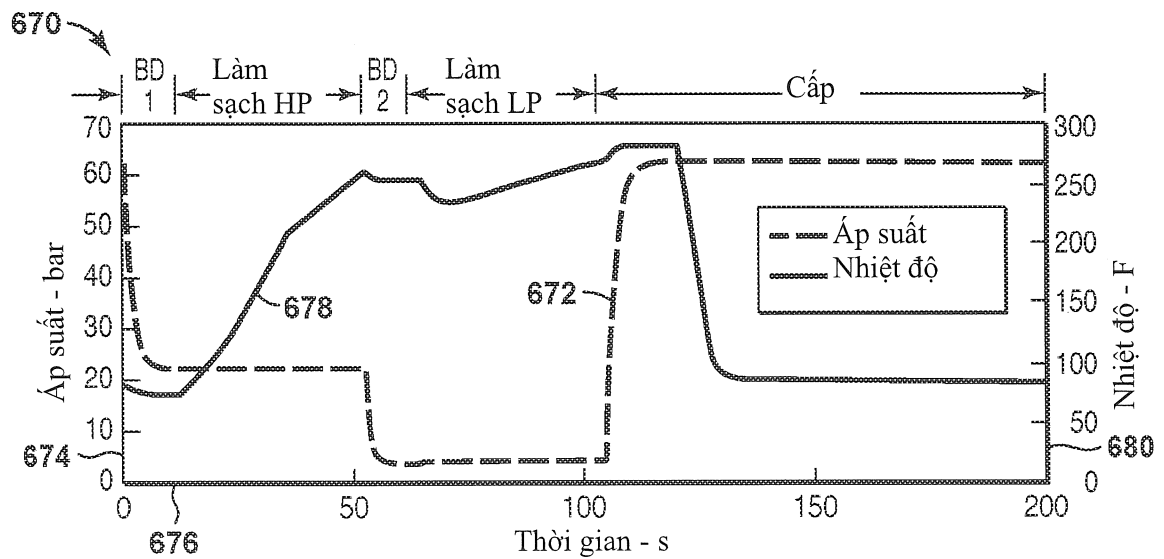


FIG. 6C

6/6

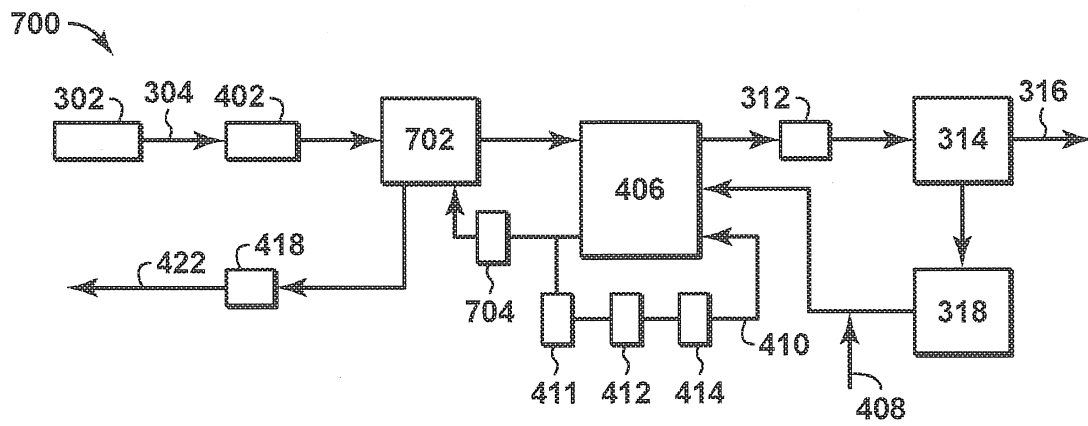


FIG. 7

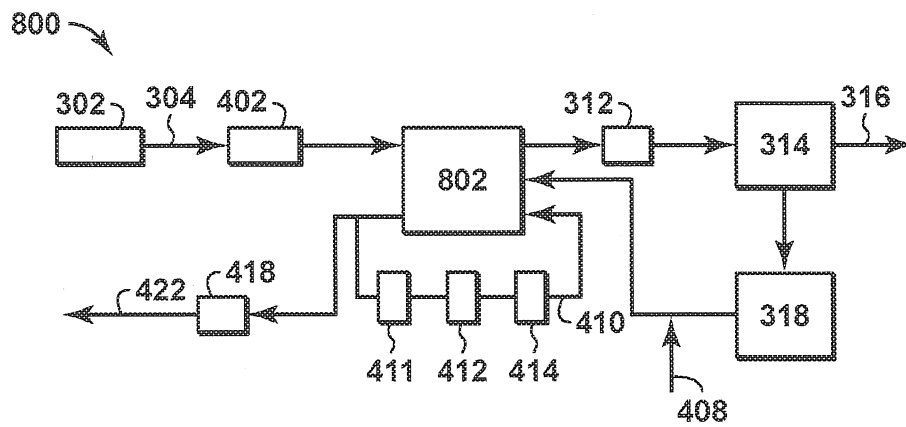


FIG. 8