



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

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

(11)



1-0025818

(51)<sup>7</sup> F23L 7/00; F02C 3/22; F23M 5/08;  
F23M 5/00; F02C 1/00; F02C 3/34

(13) B

(21) 1-2015-03066

(22) 26/01/2011

(62) 1-2012-02548

(86) PCT/US2011/022553 26/01/2011

(87) WO2011/094294 04/08/2011

(30) 61/299,272 28/01/2010 US; 12/714,074 26/02/2010 US; 12/872,777 31/08/2010 US

(45) 26/10/2020 391

(43) 25/12/2012 297A

(73) 8 RIVERS CAPITAL, LLC (US)

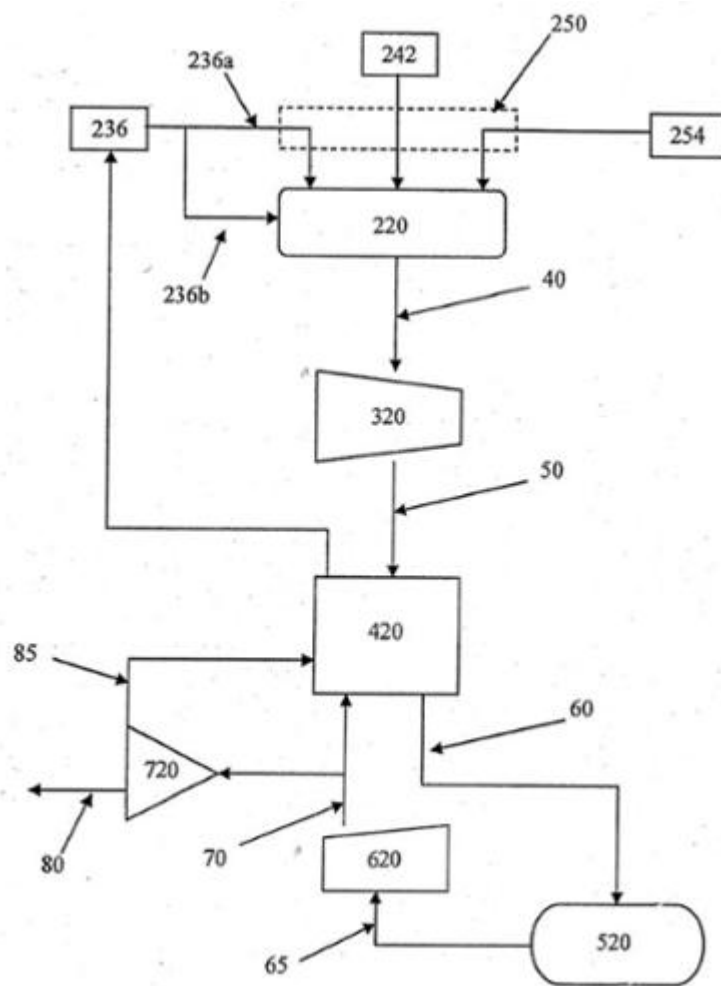
406 Blackwell Street, 4th Floor, Durham, North Carolina 27701, United States of America

(72) Rodney John Allam (GB); Miles R. Palmer (US); Glenn William Jr. Brown (US).

(74) Công ty cổ phần tư vấn Trung Thực (TRUNG THUC.,JSC)

(54) HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN SỬ DỤNG CHẤT LƯU CÔNG TÁC TUẦN HOÀN  
CACBON ĐIOXIT

(57) Sáng chế đề xuất hệ thống phát điện bằng cách sử dụng buồng đốt hiệu quả cao kết hợp với chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>. Theo cách có lợi, hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế có thể sử dụng tuabin phát điện có tỷ lệ áp suất nhỏ và bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm. Nhiệt cấp thấp bổ sung từ nguồn bên ngoài có thể được dùng để cấp một phần nhiệt lượng cần thiết để làm nóng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn. Nhiên liệu có nguồn gốc từ CO<sub>2</sub> có thể được thu lại và phân phối ở áp lực đường ống. Các tạp chất khác có thể được thu lại.



### **Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Sáng chế đề cập đến hệ thống tạo năng lượng, như điện chẳng hạn, thông qua việc sử dụng chất lưu tuần hoàn để chuyển đổi năng lượng được tạo ra thông qua đốt nhiên liệu có hiệu quả cao. Cụ thể, hệ thống có thể sử dụng cacbon đioxit làm chất lưu tuần hoàn.

### **Tình trạng kỹ thuật của sáng chế**

Nhiên liệu hóa thạch được ước tính sẽ tiếp tục cung cấp phần lớn nhu cầu điện năng cho thế giới trong khoảng 100 năm nữa trong khi các nguồn năng lượng vô cơ được phát triển và triển khai. Tuy nhiên, phương pháp phát điện đã biết thông qua việc đốt nhiên liệu hóa thạch và/hoặc sinh khối thích hợp có nhược điểm do tăng chi phí cho năng lượng và tăng lượng cacbon đioxit ( $\text{CO}_2$ ) và các loại khí khác. Sự ấm lên toàn cầu ngày càng được nhận thấy như hậu quả thảm khốc tiềm tàng của khí thải cacbon tăng lên ở các nước đã và đang phát triển. Điện gió và điện mặt trời không được xem như đủ khả năng thay thế nhiên liệu hóa thạch trong một tương lai gần, còn điện hạt nhân có các nguy hiểm gắn liền với cả sự tăng trưởng lẫn phế thải hạt nhân.

Hiện nay, phương tiện thông thường để phát điện từ nhiên liệu hóa thạch hoặc sinh khối thích hợp đang ngày càng chịu sức ép bởi yêu cầu phải thu nạp  $\text{CO}_2$  có áp suất cao để phân phối đến nơi tách. Tuy nhiên, yêu cầu này khó được thỏa mãn do công nghệ hiện tại chỉ đem lại các hiệu ứng nhiệt rất thấp thậm chí ngay cả với các mẫu thiết kế tốt nhất để thu nạp  $\text{CO}_2$ . Hơn nữa, chi phí đầu tư để thực hiện việc thu nạp  $\text{CO}_2$  là cao, và điều này dẫn đến chi phí điện năng cao hơn đáng kể so với hệ thống mà xả  $\text{CO}_2$  vào khí quyển. Do vậy, trong lĩnh vực kỹ thuật này, có một nhu cầu ngày càng lớn về hệ thống để phát điện có hiệu quả cao cho phép giảm lượng khí thải  $\text{CO}_2$  và/hoặc việc dễ tách  $\text{CO}_2$  tạo ra được cải thiện.

Patent Mỹ số 4,498,289 đề xuất hệ thống phát điện bằng cách đốt trực tiếp được cải tiến tạo ra và sử dụng khí đốt có cacbon đioxit hoặc chất lưu công tác, hệ thống này bao gồm khoang đốt để đốt hỗn hợp chứa oxy, nhiên liệu chứa cacbon và chất lưu công tác cacbon đioxit tái tuần hoàn ở áp suất thứ nhất lớn hơn 1.100 psi (khoảng 7,6MPa) nhờ đó tạo ra khí đốt có cacbon đioxit và nước về cơ bản ở áp suất thứ nhất và ở nhiệt độ cao hơn 31°C. Tuabin thứ nhất cho phép khí được giãn nở qua đó để phát điện và giảm áp suất khí đốt đến áp suất thứ hai thấp hơn 1.100 psi (khoảng 7,6MPa) song vẫn duy trì nhiệt độ khí này cao hơn 31°C. Buồng đốt thứ hai làm nóng khí đốt đến nhiệt độ cao hơn và tuabin thứ hai cho phép khí được giãn nở qua đó để phát điện và giảm áp suất đến áp suất thứ ba song vẫn duy trì nhiệt độ khí này cao hơn 31°C. Bộ trao đổi nhiệt bao gồm các đường ống bố trí theo mối tương quan trao đổi nhiệt. Các đường ống này dẫn chất lưu công tác cacbon đioxit tái tuần hoàn gần như ở áp suất thứ nhất đi qua đó và đến khoang đốt. Các đường ống dẫn khí đốt ra khỏi tuabin qua đó để truyền nhiệt cho chất lưu công tác cacbon đioxit tái tuần hoàn nhằm ngưng ít nhất một phần nước có trong khí đốt song vẫn duy trì cacbon đioxit trong khí này ở thể khí. Nước ngưng được tách ra khỏi khí. Bộ ngưng làm mát khí đến nhiệt độ thứ nhất lớn hơn 31°C và máy nén sẽ nén khí đến áp suất thứ tư mà thấp nhất là 1.100 psi (khoảng 7,6MPa) song lại thấp hơn áp suất thứ nhất. Bộ ngưng thứ hai làm mát khí đến nhiệt độ thứ hai thấp hơn nhiệt độ thứ nhất song cao hơn 31°C và máy nén thứ hai nén khí đến gần như áp suất thứ nhất để tạo ra chất lưu công tác cacbon đioxit tái tuần hoàn mà được phân phối đến các bộ trao đổi nhiệt.

### **Bản chất kỹ thuật của sáng chế**

Sáng chế đề xuất hệ thống phát điện bằng cách sử dụng buồng đốt hiệu quả cao (ví dụ, buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán) kết hợp với chất lưu tuần hoàn (ví dụ, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>). Cụ thể, chất lưu tuần hoàn có thể được nạp vào trong buồng đốt cùng với nhiên liệu và chất oxi hóa để đốt khiến cho dòng chất lưu có áp suất cao, nhiệt độ cao được tạo ra bao gồm chất lưu tuần hoàn và các sản phẩm đốt bất kỳ. Dòng chất lưu có thể được nạp vào trong cơ cấu phát điện, như



tuabin. Theo cách có lợi, dòng chất lưu có thể được duy trì có áp suất cao tương đối cao trong quá trình giãn nở trong tuabin sao cho tỷ lệ áp suất ngang qua tuabin (nghĩa là, tỷ lệ giữa áp suất ở đầu nạp của tuabin và áp suất ở đầu ra của tuabin) nhỏ hơn 12. Sau đó, dòng chất lưu có thể tiếp tục được xử lý để tách các thành phần dòng chất lưu, việc xử lý này có thể là bước đưa dòng chất lưu đi qua bộ trao đổi nhiệt. Cụ thể, chất lưu tuần hoàn (ít nhất một phần của chất lưu có thể được tái tuần hoàn ra khỏi dòng chất lưu) có thể được cho đi qua cùng bộ trao đổi nhiệt để làm nóng chất lưu tuần hoàn trước khi nạp vào trong buồng đốt. Trong hệ thống theo các phương án của sáng chế, có ích nếu bộ trao đổi nhiệt được vận hành (ví dụ, thông qua việc lựa chọn nguồn nhiệt cấp thấp) sao cho bộ trao đổi nhiệt chỉ có mức chênh lệch nhiệt độ nhỏ giữa khí xả tuabin và chất lưu tái tuần hoàn ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt.

Theo các khía cạnh nhất định, sáng chế đề xuất hệ thống phát điện, hệ thống này có thể phát điện hiệu quả cao với chi phí đầu tư thấp và còn có thể sinh ra khí CO<sub>2</sub> ở áp lực đường ống để tách. CO<sub>2</sub> còn có thể được tái tuần hoàn vào trong hệ thống phát điện.

Sự khác biệt của hệ thống do sáng chế đề xuất là khả năng sử dụng các nguồn nhiên liệu rộng rãi. Ví dụ, buồng đốt hiệu quả cao do sáng chế đề xuất có thể sử dụng nhiên liệu trạng thái khí (ví dụ, khí tự nhiên hoặc các khí có nguồn gốc từ than), nhiên liệu thể lỏng (ví dụ, các hydrocacbon, bitum) và nhiên liệu thể rắn (ví dụ, than, than non, cốc dầu mỏ). Thậm chí buồng đốt do sáng chế đề xuất có thể sử dụng các loại nhiên liệu khác mà như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này.

Theo các khía cạnh khác, hệ thống do sáng chế đề xuất đặc biệt có ích khi mà chúng có thể vượt quá hiệu suất tốt nhất của các nhà máy điện đốt than mà không thu nạp CO<sub>2</sub>. Các nhà máy điện này, có thể tạo ra hiệu suất ở mức tốt nhất là 45% (trị số làm nóng thấp, hoặc “LHV-Lower Heating Value”) với áp suất bộ ngưng 4,3cm thủy ngân (5,76Kpa) sử dụng than bitum. Hiệu quả của hệ thống do sáng chế có thể cao hơn hiệu quả nêu trên mà vẫn phân phối CO<sub>2</sub> để tách hoặc xử lý kiểu khác có áp suất theo yêu cầu.

Theo khía cạnh khác nữa, sáng chế đề xuất hệ thống phát điện có khả năng giảm kích thước thực tế và chi phí đầu tư so với các công nghệ hiện có sử dụng nhiên liệu tương tự. Do đó, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể làm giảm một cách đáng kể các chi phí xây dựng gắn liền với hệ thống phát điện.

Hơn thế nữa, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể đem lại mức thu hồi gần như 100%  $\text{CO}_2$  được sử dụng và/hoặc được tạo ra, nhất là  $\text{CO}_2$  có nguồn gốc từ cacbon hiện có mặt trong nhiên liệu. Cụ thể,  $\text{CO}_2$  có thể được cung cấp như khí khô, tinh khiết ở áp lực đường ống. Hơn nữa, sáng chế đề xuất hệ thống có khả năng thu hồi một cách tách biệt các tạp chất có nguồn gốc từ việc đốt và nhiên liệu khác để dùng cho việc khác và/hoặc để thải loại.

Không phải là một khía cạnh cụ thể, sáng chế vẫn mô tả phương pháp phát điện kết hợp với việc sử dụng chất lưu tuần hoàn, như  $\text{CO}_2$ . Không phải là một phương án cụ thể, sáng chế vẫn mô tả phương pháp phát điện có thể bao gồm bước đưa nhiên liệu chứa cacbon,  $\text{O}_2$ , và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  vào trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Cụ thể,  $\text{CO}_2$  có thể được nạp vào có áp suất thấp nhất khoảng 8MPa (tốt hơn nếu thấp nhất khoảng 12MPa) và nhiệt độ thấp nhất khoảng 200°C (tốt hơn nếu thấp nhất khoảng 400°C). Phương pháp này còn có thể bao gồm bước đốt nhiên liệu để tạo ra dòng sản phẩm đốt chứa  $\text{CO}_2$ . Cụ thể, dòng sản phẩm đốt có thể có nhiệt độ thấp nhất khoảng 800°C. Hơn nữa, phương pháp có thể bao gồm bước làm giãn nở dòng sản phẩm đốt ngang qua tuabin để phát điện, tuabin có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt và cửa xả để xả dòng xả tuabin chứa  $\text{CO}_2$ . Tốt hơn, nếu tỷ lệ áp suất giữa dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp và dòng xả tuabin ở cửa xả có thể nhỏ hơn 12. Không phải là một phương án cụ thể của sáng chế, có thể mong muốn rằng  $\text{CO}_2$  cần được nạp vào trong buồng đốt có áp suất thấp nhất khoảng 10MPa, áp suất thấp nhất khoảng 20MPa, nhiệt độ thấp nhất khoảng 400°C, hoặc nhiệt độ thấp nhất khoảng 700°C. Thậm chí các thông số khả thi khác sẽ được mô tả trong bản mô tả này.

Không phải là một số phương án của sáng chế, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được nạp vào buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán là hỗn hợp với một trong số hoặc cả  $\text{O}_2$  lẫn nhiên liệu chứa cacbon. Không phải là các phương án khác

của sáng chế, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được nạp vào buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán như là toàn bộ hoặc một phần của chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán được dẫn hướng thông qua một hoặc nhiều đường dẫn cung cấp chất lưu bay hơi khuếch tán được tạo ra trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Không phải là một phương án cụ thể của sáng chế, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được hướng vào trong buồng đốt chỉ như chất lưu bay hơi khuếch tán.

Cụ thể, việc đốt theo sáng chế khác biệt ở nhiệt độ đốt thực tế. Ví dụ, bước đốt có thể được thực hiện ở nhiệt độ thấp nhất khoảng  $1.500^\circ\text{C}$ . Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, bước đốt có thể được thực hiện ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ  $1.600^\circ\text{C}$  đến  $3300^\circ\text{C}$ .

Việc đốt theo sáng chế còn có thể khác biệt ở độ tinh khiết của  $\text{O}_2$  trong dòng  $\text{O}_2$ . Ví dụ, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, không khí ở môi trường xung quanh có thể có ích. Tuy nhiên, có thể có lợi khi hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế được dùng để tinh chế hàm lượng oxy. Ví dụ,  $\text{O}_2$  có thể được cung cấp như dòng mà trong đó nồng độ phân tử gam của  $\text{O}_2$  thấp nhất là 85%. Thậm chí các nồng độ cụ thể hơn sẽ được mô tả trong bản mô tả này.

Theo một phương án cụ thể, dòng sản phẩm đốt có thể có nhiệt độ thấp nhất khoảng  $1.000^\circ\text{C}$ . Hơn nữa, dòng sản phẩm đốt có thể có áp suất thấp nhất khoảng 90% áp suất  $\text{CO}_2$  nạp vào trong buồng đốt hoặc thấp nhất khoảng 95% áp suất  $\text{CO}_2$  nạp vào trong buồng đốt.

Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, tỷ lệ áp suất giữa dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp của tuabin và dòng xả tuabin ở cửa xả của tuabin có thể nằm trong khoảng từ 1,5 đến 10 hoặc có thể nằm trong khoảng từ 2 đến 8. Thậm chí các tỷ lệ khả thi khác cũng được nêu trong bản mô tả này.

Hệ thống do sáng chế đề xuất có thể khác biệt ở tỷ lệ giữa các vật liệu cụ thể nạp vào trong buồng đốt. Ví dụ, tỷ lệ giữa  $\text{CO}_2$  trong chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  và cacbon trong nhiên liệu được nạp vào buồng đốt, tính theo phân tử gam, có thể nằm trong khoảng từ 10 đến 50 hoặc có thể nằm trong khoảng từ 10 đến 30. Thậm chí các tỷ lệ khả thi khác cũng được nêu trong bản mô tả này.

Hệ thống do sáng chế đề xuất còn có thể khác biệt ở chỗ ít nhất một phần CO<sub>2</sub> trong dòng xả tuabin có thể được tái tuần hoàn và đưa lại vào trong buồng đốt. Ít nhất một phần CO<sub>2</sub> có thể được xả ra khỏi hệ thống (như để tách hoặc khử kiểu khác), ví dụ thông qua đường ống.

Theo một phương án cụ thể, CO<sub>2</sub> trong dòng xả tuabin có thể ở trạng thái khí. Cụ thể, dòng xả tuabin có thể có áp suất thấp hơn hoặc bằng 7MPa.

Phương pháp không phải là các phương án khác của sáng chế còn có thể bao gồm bước cho dòng xả tuabin đi qua ít nhất một bộ trao đổi nhiệt để làm nguội dòng xả tuabin và tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có nhiệt độ thấp hơn khoảng 200°C. Điều này có thể có ích để tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> dưới các điều kiện có thể tạo thuận lợi cho việc loại bỏ một hoặc nhiều thành phần thứ cấp (nghĩa là, các thành phần không phải là CO<sub>2</sub>). Không phải là một phương án cụ thể của sáng chế, bước này có thể là cho dòng xả tuabin đi qua chuỗi gồm ít nhất hai bộ trao đổi nhiệt. Cụ thể hơn, bộ trao đổi nhiệt thứ nhất trong chuỗi này có thể nhận dòng xả tuabin và làm giảm nhiệt độ của dòng khí này, bộ trao đổi nhiệt thứ nhất được làm bằng hợp kim chịu nhiệt độ cao mà ít nhất chịu được nhiệt độ khoảng 900°C.

Phương pháp không phải là phương án của sáng chế có thể còn bao gồm bước thực hiện một hoặc nhiều bước tách trên dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> để loại bỏ một hoặc nhiều thành phần thứ cấp mà hiện có mặt trong dòng chất lưu tuần hoàn, ngoài CO<sub>2</sub>, như nêu trên. Cụ thể, một hoặc nhiều thành phần thứ cấp có thể là nước.

Phương pháp không phải là phương án của sáng chế có thể còn bao gồm bước nén dòng CO<sub>2</sub>. Ví dụ, sau khi làm giãn nở dòng sản phẩm đốt và làm nguội dòng xả tuabin, có thể có lợi nếu nén dòng khí này để tái tuần hoàn nó về buồng đốt. Cụ thể, phương pháp này có thể bao gồm bước cho dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đi qua một hoặc nhiều máy nén (ví dụ, các bơm) để nén dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến áp suất thấp nhất khoảng 8MPa. Phương pháp này có thể còn bao gồm bước cho dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đi qua chuỗi gồm ít nhất hai máy nén để nén dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>. Phương pháp không phải là các phương án nhất định của sáng chế, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có thể được nén đến áp suất

thấp nhất khoảng 15MPa. Thậm chí các vùng áp suất khác có thể được mong muốn theo cách khác trong bản mô tả này. Cụ thể, trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> cụ thể đã nén có thể được tạo ra trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn. Không phải là một số phương án của sáng chế, ít nhất một phần CO<sub>2</sub> trong dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén có thể được nạp vào trong đường ống chịu áp lực để tách (hoặc khử kiểu khác, như nêu trên).

Ngoài bước nén, phương pháp không phải là phương án của sáng chế có thể còn bao gồm bước làm nóng dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã được làm nguội trước đó để đưa ngược vào trong buồng đốt (nghĩa là, tái tuần hoàn dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>). Trong phương pháp không phải là một số phương án của sáng chế, bước này có thể là bước làm nóng dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén đến nhiệt độ thấp nhất là 200°C, khoảng 400°C, hoặc khoảng 700°C. Trong phương pháp không phải là các phương án nhất định của sáng chế, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén có thể được làm nóng đến nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của dòng xả tuabin không quá 50°C. Thậm chí các vùng nhiệt độ khả thi khác cũng được nêu trong bản mô tả này. Cụ thể, bước làm nóng này có thể là bước cho dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén đi qua cùng bộ trao đổi nhiệt vốn được dùng để làm nguội dòng xả tuabin. Bước làm nóng này còn có thể bao gồm bước lấy nhiệt từ nguồn bên ngoài (nghĩa là, khác với nhiệt được tái thu hồi từ các bộ trao đổi nhiệt). Không phải là một phương án cụ thể của sáng chế, bước làm nóng có thể là việc sử dụng nhiệt được rút ra khỏi thiết bị tách O<sub>2</sub>. Tốt hơn, nếu nhiệt bổ sung này được nạp ở đầu nguội của cụm trao đổi nhiệt (hoặc, khi sử dụng chuỗi gồm các bộ trao đổi nhiệt, thì nhiệt này được nạp trước bộ trao đổi nhiệt trong chuỗi này mà vận hành cao hơn vùng nhiệt độ cao nhất).

Theo các phương án nhất định, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể khác biệt ở tính chất của dòng sản phẩm đốt, mà có thể cho phép chọn lựa nhiều tuabin. Ví dụ, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, dòng sản phẩm đốt có thể là dòng chất lưu biến đổi chứa một hoặc nhiều thành phần dễ cháy (ví dụ, các thành phần được chọn từ nhóm bao gồm H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, và hỗn hợp của chúng). Dòng này có thể được điều khiển bởi tỷ lệ giữa O<sub>2</sub> và nhiên liệu được sử dụng.

Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, hơi của dòng sản phẩm đốt có thể chứa các thành phần được oxi hóa hoàn toàn, như  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , và  $\text{SO}_2$ , cũng như các thành phần biến đổi nêu trên. Hợp phần thực tế thu được có thể phụ thuộc vào tỷ lệ giữa  $\text{O}_2$  và nhiên liệu dùng trong nguyên liệu cấp vào buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Cụ thể hơn, tuabin dùng trong hệ thống theo các phương án của sáng chế có thể bao gồm hai hoặc nhiều cụm, mỗi cụm đều có cửa nạp và cửa xả. Theo một phương án cụ thể, các cụm tuabin có thể được vận hành sao cho nhiệt độ vận hành ở cửa nạp của từng cụm gần bằng nhau. Điều này có thể thực hiện bằng cách bổ sung lượng  $\text{O}_2$  vào dòng chất lưu ở cửa xả của cụm tuabin thứ nhất (hoặc cụm tuabin dẫn đầu nếu sử dụng ba hoặc nhiều cụm tuabin). Việc cung cấp  $\text{O}_2$  có thể cho phép đốt một hoặc nhiều thành phần dễ cháy nêu trên, để làm tăng nhiệt độ của dòng trước khi nạp vào tuabin tiếp theo trong chuỗi. Điều này đem lại khả năng tăng đến mức cao nhất lượng điện được phát ra từ các khí đốt có mặt trong chất lưu tuần hoàn.

Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, dòng xả tuabin có thể là chất lưu được oxi hóa. Ví dụ, dòng xả tuabin có thể chứa lượng  $\text{O}_2$  dư thừa.

Hệ thống theo một số phương án của sáng chế có thể khác biệt ở trạng thái của các dòng chất lưu. Ví dụ, sau bước làm giãn nở dòng sản phẩm đốt ngang qua tuabin, dòng xả tuabin có thể ở trạng thái khí. Khí này có thể được cho đi qua ít nhất một bộ trao đổi nhiệt để làm nguội dòng xả tuabin khí để tách  $\text{CO}_2$  ra khỏi các thành phần thứ cấp bất kỳ. Sau đó, ít nhất một phần  $\text{CO}_2$  đã tách có thể được nén và được biến đổi thành trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn và lại được cho đi qua cùng bộ trao đổi nhiệt để làm nóng  $\text{CO}_2$  để tái tuần hoàn vào trong buồng đốt. Theo một phương án cụ thể, mức chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ của dòng xả tuabin đi vào bộ trao đổi nhiệt (hoặc bộ trao đổi nhiệt thứ nhất khi sử dụng chuỗi tuabin) từ bước làm giãn nở và nhiệt độ của  $\text{CO}_2$  dạng chất lưu vượt quá tới hạn, được nén, được làm nóng, ra khỏi cùng bộ trao đổi nhiệt đó để tái tuần hoàn vào trong buồng đốt có thể được thấp hơn khoảng  $50^\circ\text{C}$ .

Như nêu trên, dòng chất lưu ra khỏi buồng đốt nhiên liệu có thể bao gồm chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  cũng như một hoặc nhiều thành phần khác, như các sản

phẩm đốt. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, có thể có ích nếu tái tuần hoàn ít nhất một phần  $\text{CO}_2$  và nạp lại phần này vào buồng đốt nhiên liệu. Do đó, chất lưu tuần hoàn có thể là chất lưu tái tuần hoàn. Tất nhiên,  $\text{CO}_2$  từ nguồn bên ngoài có thể được dùng làm chất lưu tuần hoàn. Khí xả tuabin có thể được làm nguội trong bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm, và nhiệt rút ra có thể được dùng để làm nóng  $\text{CO}_2$  tái tuần hoàn có áp suất cao. Khí xả tuabin đã làm nguội ra khỏi đầu có nhiệt độ thấp của bộ trao đổi nhiệt có thể chứa các thành phần có nguồn gốc từ nhiên liệu hoặc quá trình đốt, như  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{Hg}$ , và  $\text{HCl}$ . Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, các thành phần này có thể được loại khỏi dòng bằng cách sử dụng phương pháp thích hợp. Các thành phần khác trong dòng này có thể bao gồm các tạp chất khí trơ có nguồn gốc từ nhiên liệu hoặc chất oxy hóa như  $\text{N}_2$ , argon (Ar), và  $\text{O}_2$  dư thừa. Các thành phần này có thể được loại bỏ nhờ các phương pháp thích hợp để tách. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo, khí xả tuabin cần phải có áp suất thấp hơn áp suất ngưng  $\text{CO}_2$  trong khí xả tuabin ở nhiệt độ của phương tiện làm nguội sẵn có khiến cho không thể tạo thành  $\text{CO}_2$  thể lỏng khi khí xả tuabin được làm nguội do điều này cho phép tách hữu hiệu nước là thể lỏng ra khỏi khí  $\text{CO}_2$  mà sẽ chứa lượng hơi nước thấp nhất để cho phép nước được ngưng. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế,  $\text{CO}_2$  tinh chế có thể được nén để tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn có áp suất cao cùng với ít nhất một phần  $\text{CO}_2$  trong chất lưu thể hiện cacbon được oxy hóa có nguồn gốc từ cacbon trong nhiên liệu cấp vào buồng đốt, mà có thể được nạp vào trong đường ống chịu áp lực để tách. Khả năng chuyển  $\text{CO}_2$  một cách trực tiếp từ quá trình đốt vào trong đường ống chịu áp lực với mức tiếp tục xử lý hoặc nén thấp nhất nhờ dòng khí xả tuabin áp suất cao là ưu điểm nổi bật so với phương pháp thông thường khi mà  $\text{CO}_2$  được thu hồi có áp suất gần bằng áp suất khí quyển (nghĩa là, khoảng 0,1MPa) hoặc được xả vào không khí. Hơn nữa,  $\text{CO}_2$  dễ tách theo phương án này của sáng chế có thể được chuyển theo cách có hiệu quả hơn, tiết kiệm hơn so với các phương pháp đã biết trước đây.

Nhiệt dung riêng của dòng chất lưu tái tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đi vào bộ trao đổi nhiệt, là lý tưởng nếu cao hơn áp suất tới hạn, là cao và sẽ giảm đi khi nhiệt độ tăng.

Đặc biệt có lợi nếu ít nhất một phần nhiệt ở mức nhiệt độ thấp nhất lại có nguồn gốc từ nguồn bên ngoài. Ví dụ, điều này có thể là việc cung cấp dòng áp suất thấp để tạo nhiệt khi ngưng. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, nguồn nhiệt này có thể bắt nguồn từ hoạt động của các máy nén khí dùng trong các thiết bị tách không khí bằng cách làm lạnh nhằm cấp chất oxy hóa vào buồng đốt theo phương pháp đoạn nhiệt mà không cần làm lạnh trung gian và trích xuất nhiệt của quá trình nén nhờ dòng chu trình khép kín của chất lưu truyền nhiệt dùng để làm nóng dòng CO<sub>2</sub> tái tuần hoàn.

Phương pháp phát điện không phải là phương án của sáng chế có thể bao gồm các bước sau:

nạp nhiên liệu, O<sub>2</sub>, và chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> vào trong buồng đốt, CO<sub>2</sub> được nạp có áp suất thấp nhất khoảng 8MPa và nhiệt độ thấp nhất khoảng 200°C;

đốt nhiên liệu để tạo ra dòng sản phẩm đốt chứa CO<sub>2</sub>, dòng sản phẩm đốt có nhiệt độ thấp nhất khoảng 800°C;

làm giãn nở dòng sản phẩm đốt ngang qua tuabin để phát điện, tuabin có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt và cửa xả để xả dòng xả tuabin chứa CO<sub>2</sub>, trong đó tỷ lệ áp suất giữa dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp và dòng xả tuabin ở cửa xả nhỏ hơn 12;

rút nhiệt ra khỏi dòng xả tuabin bằng cách cho dòng xả tuabin này đi qua cụm trao đổi nhiệt để tạo ra dòng xả tuabin đã được làm nguội;

loại ra khỏi dòng xả tuabin đã được làm nguội một hoặc nhiều thành phần thứ cấp mà hiện có mặt trong dòng xả tuabin đã được làm nguội ngoài CO<sub>2</sub> để tạo ra dòng xả tuabin đã được làm nguội, tinh chế;

nén dòng xả tuabin đã được làm nguội, tinh chế bằng máy nén thứ nhất đến áp suất cao hơn áp suất tới hạn của CO<sub>2</sub> để tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> vượt quá tới hạn;

làm nguội dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> vượt quá tới hạn đến nhiệt độ mà tỷ trọng dòng này thấp nhất khoảng 200kg/m<sup>3</sup>;

cho chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn đi qua máy nén thứ hai để nén chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến áp suất đủ để nạp vào buồng đốt;



cho chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có áp suất cao, tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn đi qua cụm trao đổi nhiệt sao cho nhiệt rút ra được sử dụng để tăng nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ ;

cung cấp nhiệt lượng bổ sung vào chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có áp suất cao, tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn khiến cho mức chênh lệch giữa nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ra khỏi cụm trao đổi nhiệt để tái tuần hoàn vào buồng đốt và nhiệt độ của dòng xả tuabin là nhỏ hơn  $50^\circ\text{C}$ ;

và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn, đã làm nóng vào trong buồng đốt.

Hệ thống theo phương án cụ thể của sáng chế có thể rất có ích để kết hợp với hệ thống phát điện hiện có (ví dụ, các nhà máy điện đốt than thông thường, lò phản ứng hạt nhân, và hệ thống khác mà có thể sử dụng hệ thống nồi hơi thông thường). Do đó, không phải là một số phương án của sáng chế, giữa bước làm giãn nở và bước rút nhiệt nêu trên, phương pháp này có thể bao gồm bước cho dòng xả tuabin đi qua cụm trao đổi nhiệt thứ hai. Cụm trao đổi nhiệt thứ hai này có thể sử dụng nhiệt từ dòng xả tuabin để làm nóng một hoặc nhiều dòng có nguồn gốc từ hệ thống phát điện chạy bằng hơi (ví dụ, hệ thống nồi hơi thông thường, kể cả nhà máy điện đốt than và lò phản ứng hạt nhân). Do đó, các dòng hơi được làm nóng tiếp đó có thể được cho đi qua một hoặc nhiều tuabin để phát điện. Các dòng ra khỏi các tuabin có thể được xử lý bằng cách quay vòng ngược lại qua các bộ phận của hệ thống phát điện thông thường (ví dụ, nồi hơi).

Phương pháp không phải các phương án tiếp theo của sáng chế có thể khác biệt ở một hoặc nhiều bước sau:

làm nguội dòng xả tuabin đến nhiệt độ thấp hơn điểm sương tạo nước của dòng xả này;

tiếp tục làm nguội dòng xả tuabin so với môi trường làm nguội ở nhiệt độ môi trường xung quanh;

ngưng nước cùng với một hoặc nhiều thành phần thứ cấp để tạo ra dung dịch bao gồm một hoặc nhiều thành phần trong số  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ , và thủy ngân;

nén dòng xả tuabin đã được làm nguội đến áp suất thấp hơn khoảng 15MPa;

rút dòng  $\text{CO}_2$  thành phẩm ra khỏi dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  áp suất cao, tỷ trọng cao, vượt quá trạng thái tới hạn trước khi cho đi qua cụm trao đổi nhiệt;

sử dụng dòng của các sản phẩm đốt một phần làm nhiên liệu;

đốt nhiên liệu chứa cacbon bằng  $\text{O}_2$  với sự có mặt của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ , nhiên liệu chứa cacbon,  $\text{O}_2$ , và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được cung cấp theo các tỷ lệ sao cho nhiên liệu chứa cacbon chỉ được oxi hóa một phần để tạo ra dòng sản phẩm đốt được oxi hóa một phần bao gồm thành phần không cháy được,  $\text{CO}_2$ , và một hoặc nhiều trong số  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , và  $\text{NH}_3$ ;

cung cấp nhiên liệu chứa cacbon,  $\text{O}_2$ , và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  theo các tỷ lệ sao cho nhiệt độ của dòng sản phẩm đốt được oxi hóa một phần đủ thấp để mọi thành phần không cháy trong dòng đều ở dạng các hạt rắn;

cho dòng sản phẩm đốt được oxi hóa một phần đi qua một hoặc nhiều bộ lọc;

bằng cách sử dụng bộ phận lọc để giảm lượng thành phần không cháy còn lại xuống thấp hơn khoảng  $2\text{mg}/\text{m}^3$  sản phẩm đốt được oxi hóa một phần;

sử dụng than, than non, hoặc cốc dầu mỏ làm nhiên liệu;

cấp nhiên liệu dạng hạt là chất quánh với  $\text{CO}_2$ ;

Không phải là các phương án tiếp theo của sáng chế, phương pháp phát điện bao gồm các bước sau:

nạp nhiên liệu chứa cacbon,  $\text{O}_2$ , và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  vào trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán,  $\text{CO}_2$  được nạp có áp suất thấp nhất khoảng  $8\text{MPa}$  và nhiệt độ thấp nhất khoảng  $200^\circ\text{C}$ ;

bước đốt nhiên liệu để tạo ra dòng sản phẩm đốt chứa  $\text{CO}_2$ , dòng sản phẩm đốt có nhiệt độ thấp nhất khoảng  $800^\circ\text{C}$ ;

làm giãn nở dòng sản phẩm đốt ngang qua tuabin để phát điện, tuabin có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt và cửa xả để xả dòng xả tuabin chứa  $\text{CO}_2$ , trong đó tỷ lệ áp suất giữa dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp và dòng xả tuabin ở cửa xả nhỏ hơn 12;

cho dòng xả tuabin đi qua chuỗi gồm ít nhất hai bộ trao đổi nhiệt để rút nhiệt ra khỏi dòng xả tuabin và tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ ;

loại ra khỏi dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> một hoặc nhiều thành phần thứ cấp mà hiện có mặt trong dòng chất lưu tuần hoàn ngoài CO<sub>2</sub>;

cho dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đi qua chuỗi gồm ít nhất hai máy nén để tăng áp suất của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến thấp nhất là khoảng 8MPa và chuyển đổi CO<sub>2</sub> trong chất lưu tuần hoàn từ trạng thái khí sang trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn;

và cho chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> vượt quá tới hạn đi qua cùng chuỗi gồm ít nhất hai bộ trao đổi nhiệt mà sử dụng nhiệt được rút ra để tăng nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến thấp nhất là khoảng 200°C (hoặc, theo tùy chọn, đến nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của dòng xả tuabin không quá 50°C). Bước cụ thể này có thể là việc đưa nhiệt bổ sung từ nguồn nhiệt bên ngoài (nghĩa là, nguồn nhiệt không bắt nguồn một cách trực tiếp từ đường dẫn của dòng xả tuabin qua các bộ trao đổi nhiệt).

Phương pháp không phải là các phương án tiếp theo của sáng chế khác biệt do đưa ra phương pháp phát điện hiệu quả cao bằng cách đốt nhiên liệu chứa cacbon mà không xả CO<sub>2</sub> vào khí quyển. Cụ thể, phương pháp này có thể bao gồm các bước sau:

nạp nhiên liệu chứa cacbon, O<sub>2</sub>, và chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn vào trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán theo tỷ lệ hóa học lượng pháp xác định được, CO<sub>2</sub> được nạp có áp suất thấp nhất khoảng 8MPa và nhiệt độ thấp nhất khoảng 200°C;

bước đốt nhiên liệu để tạo ra dòng sản phẩm đốt chứa CO<sub>2</sub>, dòng sản phẩm đốt có nhiệt độ thấp nhất khoảng 800°C;

làm giãn nở dòng sản phẩm đốt ngang qua tuabin để phát điện, tuabin có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt và cửa xả để xả dòng xả tuabin chứa CO<sub>2</sub>, trong đó tỷ lệ áp suất giữa dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp và dòng xả tuabin ở cửa xả nhỏ hơn 12;

cho dòng xả tuabin đi qua chuỗi gồm ít nhất hai bộ trao đổi nhiệt để rút nhiệt ra khỏi dòng xả tuabin và tạo dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>;

cho dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đi qua chuỗi gồm ít nhất hai máy nén để tăng áp suất của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến thấp nhất là khoảng 8MPa và chuyển đổi  $\text{CO}_2$  trong chất lưu tuần hoàn từ trạng thái khí sang trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn;

cho dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đi qua cụm tách trong đó lượng  $\text{CO}_2$  cần thiết theo hóa học lượng pháp được tái tuần hoàn và được hướng vào buồng đốt và  $\text{CO}_2$  dư thừa bất kỳ được rút mà không xả vào khí quyển;

và cho chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn đi qua cùng cụm có ít nhất nhất hai bộ trao đổi nhiệt mà sử dụng nhiệt rút ra để tăng nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến thấp nhất là khoảng  $200^\circ\text{C}$  trước khi nạp vào trong buồng đốt (hoặc, theo tùy chọn, đến nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của dòng xả tuabin không quá  $50^\circ\text{C}$ );

trong đó hiệu quả đốt lớn hơn 50%, hiệu quả này được tính theo tỷ lệ giữa công suất thực được sinh ra so với tổng nhiệt năng có trị số làm nóng thấp đối với nhiên liệu chứa cacbon được đốt để sinh ra điện.

Theo khía cạnh khác, sáng chế đề xuất hệ thống phát điện. Cụ thể, sáng chế đề xuất hệ thống phát điện có thể bao gồm buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán, tuabin phát điện, ít nhất một bộ trao đổi nhiệt, và ít nhất một máy nén.

Theo một phương án cụ thể, buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán có thể có ít nhất một cửa nạp để tiếp nhận nhiên liệu chứa cacbon,  $\text{O}_2$ , và dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Buồng đốt còn có thể có ít nhất một tầng đốt để đốt nhiên liệu với sự có mặt của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  và tạo ra dòng sản phẩm đốt chứa  $\text{CO}_2$  có áp suất (ví dụ, ít nhất khoảng 8MPa) và nhiệt độ (ví dụ, ít nhất khoảng  $800^\circ\text{C}$ ) đã định.

Tuabin phát điện có thể được nối thông với buồng đốt và có thể có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt và cửa xả để xả dòng xả tuabin chứa  $\text{CO}_2$ . Tuabin có thể được làm thích ứng để điều khiển mức sụt áp suất sao cho tỷ lệ giữa áp suất của dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp và dòng xả tuabin ở cửa xả nhỏ hơn 12.

Ít nhất một bộ trao đổi nhiệt có thể được nối thông với tuabin để tiếp nhận dòng xả tuabin. Các bộ trao đổi nhiệt có thể truyền nhiệt từ dòng xả tuabin đến dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ .

Ít nhất một máy nén có thể được nối thông với ít nhất một bộ trao đổi nhiệt. Các máy nén có thể được làm thích ứng để nén dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến áp suất mong muốn.

Bổ sung cho khía cạnh trên, hệ thống phát điện do sáng chế đề xuất còn có thể bao gồm một hoặc nhiều cơ cấu tách được định vị giữa ít nhất một bộ trao đổi nhiệt và ít nhất một máy nén. Các cơ cấu tách này có thể có ích để loại bỏ một hoặc nhiều thành phần thứ cấp hiện có mặt trong chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ngoài  $\text{CO}_2$ .

Hơn thế nữa, hệ thống phát điện do sáng chế đề xuất có thể bao gồm thiết bị tách  $\text{O}_2$  chứa một hoặc nhiều bộ phận sinh nhiệt. Do đó, hệ thống phát điện còn có thể bao gồm một hoặc nhiều bộ phận truyền nhiệt để truyền nhiệt từ thiết bị tách  $\text{O}_2$  đến chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  nằm ở trước buồng đốt. Theo tùy chọn, hệ thống phát điện có thể có nguồn nhiệt bên ngoài. Ví dụ, nguồn nhiệt này có thể là nguồn cấp hơi có áp suất thấp vốn sẽ tạo ra nhiệt khi ngưng tụ. Do đó, hệ thống phát điện có thể bao gồm một hoặc nhiều bộ phận truyền nhiệt để truyền nhiệt từ hơi này đến chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  nằm ở trước buồng đốt.

Theo các phương án tiếp theo, hệ thống phát điện do sáng chế đề xuất có thể bao gồm một hoặc nhiều bộ phận sau:

máy nén thứ nhất được làm thích ứng để nén dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến áp suất cao hơn áp suất tới hạn của  $\text{CO}_2$ ;

máy nén thứ hai được làm thích ứng để nén dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến áp suất cần thiết để nạp được vào buồng đốt;

cơ cấu làm nguội được làm thích ứng để làm nguội dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến nhiệt độ mà tỷ trọng dòng này lớn hơn  $200\text{kg/m}^3$ ;

một hoặc nhiều bộ phận truyền nhiệt để truyền nhiệt từ nguồn bên ngoài đến chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  nằm ở trước buồng đốt và nằm ở sau máy nén thứ hai;

buồng đốt thứ hai nằm ở trước và nối thông với buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán;

một hoặc nhiều bộ lọc hoặc các cơ cấu tách nằm ở giữa buồng đốt thứ hai và buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán;

cơ cấu trộn để tạo ra chất quánh từ nguyên liệu dạng hạt và các môi trường làm hóa lỏng;

cơ cấu nghiền để nghiền nhiên liệu ở thể rắn thành hạt.

Theo các phương án khác, sáng chế đề xuất hệ thống phát điện có thể bao gồm các bộ phận sau: một hoặc nhiều bộ phun để nạp nhiên liệu, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ , và chất oxi hóa; buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán có ít nhất một tầng đốt để đốt nhiên liệu và tạo ra dòng chất lưu xả ở nhiệt độ thấp nhất khoảng  $800^\circ\text{C}$  và áp suất thấp nhất khoảng 4MPa (tốt hơn nếu thấp nhất khoảng 8MPa); tuabin phát điện có cửa nạp và cửa xả và trong đó điện được phát ra khi dòng chất lưu giãn nở, tuabin được thiết kế để duy trì dòng chất lưu có áp suất mong muốn sao cho tỷ lệ giữa áp suất của dòng chất lưu ở cửa nạp so với cửa xả nhỏ hơn 12; bộ trao đổi nhiệt để làm nguội dòng chất lưu ra khỏi cửa xả của tuabin và để làm nóng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ ; và một hoặc nhiều cơ cấu để tách dòng chất lưu ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thành  $\text{CO}_2$  và một hoặc nhiều thành phần khác để thu hồi hoặc thải loại. Theo các phương án tiếp theo, hệ thống phát điện do sáng chế đề xuất có thể còn bao gồm một hoặc nhiều cơ cấu để phân phối ít nhất một phần  $\text{CO}_2$  vốn được tách ra khỏi dòng chất lưu vào trong đường ống chịu áp lực.

Theo một phương án cụ thể, sáng chế đề xuất hệ thống có thể bao gồm một hoặc nhiều thành phần nêu trên được lắp thêm vào hệ thống phát điện thông thường, như nhà máy điện đốt than, lò phản ứng hạt nhân, hoặc các nhà máy tương tự. Ví dụ, hệ thống điện có thể bao gồm hai cụm trao đổi nhiệt (ví dụ, cụm trao đổi nhiệt sơ cấp và cụm trao đổi nhiệt thứ cấp). Về cơ bản, cụm trao đổi nhiệt sơ cấp có thể là cụm như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này, và cụm trao đổi nhiệt thứ cấp có thể là cụm dùng để truyền nhiệt từ dòng xả tuabin đến một hoặc nhiều dòng hơi (ví dụ, từ nồi hơi gắn liền với hệ thống phát điện thông thường) để làm quá nhiệt các dòng hơi này. Do đó, hệ thống phát điện theo sáng chế có thể bao gồm cụm trao đổi nhiệt thứ cấp nằm ở giữa và nối thông với tuabin và cụm trao đổi nhiệt sơ cấp. Hệ thống phát điện tương tự có thể bao gồm nồi hơi nối thông với cụm trao đổi nhiệt thứ cấp thông qua ít nhất một dòng hơi. Hơn thế nữa, hệ thống phát điện có thể bao gồm ít nhất một nửa tuabin phát điện nữa có cửa nạp để tiếp nhận ít

nhất một dòng hơi từ cụm trao đổi nhiệt thứ cấp. Do đó, hệ thống có thể được mô tả sẽ bao gồm tuabin phát điện sơ cấp và tuabin phát điện thứ cấp. Tuabin phát điện sơ cấp có thể là tuabin nối thông với buồng đốt trong hệ thống do sáng chế đề xuất. Tuabin phát điện thứ cấp có thể là tuabin nối thông với dòng hơi, mà cụ thể là dòng hơi quá nhiệt vốn được làm quá nhiệt so với nhiệt từ dòng xả ra khỏi tuabin phát điện sơ cấp. Hệ thống này được lắp thêm vào một hoặc nhiều bộ phận từ hệ thống phát điện thông thường nêu trong bản mô tả này có dựa vào FIG.12 và ví dụ 2. Việc sử dụng thuật ngữ tuabin phát điện sơ cấp và tuabin phát điện thứ cấp sẽ không làm giới hạn phạm vi bảo hộ của sáng chế và các thuật ngữ này chỉ được dùng để làm rõ phân mô tả.

Trong hệ thống theo khía cạnh khác của sáng chế, dòng bên ngoài có thể được làm nóng ở đầu có nhiệt độ cao của bộ trao đổi nhiệt bởi nhiệt truyền từ dòng xả tuabin trong việc làm nguội và, tạo ra dòng áp suất cao tái tuần hoàn sẽ ra khỏi bộ trao đổi nhiệt và nạp vào buồng đốt ở nhiệt độ thấp hơn. Trong trường hợp này, lượng nhiên liệu được đốt trong buồng đốt có thể được tăng lên khiến cho nhiệt độ ở đầu nạp của tuabin được duy trì. Trị số nhiệt của nhiên liệu bổ sung được đốt sẽ bằng tải trọng nhiệt bổ sung tác động lên bộ trao đổi nhiệt.

Hệ thống theo một số phương án của sáng chế khác biệt do đề xuất thiết bị xử lý sinh ra công suất trên trục từ sự tuần hoàn của chất lưu tuần hoàn chủ yếu là  $\text{CO}_2$ . Theo các phương án tiếp theo, sáng chế đề xuất các quy trình thỏa mãn các điều kiện nhất định. Theo một phương án cụ thể, hệ thống do sáng chế đề xuất còn có thể khác biệt ở một hoặc nhiều thao tác dưới đây hoặc các cơ cấu vốn có ích để thực hiện các thao tác này:

nén chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến áp suất vượt quá áp suất tới hạn của  $\text{CO}_2$ ;

đốt trực tiếp nhiên liệu chứa hydrocarbon ở thể rắn, thể lỏng, hoặc thể khí trong  $\text{O}_2$  gần như tinh khiết được cung cấp để trộn chất lưu tái tuần hoàn vượt quá trạng thái tới hạn giàu  $\text{CO}_2$  nhằm đạt được nhiệt độ của nạp cần thiết của tuabin phát điện – ví dụ, cao hơn  $500^\circ\text{C}$  (hoặc vùng nhiệt độ khác như được nêu trong bản mô tả này);

làm giãn nở dòng vượt quá tới hạn tạo thành từ các sản phẩm đốt và tái tuần hoàn chất lưu giàu  $\text{CO}_2$  trong tuabin khi sinh ra công suất trên trục, cụ thể là làm giãn nở đến áp suất cao hơn 2MPa và thấp hơn áp suất mà ở đó xuất hiện pha lỏng  $\text{CO}_2$  khi chất lưu được làm nguội đến nhiệt độ phù hợp với việc sử dụng phương tiện làm nguội ở nhiệt độ môi trường (ví dụ, áp suất khoảng 7,3MPa - 7,4MPa);

nạp khí xả tuabin vào trong bộ trao đổi nhiệt trong đó khí xả tuabin được làm nguội, và nhiệt được truyền đến chất lưu vượt quá tới hạn giàu  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn;

làm nguội dòng chứa  $\text{CO}_2$  ra khỏi bộ trao đổi nhiệt đối với phương tiện làm nguội ở nhiệt độ môi trường và tách pha lỏng nước chứa ít nhất là  $\text{CO}_2$  có các nồng độ rất thấp của và tách pha khí  $\text{CO}_2$  chứa ít nhất là hơi nước có hàm lượng rất thấp;

thực hiện việc tách nước theo cách cho phép thời gian lưu mong muốn (ví dụ, đến 10 giây) có sự tiếp xúc trực tiếp giữa khí  $\text{CO}_2$  và nước ở thể lỏng hoặc pha axit yếu sao cho các phản ứng bao gồm  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , và/hoặc Hg có thể diễn ra làm hơn 98% lưu huỳnh hiện có mặt trong dòng chuyển hóa thành  $\text{H}_2\text{SO}_4$  và hơn 90% các oxit nitơ hiện có mặt trong dòng chuyển hóa thành  $\text{HNO}_3$ , và hơn 80% thủy ngân trong dòng chuyển hóa thành hợp chất thủy ngân hòa tan được;

tách các thành phần không cô được (như  $\text{N}_2$ , Ar, và  $\text{O}_2$ ) ra khỏi pha  $\text{CO}_2$  khí bằng cách làm lạnh đến nhiệt độ gần với nhiệt độ điểm đông lạnh  $\text{CO}_2$  với việc tách pha khí/pha lỏng chủ yếu để lại  $\text{N}_2$ , Ar, và  $\text{O}_2$  ở pha khí;

nén dòng  $\text{CO}_2$  ở thể khí tinh khiết trong máy nén khí đến áp suất mà ở đó việc làm nguội bằng phương tiện làm nguội ở nhiệt độ môi trường sẽ tạo chất lưu  $\text{CO}_2$  có tỷ trọng cao (ví dụ, có tỷ trọng thấp nhất là  $200\text{kg/m}^3$ , tốt hơn nếu thấp nhất khoảng  $300\text{kg/m}^3$ , hoặc tốt hơn nữa nếu thấp nhất khoảng  $400\text{kg/m}^3$ );

làm nguội  $\text{CO}_2$  đã nén bởi phương tiện làm nguội ở nhiệt độ môi trường để tạo chất lưu vượt quá tới hạn  $\text{CO}_2$  có tỷ trọng cao (ví dụ, có tỷ trọng thấp nhất là  $200\text{kg/m}^3$ , tốt hơn nếu ít nhất khoảng  $300\text{kg/m}^3$ , hoặc tốt hơn nữa nếu ít nhất khoảng  $400\text{kg/m}^3$ );



nén chất lưu  $\text{CO}_2$  có tỷ trọng cao trong máy nén đến áp suất cao hơn áp suất tới hạn của  $\text{CO}_2$ ;

tách dòng  $\text{CO}_2$  có áp suất cao thành hai dòng riêng biệt – một dòng nạp vào đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt còn dòng thứ hai được làm nóng bằng cách sử dụng nguồn làm nóng có sẵn bên ngoài ở nhiệt độ thấp hơn  $250^\circ\text{C}$ ;

tạo điều kiện thuận lợi để truyền nhiệt hữu hiệu (kể cả sử dụng nguồn nhiệt bên ngoài tùy chọn) sao cho mức chênh lệch giữa nhiệt độ của dòng xả tuabin nạp vào đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt và nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn ra khỏi đầu nóng của cùng bộ trao đổi nhiệt là nhỏ hơn  $50^\circ\text{C}$  (hoặc ngưỡng nhiệt độ khác như được nêu trong bản mô tả này);

nén chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến áp suất nằm trong khoảng từ 8MPa đến 50MPa (hoặc vùng áp suất khác như được nêu trong bản mô tả này);

trộn dòng  $\text{O}_2$  với ít nhất một phần của dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn và dòng nhiên liệu chứa cacbon để tạo một dòng chất lưu (hoặc chất quánh nếu sử dụng nhiên liệu ở thể rắn dạng bột), có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ tự động bắt lửa của nhiên liệu, và các tỷ lệ của dòng chất lưu này được điều chỉnh để có được nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt nằm trong khoảng từ  $1.200^\circ\text{C}$  đến  $3.500^\circ\text{C}$  (hoặc vùng nhiệt độ khác như được nêu trong bản mô tả này);

trộn ít nhất một phần của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn với các sản phẩm đốt để tạo dòng chất lưu hỗn hợp ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ  $500^\circ\text{C}$  đến  $1.600^\circ\text{C}$  (hoặc vùng nhiệt độ khác như được nêu trong bản mô tả này);

tạo dòng xả tuabin có áp suất nằm trong khoảng từ 2MPa đến 7,3MPa (hoặc vùng áp suất khác như được nêu trong bản mô tả này);

làm nóng từ bên ngoài một phần của dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có áp suất cao bằng cách sử dụng nhiệt của bước nén có nguồn gốc từ hoạt động của một hoặc nhiều máy nén khí của thiết bị  $\text{O}_2$  ở nhiệt độ thấp (cụ thể là theo phương pháp đoạn nhiệt) và/hoặc máy nén  $\text{CO}_2$  (cụ thể là theo phương pháp đoạn nhiệt), nhiệt được truyền do sự tuần hoàn của chất lưu truyền nhiệt thích hợp (kể cả của chính chất lưu  $\text{CO}_2$ );

làm nóng một hoặc nhiều dòng chất lưu bên ngoài trong bộ trao đổi nhiệt bằng nhiên liệu bổ sung tương đương được đốt trong buồng đốt, trong đó một hoặc nhiều dòng chất lưu bên ngoài có thể bao gồm hơi mà có thể được làm quá nhiệt trong bộ trao đổi nhiệt;

bằng cách sử dụng nhiệt được cấp bởi hơi ngưng do nguồn bên ngoài cung cấp để làm nóng từ bên ngoài một phần của dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn;

làm nguội dòng chứa  $\text{CO}_2$  trong bộ trao đổi nhiệt (dòng ra khỏi đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt) để cấp nhiệt nhằm làm nóng dòng chất lưu cấp từ bên ngoài;

cấp dòng nguyên liệu  $\text{O}_2$  trong đó nồng độ phân tử gam của  $\text{O}_2$  thấp nhất khoảng 85% (hoặc vùng nồng độ khác như được nêu trong bản mô tả này);

vận hành buồng đốt sao cho nồng độ của  $\text{O}_2$  trong tổng dòng khí ra khỏi buồng đốt (nghĩa là, dòng sản phẩm đốt) và nạp vào tuabin lớn hơn từ 0,1% theo phân tử gam;

thực hiện quy trình phát điện sao cho chỉ sử dụng một tuabin phát điện;

thực hiện quy trình phát điện sao cho chỉ một buồng đốt được sử dụng để đốt gần như toàn bộ nhiên liệu chứa cacbon nạp vào trong buồng đốt;

vận hành buồng đốt sao cho lượng  $\text{O}_2$  trong dòng  $\text{O}_2$  nạp vào buồng đốt thấp hơn lượng cần để đốt dòng nhiên liệu nạp vào buồng đốt theo hóa học lượng pháp và do đó sinh ra một trong số hoặc cả  $\text{H}_2$  lẫn cacbon monoxit ( $\text{CO}$ ) trong dòng sản phẩm đốt;

và thực hiện quy trình bằng cách sử dụng hai hoặc nhiều tuabin mỗi tuabin có áp suất đầu ra đã định trong đó một trong số hoặc cả  $\text{H}_2$  lẫn  $\text{CO}$  hiện có mặt trong dòng xả ra khỏi tuabin thứ nhất (và các tuabin tiếp sau, nếu có, ngoại trừ tuabin sau cùng trong chuỗi tuabin) và một phần hoặc tất cả  $\text{H}_2$  và  $\text{CO}$  được đốt nhờ sự bổ sung dòng  $\text{O}_2$  trước khi nạp của tuabin thứ hai và các tuabin tiếp sau để tăng nhiệt độ vận hành của tuabin thứ hai hoặc mỗi tuabin trong số các tuabin đến trị số cao hơn khiến cho  $\text{O}_2$  dư thừa trong dòng ra khỏi từ tuabin cuối cùng, sự dư thừa này lớn hơn khoảng 0,1% phân tử gam.

Không phải là các phương án tiếp theo, sáng chế mô tả phương pháp có thể có một hoặc nhiều bước sau:

làm nóng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  trong hệ thống trao đổi nhiệt đối với dòng xả tuabin trong việc làm nguội sao cho dòng xả tuabin được làm nguội đến nhiệt độ thấp hơn điểm sương tạo nước của nó;

làm nguội dòng xả tuabin so với môi trường làm nguội ở nhiệt độ xung quanh và ngưng nước cùng với nhiên liệu và các tạp chất có nguồn gốc từ việc đốt bao gồm  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ , và các tạp chất khác như Hg và kim loại khác dưới dạng các hợp chất ion trong dung dịch;

nén chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế đến áp suất cao hơn áp suất tới hạn của nó song thấp hơn 10MPa trong máy nén thứ nhất;

làm nguội chất lưu tuần hoàn đến điểm mà tỷ trọng chất lưu này lớn hơn 600kg/m<sup>3</sup>;

nén chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có tỷ trọng cao trong máy nén đến áp suất cần để khắc phục mức sụt áp suất trong hệ thống và nạp chất lưu  $\text{CO}_2$  tuần hoàn vào trong buồng đốt;

loại bỏ dòng sản phẩm  $\text{CO}_2$  thành phẩm gần như chứa toàn bộ  $\text{CO}_2$  được tạo ra do đốt cacbon trong dòng nhiên liệu, dòng  $\text{CO}_2$  này được lấy từ luồng xả của máy nén thứ nhất hoặc máy nén thứ hai;

cung cấp nhiệt lượng bổ sung vào chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ở mức nhiệt độ cao hơn nhiệt độ điểm ngưng sương của đối với dòng xả tuabin trong việc làm nguội một cách trực tiếp vào bộ trao đổi nhiệt hoặc bằng cách làm nóng dòng nhánh bao gồm phần chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  khiến cho mức chênh lệch nhiệt độ giữa chất lưu  $\text{CO}_2$  tuần hoàn và khí xả tuabin ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt thấp hơn 50°C;

bằng cách sử dụng nhiên liệu bao gồm nhiên liệu chứa cacbon có cặn không cháy được vốn được oxi hóa một phần bằng  $\text{O}_2$  trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán để tạo ra dòng bao gồm  $\text{H}_2$ , CO,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  và cặn không cháy được, buồng đốt đang được nạp phần chất lưu  $\text{CO}_2$  tuần hoàn để làm nguội các sản phẩm đốt đến nhiệt độ được oxi hóa một phần nằm trong khoảng từ 500°C đến

900°C khí đó tro có mặt như các hạt thể rắn mà có thể được loại một cách hoàn toàn ra khỏi dòng chất lưu đầu ra nhờ hệ thống lọc;

tạo mức chênh lệch nhiệt độ giữa dòng xả tuabin trong việc làm nguội và dòng chất lưu CO<sub>2</sub> tuần hoàn làm nóng tại điểm mà ở đó luồng của dòng nhánh tái trộn với luồng chất lưu CO<sub>2</sub> tuần hoàn đã được làm nóng riêng biệt, mức chênh lệch này nằm trong khoảng từ 10°C đến 50°C;

tạo áp suất dòng xả tuabin ra khỏi đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt sao cho không tạo thành CO<sub>2</sub> thể lỏng khi dòng này được làm nguội trước khi tách nước và tạp chất;

bằng cách sử dụng phần ít nhất của dòng xả tuabin để làm quá nhiệt nhiều dòng hơi có nguồn gốc từ hệ thống điện chạy hơi gắn liền với hệ thống nồi hơi thông thường và lò phản ứng hạt nhân;

cấp nhiệt ở mức độ thấp bổ sung vào dòng CO<sub>2</sub> đang tuần hoàn như hơi ở một hoặc nhiều mức áp suất lấy từ nguồn hơi bên ngoài như nhà máy điện;

bằng cách sử dụng dòng xả của bộ giãn nở ra khỏi đầu nguội của bộ hệ thống trao đổi nhiệt để tạo ra việc làm nóng đối với ít nhất một phần của phần ngưng ra khỏi bộ ngưng hơi của hệ thống phát điện chạy hơi;

cấp nhiệt ở mức độ thấp bổ sung cho dòng CO<sub>2</sub> đang tuần hoàn từ dòng xả nóng của tuabin khí có chu trình hở;

cho khí có nguồn gốc từ than được oxi hóa một phần cùng với CO<sub>2</sub> làm nhiên liệu vào buồng đốt thứ hai để hoàn tất việc đốt;

vận hành một buồng đốt với tỷ lệ O<sub>2</sub> so với nhiên liệu sao cho phần nhiên liệu được oxi hóa thành các sản phẩm oxi hóa chứa CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, và SO<sub>2</sub> và phần còn lại nhiên liệu được oxi hóa thành các thành phần bao gồm H<sub>2</sub>, CO, và H<sub>2</sub>S;

vận hành hai tuabin cao hơn tổng tỷ lệ áp lực cần thiết bằng O<sub>2</sub> được phun vào trong luồng xả của tuabin thứ nhất để đốt các thành phần biến đổi nhằm làm nóng lại dòng có áp suất trung gian đến nhiệt độ cao hơn trước khi dòng này được giãn nở qua tuabin thứ hai.

Các phương án tiếp theo thậm chí cũng nằm trong phạm vi bảo hộ của sáng chế như được mô tả có dựa vào các hình vẽ khác nhau và/hoặc như được mô tả trong phần mô tả chi tiết phương án ưu tiên dưới đây của sáng chế.

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Do đó, sáng chế sẽ được mô tả sáng chế theo các thuật ngữ chung có dựa vào các hình vẽ kèm theo, các hình vẽ này không nhất thiết được thể hiện theo đúng tỷ lệ, và trong đó:

FIG.1 là hình vẽ dạng sơ đồ thể hiện thiết bị buồng đốt làm nguội bằng khuếch tán bay hơi có thể được dùng trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế;

FIG.2 là hình vẽ dạng sơ đồ thể hiện mặt cắt ngang mang tính minh họa của thành của chi tiết bay hơi khuếch tán trong thiết bị buồng đốt có thể được dùng trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế;

FIG.3A và FIG.3B là các hình vẽ dạng sơ đồ thể hiện quy trình lắp nóng đối với việc lắp chi tiết bay hơi khuếch tán trong thiết bị buồng đốt có thể được dùng trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế;

FIG.4 là hình vẽ dạng sơ đồ thể hiện thiết bị loại tạp chất của sản phẩm đốt có thể có ích theo các phương án nhất định của sáng chế;

FIG.5 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện chu trình phát điện trong hệ thống theo một phương án của sáng chế;

FIG.6 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đi qua cụm tách trong hệ thống theo một phương án của sáng chế;

FIG.7 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện việc nén bằng cách sử dụng chuỗi gồm hai hoặc nhiều máy nén hoặc các bơm trong cụm nén trong hệ thống theo một phương án của sáng chế;

FIG.8 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện cụm trao đổi nhiệt trong hệ thống theo một phương án của sáng chế trong đó ba bộ trao đổi nhiệt riêng biệt được lắp nối tiếp;

FIG.9 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện cụm tuabin sử dụng hai tuabin vận hành theo hàng ở chế độ khử trong hệ thống theo một phương án của sáng chế;

FIG.10 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện hệ thống phát điện theo một phương án của sáng chế bằng cách sử dụng hai buồng đốt;

FIG.11 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện ví dụ cụ thể về hệ thống phát điện theo một phương án của sáng chế; và

FIG.12 là hình vẽ dạng biểu đồ thể hiện ví dụ khác về hệ thống phát điện kết hợp với nồi hơi đốt than thông thường theo một phương án của sáng chế.

### **Mô tả chi tiết sáng chế**

Dưới đây, sáng chế sẽ được mô tả một cách đầy đủ có dựa vào các phương án khác nhau. Các phương án này của sáng chế được mô tả nhằm thể hiện thông suốt và hoàn toàn và truyền đạt một cách đầy đủ phạm vi bảo hộ của sáng chế đến các người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này. Thực vậy, sáng chế có thể được thực hiện theo nhiều dạng khác nhau và không bị giới hạn bởi các phương án được mô tả trong bản mô tả này; không chỉ vậy, các phương án này được thực hiện chỉ để thỏa mãn các yêu cầu về mặt luật pháp đang được áp dụng. Khi dùng trong bản mô tả này, và trong các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo, các dạng số ít “một”, “một cái”, “một chiếc”, được hiểu là bao gồm cả số nhiều trừ khi ngữ cảnh khác được nêu cụ thể.

Sáng chế đề xuất hệ thống phát điện thông qua việc sử dụng buồng đốt nhiên liệu hiệu quả cao (như buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán) và chất lưu tuần hoàn liên kết (như chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ ). Chất lưu tuần hoàn được cấp trong buồng đốt cùng với nhiên liệu thích hợp, chất oxy hóa cần thiết bất kỳ, và các vật liệu kết hợp bất kỳ có thể có ích để đốt hữu hiệu. Phương pháp không phải là một phương án cụ thể của sáng chế có thể được thực hiện bằng cách sử dụng buồng đốt vận hành ở các nhiệt độ rất cao (ví dụ, nằm trong khoảng từ  $1.600^\circ\text{C}$  đến  $3300^\circ\text{C}$ , hoặc các vùng nhiệt độ khác như nêu trong bản mô tả này), và sự có mặt của chất lưu tuần hoàn có thể có chức năng điều hòa nhiệt độ của dòng chất lưu ra khỏi buồng đốt khiến cho dòng chất lưu này có thể được tận dụng trong việc truyền năng

lượng để phát điện. Cụ thể, dòng sản phẩm đốt có thể được giãn nở qua ít nhất một tuabin để phát điện. Dòng khí giãn nở có thể được làm nguội để loại bỏ các thành phần khác nhau như nước, ra khỏi dòng này, và nhiệt được rút ra khỏi dòng khí giãn nở có thể được dùng để làm nóng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Sau đó, dòng chất lưu tuần hoàn tinh chế có thể được nén và được làm nóng để tái tuần hoàn qua buồng đốt. Nếu muốn, phần  $\text{CO}_2$  ra khỏi dòng sản phẩm đốt (nghĩa là, bắt nguồn từ  $\text{CO}_2$  được tạo ra bằng cách đốt nhiên liệu chứa cacbon với sự có mặt của oxy) có thể được rút đi để tách hoặc khử kiểu khác, như chuyển đến đường ống  $\text{CO}_2$ . Hệ thống có thể sử dụng các thông số xử lý đặc thù và các thành phần để tăng hiệu quả đến mức lớn nhất của hệ thống, cụ thể là trong khi tránh xả  $\text{CO}_2$  vào khí quyển. Khi được mô tả cụ thể trong bản mô tả này, chất lưu tuần hoàn được lấy làm ví dụ minh họa là chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Mặc dù phương án được ưu tiên của sáng chế sử dụng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  song điều này không làm giới hạn phạm vi bảo hộ cần thiết đối với các loại chất lưu tuần hoàn có thể được sử dụng trong hệ thống do sáng chế đề xuất trừ khi được mô tả khác đi.

Theo các phương án nhất định, hệ thống phát điện theo sáng chế do sáng chế đề xuất có thể sử dụng chất lưu tuần hoàn chủ yếu bao gồm  $\text{CO}_2$ . Nói cách khác, tính chất hóa học của chất lưu tuần hoàn ngay trước khi nạp vào trong buồng đốt là tính chất của chất lưu tuần hoàn chủ yếu bao gồm  $\text{CO}_2$ . Theo ngữ cảnh này, thuật ngữ “chủ yếu” có thể được hiểu là chất lưu đó chứa  $\text{CO}_2$  với ít nhất khoảng 90% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 91% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 92% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 93% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 94% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 95% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 96% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 97% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 98% theo nồng độ phân tử gam, hoặc ít nhất khoảng 99% theo nồng độ phân tử gam. Tốt hơn, nếu chất lưu tuần hoàn ngay trước khi nạp vào buồng đốt gần như chỉ bao gồm  $\text{CO}_2$ . Theo ngữ cảnh này, thuật ngữ “gần như chỉ” có thể hiểu là chất lưu đó chứa  $\text{CO}_2$  ít nhất khoảng 99,1% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 99,25% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 99,5% theo nồng độ phân tử gam, ít nhất khoảng 99,75% theo nồng độ phân

tử gam, ít nhất khoảng 99,8% theo nồng độ phân tử gam, hoặc ít nhất khoảng 99,9% theo nồng độ phân tử gam. Trong buồng đốt,  $\text{CO}_2$  có thể trộn với một hoặc nhiều thành phần khác mà có thể có nguồn gốc từ nhiên liệu, chất oxi hóa bất kỳ, và các chất dẫn xuất từ việc đốt nhiên liệu. Do đó, chất lưu tuần hoàn ra khỏi buồng đốt, dòng sản phẩm đốt, có thể bao gồm  $\text{CO}_2$  cùng với các lượng nguyên liệu khác ít hơn, như  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , Ar,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , NO,  $\text{NO}_2$ , HCl, Hg, và lượng cực nhỏ các thành phần khác mà có thể có nguồn gốc quá trình đốt (ví dụ, các hạt, như tro hoặc tro nóng chảy), kể cả các chất cháy được khác. Như được mô tả một cách chi tiết hơn dưới đây, quá trình đốt có thể được điều khiển sao cho tính chất của dòng chất lưu có thể khử hoặc oxi hóa, mà có thể đem lại các lợi ích được mô tả một cách cụ thể.

Hệ thống do sáng chế đề xuất có thể kết hợp một hoặc nhiều buồng đốt hữu ích để đốt nhiên liệu thích hợp, như được nêu trong bản mô tả này. Tốt hơn, nếu hệ thống theo một phương án của sáng chế sử dụng ít nhất một buồng đốt là buồng đốt hiệu quả cao có khả năng đem lại quá trình đốt nhiên liệu gần như hoàn toàn ở nhiệt độ đốt tương đối cao. Việc đốt ở nhiệt độ cao có thể đặc biệt hữu ích để đem lại việc đốt nhiên liệu gần như hoàn toàn và do đó tăng hiệu quả đến mức lớn nhất. Trong hệ thống theo các phương án khác nhau, việc đốt ở nhiệt độ cao có thể hiểu là đốt ở nhiệt độ thấp nhất khoảng  $1.200^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $1.300^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $1.400^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $1.500^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $1.600^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $1.750^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $2.000^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $2.500^\circ\text{C}$ , hoặc thấp nhất khoảng  $3.000^\circ\text{C}$ . Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, việc đốt ở nhiệt độ cao có thể hiểu là đốt ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ  $1.200^\circ\text{C}$  đến  $5.000^\circ\text{C}$ , từ  $1.500^\circ\text{C}$  đến  $4.000^\circ\text{C}$ , từ  $1.600^\circ\text{C}$  đến  $3.500^\circ\text{C}$ , từ  $1.700^\circ\text{C}$  đến  $3.200^\circ\text{C}$ , từ  $1.800^\circ\text{C}$  đến  $3.100^\circ\text{C}$ , từ  $1.900^\circ\text{C}$  đến  $3.000^\circ\text{C}$ , hoặc từ  $2.000^\circ\text{C}$  đến  $3.000^\circ\text{C}$ .

Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, việc đốt ở nhiệt độ cao theo sáng chế có thể được thực hiện bằng cách sử dụng buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Một ví dụ về buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán có thể được dùng trong hệ thống do sáng chế đề xuất được mô tả trong đơn yêu



cầu cấp patent Mỹ số 12/714,074 nộp ngày 26 tháng 02 năm 2010 mà nội dung của nó được đưa vào đây hoàn toàn bằng cách viện dẫn. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán hữu ích có thể bao gồm một hoặc nhiều vùng trao đổi nhiệt, một hoặc nhiều chất lưu làm nguội, và một hoặc nhiều chất lưu bay hơi khuếch tán.

Việc sử dụng buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán do sáng chế đề xuất đặc biệt có ưu điểm so với các giải pháp kỹ thuật đã biết trong việc đốt nhiên liệu để phát điện. Ví dụ, việc sử dụng làm nguội bằng bay hơi khuếch tán có thể có ích để ngăn chặn sự ăn mòn, tắc, và mài mòn trong buồng đốt. Điều này còn cho phép buồng đốt được vận hành trong vùng nhiệt độ đủ cao để thỏa mãn việc đốt hoàn toàn hoặc ít nhất là gần như hoàn toàn nhiên liệu được sử dụng. Các ưu điểm này và các ưu điểm khác nữa sẽ được mô tả trong bản mô tả này.

Theo một khía cạnh cụ thể, buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán hữu ích trong hệ thống theo sáng chế có thể bao gồm buồng đốt được tạo ra ít nhất một phần bởi chi tiết bay hơi khuếch tán, trong đó chi tiết bay hơi khuếch tán được bao quanh ít nhất một phần bởi chi tiết chịu áp lực. Buồng đốt có thể có phần cửa nạp nằm đối diện phần cửa xả. Phần cửa nạp của buồng đốt có thể được tạo kết cấu để tiếp nhận nhiên liệu chứa cacbon cần được đốt bên trong buồng đốt ở nhiệt độ đốt để tạo ra sản phẩm đốt. Buồng đốt có thể còn được tạo kết cấu để hướng sản phẩm đốt về phía phần cửa xả. Chi tiết bay hơi khuếch tán có thể được tạo kết cấu để hướng chất bay hơi khuếch tán xuyên qua đó về phía buồng đốt để tạo đệm tương tác giữa sản phẩm đốt và chi tiết bay hơi khuếch tán. Ngoài ra, chất bay hơi khuếch tán có thể được nạp vào trong buồng đốt nhằm đạt được nhiệt độ đầu ra mong muốn của sản phẩm đốt. Trong hệ thống theo các phương án cụ thể, chất bay hơi khuếch tán có thể gồm ít nhất một phần chất lưu tuần hoàn.

Các thành của buồng đốt có thể được lót bởi lớp chất liệu xốp mà chất bay hơi khuếch tán, như  $\text{CO}_2$  và/hoặc  $\text{H}_2\text{O}$  được hướng và chảy qua chất bay hơi khuếch tán.

Theo các khía cạnh khác nữa, chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có thể kéo dài từ phần cửa nạp 222A đến phần cửa xả 222B của chi tiết bay hơi khuếch

tán 230. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, kết cấu rỗ/có lỗ của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có thể kéo dài gần như hoàn toàn (theo chiều dọc trục) từ phần cửa nạp 222A đến phần cửa xả 222B khiến cho chất lưu bay hơi khuếch tán 210 được hướng vào trong gần như trên toàn bộ chiều dài của buồng đốt 222. Nghĩa là, gần như toàn bộ chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có thể được tạo kết cấu rỗ/có lỗ khiến cho gần như trên toàn bộ chiều dài của buồng đốt 222 được làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Cụ thể hơn, theo một vài khía cạnh, diện tích rỗ/có lỗ cộng dồn có thể gần bằng diện tích bề mặt của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332. Theo các khía cạnh khác nữa, các chỗ rỗ/có lỗ có thể nằm cách nhau theo tỷ lệ thích hợp sao cho đạt được sự phân phối chất bay hơi khuếch tán gần như đều từ chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 vào trong buồng đốt 222 (nghĩa là, không có “các điểm chết” mà ở đó vắng mặt hoặc không có dòng chất bay hơi khuếch tán 210). Trong một ví dụ thực hiện sáng chế, mỗi inơ vuông ( $6,45\text{cm}^2$ ) của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có thể bao gồm mạng chỗ rỗ/có lỗ khoảng  $250 \times 250$  trên một inơ vuông ( $6,45\text{cm}^2$ ) để tạo ra khoảng  $62.500$  lỗ rỗ/in<sup>2</sup> ( $6,45\text{cm}^2$ ), với các chỗ rỗ/có lỗ nằm cách nhau khoảng  $0,004$  inơ (khoảng  $0,1\text{mm}$ ). Tỷ lệ giữa diện tích lỗ rỗ và tổng diện tích thành (% xấp) có thể là 50%. Mạng lỗ rỗ có thể được thay đổi trên vùng rộng để phù hợp với các thông số thiết kế khác của hệ thống, như mức sụt áp suất mong muốn so với tốc độ dòng chảy qua chi tiết bay hơi khuếch tán. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, có thể sử dụng mạng có kích thước nằm trong khoảng từ  $10 \times 10$  đến  $10.000 \times 10.000$  trên inơ ( $2,54\text{cm}$ ) phần trăm xấp nằm trong khoảng từ 10% đến 80%.

Dòng chất bay hơi khuếch tán qua lớp bay hơi khuếch tán xấp này, và qua các lớp dự phòng bổ sung theo tùy chọn, có thể được tạo kết cấu nhằm đạt được nhiệt độ đầu ra mong muốn của tổng dòng chất lưu ra khỏi buồng đốt. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, như được mô tả dưới đây, nhiệt độ này có thể nằm trong khoảng từ  $500^\circ\text{C}$  đến  $2.000^\circ\text{C}$ . Dòng này có thể được dùng để làm nguội chi tiết bay hơi khuếch tán đến nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ cho phép vận hành tối đa vật liệu chế tạo chi tiết bay hơi khuếch tán. Chất bay hơi khuếch tán còn có

thể được dùng để ngăn chặn sự xâm nhập của các vật liệu tro thể lỏng hoặc thể rắn bất kỳ hoặc các tạp chất khác trong nhiên liệu mà có thể ăn mòn, tắc, hoặc nói cách khác có thể gây hư hại các thành. Trong các ví dụ thực hiện này của sáng chế, có thể mong muốn sử dụng vật liệu để làm chi tiết bay hơi khuếch tán với độ dẫn nhiệt hợp lý khiến cho nhiệt bức xạ đi kèm có thể được dẫn ra ngoài theo hướng kính thông qua chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xốp và sau đó bị chặn lại bởi sự truyền nhiệt đối lưu từ các bề mặt của cấu trúc lớp xốp đến chất lưu đang đi theo hướng kính vào trong thông qua lớp bay hơi khuếch tán. Kết cấu này có thể cho phép phần tiếp sau của dòng được dẫn hướng thông qua chi tiết bay hơi khuếch tán được làm nóng đến nhiệt độ trong vùng nhiệt độ mong muốn, như nằm trong khoảng từ  $500^{\circ}\text{C}$  đến  $1.000^{\circ}\text{C}$ , mà vẫn đồng thời duy trì được nhiệt độ của chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xốp trong vùng nhiệt độ mong muốn của vật liệu được dùng để chế tạo chi tiết này. Các vật liệu thích hợp để chế tạo chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xốp có thể bao gồm, ví dụ, các loại gốm xốp, các đệm sợi kim loại chịu lửa, các đoạn hình trụ được khoan lỗ, và/hoặc các lớp kim loại nung kết hoặc bột kim loại nung kết. Chức năng thứ hai của chi tiết bay hơi khuếch tán có thể nhằm đảm bảo dòng vào trong theo hướng kính của chất lưu bay hơi khuếch tán, cũng như đi dọc theo buồng đốt gần như đều, để đạt được sự trộn đều giữa dòng chất lưu bay hơi khuếch tán và sản phẩm đốt trong khi cải thiện dòng hướng trực đều theo chiều dài của buồng đốt. Chức năng thứ ba của chi tiết bay hơi khuếch tán có thể nhằm đạt được vận tốc của chất lưu pha loãng vào trong theo hướng kính nhằm tạo ra lớp đệm đối với hoặc nói cách khác ngăn không cho các hạt tro thể rắn và/hoặc nóng chảy hoặc các tạp chất khác bên trong các sản phẩm đốt xâm nhập vào bề mặt của lớp bay hơi khuếch tán và gây tắc hoặc gây các hư hại khác. Chức năng này chỉ có tầm quan trọng khi đốt nhiên liệu, như than mà tạo ra các cặn tro dư thừa không cháy được. Thành bên trong của bình áp suất của buồng đốt bao quanh chi tiết bay hơi khuếch tán có thể được cách ly để cách nhiệt với dòng chất lưu bay hơi khuếch tán có nhiệt độ cao bên trong buồng đốt.

FIG.1 là hình vẽ dạng sơ đồ thể hiện thiết bị buồng đốt sử dụng trong hệ thống theo một phương án của sáng chế, thiết bị buồng đốt này thường được biểu

thị bằng số chỉ dẫn 220. Trong ví dụ thực hiện này, thiết bị buồng đốt 220 có thể được tạo kết cấu để đốt chất rắn dạng hạt như than để tạo ra sản phẩm đốt, còn nguyên liệu thích hợp bất kỳ khác chứa cacbon cháy được như nêu trong bản mô tả này, cũng có thể được dùng làm nhiên liệu. Buồng đốt 222 có thể được tạo ra bởi chi tiết bay hơi khuếch tán 230, chi tiết này được tạo kết cấu để hướng chất lưu bay hơi khuếch tán xuyên qua đó vào trong buồng đốt 222 (nghĩa là, để tạo điều kiện thuận lợi cho việc làm nguội bằng bay hơi khuếch tán và/hoặc để tạo lớp đệm tương tác giữa sản phẩm đốt và chi tiết bay hơi khuếch tán 230). Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này cần phải hiểu rằng chi tiết bay hơi khuếch tán 230 có thể dạng gần như hình trụ để tạo ra buồng đốt 222 gần như hình trụ có phần cửa nạp 222A và phần cửa xả nằm đối diện 222B. Chi tiết bay hơi khuếch tán 230 có thể được chi tiết chịu áp lực 2338 bao quanh ít nhất một phần. Phần cửa nạp 222A của buồng đốt 222 có thể được tạo kết cấu để tiếp nhận hỗn hợp nhiên liệu từ thiết bị trộn, thường được biểu thị bằng số chỉ dẫn 250. Thiết bị trộn có thể không có mặt trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, và một hoặc nhiều vật liệu nạp vào trong buồng đốt có thể được bổ sung vào một cách riêng biệt thông qua các cửa nạp độc lập. Trong hệ thống theo các phương án cụ thể của sáng chế, hỗn hợp nhiên liệu có thể được đốt bên trong buồng đốt 222 ở nhiệt độ đốt cụ thể để tạo ra sản phẩm đốt, trong đó buồng đốt 222 còn được tạo kết cấu để hướng sản phẩm đốt về phía phần cửa xả 222B. Cơ cấu loại nhiệt 2350 (xem, ví dụ, FIG.2) có thể được gắn liền với chi tiết chịu áp lực 2338 và được tạo kết cấu để điều khiển nhiệt độ của chi tiết này. Trong ví dụ thực hiện cụ thể, cơ cấu loại nhiệt 2350 có thể là áo truyền nhiệt được tạo ra ít nhất một phần bởi thành 2336 nằm đối diện chi tiết chịu áp lực 2338, trong đó chất lỏng có thể được tuần hoàn trong áo tuần hoàn nước 2337 được tạo ra giữa chúng. Theo một phương án của sáng chế, chất lỏng tuần hoàn có thể là nước.

Do đó, chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xóp bên trong 2332 theo một khía cạnh cụ thể được tạo kết cấu để hướng chất lưu bay hơi khuếch tán vào trong buồng đốt 222, sao cho chất bay hơi khuếch tán 210 đi vào buồng đốt 222 gần như theo một góc vuông ( $90^\circ$ ) so với mặt trong của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong

2332. Trong số các ưu điểm khác, việc nạp chất bay hơi khuếch tán 210 gần như theo một góc vuông so với chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có thể tạo điều kiện thuận lợi hoặc nói cách khác nâng cao tác động trong việc hướng chất lỏng xỉ hoặc các giọt chất rắn hoặc các tạp chất khác hoặc dòng rối chất lưu đốt ở nhiệt độ cao ra khỏi mặt trong của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332. Việc thiếu tiếp xúc giữa chất lỏng xỉ hoặc các giọt chất rắn có thể ngăn không cho các giọt này kết tụ thành các giọt lớn hoặc các khối mà trong các giải pháp kỹ thuật đã biết rằng sẽ xuất hiện khi các giọt hoặc các hạt tiếp xúc với các thành cứng. Việc nạp chất bay hơi khuếch tán 210 gần như theo một góc vuông so với chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có thể tạo điều kiện thuận lợi hoặc nói cách khác nâng cao tác động ngăn chặn sự hình thành các dòng rối chất lưu đốt với vận tốc thích hợp nằm vuông góc với và trong vùng lân cận với chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong vốn có thể xâm hại và làm gây hư hại chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong. Trong các ví dụ thực hiện này của sáng chế, chi tiết bay hơi khuếch tán bên ngoài 2331, chi tiết chịu áp lực 2338, áo truyền nhiệt 2336 và/hoặc lớp cách nhiệt 2339 có thể được tạo kết cấu, theo cách riêng biệt hoặc kết hợp, để tạo ra hiệu ứng “đường ống” (nghĩa là, để tạo ra sự cung cấp phân bố gần như đều) trong việc phân phối chất bay hơi khuếch tán/chất lưu 210 đến và qua chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 và đi vào trong buồng đốt 222. Nghĩa là, chất bay hơi khuếch tán 210 có thể được cấp gần như đều (về các yếu tố tốc độ dòng chảy, áp suất, hoặc chỉ số đo thích hợp hoặc tương ứng bất kỳ khác) vào trong buồng đốt 222 bằng cách tạo kết cấu cho chi tiết bay hơi khuếch tán bên ngoài 2331, chi tiết chịu áp lực 2338, áo truyền nhiệt 2336 và/hoặc lớp cách nhiệt 2339 để tạo ra sự cấp đều chất bay hơi khuếch tán 210 vào chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332, hoặc cấp chất bay hơi khuếch tán 210 quanh mặt ngoài của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 mà mặt ngoài này có thể được tùy chỉnh và tạo kết cấu một cách cụ thể khiến cho đạt được sự phân phối gần như đều chất bay hơi khuếch tán 210 bên trong buồng đốt 222. Sự phân phối gần như đều này có thể ngăn chặn sự hình thành của dòng rối chất lưu đốt ở nhiệt độ cao mà nói cách khác có thể tạo thành do sự tương tác của

luồng bay hơi khuếch tán không đều với luồng chất lưu đốt và các dòng rối này có thể xâm phạm đến và làm hư hại chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong.

Thiết bị trộn 250 (khi có mặt) có thể được tạo kết cấu để trộn nhiên liệu chứa cacbon 254 với oxy được làm giàu 242 và chất lưu tuần hoàn 236 để tạo hỗn hợp nhiên liệu 200. Nhiên liệu chứa cacbon 254 có thể được cấp dưới dạng nhiên liệu chứa cacbon thể rắn, nhiên liệu chứa cacbon thể lỏng, và/hoặc nhiên liệu chứa cacbon thể khí. Oxy được làm giàu 242 có thể là oxy có độ tinh khiết phân tử gam lớn hơn 85%. Oxy được làm giàu 242 có thể được cấp, ví dụ, hệ thống/công nghệ tách không khí bất kỳ đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, như, ví dụ, quy trình tách không khí ở nhiệt độ thấp, hoặc quy trình tách oxy (từ không khí) bằng màng vận chuyển ion ở nhiệt độ cao có thể được thực hiện. Chất lưu tuần hoàn 236 có thể là cacbon đioxit, như được nêu trong bản mô tả này. Trong các ví dụ thực hiện sáng chế mà nhiên liệu chứa cacbon 254 là chất rắn dạng hạt, như than bột 254A, thiết bị trộn 250 có thể còn được tạo kết cấu để trộn nhiên liệu chứa cacbon dạng hạt ở thể rắn 254A với chất nền hóa lỏng 255. Theo một khía cạnh, nhiên liệu chứa cacbon dạng hạt ở thể rắn 254A có thể có cỡ hạt trung bình nằm trong khoảng từ 50 micrôn đến 200 micrôn. Theo khía cạnh khác, chất nền hóa lỏng 255 có thể là nước và/hoặc CO<sub>2</sub> thể lỏng có tỷ trọng nằm trong khoảng từ 450kg/m<sup>3</sup> đến 1.100kg/m<sup>3</sup>. Cụ thể hơn, chất nền hóa lỏng 255 có thể kết hợp với nhiên liệu chứa cacbon dạng hạt ở thể rắn 254A để tạo chất quánh 250A có, ví dụ, từ 25% theo trọng lượng đến 55% theo trọng lượng của nhiên liệu chứa cacbon dạng hạt ở thể rắn 254A. Mặc dù oxy 242 được thể hiện trên FIG.1 đã được trộn với nhiên liệu 254 và chất lưu tuần hoàn 236 trước khi nạp vào buồng đốt 222, người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật cần phải hiểu rằng, trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, oxy 242 có thể được đưa một cách riêng biệt vào trong buồng đốt 222, theo yêu cầu hoặc nếu muốn.

Theo một vài khía cạnh, thiết bị trộn 250, có thể bao gồm, ví dụ, mạng bao gồm các vòi phun nằm cách nhau (không được thể hiện trên các hình vẽ) được bố trí quanh thành đáy 223 của chi tiết bay hơi khuếch tán 230 gắn liền với phần cửa nạp 222A của buồng đốt 222 hình trụ. Việc phun nhiên liệu/hỗn hợp nhiên liệu vào

trong buồng đốt 222 theo cách này có thể tạo ra ví dụ, diện tích bề mặt lớn của dòng nạp hỗn hợp nhiên liệu phun mà đến lượt mình có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc truyền nhiệt nhanh bằng bức xạ đến dòng nạp hỗn hợp nhiên liệu phun. Do đó, nhiệt độ của hỗn hợp nhiên liệu được phun có thể gia tăng một cách nhanh chóng đến nhiệt độ môi của nhiên liệu và do đó có thể dẫn đến việc đốt gọn gàng. Vận tốc phun của hỗn hợp nhiên liệu có thể nằm trong khoảng, ví dụ, từ 10m/giây đến 40m/giây, cho dù các trị số này còn tùy vào nhiều yếu tố, như kết cấu của các vòi phun cụ thể. Thiết bị phun có thể có nhiều hình dạng khác nhau. Ví dụ, thiết bị phun có thể bao gồm mạng lỗ có đường kính nằm khoảng từ 0,5mm đến 3mm, trong đó nhiên liệu cần phun sẽ được phun xuyên qua đó ở vận tốc từ 10m/giây đến 40m/giây. Như được thể hiện một cách rõ hơn trên FIG.2, buồng đốt 222 có thể được tạo ra bởi chi tiết bay hơi khuếch tán 230, chi tiết này có thể được bao quanh ít nhất một phần bởi chi tiết chịu áp lực 2338. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, chi tiết chịu áp lực 2338 có thể còn được bao quanh ít nhất một phần bởi áo truyền nhiệt 2336, trong đó áo truyền nhiệt 2336 này có thể kết hợp với chi tiết chịu áp lực 2338 để tạo ra một hoặc nhiều kênh dẫn 2337 giữa chúng, dòng nước có áp suất thấp có thể được tuần hoàn qua các kênh dẫn này. Do đó, nước tuần hoàn qua cơ cấu bay hơi có thể được sử dụng để điều khiển và/hoặc duy trì nhiệt độ được chọn của chi tiết chịu áp lực 2338, ví dụ, nằm trong khoảng từ 100°C đến 250°C. Theo một vài khía cạnh, lớp cách nhiệt 2339 có thể được đặt giữa chi tiết bay hơi khuếch tán 230 và chi tiết chịu áp lực 2338.

Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, chi tiết bay hơi khuếch tán 230 có thể bao gồm, ví dụ, chi tiết bay hơi khuếch tán bên ngoài 2331 và chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332, chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 được đặt quay về phía chi tiết bay hơi khuếch tán bên ngoài 2331 tính từ chi tiết chịu áp lực 2338, và tạo ra buồng đốt 222. Chi tiết bay hơi khuếch tán bên ngoài 2331 có thể làm bằng chất liệu chịu nhiệt độ cao thích hợp bất kỳ như, ví dụ, thép và các hợp kim của, kể cả thép không gỉ và các hợp kim của niken. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, chi tiết bay hơi khuếch tán bên ngoài 2331 có thể được tạo kết cấu để tạo ra các đường cấp chất lưu bay hơi khuếch tán thứ nhất 2333A kéo dài xuyên qua

chi tiết này từ bề mặt của chi tiết liền kề với lớp cách nhiệt 2339 đến bề mặt của chi tiết liền kề với chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, các đường cấp chất lưu bay hơi khuếch tán thứ nhất 2333A có thể tương ứng với các đường cấp chất lưu bay hơi khuếch tán thứ hai 2333B được tạo bởi chi tiết chịu áp lực 2338, áo truyền nhiệt 2336 và/hoặc lớp cách nhiệt 2339. Do đó, các đường cấp chất lưu bay hơi khuếch tán thứ nhất 2333A và các đường cấp chất lưu bay hơi khuếch tán thứ hai 2333B có thể được tạo kết cấu để kết hợp nhằm hướng chất lưu bay hơi khuếch tán đi qua chúng đến chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, như được thể hiện trên FIG.1, chất lưu bay hơi khuếch tán 210 có thể bao gồm chất lưu tuần hoàn 236, và có thể nhận được từ cùng một nguồn kết hợp với chúng. Nếu cần, các đường cấp chất lưu bay hơi khuếch tán thứ nhất 2333A và các đường cấp chất lưu bay hơi khuếch tán thứ hai 2333B có thể được cách ly để phân phối chất lưu bay hơi khuếch tán 210 (nghĩa là,  $\text{CO}_2$ ) theo lượng cấp thích hợp và có áp suất đủ để chất lưu bay hơi khuếch tán 210 được dẫn hướng thông qua chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 và đi vào trong buồng đốt 222. Như nêu trong bản mô tả này, các biện pháp ứng dụng chi tiết bay hơi khuếch tán 230 và chất lưu bay hơi khuếch tán 210 kết hợp có thể cho phép thiết bị buồng đốt 220 được vận hành ở các áp suất tương đối cao và nhiệt độ tương đối cao mà được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này.

Để thực hiện điều này, chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có thể làm bằng, ví dụ, chất liệu gốm xốp, chất liệu có lỗ, chất màng mỏng, lớp đệm xốp được làm bằng các sợi được định hướng ngẫu nhiên theo hai chiều và đứng thứ tự theo chiều thứ ba, hoặc chất liệu thích hợp bất kỳ hoặc hỗn hợp của chúng thể hiện các đặc tính theo yêu cầu của chi tiết như nêu trong bản mô tả này, cụ thể các đường dòng hoặc lỗ rỗng hoặc các miệng 2335 thích hợp khác để tiếp nhận và hướng chất lưu bay hơi khuếch tán qua chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332. Các ví dụ không mang tính giới hạn về gốm xốp và các vật liệu khác thích hợp đối với hệ thống làm nguội bằng khuếch tán bay hơi bao gồm oxit nhôm, ziriconi oxit, ziriconi bền biến đổi, đồng, molipđen, wonfram, wonfram chưa lọc đồng, molipđen bọc wonfram, đồng bọc wonfram, các hợp kim của niken chịu nhiệt độ cao, và các vật



liệu bọc hoặc mạ reni. Nguồn của các vật liệu thích hợp bao gồm, ví dụ CoorsTek, Inc., (Golden, CO) (ziriconi); UltraMet Advanced Materials Solutions (Pacoima, CA) (các lớp bọc kim loại chịu lửa); Orsam Sylvania (Danvers, MA) (wonfram/đồng); và MarkeTech International, Inc. (Port Townsend, WA) (wonfram). Các ví dụ về các vật liệu có lỗ thích hợp đối với hệ thống làm nguội bằng khuếch tán bay hơi bao gồm tất cả các vật liệu và các nhà cung cấp nêu trên (khi mà có thể nhận được các kết cấu thành phẩm có lỗ, ví dụ, bằng cách tạo lỗ kết cấu chưa được tạo lỗ ban đầu bằng cách sử dụng phương pháp đã biết trong lĩnh vực sản xuất đó). Các ví dụ về các vật liệu màng mỏng thích hợp bao gồm tất cả các vật liệu và các nhà cung cấp nêu trên (khi mà có thể nhận được các cấu trúc thành phẩm màng mỏng ví dụ, bằng cách làm mỏng các cấu trúc không xốp hoặc xốp một phần theo cách thức sao cho đạt được độ xốp mong muốn bằng cách sử dụng phương pháp đã biết trong lĩnh vực sản xuất đó).

FIG.3A và FIG.3B thể hiện thiết bị buồng đốt 220 theo một khía cạnh của sáng chế, kết cấu tạo ra buồng đốt 222 có thể được hình thành nhờ sự lắp giao thoa “nóng” giữa chi tiết bay hơi khuếch tán 230 và kết cấu bao quanh, như chi tiết chịu áp lực 2338 hoặc lớp cách nhiệt 2339 đặt giữa chi tiết bay hơi khuếch tán 230 và chi tiết chịu áp lực 2338. Ví dụ, khi tương đối “nguội”, chi tiết bay hơi khuếch tán 230 có thể được định kích thước để trở nên nhỏ hơn, theo hướng kính và/hoặc dọc trục, so với chi tiết chịu áp lực 2338 bao quanh. Như vậy, khi được luồn vào trong chi tiết chịu áp lực 2338, khe hở theo dọc trục và/hoặc hướng kính có thể được xuất hiện giữa chúng (xem, ví dụ, FIG.3A). Tất nhiên, các mức chênh lệch kích thước này có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc luồn chi tiết bay hơi khuếch tán 230 vào trong chi tiết chịu áp lực 2338. Tuy nhiên, khi được làm nóng, ví dụ, đến nhiệt độ vận hành, chi tiết bay hơi khuếch tán 230 có thể được tạo kết cấu để giãn nở theo hướng kính và/hoặc dọc trục để giảm hoặc loại bỏ các khe hở nêu trên (xem, ví dụ, FIG.3B). Khi thực hiện việc này, việc lắp vừa giao thoa theo dọc trục và/hoặc hướng kính có thể được tạo ra giữa chi tiết bay hơi khuếch tán 230 và chi tiết chịu áp lực 2338. Trong các ví dụ thực hiện ứng dụng chi tiết bay hơi khuếch tán 230 với chi tiết bay hơi khuếch tán bên ngoài 2331 và chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong

2332, sự lấp giao thoa này có thể đặt chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 ở trạng thái nén. Như vậy, các vật liệu gạch chịu nhiệt độ cao thích hợp, như gốm xốp, có thể được dùng để chế tạo chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332.

Do chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 có kết cấu như vậy nên chất bay hơi khuếch tán 210 có thể là, ví dụ, cacbon đioxit (nghĩa là, từ cùng nguồn làm chất lưu tuần hoàn 236) được dẫn hướng thông qua chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 sao cho chất bay hơi khuếch tán 210 tạo ra lớp đệm 231 (nghĩa là, “vách hơi”) ngay liền kề với chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 ở bên trong buồng đốt 222, trong đó lớp đệm 231 có thể được tạo kết cấu để tạo lớp đệm tương tác giữa chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 và các thành phần không cháy đã hóa lỏng và làm nóng gắn liền với sản phẩm đốt. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, chất lưu bay hơi khuếch tán 210 có thể được phân phối thông qua chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332, ví dụ, có áp suất thấp nhất là áp suất bên trong buồng đốt 222, trong đó tốc độ dòng chảy của chất lưu bay hơi khuếch tán 210 (nghĩa là, dòng  $\text{CO}_2$ ) vào trong buồng đốt 222 là đủ để chất lưu bay hơi khuếch tán 210 này trộn với và làm nguội các sản phẩm đốt để tạo hỗn hợp chất lưu đầu ra ở nhiệt độ thích hợp đối với yêu cầu nạp của các bước xử lý tiếp sau (nghĩa là, tuabin có thể yêu cầu nhiệt độ cửa nạp khoảng  $1225^\circ\text{C}$  chẳng hạn), song trong đó hỗn hợp chất lưu đầu ra vẫn được giữ ở nhiệt độ đủ cao để duy trì các giọt xỉ hoặc các tạp chất khác trong nhiên liệu ở chất lưu hoặc thể lỏng. Thể lỏng của thành phần không cháy được của nhiên liệu có thể tạo điều kiện thuận lợi, ví dụ, cho việc tách các tạp chất dạng này ra khỏi sản phẩm đốt ở dạng lỏng, tốt hơn nếu ở dạng có độ nhớt thấp, chảy tự do, mà dạng này chắc chắn sẽ khó tắc hoặc nói cách khác khó gây hư hại cho hệ thống loại bỏ bất kỳ thực hiện việc tách này. Trên thực tế, các yêu cầu này có thể phụ thuộc vào các yếu tố khác nhau được sử dụng như loại nhiên liệu chứa cacbon thể rắn (nghĩa là, than) và các đặc tính cụ thể của xỉ được tạo ra trong quá trình đốt. Nghĩa là, nhiệt độ đốt bên trong buồng đốt 222 có thể là nhiệt độ khiến cho các thành phần không cháy được bất kỳ trong nhiên liệu chứa cacbon được hóa lỏng bên trong sản phẩm đốt.

Do đó, trong hệ thống theo các khía cạnh cụ thể của sáng chế, chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xóp bên trong 2332 được tạo kết cấu để hướng chất lưu bay hơi khuếch tán và vào trong buồng đốt 222 theo cách vào trong theo hướng kính để tạo vách ngăn chất lưu hoặc lớp đệm 231 quanh bề mặt của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 tạo ra buồng đốt 222 (xem, ví dụ, FIG.2). Bề mặt của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 cũng được làm nóng nhờ sản phẩm đốt. Như vậy, chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xóp bên trong 2332 có thể được tạo kết cấu để có độ dẫn nhiệt đủ để làm nóng chất lưu bay hơi khuếch tán 210 mà đang đi qua chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332, mà đồng thời lại làm nguội chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xóp bên trong 2332 dẫn đến nhiệt độ của bề mặt của chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 tạo ra buồng đốt 222 đạt được ví dụ, khoảng  $1.000^{\circ}\text{C}$  trong vùng nhiệt độ đốt cao nhất. Do đó, vách ngăn chất lưu hoặc lớp đệm 231 được tạo ra bởi chất lưu bay hơi khuếch tán 210 kết hợp với chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 tạo đệm tương tác giữa chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 và nhiệt độ cao các sản phẩm đốt và xỉ hoặc các hạt tạp chất khác và, như vậy, tạo lớp đệm cho chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 không bị tiếp xúc, tắc, hoặc hư hại khác. Hơn nữa, chất lưu bay hơi khuếch tán 210 có thể được nạp vào trong buồng đốt 222 qua chi tiết bay hơi khuếch tán bên trong 2332 theo cách sao cho điều chỉnh được hỗn hợp đầu ra của chất lưu bay hơi khuếch tán 210 và sản phẩm đốt quanh phần cửa xả 222B của buồng đốt 222 ở nhiệt độ mong muốn (ví dụ, từ  $500^{\circ}\text{C}$  đến  $2.000^{\circ}\text{C}$ ).

Do đó, trong hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế, thiết bị buồng đốt 220 có thể được tạo kết cấu là thiết bị buồng đốt làm nguội bằng khuếch tán bay hơi hiệu quả cao có khả năng đốt nhiên liệu 254 tương đối hoàn toàn ở nhiệt độ vận hành tương đối cao như được nêu trong bản mô tả này. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, thiết bị buồng đốt 220 này có thể hoạt động với một hoặc nhiều chất lưu làm nguội, và/hoặc một hoặc nhiều chất lưu bay hơi khuếch tán 210. Các thành phần khác mà kết hợp với thiết bị buồng đốt 220, cũng có thể được hoạt động. Ví dụ, cụm tách không khí có thể được lắp để tách  $\text{N}_2$  và  $\text{O}_2$ , và cơ cấu phun nhiên liệu có thể được lắp để tiếp nhận  $\text{O}_2$  từ cụm tách không khí và kết hợp  $\text{O}_2$  với

chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ , và dòng nhiên liệu bao gồm khí, chất lỏng, chất lưu vượt quá tới hạn, hoặc nhiên liệu ở dạng hạt rắn được tạo quánh trong chất lưu  $\text{CO}_2$  có tỷ trọng cao.

Theo khía cạnh khác, thiết bị buồng đốt làm nguội bằng khuếch tán bay hơi 220 có thể bao gồm bộ phun nhiên liệu để phun dòng nhiên liệu nén vào trong buồng đốt 222 của thiết bị buồng đốt 220, trong đó dòng nhiên liệu có thể bao gồm nhiên liệu chứa cacbon 254 đã xử lý, các môi trường làm hóa lỏng 255 (có thể bao gồm chất lưu tuần hoàn 236, như nêu trên), và oxy 242. Oxy 242 đã làm giàu và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  236 có thể được kết hợp thành hỗn hợp vượt quá tới hạn đồng nhất. Lượng oxy có mặt có thể đủ để đốt nhiên liệu và tạo ra các sản phẩm đốt có thành phần mong muốn. Thiết bị buồng đốt 220 có thể còn có buồng đốt 222, được tạo kết cấu có thể tích đốt ở nhiệt độ cao, áp suất cao, để tiếp nhận dòng nhiên liệu, cũng như chất lưu bay hơi khuếch tán 210 nạp vào thể tích đốt qua các thành của chi tiết bay hơi khuếch tán dạng xoắn 230 tạo ra buồng đốt 222. Tốc độ nạp của chất lưu bay hơi khuếch tán 210 có thể được dùng để điều khiển nhiệt độ phân cửa xả của thiết bị buồng đốt/ phần cửa nạp tuabin đến trị số mong muốn và/hoặc để làm nguội chi tiết bay hơi khuếch tán 230 đến nhiệt độ tương thích với vật liệu làm chi tiết bay hơi khuếch tán 230. Chất lưu bay hơi khuếch tán 210 được dẫn hướng thông qua chi tiết bay hơi khuếch tán 230 tạo chất lưu/lớp đệm ở bề mặt của chi tiết bay hơi khuếch tán 230 tạo ra buồng đốt 222, trong đó chất lưu/lớp đệm có thể ngăn không cho các hạt tro hoặc xỉ lỏng có nguồn gốc từ việc đốt nhiên liệu nhất định tương tác với các thành tiếp xúc của chi tiết bay hơi khuếch tán 230.

Buồng đốt 222 có thể còn được tạo kết cấu sao cho dòng nhiên liệu (và chất lưu tuần hoàn 236) có thể được phun hoặc nói cách khác là nạp vào trong buồng đốt 222 có áp suất lớn hơn áp suất mà ở đó quá trình đốt xuất hiện. Thiết bị buồng đốt 220 có thể bao gồm chi tiết chịu áp lực 2338 bao quanh ít nhất một phần chi tiết bay hơi khuếch tán 230 tạo ra buồng đốt 230, trong đó chi tiết cách nhiệt 2339 có thể được đặt giữa chi tiết chịu áp lực 2338 và chi tiết bay hơi khuếch tán 230. Trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế, cơ cấu loại nhiệt 2350, như hệ thống làm nguội bằng nước được tạo áo tạo ra áo tuần hoàn nước 2337, có thể được gài khớp với chi

tiết chịu áp lực 2338 (nghĩa là, bên ngoài chi tiết chịu áp lực 2338 tạo ra “vỏ” của thiết bị buồng đốt 220). Chất lưu bay hơi khuếch tán 210 hoạt động kết hợp với chi tiết bay hơi khuếch tán 230 của thiết bị buồng đốt 220 có thể là, ví dụ,  $\text{CO}_2$  được trộn với lượng cực nhỏ  $\text{H}_2\text{O}$  và/hoặc khí trơ, như  $\text{N}_2$  hoặc argon. Chi tiết bay hơi khuếch tán 230 có thể bao gồm, ví dụ, kim loại xốp, gốm, mạng composit, đường ống tạo lớp, kết cấu thích hợp bất kỳ, hoặc hỗn hợp của chúng. Theo một vài khía cạnh, việc đốt bên trong buồng đốt 222 có thể tạo dòng sản phẩm đốt áp suất cao, nhiệt độ cao, mà sau đó dòng này có thể được hướng vào thiết bị phát điện, như tuabin, để giãn nở theo liên quan đến thiết bị đó như được mô tả một cách đầy đủ hơn dưới đây.

Các áp suất tương đối cao có được nhờ thiết bị buồng đốt như nêu trong các phương án của sáng chế, có thể có chức năng tập trung năng lượng được thiết bị buồng đốt tạo ra đến cường độ tương đối cao trong thể tích nhỏ nhất, mà về cơ bản sẽ đem lại mật độ năng lượng tương đối cao. Mật độ năng lượng tương đối cao cho phép bước xử lý tiếp sau đối với năng lượng này được thực hiện theo cách hữu hiệu hơn so với ở các áp suất thấp hơn, và do đó tạo ra độ nhìn rõ đối với công nghệ. Do đó, các khía cạnh của sáng chế có thể tạo ra mật độ năng lượng ở các trình tự cường độ lớn hơn các nhà máy điện hiện có (nghĩa là, gấp từ 10 lần đến 100 lần). Mật độ năng lượng cao hơn không chỉ làm tăng hiệu quả của quy trình, mà còn giảm chi phí cho các thiết bị cần để thực hiện việc chuyển đổi năng lượng từ nhiệt năng thành điện, bằng cách giảm kích thước cũng như kim loại của thiết bị, do đó giảm được chi phí của thiết bị.

Như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này, thiết bị buồng đốt dùng trong phương pháp do sáng chế đề xuất và hệ thống có thể có ích để đốt nhiều nguồn nhiên liệu chứa cacbon khác nhau. Theo một phương án cụ thể, nhiên liệu chứa cacbon có thể được đốt gần như hoàn toàn sao cho không còn các vật liệu không cháy thể lỏng hoặc thể rắn trong dòng sản phẩm đốt. Tuy nhiên, nhiên liệu chứa cacbon ở thể rắn (ví dụ, than) có thể được dùng trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế có thể dẫn đến sự có mặt của các vật liệu không cháy. Theo một phương án cụ thể, thiết bị buồng đốt có thể có khả năng đạt đến nhiệt độ đốt

khiến cho thành phần không cháy được trong nhiên liệu chứa cacbon ở thể rắn bị nóng chảy trong quá trình đốt. Trong các ví dụ thực hiện này của sáng chế, các dự định để loại bỏ các thành phần không cháy đã hóa lỏng có thể được áp dụng. Việc loại bỏ này có thể được thực hiện, ví dụ, bằng cách sử dụng các thiết bị tách kiểu dòng xoáy, các thiết bị tách va chạm, hoặc các lớp lọc hạt chịu lửa phân cấp được bố trí theo dạng hình khuyên, hoặc tổ hợp của chúng. Trong hệ thống theo các phương án cụ thể, các giọt có thể được loại ra khỏi dòng chất lưu tuần hoàn nhiệt độ cao nhờ chuỗi gồm các thiết bị tách kiểu dòng xoáy như, ví dụ, thiết bị tách 2340 trên FIG.4. Nói chung, các khía cạnh của thiết bị tách kiểu dòng xoáy nêu trong bản mô tả này có thể bao gồm các cơ cấu tách ly tâm 100 được bố trí thành hàng, kể cả cơ cấu tách ly tâm 100A ở đầu nạp được tạo kết cấu để tiếp nhận sản phẩm đốt/dòng chất lưu đầu ra và các thành phần không cháy đã hóa lỏng đi kèm với chúng, và cơ cấu tách ly tâm 100B ở đầu xả được tạo kết cấu để xả sản phẩm đốt/dòng chất lưu đầu ra có các thành phần không cháy đã hóa lỏng gần như đã được loại ra khỏi chúng. Mỗi cơ cấu tách ly tâm 100 bao gồm các chi tiết tách ly tâm hoặc các cơ cấu tạo xoáy 1 được bố trí song song theo cách vận hành được quanh ống gom ở tâm 2, trong đó mỗi chi tiết tách ly tâm, hoặc cơ cấu tạo xoáy 1, được tạo kết cấu để loại bỏ ít nhất một phần của các thành phần không cháy đã hóa lỏng ra khỏi sản phẩm đốt/dòng chất lưu đầu ra, và để hướng phần đã loại bỏ của các thành phần không cháy đã hóa lỏng này đến hố thu 20. Thiết bị tách 2340 này có thể được tạo kết cấu để vận hành có áp suất được tăng và, như vậy, có thể còn bao gồm vỏ chịu áp lực 125 được tạo kết cấu để chứa các cơ cấu tách ly tâm và hố thu. Theo các khía cạnh này, vỏ chịu áp lực 125 có thể là phần kéo dài của chi tiết chịu áp lực 2338 cũng bao quanh thiết bị buồng đốt 220, hoặc vỏ chịu áp lực 125 có thể là chi tiết rời có khả năng gài khớp với chi tiết chịu áp lực 2338 gắn liền với thiết bị buồng đốt 220. Trong ví dụ thực hiện khác của sáng chế, do thiết bị tách 2340 phải chịu nhiệt độ được nâng cao thông qua dòng chất lưu đầu ra nên vỏ chịu áp lực 125 có thể còn có hệ thống phân tán nhiệt, như áo truyền nhiệt có chất lỏng (không được thể hiện trên các hình vẽ) tuần hoàn trong đó, áo truyền nhiệt gài khớp hoạt động được với thiết bị tách để loại nhiệt ra khỏi thiết bị này. Theo một vài khía

cạnh, cơ cấu thu hồi nhiệt (không được thể hiện trên các hình vẽ) có thể được gài khớp hoạt động được với áo truyền nhiệt, trong đó cơ cấu thu hồi nhiệt có thể được tạo kết cấu để tiếp nhận chất lỏng tuần hoàn trong áo truyền nhiệt và thu hồi nhiệt năng từ chất lỏng này.

Trong hệ thống theo các phương án cụ thể, FIG.4 thể hiện thiết bị tách 2340 (loại bỏ xỉ) có thể được tạo kết cấu để được bố trí nối tiếp với thiết bị buồng đốt 220 quanh phần cửa xả 222B của buồng đốt để tiếp nhận dòng chất lưu đầu ra/các sản phẩm đốt từ đó. Dòng chất lưu đầu ra làm nguội bằng các khuếch tán bay hơi từ thiết bị buồng đốt 220, có các giọt xỉ lỏng (các thành phần không cháy được) trong đó, có thể được hướng đi vào phân dự phòng gom ở tâm 2A của cơ cấu tách ly tâm đầu nạp 100A qua bộ thu 10 hình nón. Theo một khía cạnh, thiết bị tách 2340 có thể bao gồm ba cơ cấu tách ly tâm 100A, 100B, 100C (tuy nhiên người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật cần phải hiểu rằng thiết bị tách này có thể bao gồm một, hai, ba, hoặc nhiều cơ cấu tách ly tâm, theo yêu cầu hoặc nếu muốn). Trong ví dụ thực hiện này của sáng chế, ba cơ cấu tách ly tâm 100A, 100B, 100C được bố trí nối tiếp theo cách vận hành được tạo ra cụm tách tạo xoáy ba giai đoạn. Mỗi cơ cấu tách ly tâm bao gồm, ví dụ các chi tiết tách ly tâm (các cơ cấu tạo xoáy 1) được bố trí quanh chu vi của ống gom ở tâm 2 tương ứng. Các phần gom dự phòng ở tâm 2A và các ống gom ở tâm 2 của cơ cấu tách ly tâm 100A ở đầu nạp, và cơ cấu tách ly tâm 100C ở giữa đều được bịt kín ở đầu xả của chúng. Trong các ví dụ thực hiện này của sáng chế, dòng chất lưu đầu ra được hướng vào trong các kênh nhánh 11 tương ứng với từng chi tiết tách ly tâm (các cơ cấu tạo xoáy 1) của cơ cấu tách ly tâm 100 tương ứng. Các kênh nhánh 11 được tạo kết cấu để gài khớp với đầu nạp của cơ cấu tạo xoáy 1 tương ứng để tạo đường nạp theo tiếp tuyến của cơ cấu này (sẽ làm cho dòng chất lưu đầu ra nạp vào cơ cấu tạo xoáy 1 để tương tác với thành của cơ cấu tạo xoáy 1 theo dòng xoắn ốc). Sau đó, kênh dẫn đầu ra 3 từ mỗi cơ cấu tạo xoáy 1 được dẫn vào trong phần cửa nạp của ống gom ở tâm 2 thuộc cơ cấu tách ly tâm 100 tương ứng. Trong cơ cấu tách ly tâm ở đầu xả 100B, dòng chất lưu đầu ra (có thành phần không cháy được gần như được tách ra khỏi dòng này) được hướng ra khỏi ống gom ở tâm của cơ cấu tách ly tâm 100B ở đầu ra và

qua ống gom 12 và vòi xả 5, sao cho sau đó dòng chất lưu đầu ra “sạch” có thể được hướng vào quy trình tiếp sau, như kết hợp với thiết bị khử chẳng hạn. Do đó, thiết bị tách kiểu dòng xoáy theo ba giai đoạn mang tính minh họa này cho phép loại bỏ xỉ trong dòng chất lưu đầu ra xuống thấp hơn 5ppm tính theo khối lượng.

Tại mỗi giai đoạn của thiết bị tách 2340, xỉ lỏng đã tách được hướng ra khỏi mỗi cơ cấu tạo xoáy 1 thông qua các ống xả 4 kéo dài về phía hồ thu 20. Sau đó, xỉ lỏng đã tách được hướng vào trong vòi xả hoặc ống 14 kéo dài từ hồ thu 20 và vô chịu áp lực 125 để loại bỏ và/hoặc thu hồi các thành phần từ xỉ lỏng. Để hoàn thành việc loại bỏ xỉ, xỉ lỏng có thể được hướng qua đoạn làm nguội bằng nước 6 hoặc theo cách khác qua đoạn có sự kết nối với nước lạnh có áp suất cao mà ở đó đó sự tương tác với nước sẽ khiến cho xỉ lỏng hóa rắn hoặc tạo thành hạt. Sau đó, hỗn hợp giữa xỉ đã đóng rắn và nước có thể được tách trong bình (bộ phận gom) 7 thành hỗn hợp chất lưu xỉ/nước mà có thể được loại bỏ, cụ thể là sau khi giảm áp suất, thông qua van 9 thích hợp, trong khi khí dư bất kỳ có thể được loại bỏ thông qua ống tách 8. Hai bình gom có các hệ thống kết hợp vận hành theo chuỗi có thể cho phép hệ thống theo một số phương án của sáng chế vận hành liên tục.

Do thiết bị tách 2340 có thể được vận hành kết hợp với dòng sản phẩm đốt nhiệt độ tương đối cao (nghĩa là, ở nhiệt độ đủ để duy trì thành phần không cháy được ở dạng lỏng có độ nhớt tương đối thấp), trong một vài ví dụ thực hiện sáng chế có thể mong muốn rằng các bề mặt của thiết bị tách 2340 tiếp xúc với sản phẩm đốt/dòng chất lưu đầu ra hoặc các thành phần không cháy đã hóa lỏng đi kèm với chúng phải được làm bằng vật liệu được tạo cấu hình để có ít nhất một trong số các đặc tính chịu nhiệt độ cao, chịu sự ăn mòn cao, và độ dẫn nhiệt thấp. Ví dụ về các vật liệu này có thể bao gồm ziriconi oxit và oxit nhôm, song các cd này không nhằm hạn chế phạm vi bảo hộ của sáng chế theo cách bất kỳ. Như vậy, theo các khía cạnh nhất định, thiết bị tách 2340 có thể được tạo kết cấu để gần như loại bỏ các thành phần không cháy đã hóa lỏng ra khỏi sản phẩm đốt/dòng chất lưu đầu ra và duy trì thành phần không cháy được dưới dạng lỏng có độ nhớt thấp ít nhất là cho đến khi các thành phần này được loại bỏ ra khỏi hồ thu 20. Tất nhiên, trong hệ thống theo các phương án mà sử dụng nhiên liệu không ở thể rắn và không có các vật liệu



không cháy trong dòng sản phẩm đốt thì không cần phải trang bị thêm thiết bị tách xỉ.

Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, thiết bị tách 2340 có thể được dùng để tách cặn tro rắn dạng hạt ra khỏi quá trình đốt nhiên liệu bất kỳ mà sinh ra cặn không cháy thể rắn, như than. Ví dụ, than có thể được nghiền đến cỡ hạt mong muốn (ví dụ, cỡ hạt sao cho ít hơn 1% trọng lượng là than dạng hạt hoặc than bột có cỡ hạt lớn hơn  $100\mu\text{m}$ ) và được tạo quánh với  $\text{CO}_2$  thể lỏng. Theo một phương án cụ thể,  $\text{CO}_2$  thể lỏng có thể có nhiệt độ nằm trong khoảng từ  $-40^\circ\text{C}$  đến  $-18^\circ\text{C}$ . Chất quánh có thể có từ 40% đến 60% trọng lượng than. Sau đó, chất quánh có thể được nén đến áp suất đốt theo yêu cầu. Theo FIG.1, dòng tái tuần hoàn 236 có thể được chia ở chế độ nạp vào trong buồng đốt 220. Phần thứ nhất (dòng 236a) có thể được nạp vào buồng đốt 220 qua thiết bị trộn 250, và phần thứ hai (dòng 236b) có thể được nạp vào buồng đốt 220 bằng cách cho đi qua lớp làm nguội bằng bay hơi khuếch tán 230. Như nêu trên, buồng đốt 220 có thể vận hành theo tỷ lệ giữa  $\text{O}_2$  và nhiên liệu để hình thành hỗn hợp khí biến đổi (ví dụ, bao gồm  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , và/hoặc  $\text{NH}_3$ ). Phần của dòng 236 nạp vào buồng đốt qua lớp làm nguội bằng bay hơi khuếch tán 230 có thể được dùng để làm nguội hỗn hợp giữa các khí đốt và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến nhiệt độ gần như thấp hơn nhiệt độ đóng rắn tro (ví dụ, nằm trong khoảng từ  $500^\circ\text{C}$  đến  $900^\circ\text{C}$ ). Toàn bộ dòng khí 5 ra khỏi thiết bị tách 2340 có thể được cho đi qua thiết bị lọc, để làm giảm mức độ hạt của tro thể rắn còn lại đến trị số rất thấp (ví dụ, thấp hơn khoảng  $2\text{mg}/\text{m}^3$  khí đi qua bộ phận lọc). Sau đó, khí đã làm sạch có thể được đốt trong buồng đốt thứ hai, ở đó khí này có thể được pha loãng với phần khác của dòng chất lưu tái tuần hoàn 236. Trong hệ thống theo các phương án của sáng chế, dòng chất lưu tái tuần hoàn 236 chia đều giữa hai buồng đốt, nếu cần.

Nguyên liệu chứa cacbon bất kỳ có thể được dùng làm nhiên liệu theo sáng chế. Cụ thể, do thiết bị buồng đốt sử dụng nhiên liệu oxy dùng trong hệ thống do sáng chế đề xuất duy trì được áp suất cao và nhiệt độ cao nên các nhiên liệu hữu ích bao gồm, song không chỉ giới hạn ở, các loại than có phẩm cấp khác nhau, gỗ, dầu, dầu mazut, khí tự nhiên, khí đốt gốc than, hắc ín từ cát dính hắc ín, bitum, sinh

khối, tảo, phế thải rắn cháy được đã phân cấp, nhựa đường, lớp đã qua sử dụng, điêzen, xăng, nhiên liệu phản lực (JP-5, JP-4), các khí có nguồn gốc từ khí hóa hoặc hóa phân vật liệu chứa hydrocacbon, etanol, nhiên liệu sinh học thể rắn hoặc thể lỏng. Điều này có thể được coi như khởi điểm quan trọng so với các hệ thống đã biết. Ví dụ, hệ thống đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này để đốt nhiên liệu ở thể rắn, như than, đòi hỏi các thiết kế khác biệt một cách đáng kể so với hệ thống để đốt nhiên liệu không ở thể rắn, như khí tự nhiên.

Các nhiên liệu có thể được xử lý đủ để được phép phun vào trong thiết bị đốt ở tốc độ thích hợp và áp suất cao hơn áp suất bên trong buồng đốt. Các nhiên liệu này có thể ở dạng lỏng, dạng chất quánh, dạng gel, hoặc dạng sệt với độ lỏng và độ sệt thích hợp ở nhiệt độ môi trường hoặc ở nhiệt độ đã được nâng lên. Ví dụ, nhiên liệu có thể được cấp ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 30°C đến 500°C, từ 40°C đến 450°C, từ 50°C đến 425°C, hoặc từ 75°C đến 400°C. Nguyên liệu bất kỳ ở thể rắn có thể được nghiền hoặc chia hoặc nói cách khác là xử lý để làm nhỏ cỡ hạt cho phù hợp. Môi trường hóa lỏng hoặc hóa quánh có thể được bổ sung, nếu cần, nhằm có được dạng thích hợp và đáp ứng các yêu cầu dòng đối với việc bơm có áp suất cao. Tất nhiên, môi trường được hóa lỏng có thể không cần thiết tùy vào dạng nhiên liệu (nghĩa là, thể lỏng hoặc thể khí). Tương tự, chất lưu tuần hoàn đã qua tuần hoàn có thể được dùng làm môi trường được hóa lỏng, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế.

Trong hệ thống do sáng chế đề xuất, chất lưu bay hơi khuếch tán hữu ích trong buồng đốt có thể là chất lưu bất kỳ có khả năng chảy theo lượng và áp suất thích hợp qua lớp lót bên trong để tạo vách hơi. Trong hệ thống theo phương án này của sáng chế, CO<sub>2</sub> có thể là chất lưu bay hơi khuếch tán lý tưởng do vách hơi tạo ra có các đặc tính cách nhiệt cũng như các đặc tính hấp thụ tia cực tím (UV- Ultra Violet) và nhìn thấy rõ bằng mắt thường. CO<sub>2</sub> có thể được dùng làm chất lưu vượt quá tới hạn. Các ví dụ khác về chất lưu bay hơi khuếch tán bao gồm H<sub>2</sub>O, các khí sản phẩm đốt đã làm nguội được tái tuần hoàn từ phía dưới, oxy, hydro, khí tự nhiên, metan, và các hydrocacbon nhẹ khác. Đặc biệt là, các nhiên liệu có thể được dùng làm chất lưu bay hơi khuếch tán khi khởi động buồng đốt nhằm đạt được áp

suất và nhiệt độ vận hành thích hợp trong buồng đốt trước khi phun nguồn nhiên liệu chính. Các nhiên liệu cũng có thể được dùng làm chất lưu bay hơi khuếch tán để điều chỉnh nhiệt độ và áp suất vận hành của buồng đốt trong khi chuyển đổi giữa các nguồn nhiên liệu chính, như khi chuyển từ than sang dùng sinh khối làm nhiên liệu chủ yếu. Hai hoặc nhiều chất lưu bay hơi khuếch tán có thể được dùng trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế. Hơn nữa, chất lưu bay hơi khuếch tán khác nhau có thể được dùng ở các chi tiết khác nhau dọc theo buồng đốt. Ví dụ, chất lưu bay hơi khuếch tán thứ nhất có thể được dùng ở vùng trao đổi nhiệt có nhiệt độ cao và chất lưu bay hơi khuếch tán thứ hai có thể được dùng ở vùng trao đổi nhiệt có nhiệt độ thấp hơn. Chất lưu bay hơi khuếch tán có thể được tăng đến mức lớn nhất đối với các điều kiện nhiệt độ và áp suất của buồng đốt là nơi mà chất lưu bay hơi khuếch tán tạo ra vách hơi. Trong ví dụ thực hiện này của sáng chế, chất lưu bay hơi khuếch tán là  $\text{CO}_2$  tái tuần hoàn được làm nóng trước.

Không phải là một khía cạnh, sáng chế vẫn mô tả phương pháp phát điện. Cụ thể, phương pháp này sử dụng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ , mà tốt hơn nếu được tái tuần hoàn theo phương pháp, như được nêu trong bản mô tả này. Phương pháp do sáng chế đề xuất còn sử dụng buồng đốt hiệu quả cao, như buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán, như nêu trên. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, phương pháp thường có thể được mô tả có dựa vào biểu đồ trên FIG.5. Như được thấy trên hình vẽ, các cửa nạp được tạo ra trong buồng đốt 220. Nhiên liệu chứa cacbon 254 và  $\text{O}_2$  242 (nếu cần) có thể được nạp vào trong buồng đốt 220 cùng với chất lưu tuần hoàn 236 (trong hệ thống theo phương án này của sáng chế là  $\text{CO}_2$ ). Thiết bị trộn 250 được thể hiện bằng đường nét đứt biểu thị bộ phận này có mặt theo tùy chọn. Cụ thể, hỗn hợp bất kỳ giữa hai hoặc ba vật liệu (nhiên liệu,  $\text{O}_2$ , và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ ) có thể được kết hợp trong thiết bị trộn 250 trước khi nạp vào trong buồng đốt 220.

Không phải là các phương án khác nhau của sáng chế, có thể mong muốn rằng các vật liệu nạp vào buồng đốt sẽ thể hiện các đặc tính vật lý riêng mà có thể tạo điều kiện thuận lợi cho hoạt động hữu hiệu, đáng mong muốn của phương pháp phát điện. Ví dụ, trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, có thể

mong muốn rằng CO<sub>2</sub> trong chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> cần được nạp vào trong buồng đốt có áp suất và/hoặc nhiệt độ đã định. Cụ thể, có thể có lợi nếu CO<sub>2</sub> nạp vào trong buồng đốt để có áp suất thấp nhất khoảng 8MPa. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, CO<sub>2</sub> nạp vào trong buồng đốt có thể có áp suất thấp nhất khoảng 10MPa, ít nhất khoảng 12MPa, ít nhất khoảng 14MPa, ít nhất khoảng 15MPa, ít nhất khoảng 16MPa, ít nhất khoảng 18MPa, ít nhất khoảng 20MPa, ít nhất khoảng 22MPa, ít nhất khoảng 24MPa, hoặc ít nhất khoảng 25MPa. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, áp suất có thể được nằm trong khoảng từ 8MPa đến 50MPa, từ 12MPa đến 50MPa, từ 15MPa đến 50MPa, từ 20MPa đến 50MPa, từ 22MPa đến 50MPa, từ 22MPa đến 45MPa, từ 22MPa đến 40MPa, từ 25MPa đến 40MPa, hoặc từ 25MPa đến 35MPa. Hơn nữa, có thể có lợi nếu CO<sub>2</sub> nạp vào trong buồng đốt ở nhiệt độ thấp nhất khoảng 200°C. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, CO<sub>2</sub> nạp vào trong buồng đốt có thể ở nhiệt độ thấp nhất khoảng 250°C, thấp nhất khoảng 300°C, thấp nhất khoảng 350°C, thấp nhất khoảng 400°C, thấp nhất khoảng 450°C, thấp nhất khoảng 500°C, thấp nhất khoảng 550°C, thấp nhất khoảng 600°C, thấp nhất khoảng 650°C, thấp nhất khoảng 700°C, thấp nhất khoảng 750°C, thấp nhất khoảng 800°C, thấp nhất khoảng 850°C, hoặc thấp nhất khoảng 900°C.

Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, có thể mong muốn rằng nhiên liệu nạp vào trong buồng đốt được cấp ở các điều kiện cụ thể. Ví dụ, trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, có thể mong muốn rằng nhiên liệu chứa cacbon cần được nạp vào trong buồng đốt có áp suất và/hoặc nhiệt độ đã định. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, nhiên liệu chứa cacbon có thể được nạp vào trong buồng đốt theo các điều kiện tương tự hoặc gần như tương tự như các điều kiện của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>. Thuật ngữ “các điều kiện gần như tương tự” có thể hiểu là thông số điều kiện vào khoảng 5%, khoảng 4%, khoảng 3%, khoảng 2%, hoặc khoảng 1% của thông số điều kiện tham chiếu được mô tả trong bản mô tả này (ví dụ, thông số điều kiện đối với chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>). Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, nhiên liệu chứa cacbon có thể được trộn với chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> trước khi nạp vào trong buồng

đốt. Trong hệ thống theo các phương án của sáng chế, nhiên liệu chứa cacbon và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được mong đợi ở điều kiện tương tự hoặc các điều kiện gần như tương tự (cụ thể, điều kiện này có thể bao hàm các điều kiện được mô tả liên quan đến chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ ). Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, nhiên liệu chứa cacbon có thể được nạp vào buồng đốt theo cách tách biệt đối với chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Trong những trường hợp như vậy, nhiên liệu chứa cacbon vẫn có thể được nạp vào có áp suất như được mô tả liên quan đến chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, có thể có ích nếu nhiên liệu chứa cacbon được duy trì ở nhiệt độ khác với nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  trước khi nạp vào buồng đốt. Ví dụ, nhiên liệu chứa cacbon có thể được nạp vào buồng đốt ở nhiệt độ khoảng từ  $30^\circ\text{C}$  đến  $800^\circ\text{C}$ , từ  $35^\circ\text{C}$  đến  $700^\circ\text{C}$ , từ  $40^\circ\text{C}$  đến  $600^\circ\text{C}$ , từ  $45^\circ\text{C}$  đến  $500^\circ\text{C}$ , từ  $50^\circ\text{C}$  đến  $400^\circ\text{C}$ , từ  $55^\circ\text{C}$  đến  $300^\circ\text{C}$ , từ  $60^\circ\text{C}$  đến  $200^\circ\text{C}$ , từ  $65^\circ\text{C}$  đến  $175^\circ\text{C}$ , hoặc từ  $70^\circ\text{C}$  đến  $150^\circ\text{C}$ .

Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, có thể mong muốn rằng  $\text{O}_2$  nạp vào trong buồng đốt được cấp ở các điều kiện cụ thể. Các điều kiện này có thể được gắn liền với phương pháp cấp  $\text{O}_2$ . Ví dụ, có thể mong muốn rằng  $\text{O}_2$  được cấp có áp suất cụ thể. Cụ thể, có thể có lợi nếu  $\text{O}_2$  nạp vào trong buồng đốt có áp suất thấp nhất khoảng 8MPa. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế,  $\text{O}_2$  nạp vào trong buồng đốt có thể có áp suất thấp nhất khoảng 10MPa, thấp nhất khoảng 12MPa, thấp nhất khoảng 14MPa, thấp nhất khoảng 15MPa, thấp nhất khoảng 16MPa, thấp nhất khoảng 18MPa, thấp nhất khoảng 20MPa, thấp nhất khoảng 22MPa, thấp nhất khoảng 24MPa, thấp nhất khoảng 25MPa, thấp nhất khoảng 30MPa, thấp nhất khoảng 35MPa, thấp nhất khoảng 40MPa, thấp nhất khoảng 45MPa, hoặc thấp nhất khoảng 50MPa. Việc cấp của  $\text{O}_2$  có thể bao hàm việc sử dụng thiết bị tách không khí (hoặc thiết bị tách oxy), như thiết bị cô  $\text{O}_2$  ở nhiệt độ thấp, thiết bị tách vận chuyển  $\text{O}_2$ , hoặc thiết bị tương tự bất kỳ như thiết bị tách vận chuyển ion  $\text{O}_2$  để tách  $\text{O}_2$  ra khỏi không khí ở môi trường xung quanh. Theo cách tách rời hoặc kết hợp với thiết bị này, việc cung cấp của  $\text{O}_2$  có thể bao gồm bước nén  $\text{O}_2$  để đạt đến áp suất mong muốn, như nêu trên. Thao tác này có thể làm nóng  $\text{O}_2$ . Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, có thể mong

muốn rằng  $O_2$  ở nhiệt độ mong muốn khác với nhiệt độ vốn đã có được bằng cách nén khí. Ví dụ, có thể mong muốn rằng  $O_2$  được nạp vào buồng đốt ở nhiệt độ từ  $30^\circ C$  đến  $900^\circ C$ , từ  $35^\circ C$  đến  $800^\circ C$ , từ  $40^\circ C$  đến  $700^\circ C$ , từ  $45^\circ C$  đến  $600^\circ C$ , từ  $50^\circ C$  đến  $500^\circ C$ , từ  $55^\circ C$  đến  $400^\circ C$ , từ  $60^\circ C$  đến  $300^\circ C$ , từ  $65^\circ C$  đến  $250^\circ C$ , hoặc từ  $70^\circ C$  đến  $200^\circ C$ . Hơn nữa, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế,  $O_2$  có thể được nạp vào trong buồng đốt theo các điều kiện tương tự hoặc gần như tương tự như các điều kiện của chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  và/hoặc nhiên liệu chứa cacbon. Điều này có thể phát sinh từ việc trộn các thành phần khác nhau trước khi nạp vào trong buồng đốt hoặc có thể phát sinh từ phương pháp cụ thể để điều chế  $O_2$  nhằm nạp vào trong buồng đốt. Trong hệ thống theo các phương án cụ thể,  $O_2$  có thể kết hợp được với lượng  $CO_2$  theo tỷ lệ phân tử gam được xác định khiến cho  $O_2$  có thể được nạp ở nhiệt độ bằng nhiệt độ của dòng chất lưu tuần hoàn  $CO_2$ . Ví dụ, sự kết hợp này có thể được thực hiện ở nhiệt độ thấp hơn  $100^\circ C$  trong khi  $CO_2$  có áp suất vượt quá tới hạn. Điều này loại bỏ nguy hiểm của việc đốt gắn liền với việc làm nóng chỉ mình  $O_2$  nguyên chất do tác động pha loãng của  $CO_2$ . Hỗn hợp này có thể có tỷ lệ  $CO_2/O_2$  nằm trong khoảng từ 1:2 đến 5:1, từ 1:1 đến 4:1, hoặc từ 1:1 đến 3:1.

Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, có thể có ích nếu  $O_2$  nạp vào buồng đốt về cơ bản được tinh chế (nghĩa là, được nâng cấp về lượng phân tử gam của  $O_2$  so với các thành phần khác có trong tự nhiên hiện có mặt trong không khí). Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế,  $O_2$  có thể có độ tinh khiết lớn hơn 50% phân tử gam, lớn hơn 60% phân tử gam, lớn hơn 70% phân tử gam, lớn hơn 80% phân tử gam, lớn hơn 85% phân tử gam, lớn hơn 90% phân tử gam, lớn hơn 95% phân tử gam, lớn hơn 96% phân tử gam, lớn hơn 97% phân tử gam, lớn hơn 98% phân tử gam, lớn hơn 99% phân tử gam, hoặc lớn hơn 99,5% phân tử gam. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế,  $O_2$  có thể có độ tinh khiết phân tử gam từ 85% đến 99,6% phân tử gam, từ 85% đến 99% phân tử gam, từ 90% đến 99% phân tử gam, từ 90% đến 98% phân tử gam, hoặc 90% đến 97% phân tử gam. Toàn bộ  $CO_2$  thu hồi từ cacbon trong nhiên liệu tạo

thuận lợi cho việc sử dụng các độ tinh khiết cao hơn ở trong khoảng thấp nhất là 99,5% phân tử gam.

Chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được nạp vào buồng đốt ở cửa nạp của buồng đốt cùng với  $\text{O}_2$  và nhiên liệu chứa cacbon. Tuy nhiên, như nêu trên liên quan đến buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  còn có thể được nạp vào buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán như là toàn bộ hoặc một phần của chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán hướng vào trong chi tiết bay hơi khuếch tán qua một hoặc nhiều đường dẫn cung cấp chất lưu bay hơi khuếch tán được tạo ra trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế theo sáng chế, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được nạp vào trong buồng đốt ở cửa nạp của buồng đốt (nghĩa là, cùng với  $\text{O}_2$  và nhiên liệu), và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  còn có thể được nạp vào trong buồng đốt qua chi tiết bay hơi khuếch tán như là toàn bộ hoặc một phần của chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được nạp vào trong buồng đốt chỉ thông qua chi tiết bay hơi khuếch tán như là toàn bộ hoặc một phần của chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán (nghĩa là, không có  $\text{CO}_2$  được nạp vào trong cửa nạp buồng đốt cùng với  $\text{O}_2$  và nhiên liệu).

Sự khác biệt của hệ thống theo một số phương án của sáng chế có thể liên quan đến tỷ lệ giữa các thành phần khác nhau nạp vào trong buồng đốt. Để đạt được hiệu quả tối đa của việc đốt, có thể có ích nếu nhiên liệu chứa cacbon được đốt nhiệt độ cao. Tuy nhiên, nhiệt độ của việc đốt và nhiệt độ của dòng sản phẩm đốt ra khỏi buồng đốt, cần phải được điều khiển bên trong phạm vi các thông số được xác định. Để đạt được mục đích này, có thể có ích nếu chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được cấp theo tỷ lệ xác định so với nhiên liệu sao cho nhiệt độ đốt và/hoặc nhiệt độ ở đầu nạp của tuabin có thể được điều khiển bên trong vùng mong muốn mà vẫn làm tăng đến mức lớn nhất lượng năng lượng có thể được chuyển đổi thành điện. Theo một phương án cụ thể, điều này có thể đạt được bằng cách điều chỉnh tỷ lệ giữa dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  so với cacbon trong nhiên liệu. Tỷ lệ mong muốn có thể được chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ mong muốn ở đầu nạp tuabin cũng như mức

chênh lệch nhiệt độ giữa dòng nạp và dòng xả ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt, như được mô tả một cách đầy đủ hơn dưới đây. Tỷ lệ cụ thể có thể được mô tả là tỷ lệ theo phân tử gam  $\text{CO}_2$  trong chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  so với cacbon hiện có mặt trong nhiên liệu chứa cacbon. Để xác định lượng  $\text{CO}_2$  theo phân tử gam nạp vào trong buồng đốt, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, toàn bộ lượng  $\text{CO}_2$  nạp vào buồng đốt (nghĩa là, được nạp ở cửa nạp với nhiên liệu và  $\text{O}_2$ , cũng như lượng  $\text{CO}_2$  bất kỳ dùng làm chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán) đều được tính đến. Tuy nhiên, theo một phương án cụ thể, việc tính toán này có thể chỉ dựa vào lượng  $\text{CO}_2$  theo phân tử gam nạp ở cửa nạp buồng đốt (nghĩa là, không tính đến lượng  $\text{CO}_2$  được dùng làm chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán). Trong hệ thống theo các phương án trong đó  $\text{CO}_2$  được nạp vào trong buồng đốt chỉ như chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán, việc tính được dựa vào lượng  $\text{CO}_2$  nạp vào trong buồng đốt dùng làm chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Do đó, tỷ lệ có thể được mô tả như lượng  $\text{CO}_2$  theo phân tử gam nạp vào cửa nạp buồng đốt so với cacbon trong nhiên liệu nạp vào buồng đốt. Theo cách khác, tỷ lệ có thể được mô tả như lượng  $\text{CO}_2$  theo phân tử gam nạp vào buồng đốt thông qua chất lưu làm nguội bằng bay hơi khuếch tán so với cacbon trong nhiên liệu nạp vào buồng đốt.

Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, tỷ lệ giữa chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  và cacbon trong nhiên liệu nạp vào trong buồng đốt, tính theo phân tử gam, có thể nằm trong khoảng từ 10 đến 50 (nghĩa là, từ 10 phân tử gam  $\text{CO}_2$  trên 1 phân tử gam cacbon trong nhiên liệu đến 50 phân tử gam  $\text{CO}_2$  trên 1 phân tử gam cacbon trong nhiên liệu). Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, tỷ lệ giữa  $\text{CO}_2$  trong chất lưu tuần hoàn và cacbon trong nhiên liệu có thể được từ 15 đến 50, từ 20 đến 50, từ 25 đến 50, từ 30 đến 50, từ 15 đến 45, từ 20 đến 45, từ 25 đến 45, từ 30 đến 45, từ 15 đến 40, từ 20 đến 40, từ 25 đến 40, hoặc từ 30 đến 40. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, tỷ lệ giữa  $\text{CO}_2$  trong chất lưu tuần hoàn và cacbon trong nhiên liệu có thể thấp nhất là 5, thấp nhất là 10, thấp nhất là 15, thấp nhất là 20, thấp nhất là 25, hoặc thấp nhất là 30.



Tỷ lệ theo phân tử gam của  $\text{CO}_2$  nạp vào trong buồng đốt với cacbon hiện có mặt trong nhiên liệu chứa cacbon có thể có tác động quan trọng đến tổng hiệu suất nhiệt hệ thống. Tác động này đến hiệu suất còn có thể chịu chi phối bởi thiết kế và chức năng của các bộ phận khác trong hệ thống, kể cả bộ trao đổi nhiệt, thiết bị tách nước, và cụm nén. Sự kết hợp giữa các thành phần khác trong hệ thống được mô tả trong bản mô tả này đem lại khả năng đạt đến hiệu suất nhiệt cao ở các tỷ lệ  $\text{CO}_2/\text{C}$  nêu trên. Hệ thống theo các giải pháp kỹ thuật đã biết không có các bộ phận này thường yêu cầu tỷ lệ  $\text{CO}_2/\text{C}$  theo phân tử gam thấp hơn đáng kể so với tỷ lệ dùng trong hệ thống do sáng chế đề xuất để đạt đến các hiệu suất gần với các hiệu suất nêu trên. Tuy nhiên, sáng chế đề xuất hệ thống có hiệu quả cao để tái tuần hoàn  $\text{CO}_2$  cho phép sử dụng các tỷ lệ  $\text{CO}_2/\text{C}$  theo phân tử gam cao hơn nhiều so với các tỷ lệ có thể được dùng trong các giải pháp kỹ thuật đã biết. Hơn nữa, việc hệ thống do sáng chế đề xuất sử dụng tỷ lệ  $\text{CO}_2/\text{C}$  theo phân tử gam cao là có lợi để pha loãng các tạp chất trong dòng đốt. Do đó, tác động ăn mòn hoặc mài mòn của các tạp chất (ví dụ, các clorua và lưu huỳnh) lên các bộ phận trong hệ thống được giảm một cách đáng kể. Than có hàm lượng clorua và/hoặc lưu huỳnh có hiện không thể sử dụng được hệ thống đã biết bởi vì các sản phẩm đốt từ loại than này (bao gồm  $\text{HCl}$  và  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) sẽ ăn mòn và mài mòn quá mức chịu được đối với các bộ phận của nhà máy phát điện. Nhiều tạp chất khác (ví dụ, các hạt tro rắn và các vật liệu này hơi chứa các nguyên tố như chì, iot, antimon, và thủy ngân) cũng có thể gây ra các hư hại bên trong đối với các bộ phận của nhà máy điện ở nhiệt độ cao. Tác động pha loãng của  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn có thể cải thiện một cách đáng kể hoặc xóa bỏ các tác động tiêu cực của các tạp chất lên các bộ phận của nhà máy điện. Sau đó, việc lựa chọn các tỷ lệ  $\text{CO}_2/\text{C}$  theo phân tử gam có thể đòi hỏi các tính toán phức tạp về các tác động đến hiệu quả và sự mài mòn và sự ăn mòn các bộ phận của nhà máy và các tính toán thiết kế của các bộ phận và chức năng của hệ thống  $\text{CO}_2$  tái tuần hoàn. Hệ thống do sáng chế đề xuất đem lại khả năng tái tuần hoàn  $\text{CO}_2$  hiệu quả cao và do đó các tỷ lệ  $\text{CO}_2/\text{C}$  theo phân tử gam được nâng cao với hiệu suất nhiệt cao có thể chưa từng được biết trong các giải pháp kỹ thuật đã biết. Do đó, ít nhất là các tỷ lệ  $\text{CO}_2/\text{C}$  theo phân tử gam cao đem lại được các ưu điểm nêu trên.

Tương tự, có thể có ích nếu điều khiển được lượng  $O_2$  nạp vào trong buồng đốt. Điều này đặc biệt tùy vào tính chất của hoạt động của buồng đốt. Như nêu một cách đầy đủ hơn trên đây, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể cho phép vận hành ở chế độ oxy hóa hoàn toàn, chế độ khử hoàn toàn, hoặc hỗn hợp của cả hai chế độ này. Ở chế độ oxy hóa hoàn toàn, tốt hơn nếu lượng  $O_2$  nạp vào buồng đốt bằng ít nhất là lượng cần theo hóa học lượng pháp để đạt đến sự oxy hóa hoàn toàn của nhiên liệu chứa cacbon. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, lượng  $O_2$  được nạp có thể cao hơn lượng cần theo hóa học lượng pháp đã biết một khoảng ít nhất 0,1% phân tử gam, ít nhất khoảng 0,25% phân tử gam, ít nhất khoảng 0,5% phân tử gam, ít nhất khoảng 1% phân tử gam, ít nhất khoảng 2% phân tử gam, ít nhất khoảng 3% phân tử gam, ít nhất khoảng 4% phân tử gam, hoặc ít nhất khoảng 5% phân tử gam. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, lượng  $O_2$  nạp có thể vượt quá lượng cần theo hóa học lượng pháp đã biết một khoảng từ 0,1% đến 5% phân tử gam, từ 0,25% đến 4% phân tử gam, hoặc từ 0,5% đến 3% phân tử gam. Ở chế độ khử hoàn toàn, tốt hơn nếu lượng  $O_2$  nạp vào buồng đốt là lượng cần theo hóa học lượng pháp để chuyển đổi nhiên liệu chứa cacbon thành các thành phần  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ , và  $NH_3$  cộng thêm phần dư ít nhất khoảng 0,1% phân tử gam, ít nhất khoảng 0,25% phân tử gam, ít nhất khoảng 0,5% phân tử gam, ít nhất khoảng 1% phân tử gam, ít nhất khoảng 2% phân tử gam, ít nhất khoảng 3% phân tử gam, ít nhất khoảng 4% phân tử gam, hoặc ít nhất khoảng 5% phân tử gam. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, lượng  $O_2$  nạp có thể vượt quá lượng cần theo hóa học lượng pháp đã biết một khoảng từ 0,1% đến 5% phân tử gam, từ 0,25% đến 4% phân tử gam, hoặc từ 0,5% đến 3% phân tử gam.

Sự khác biệt của phương pháp không phải là một số phương án của sáng chế có thể liên quan đến trạng thái vật lý của  $CO_2$  thông suốt trên toàn bộ các bước trong quy trình.  $CO_2$  được nhận thức tồn tại ở các thể khác nhau tùy vào các điều kiện vật lý của vật liệu.  $CO_2$  có điểm nhân ba có áp suất 0,518MPa và nhiệt độ -56,6°C, nhưng  $CO_2$  còn có áp suất tới hạn là 7,38MPa và nhiệt độ tới hạn là 31,1°C. Vượt quá điểm tới hạn này,  $CO_2$  tồn tại như chất lưu vượt quá tới hạn, và hệ thống

do sáng chế đề xuất đã có được khả năng để tăng hiệu quả đến mức lớn nhất phát điện bằng cách giữ  $\text{CO}_2$  ở trạng thái quy định tại những điểm nhất định trong chu trình. Trong hệ thống theo một phương án cụ thể, tốt hơn nếu  $\text{CO}_2$  nạp vào trong buồng đốt ở dưới dạng chất lưu vượt quá tới hạn.

Thông thường, hiệu quả của hệ thống hoặc phương pháp phát điện được hiểu là tỷ lệ giữa năng lượng đầu ra của hệ thống hoặc phương pháp so với năng lượng nạp vào trong hệ thống hoặc phương pháp. Trong trường hợp đối với hệ thống hoặc phương pháp phát điện, hiệu quả thường được tính như tỷ lệ giữa điện hoặc đầu ra năng lượng (ví dụ, theo megawatt hoặc Mw) đến mạng của khách hàng so với tổng nhiệt năng có trị số làm nóng thấp của nhiên liệu đốt để phát điện (hoặc năng lượng). Sau đó, tỷ lệ này có thể được gọi là hiệu quả thực của hệ thống hoặc phương pháp (trên cơ sở LHV- Lower Heating Value). Hiệu quả này có thể tính đến tất cả năng lượng cần thiết cho các bước xử lý của phương pháp hoặc hệ thống nội bộ, kể cả điều chế oxy tinh khiết (ví dụ, qua cụm tách không khí), nén  $\text{CO}_2$  để vận chuyển đến đường ống chịu áp lực, và các điều kiện của hệ thống hoặc phương pháp khác mà cần đến việc nạp năng lượng.

Trong hệ thống theo các phương án khác nhau, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể sử dụng chủ yếu  $\text{CO}_2$  làm chất lưu công tác trong chu trình trong đó nhiên liệu chứa cacbon được đốt (nghĩa là, trong buồng đốt) trong  $\text{O}_2$  gần như tinh khiết có áp suất vượt quá áp suất tới hạn của  $\text{CO}_2$  để tạo ra dòng sản phẩm đốt. Dòng này được giãn nở ngang qua tuabin và sau đó được cho đi qua bộ trao đổi thu hồi nhiệt. Trong bộ trao đổi nhiệt, khí xả tuabin làm nóng trước chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn theo trạng thái vượt quá tới hạn. Chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn, được làm nóng trước được nạp vào trong buồng đốt mà ở đó nó trộn với các sản phẩm thu được từ việc đốt nhiên liệu chứa cacbon để có được dòng tổng có nhiệt độ đầu nạp tuabin lớn nhất đã định. Hệ thống do sáng chế có thể tạo ra hiệu quả tuyệt vời ít nhất một phần do nhận được lợi ích của việc giảm đến mức thấp nhất mức chênh lệch nhiệt độ ở đầu nóng của bộ trao đổi thu hồi nhiệt. Việc giảm đến mức thấp nhất này có thể đạt được bằng cách sử dụng nguồn nhiệt có mức nhiệt độ thấp để làm nóng một phần của  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn trước khi nạp vào

buồng đốt. Ở các mức nhiệt độ thấp hơn này, nhiệt dung riêng và tỷ trọng của  $\text{CO}_2$  vượt quá tới hạn là rất cao, và việc làm nóng thêm này có thể cho phép dòng xả tuabin làm nóng trước  $\text{CO}_2$  đến nhiệt độ cao hơn nhiều, và có thể làm giảm một cách đáng kể mức chênh lệch nhiệt độ ở đầu nóng của bộ trao đổi thu hồi nhiệt. Trong hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế, các nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp là các máy nén khí dùng trong các thiết bị tách không khí bằng cách làm lạnh vận hành theo cách đổi lưu hoặc dòng xả nóng từ tuabin khí thông thường. Trong hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế, mức chênh lệch nhiệt độ ở đầu nóng của bộ trao đổi thu hồi nhiệt là nhỏ hơn  $50^\circ\text{C}$ , và tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ  $10^\circ\text{C}$  đến  $30^\circ\text{C}$ . Việc sử dụng tỷ lệ áp suất nhỏ (ví dụ, thấp hơn 12) là yếu tố bổ sung có thể tăng hiệu quả. Việc sử dụng  $\text{CO}_2$  làm chất lưu công tác kết hợp với tỷ lệ áp suất nhỏ sẽ làm giảm mức hao hụt năng lượng khi tăng áp suất của khí xả tuabin đã làm nguội đến áp suất tái tuần hoàn. Ưu điểm khác của hệ thống do sáng chế đề xuất là khi chất lưu có áp suất cao vốn cao hơn áp suất vượt quá tới hạn của  $\text{CO}_2$  ở áp lực đường ống (thông thường từ 10MPa đến 20MPa) với mức tiêu thụ điện đi kèm bổ sung rất ít thì khả năng để tạo ra lượng cacbon trong nhiên liệu chuyển đổi thành  $\text{CO}_2$  là gần 100% cacbon thu từ nhiên liệu. Các thông số của hệ thống này còn được mô tả chi tiết hơn trong bản mô tả này.

Quay lại FIG.5, nhiên liệu chứa cacbon 254 được nạp vào buồng đốt 220 cùng với  $\text{O}_2$  242 và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  236 được đốt để tạo ra dòng sản phẩm đốt 40. Theo một phương án cụ thể, buồng đốt 220 là buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán như nêu trên. Nhiệt độ đốt có thể biến thiên tùy vào các thông số xử lý đặc thù – ví dụ, loại nhiên liệu chứa cacbon được sử dụng, tỷ lệ theo phân tử gam giữa  $\text{CO}_2$  và cacbon trong nhiên liệu khi nạp vào trong buồng đốt, và/hoặc tỷ lệ theo phân tử gam giữa  $\text{CO}_2$  và  $\text{O}_2$  nạp vào trong buồng đốt. Theo một phương án cụ thể, nhiệt độ đốt là nhiệt độ như nêu trên liên quan đến buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán. Trong hệ thống theo phương án ưu tiên, có lợi nếu nhiệt độ đốt cao hơn  $1.300^\circ\text{C}$ , như được nêu trong bản mô tả này.

Nhiệt độ đốt cũng có thể có ích nếu được điều khiển sao cho dòng sản phẩm đốt ra khỏi buồng đốt có nhiệt độ mong muốn. Ví dụ, có thể có ích nếu để cho dòng

sản phẩm đốt ra khỏi buồng đốt có được nhiệt độ thấp nhất khoảng 700°C, thấp nhất khoảng 750°C, thấp nhất khoảng 800°C, thấp nhất khoảng 850°C, thấp nhất khoảng 900°C, thấp nhất khoảng 950°C, thấp nhất khoảng 1.000°C, thấp nhất khoảng 1.050°C, thấp nhất khoảng 1.100°C, thấp nhất khoảng 1.200°C, thấp nhất khoảng 1.300°C, thấp nhất khoảng 1.400°C, thấp nhất khoảng 1.500°C, hoặc thấp nhất khoảng 1.600°C. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, dòng sản phẩm đốt có thể có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 700°C đến 1.600°C, từ 800°C đến 1.600°C, từ 850°C đến 1.500°C, từ 900°C đến 1.400°C, từ 950°C đến 1.350°C, hoặc từ 1.000°C đến 1.300°C.

Như nêu trên, áp suất của CO<sub>2</sub> trên toàn bộ chu trình phát điện có thể là thông số tới hạn để tăng hiệu quả đến mức lớn nhất chu trình phát điện. Trong khi áp suất xác định cụ thể đối với các vật liệu nạp vào trong buồng đốt là quan trọng, thì áp suất được xác định đối với dòng sản phẩm đốt cũng có tầm quan trọng tương tự. Cụ thể, áp suất giữa dòng sản phẩm đốt có thể liên quan đến áp suất của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> nghĩa là nạp vào trong buồng đốt. Trong hệ thống theo một phương án cụ thể, áp suất của dòng sản phẩm đốt có thể bằng ít nhất khoảng 90% áp suất CO<sub>2</sub> nạp vào trong buồng đốt – nghĩa là, trong chất lưu tuần hoàn. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, áp suất của dòng sản phẩm đốt có thể bằng ít nhất khoảng 91%, ít nhất khoảng 92%, ít nhất khoảng 93%, ít nhất khoảng 94%, ít nhất khoảng 95%, ít nhất khoảng 96%, ít nhất khoảng 97%, ít nhất khoảng 98%, hoặc ít nhất khoảng 99% áp suất CO<sub>2</sub> nạp vào trong buồng đốt.

Thành phần hóa học của dòng sản phẩm đốt ra khỏi buồng đốt có thể thay đổi tùy vào loại nhiên liệu chứa cacbon được sử dụng. Quan trọng ở chỗ dòng sản phẩm đốt bao gồm CO<sub>2</sub> sẽ được tái tuần hoàn và đưa lại vào trong buồng đốt hoặc các chu trình khác, như được mô tả đầy đủ dưới đây. Hơn nữa, CO<sub>2</sub> dư (kể cả CO<sub>2</sub> được tạo ra do đốt nhiên liệu) có thể được rút ra khỏi chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> (cụ thể là có áp suất thích hợp để phân phối trực tiếp đến đường ống CO<sub>2</sub>) để tách hoặc khử kiểu khác song không bao gồm cách xả vào khí quyển. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, dòng sản phẩm đốt có thể bao gồm một hoặc nhiều trong số hơi nước, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl, NO, NO<sub>2</sub>, Hg, O<sub>2</sub> dư thừa, N<sub>2</sub>, Ar, và các

tạp chất khác khả thi khác mà có thể có trước trong nhiên liệu được đốt. Các vật liệu này hiện có mặt trong dòng sản phẩm đốt có thể tồn tại trong dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> nên không bị loại bỏ bởi các quy trình nêu trên. Trong bản mô tả này, ngoài CO<sub>2</sub>, các vật liệu có mặt này có thể được gọi là “các thành phần thứ cấp”

Như được thể hiện trên FIG.5, dòng sản phẩm đốt 40 có thể được hướng vào tuabin 320 trong đó dòng sản phẩm đốt 40 được giãn nở để phát điện (ví dụ, qua máy phát điện để tạo ra điện, máy này không được thể hiện trên các hình vẽ). Tuabin 320 có thể có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt 40 và cửa xả để xả dòng xả tuabin 50 chứa CO<sub>2</sub>. Mặc dù chỉ có một tuabin 320 được thể hiện trên FIG.5, song cần phải hiểu rằng có thể dùng nhiều tuabin và các tuabin được nối thành hàng hoặc tách rời theo tùy chọn bởi một hoặc nhiều bộ phận khác, như bộ phận đốt khác, bộ phận nén, thiết bị tách, hoặc các bộ phận tương tự.

Tiếp nữa, các thông số xử lý có thể được điều khiển một cách chặt chẽ ở bước này để tăng hiệu quả đến mức lớn nhất của chu trình. Hiệu quả của nhà máy điện chạy khí tự nhiên hiện có tùy thuộc nhiều vào nhiệt độ đầu nạp tuabin. Ví dụ, công việc có khối lượng lớn đã được thực hiện với chi phí lớn để có được công nghệ tuabin cho phép nhiệt độ ở đầu nạp lên tới 1.350°C. Nhiệt độ ở đầu nạp của tuabin càng cao, hiệu quả của nhà máy càng cao, tuy nhiên tuabin càng đắt tiền, và khả thi, thì tuổi thọ của tuabin đó càng ngắn. Một vài tiện ích đang gặp trở ngại khi chi trả cao hơn song lại có rủi ro tuổi thọ thấp hơn. Mặc dù có thể sử dụng các loại tuabin này để tiếp tục tăng hiệu quả trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, song điều này là không cần thiết. Hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế có thể đạt được hiệu quả mong muốn mà vẫn sử dụng nhiệt độ của nạp tuabin trong vùng thấp hơn như nêu trên. Do đó, sự khác biệt của giải pháp do sáng chế đề xuất có thể là việc đạt hiệu quả cụ thể, như được nêu trong bản mô tả này, mà vẫn tạo ra dòng sản phẩm đốt đến cửa nạp tuabin ở nhiệt độ xác định, như được nêu trong bản mô tả này, nhiệt độ này có thể được thấp hơn đáng kể so với nhiệt độ đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này để đạt được hiệu quả tương tự với cùng nhiên liệu.

Như nêu trên, tốt hơn nếu dòng sản phẩm đốt 40 ra khỏi buồng đốt 220 có áp suất gần như ngang bằng áp suất của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 236 nạp vào buồng đốt 220. Do đó, trong hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế, dòng sản phẩm đốt 40 ở nhiệt độ và áp suất sao cho CO<sub>2</sub> hiện có mặt trong dòng này ở trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn. Khi dòng sản phẩm đốt 40 được giãn nở ngang qua tuabin 320, áp suất của dòng được giảm. Tốt hơn, nếu mức sụt áp suất này được điều khiển sao cho áp suất của dòng sản phẩm đốt 40 tuân theo tỷ lệ xác định với áp suất của dòng xả tuabin 50. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, tỷ lệ áp suất giữa dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp của tuabin và dòng xả tuabin ở cửa xả của tuabin nhỏ hơn 12. Tỷ lệ này có thể được xác định như tỷ lệ giữa áp suất ở cửa nạp ( $I_p$ ); so với áp suất ở cửa xả ( $O_p$ ) (nghĩa là,  $I_p/O_p$ ). Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, tỷ lệ áp suất có thể thấp hơn 11, thấp hơn 10, thấp hơn 9, thấp hơn 8, hoặc thấp hơn 7. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, tỷ lệ giữa áp suất ở cửa nạp và áp suất ở cửa xả của tuabin có thể nằm trong khoảng từ 1,5 đến 12, từ 2 đến 12, từ 3 đến 12, từ 4 đến 12, từ 2 đến 11, từ 2 đến 10, từ 2 đến 9, từ 2 đến 8, từ 3 đến 11, từ 3 đến 10, từ 3 đến 9, từ 3 đến 9, từ 4 đến 11, từ 4 đến 10, từ 4 đến 9, hoặc từ 4 đến 8.

Theo một phương án cụ thể, có thể mong muốn rằng dòng xả tuabin tuân theo các điều kiện sao cho CO<sub>2</sub> trong dòng này không còn ở trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn nữa song tốt hơn là ở trạng thái khí. Ví dụ, bước cấp CO<sub>2</sub> ở trạng thái khí có thể tạo điều kiện thuận tiện cho việc loại bỏ các thành phần thứ cấp bất kỳ. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, dòng xả tuabin có áp suất thấp hơn áp suất mà ở đó CO<sub>2</sub> sẽ tuân theo trạng thái vượt quá tới hạn. Tốt hơn, nếu dòng xả tuabin có áp suất thấp hơn 7,3MPa, thấp hơn hoặc bằng 7MPa, thấp hơn hoặc bằng 6,5MPa, thấp hơn hoặc bằng 6MPa, thấp hơn hoặc bằng 5,5MPa, thấp hơn hoặc bằng 5MPa, thấp hơn hoặc bằng 4,5MPa, thấp hơn hoặc bằng 4MPa, thấp hơn hoặc bằng 3,5MPa, thấp hơn hoặc bằng 3MPa, thấp hơn hoặc bằng 2,5MPa, thấp hơn hoặc bằng 2MPa, hoặc thấp hơn hoặc bằng 1,5MPa. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, áp suất của dòng xả tuabin có thể được từ 1,5MPa đến 7MPa, từ 3MPa đến 7MPa, hoặc từ 4MPa đến 7MPa. Tốt hơn, nếu áp

suất của dòng xả tuabin thấp hơn áp suất ngưng  $\text{CO}_2$  ở các nhiệt độ làm nguội mà dòng này cần có (ví dụ, nhiệt độ làm nguội của môi trường xung quanh). Do đó, tốt hơn nếu trong hệ thống do sáng chế đề xuất  $\text{CO}_2$  ở sau tuabin 320 (và tốt hơn nếu trước khi đến cụm nén 620) được duy trì ở trạng thái khí và không thể đạt đến các điều kiện có thể tạo thành  $\text{CO}_2$  thể lỏng.

Mặc dù đường dẫn dòng sản phẩm đốt qua tuabin có thể dẫn đến nhiệt độ bị giảm một phần song thông thường dòng xả tuabin sẽ có nhiệt độ mà có thể cản trở việc loại bỏ các thành phần thứ cấp bất kỳ hiện có mặt trong dòng sản phẩm đốt. Ví dụ, dòng xả tuabin có thể có nhiệt độ nằm trong khoảng từ  $500^\circ\text{C}$  đến  $1.000^\circ\text{C}$ , từ  $600^\circ\text{C}$  đến  $1.000^\circ\text{C}$ , từ  $700^\circ\text{C}$  đến  $1.000^\circ\text{C}$ , hoặc từ  $800^\circ\text{C}$  đến  $1.000^\circ\text{C}$ . Do nhiệt độ tương đối cao của dòng sản phẩm đốt, có thể có lợi nếu tuabin được làm bằng các vật liệu có khả năng chịu được các vùng nhiệt độ này. Còn có thể có ích nếu tuabin được làm bằng vật liệu đem lại độ bền hóa học tốt đối với loại các vật liệu thứ cấp mà có thể có mặt trong dòng sản phẩm đốt.

Do đó, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, có thể có ích nếu cho dòng xả tuabin 50 đi qua ít nhất một bộ trao đổi nhiệt 420 để làm nguội dòng xả tuabin 50 và tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 có nhiệt độ nằm trong cùng xác định. Theo một phương án cụ thể, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 420 (hoặc bộ trao đổi nhiệt cuối cùng trong chuỗi này khi sử dụng hai hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt) có nhiệt độ thấp hơn khoảng  $200^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $150^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $125^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $100^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $95^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $90^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $85^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $80^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $75^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $70^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $65^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $60^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $55^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $50^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $45^\circ\text{C}$ , hoặc thấp hơn khoảng  $40^\circ\text{C}$ .

Như nêu trên, có thể có lợi nếu áp suất của dòng xả tuabin có áp suất theo tỷ lệ cụ thể với áp suất của dòng sản phẩm đốt. Theo một phương án cụ thể, dòng xả tuabin sẽ được trực tiếp cho đi qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt nêu trên mà không cần phải cho đi qua các bộ phận khác bất kỳ trong hệ thống. Do đó, tỷ lệ áp suất còn có thể được mô tả liên quan đến tỷ lệ giữa áp suất của dòng sản phẩm đốt



khi dòng này ra khỏi buồng đốt so với áp suất của dòng nạp vào đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt (hoặc bộ trao đổi nhiệt thứ nhất khi sử dụng chuỗi gồm các bộ trao đổi nhiệt). Tốt hơn nữa, nếu tỷ lệ áp suất này nhỏ hơn 12. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, tỷ lệ áp suất giữa dòng sản phẩm đốt và dòng đi vào bộ trao đổi nhiệt có thể thấp hơn 11, thấp hơn 10, thấp hơn 9, thấp hơn 8, hoặc thấp hơn 7. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, tỷ lệ áp suất này có thể nằm trong khoảng từ 1,5 đến 10, từ 2 đến 9, từ 2 đến 8, từ 3 đến 8, hoặc từ 4 đến 8.

Trong khi việc sử dụng buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán cho phép đốt nhiệt cao, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể khác biệt ở khả năng nó còn tạo ra dòng xả tuabin đến bộ trao đổi nhiệt (hoặc chuỗi hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt) ở nhiệt độ đủ thấp để giảm các chi phí gắn liền với hệ thống, tăng tuổi thọ của các bộ trao đổi nhiệt, và cải thiện hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống. Theo một phương án cụ thể, nhiệt độ vận hành nóng nhất đối với bộ trao đổi nhiệt trong hệ thống hoặc phương pháp theo sáng chế là thấp hơn  $1.100^{\circ}\text{C}$ , thấp hơn  $1.000^{\circ}\text{C}$ , thấp hơn  $975^{\circ}\text{C}$ , thấp hơn  $950^{\circ}\text{C}$ , thấp hơn  $925^{\circ}\text{C}$  hoặc thấp hơn  $900^{\circ}\text{C}$ .

Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, có thể rất có ích nếu bộ trao đổi nhiệt 420 bao gồm ít nhất hai bộ trao đổi nhiệt nối tiếp để tiếp nhận dòng xả tuabin 50 và làm nguội dòng này đến nhiệt độ mong muốn. Loại bộ trao đổi nhiệt được sử dụng có thể thay đổi tùy vào các điều kiện của dòng đi vào bộ trao đổi nhiệt. Ví dụ, dòng xả tuabin 50 có thể có nhiệt độ tương đối cao, như nêu trên, và do đó hữu ích để sử dụng bộ trao đổi nhiệt tiếp nhận một cách trực tiếp dòng xả tuabin 50 được làm bằng các vật liệu đặc thù cao được thiết kế để chịu được các điều kiện khắc nghiệt. Ví dụ, bộ trao đổi nhiệt thứ nhất trong chuỗi bộ trao đổi nhiệt có thể chứa hợp kim INCONEL<sup>®</sup> hoặc vật liệu tương tự. Tốt hơn, nếu bộ trao đổi nhiệt thứ nhất trong chuỗi này bao gồm vật liệu có khả năng chịu được nhiệt độ vận hành ổn định thấp nhất khoảng  $700^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $750^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $800^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $850^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $900^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $950^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $1.000^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $1.100^{\circ}\text{C}$ , hoặc thấp nhất khoảng  $1.200^{\circ}\text{C}$ . Cũng có thể có ích nếu một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt bao gồm vật liệu

đem lại độ bền hóa học tốt đối với các vật liệu thứ cấp có thể có mặt trong dòng sản phẩm đốt. Các hợp kim INCONEL<sup>®</sup> này có bán sẵn từ Special Metals Corporation, và hệ thống theo một vài phương án khác có thể sử dụng các hợp kim trên cơ sở austenit niken-crom. Các ví dụ về các hợp kim có thể có ích bao gồm INCONEL<sup>®</sup> 600, INCONEL<sup>®</sup> 601, INCONEL<sup>®</sup> 601GC, INCONEL<sup>®</sup> 603XL, INCONEL<sup>®</sup> 617, INCONEL<sup>®</sup> 625, INCONEL<sup>®</sup> 625LCF, INCONEL<sup>®</sup> 686, INCONEL<sup>®</sup> 690, INCONEL<sup>®</sup> 693, INCONEL<sup>®</sup> 706, INCONEL<sup>®</sup> 718, INCONEL<sup>®</sup> 718SPF<sup>™</sup>, INCONEL<sup>®</sup> 722, INCONEL<sup>®</sup> 725, INCONEL<sup>®</sup> 740, INCONEL<sup>®</sup> X-750, INCONEL<sup>®</sup> 751, INCONEL<sup>®</sup> MA754, INCONEL<sup>®</sup> MA758, INCONEL<sup>®</sup> 783, INCONEL<sup>®</sup> 903, INCONEL<sup>®</sup> N06230, INCONEL<sup>®</sup> C-276, INCONEL<sup>®</sup> G-3, INCONEL<sup>®</sup> HX, INCONEL<sup>®</sup> 22. Ví dụ về thiết kế bộ trao đổi nhiệt có lợi là bộ trao đổi nhiệt dạng tấm rút gọn kiểu liên kết khuếch tán có các cánh được tạo khía bằng phương pháp hóa học trên các tấm được chế tạo bằng vật liệu chịu nhiệt độ cao, như một trong số các hợp kim nêu trên. Các bộ trao đổi nhiệt thích hợp có thể bao gồm loại có bán sẵn với thương hiệu Heatric<sup>®</sup> (của nhà cung cấp Meggitt USA, Houston, TX).

Tốt hơn nữa, bộ trao đổi nhiệt thứ nhất trong chuỗi này có thể truyền đủ nhiệt từ dòng xả tuabin sao cho một hoặc nhiều hơn nữa các bộ trao đổi nhiệt hiện có mặt trong chuỗi có thể được làm việc các vật liệu thông dụng hơn – ví dụ, thép không gỉ. Theo một phương án cụ thể, ít nhất hai bộ trao đổi nhiệt hoặc ít nhất ba bộ trao đổi nhiệt được sử dụng theo nối tiếp để làm nguội dòng xả tuabin đến nhiệt độ mong muốn. Tiện lợi của việc sử dụng nhiều bộ trao đổi nhiệt nối tiếp có thể được thấy một cách rõ ràng trong phần mô tả dưới đây liên quan đến việc truyền nhiệt từ dòng xả tuabin đến chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> để làm nóng lại chất lưu tuần hoàn trước khi nạp vào trong buồng đốt.

Sự khác biệt của hệ thống theo một số phương án của sáng chế có thể là hệ thống đốt một giai đoạn. Điều này có thể đạt được thông qua việc sử dụng buồng đốt hiệu quả cao, như buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán nêu trên. Về cơ bản, nhiên liệu có thể được đốt gần như hoàn toàn trong một buồng đốt sao cho không đến chuỗi buồng đốt để đốt nhiên liệu một cách hoàn toàn. Do vậy, hệ thống

theo một số phương án của sáng chế có thể được mô tả sao cho buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán là buồng đốt duy nhất. Hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế có thể được mô tả sao cho việc đốt chỉ xuất hiện trong một buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán trước khi dòng xả được dẫn vào bộ trao đổi nhiệt. Hệ thống theo các phương án tiếp theo có thể được mô tả sao cho dòng xả tuabin được đưa một cách trực tiếp vào trong bộ trao đổi nhiệt mà không cần đưa qua buồng đốt khác.

Sau khi làm nguội, dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 ra khỏi ít nhất một bộ trao đổi nhiệt 420 có thể được tiếp tục xử lý để tách bỏ các thành phần thứ cấp bất kỳ còn lại trong dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 từ việc đốt nhiên liệu. Như được thể hiện trên FIG.5, dòng chất lưu tuần hoàn 60 có thể được hướng vào một hoặc nhiều cụm tách 520. Như được mô tả một cách chi tiết hơn dưới đây, sự khác biệt của sáng chế chính là khả năng đề xuất phương pháp phát điện hiệu quả cao từ việc đốt nhiên liệu chứa cacbon mà không xả ra khí quyển  $\text{CO}_2$ . Điều này có thể đạt được, ít nhất một phần, bằng cách sử dụng  $\text{CO}_2$  được tạo ra trong việc đốt nhiên liệu chứa cacbon làm chất lưu tuần hoàn trong chu trình trình phát điện. Tuy vậy, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, việc đốt và tái tuần hoàn  $\text{CO}_2$  liên tục như chất lưu tuần hoàn có thể gây ra sự tích tụ  $\text{CO}_2$  trong hệ thống. Trong những trường hợp như vậy, có thể có ích nếu rút ít nhất một phần  $\text{CO}_2$  ra khỏi chất lưu tuần hoàn (ví dụ, rút một lượng gần bằng lượng  $\text{CO}_2$  có nguồn gốc từ việc đốt nhiên liệu chứa cacbon).  $\text{CO}_2$  được rút này có thể được loại bỏ nhờ phương pháp thích hợp bất kỳ. Theo một phương án cụ thể,  $\text{CO}_2$  có thể được hướng vào đường ống để tách hoặc loại bỏ nhờ phương tiện thích hợp như tiếp tục được mô tả dưới đây.

Thông số kỹ thuật của hệ thống đường ống  $\text{CO}_2$  có thể yêu cầu  $\text{CO}_2$  nạp vào đường ống gần như không có nước để ngăn chặn sự ăn mòn thép cacbon được dùng làm đường ống. Mặc dù  $\text{CO}_2$  “ướt” có thể được nạp một cách trực tiếp vào trong đường ống  $\text{CO}_2$  làm bằng thép không rỉ, điều này không phải lúc nào cũng khả thi và, trên thực tế, đường ống thép cacbon được mong muốn sử dụng nhiều hơn do các mối liên quan về chi phí. Do vậy, trong hệ thống theo các phương án nhất định của

sáng chế, nước hiện có mặt trong chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  (ví dụ, nước tạo ra trong quá trình đốt nhiên liệu chứa cacbon và có mặt trong dòng sản phẩm đốt, dòng xả tuabin, và dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ ) có thể được loại bỏ hầu hết như chất lỏng ra khỏi dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã được làm nguội. Theo một phương án cụ thể, điều này có thể đạt được bằng cách cấp chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  (ví dụ, ở trạng thái khí) có áp suất thấp hơn điểm mà ở đó  $\text{CO}_2$  hiện có mặt trong hỗn hợp khí được hóa lỏng khi hỗn hợp khí được làm nguội đến nhiệt độ thấp nhất đạt được bởi phương tiện làm nguội ở nhiệt độ môi trường. Ví dụ, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được cấp một cách cụ thể có áp suất thấp hơn 7,38MPa mà vẫn tách được các thành phần thứ cấp ra khỏi chất lưu này. Thậm chí áp suất thấp hơn có thể được yêu cầu nếu sử dụng phương tiện làm nguội ở nhiệt độ trong phạm vi nhiệt độ xung quanh thấp hoặc gần như thấp hơn nhiệt độ môi trường xung quanh. Điều này cho phép tách nước như chất lỏng và còn giảm đến mức thấp nhất sự nhiễm bẩn của dòng tuần hoàn  $\text{CO}_2$  tinh chế 65 ra khỏi cụm tách. Điều này còn có thể giới hạn áp suất dòng xả tuabin ở trị số thấp hơn áp suất tới hạn của khí xả tuabin. Áp suất thực tế có thể phụ thuộc vào nhiệt độ của phương tiện làm nguội ở nhiệt độ môi trường sẵn có. Ví dụ, nếu việc tách nước diễn ra ở nhiệt độ  $30^\circ\text{C}$ , sau đó áp suất ở 7MPa cho phép với dự phòng 0,38MPa thành áp suất ngưng  $\text{CO}_2$ . Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ra khỏi bộ trao đổi nhiệt và nạp vào cụm tách có thể được cấp có áp suất nằm trong khoảng từ 2MPa đến 7MPa, từ 2,25MPa đến 7MPa, từ 2,5MPa đến 7MPa, từ 2,75MPa đến 7MPa, từ 3MPa đến 7MPa, từ 3,5MPa đến 7MPa, từ 4MPa đến 7MPa, hoặc từ 4MPa đến 6MPa. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, áp suất này có thể gần bằng áp suất ở đầu ra của tuabin.

Theo một phương án cụ thể, sau khi tách nước dòng tuần hoàn  $\text{CO}_2$  tinh chế 65 sẽ không có hơi nước hoặc gần như không có hơi nước. Sự khác biệt của dòng tuần hoàn  $\text{CO}_2$  tinh chế trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế là dòng này chứa lượng hơi nước ít hơn 1,5% tính theo phân tử gam, ít hơn 1,25% tính theo phân tử gam, ít hơn 1% tính theo phân tử gam, ít hơn 0,9% tính theo phân tử gam, hoặc ít hơn 0,8% tính theo phân tử gam, ít hơn 0,7% tính theo phân tử gam, ít hơn

0,6% tính theo phân tử gam, ít hơn 0,5% tính theo phân tử gam, ít hơn 0,4% tính theo phân tử gam, ít hơn 0,3% tính theo phân tử gam, ít hơn 0,2% tính theo phân tử gam, hoặc ít hơn 0,1% tính theo phân tử gam. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế có thể chứa hơi nước chỉ với lượng từ 0,01% đến 1,5% tính theo phân tử gam, từ 0,01% đến 1% tính theo phân tử gam, từ 0,01% đến 0,75% tính theo phân tử gam, từ 0,01% đến 0,5% tính theo phân tử gam, từ 0,01% đến 0,25% tính theo phân tử gam, từ 0,05% đến 0,5% tính theo phân tử gam, hoặc từ 0,05% đến 0,25% tính theo phân tử gam.

Có thể rất có lợi nếu cấp chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> ở các điều kiện nhiệt độ và áp suất nêu trên để tạo điều kiện thuận lợi cho việc tách các thành phần thứ cấp, như nước. Nói cách khác, sáng chế đề xuất hệ thống cụ thể để duy trì chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> dưới các điều kiện mong muốn sao cho CO<sub>2</sub> và nước trong chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> trước khi tách đều ở các trạng thái mong muốn để tạo điều kiện thuận tiện cho việc tách. Bằng cách cấp chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có áp suất như nêu trên, nhiệt độ của dòng chất lưu có thể được giảm đến điểm mà ở đó nước trong dòng chất lưu này sẽ ở thể lỏng và do đó có thể tách dễ dàng hơn ra khỏi CO<sub>2</sub> ở thể khí.

Có thể mong muốn rằng hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế tạo ra các điều kiện làm khô khác khiến chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế là hoàn toàn hoặc gần như không có nước. Như nêu trên, việc tách nước ra khỏi chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> trên cơ sở các mức chênh lệch pha trong các vật liệu có thể để lại một phần nước rất nhỏ (nghĩa là, hàm lượng thấp) sót lại trong chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>. Hệ thống theo một số phương án của sáng chế có thể chấp nhận tiếp tục với chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> còn sót lại phần nước rất nhỏ. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, có thể có ích nếu chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> này tiếp tục được xử lý để tạo điều kiện thuận lợi cho việc loại bỏ tất cả hoặc một phần của nước sót lại này. Ví dụ, hàm lượng nước thấp có thể được loại bỏ nhờ các thiết bị sấy khử ẩm hoặc cơ cấu khác mà thích hợp theo quan niệm của sáng chế.

Việc cấp chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến cụm tách có áp suất đã định có thể đặc biệt có lợi để lại tăng hiệu quả đến mức lớn nhất của chu trình phát điện. Cụ thể, việc cấp chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> ở vùng áp suất đã định có thể cho phép chất lưu

tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế trong pha khí được nén đến áp suất cao với tổng mức tiêu thụ điện ít nhất. Như nêu dưới đây, việc nén này có thể là cần thiết khiến cho một phần chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế có thể được tái tuần hoàn vào buồng đốt và một phần có thể được cấp ở áp lực đường ống cần thiết (ví dụ, từ 10MPa đến 20MPa). Điều này tiếp tục cho thấy các lợi ích của việc giảm đến mức thấp nhất tỷ lệ áp suất giữa cửa nạp và cửa xả của tuabin giãn nở, như nêu trên. Điều này có chức năng làm tăng tổng hiệu quả của chu trình và còn cho phép áp suất xả ra khỏi tuabin nằm trong vùng mong muốn nêu trên để tách nước và các thành phần thứ cấp khác ra khỏi chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ .

FIG.6 thể hiện dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  theo một phương án của sáng chế đi qua cụm tách 520. Như được thấy trên hình vẽ, dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 từ bộ trao đổi nhiệt có thể được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 530 sử dụng nước để tiếp tục loại nhiệt ra khỏi chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 (hoặc cơ cấu có chức năng tương tự bất kỳ) và xả chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  61 ở pha đã trộn trong đó  $\text{CO}_2$  giữ ở thể khí và nước trong chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được chuyển đổi thành pha lỏng. Ví dụ, đường dẫn chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 530 có thể làm nguội chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến nhiệt độ thấp hơn  $50^\circ\text{C}$ , thấp hơn  $55^\circ\text{C}$ , thấp hơn  $40^\circ\text{C}$ , thấp hơn  $45^\circ\text{C}$ , thấp hơn  $40^\circ\text{C}$ , hoặc thấp hơn  $30^\circ\text{C}$ . Tốt hơn, nếu áp suất của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  gần như không bị thay đổi do đi qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 530. Chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  61 ở pha đã trộn này được hướng đến cụm tách nước 540 trong đó dòng nước 62a ở thể lỏng được xả ra khỏi thiết bị tách nước 520. Dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  62b đã được làm giàu cũng được xả ra khỏi cụm tách nước 540. Dòng đã được làm giàu này có thể được xả thẳng ra khỏi thiết bị tách nước 520 như dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế 65. Trong hệ thống theo các phương án thay thế (các dòng và các bộ phận thể hiện bằng các đường nét đứt trên hình vẽ minh họa), dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  62b đã được làm giàu có thể được hướng vào một hoặc nhiều cụm tách 550 bổ sung để loại bỏ các thành phần thứ cấp khác, như được mô tả một cách đầy đủ hơn dưới đây. Theo một phương án cụ thể, các thành phần thứ cấp bất kỳ khác của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được loại bỏ sau khi loại bỏ nước. Sau đó, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ra

khỏi một hoặc nhiều cụm tách nước bổ sung như chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế 65. Tuy nhiên, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 61 ở pha đã trộn trước tiên có thể được hướng để loại bỏ một hoặc nhiều thành phần thứ cấp trước khi loại nước, và sau đó dòng tinh khiết một phần này mới được hướng vào cụm tách nước 540. Người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này có khả năng nhận thức được các kết hợp khác nhau của thiết bị tách nước vốn được mong muốn, và tất cả các kết hợp này để nằm trong phạm vi bảo hộ của sáng chế.

Như nêu trên, ngoài nước, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có thể chứa các thành phần thứ cấp khác, như tạp chất có nguồn gốc từ nhiên liệu, tạp chất có nguồn gốc từ việc đốt, và tạp chất có nguồn gốc từ oxy. Các thành phần thứ cấp này còn có thể được loại ra khỏi chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> ở thể khí, đã làm nguội đồng thời hoặc gần như đồng thời khi tách nước. Ví dụ, ngoài hơi nước, các thành phần thứ cấp như SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl, NO, NO<sub>2</sub>, Hg, và O<sub>2</sub> dư thừa, N<sub>2</sub> và Ar có thể được loại bỏ. Tất cả các thành phần thứ cấp này của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> (thường được hiểu là các tạp chất hoặc các chất bẩn) có thể được loại ra khỏi chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã làm nguội bằng cách sử dụng phương pháp thích hợp (ví dụ, phương pháp đề xuất trong Công bố đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 2008/0226515 và các đơn yêu cầu cấp bằng patent Châu Âu số EP1952874 và EP1953486, mà toàn bộ các tài liệu này được đưa vào đây bằng cách viện dẫn). SO<sub>2</sub> và SO<sub>3</sub> có thể được chuyển đổi 100% thành axit sunfuric, trong khi >95% của NO và NO<sub>2</sub> có thể được chuyển đổi thành axit nitric. O<sub>2</sub> dư thừa bất kỳ hiện có mặt trong chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có thể được tác như dòng đã được làm giàu để tái tuần hoàn theo tùy chọn vào buồng đốt. Các khí trơ bất kỳ hiện có mặt (ví dụ, N<sub>2</sub> và Ar) có thể được bay hơi có áp suất thấp vào khí quyển. Do đó, trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có thể được tinh chế sao cho CO<sub>2</sub> có nguồn gốc từ cacbon trong nhiên liệu được đốt gần như có thể được phân phối như dòng tỷ trọng cao, tinh khiết. Theo một phương án cụ thể, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế có thể chứa CO<sub>2</sub> ở nồng độ ít nhất là 98,5% phân tử gam, ít nhất là 99% phân tử gam, ít nhất là 99,5% phân tử gam, hoặc ít nhất là 99,8% phân tử gam. Hơn nữa, chất lưu tuần

hoàn  $\text{CO}_2$  có thể được cấp có áp suất mong muốn để nạp trực tiếp vào trong đường ống  $\text{CO}_2$  – ví dụ, ít nhất khoảng 10MPa, ít nhất khoảng 15MPa, hoặc ít nhất khoảng 20MPa.

Tóm lại, việc đốt nhiên liệu chứa cacbon 254 với sự có mặt của  $\text{O}_2$  242 và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  236 trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán 220 có thể tạo ra dòng sản phẩm đốt 40 có nhiệt độ và áp suất tương đối cao. Dòng sản phẩm đốt 40 này bao gồm lượng  $\text{CO}_2$  tương đối lớn có thể được cho đi qua tuabin 320 để giãn nở dòng sản phẩm đốt 40, nhờ đó giảm áp suất của dòng và phát điện. Dòng xả tuabin 50 ra khỏi đầu ra của tuabin 320 có áp suất giảm song vẫn giữ ở nhiệt độ tương đối cao. Do các tạp chất và chất bẩn trong dòng sản phẩm đốt, có lợi nếu các tạp chất và chất bẩn này được tách ra trước khi chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn trở lại vào trong hệ thống. Để thực hiện việc tách này, dòng xả tuabin 50 được làm nguội bằng cách cho đi qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt 420. Việc tách các sản phẩm thứ cấp (ví dụ, nước và các tạp chất và các chất bẩn bất kỳ khác) có thể được thực hiện như nêu trên. Để tái tuần hoàn chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  trở lại vào trong buồng đốt, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  cần được làm nóng lại lần nén lại. Sự khác biệt của hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế là việc thực hiện các bước xử lý cụ thể để tăng hiệu quả đến mức lớn nhất của chu trình phát điện đồng thời lại ngăn không cho xả chất ô nhiễm (ví dụ,  $\text{CO}_2$ ) vào khí quyển. Cụ thể, điều này có thể được nhận thấy thông qua bước làm nóng lại và nén lại và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế đã được làm nguội ra khỏi cụm tách.

Như được thể hiện trên FIG.5, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế 65 ra khỏi một hoặc nhiều cụm tách 520 có thể được cho đi qua một hoặc nhiều cụm nén 620 (ví dụ, các bơm, các máy nén, hoặc thiết bị tương tự) để tăng áp suất của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế 65. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế 65 có thể được nén đến áp suất thấp nhất khoảng 7,5MPa hoặc ít nhất khoảng 8MPa. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, một cụm nén có thể được dùng để tăng áp suất của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế đến áp suất mong muốn nêu trên để nạp vào trong buồng đốt 220.



Theo một phương án cụ thể, việc nén có thể được thực hiện bằng cách sử dụng chuỗi gồm hai hoặc nhiều máy nén (ví dụ, các bơm) trong cụm nén 620. FIG.7 thể hiện hệ thống theo một phương án của sáng chế trong đó chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế 65 được cho đi qua máy nén thứ nhất 630 để nén chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế 65 đến áp suất thứ nhất (tốt hơn nếu cao hơn áp suất tới hạn CO<sub>2</sub>) và do đó tạo ra dòng 66. Dòng 66 này có thể được hướng vào bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 640 để rút nhiệt (ví dụ, nhiệt sinh ra do tác động nén của máy nén thứ nhất) và tạo ra dòng 67, tốt hơn nếu ở nhiệt độ gần nhiệt độ môi trường. Dòng 67 có thể được hướng vào máy nén thứ hai 650 được dùng để nén chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến áp suất thứ hai cao hơn áp suất thứ nhất. Như nêu dưới đây, áp suất thứ hai có thể gần bằng áp suất mong muốn đối với chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> khi nạp (hoặc tái tuần hoàn) vào buồng đốt.

Theo một phương án cụ thể, máy nén thứ nhất 630 có thể được dùng để tăng áp suất của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế 65 sao cho chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế được chuyển đổi từ trạng thái khí sang trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn. Theo một phương án cụ thể, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế có thể được nén trong máy nén thứ nhất 630 đến áp suất nằm trong khoảng từ 7,5MPa đến 20MPa, từ 7,5MPa đến 15MPa, từ 7,5MPa đến 12MPa, từ 7,5MPa đến 10MPa, hoặc từ 8MPa đến 10MPa. Sau đó, dòng 66 ra khỏi máy nén thứ nhất 630 (dòng này ở trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn) được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 640 (hoặc cơ cấu có chức năng tương tự bất kỳ) mà có thể làm nguội chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến nhiệt độ đủ để tạo chất lưu tỷ trọng cao mà có thể bơm một cách có hiệu quả hơn đến áp suất thậm chí lớn hơn. Điều này có thể là quan trọng theo quan niệm một thể tích CO<sub>2</sub> lớn đang được tái tuần hoàn để dùng làm chất lưu tuần hoàn. Việc bơm một thể tích CO<sub>2</sub> lớn ở trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn có thể là sự rút năng lượng đáng kể trên hệ thống. Tuy nhiên, thực tế cho thấy lợi ích về mặt hiệu quả sẽ tăng lên bằng cách cô CO<sub>2</sub> và do đó giảm tổng thể tích của CO<sub>2</sub> vượt quá tới hạn được bơm trở lại buồng đốt để tái tuần hoàn. Trong hệ thống theo một phương án cụ thể của sáng chế, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có thể được cấp ở tỷ trọng thấp nhất là 200kg/m<sup>3</sup>, thấp nhất khoảng 250kg/m<sup>3</sup>, thấp nhất khoảng 300kg/m<sup>3</sup>,

thấp nhất khoảng  $350\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $400\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $450\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $500\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $550\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $600\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $650\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $700\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $750\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $800\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $850\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $900\text{kg/m}^3$ , thấp nhất khoảng  $950\text{kg/m}^3$ , hoặc thấp nhất khoảng  $1.000\text{kg/m}^3$  sau khi xả ra khỏi bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 640 (và trước khi đi qua cụm trao đổi nhiệt 420 để làm nóng). Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, tỷ trọng có thể nằm trong khoảng từ  $150\text{kg/m}^3$  đến  $1.100\text{kg/m}^3$ , từ  $200\text{kg/m}^3$  đến  $1.000\text{kg/m}^3$ , từ  $400\text{kg/m}^3$  đến  $950\text{kg/m}^3$ , từ  $500\text{kg/m}^3$  đến  $900\text{kg/m}^3$ , hoặc từ  $500\text{kg/m}^3$  đến  $800\text{kg/m}^3$ .

Theo một phương án cụ thể, đường dẫn dòng 66 qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 640 có thể làm nguội chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến nhiệt độ thấp hơn khoảng  $60^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $50^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $40^\circ\text{C}$ , hoặc thấp hơn khoảng  $30^\circ\text{C}$ . Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ra khỏi bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 640 như dòng 67 có thể nằm trong khoảng từ  $15^\circ\text{C}$  đến  $50^\circ\text{C}$ , từ  $20^\circ\text{C}$  đến  $45^\circ\text{C}$ , hoặc từ  $20^\circ\text{C}$  đến  $40^\circ\text{C}$ . Tốt hơn, nếu chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  trong dòng 67 nạp vào nén thứ hai 650 ở các điều kiện mà tạo điều kiện thuận lợi cho việc bơm năng lượng hữu hiệu của dòng đến áp suất mong muốn như được nêu trong bản mô tả này đối với việc nạp chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  vào trong buồng đốt. Ví dụ, dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  vượt quá tới hạn, đã được nén 70 có thể tiếp tục được nén đến áp suất thấp nhất khoảng  $12\text{MPa}$ , thấp nhất khoảng  $15\text{MPa}$ , thấp nhất khoảng  $16\text{MPa}$ , thấp nhất khoảng  $18\text{MPa}$ , thấp nhất khoảng  $20\text{MPa}$ , hoặc thấp nhất khoảng  $25\text{MPa}$ . Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  vượt quá tới hạn, đã được nén 70 có thể tiếp tục được nén đến áp suất từ  $15\text{MPa}$  đến  $50\text{MPa}$ , từ  $20\text{MPa}$  đến  $45\text{MPa}$ , hoặc từ  $25\text{MPa}$  đến  $40\text{MPa}$ . Loại máy nén bất kỳ có khả năng vận hành được ở nhiệt độ nêu trên và có khả năng đạt đến các áp suất nêu trên có thể được dùng, như bơm nhiều tầng có áp suất cao.

Dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén 70 ra khỏi một hoặc nhiều cụm nén 620 có thể được hướng trở lại các bộ trao đổi nhiệt mà trước đó vốn được dùng để làm

nguồn dòng xả tuabin 50. Như được thể hiện trên FIG.5, đầu tiên dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén 70 có thể được cho đi qua bộ tách dòng 720 để tạo ra dòng chất lưu đường ống  $\text{CO}_2$  80 và dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  85 (gần như tương tự dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  70 ngoại trừ lượng  $\text{CO}_2$  thực tế hiện có mặt trong dòng). Do đó, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, ít nhất một phần  $\text{CO}_2$  trong dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén được nạp vào trong đường ống chịu áp lực để tách. Lượng  $\text{CO}_2$  loại ra khỏi dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  và được hướng vào đường ống (hoặc phương tiện tách hoặc khử khác) có thể thay đổi tùy vào lượng  $\text{CO}_2$  mong muốn cần được nạp vào trong buồng đốt để điều khiển nhiệt độ đốt và lượng  $\text{CO}_2$  thực tế hiện có mặt trong việc đốt dòng xả ra khỏi buồng đốt. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, lượng  $\text{CO}_2$  được rút như nêu trên có thể gần như là lượng  $\text{CO}_2$  tạo ra từ việc đốt nhiên liệu chứa cacbon trong buồng đốt.

Để đạt đến sự vận hành có hiệu quả cao, có thể có lợi nếu chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ra khỏi cụm nén 620 được làm nóng đến nhiệt độ mà ở đó chất lưu vượt quá trạng thái tới hạn có nhiệt dung riêng thấp hơn nhiều. Điều này tương đương với việc cấp lượng nhiệt rất lớn trên vùng nhiệt độ tương đối thấp. Việc sử dụng nguồn nhiệt bên ngoài (ví dụ, nguồn nhiệt có nhiệt độ tương đối thấp) để tạo việc làm nóng bổ sung đối với một phần của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn cho phép cụm trao đổi nhiệt 420 được vận hành với mức chênh lệch nhiệt độ nhỏ giữa dòng xả tuabin 50 và dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn 236 ở đầu nóng của cụm trao đổi nhiệt 420 (hoặc bộ trao đổi nhiệt thứ nhất khi chuỗi gồm hai hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt được sử dụng). Theo một phương án cụ thể, việc cho chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén đi qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt có thể có ích để làm nóng dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén này đến nhiệt độ mong muốn để nạp dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén vào trong buồng đốt. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén được làm nóng đến nhiệt độ thấp nhất là  $200^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $300^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $400^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $500^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $600^\circ\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $700^\circ\text{C}$ , hoặc thấp nhất khoảng  $800^\circ\text{C}$  trước khi dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  này được nạp vào trong buồng đốt. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng

ché, việc làm nóng dòng này có thể đạt đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 500°C đến 1.200°C, từ 550°C đến 1.000°C, hoặc từ 600°C đến 950°C.

FIG.8 thể hiện cụm trao đổi nhiệt 420 trong hệ thống theo một phương án trong đó ba bộ trao đổi nhiệt riêng biệt được lắp nối tiếp để rút nhiệt từ dòng xả tuabin 50 để tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 60 ở các điều kiện thích hợp cho việc loại bỏ các thành phần thứ cấp và đồng thời bổ sung nhiệt vào dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> vượt quá tới hạn, đã được nén 70 (hoặc 85) trước khi tái tuần hoàn và nạp dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 236 vào trong buồng đốt. Như tiếp tục được mô tả dưới đây, hệ thống theo phương án này của sáng chế có thể được nâng cấp từ hệ thống phát điện thông thường (ví dụ, các nhà máy điện đốt than) để nâng cao hiệu quả hiệu quả và/hoặc công suất của hệ thống cũ. Do đó, trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, cụm trao đổi nhiệt 420 dưới đây có thể được gọi là cụm trao đổi nhiệt sơ cấp trong việc thiết bị được nâng cấp mà có sử dụng cụm trao đổi nhiệt thứ cấp (như được thể hiện trên FIG.12). Do đó, cụm trao đổi nhiệt thứ cấp có thể là một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt được dùng để làm quá nhiệt dòng hơi, chẳng hạn. Việc sử dụng các thuật ngữ như cụm trao đổi nhiệt sơ cấp và cụm trao đổi nhiệt thứ cấp sẽ không làm giới hạn phạm vi bảo hộ của sáng chế và các thuật ngữ này chỉ được dùng để làm rõ phần mô tả.

FIG.8 thể hiện các bộ phận của hệ thống theo một phương án của sáng chế trong đó, đầu tiên dòng xả tuabin 50 nạp vào chuỗi bộ trao đổi nhiệt 420 bằng cách cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 để tạo dòng 52, sẽ có nhiệt độ thấp hơn so với nhiệt độ của dòng xả tuabin 50. Bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 có thể được mô tả như bộ trao đổi nhiệt nhiệt độ cao do nó nhận dòng nóng nhất số các dòng – nghĩa là, dòng xả tuabin 50 – và do đó truyền nhiệt ở vùng nhiệt độ cao nhất trong chuỗi bộ trao đổi nhiệt 420. Như nêu trên, bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430, để tiếp nhận dòng xả tuabin 50 ở nhiệt độ tương đối cao, có thể được làm bằng các hợp kim đặc biệt hoặc các vật liệu khác hữu ích làm cho bộ trao đổi nhiệt trở nên thích hợp để chịu được các nhiệt độ nêu trên. Nhiệt độ của dòng xả tuabin 50 có thể được giảm một cách đáng kể bằng cách cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 (cũng có thể áp dụng hệ thống theo các phương án khác mà sử dụng số lượng bộ trao đổi

hiệt có ít hoặc nhiều hơn ba). Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, nhiệt độ của dòng 52 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 có thể thấp hơn nhiệt độ của dòng xả tuabin 50 ít nhất khoảng  $100^{\circ}\text{C}$ , ít nhất khoảng  $200^{\circ}\text{C}$ , thấp nhất khoảng  $300^{\circ}\text{C}$ , ít nhất khoảng  $400^{\circ}\text{C}$ , ít nhất khoảng  $450^{\circ}\text{C}$ , ít nhất khoảng  $500^{\circ}\text{C}$ , ít nhất khoảng  $550^{\circ}\text{C}$ , ít nhất khoảng  $575^{\circ}\text{C}$ , hoặc ít nhất khoảng  $600^{\circ}\text{C}$ . Theo một phương án cụ thể, nhiệt độ của dòng 52 có thể được nằm trong khoảng từ  $100^{\circ}\text{C}$  đến  $800^{\circ}\text{C}$ , từ  $150^{\circ}\text{C}$  đến  $600^{\circ}\text{C}$ , hoặc từ  $200^{\circ}\text{C}$  đến  $500^{\circ}\text{C}$ . Trong hệ thống theo các phương án ưu tiên của sáng chế, áp suất của dòng 52 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 gần bằng áp suất của dòng xả tuabin 50. Cụ thể, áp suất của dòng 52 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 có thể bằng 90%, ít nhất bằng 91%, ít nhất bằng 92%, ít nhất bằng 93%, ít nhất bằng 94%, ít nhất bằng 95%, ít nhất bằng 96%, ít nhất bằng 97%, ít nhất bằng 98%, ít nhất bằng 99%, ít nhất bằng 99,5%, hoặc ít nhất bằng 99,8% áp suất của dòng xả tuabin 50.

Dòng 52 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 để tạo ra dòng 56, có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của dòng 52 nạp vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440. Bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 có thể được mô tả bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ trung gian do nó truyền nhiệt trong vùng nhiệt độ trung gian (nghĩa là, vùng nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 song lại lớn hơn nhiệt độ của bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450). Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, mức chênh lệch nhiệt độ giữa dòng thứ nhất 52 và thứ hai dòng 56 có thể gần như thấp hơn mức chênh lệch nhiệt độ giữa dòng xả tuabin 50 và dòng 52 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, nhiệt độ của dòng 56 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 có thể thấp hơn nhiệt độ của dòng 52 nạp vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 từ  $10^{\circ}\text{C}$  đến  $200^{\circ}\text{C}$ , từ  $20^{\circ}\text{C}$  đến  $175^{\circ}\text{C}$ , từ  $30^{\circ}\text{C}$  đến  $150^{\circ}\text{C}$ , hoặc từ  $40^{\circ}\text{C}$  đến  $140^{\circ}\text{C}$ . Trong hệ thống theo một phương án cụ thể, nhiệt độ của dòng 56 có thể nằm trong khoảng từ  $75^{\circ}\text{C}$  đến  $600^{\circ}\text{C}$ , từ  $100^{\circ}\text{C}$  đến  $400^{\circ}\text{C}$ , hoặc từ  $100^{\circ}\text{C}$  đến  $300^{\circ}\text{C}$ . Tiếp nữa, tốt hơn nếu áp suất của dòng 56 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 gần bằng áp suất của dòng 52 nạp vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440. Cụ thể, áp suất của dòng 56 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 có thể bằng ít nhất là 90%, ít nhất là

91%, ít nhất là 92%, ít nhất là 93%, ít nhất là 94%, ít nhất là 95%, ít nhất là 96%, ít nhất là 97%, ít nhất là 98%, ít nhất là 99%, ít nhất là 99,5%, hoặc ít nhất là 99,8% áp suất của dòng 52 nạp vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440.

Dòng 56 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 để tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 60 có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ của dòng 56 đi vào bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450. Bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 có thể được mô tả như bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ thấp do nó truyền nhiệt ở vùng nhiệt độ thấp nhất của chuỗi trao đổi nhiệt 420. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, nhiệt độ của dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 60 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 có thể thấp hơn nhiệt độ của dòng 56 đi vào bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 từ 10°C đến 250°C, từ 15°C đến 200°C, từ 20°C đến 175°C, hoặc từ 25°C đến 150°C. Theo một phương án cụ thể, nhiệt độ của dòng 60 có thể nằm trong khoảng từ 40°C đến 200°C, từ 40°C đến 100°C, hoặc từ 40°C đến 90°C. Tiếp nữa, tốt hơn nếu áp suất của dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 60 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 gần bằng áp suất của dòng 56 đi vào bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450. Cụ thể, áp suất của dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 60 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 có thể bằng ít nhất là 90%, ít nhất là 91%, ít nhất là 92%, ít nhất là 93%, ít nhất là 94%, ít nhất là 95%, ít nhất là 96%, ít nhất là 97%, ít nhất là 98%, ít nhất là 99%, ít nhất là 99,5%, hoặc ít nhất là 99,8% áp suất của dòng 56 đi vào bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450.

Dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 60 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 (và do đó ra khỏi cụm trao đổi nhiệt 420 nói chung) có thể được hướng vào một hoặc nhiều cụm tách 520, như nêu trên. Cũng như nêu trên, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có thể trải qua một hoặc nhiều loại tách để loại các thành phần thứ cấp ra khỏi dòng, sau đó dòng này được nén để quay trở lại buồng đốt như chất lưu tuần hoàn được tái tuần hoàn (theo tùy chọn có phần CO<sub>2</sub> được tách ra để nạp vào trong đường ống CO<sub>2</sub> hoặc phương tiện khác để cô hoặc để thải bỏ mà không xả vào khí quyển).

Quay lại FIG.8, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 70 (hoặc 85 nếu đầu tiên đã được cho đi qua thiết bị tách, như được thể hiện trên FIG.5), có thể được

hướng trở lại đi qua cùng chuỗi ba bộ trao đổi nhiệt khiến cho nhiệt được rút nguyên gốc thông qua các bộ trao đổi nhiệt có thể được dùng để truyền nhiệt đến dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 70 trước khi đi vào trong buồng đốt 220. Thông thường, nhiệt được truyền đến dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 70 bằng cách cho đi qua ba bộ trao đổi nhiệt (450, 440, và 430) có thể tỷ lệ tương đối với lượng nhiệt được rút từ các bộ trao đổi nhiệt như nêu trên.

Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, sự khác biệt có thể là mức chênh lệch nhiệt độ giữa dòng ra khỏi và dòng nạp vào đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt (hoặc bộ trao đổi nhiệt cuối cùng trong chuỗi). Theo FIG.8, điều này có thể liên quan đến đặc biệt đến mức chênh lệch nhiệt độ của dòng 60 và dòng 70. Cụ thể, mức chênh lệch nhiệt độ của các dòng ở đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt (bộ trao đổi nhiệt cuối cùng trong chuỗi) lớn hơn không và có thể được nằm trong khoảng từ 2°C đến 50°C, từ 3°C đến 40°C, từ 4°C đến 30°C, hoặc từ 5°C đến 20°C.

Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 70 có thể được cho đi một cách trực tiếp qua ba bộ trao đổi nhiệt nối tiếp. Ví dụ, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 70 (nghĩa là, ở nhiệt độ tương đối thấp) có thể đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 để tạo dòng 71 ở nhiệt độ được nâng cao, mà có thể được đi một cách trực tiếp qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 để tạo dòng 73 ở nhiệt độ được nâng cao, dòng này có thể được đi một cách trực tiếp qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 để tạo dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 236 được nén, ở nhiệt độ cao, mà có thể được hướng vào buồng đốt 220.

Tuy nhiên, trong hệ thống theo các phương án cụ thể của sáng chế, sự khác biệt có thể là việc sử dụng nguồn nhiệt bên ngoài để tiếp tục tăng nhiệt độ của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn. Ví dụ, như được thể hiện trên FIG.8, sau khi dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 70 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450, dòng 71 tạo ra, thay vì đi một cách trực tiếp vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 có thể được cho đi qua bộ phận tách 460 để tách dòng 71 thành dòng 71b và dòng 72a. Dòng 71b có thể được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 theo cách khác nêu trên. Dòng 72a có thể được cho đi qua bộ phận làm nóng nhánh 470 mà có thể

được dùng để truyền lượng nhiệt bổ sung đến dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén 70 ngoài nhiệt được truyền bởi chính các bộ trao đổi nhiệt này.

Các lượng tương đối của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén ra khỏi dòng 71 mà được hướng vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 và bộ phận làm nóng nhánh 470 có thể thay đổi tùy vào các điều kiện vận hành của hệ thống và nhiệt độ cuối cùng mong muốn của dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã nén để đi vào trong buồng đốt 220. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, tỷ lệ theo phân tử gam của  $\text{CO}_2$  trong dòng 71b được hướng vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 và dòng 72a được hướng vào bộ phận làm nóng nhánh 470 có thể từ 1:2 đến 20:1 (nghĩa là, tỷ lệ 1 phân tử gam  $\text{CO}_2$  trong dòng 71b trên 2 phân tử gam  $\text{CO}_2$  trong dòng 72a đến 20 phân tử gam  $\text{CO}_2$  trong dòng 71b trên 1 phân tử gam  $\text{CO}_2$  trong dòng 72a). Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, tỷ lệ theo phân tử gam của  $\text{CO}_2$  trong dòng 71b được hướng vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 và dòng 72a được hướng vào bộ phận làm nóng nhánh 470 có thể được từ 1:1 đến 20:1, từ 2:1 đến 16:1, từ 2:1 đến 12:1, từ 2:1 đến 10:1, từ 2:1 đến 8:1, hoặc từ 4:1 đến 6:1

Bộ phận làm nóng nhánh có thể là thiết bị hữu ích để truyền nhiệt đến chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, năng lượng (nghĩa là, nhiệt) cấp bởi bộ phận làm nóng nhánh có thể được nạp vào trong hệ thống từ nguồn bên ngoài. Tuy nhiên, trong hệ thống theo các phương án cụ thể theo sáng chế, hiệu quả của chu trình có thể được tăng lên bằng cách tận dụng nhiệt thải được sinh ra ở một hoặc nhiều điểm trong chu trình. Ví dụ, việc sản xuất  $\text{O}_2$  để nạp vào trong buồng đốt có thể sinh ra nhiệt. Các cụm tách không khí có thể sinh ra nhiệt như phụ phẩm của quy trình tách. Hơn nữa, có thể có ích nếu  $\text{O}_2$  được cấp có áp suất nâng cao như nêu trên, và việc nén khí như vậy cũng có thể sinh ra nhiệt như phụ phẩm. Ví dụ,  $\text{O}_2$  có thể được sinh ra bởi hoạt động của quy trình tách không khí ở nhiệt độ thấp trong đó oxy được nén trong quy trình bằng cách bơm oxy lỏng được làm nóng một cách hữu hiệu đến nhiệt độ môi trường xung quanh nhằm bảo quản lạnh. Thiết bị oxy bơm ở nhiệt độ thấp có thể có hai máy nén khí, cả hai máy này đều có thể được vận hành theo kiểu đoạn nhiệt mà không cần làm nguội giữa các giai đoạn khiến cho không khí nén, nóng có thể được làm nguội



xuống đến nhiệt độ nghĩa là gần bằng và/hoặc lớn hơn nhiệt độ của dòng được làm nóng bởi nguồn bên ngoài (ví dụ, dòng 72a trên FIG.8). Trong các cài đặt theo giải pháp kỹ thuật đã biết, nhiệt này không được tận dụng hoặc thực ra có thể được tiêu trên các hệ thống như hệ thống làm nguội thứ hai vốn cần thiết để loại bỏ nhiệt phụ phẩm. Tuy nhiên, trong hệ thống do sáng chế đề xuất chất làm mát có thể được dùng để rút nhiệt sinh ra từ quy trình tách không khí và cấp nhiệt đến bộ phận làm nóng nhánh được thể hiện trên FIG.8. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, bộ phận làm nóng nhánh này có thể là cụm tách không khí (hoặc cơ cấu kết hợp), và chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> này (ví dụ, dòng 72a trên FIG.8) có thể tuần hoàn một cách trực tiếp thông qua hệ thống có chất làm mát trên hoặc gắn liền với cụm tách không khí để rút nhiệt sinh ra trong quy trình tách không khí. Cụ thể hơn, nhiệt bổ sung nhiệt có thể thu được bằng cách vận hành máy nén CO<sub>2</sub> theo kiểu đoạn nhiệt và loại bỏ nhiệt của bước nén trong thiết bị làm nguội tiếp theo đối với chất lưu truyền nhiệt tuần hoàn, chất lưu này truyền nhiệt của bước nén để làm nóng phần chất lưu có áp suất cao tuần hoàn CO<sub>2</sub> hoặc bằng truyền nhiệt trực tiếp đến dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> có áp suất cao được tái tuần hoàn (ví dụ, dòng 72a trên FIG.8). Hơn nữa, việc bổ sung nhiệt như vậy không nhất thiết chỉ giới hạn ở vị trí được mô tả liên quan đến FIG.8 mà nhiệt bổ sung có thể được nạp vào chu trình tại điểm bất kỳ sau khi tách các thành phần thứ cấp ra khỏi chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> (song tốt hơn nếu trước khi cho chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đi qua bộ trao đổi nhiệt nằm ngay phía trước đầu nạp vào trong buồng đốt). Tất nhiên, phương pháp tương tự bất kỳ nhằm tận dụng phế thải sinh ra trong chu trình trình phát điện cũng sẽ được tính đến trong bản mô tả này, như bằng cách sử dụng việc cấp hơi ở nhiệt độ ngưng thích hợp hoặc khí xả nóng từ tuabin khí thông thường có chu trình hở.

Lượng nhiệt được truyền bởi bộ phận làm nóng nhánh 470 có thể biến thiên tùy vào các vật liệu và thiết bị được sử dụng cũng như nhiệt độ tối đa cần đạt được đối với dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 236 để nạp vào trong buồng đốt 220. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, bộ phận làm nóng nhánh 470 tăng một cách có hiệu quả nhiệt độ của dòng 72a ít nhất khoảng 10°C, ít nhất khoảng 20°C, ít nhất khoảng 30°C, ít nhất khoảng 40°C, ít nhất khoảng 50°C, ít nhất khoảng 60°C, ít

nhất khoảng 70°C, ít nhất khoảng 80°C, ít nhất khoảng 90°C, hoặc ít nhất khoảng 100°C. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, bộ phận làm nóng nhánh 470 tăng một cách có hiệu quả nhiệt độ của dòng 72a từ 10°C đến 200°C, từ 50°C đến 175°C, hoặc từ 75°C đến 150°C. Theo một phương án cụ thể, bộ phận làm nóng nhánh 470 tăng nhiệt độ của dòng 72a trong khoảng ít nhất là 15°C, trong khoảng ít nhất là 12°C, trong khoảng ít nhất là 10°C, trong khoảng ít nhất là 7°C, hoặc trong khoảng ít nhất là 5°C của nhiệt độ của dòng 73 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 440.

Nhờ sự bổ sung này của nguồn nhiệt, dòng 71 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 có thể được quá nhiệt vượt quá khả năng của nhiệt có sẵn trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 để làm nóng dòng 71 nếu toàn bộ lượng CO<sub>2</sub> trong dòng được dẫn hướng thông qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440. Bằng cách tách dòng, nhiệt có sẵn trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 có thể được truyền một cách đầy đủ đến hàm lượng riêng phần của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> trong dòng 71b còn nhiệt có sẵn từ bộ phận làm nóng nhánh 470 có thể được truyền một cách đầy đủ đến hàm lượng riêng phần của chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> trong dòng 72a. Do đó, có thể thấy được rằng nhiệt độ của các dòng kết hợp đi vào bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 khi áp dụng phương pháp tách khác có thể lớn hơn nhiệt độ của dòng 73 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 nếu tất cả lượng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> trong dòng 71 được hướng đến bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 thay vì bị chia và làm nóng tách rời, như nêu trên. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, nhiệt được tăng thu được bởi phương pháp tách có thể được đủ lớn để hạn chế có hay không dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 236 được làm nóng một cách đầy đủ trước khi nạp vào buồng đốt.

Như được thể hiện trên FIG.8, dòng 71b ra khỏi bộ tách 460 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 để tạo dòng 73, dòng này được hướng đến bộ trộn 480 mà kết hợp dòng 73 với dòng 72b xả ra khỏi bộ phận làm nóng nhánh 470. Sau đó, dòng 74 kết hợp được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 để làm nóng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đến nhiệt độ gần bằng nhiệt độ của dòng xả tuabin khi đi vào bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430. Sự gần bằng về nhiệt độ giữa các dòng chất lưu ở đầu

nóng của bộ trao đổi nhiệt thứ nhất có thể ứng dụng cho các phương án tiếp theo sáng chế khi mà có thấp hoặc nhiều hơn ba bộ trao đổi nhiệt được sử dụng và có thể ứng dụng cho bộ trao đổi nhiệt thứ nhất mà chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được cho đi qua đó sau khi xả ra khỏi tuabin. Khả năng để có được sự gần bằng về nhiệt độ giữa các dòng chất lưu ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt thứ nhất có thể được dấu hiệu cơ bản của sáng chế để đạt được mức hiệu quả mong muốn. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, mức chênh lệch giữa nhiệt độ của dòng xả tuabin đi vào bộ trao đổi nhiệt thứ nhất theo hàng từ tuabin (nghĩa là, sau khi giãn nở trong tuabin) và nhiệt độ của dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ra khỏi bộ trao đổi nhiệt để tái tuần hoàn vào trong buồng đốt có thể thấp hơn khoảng  $80^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $75^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $70^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $65^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $60^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $55^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $50^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $45^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $40^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $35^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $30^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $25^\circ\text{C}$ , thấp hơn khoảng  $20^\circ\text{C}$ , hoặc thấp hơn khoảng  $15^\circ\text{C}$ .

Như nêu trên, hiệu quả của hệ thống do sáng chế đề xuất có thể được tạo điều kiện thuận lợi lớn nhờ sự điều khiển chính xác mức chênh lệch nhiệt độ ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt 420 (hoặc bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 trong chuỗi này được thể hiện trên FIG.8) giữa dòng xả tuabin 50 và dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn 236. Trong hệ thống theo các phương án ưu tiên của sáng chế, mức chênh lệch nhiệt độ này thấp hơn  $50^\circ\text{C}$ . Mặc dù không muốn bị ràng buộc bởi lý thuyết song, giải pháp kỹ thuật do sáng chế đề xuất có thể cho thấy rằng nhiệt có sẵn để làm nóng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn (ví dụ, nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin in một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt) có thể không đủ để làm nóng toàn bộ dòng của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn. Hiểu được rằng, giải pháp do sáng chế đề xuất có thể khắc phục được bằng cách chia dòng 71 sao cho dòng 71b nạp vào bộ trao đổi nhiệt 440 và dòng 72a đi vào nguồn nhiệt bên ngoài 470, nguồn này là nguồn nhiệt bên ngoài, bổ sung mà làm tăng nhiệt độ của dòng 72b ra khỏi nguồn nhiệt bên ngoài 470 gần bằng với nhiệt độ của dòng 73 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 440, như nêu trên. Sau đó, dòng 72b kết hợp với dòng 73 để tạo dòng 74. Lưu tốc của dòng 71b (và cả dòng 72a) có thể được điều khiển bởi

mức chênh lệch nhiệt độ ở đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt 440. Lượng nhiệt bên ngoài cần để bù đắp sự thiếu nhiệt nêu trên có thể được giảm đến mức thấp nhất bằng cách làm cho nhiệt độ của dòng 56 thấp đến mức có thể và sau đó giảm đến mức thấp nhất mức chênh lệch nhiệt độ ở đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt 440. Hơi nước hiện có mặt trong dòng 56 bay lên từ các sản phẩm đốt đạt đến điểm sương của nó ở nhiệt độ tùy vào thành phần của dòng 56 và áp suất của dòng này. Nếu thấp hơn nhiệt độ này sự ngưng tụ nước sẽ làm tăng mạnh mCp hiệu quả của dòng 56 đến dòng 60 và cung cấp nhiệt cần thiết để làm nóng toàn bộ dòng tái tuần hoàn 70 đến dòng 71. Tốt hơn, nếu nhiệt độ của dòng 56 ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 440 có thể được ở trong khoảng 5°C của điểm sương của dòng 56. Tốt hơn, nếu mức chênh lệch nhiệt độ ở đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt 440 giữa dòng 56 và dòng 71 có thể ít nhất khoảng 3°C, ít nhất khoảng 6°C, ít nhất khoảng 9°C, ít nhất khoảng 12°C, ít nhất khoảng 15°C, ít nhất khoảng 18°C, hoặc ít nhất khoảng 20°C.

Quay lại FIG.5, trước khi được tái tuần hoàn vào trong buồng đốt 220, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 236 có thể được làm nóng trước, như được mô tả liên quan đến ít nhất một bộ trao đổi nhiệt 420, mà tiếp nhận dòng xả tuabin nóng 50 sau khi đi qua tuabin giãn nở 320. Để tăng hiệu quả của chu trình đến mức lớn nhất, có ích nếu tuabin giãn nở 320 vận hành ở nhiệt độ cửa nạp cao đến mức có thể thích hợp với các vật liệu có sẵn trong cấu trúc của đường nạp khí nóng và cánh tuabin chịu ứng suất cao, cũng như nhiệt độ cao nhất được phép trong bộ trao đổi nhiệt 420 thích hợp với áp suất vận hành hệ thống. Đường nạp nóng của dòng nạp tuabin và các hàng cánh tuabin thứ nhất có thể được làm nguội bởi phương tiện hữu ích bất kỳ. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, hiệu quả có thể được tăng đến mức lớn nhất bằng cách sử dụng một phần chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn có áp suất cao. Cụ thể, chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> nhiệt độ thấp hơn (ví dụ, nằm trong khoảng từ 50°C đến 200°C) có thể được rút ra khỏi chu trình trước đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt 420 hoặc từ điểm trung gian trong bộ trao đổi nhiệt 420 khi sử dụng chuỗi gồm các cụm trao đổi nhiệt (ví dụ, từ dòng 71, dòng 72a, dòng 71b, dòng 72b, dòng 73, hoặc dòng 74 như được thể hiện trên FIG.8). Chất lưu làm

nguội ở cánh có thể được xả ra khỏi các lỗ trong cánh tuabin và được nạp một cách trực tiếp vào trong luồng tuabin.

Sự vận hành buồng đốt hiệu quả cao, như buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán nêu trên, có thể sinh ra khí đốt là khí oxi hóa có nồng độ oxy dư thừa (như nằm trong khoảng từ 0,1% đến 5% phân tử gam). Theo cách khác, buồng đốt có thể sinh ra khí đốt là khí khử có các nồng độ nhất định của một hoặc nhiều trong số  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ , và  $NH_3$ . Điều này đặc biệt có lợi do nó trở nên khả thi trong hệ thống do sáng chế đề xuất để sử dụng tuabin phát điện chỉ bằng một cụm tuabin hoặc chuỗi gồm các cụm tuabin (ví dụ, 2 cụm, 3 cụm, hoặc nhiều cụm hơn). Theo một phương án cụ thể sử dụng chuỗi gồm nhiều cụm tuabin, có lợi nếu tất cả các cụm này có thể vận hành với cùng nhiệt độ cửa nạp, và điều này cho phép tăng công suất điện đến mức lớn nhất đối với áp suất cấp tuabin thứ nhất đã định và tổng tỷ lệ áp suất.

Một ví dụ về cụm tuabin 320 sử dụng tuabin 330 và tuabin 340 vận hành theo hàng ở chế độ khử được thể hiện trên FIG.9. Như được thấy trên hình vẽ, dòng sản phẩm đốt 40 hướng đến tuabin thứ nhất 330. Trong hệ thống theo các phương án của sáng chế, dòng sản phẩm đốt 40 được thiết kế (ví dụ, thông qua việc điều khiển nhiên liệu được sử dụng, lượng  $O_2$  được sử dụng, và các điều kiện vận hành buồng đốt) như là khí khử trong đó chứa một hoặc nhiều thành phần dễ cháy, như nêu trên. Dòng sản phẩm đốt 40 được làm giãn nở qua tuabin thứ nhất 330 để tạo ra điện (như kết hợp với máy phát điện, không được thể hiện trên hình vẽ này) và tạo ra dòng thứ nhất xả 42. Trước khi nạp vào trong tuabin thứ hai 340, lượng  $O_2$  được định trước có thể được bổ sung vào dòng thứ nhất xả tuabin 42 để đốt các thành phần dễ cháy hiện có mặt trong dòng thứ nhất xả tuabin 42. bước này để lại oxy dư thừa mà vẫn nâng cao nhiệt độ cửa nạp ở cụm tuabin thứ hai 340 gần bằng trị số nhiệt độ cửa nạp đối với cụm tuabin thứ nhất 330. Ví dụ, nhiệt độ của dòng xả 42 từ cụm tuabin thứ nhất 330 có thể nằm trong khoảng từ  $500^{\circ}C$  đến  $1.000^{\circ}C$ . Khi ở chế độ khử, việc bổ sung  $O_2$  vào dòng xả 42 ở nhiệt độ này có thể làm cho khí trong dòng sẽ được làm nóng nhờ việc đốt khí nhiên liệu dư thừa đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ  $700^{\circ}C$  đến  $1.600^{\circ}C$ , vốn là vùng nhiệt độ gần giống như nhiệt độ của

dòng sản phẩm đốt 40 ra khỏi buồng đốt 220 trước khi nạp vào cụm tuabin thứ nhất 330. Nói cách khác, nhiệt độ vận hành ở cửa nạp của từng tuabin gần bằng nhau. Theo một phương án cụ thể, nhiệt độ vận hành ở cửa nạp của các tuabin khác biệt không quá 10%, không quá 9%, không quá 8%, không quá 7%, hoặc không quá 6%, không quá 5%, không quá 4%, không quá 3%, không quá 2%, hoặc không quá 1%. Các bước làm nóng lại các cụm tuabin khác còn có thể được thực hiện đối với lượng nhiên liệu dư còn lại. Nếu cần, việc đốt có thể được nâng cao nhờ việc sử dụng chất xúc tác thích hợp trong khoảng trống đốt được cấp oxy.

Trong hệ thống theo phương án nhất định của sáng chế, chu trình phát điện như được nêu trong bản mô tả này có thể được dùng để nâng cấp các nhà máy điện hiện có, như bằng cách nạp chất lưu làm nóng ở nhiệt độ cao, áp suất cao (ví dụ, dòng xả tuabin nêu trên) vào trong chu trình làm quá nhiệt hơi của nhà máy điện thông thường hoạt động theo chu trình Rankine. Nhà máy này có thể nhà máy điện đốt than hoặc nhà máy điện hạt nhân có lò phản ứng kiểu nước sôi (Boiling Water Reactor - BWR) hoặc chu trình lò phản ứng được làm nguội bằng nước nén (Pressurized Water Reactor - PWR). Điều này tăng một cách có hiệu quả hiệu suất và công suất điện của nhà máy điện theo chu trình Rankine chạy hơi bằng cách làm quá nhiệt hơi đến nhiệt độ cao hơn nhiều so với nhiệt độ cao nhất của hơi quá nhiệt được tạo ra trong hệ thống hiện có. Trong trường hợp sử dụng nồi hơi đốt than phun, nhiệt độ của hơi hiện được nâng cao nhất đến 600°C trong khi các điều kiện hơi trong nhà máy điện hạt nhân thường ở khoảng 320°C. Bằng cách sử dụng khả năng quá nhiệt với sự trao đổi nhiệt trong hệ thống và theo phương pháp do sáng chế đề xuất, nhiệt độ hơi có thể được tăng lên trên 700°C. Điều này dẫn đến sự chuyển đổi trực tiếp nhiệt năng thành công suất trên trục cộng thêm do nhiên liệu bổ sung được đốt để làm quá nhiệt hơi được chuyển đổi thành công suất cộng thêm trong nhà máy điện chạy hơi mà không làm tăng lượng hơi được ngưng. Điều này có thể được thực hiện bằng cách lắp cụm trao đổi nhiệt thứ cấp. Ví dụ, dòng xả tuabin như được mô tả trong hệ thống do sáng chế đề xuất có thể được dẫn hướng thông qua cụm trao đổi nhiệt thứ cấp trước khi đi qua cụm trao đổi nhiệt sơ cấp, như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này. Nhiệt thu được trong cụm trao

đổi nhiệt thứ cấp có thể được sử dụng để làm quá nhiệt hơi ra khỏi nồi hơi, như nêu trên. Hơi quá nhiệt có thể được hướng vào một hoặc nhiều tuabin để phát điện. Sau khi đi qua cụm trao đổi nhiệt thứ cấp, dòng xả tuabin sau đó có thể được hướng vào cụm trao đổi nhiệt sơ cấp, như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này. Hệ thống này được mô tả trong ví dụ 2 và được thể hiện trên FIG.12. Ngoài ra, hơi có áp suất thấp có thể được lấy ra khỏi cửa nạp của tuabin hơi cuối cùng và dùng hơi này để làm nóng một phần chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn, như nêu trên. Theo một phương án cụ thể, phần ngưng từ nhà máy điện chạy hơi có thể được làm nóng đến nhiệt độ trung gian trước khi loại không khí bằng cách sử dụng dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ , mà ra khỏi đầu ngưng của cụm trao đổi nhiệt (ví dụ, ở nhiệt độ khoảng  $80^\circ\text{C}$  trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế). Thông thường, việc làm nóng này sử dụng hơi xả lấy từ cửa nạp đến tầng tuabin hơi LP sau cùng nên hiệu ứng thực trên hiệu quả hao hụt của nhà máy điện chạy hơi để làm nóng dòng nhánh này được bù lại bằng cách làm nóng trước phần ngưng, mà bảo toàn hơi xả.

Phương pháp phát điện do sáng chế đề xuất được mô tả chung trên đây (nghĩa là, chu trình phát điện) có thể được vận hành bằng cách sử dụng hệ thống phát điện thích hợp như được nêu trong bản mô tả này. Nói chung, hệ thống phát điện theo sáng chế có thể bao gồm bộ phận bất kỳ trong số các bộ phận nêu trên để thực hiện phương pháp phát điện. Ví dụ, hệ thống phát điện có thể bao gồm buồng đốt để đốt nhiên liệu chứa cacbon với sự có mặt của  $\text{O}_2$  và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Cụ thể, buồng đốt có thể được buồng đốt làm ngưng bằng bay hơi khuếch tán, như được nêu trong bản mô tả này; tuy nhiên, các buồng đốt khác có khả năng vận hành ở các điều kiện khác nêu trên cũng có thể được sử dụng. Cụ thể, sự khác biệt có thể là các điều kiện đốt của buồng đốt, cũng như các bộ phận đặc trưng của buồng đốt này. Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, hệ thống có thể bao gồm một hoặc nhiều bộ phun để nạp nhiên liệu chứa cacbon (và theo tùy chọn là các môi trường làm hóa lỏng)  $\text{O}_2$ , và chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Hệ thống có thể bao gồm các bộ phận để loại bỏ xỉ lỏng. Buồng đốt có thể tạo ra khí nhiên liệu ở nhiệt độ mà ở đó các hạt tro rắn có thể được lọc một cách hữu hiệu ra khỏi khí, và khí này có thể

được trộn với  $\text{CO}_2$  nguội và được đốt trong buồng đốt thứ hai. Buồng đốt có thể bao gồm ít nhất một tầng đốt để đốt nhiên liệu chứa cacbon với sự có mặt của chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  để tạo ra dòng sản phẩm đốt chứa  $\text{CO}_2$  có áp suất và nhiệt độ như được nêu trong bản mô tả này.

Hệ thống do sáng chế đề xuất có thể còn bao gồm bước tuabin phát điện nối thông với buồng đốt. Tuabin có thể có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt và cửa xả để xả dòng xả tuabin chứa  $\text{CO}_2$ . Điện có thể được sinh ra khi dòng chất lưu giãn nở, tuabin được thiết kế để duy trì dòng chất lưu ở tỷ lệ áp suất mong muốn ( $I_p/O_p$ ), như được nêu trong bản mô tả này. Hệ thống còn có thể bao gồm ít nhất một bộ trao đổi nhiệt nối thông với tuabin để tiếp nhận dòng xả tuabin và làm nguội dòng để tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã làm nguội. Tương tự, ít nhất một bộ trao đổi nhiệt có thể được dùng để làm nóng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được nạp vào trong buồng đốt. Sự khác biệt có thể là các vật liệu để chế tạo các bộ trao đổi nhiệt cụ thể để cho phép bộ trao đổi nhiệt này vận hành ở các điều kiện cụ thể như được nêu trong bản mô tả này.

Hệ thống do sáng chế đề xuất còn có thể bao gồm một hoặc nhiều cơ cấu để tách dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thành  $\text{CO}_2$  và một hoặc nhiều thành phần khác để thu hồi hoặc thải loại. Cụ thể, hệ thống có thể bao gồm means để tách nước (hoặc các tạp chất khác nêu trên) từ dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ .

Hệ thống do sáng chế đề xuất còn có thể bao gồm bước một hoặc nhiều cơ cấu (ví dụ, các máy nén) nối thông với ít nhất một bộ trao đổi nhiệt (và/hoặc nối thông với một hoặc nhiều cơ cấu tách) để nén chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã tinh chế. Hơn nữa, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể bao gồm phương tiện để tách chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  thành hai dòng, một dòng cho đi qua bộ trao đổi nhiệt và vào trong buồng đốt và dòng thứ hai để phân phối vào trong đường ống chịu áp lực (hoặc phương tiện khác để tách và/hoặc loại  $\text{CO}_2$ ).

Hệ thống theo một số phương án khác của sáng chế có thể còn có các bộ phận khác. Ví dụ, hệ thống do sáng chế đề xuất có thể bao gồm thiết bị tách  $\text{O}_2$  để phân phối  $\text{O}_2$  vào trong buồng đốt (hoặc vào trong bộ phun hoặc cơ cấu tương tự để



trộn  $O_2$  với một hoặc nhiều vật liệu khác). Trong hệ thống theo một số phương án của sáng chế, cụm tách không khí có thể sinh ra nhiệt. Do đó, có thể có ích nếu hệ thống do sáng chế đề xuất còn bao gồm một hoặc nhiều bộ phận truyền nhiệt để truyền nhiệt từ cụm tách không khí đến dòng chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  nằm ở trước buồng đốt. Hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế có thể bao gồm bộ phận bất kỳ trong số hoặc tất cả các bộ phận được nêu trên liên quan đến chu trình phát điện và phương pháp phát điện.

Theo các phương án tiếp theo, sáng chế đề xuất hệ thống phát điện đặc biệt hữu ích bằng cách sử dụng nhiên liệu (như than) mà để lại cặn không cháy được khi đốt. Trong hệ thống theo các phương án nhất định của sáng chế, các vật liệu không cháy này có thể được loại ra khỏi dòng sản phẩm đốt thông qua việc sử dụng cơ cấu thích hợp, như thiết bị loại bỏ tạp chất được thể hiện trên FIG.4. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, tuy nhiên, có thể có ích nếu không chế được các vật liệu không cháy thông qua việc sử dụng hệ thống có nhiều buồng đốt, như được thể hiện trên FIG.10.

Như được thể hiện trên FIG.10, nguyên liệu than 254 có thể được cho đi qua thiết bị nghiền 900 để tạo ra than bột. Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, nguyên liệu than 254 có thể được cấp ở điều kiện đặc biệt. Theo một phương án cụ thể, than có thể có cỡ hạt trung bình nằm trong khoảng từ  $10\mu m$  đến  $500\mu m$ , từ  $25\mu m$  đến  $400\mu m$ , hoặc từ  $50\mu m$  đến  $200\mu m$ . Trong hệ thống theo các phương án khác của sáng chế, than vừa nêu có thể có lớn hơn 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 91%, 92%, 93%, 94%, 95%, 96%, 97%, 98%, 99%, hoặc 99,5% các hạt than có cỡ hạt trung bình thấp hơn khoảng  $500\mu m$   $450\mu m$ ,  $400\mu m$ ,  $350\mu m$ ,  $300\mu m$ ,  $250\mu m$ ,  $200\mu m$ ,  $150\mu m$ , hoặc  $100\mu m$ . Than bột có thể được trộn với chất nền hóa lỏng để tạo ra than dưới dạng chất quánh. Trên FIG.10, than bột được kết hợp trong bộ trộn 910 với dòng hút nhánh  $CO_2$  68 từ chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  được tái tuần hoàn. Trên FIG.10, dòng hút nhánh  $CO_2$  68 được rút từ dòng 67, vốn đã qua bước xử lý để cấp chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  ở trạng thái vượt quá tới hạn, tỷ trọng cao. Theo một phương án cụ thể,  $CO_2$  dùng để tạo than chất quánh có thể có tỷ trọng nằm trong khoảng từ  $450kg/m^3$  đến  $1.100kg/m^3$ . Cụ thể hơn, dòng hút nhánh  $CO_2$

68 có thể kết hợp với than dạng hạt để tạo chất quánh 255 có than dạng hạt nằm trong khoảng từ 10 phần trăm theo trọng lượng (w%) và từ 75 phần trăm theo trọng lượng hoặc nằm trong khoảng từ 25% theo trọng lượng đến 55% theo trọng lượng. Hơn nữa, CO<sub>2</sub> từ dòng hút nhánh 68 được dùng để tạo chất quánh có thể có nhiệt độ thấp hơn khoảng 0°C, thấp hơn khoảng -10°C, thấp hơn khoảng -20°C, hoặc thấp hơn khoảng -30°C. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, CO<sub>2</sub> từ dòng hút nhánh 68 được dùng để tạo chất quánh có thể có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 0°C đến -60°C, từ -10°C đến -50°C, hoặc từ -18°C đến -40°C.

Chất quánh than bột/CO<sub>2</sub> 255 được chuyển từ bộ trộn 910 qua bơm 920 đến buồng đốt oxi hóa riêng phần 930. Dòng O<sub>2</sub> được tạo ra bằng cách sử dụng cụm tách không khí 30 mà tách không khí 241 thành O<sub>2</sub> tinh chế, như được nêu trong bản mô tả này. Dòng O<sub>2</sub> được chia thành dòng O<sub>2</sub> 243, được hướng đến buồng đốt oxi hóa riêng phần 930, và dòng O<sub>2</sub> 242, được hướng đến buồng đốt 220. Trong hệ thống được thể hiện trên FIG.10, dòng CO<sub>2</sub> 86 được rút ra khỏi dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn 85 để dùng trong việc làm nguội buồng đốt oxi hóa riêng phần 930. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, CO<sub>2</sub> để dùng trong việc làm nguội buồng đốt oxi hóa riêng phần 930 có thể được lấy từ dòng 236 thay vì từ dòng 86 hoặc, CO<sub>2</sub> có thể được lấy từ cả dòng 86 lẫn dòng 236. Tốt hơn, nếu lượng CO<sub>2</sub> được rút là đủ để làm nguội nhiệt độ của dòng 256 khiến cho tro hiện có mặt ở thể rắn có thể được loại bỏ một cách an toàn. Như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này, CO<sub>2</sub>, than, và O<sub>2</sub> được cấp vào buồng đốt oxi hóa riêng phần 930 theo các tỷ lệ sao cho than chỉ được oxi hóa một phần để tạo ra dòng sản phẩm đốt 256 oxi hóa một phần chứa CO<sub>2</sub> cùng với một hoặc nhiều thành phần H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, và NH<sub>3</sub>. CO<sub>2</sub>, than, và O<sub>2</sub> còn được nạp vào trong buồng đốt oxi hóa riêng phần 930 theo các tỷ lệ cần thiết sao cho nhiệt độ của dòng sản phẩm đốt được oxi hóa một phần 256 đủ thấp để toàn bộ tro hiện có mặt trong dòng 256 dưới dạng các hạt thể rắn có thể được tách một cách dễ dàng bởi một hoặc nhiều các thiết bị tách và/hoặc bộ lọc kiểu dòng xoáy. FIG.10 là hình vẽ thể hiện bộ lọc tro 940 trong hệ thống theo một phương án của sáng chế. Theo một phương án cụ thể, nhiệt độ của dòng đốt 256 được oxi hóa một phần có thể thấp hơn khoảng

1.100°C, thấp hơn khoảng 1.000°C, thấp hơn khoảng 900°C, thấp hơn khoảng 800°C, hoặc thấp hơn khoảng 700°C. Trong hệ thống theo các phương án tiếp theo của sáng chế, nhiệt độ của dòng đốt 256 được oxi hóa một phần có thể nằm trong khoảng từ 300°C đến 1.000°C, từ 400°C đến 950°C, hoặc từ 500°C đến 900°C.

Dòng đốt 257 được oxi hóa một phần, đã lọc có thể được nạp trực tiếp vào trong buồng đốt thứ hai 220, có thể là buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán, như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này. Dòng nạp này được cấp cùng với dòng O<sub>2</sub> 242, và dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn 236. Việc đốt ở điểm này có thể diễn ra tương tự như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này. Các vật liệu cháy được trong dòng đốt 256 được oxi hóa một phần được đốt trong buồng đốt 220 với sự có mặt của O<sub>2</sub> và CO<sub>2</sub> để tạo dòng đốt 40. Dòng này được giãn nở ngang qua tuabin 320 để phát điện (ví dụ, qua máy phát điện 1209). Dòng xả tuabin 50 được cho đi qua cụm trao đổi nhiệt 420 (có thể là chuỗi gồm các bộ trao đổi nhiệt, như được mô tả có dựa vào FIG.8). Dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 60 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 530 để tạo dòng 61, được cho đi qua đến thiết bị tách 540 để loại bỏ các thành phần thứ cấp (ví dụ, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, và Hg) trong dòng 62. Thiết bị tách 540 có thể gần giống như tương tự như tháp đệm 1330 được mô tả có dựa vào FIG.12 dưới đây. Tốt hơn, nếu thiết bị tách 540 bao gồm bình phản ứng tạo ra bộ tiếp xúc có thời gian lưu vừa đủ sao cho các tạp chất có thể phản ứng với nước để tạo các vật liệu (ví dụ, các axit) mà được tách một cách dễ dàng. Dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã tinh chế 65 được cho đi qua máy nén thứ nhất 630 để tạo dòng 66, mà được làm nguội nhờ bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 640 để tạo ra chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 67 có tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn. Như nêu trên, một phần của dòng 67 có thể được rút như dòng 68 để dùng làm các môi trường làm hóa lỏng trong bộ trộn 910 để tạo dòng than quánh 255. Nói cách khác, dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 67 có tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn tiếp tục được nén trong máy nén 650 để tạo dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 70 có tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn, đã nén. Phần CO<sub>2</sub> trong dòng 70 có thể được rút tại điểm 720, như được nêu trong bản mô tả này có dựa vào FIG.5 và FIG.11 để cấp dòng 80 đến đường ống CO<sub>2</sub> hoặc phương tiện cô khác. Phần CO<sub>2</sub> còn lại đi

tiếp như dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 85 có tỷ trọng cao, vượt quá tới hạn, đã nén, một phần của dòng này có thể được rút như dòng 86 dùng để làm nguội buồng đốt oxi hóa riêng phần 930, như nêu trên. Nói cách khác, dòng 85 được đi ngược về thông qua bộ trao đổi nhiệt 420 (hoặc chuỗi các bộ trao đổi nhiệt, như được mô tả có dựa vào FIG.8) để làm nóng dòng và sau cùng tạo ra dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn 236 để nạp vào buồng đốt 220. Như nêu trên, nguồn nhiệt bên ngoài có thể được dùng kết hợp với cụm trao đổi nhiệt 420 để đem lại hiệu quả cần thiết. Tương tự, các thông số của hệ thống khác như được mô tả theo cách khác trong bản mô tả này có thể được ứng dụng cho hệ thống theo FIG.10, như áp suất và nhiệt độ dòng, cũng như các điều kiện vận hành khác đối với cụm tuabin 320, cụm trao đổi nhiệt 420, cụm tách 520, và cụm máy nén 630.

### **Thử nghiệm**

Sáng chế tiếp tục được mô tả dưới đây có dựa vào các ví dụ thực hiện cụ thể. Các ví dụ được thực hiện nhằm minh họa các phương án nhất định của sáng chế và không nhằm giới hạn phạm vi bảo hộ của sáng chế.

#### **Ví dụ thực hiện 1**

Hệ thống phát điện bằng cách đốt metan có sử dụng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn

Ví dụ cụ thể về hệ thống theo sáng chế được thể hiện trên FIG.11 Trong phần mô tả dưới đây, hệ thống được mô tả có dựa vào chu trình riêng ở các điều kiện riêng bằng cách sử dụng mẫu máy tính.

Trong mẫu này, dòng nhiên liệu metan (CH<sub>4</sub>) 254 ở nhiệt độ 134°C và áp suất 30,5MPa được kết hợp với dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn 236 ở nhiệt độ 860°C và áp suất 30,3MPa (và do đó ở trạng thái chất lưu vượt quá tới hạn) trong thiết bị trộn 252 trước khi nạp vào trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán 220. Cụm tách không khí 30 được sử dụng để cấp O<sub>2</sub> 242 đậm đặc ở nhiệt độ 105°C và áp suất 30,5MPa. Cụm tách không khí còn sinh ra nhiệt (Q) mà được rút đi để dùng trong quy trình. O<sub>2</sub> 242 được kết hợp trong buồng đốt 220 với dòng nhiên liệu metan 254 và chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 236 ở nơi mà quá trình

đốt xuất hiện để tạo ra dòng sản phẩm đốt 40 ở nhiệt độ  $1.189^{\circ}\text{C}$  và áp suất  $30\text{MPa}$ .  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , và metan được cấp theo tỷ lệ theo phân tử gam khoảng 35:2:1 (nghĩa là, pao mol trên giờ lbmol/hr – pound moles per hour). Việc đốt trong phương án thực hiện này sử dụng đầu nạp năng lượng ở tốc độ  $344.935\text{ Btu/hr}$  ( $363.932\text{ kJ/hr}$ ).

Dòng sản phẩm đốt 40 được giãn nở ngang qua tuabin 320 để tạo ra dòng xả tuabin 50 ở nhiệt độ  $885^{\circ}\text{C}$  và áp suất  $5\text{MPa}$  ( $\text{CO}_2$  trong dòng xả tuabin 50 ở trạng thái khí). Việc giãn nở của dòng sản phẩm đốt 40 ngang qua tuabin 320 phát điện ở tốc độ  $83,5\text{ kilowat trên giờ (kW/hr)}$ .

Sau đó, dòng xả tuabin 50 được cho đi qua chuỗi gồm ba bộ trao đổi nhiệt để làm liên tục làm nguội dòng nhằm loại bỏ các thành phần thứ cấp. Việc đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 tạo ra dòng 52 ở nhiệt độ  $237^{\circ}\text{C}$  và áp suất  $5\text{MPa}$ . Dòng 52 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 để tạo ra dòng 56 ở nhiệt độ  $123^{\circ}\text{C}$  và áp suất  $5\text{MPa}$ . Dòng 56 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 để tạo ra dòng 60 ở nhiệt độ  $80^{\circ}\text{C}$  và áp suất  $5\text{MPa}$ .

Sau khi chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn được cho đi qua chuỗi các bộ trao đổi nhiệt, dòng 60 lại tiếp tục được làm nguội bằng cách cho đi qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 530. Nước (C) ở nhiệt độ  $24^{\circ}\text{C}$  được tuần hoàn qua bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 530 để làm nguội dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  60 đến nhiệt độ  $27^{\circ}\text{C}$  và do đó ngưng tụ nước bất kỳ có mặt trong dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$ . Dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đã được làm nguội 61 sau đó được cho đi qua cụm tách nước 540 sao cho nước ở thể lỏng được loại và xả như dòng 62a. Dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  65 “đã làm khô” được xả ra khỏi cụm tách nước 540 ở nhiệt độ  $34^{\circ}\text{C}$  và áp suất  $3\text{MPa}$ .

Dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  65 khô (vẫn còn ở trạng thái khí) tiếp tục được cho đi qua cụm nén thứ nhất 630 theo sơ đồ nén hai bước. Dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được nén đến  $8\text{MPa}$ , mà theo cách tương tự làm tăng nhiệt độ của dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  đến  $78^{\circ}\text{C}$ . Điều này cần đầu nạp năng lượng là  $5,22\text{ kW/hr}$ . Sau đó, chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  66 với chất lưu vượt quá tới hạn được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai nước lạnh 640 là nơi mà dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  66 có chất lưu vượt quá tới hạn được làm nguội bằng nước ở nhiệt độ  $24^{\circ}\text{C}$  để tạo ra dòng

chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 67 có chất lưu vượt quá tới hạn đã nguội ở nhiệt độ 27°C, áp suất 8MPa, và tỷ trọng 762kg/m<sup>3</sup>. Sau đó, dòng này được cho đi qua cụm nén thứ hai 650 để tạo dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 70 ở nhiệt độ 69°C và áp suất 30,5MPa. Điều này cần đầu nạp năng lượng là 8,23 kW/hr. Dòng này được cho đi qua bộ tách đường ống 720 nhờ vậy mà 1 lbmol của CO<sub>2</sub> được hướng đến đường ống chịu áp lực qua dòng 80, và 34,1 lbmol của CO<sub>2</sub> được hướng như dòng 85 trở lại thông qua chuỗi ba bộ trao đổi nhiệt để làm nóng lại dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> trước khi đi vào trong buồng đốt 220.

Dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nén 85 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba 450 để tạo dòng 71 ở nhiệt độ 114°C và áp suất 30,5MPa. Dòng 71 được cho đi qua bộ tách 460 sao cho 27,3 lbmol của CO<sub>2</sub> được hướng như dòng 71b đến bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440, và 6,8 lbmol của CO<sub>2</sub> được hướng trong dòng 72a thôn qua bộ phận làm nóng nhánh 470. Mỗi dòng 71b và dòng 72a có nhiệt độ 114°C có áp suất 30,5MPa. Bộ phận làm nóng nhánh 470 sử dụng nhiệt (Q) từ thiết bị tách không khí 30 để cấp nhiệt bổ sung đến dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub>. Việc cho dòng 71b đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 440 tạo ra dòng 73 ở nhiệt độ 224°C và áp suất 30,5MPa. Việc cho dòng 72a đi qua bộ phận làm nóng nhánh 470 tạo ra dòng 72b theo cách tương tự ở nhiệt độ 224°C và áp suất 30,4MPa. Dòng 73 và dòng 72b được kết hợp trong bộ trộn 480 để tạo dòng 74 ở nhiệt độ 224°C và áp suất 30,3MPa. Sau đó, dòng 74 được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất 430 để tạo dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn 236 ở nhiệt độ 860°C và áp suất 30,0MPa nhằm nạp trở lại vào trong buồng đốt 220.

Hiệu quả đối với chu trình mẫu nêu trên được tính dựa trên năng lượng được sinh ra so với LHV của nguyên liệu metan và năng lượng nạp bổ sung vào trong hệ thống, như nêu trên. Theo các điều kiện mẫu, hệ thống đạt được hiệu quả của khoảng 53,9%. Đây là điều đáng ngạc nhiên do hiệu quả tuyệt vời có thể đạt được mà vẫn ngăn được sự xả CO<sub>2</sub> bất kỳ vào khí quyển (mà nhất là CO<sub>2</sub> bất kỳ bay lên từ việc đốt nhiên liệu chứa cacbon).

Ví dụ thực hiện 2

Hệ thống để phát điện do nâng cấp nhà máy điện đốt than phun để sử dụng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn

Ví dụ thực hiện cụ thể khác về hệ thống theo sáng chế được hiển trên FIG.12. Hệ thống được mô tả dưới đây có dựa vào chu trình riêng ở các điều kiện riêng bằng cách sử dụng mẫu toán học.

Mẫu này thể hiện khả năng để nâng cấp hệ thống như được nêu trong bản mô tả này từ nhà máy điện đốt than phun thông thường.

Dòng O<sub>2</sub> 1056 có áp suất 30,5MPa được nạp vào trong buồng đốt làm nguội bằng bay hơi khuếch tán 220 cùng với nhiên liệu chứa cacbon 1055 (ví dụ, khí có nguồn gốc từ than được tạo ra bằng cách oxi hóa một phần) có áp suất 30,5MPa và dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> 1053 có áp suất 30,5MPa. O<sub>2</sub> có thể được tiếp nhận từ thiết bị tách không khí hoặc cơ cấu tương tự mà có thể sinh ra nhiệt (Q), nhiệt này có thể được rút đi để dùng trong hệ thống, như để tạo ra hơi để giãn nở hoặc để bổ sung nhiệt cho dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã nguội. Việc đốt nhiên liệu trong buồng đốt 220 tạo ra dòng sản phẩm đốt 1054 ở nhiệt độ 1.150°C và áp suất 30,0MPa. Dòng này được giãn nở ngang qua tuabin 320 (thường được gọi là tuabin phát điện sơ cấp) để phát điện bằng cách dẫn động máy phát điện 1209. Việc giãn nở dòng xả tuabin 1001 ở nhiệt độ 775°C và áp suất khoảng 3,0MPa được nạp vào trong đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt 1100 là nơi mà nhiệt từ dòng xả tuabin 1001 được sử dụng để làm quá nhiệt luồng hơi 1031 có áp suất cao và luồng hơi 1032 có áp suất trung gian được tạo ra trong nhà máy điện đốt than phun thông thường 1800. Nước 1810 cấp cho nồi hơi và than 1810 được nạp vào nhà máy điện 1800 để tạo ra dòng hơi 1031 và dòng hơi 1032 bằng cách đốt than 1810. Việc truyền nhiệt trong bộ trao đổi nhiệt làm quá nhiệt dòng hơi 1031 và dòng hơi 1032 từ nhiệt độ khoảng 550°C đến nhiệt độ khoảng 750°C để tạo dòng hơi 1033 và dòng hơi 1034, được đưa trở lại nhà máy điện như nêu dưới đây. Phương pháp này đạt được nhiệt độ hơi rất cao mà không cần các hợp kim chịu nhiệt độ cao được dùng làm các nồi hơi kích thước lớn trong nhà máy điện thông thường đốt than có áp suất khí quyển. Dòng hơi 1033 và dòng hơi 1034 được giãn nở trong tuabin ba giai đoạn 1200 (thường được gọi là tuabin phát điện thứ cấp) để dẫn động máy phát điện 1210. Hơi

1035 ra khỏi tuabin 1200 được ngưng tụ trong bộ ngưng 1220. Phần ngưng 1036 đã xử lý được bơm đến áp suất cao nhờ bơm cấp nước 1230 và sau đó được làm bay hơi và quá nhiệt trong nồi hơi đốt than 1800 để xả vào trong bộ trao đổi nhiệt 1100, như nêu trên. Hệ thống này được sử dụng để tăng công suất điện và hiệu quả của nhà máy điện đốt than hiện có. Bộ trao đổi nhiệt 100 là bộ trao đổi nhiệt tấm liên kết khuếch tán kiểu Heatric có các đường tạo khía theo phương pháp hóa học thường được chế tạo bằng hợp kim có hàm lượng niken cao, chịu được nhiệt độ cao, như hợp kim 617, bộ trao đổi nhiệt này có khả năng chịu được nhiệt độ và áp suất cao cho phép vận hành và làm quá nhiệt hơi mạnh mẽ ở các điều kiện oxi hóa. Bộ trao đổi nhiệt này là thiết bị truyền nhiệt hiệu quả cao có hệ số truyền nhiệt cao đối với mọi loại chất lưu.

Phần còn lại của hệ thống được thể hiện trên FIG.12 có kết cấu và hoạt động tương tự với hệ thống như được mô tả theo cách khác nêu trên. Cụ thể, dòng xả tuabin giãn nở 1001 được làm nguội trong bộ trao đổi nhiệt 1100 và ra khỏi đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt 1100 như dòng xả 1037, ở nhiệt độ 575°C. Sau đó, dòng 1037 này được cho đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai 1300 mà ở đó nó được làm nguội đến nhiệt độ 90°C và áp suất 2,9MPa để tạo thành dòng 1038. Dòng này tiếp tục được làm nguội đối với một phần của phần ngưng 1057 ra khỏi bộ ngưng 1230 của nhà máy điện trong bộ trao đổi nhiệt thứ ba 1310 đến nhiệt độ 40°C để tạo dòng 1039, mà tiếp tục được làm nguội đến nhiệt độ 27°C đối với nước làm nguội trong bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 1320 để tạo dòng 1040 có áp suất 2,87MPa. Bộ trao đổi nhiệt 1.300 có thể cụm liên kết thép không gỉ 310 khuếch tán kiểu Heatric.

Dòng 1040 đã nguội ở nhiệt độ 30°C được nạp vào đáy của tháp đệm 1330, được trang bị bơm tuần hoàn 1340 cấp dòng tuần hoàn axit yếu ngược chiều tạo ra sự tiếp xúc ngược chiều giữa khí nạp và axit yếu được lọc.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}$ , và  $\text{NO}_2$  được chuyển đổi thành  $\text{HNO}_3$  và  $\text{H}_2\text{SO}_4$  và được hấp thụ ở thể lỏng cùng với nước ngưng và các thành phần tan trong nước bất kỳ khác. Sản phẩm lỏng thực ra khỏi tháp đệm 1330 được loại bỏ trong đường ống 1042, và áp suất được giảm đến áp suất khí quyển và đi vào thiết bị tách nước 1360.  $\text{CO}_2$  đã hòa tan xả hết trong 1043, được nén bằng cách sử dụng bơm 1350 đến áp suất 2,85MPa, và chảy như dòng



1044 đến mỗi nối với dòng 1045 ra khỏi đỉnh của tháp đệm 1330. Các dòng kết hợp này tạo ra chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  sẽ được tái tuần hoàn trở lại vào trong buồng đốt.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  và  $\text{HNO}_3$  pha loãng trong nước ra khỏi đáy của thiết bị tách nước 1360 như dòng 1046. Các nồng độ của chúng tùy vào thành phần nhiên liệu và nhiệt độ trong tháp đệm 1330 kiểu tiếp xúc. Lưu ý rằng tốt hơn nếu axit nitric có mặt trong dòng axit 1046, do axit nitric sẽ phản ứng với thủy ngân bất kỳ có mặt và loại bỏ hoàn toàn tạp chất này.

Đầu tiên, dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  tái tuần hoàn nạp vào máy nén 1380 được làm khô đến điểm sương có nhiệt độ khoảng  $-60^\circ\text{C}$  trong thiết bị sấy khử ẩm và sau đó tinh chế để loại  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , và Ar bằng cách sử dụng sơ đồ tách nhiệt độ thấp scheme, như được thể hiện trong đơn yêu cầu cấp patent châu Âu số EP1952874 A1, mà được đưa vào đây bằng cách viện dẫn.

Dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  1047 được tái tuần hoàn, đã nén ra khỏi máy nén 1380 có áp suất 8,5MPa được làm nguội đối với nước làm nguội ở nhiệt độ  $27^\circ\text{C}$  trong bộ trao đổi nhiệt nước lạnh 1370 tạo ra, dòng chất lưu  $\text{CO}_2$  1048 vượt quá tới hạn, đậm đặc được bơm đến áp suất 30,5MPa và nhiệt độ  $74^\circ\text{C}$  trong bơm 1390 để tạo dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  1050 được tái tuần hoàn có áp suất cao. Phần  $\text{CO}_2$  được loại khỏi dòng 1050 như dòng sản phẩm  $\text{CO}_2$  1049 cần được cách ly hoặc loại bỏ theo cách khác mà không xả vào khí quyển. Trong hệ thống theo phương án này của sáng chế, dòng sản phẩm  $\text{CO}_2$  1049 được giảm áp suất đến áp lực đường ống cần thiết khoảng 20MPa và đi vào trong đường ống  $\text{CO}_2$ .

Phần còn lại của dòng chất lưu tuần hoàn  $\text{CO}_2$  được tái tuần hoàn, có áp suất cao, (lúc này là dòng 1051) đi vào đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt 1300. Dòng này, là chất lưu vượt quá tới hạn đậm đặc ở  $74^\circ\text{C}$ , phải nhận lượng đáng kể của nhiệt cấp thấp để chuyển đổi thành chất lưu có nhiệt dung riêng thấp hơn nhiều ở nhiệt độ  $237^\circ\text{C}$ . Trong phương án thực hiện này, nhiệt cấp thấp được cấp bởi dòng hơi LP 1052 có áp suất 0,65MPa mà được lấy từ dòng hơi đi vào tuabin hơi có áp suất thấp của nhà máy điện thông thường cùng với nhiệt do đoạn nhiệt của bước nén có nguồn gốc từ các máy nén khí trong thiết bị sản xuất oxy ở nhiệt độ thấp nhằm cấp dòng  $\text{O}_2$  1056. Hơi có áp suất thấp ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 1300 như dòng 1301.

Theo tùy chọn, tất cả nhiệt có thể được cấp bằng cách sử dụng một số dòng hơi từ nhà máy điện đốt than có áp suất đến 3,8MPa. Năng lượng này cũng có thể được cấp từ nhiệt (Q) được tạo ra bởi cụm tách không khí, như nêu trên. Việc làm nóng dòng nhánh của phần dòng CO<sub>2</sub> tái tuần hoàn tạo ra phần nhiệt lớn cần thiết ở đầu nguội của bộ trao đổi nhiệt 1300 và cho phép mức chênh lệch nhiệt độ nhỏ chỉ khoảng 25°C ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt 1300, mà làm tăng tổng hiệu quả.

Dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> được tái tuần hoàn 1053 áp suất cao, nhiệt độ cao ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 1300 ở nhiệt độ 550°C và đi vào buồng đốt 220, mà ở đó nó được sử dụng để làm nguội các khí đốt có nguồn gốc từ việc đốt dòng khí tự nhiên 1055 (trong phương án thực hiện này) với dòng 1056 có 97% phân tử gam oxy để tạo ra dòng sản phẩm đốt 1054, như nêu trên. Trong phương án thực hiện này, đường dẫn nóng của tuabin và các hàng cánh tuabin thứ nhất được làm nguội bằng cách sử dụng dòng CO<sub>2</sub> 1058 được lấy từ dòng xả bom 1050 ở nhiệt độ 74°C.

Nếu hệ thống nêu trên được vận hành như nhà máy điện độc lập với nguyên liệu như được mô phỏng bởi CH<sub>4</sub> nguyên chất, sau đó dòng CO<sub>2</sub> tái tuần hoàn 1053 đi vào buồng đốt ở nhiệt độ khoảng 750°C và khí xả tuabin 1001 nạp vào bộ trao đổi nhiệt 1300 ở nhiệt độ khoảng 775°C.

Hiệu quả của hệ thống điện độc lập trong phương án thực hiện này là 53,9% (LHV). Hình vẽ này thể hiện mức tiêu thụ năng lượng đối với thiết bị O<sub>2</sub> ở nhiệt độ thấp và nguyên liệu khí tự nhiên và các máy nén CO<sub>2</sub>. Nếu nguyên liệu là than mô phỏng có trị số nhiệt là 27,92 MJ/kg (ví dụ, được oxi hóa một phần có tro được loại bỏ trong buồng đốt thứ nhất và thiết bị lọc được tiếp sau bởi việc đốt hỗn hợp khí nhiên liệu và CO<sub>2</sub> trong buồng đốt thứ hai), sau đó hiệu quả sẽ là 54% (LHV). Trong cả hai trường hợp này gần như 100% CO<sub>2</sub> có nguồn gốc từ cacbon trong nhiên liệu sẽ được tạo ra ở áp lực đường ống 20MPa.

Sự khác biệt của hệ thống nêu trên và được thể hiện trên FIG.12 với nguyên liệu than có thể được ứng dụng cho nhà máy điện có các thông số riêng được mô tả dưới đây. Hiệu quả của việc chuyển đổi nhà máy điện đốt than phun theo hệ thống do sáng chế đề xuất được tính như sau:

Các điều kiện hơi    Hơi HP: 16,6MPa, 565°C, dòng: 473 14kg/giây  
                               Hơi LP: 4,02MPa, 565°C, dòng: 371,62kg/giây  
                               Đầu ra công suất thực: 493,7.Mw  
                               Than đối với nhà máy hiện có: 1256,1 Mw  
                               Hiệu quả thực (LHV): 39,31%  
                               % thu nạp CO<sub>2</sub>: 0

Thiết bị chuyển đổi bằng cách nâng cấp nhà máy điện hiện kết hợp với hệ thống do sáng chế đề xuất:

Đầu ra công suất thực của hệ thống điện CO<sub>2</sub>: 371,7 Mw  
 Công suất thực của nhà máy hiện có: 639,1 Mw  
 Tổng công suất thực: 1010,8Mw  
 Than đối với hệ thống điện CO<sub>2</sub>: 1053,6 Mw  
 Than đối với nhà máy hiện có: 1256,1 Mw  
 Tổng hiệu quả thực (LHV): 43,76%  
 % thu nạp CO<sub>2</sub>: 45,6% \*

\*Lưu ý rằng CO<sub>2</sub> không được thu nạp từ nhà máy hiện có trong ví dụ thực hiện này.

Các biến thể và các phương án khác của sáng chế sẽ nảy sinh đối với các người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này của sáng chế có dựa vào các lợi ích của các bộc lộ trong phần mô tả và các hình vẽ kèm theo. Do đó, cần phải hiểu được rằng, sáng chế không bị giới hạn ở các phương án cụ thể đã được mô tả và các biến thể và các phương án khác đều nằm trong phạm vi bảo hộ được xác định bởi các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo. Mặc dù các thuật ngữ cụ thể được sử dụng trong bản mô tả này song các thuật ngữ này được sử dụng chỉ theo nghĩa chung và mang tính mô tả chứ không nhằm mục đích giới hạn phạm vi bảo hộ của sáng chế.

## YÊU CẦU BẢO HỘ

## 1. Hệ thống phát điện bao gồm:

buồng đốt (220) được tạo kết cấu để tiếp nhận nhiên liệu,  $O_2$ , và dòng chất lưu tuần hoàn  $CO_2$ , và có ít nhất một tầng đốt để đốt nhiên liệu với sự có mặt của chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  và tạo ra dòng sản phẩm đốt chứa  $CO_2$  có áp suất thấp nhất khoảng 8MPa và nhiệt độ thấp nhất khoảng 800°C;

tuabin phát điện sơ cấp (320) nối thông với buồng đốt (220), tuabin sơ cấp (320) có cửa nạp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt và cửa xả để xả dòng xả tuabin chứa  $CO_2$ , tuabin sơ cấp này được làm thích ứng để điều khiển mức sụt áp suất sao cho tỷ lệ giữa áp suất của dòng sản phẩm đốt ở cửa nạp và áp suất của dòng xả tuabin ở cửa xả nhỏ hơn 12;

cụm trao đổi nhiệt sơ cấp (420) nối thông với tuabin sơ cấp (320) để tiếp nhận dòng xả tuabin và truyền nhiệt từ dòng này đến dòng chất lưu tuần hoàn  $CO_2$ ;

ít nhất một máy nén (620) nối thông với ít nhất một bộ trao đổi nhiệt (420) để nén dòng chất lưu tuần hoàn  $CO_2$ ; và

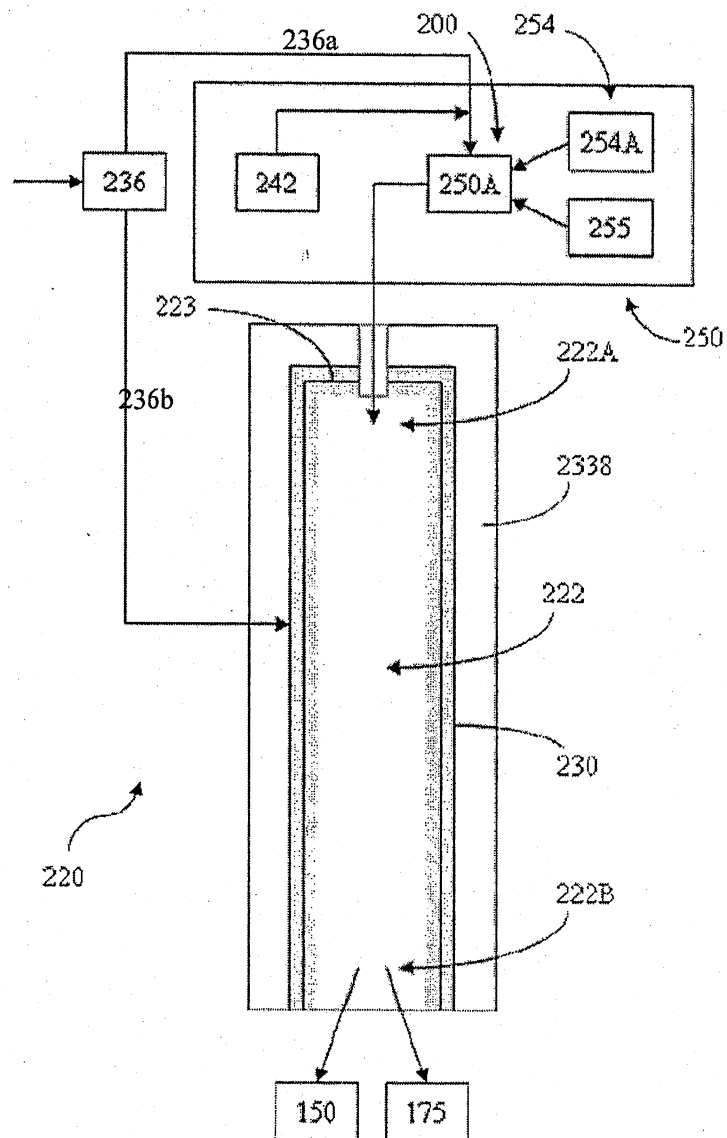
một hoặc nhiều bộ phận truyền nhiệt ngoài cụm trao đổi nhiệt sơ cấp (420) được làm thích ứng để truyền nhiệt bổ sung đến chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  nằm ở trước buồng đốt (220) và nằm ở sau ít nhất một máy nén (620).

2. Hệ thống phát điện theo điểm 1, trong đó hệ thống này còn bao gồm một hoặc nhiều cơ cấu tách (520) được định vị giữa cụm trao đổi nhiệt sơ cấp (420) và ít nhất một máy nén (620) để loại bỏ một hoặc nhiều thành phần thứ cấp hiện có mặt trong chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  ngoài  $CO_2$ .

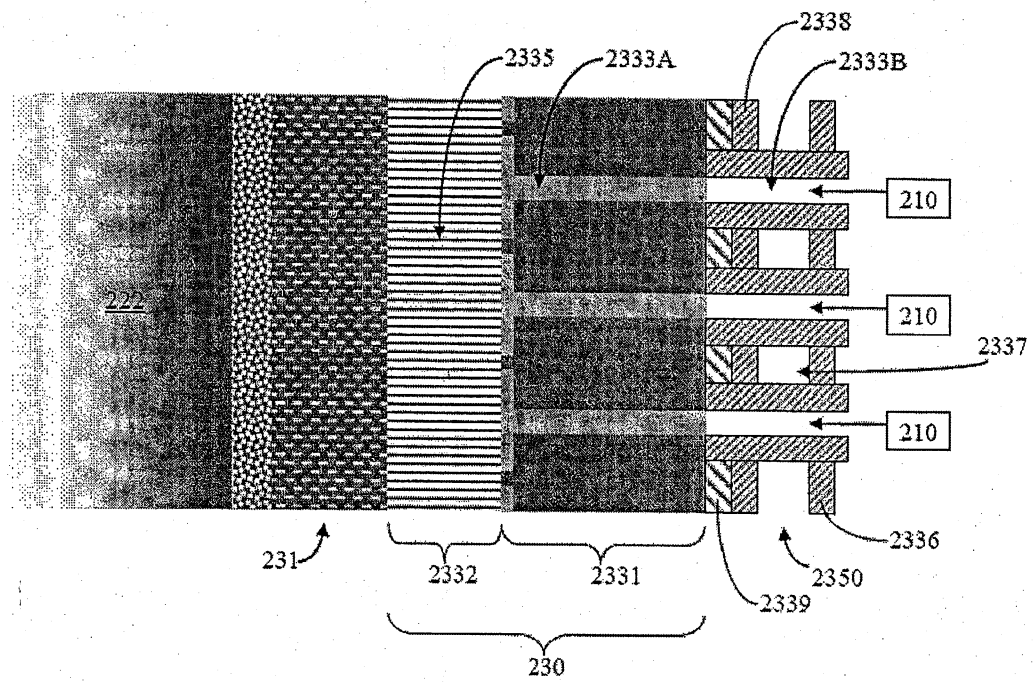
3. Hệ thống phát điện theo điểm 2, trong đó ít nhất một máy nén (620) là máy nén thứ nhất (630) được làm thích ứng để nén dòng chất lưu tuần hoàn  $CO_2$  đến áp suất cao hơn áp suất tối hạn của  $CO_2$ .

4. Hệ thống phát điện theo điểm 3, trong đó hệ thống này còn bao gồm cơ cấu làm nguội (640) được làm thích ứng để làm nguội dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> ra khỏi máy nén thứ nhất (630) đến nhiệt độ mà tỷ trọng dòng này lớn hơn khoảng 200kg/m<sup>3</sup>.
5. Hệ thống phát điện theo điểm 4, trong đó hệ thống này còn bao gồm máy nén thứ hai (650) được làm thích ứng để nén dòng chất lưu tuần hoàn CO<sub>2</sub> đã được làm nguội đến áp suất cần thiết để nạp được vào buồng đốt (220).
6. Hệ thống phát điện theo điểm 1, trong đó các bộ phận truyền nhiệt được gắn liền với cụm tách O<sub>2</sub> (520).
7. Hệ thống phát điện theo điểm 1, trong đó buồng đốt (220) là buồng đốt thứ nhất, và hệ thống này còn có buồng đốt thứ hai (930) nằm ở trước và nối thông với buồng đốt thứ nhất (220).
8. Hệ thống phát điện theo điểm 7, trong đó hệ thống này còn bao gồm một hoặc nhiều bộ lọc (940) hoặc các cơ cấu tách nằm ở giữa buồng đốt thứ hai (930) và buồng đốt thứ nhất (220).
9. Hệ thống phát điện theo điểm 7, trong đó hệ thống này còn bao gồm cơ cấu trộn để tạo ra chất quánh từ nguyên liệu dạng hạt với các môi trường làm hóa lỏng, và tùy ý bao gồm cơ cấu nghiền để nghiền nhiên liệu ở thể rắn thành hạt.
10. Hệ thống phát điện theo điểm 1, trong đó cụm trao đổi nhiệt sơ cấp (420) bao gồm ít nhất hai bộ trao đổi nhiệt, cụ thể trong đó cụm trao đổi nhiệt sơ cấp (420) là chuỗi gồm ít nhất ba bộ trao đổi nhiệt.
11. Hệ thống phát điện theo điểm 1, trong đó tuabin phát điện sơ cấp (320) là chuỗi gồm ít nhất hai tuabin (330, 340).

12. Hệ thống phát điện theo điểm 1, trong đó hệ thống này còn bao gồm cụm trao đổi nhiệt thứ cấp nằm ở giữa và nối thông với tuabin phát điện sơ cấp (320) và cụm trao đổi nhiệt sơ cấp (420).
13. Hệ thống phát điện theo điểm 12, trong đó hệ thống này còn bao gồm nồi hơi nối thông với cụm trao đổi nhiệt thứ cấp thông qua ít nhất một dòng hơi.
14. Hệ thống phát điện theo điểm 13, trong đó hệ thống này còn bao gồm tuabin phát điện thứ cấp (1200) có cửa nạp để tiếp nhận ít nhất một dòng hơi từ cụm trao đổi nhiệt thứ cấp.
15. Hệ thống phát điện theo điểm 1, trong đó nguồn nhiệt bổ sung là một hoặc nhiều trong số cụm tách không khí, nguồn cấp hơi, và khí xả nóng từ tuabin khí có chu trình hở

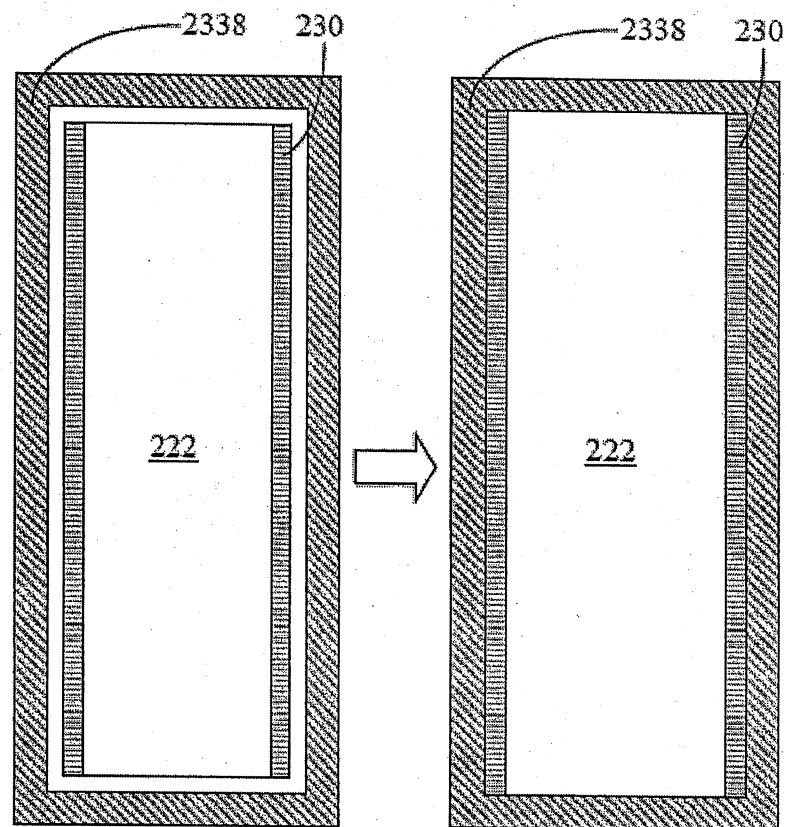


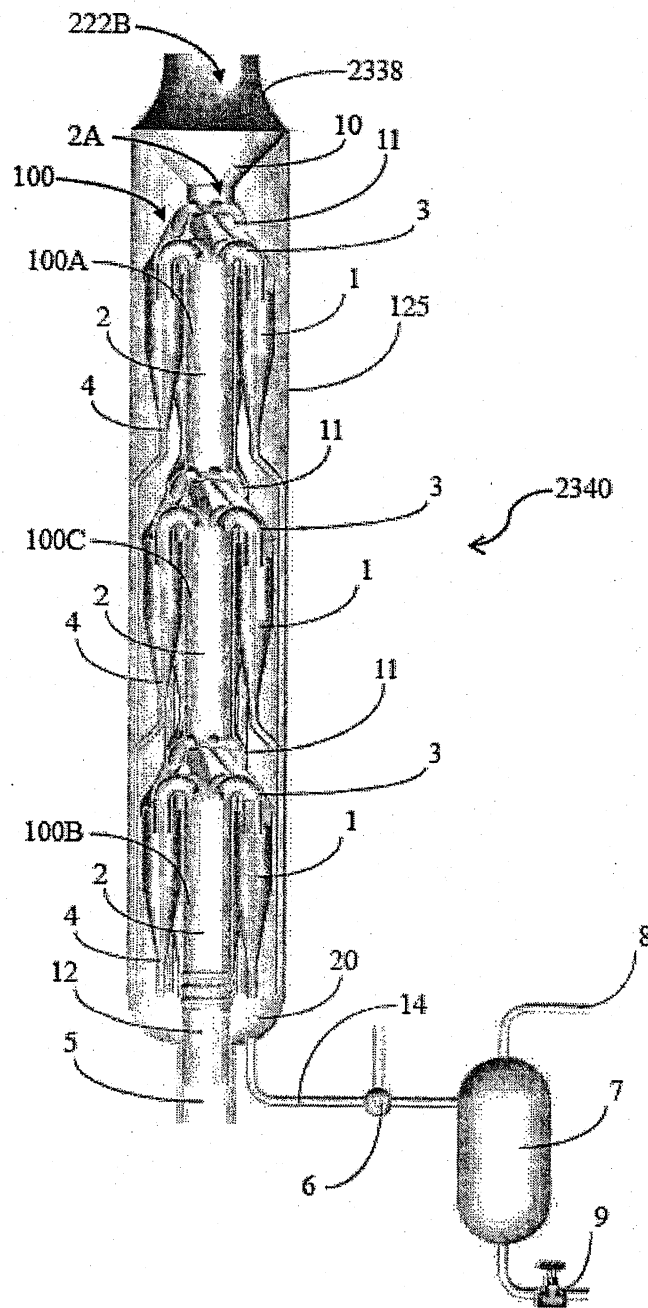
**FIG. 1**



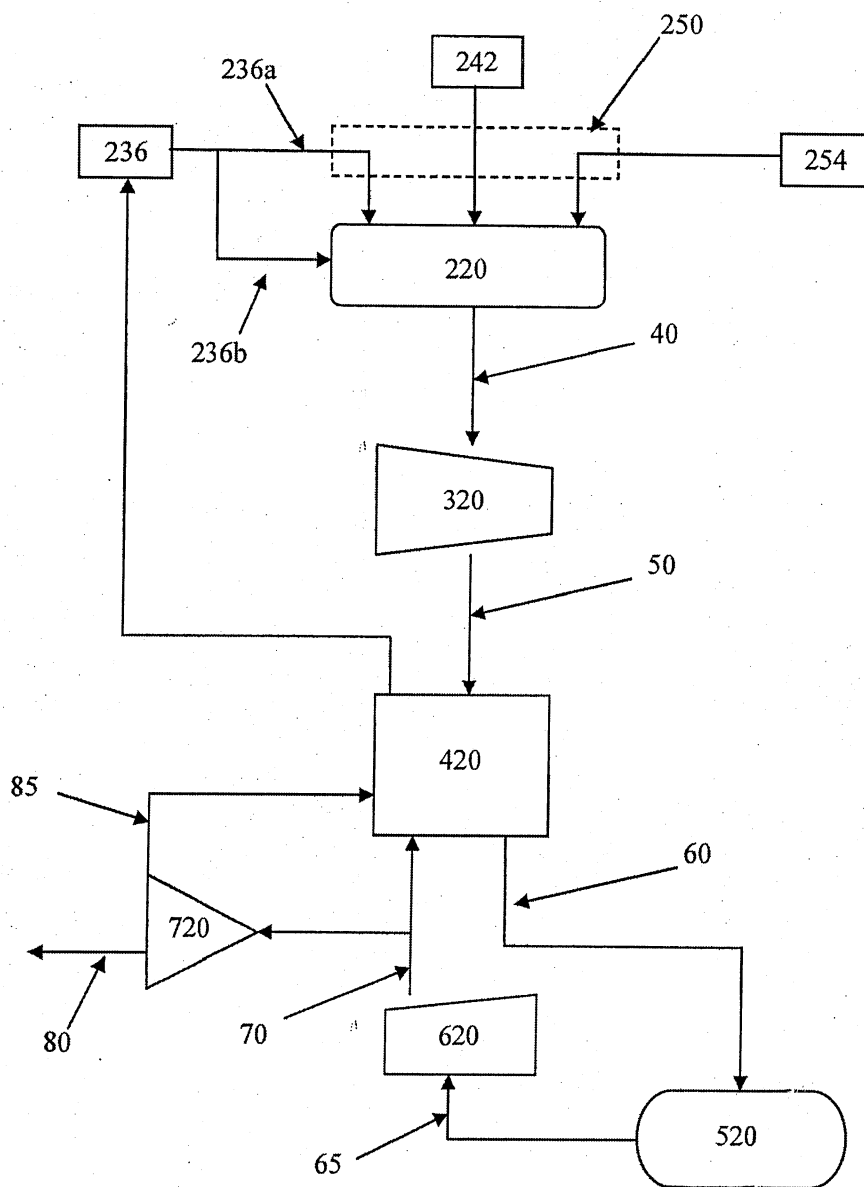
**FIG. 2**

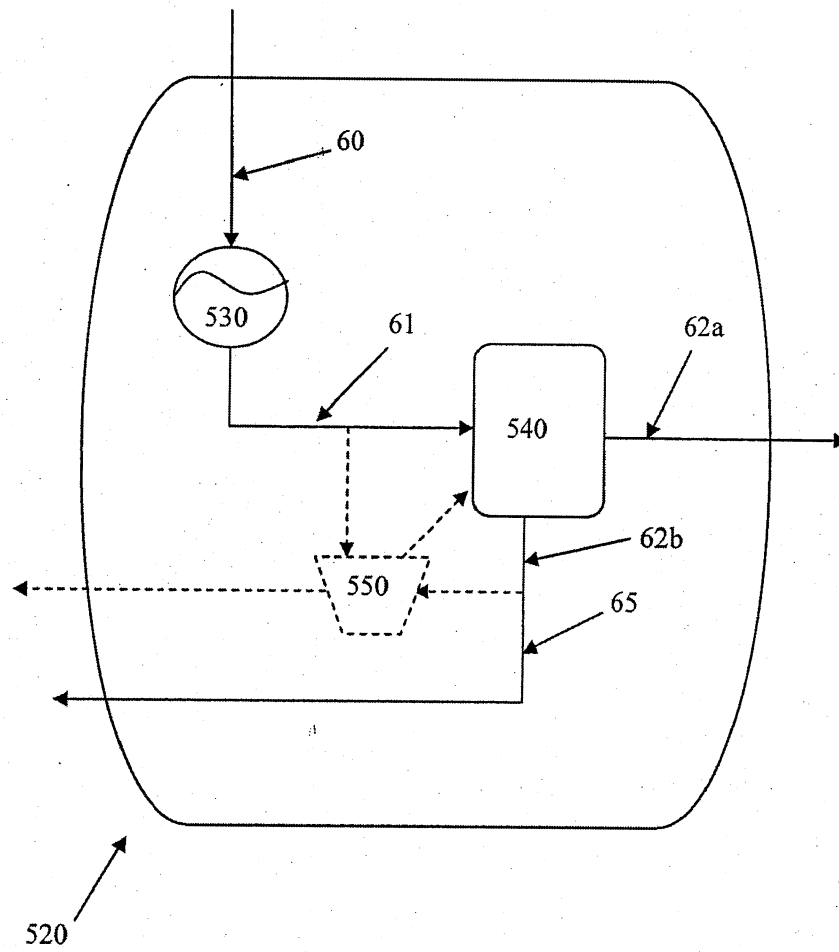


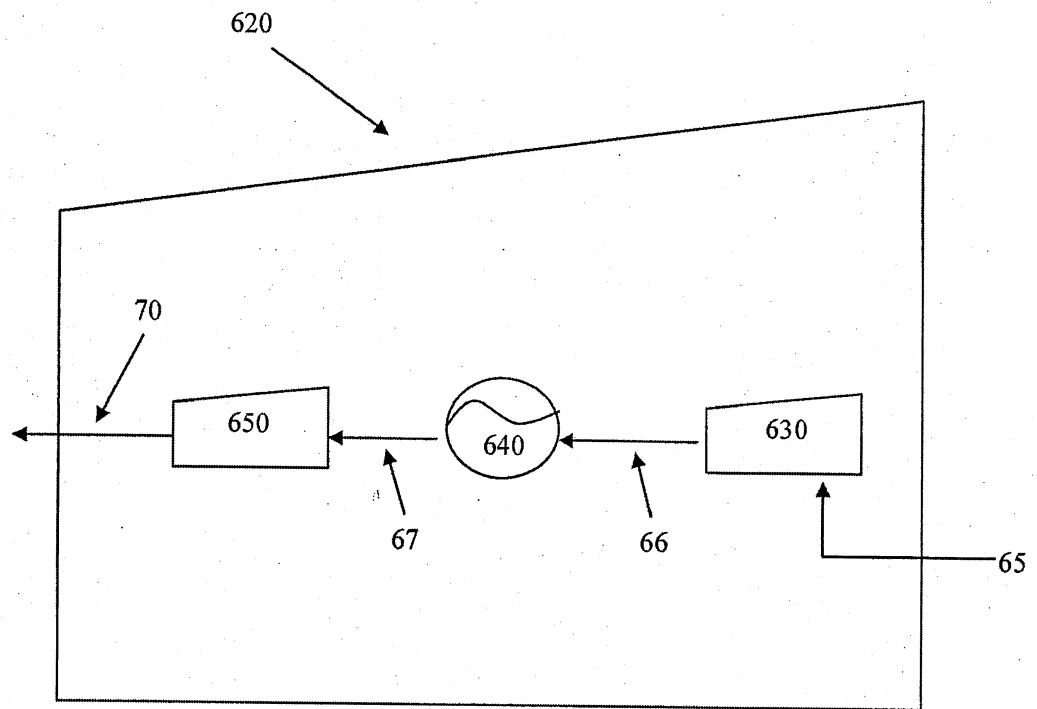
**FIG. 3A****FIG. 3B**



**FIG. 4**

**FIG. 5**

**FIG. 6**

**FIG. 7**

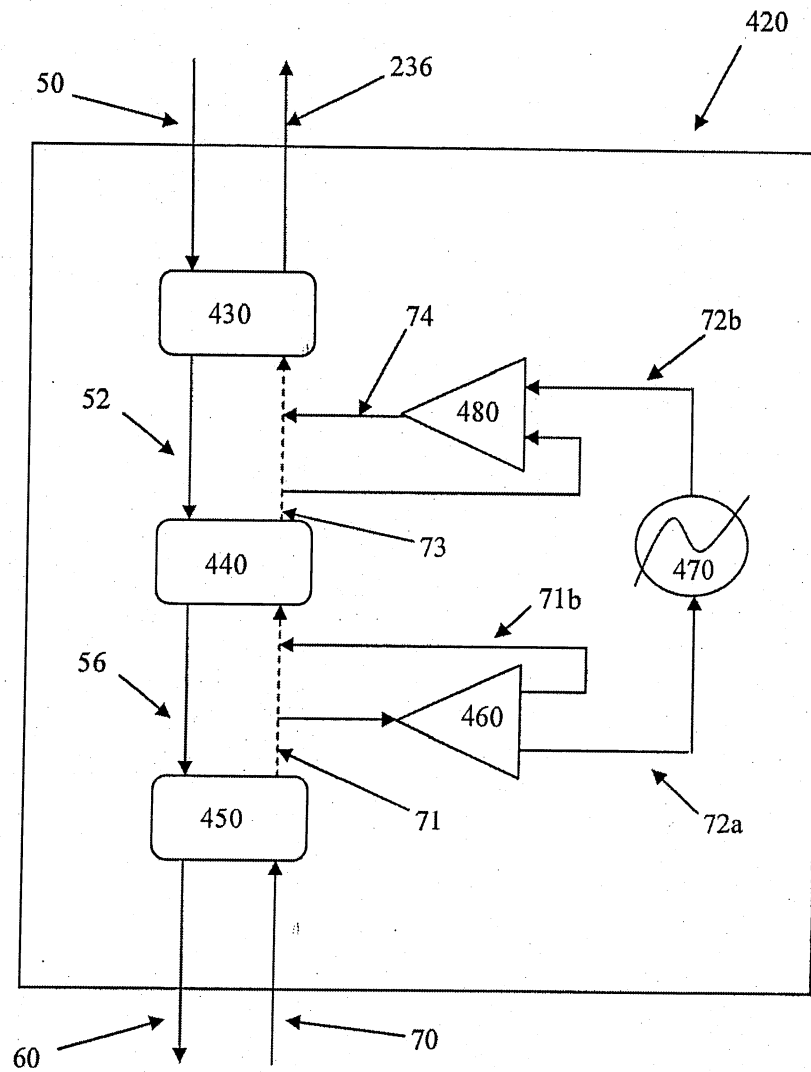
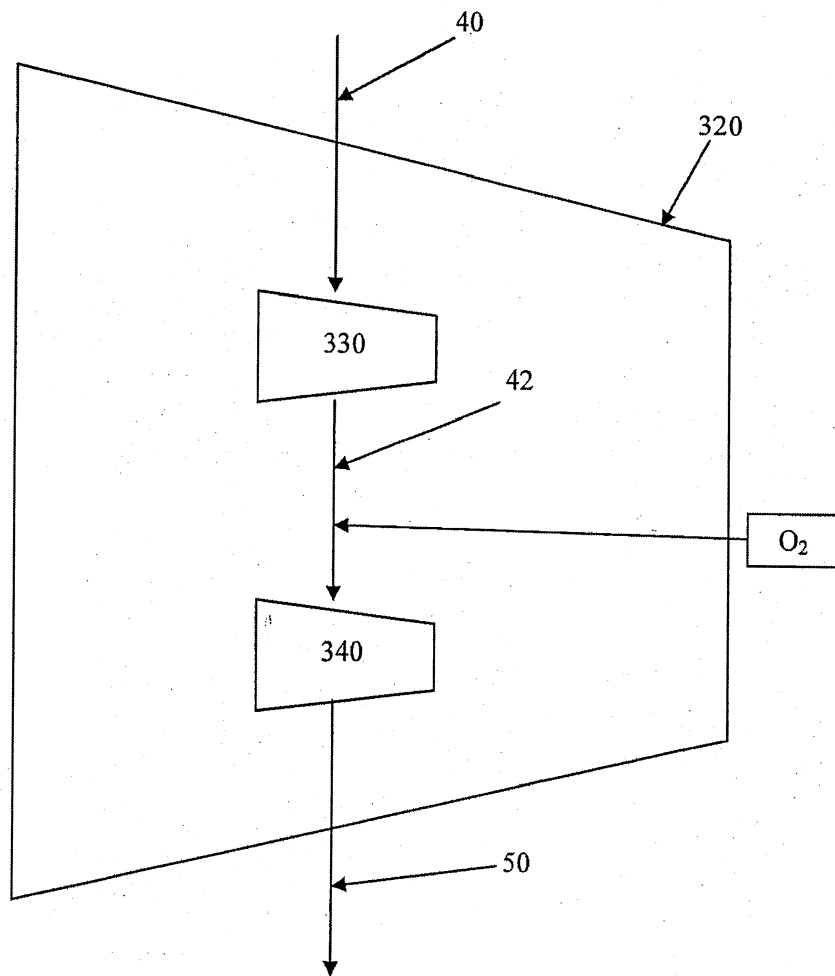


FIG. 8

**FIG. 9**

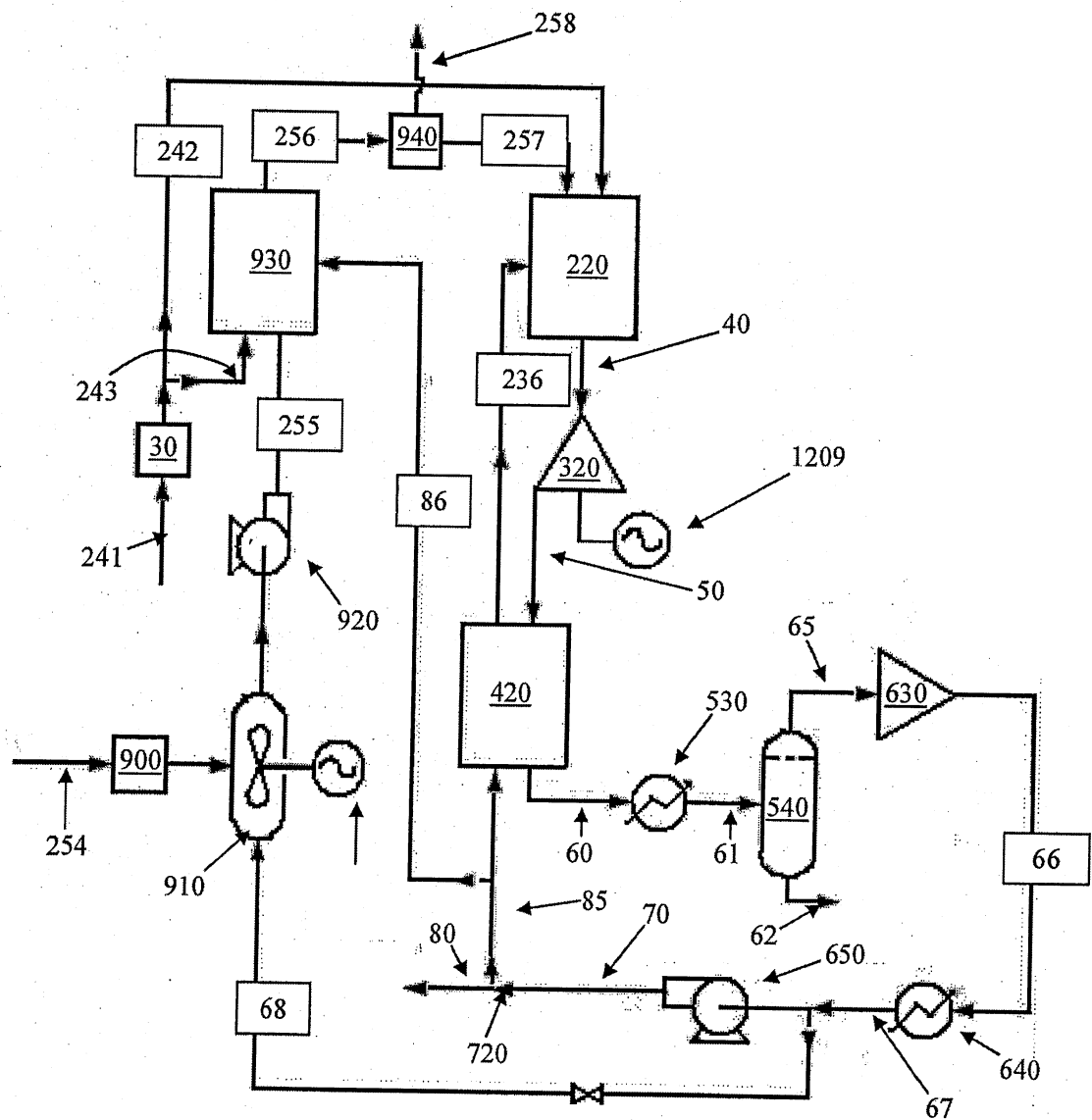


FIG. 10



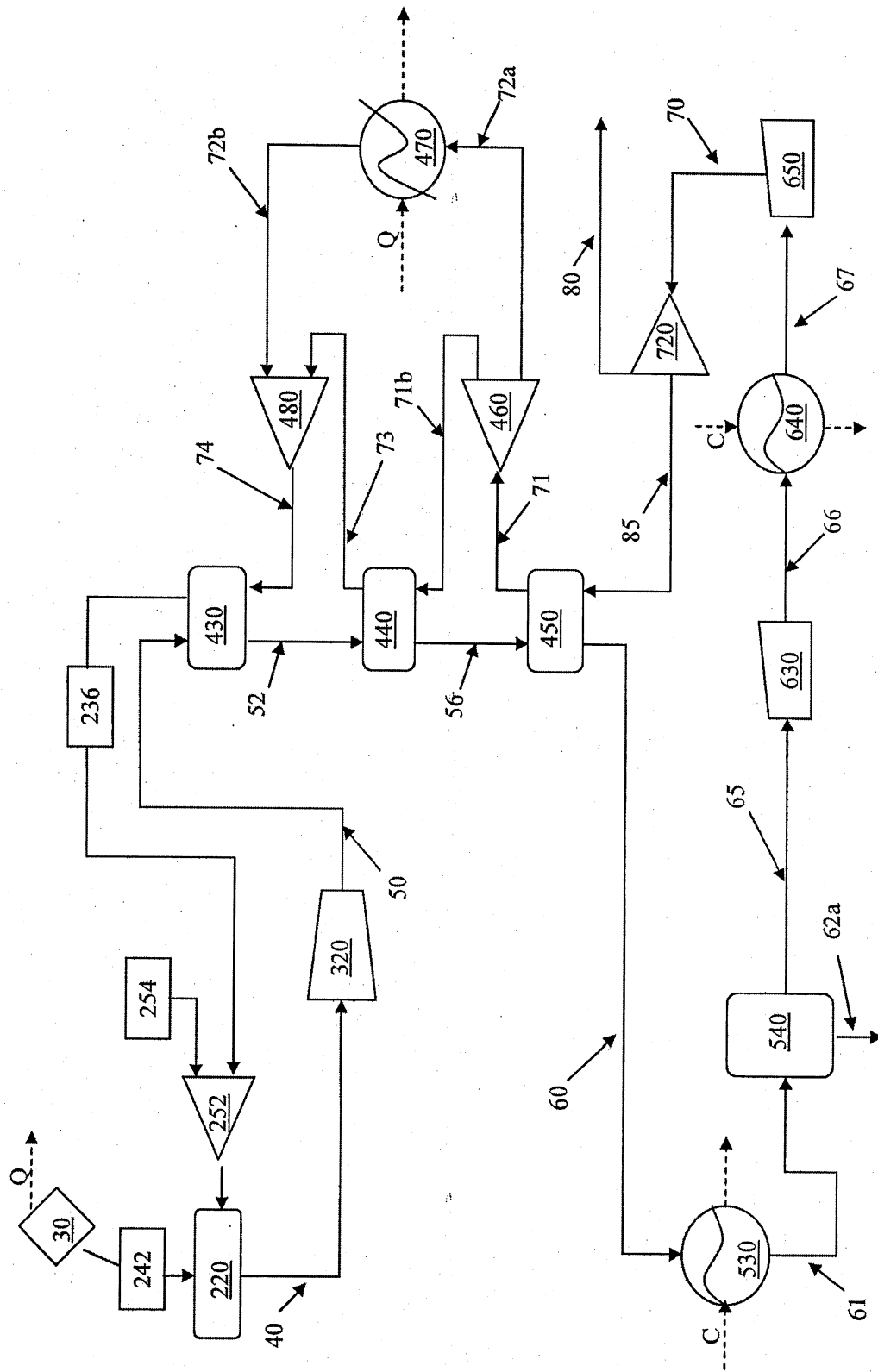


FIG. 11

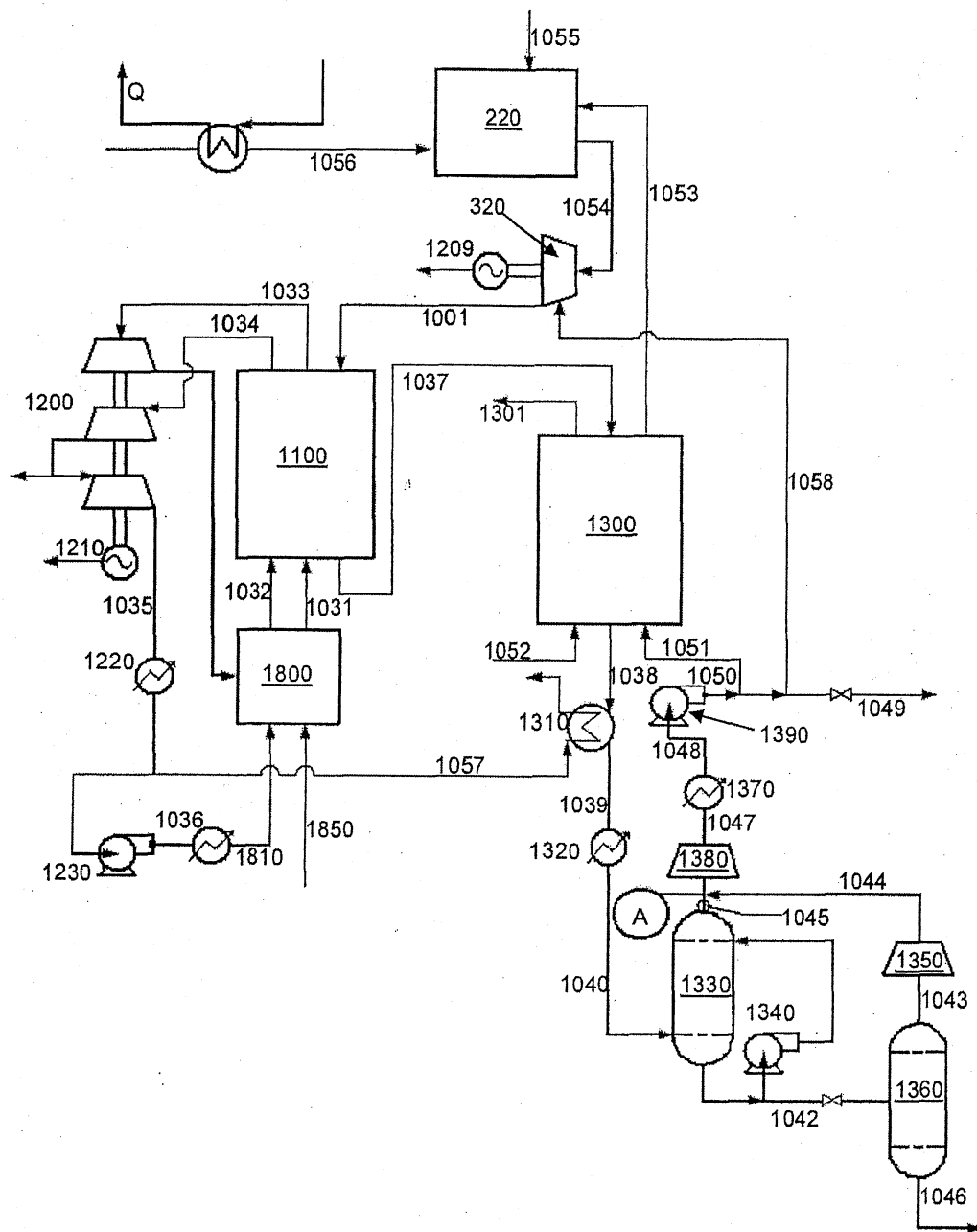


FIG. 12