



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

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

(11)



1-0031863

(51)⁷ F02C 3/34

(13) B

(21) 1-2017-00419

(22) 07/07/2015

(86) PCT/US2015/039373 07/07/2015

(87) WO2016/007509 14/01/2016

(30) 62/021,839 08/07/2014 US

(45) 25/05/2022 410

(43) 25/04/2017 349A

(73) 8 RIVERS CAPITAL, LLC (US)

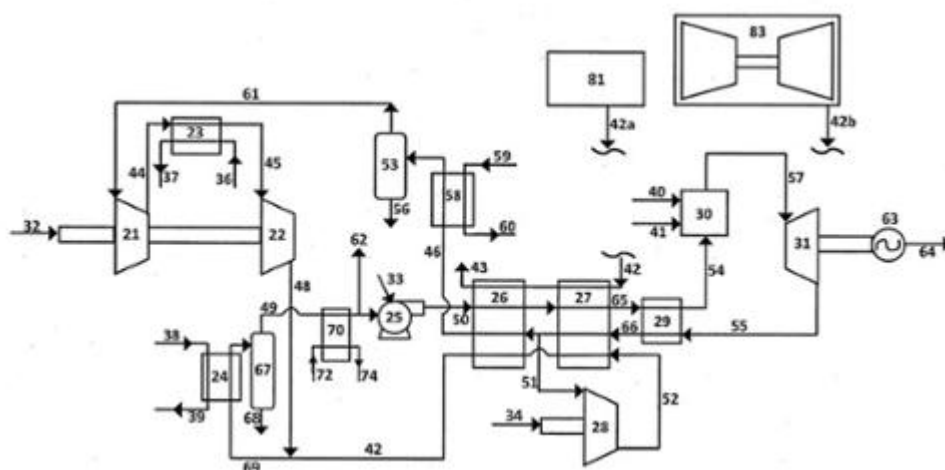
406 Blackwell Street, 4th Floor, Durham, North Carolina 27701, United States of America

(72) Rodney John ALLAM (GB); Brock Alan FORREST (US); Jeremy Eron FETVEDT (US).

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

(54) PHƯƠNG PHÁP LÀM NÓNG DÒNG KHÍ TÁI TUẦN HOÀN, PHƯƠNG PHÁP VÀ HỆ THỐNG PHÁT NĂNG LƯỢNG

(57) Sáng chế đề cập tới phương pháp làm nóng dòng khí tái tuần hoàn, hệ thống và phương pháp phát năng lượng bằng cách sử dụng chủ yếu CO₂ làm chất lưu công tác. Cụ thể hơn, sáng chế đề xuất việc sử dụng một phần của nhiệt của việc nén từ máy nén CO₂ làm nhiệt bổ sung cần thiết để tăng hiệu suất tổng thể của hệ thống và phương pháp phát năng lượng.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới hệ thống và phương pháp phát năng lượng, như điện năng, mà vận hành ở các hiệu suất mong muốn, các hiệu suất này đạt được thông qua việc làm nóng bổ sung ít nhất một phần dòng CO₂ tuần hoàn trong bộ trao đổi nhiệt bằng cách sử dụng nguồn nhiệt bổ sung. Cụ thể hơn, nhiệt từ nguồn bổ sung có thể có nguồn gốc ít nhất một phần từ việc nén ít nhất một phần dòng CO₂ tuần hoàn.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Thông thường, phương tiện thông thường để phát năng lượng từ việc đốt nhiên liệu không có khả năng để vừa phát được năng lượng hiệu quả cao vừa thu giữ cacbon (ví dụ, để càn hóa hoặc để sử dụng cho việc khác). Một công bố trong lĩnh vực phát năng lượng hiệu quả cao cùng với thu giữ cacbon là bằng sáng chế Mỹ số 8596075 cấp cho Allam và các đồng tác giả, đề xuất các hiệu suất mong muốn trong các hệ thống đốt chu trình khép kín bằng cách sử dụng CO₂ làm chất lưu công tác. Các hệ thống này đặc biệt có lợi từ sự hữu ích nhận thức được của việc làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi bằng cách sử dụng nhiệt từ sản phẩm xả tuabin nóng cũng như bổ sung thêm nhiệt từ nguồn khác với phần xả của tuabin. Bất chấp các ưu điểm này, vẫn có nhu cầu ngày càng tăng trong lĩnh vực kỹ thuật này về hệ thống và phương pháp phát năng lượng được cải thiện mà tạo ra hiệu quả cao với việc thu giữ CO₂ và các nhiên liệu khác và các tạp chất có nguồn gốc từ việc đốt.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống và phương pháp phát năng lượng có hiệu suất được cải thiện. Hệ thống và phương pháp có thể sử dụng CO₂ làm chất lưu công tác và có thể được tạo kết cấu để thu giữ CO₂ và các nhiên liệu khác và các tạp chất có nguồn gốc từ việc đốt. Các cải tiến của giải pháp do sáng chế đề xuất đã được nhận thức liên quan đến việc đưa bước làm nóng ở mức nhiệt độ thấp vào dòng CO₂ tuần hoàn trong hệ thống và phương pháp đốt nhiên liệu oxy ở áp suất cao mà cũng sử dụng bước làm nóng thu hồi của

dòng CO₂ tuần hoàn bằng nhiệt từ sản phẩm xả tuabin nóng. Bước làm nóng ở mức nhiệt độ thấp có thể được mô tả trong bản mô tả này bằng thuật ngữ “nhiệt bổ sung.” Như vậy, cần hiểu rằng việc bổ sung nhiệt là làm nóng ở mức nhiệt độ thấp từ nguồn khác với sản phẩm xả tuabin nóng. Nói cách khác, việc bổ sung nhiệt không phải là nhiệt được thu hồi từ sản phẩm xả tuabin nóng. Cụ thể hơn, sáng chế đề xuất phương tiện để nhận và truyền việc bổ sung nhiệt trong hệ thống và phương pháp đốt nhiên liệu oxy theo chu trình khép kín hoặc chu trình khép kín một phần mà tạo ra công suất phát năng lượng mà vượt quá nhiệt dung của nhiệt chỉ từ năng lượng và do đó tạo ra sự tăng có lợi về mặt hiệu suất.

Theo một số phương án, sáng chế đề cập tới hệ thống và phương pháp phát năng lượng, như điện năng, mà vận hành ở các hiệu suất mong muốn, các hiệu suất này đạt được qua việc đốt nhiên liệu (ví dụ, nhiên liệu cacbon hoặc nhiên liệu chứa cacbon) trong oxy ở áp suất cao với sự có mặt của dòng CO₂ tuần hoàn được tiếp nối bởi sự giãn nở của khí thành phẩm qua tuabin phát năng lượng và làm mát phần xả của tuabin trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi, mà làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn đã nén trước đó. Hiệu suất được cải thiện của việc phát năng lượng có thể nhận được nhờ việc làm nóng bổ sung ít nhất một phần dòng CO₂ tuần hoàn trong bộ trao đổi nhiệt bằng cách sử dụng nhiệt bổ sung, ví dụ, nhiệt này có thể là nhiệt có nguồn gốc ít nhất một phần từ việc nén ít nhất một phần dòng CO₂ tuần hoàn.

Theo các phương án khác nhau, việc phát năng lượng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng hệ thống kiểu chu trình khép kín hoặc chu trình khép kín một phần trong đó CO₂ được sử dụng như chất lưu công tác. Trong các hệ thống này, nhiên liệu hóa thạch (ví dụ, khí tự nhiên) hoặc nhiên liệu có nguồn gốc từ nhiên liệu hóa thạch (ví dụ, khí tổng hợp có nguồn gốc từ than hoặc nhiên liệu chứa cacbon rắn khác) được đốt hoàn toàn trong lò đốt bằng cách sử dụng oxy gần như nguyên chất làm chất oxy hóa để đem lại dòng oxy hóa về cơ bản chứa CO₂, H₂O, O₂ dư, và lượng tạp chất có nguồn gốc từ các thành phần được oxy hóa trong nhiên liệu hoặc chất oxy hóa, như SO₂, NO_x, Hg, và HCl. Các nhiên liệu hóa thạch rắn, như than, than non, hoặc cốc dầu mỏ, mà chứa tro không đốt được có thể được chuyển đổi thành nhiên liệu dạng khí bằng cách oxy hóa một phần trong hệ thống một giai đoạn hoặc hệ thống nhiều giai đoạn. Ví dụ, hệ thống này có thể bao gồm lò phản ứng oxy hóa một phần. Theo cách lựa chọn khác, ví dụ, hệ thống này có thể bao gồm lò phản ứng oxy hóa một phần và hệ thống loại bỏ thành phần vô cơ bay hơi và tro. Các hệ thống này còn bao gồm việc đốt khí nhiên liệu với oxy trong lò đốt của hệ thống phát năng lượng. Dòng CO₂

tuần hoàn được làm nóng trước được trộn trong lò đốt với các sản phẩm đốt có nguồn gốc từ việc đốt khí nhiên liệu. Lò đốt bất kỳ được làm thích ứng để hoạt động trong các điều kiện khác với các điều kiện được mô tả trong bản mô tả này có thể được sử dụng, và dòng CO₂ tuần hoàn có thể được nạp vào lò đốt nhờ phương tiện bất kỳ cần được làm nóng hơn nữa nhờ việc đốt và, nếu muốn, sẽ được tôi và nhờ đó điều khiển nhiệt độ của dòng ra. Theo một số phương án, một trong số hoặc cả hai lò phản ứng POX và lò đốt có thể sử dụng, chỉ nhằm mục đích làm ví dụ, các thành làm mát bằng cách bay hơi bao quanh không gian phản ứng hoặc không gian đốt, và dòng CO₂ tuần hoàn được làm nóng trước có thể đi qua thành này để cả làm mát lẫn tôi thành này và nhờ đó điều khiển nhiệt độ của dòng ra. Dòng bay hơi thúc đẩy việc trộn đều giữa dòng CO₂ tuần hoàn và dòng khí nhiên liệu đốt nóng. Tuy nhiên, các loại lò đốt khác cũng có thể được sử dụng, và sáng chế không bị giới hạn ở việc sử dụng các lò đốt làm mát bằng cách bay hơi. Mặc dù các loại nhiên liệu nhất định đã được minh họa trên đây, cần hiểu rằng các nhiên liệu khác (ví dụ, hydro) có thể được sử dụng trong lò đốt. Tương tự, các ưu điểm xuất phát từ việc sử dụng nhiệt bổ sung có thể được ứng dụng cho các hệ thống sử dụng việc làm nóng không đốt một phần hoặc toàn bộ. Ví dụ, sử dụng các hệ thống năng lượng mặt trời như được mô tả trong công bố bằng sáng chế Mỹ số 2013/0118145, mà nội dung của nó được đưa vào bản mô tả này bằng cách viện dẫn, cũng được bao hàm trong phạm vi được xác định bởi sáng chế.

Các sản phẩm đốt và CO₂ tuần hoàn được làm nóng trước kết hợp ra khỏi lò đốt có nhiệt độ cần thiết để nạp vào tuabin phát năng lượng. Chu trình phát năng lượng bằng CO₂ có thể sử dụng tỷ số áp suất qua tuabin nằm trong khoảng từ 5 đến 12 theo một số phương án, mặc dù các tỷ số áp suất lớn hơn (ví dụ ít nhất là 20) có thể được sử dụng trong các phương án khác, như khi bằng cách sử dụng nhiều tuabin giãn nở, áp suất nạp tuabin nằm trong khoảng từ 100 bar (10 MPa) đến 500 bar (50 MPa) có thể được sử dụng theo một số phương án. Oxy cấp vào lò đốt có thể là O₂ gần như nguyên chất hoặc O₂ được pha loãng với CO₂. Theo một số phương án, việc trộn O₂ và CO₂ có thể là hữu ích để điều khiển nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt của phản ứng đốt. Như ví dụ không mang tính giới hạn, nồng độ mol của O₂ trong dòng O₂/CO₂ kết hợp có thể nằm trong khoảng từ 10% đến 50%, nằm trong khoảng 15% đến 40%, hoặc nằm trong khoảng từ 20% đến 30%. Sản phẩm xả tuabin nóng có thể được làm mát trong bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm, mà đến lượt mình làm nóng trước dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao.

Hoạt động hiệu quả của hệ thống chủ yếu phụ thuộc vào việc tối ưu hóa quá trình trao đổi nhiệt. Để đạt được hiệu quả cao, lượng nhiệt bổ sung lớn có thể được bổ sung vào trong dòng tái tuần hoàn áp suất cao ở đầu mát của bộ trao đổi nhiệt, như ở mức nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C. Theo một số phương án, việc làm nóng ở mức nhiệt độ thấp này có thể có nguồn gốc từ các máy nén khí của thiết bị sản xuất oxy ở nhiệt độ rất thấp, các máy nén này có thể được vận hành hoàn toàn hoặc một phần có các vùng áp suất của chúng ở chế độ đoạn nhiệt áp suất tỷ số cao khiến cho nhiệt độ không khí nén được nâng lên ở giai đoạn xả đến điểm nhiệt độ ở trong khoảng 100°C đến 400°C và khiến cho việc truyền nhiệt từ dòng không khí nén đến dòng xử lý CO₂ tuần hoàn đã nén có thể được hoàn thành một cách dễ dàng. Ví dụ, luồng dòng phụ có được từ dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao trong bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm có thể được làm nóng ngược với việc làm mát không khí nén đến nhiệt độ cần thiết nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C. Hệ thống và phương pháp để such đốt nhiên liệu oxy, tạo nhiệt mức độ thấp, và truyền nhiệt mức độ thấp đã được mô tả trong bằng sáng chế Mỹ số 8 596 075, bằng sáng chế Mỹ số 8 776 532, bằng sáng chế Mỹ số 8 986 002, bằng sáng chế Mỹ số 9 068 743, công bố bằng sáng chế Mỹ số 2010/0300063, công bố bằng sáng chế Mỹ số 2012/0067054, công bố bằng sáng chế Mỹ số 2012/0237881, và công bố bằng sáng chế Mỹ số 2013/0104525, toàn bộ nội dung của các công bố này được đưa vào bản mô tả này bằng cách viện dẫn.

Sáng chế còn đề xuất phương tiện để nạp nhiệt vào trong dòng CO₂ tuần hoàn áp suất cao ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C và do đó tăng tính hiệu quả của bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm và tăng hiệu suất tổng thể của hệ thống phát và phương pháp năng lượng kết hợp phương tiện truyền nhiệt do sáng chế đề xuất. Cụ thể hơn, sáng chế đề xuất việc sử dụng một phần của nhiệt của việc nén từ máy nén CO₂ tuần hoàn như nhiệt bổ sung cần thiết để tăng hiệu suất tổng thể của hệ thống phát và phương pháp năng lượng.

Các giải pháp đã biết đã được thực hiện để tối ưu hóa hiệu quả của chu trình phát năng lượng bằng cách sử dụng CO₂ áp suất cao làm chất lưu công tác. Ví dụ, Bryant và các đồng tác giả (bài trình bày “An Analysis and Comparison of simple and Recompression Supercritical CO₂ Cycles” tháng 5 năm 2011 tại hội thảo chu trình CO₂ siêu tới hạn tổ chức tại Boulder, Colorado), mà nội dung của nó được đưa vào bản mô tả này bằng cách viện dẫn, đã mô tả các chu trình Brayton để phát năng lượng bằng cách sử dụng bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi có CO₂ làm chất lưu công tác. Tài liệu này xác định các hiệu suất của hai chu

trình về các thông số hoạt động và thể hiện các điều kiện mà ở đó chu trình thứ hai đem lại hiệu suất cao hơn so với chu trình đơn giản thứ nhất.

Chu trình đơn giản thứ nhất theo Bryant và các đồng tác giả được thể hiện trên FIG.1. Trên hình vẽ này, CO₂ nóng trong đường ống 7 mà đã được nén trong máy nén 1 loại không làm mát trung gian, gần đoạn nhiệt tiếp tục được làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 4. Sau đó, CO₂ nóng đi qua đường ống 8 đến bộ phận làm nóng 3 nơi mà nó được làm nóng hoặc một cách trực tiếp bằng cách đốt nhiên liệu 14 với oxy 13, hoặc bằng một số phương tiện làm nóng bên ngoài. Sau đó, CO₂ được làm nóng hơn nữa đi qua đường ống 9 vào trong tuabin phát năng lượng 2 nơi mà nó được giãn nở đến áp suất thấp hơn tạo ra công trên trục (được minh họa bằng mũi tên 15). Dòng xả tuabin 10 đi vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 4 nơi mà nó làm mát bằng cách xả nhiệt vào dòng tái tuần hoàn áp suất cao. Sau đó, phần xả của tuabin được làm mát trong bộ làm mát trước 5 nơi mà nhiệt được loại vào dòng làm mát 11 mà đi ra qua đường ống 12 trước khi kết thúc bằng cách lại đi vào máy nén 1 trong đường ống 6.

Chu trình thứ hai theo Bryant được thể hiện trên FIG.2, là tương tự với chu trình được thể hiện trên FIG.1 ngoại trừ việc bổ sung giai đoạn nén thứ hai 16 trong đó phần của dòng xả tua bin có áp suất thấp 17 ra khỏi mạch trả về có áp suất thấp ở đầu ra từ bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 4a trước bộ làm mát trước 5 được nén ở điều kiện nóng của nó trong máy nén 16 ra khỏi qua đường ống 18. Dòng này đi vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 4b sau khi trộn với dòng tuần hoàn áp suất cao chính ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 4a ở nhiệt độ tương ứng của nó và được làm nóng trong đoạn bộ trao đổi nhiệt 4b ngược với dòng xả tuabin nóng 10. Hiệu ứng của việc nén bổ sung là để thổi lượng nhiệt lớn vào trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi từ máy nén thứ hai mà được xem như dòng nạp của nó là dòng CO₂ có nhiệt độ tăng cao mà lớn hơn nhiệt độ nạp của máy nén CO₂ chính.

Giải pháp của Bryant và các đồng tác giả có nhược điểm là việc nạp nhiệt bỏ qua giai đoạn thứ nhất của bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 4a. Nhiệt dung riêng lớn hơn nhiều của dòng CO₂ áp suất cao mà được làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt 4a so với dòng xả tua bin có áp suất thấp làm mát trong bộ trao đổi nhiệt 4a có nghĩa là việc truyền nhiệt trong bộ trao đổi nhiệt 4a vào trong dòng áp suất cao phải được tối ưu hóa để đạt được tiệm cận nhiệt độ kín. Điều này không đạt được do dòng CO₂ nén đã được làm nóng bỏ qua bộ trao đổi nhiệt 4a. Điều cần thiết đối với hiệu suất lớn nhất là để sắp xếp hệ thống nén khí nóng trong đó CO₂ đã nén làm mát đi trong bộ trao đổi nhiệt và tăng việc truyền nhiệt sẵn có vào dòng

CO₂ áp suất cao. Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất phương tiện để khắc phục nhược điểm này.

Mặc dù các chu trình theo Bryant và các đồng tác giả được minh họa trên FIG.1 và FIG.2 thể hiện các giải pháp kỹ thuật đã biết để nén CO₂ nóng, các chu trình này chỉ thích hợp để sử dụng trong theo các bố trí chu trình Brayton đơn giản mà sử dụng máy nén CO₂ chính mà không có thiết bị làm mát trung gian dành cho nhiệt độ xả cao. Đến lượt mình, điều này làm cho dòng xả tuabin làm mát ra khỏi bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi 4a cũng có nhiệt độ cao nên nhiệt được loại ra trong bộ trao đổi nhiệt kiểu làm mát trước cũng cao. Do đó, rõ ràng rằng các hiệu suất tối ưu chỉ có thể đạt được ở các tỷ số áp suất thấp trong chu trình nén nóng này mà được thể hiện nằm trong khoảng từ 2 đến 4 với các áp suất nạp của máy nén chính tối ưu gần với áp suất tới hạn của CO₂. Các tỷ số áp suất càng cao dẫn đến các thất thoát nhiệt dư trong hệ thống. Các chu trình do Bryant và các đồng tác giả đề xuất được thể hiện trên FIG.1 và FIG.2 cũng không xem xét đến các chi tiết của hệ thống như sự có mặt của việc tách nước ở thể lỏng trong các đường nạp máy nén 6 sau khi làm mát trong bộ trao đổi nhiệt 5 đối với phương tiện làm mát đến nhiệt độ môi trường xung quanh.

Chu trình do Bryant và các đồng tác giả đề xuất trên FIG.2 còn có các nhược điểm khác. Ví dụ, hiệu quả của chu trình do Bryant và các đồng tác giả đề xuất giảm một cách đáng kể do tỷ số áp suất bị tăng lên do máy nén chính và máy nén lại vận hành gần như ở đoạn nhiệt mà không có các thiết bị làm mát trung gian giữa các giai đoạn. Các nghiên cứu do Bryant và các đồng tác giả báo cáo đã thể hiện rằng tỷ số áp suất tối ưu đối với nhiệt độ nạp tuabin ở 750°C là 2,2 ở áp suất nạp tuabin 100 bar (10 MPa) và là 3,3 ở áp suất nạp tuabin 250 bar (25 MPa). Các tỷ số áp suất thấp đòi hỏi tốc độ dòng CO₂ rất cao trong hệ thống để phát ra năng lượng đã định dẫn đến các chi phí đầu tư cao. Trái lại, sáng chế đề xuất các chu trình có tỷ số áp suất cao và áp suất nạp tuabin cao dẫn đến hiệu quả cao và chi phí đầu tư thấp.

Hệ thống và phương pháp hữu ích theo sáng chế có thể sử dụng các tỷ số áp suất vào khoảng 5 hoặc lớn hơn, như nằm trong khoảng từ 5 đến 30. Theo một số phương án, tốt hơn là các tỷ số áp suất có thể nằm trong khoảng từ 5 đến 12. Hệ thống và phương pháp do sáng chế đề xuất cũng có thể sử dụng các hệ thống nén tuần hoàn CO₂ chính kiểu làm mát trung gian. Tỷ số áp suất cao tạo thuận lợi cho áp suất nạp tuabin cao hơn áp suất tới hạn CO₂ là 7,38 MPa và áp suất xả tuabin thấp hơn áp suất này. Các tỷ số áp suất cao này đem lại các hiệu quả cao nằm trong khoảng từ 50% đến 60% đối với các hệ thống được cấp nhiên liệu

bằng khí tự nhiên có tốc độ tuần hoàn thấp hơn đáng kể của CO₂ trên kW của công suất đầu ra thực. Tốt hơn, nếu hệ thống và phương pháp hữu ích theo sáng chế cũng sử dụng lượng nạp nhiệt bổ sung rất đáng kể ở mức nhiệt độ, ví dụ, lớn hơn 100°C, và cụ thể hơn nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C hoặc nằm trong khoảng từ 100°C đến 300°C. Sáng chế đề xuất hệ thống và phương pháp đặc biệt có lợi do đề xuất việc sử dụng một phần của nhiệt của việc nén từ máy nén CO₂ tuần hoàn chính làm nhiệt bổ sung này.

Theo một số phương án, sáng chế đề xuất phương pháp phát năng lượng. Ví dụ, phương pháp có thể bao gồm các tổ hợp khác nhau của các bước sau: đưa dòng CO₂ tuần hoàn được làm nóng, đã nén vào trong lò đốt; đốt nhiên liệu với oxy trong lò đốt với sự có mặt của dòng CO₂ tuần hoàn để tạo ra dòng chứa CO₂; đưa dòng chứa CO₂ đi qua tuabin để giãn nở dòng chứa CO₂, tạo ra năng lượng, và tạo ra dòng xả tuabin chứa CO₂; rút nhiệt ra khỏi dòng xả tuabin chứa CO₂; chia dòng xả tuabin đã làm mát để tạo ra phần xả tuabin thứ nhất và phần xả tuabin thứ hai; tách nước ra khỏi phần xả tuabin thứ nhất để tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn chính; nén dòng CO₂ tuần hoàn chính; nén phần xả tuabin thứ hai theo cách đoạn nhiệt mà không làm mát trung gian giữa các giai đoạn của máy nén để tạo ra phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng; rút nhiệt ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng; tách nước ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén, đã làm mát để tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp; kết hợp dòng CO₂ tuần hoàn chính và dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp để tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn tổng; làm mát dòng CO₂ tuần hoàn tổng để tạo ra dòng CO₂ mật độ cao; nén dòng CO₂ tuần hoàn tổng trong giai đoạn nén thứ hai bằng cách sử dụng bơm chất lưu; làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn tổng bằng nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin; và tiếp tục làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn tổng bằng nhiệt được rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng để tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn được làm nóng, đã nén. Theo một số phương án, hai dòng CO₂ đã nén mà sau khi rút nhiệt ra khỏi dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp có thể được kết hợp, sau đó dòng kết hợp có thể được làm mát mà tiếp nối bởi việc tách nước ở thể lỏng. Theo một số phương án, dòng xả tuabin thứ hai có thể được nén trong nhiều giai đoạn có truyền nhiệt giữa một hoặc nhiều giai đoạn. Ví dụ, dòng xả tuabin thứ hai có thể trải qua bước nén nhiều giai đoạn kể cả các giai đoạn nén không làm mát (x) và các giai đoạn nén làm mát trung gian (y), trong đó x và y độc lập có thể là số nguyên bằng 1 hoặc lớn hơn, bằng 2 hoặc lớn hơn, hoặc 3 hoặc lớn hơn (ví dụ, nằm trong khoảng từ 1 đến 5 hoặc nằm trong khoảng từ 2 đến 4). Theo một số phương án, dòng xả tuabin thứ hai có thể được tạo áp (và được làm nóng) trong x giai đoạn nén không làm mát đến trị số trung gian,

khí tăng áp có thể được sử dụng để cấp nhiệt của việc nén vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi sao cho khí này được làm mát, khí mát này có thể được khử nước, và khí có thể được đưa về để trải qua y giai đoạn nén làm mát trung gian trước khi kết nối với dòng xả tuabin thứ nhất.

Theo các phương án tiếp theo, sáng chế đề xuất hệ thống phát năng lượng. Ví dụ, hệ thống có thể bao gồm: lò đốt; tuabin phát năng lượng; một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt; đường dòng làm mát thứ nhất qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt; đường dòng làm nóng qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt; bộ tách dòng nối thông với đường dòng làm mát thứ nhất qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt; máy nén thứ nhất nối thông với bộ tách dòng; đường dẫn dòng làm mát thứ hai qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt, đường dẫn dòng làm mát thứ hai được nối thông với máy nén; một hoặc nhiều bộ tách nước; máy nén thứ hai; và bơm. Cụ thể hơn, đường dòng làm nóng qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt nằm phía sau so với bơm và nằm phía trước so với lò đốt; và đường dòng làm nóng qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt nằm theo cách bố trí làm nóng với đường dòng làm mát thứ nhất và đường dẫn dòng làm mát thứ hai qua một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt. Theo một số phương án, đường dòng làm mát thứ nhất và đường dẫn dòng làm mát thứ hai có thể được tạo ra theo cách tách biệt và không phụ thuộc vào các bộ phận tách nước và/hoặc các bộ phận bơm. Khi hai hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt được sử dụng, các bộ trao đổi nhiệt có thể được lắp nối tiếp.

Theo một số phương án, sáng chế còn đề xuất phương pháp làm nóng dòng khí tái tuần hoàn. Ví dụ, phương pháp này có thể bao gồm các bước sau: đưa dòng khí G ở áp suất P_1 và nhiệt độ T_1 đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi khiến cho dòng khí được làm mát đến nhiệt độ T_2 mà thấp hơn so với T_1 ; tách dòng khí G thành phân đoạn thứ nhất G_1 và phân đoạn thứ hai G_2 ; nén phân đoạn dòng khí G_1 đến áp suất P_2 lớn hơn P_1 ; nén phân đoạn dòng khí G_2 đến áp suất P_3 lớn hơn P_1 để làm nóng phân đoạn dòng khí G_2 đến nhiệt độ T_3 mà lớn hơn T_2 ; rút nhiệt ra khỏi phân đoạn dòng khí nén G_2 ; kết hợp phân đoạn dòng khí G_1 và phân đoạn dòng khí G_2 để tạo ra dòng khí tái tuần hoàn kết hợp G_c ; bơm dòng khí tái tuần hoàn G_c đến áp suất P_4 lớn hơn P_2 và lớn hơn P_3 ; và đưa dòng khí tái tuần hoàn G_c đến bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi khiến cho dòng khí G_c được làm nóng bằng cách làm mát dòng khí G; trong đó nhiệt rút ra khỏi phân đoạn dòng khí nén G_2 được bổ sung vào dòng khí tái tuần hoàn G_c sau khi bơm đến áp suất P_4 . Trong các phương án tiếp theo, phương pháp làm

nóng dòng khí tái tuần hoàn có thể bao gồm một hoặc nhiều dấu hiệu bất kỳ dưới đây theo tổ hợp bất kỳ của các dấu hiệu này.

Nhiệt độ T_3 có thể nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C .

Áp suất P_2 của phân đoạn dòng khí G_1 và áp suất P_3 của phân đoạn dòng khí G_2 theo cách tách biệt có thể nằm trong khoảng từ 40 bar (4 MPa) đến 100 bar (10 MPa).

Áp suất P_4 của dòng khí tái tuần hoàn G_c có thể nằm trong khoảng từ 100 bar (10 MPa) đến 500 bar (50 MPa).

Tỷ số khối lượng của phân đoạn khí G_1 so với phân đoạn khí G_2 dựa trên khối lượng tổng của dòng khí G có thể nằm trong khoảng từ 50:50 đến 99:1, hoặc có thể nằm trong khoảng từ 50:50 đến 90:10, hoặc có thể nằm trong khoảng từ 50:50 đến 70:30 hoặc có thể nằm trong khoảng từ 70:30 đến 90:10.

Dòng khí tái tuần hoàn G_c sau khi đưa đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi và tiếp nhận nhiệt từ phân đoạn khí nén G_2 có thể có nhiệt độ T_4 không vượt quá 50°C so với T_1 .

Phân đoạn dòng khí G_2 có thể được nén bằng bước nén nhiều giai đoạn mà không làm mát trung gian.

Sau khi rút nhiệt ra khỏi phân đoạn dòng khí G_2 , phân đoạn dòng khí G_2 có thể tiếp tục được nén trước khi kết hợp với phân đoạn dòng khí G_1 .

Bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi có thể bao gồm ba bộ trao đổi nhiệt hoặc ba đoạn trao đổi nhiệt lắp nối tiếp. Theo các phương án này, nhiệt có thể được truyền trong bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ nhất vận hành trong vùng nhiệt độ R_1 , bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ hai vận hành trong vùng nhiệt độ R_2 , và bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ ba vận hành trong vùng nhiệt độ R_3 với mối tương quan nhiệt độ thỏa mãn $R_1 > R_2 > R_3$.

Dòng khí G có thể được tách biệt giữa bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ nhất và bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ hai.

Dòng khí G có thể được tách giữa bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ hai và bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ ba.

Nhiệt rút ra khỏi phân đoạn dòng khí nén G_2 có thể được bổ sung vào dòng khí tái tuần hoàn G_c trong một trong số hoặc cả hai bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ ba và bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ hai.

Phương pháp còn có thể bao gồm bổ sung nhiệt vào dòng khí tái tuần hoàn G_c sau khi bơm đến áp suất P_4 . Theo các phương án này, nhiệt được bổ sung có thể có nguồn gốc từ một trong số hoặc cả hai cụm tách không khí và tuabin khí.

Phương pháp còn có thể bao gồm bước cho dòng khí tái tuần hoàn đã được làm nóng G_c đi từ bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi đến lò đốt mà đốt nhiên liệu với oxy để tạo ra dòng nhiên liệu đốt.

Dòng khí G có thể được dòng xả tuabin.

Theo một số phương án, sáng chế còn đề xuất phương pháp phát năng lượng. Ví dụ, phương pháp có thể bao gồm các bước sau: đốt nhiên liệu với oxy trong lò đốt với sự có mặt của dòng CO_2 tuần hoàn để tạo ra dòng đốt chứa CO_2 ; cho dòng đốt chứa CO_2 đi qua tuabin để giãn nở dòng đốt chứa CO_2 , tạo ra năng lượng, và tạo ra dòng xả tuabin; rút nhiệt ra khỏi dòng xả tuabin; chia dòng xả tuabin để tạo ra phần xả tuabin thứ nhất và phần xả tuabin thứ hai; tách nước ra khỏi phần xả tuabin thứ nhất để tạo ra dòng CO_2 tuần hoàn chính; nén dòng CO_2 tuần hoàn chính; nén phần xả tuabin thứ hai để tạo ra phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng; rút nhiệt ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng; tách nước ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén, đã làm mát để tạo ra dòng CO_2 tuần hoàn thứ cấp; kết hợp dòng CO_2 tuần hoàn chính và dòng CO_2 tuần hoàn thứ cấp để tạo ra dòng CO_2 tuần hoàn kết hợp; nén dòng CO_2 tuần hoàn kết hợp; làm nóng dòng CO_2 tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin; và tiếp tục làm nóng dòng CO_2 tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng. Theo các phương án tiếp theo, phương pháp có thể bao gồm một hoặc nhiều các dấu hiệu dưới đây theo tổ hợp bất kỳ.

Dòng đốt chứa CO_2 có thể có nhiệt độ vào khoảng $500^\circ C$ đến $1700^\circ C$ và áp suất vào khoảng 100 bar (10 MPa) đến 500 bar (50 MPa).

Tỷ số áp suất qua tuabin có thể nằm trong khoảng từ 5 đến 12.

Nhiệt có thể được rút ra khỏi dòng xả tuabin trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi bao gồm ba hoặc nhiều đoạn hoặc bao gồm ba hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt riêng lẻ.

Làm nóng dòng CO_2 tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin và tiếp tục làm nóng dòng CO_2 tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng có thể được thực hiện trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi.

Tỷ số khối lượng của phần xả tuabin thứ nhất so với phần xả tuabin thứ hai dựa trên khối lượng tổng của dòng xả tuabin có thể nằm trong khoảng từ 50:50 đến 99:1.

Nhiệt rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng có thể ở vùng nhiệt độ nằm trong khoảng đến 100°C đến 400°C.

Dòng CO₂ tuần hoàn chính và phần xả tuabin thứ hai có thể được nén một cách độc lập đến áp suất vào khoảng 40 bar (4 MPa) đến 100 bar (10 MPa).

Dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp sau khi làm nóng bằng nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin và tiếp tục được làm nóng bằng nhiệt được rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng có thể có nhiệt độ không quá 50°C so với nhiệt độ của dòng xả tuabin.

Phần xả tuabin thứ hai có thể được nén theo cách đoạn nhiệt mà không làm mát trung gian giữa các giai đoạn của máy nén.

Theo một số phương án, hệ thống phát năng lượng theo sáng chế có thể bao gồm: lò đốt được tạo kết cấu để xả dòng đốt; tuabin phát năng lượng có kết cấu để tiếp nhận và giãn nở dòng đốt và tạo ra dòng xả tuabin; bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi có kết cấu để tiếp nhận dòng xả tuabin; bộ tách dòng có kết cấu để tách dòng xả tuabin đã làm mát thành dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai; máy nén thứ nhất có kết cấu để tiếp nhận và nén dòng khí thứ nhất; máy nén thứ hai có kết cấu để tiếp nhận và nén dòng khí thứ hai; bơm được tạo kết cấu để tăng áp dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai theo cách kết hợp, bơm được định vị ở phía sau so với máy nén thứ nhất và máy nén thứ hai; đường dòng thứ nhất qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi được tạo kết cấu để thành đường của dòng xả tuabin; đường dòng thứ hai qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi được tạo kết cấu để thành đường của dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai được tăng áp theo cách kết hợp; đường dòng thứ ba qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi được tạo kết cấu để thành đường của dòng khí thứ hai đã nén; trong đó đường dòng thứ nhất và đường dòng thứ ba được tạo kết cấu để làm nóng đường dòng thứ hai. Trong các phương án tiếp theo, hệ thống có thể có một hoặc nhiều dấu hiệu bất kỳ dưới đây theo tổ hợp bất kỳ.

Bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi có thể bao gồm chuỗi có ba hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt hoặc chuỗi có ba hoặc nhiều đoạn làm nóng.

Hệ thống còn có thể bao gồm một hoặc nhiều bộ tách có kết cấu để tách ít nhất là nước từ một trong số hoặc từ cả dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai.

Máy nén thứ nhất có thể bao gồm máy nén làm mát trung gian, nhiều giai đoạn.

Máy nén thứ hai có thể bao gồm máy nén nhiều giai đoạn, nén đoạn nhiệt mà không làm mát trung gian giữa các giai đoạn của máy nén.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Do đó, sáng chế đã được mô tả theo các thuật ngữ chung trên đây, phần mô tả này sẽ được thực hiện dựa vào các hình vẽ kèm theo, các hình vẽ này không cần thiết phải vẽ theo đúng tỷ lệ, và trong đó:

FIG.1 là sơ đồ trình tự thể hiện chu trình phát năng lượng theo một giải pháp kỹ thuật đã biết;

FIG.2 là sơ đồ trình tự của thể hiện chu trình phát năng lượng theo một giải pháp kỹ thuật đã biết khác; và

FIG.3 là sơ đồ trình tự thể hiện hệ thống phát và phương pháp năng lượng theo phương án mang tính minh họa của sáng chế kể cả các máy nén để nén dòng CO₂ tuần hoàn và phân phối nhiệt từ dòng này để nạp vào bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi.

Mô tả chi tiết sáng chế

Dưới đây, sáng chế sẽ được mô tả một cách đầy đủ hơn có dựa vào các phương án mang tính minh họa của sáng chế. Các phương án mang tính minh họa này được mô tả khiến cho phần mô tả này sẽ chuyển tải toàn bộ, đầy đủ, hoàn toàn phạm vi bảo hộ của sáng chế đối với người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật này. Trên thực tế, đối tượng của sáng chế có thể được thực hiện theo nhiều dạng khác nhau và sẽ không được xem như bị giới hạn ở các phương án nêu trong bản mô tả này; hơn nữa, các phương án này được thực hiện khiến cho bản mô tả này sẽ đáp ứng các yêu cầu về luật pháp. khi được sử dụng trong bản mô tả và trong các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo, các dạng số ít “một”, “một chiếc”, “một cái”, bao gồm cả các tham chiếu đến số nhiều trừ khi ngữ cảnh chỉ rõ theo cách khác.

Sáng chế đề cập tới hệ thống và phương pháp mà tạo ra việc phát năng lượng bằng cách sử dụng chủ yếu CO₂ làm chất lưu công tác. Cụ thể hơn, sáng chế đề xuất quy trình sử dụng tuabin có tỷ số áp suất thấp/áp suất cao mà giãn nở hỗn hợp của dòng CO₂ tuần hoàn có áp suất cao và các sản phẩm đốt có nguồn gốc từ việc đốt nhiên liệu. Nhiên liệu hóa thạch bất kỳ, cụ thể là các nhiên liệu chứa cacbon, có thể được sử dụng. Các ví dụ không mang tính giới hạn bao gồm khí tự nhiên, các loại khí nén, các khí nhiên liệu (ví dụ, bao

gồm một hoặc nhiều loại khí trong số H_2 , CO , CH_4 , H_2S , và NH_3) và các loại khí cháy được tương tự. Các nhiên liệu thể rắn - ví dụ, than, than non, cốc dầu mỏ, bitum, sinh khối, và các nhiên liệu tương tự, hoặc các nhiên liệu lỏng có độ nhớt cũng có thể được sử dụng kết hợp với các chi tiết hệ thống cần thiết. Ví dụ, lò đốt oxi hóa một phần có thể được sử dụng để chuyển đổi nhiên liệu thể rắn hoặc nhiên liệu lỏng có độ nhớt thành khí nhiên liệu mà gần như không có các hạt rắn. Tất cả nhiên liệu và các tạp chất có nguồn gốc từ việc đốt ở trạng thái được oxi hóa, như các hợp chất sulfur, NO , NO_2 , CO_2 , H_2O , Hg , và các chất tương tự có thể được tách ra khỏi chu trình năng lượng để loại bỏ mà gần như không hoặc hoàn toàn không xả vào khí quyển. Như nêu trên, các nhiên liệu khác tương tự có thể được sử dụng. Oxy nguyên chất có thể được sử dụng làm chất oxi hóa trong quy trình đốt. Theo một số phương án, nhiệt độ đốt có thể được điều chỉnh bằng cách pha loãng oxy với CO_2 theo các tỷ lệ như nêu ở phần khác trong bản mô tả này.

Sản phẩm xả tuabin nóng được sử dụng để làm nóng trước một phần dòng CO_2 tuần hoàn có áp suất cao. Theo cách kết hợp với bước làm nóng này, dòng CO_2 tuần hoàn có thể tiếp tục được làm nóng bằng cách sử dụng nhiệt bổ sung mà có thể có nguồn gốc từ năng lượng nén của máy nén CO_2 . Các điều kiện vận hành đối với máy nén CO_2 có thể thay đổi như được mô tả trong bản mô tả này. Ví dụ, theo một số phương án, có thể có lợi nếu sử dụng nhiệt độ nạp của máy nén CO_2 mà cao hơn so với nhiệt độ thông thường đối với phương tiện làm mát đến nhiệt độ môi trường xung quanh. Nhiệt độ nạp thấp nhất của dòng đi vào máy nén CO_2 , ví dụ, có thể xấp xỉ nhiệt độ điểm sương của nước ở các điều kiện vận hành. Theo một số phương án, máy nén CO_2 có thể có nhiệt độ nạp nằm trong khoảng từ $50^\circ C$ đến $250^\circ C$. Tùy ý, các phương tiện làm nóng khác cấp nhiệt ở mức nhiệt độ thấp hơn khoảng $400^\circ C$ có thể được sử dụng bổ sung cho việc làm nóng sẵn có từ việc nén CO_2 . Phương tiện này có thể được truyền nhiệt từ các máy nén khí của thiết bị tách không khí ở nhiệt độ cực thấp vận hành một phần hoặc hoàn toàn ở chế độ đoạn nhiệt mà không làm mát trung gian. Khi nhiệt này được sử dụng, các máy nén khí tốt hơn là có thể được vận hành với các tỷ số áp suất cao hơn 2,5 trong các giai đoạn đoạn nhiệt.

Tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng hiệu quả phát năng lượng có thể được nâng cao qua việc cấp nhiệt bổ sung như nêu trong bản mô tả này, cụ thể hơn nhiệt bổ sung này được cấp ở mức nhiệt độ thấp hơn khoảng $400^\circ C$ (ví dụ, nằm trong khoảng từ $100^\circ C$ đến $400^\circ C$). Việc cấp nhiệt bổ sung có thể khắc phục sự chênh lệch lớn về nhiệt dung riêng của CO_2 ở áp suất nạp tuabin ở áp suất cao điển hình vào khoảng 300 bar (30 MPa) và nhiệt dung riêng

của CO₂ ở áp suất xả tuabin ở áp suất thấp điển hình vào khoảng 30 bar (3 MPa). Sự chênh lệch này là rõ ràng trong bảng dưới đây.

Nhiệt độ K (°C)	Nhiệt dung riêng của CO ₂ (kJ/kg) ở 30 bar (3 MPa)	Nhiệt dung riêng của CO ₂ (kJ/kg) ở 300 bar (30 MPa)
300 (26,85)	1,18	1,95
350 (76,85)	1,05	2,00
400 (126,85)	1,02	1,90
450 (176,85)	1,03	1,63
500 (226,85)	1,06	1,47
600 (326,85)	1,10	1,31
750 (476,85)	1,17	1,23
1000 (726,85)	1,24	1,28

Cụ thể hơn, phương pháp phát năng lượng theo sáng chế có thể bao gồm một loạt bước mà có thể tạo ra hiệu suất được cải thiện. Phương pháp có thể bao gồm bước đưa dòng CO₂ tuần hoàn được làm nóng, đã nén vào trong lò đốt. Dòng CO₂ tuần hoàn được làm nóng, đã nén có thể được tạo ra như tiếp tục được mô tả dưới đây. Trong lò đốt, nhiên liệu có thể được đốt bằng chất oxi hóa (ví dụ, oxy có ít nhất là 98% hoặc ít nhất là 99% nguyên chất, tùy ý, được pha loãng với CO₂) với sự có mặt của dòng CO₂ tuần hoàn để tạo ra dòng chứa CO₂. Dòng chứa CO₂ từ lò đốt có thể có nhiệt độ vào khoảng 500°C hoặc lớn hơn (ví dụ, nằm trong khoảng từ 500°C đến 1700°C hoặc nằm trong khoảng từ 800°C đến 1600°C) và áp suất vào khoảng 100 bar (10 MPa) hoặc lớn hơn (ví dụ, nằm trong khoảng từ 100 bar (10 MPa) đến 500 bar (50 MPa)). Dòng chứa CO₂ có thể được cho đi qua tuabin để giãn nở dòng chứa CO₂, tạo ra năng lượng, và tạo ra dòng xả tuabin chứa CO₂. Dòng chứa CO₂ có thể được giãn nở qua tuabin ở tỷ số áp suất nhỏ hơn 12 hoặc nhỏ hơn 10 (ví dụ, nằm trong khoảng từ 5 đến 12). Theo các phương án khác, tỷ số áp suất cao như nêu trong phương án này có thể được sử dụng, như trong trường hợp của bằng cách sử dụng nhiều tuabin, như

được mô tả trong công bố bằng sáng chế Mỹ số 2013/0213049, mà nội dung của nó được đưa vào bản mô tả này hoàn toàn bằng cách viện dẫn.

Dòng xả tuabin có thể được xử lý để loại bỏ các sản phẩm đốt và CO₂ thực bất kỳ được tạo ra do việc đốt nhiên liệu. Để thực hiện mục đích này, dòng xả tuabin có thể được làm mát bằng cách cho đi qua bộ trao đổi nhiệt. Bộ trao đổi nhiệt bất kỳ thích hợp để sử dụng trong các điều kiện nhiệt độ và áp suất được mô tả trong bản mô tả này có thể được sử dụng. Theo một số phương án, bộ trao đổi nhiệt có thể bao gồm một chuỗi có ít nhất hai, ít nhất ba, hoặc thậm chí nhiều bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm hơn. Một bộ trao đổi nhiệt có ít nhất hai đoạn, ít nhất ba đoạn (hoặc thậm chí nhiều đoạn hơn) có thể được sử dụng. Ví dụ, bộ trao đổi nhiệt có thể được mô tả có ít nhất là ba đoạn trao đổi nhiệt vận hành qua các vùng nhiệt độ khác nhau. Nhiệt rút ra khỏi dòng xả tuabin có thể được sử dụng để làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn như được mô tả dưới đây.

Dòng xả tuabin có thể được chia thành hai hoặc ba phần. Phần thứ nhất có thể bao gồm 50% hoặc lớn hơn, 70% hoặc lớn hơn, hoặc 90% hoặc lớn hơn (song nhỏ hơn 100%) khối lượng dòng tổng của dòng xả tuabin. Tốt hơn, nếu phần xả tuabin thứ nhất được làm mát ở nhiệt độ mà thấp hơn so với điểm ngưng sương của nước sau khi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt. Phần xả tuabin thứ nhất có thể được cho đi qua bộ tách để loại bỏ nước và có thể tiếp tục được xử lý để loại bỏ các sản phẩm đốt khác hoặc các tạp chất. Dòng thu được có thể được mô tả như dòng CO₂ tuần hoàn chính, và dòng này có thể được nén trong máy nén nhiều giai đoạn có làm mát trung gian giữa các giai đoạn. Tốt hơn, nếu dòng CO₂ tuần hoàn chính được nén đến áp suất nằm trong khoảng từ 40 bar (4 MPa) đến 100 bar (10 MPa). Theo một số phương án, dòng CO₂ tuần hoàn chính được nén đến áp suất nằm trong khoảng từ 60 bar (6 MPa) đến 100 bar (10 MPa) hoặc nằm trong khoảng từ 67 bar (6,7 MPa) đến 80 bar (8 MPa).

Phần thứ hai của dòng xả tuabin có thể được nén để tạo ra phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng. Phần xả tuabin thứ hai có thể bao gồm phần còn lại của phần xả của tuabin không có mặt trong phần thứ nhất (ví dụ, 50% hoặc nhỏ hơn, 30% hoặc nhỏ hơn, hoặc 10% hoặc nhỏ hơn (song lớn hơn 0%) của khối lượng dòng tổng của dòng xả tuabin). Tốt hơn, nếu phần xả tuabin thứ hai có thể được rút ra khỏi phần xả của tuabin giữa đoạn trao đổi nhiệt thứ hai và đoạn trao đổi nhiệt thứ ba (ví dụ, bộ trao đổi nhiệt thứ hai và bộ trao đổi nhiệt thứ ba trong chuỗi dịch chuyển từ nóng sang lạnh - nói cách khác, các bộ trao đổi nhiệt làm việc giữa nhiệt độ thấp nhất và nhiệt độ trung bình). Tốt hơn, nếu phần xả

tuabin thứ được nén để đạt được nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C và áp suất nằm trong khoảng từ 40 bar (4 MPa) đến 100 bar (10 MPa). Theo một số phương án, áp suất có thể nằm trong khoảng từ 60 bar (6 MPa) đến 100 bar (10 MPa) hoặc nằm trong khoảng từ 67 bar (6,7 MPa) đến 80 bar (8 MPa). Phần xả tuabin thứ hai có thể được đưa lại vào bộ trao đổi nhiệt, tốt hơn nếu đi từ đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ trung bình đến đầu mát của bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ thấp. Phần xả tuabin thứ hai đã làm mát có thể có nhiệt độ mà thấp hơn điểm ngưng sương của nước, và dòng đã làm mát có thể được cho đi qua một hoặc nhiều bộ tách để loại bỏ nước và các tạp chất khác bất kỳ. Dòng còn lại là dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp, và dòng này có thể được kết hợp với dòng CO₂ tuần hoàn chính. Sự kết hợp này có thể là ở nhiều điểm. Ví dụ, dòng CO₂ tuần hoàn chính có thể được bổ sung vào phần thứ hai đã làm mát của phần xả của tuabin sau khi đi qua bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ thấp và trước khi đi qua bộ tách. Theo cách lựa chọn khác, dòng CO₂ tuần hoàn chính và dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp có thể được kết hợp sau khi tách nước hoặc ở điểm khác của chu trình. CO₂ thực tạo ra từ việc đốt có thể được rút ra ở điểm này, như để dùng trong tận thu dầu, để càn hóa, hoặc các mục đích tương tự.

Theo một số phương án, phần xả tuabin thứ hai có thể được nén bằng cách sử dụng bước nén nhiều giai đoạn trong đó không có việc làm mát trung gian giữa các giai đoạn được tiếp nối bằng cách làm mát trung gian giữa các giai đoạn sau. Khí nén và được làm nóng của phần xả tuabin thứ hai ra khỏi các giai đoạn không được làm mát có thể được nạp vào bộ trao đổi nhiệt như mô tả theo cách khác trên đây, và dòng đã làm mát như vậy có thể được trải qua bước nén làm mát trung gian trước khi kết hợp với phần xả tuabin thứ nhất. Số lượng các giai đoạn không làm mát (x) và các giai đoạn làm mát trung gian (y) có thể độc lập là 1 hoặc lớn hơn, 2 hoặc lớn hơn, hoặc 3 hoặc lớn hơn (ví dụ, nằm trong khoảng từ 1 đến 5 hoặc nằm trong khoảng từ 2 đến 4).

Dòng CO₂ tuần hoàn tổng (bao gồm dòng CO₂ tuần hoàn chính và dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp) có thể được bơm đến áp suất thích hợp để đi vào trong lò đốt. Tốt hơn, nếu dòng CO₂ tuần hoàn tổng được bơm đến áp suất 100 bar (10 MPa) hoặc lớn hơn hoặc about 200 bar (20 MPa) hoặc lớn hơn, như nằm trong khoảng từ 100 bar (10 MPa) đến 500 bar (50 MPa). Sau đó, dòng CO₂ tuần hoàn đã nén được trả về qua các bộ trao đổi nhiệt để được làm nóng. Dòng CO₂ tuần hoàn đã nén được làm nóng bằng cách sử dụng nhiệt rút ra khỏi dòng xả tuabin (nhiệt này có thể được đặc trưng như nhiệt của việc đốt mà còn trong dòng xả tuabin). Tuy nhiên, nhiệt trong dòng xả tuabin là không đủ để đạt được tiệm cận nhiệt độ

kín giữa dòng xả tuabin và dòng CO₂ tuần hoàn đã nén, được làm nóng ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt. Theo sáng chế, nhiệt từ phần xả tuabin thứ hai, đã nén có thể được sử dụng làm nhiệt bổ sung để giảm chênh lệch nhiệt độ giữa dòng xả tuabin và dòng CO₂ tuần hoàn đã nén, được làm nóng ra khỏi bộ trao đổi nhiệt và đi vào lò đốt. Việc bổ sung nhiệt có thể được đặc trưng như nhiệt của việc nén lại và được tách ra khỏi nhiệt của việc đốt mà có mặt trong phần xả của tuabin. Việc sử dụng việc bổ sung nhiệt có thể có lợi để giảm chênh lệch nhiệt độ giữa dòng xả tuabin và dòng CO₂ tuần hoàn đã nén, được làm nóng ra khỏi bộ trao đổi nhiệt và đi vào lò đốt đến khoảng 50°C hoặc thấp hơn, 40°C hoặc thấp hơn, hoặc 30°C hoặc thấp hơn, như nằm trong khoảng từ 0°C đến 50°C, hoặc nằm trong khoảng từ 20°C đến 40°C.

Theo một số phương án, nhiệt bổ sung có thể được tạo ra nhờ phương tiện khác theo cách kết hợp với hoặc như cách khác đối với nhiệt của việc nén lại. Ví dụ, CO₂ được làm nóng từ nguồn bên ngoài có thể được sử dụng. Ví dụ, nguồn bên ngoài này có thể là CO₂ rút từ nguồn địa chất, CO₂ lấy từ đường ống, hoặc nguồn tương tự. Theo các phương án này, bước tách dòng xả tuabin có thể là không cần thiết, và CO₂ được làm nóng có thể được nạp vào hệ thống theo cách tương tự như nhiệt của việc nén lại nêu trên. CO₂ bổ sung có thể được rút ra khỏi hệ thống với sản phẩm CO₂ thực và có thể được trả về nguồn nhiệt. Theo cách này, CO₂ tuần hoàn từ nguồn bên ngoài hoàn toàn ở bên ngoài hệ thống phát năng lượng có thể được sử dụng như nhiệt bổ sung. Theo cách lựa chọn khác, một phần hoặc toàn bộ việc bổ sung nhiệt có thể là từ dòng khí xả tuabin khí hoặc từ dòng ngưng.

Phương án mang tính minh họa của hệ thống theo sáng chế được thể hiện trên FIG 3. Phương án này được mô tả có dựa vào phương án mang tính minh họa của phương pháp đốt sử dụng các thông số xác định. Do đó, nhiệt độ và áp suất cụ thể có thể thay đổi dựa trên các điều kiện hoạt động cụ thể.

Trong phương án được thể hiện trên FIG.3, dòng xả tuabin 55 ở 728°C và 30 bar (3 MPa) đi qua ba bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm lắp nối tiếp 29, 27, và 26 ra khỏi như dòng 46 ở 46°C và 29 bar (2,9 MPa). Bộ trao đổi nhiệt 29 có thể được đặc trưng như nhiệt độ cao bộ trao đổi nhiệt, bộ trao đổi nhiệt 27 có thể được đặc trưng như bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ trung bình, và bộ trao đổi nhiệt 26 có thể được đặc trưng như bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ thấp. Cần hiểu rằng các thuật ngữ “nhiệt độ cao,” “nhiệt độ trung bình,” và “nhiệt độ thấp,” chỉ được nhằm mô tả vùng nhiệt độ vận hành của ba bộ trao đổi nhiệt với nhau. Dòng 46 được làm mát trong bộ trao đổi nhiệt làm mát bằng nước 58 đến 17,2°C, và dòng nước

ngưng 56 được tách trong bình tách pha 53. Dòng khí CO₂ trên đầu 61 đi ra khỏi bình tách pha 53 và đi vào máy nén CO₂ tuần hoàn lệch tâm hai giai đoạn 21 (giai đoạn 1) và 22 (giai đoạn 2), trong đó dòng xả 44 từ giai đoạn thứ nhất máy nén 21 được làm mát trong bộ làm mát trung gian 23 đến 17,2°C, ra khỏi đó như dòng 45, và sau đó được nén trong máy nén giai đoạn thứ hai 22 để tạo ra dòng 48 ở 80 bar (8 MPa). Dòng xả từ máy nén tuần hoàn chính 48 này hòa vào dòng 47, và dòng kết hợp 69 được làm mát trong bộ trao đổi nhiệt làm mát bằng nước 24 đến nhiệt độ của 22,7°C. Trong các phương án khác, nhiệt độ này có thể được nằm trong khoảng từ 10°C đến 30°C. Nước ngưng 68 được tách trong bộ tách pha 67 tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn tổng 49, dòng này ở trạng thái siêu tới hạn và có mật độ cao là 850 Kg/m³. Dòng CO₂ sản phẩm thực 62, tương đương với cacbon trong khí nhiên liệu chuyển đổi thành CO₂ trong lò đốt, được loại ra khỏi hệ thống (sau khi làm mát, như được minh họa, hoặc trước khi làm mát) để cangk hóa, dùng trong việc tận thu dầu, hoặc các mục đích tương tự.

Sau đó, dòng CO₂ tuần hoàn tổng 49 được làm mát trong bộ trao đổi nhiệt 70 đến nhiệt độ của 17,2°C đi vào bơm lệch tâm nhiều giai đoạn 25 có áp suất xả là 305 bar (30,5 MPa) từ dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao 50, được làm nóng trong ba bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm lắp nối tiếp 26, 27 và 29 ra khỏi như dòng 54 ở nhiệt độ 725°C và áp suất 302 bar (30,2 MPa). Dòng 54 được làm nóng đến 1154°C trong lò đốt 30 bằng cách đốt trực tiếp dòng khí tự nhiên 40 với dòng O₂ 99,5% 41, cả hai đều có áp suất 320 bar (32 MPa). Trong phương án được minh họa, mẫu hình được thực hiện với CH₄ tinh khiết làm khí nhiên liệu. Dòng trộn bao gồm CO₂ tuần hoàn và các sản phẩm đốt 57 đi vào tuabin phát năng lượng 31 có áp suất xả là 30 bar (3 MPa) và ra khỏi đó như dòng xả tuabin 55.

Như thể hiện trong bảng nêu trên, sự chênh lệch về nhiệt dung riêng của CO₂ ở áp suất 300 bar (30 MPa) và 30 bar (3 MPa) tăng do nhiệt độ sụt giảm từ 1000 K (727°C). Do sự chênh lệch này, nhiệt bổ sung được đòi hỏi để đạt được rất gần tiệm cận nhiệt độ kín giữa dòng xả tuabin 55 và dòng CO₂ tuần hoàn 54, và nhiệt bổ sung này có thể được cấp, ví dụ, trong bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm “nhiệt độ thấp” 26 và/hoặc bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm “nhiệt độ trung bình” 27. Trong hệ thống theo sáng chế, việc bổ sung nhiệt có thể được tạo ra bằng cách sử dụng nhiệt đoạn nhiệt của việc nén phần của dòng CO₂ tuần hoàn mà trong phương án mang tính minh họa, được nén đến áp suất nằm trong khoảng từ 29 bar (2,9 MPa) đến 80 bar (8 MPa).

Quay lại phương án mang tính minh họa được thể hiện trên FIG.3, một phần của làm mát dòng xả tuabin 51 giữa hai đoạn trao đổi nhiệt tiết kiệm 27 và 26 ở nhiệt độ 138°C có thể được rút và được nén trong máy nén đoạn nhiệt một hoặc nhiều giai đoạn 28 tạo ra dòng 52 ở 246°C và 80 bar (8 MPa). Dòng đã nén và được làm nóng 52 đi lại vào đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm 27, và dòng đi qua bộ trao đổi nhiệt 27 và bộ trao đổi nhiệt 26 nơi mà nó làm mát và đi ra khỏi như dòng 47 ở 54°C . Toàn bộ nhiệt nén trong máy nén 28 được cấp bởi dòng công tác 34 do đó được chuyển đến dòng CO_2 tuần hoàn có áp suất cao, và nhiệt nạp này tương đương với nhiệt của việc đốt phân phối trong lò đốt 30 do nó giảm sự chênh lệch nhiệt độ ở đầu nóng. Lưu tốc của dòng 51 được tối ưu hóa để đạt được mức chênh lệch nhiệt độ nhỏ đáng kể giữa dòng 65 và dòng 66 khi nạp vào bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm có nhiệt độ cao 29. Tốt hơn, nếu mức chênh lệch nhiệt độ giữa dòng 65 và dòng 66 là khoảng 50°C hoặc thấp hơn, khoảng 40°C hoặc thấp hơn, khoảng 30°C hoặc thấp hơn, khoảng 20°C hoặc thấp hơn, cụ thể là nằm trong khoảng từ 10°C đến 50°C , hoặc nằm trong khoảng từ 20°C đến 40°C . Như nêu trên, dòng 47 hòa vào dòng xả từ máy nén tuần hoàn chính 48 để làm mát trong bộ trao đổi nhiệt 24 đến $22,7^{\circ}\text{C}$. Việc bổ sung nhiệt tạo ra bằng cách nén CO_2 như được mô tả trên đây tạo ra hiệu quả nâng cao trong hệ thống phát năng lượng.

Cần lưu ý rằng các nguồn nhiệt khác ở mức nhiệt độ thấp (ví dụ, dòng xả tuabin hoặc dòng ngưng) có thể được sử dụng như việc bổ sung nhiệt. Phương án mang tính minh họa được thể hiện trên FIG.3 bao gồm thiết bị tách không khí ở nhiệt độ cực thấp 81, dòng không khí chính 42a mà đã được nén đoạn nhiệt đến 5,7 bar (0,57 MPa) và 223°C đi vào đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm 27 như dòng 42 và ra khỏi bộ trao đổi nhiệt 26 như dòng 43 ở 54°C . Theo một số phương án, dòng 42 có thể phát sinh từ dòng 42b, mà được minh họa như nhiệt có nguồn gốc từ tuabin khí 83. Mặc dù không được minh họa trên FIG.3, theo một số phương án, dòng O_2 có thể được cấp từ thiết bị tách không khí ở 80 bar (8 MPa) và nhiệt độ môi trường xung quanh và có thể được trộn với CO_2 từ dòng 49 để tạo ra O_2 25 mol% mà có thể được nén đến 320 bar (32 MPa) trước khi được làm nóng đến 725°C trong các bộ trao đổi nhiệt tiết kiệm 27, 26 và 29. Trên thực tế, máy nén $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ cũng có thể dấu hiệu đoạn nén khí nóng như được thể hiện đối với máy nén tuần hoàn CO_2 . Trên FIG.3, các dòng nạp nước làm mát được thể hiện như các dòng 38, 59, 72, và 36, trong khi các dòng xả tương ứng được thể hiện như các dòng 39, 60, 74, và 37. Các đầu nạp năng lượng cho máy nén được minh họa trên FIG.3 là các chi tiết 32 và 34, và các đầu nạp năng

lượng này có thể được dẫn động điện hoặc có thể được dẫn động tuabin. Đầu nạp điện năng cho bơm CO₂ được minh họa như chi tiết 33. Đầu ra năng lượng trên trục tuabin được minh họa như chi tiết 64 từ máy phát 63.

Phương án mang tính minh họa được mô tả được đánh giá bằng phần mềm theo mẫu hình ASPEN bằng cách sử dụng các hiệu quả máy thực tế, mức chênh lệch nhiệt độ trong bộ trao đổi nhiệt, và mức độ sụt áp suất của hệ thống tạo ra hiệu suất thực bằng 58,5% (trên cơ sở LHV). Việc tính toán được dựa trên đầu nạp nhiệt 500 MW vào lò đốt 30.

Mặc dù hệ thống và phương pháp do sáng chế đề xuất có thể ứng dụng cụ thể cho hệ thống và phương pháp đốt để phát năng lượng, ứng dụng rộng rãi hơn để làm nóng dòng khí hiệu quả cũng được bao hàm. Như vậy, theo một số phương án, sáng chế có thể đề xuất phương pháp làm nóng dòng khí, và cụ thể hơn để làm nóng dòng khí tái tuần hoàn. Dòng khí tái tuần hoàn có thể là dòng khí bất kỳ mà liên tục tuần hoàn qua các giai đoạn làm nóng và làm mát, tùy ý, kể cả các giai đoạn nén và giãn nở.

Dòng khí G có thể được làm nóng theo sáng chế có thể là khí bất kỳ; tuy nhiên, có thể đặc biệt có lợi đối với dòng khí G có chứa CO₂, như ít nhất là 10%, ít nhất là 25%, ít nhất là 50%, ít nhất là 75%, hoặc ít nhất là 90% CO₂ theo khối lượng. Cụ thể hơn, dòng khí tái tuần hoàn G có thể có nhiệt độ tăng T_1 (ví dụ, nằm trong khoảng từ 500°C đến 1700°C) và áp suất P_1 mà cho phép tạo ra lượng nhiệt nén mong muốn - ví dụ, áp suất thấp hơn 40 bar (4 MPa). Dòng khí G ở áp suất P_1 và nhiệt độ T_1 có thể được làm mát, như bằng cách cho đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi. Tốt hơn, nếu việc làm mát là khiến cho dòng khí G được làm mát đến nhiệt độ T_2 mà thấp hơn so với T_1 . Theo một số phương án, việc làm mát có thể được thực hiện bằng cách sử dụng chuỗi có nhiều bộ trao đổi nhiệt (ví dụ, 2, 3, hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt) hoặc bằng cách sử dụng bộ trao đổi nhiệt mà có nhiều đoạn trao đổi nhiệt hoặc bằng cách sử dụng kết hợp các loại này. Các bộ trao đổi nhiệt riêng lẻ (hoặc các đoạn trao đổi nhiệt) có thể trao đổi nhiệt ở các vùng nhiệt độ khác nhau, các vùng này có thể chồng lên nhau. Việc sử dụng nhiều bộ trao đổi nhiệt và/hoặc nhiều đoạn trao đổi nhiệt cho phép các dòng được bổ sung hoặc được rút ở các vùng nhiệt độ khác nhau.

Dòng khí G có thể được tách thành phân đoạn thứ nhất G_1 và phân đoạn thứ hai G_2 . Việc tách này có thể xuất hiện sau khi dòng khí G đã được làm nguội đến nhiệt độ T_2 hoặc đến nhiệt độ trung bình T_{int} nghĩa là giữa T_1 và T_2 . Ví dụ, nhiệt độ T_2 , có thể là nhiệt độ ở đầu mát của bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi (hoặc bộ trao đổi nhiệt hoặc đoạn trao đổi nhiệt làm việc trên vùng nhiệt độ thấp nhất), và nhiệt độ T_{int} , ví dụ, có thể là nhiệt độ ở đầu mát

của bộ trao đổi nhiệt thứ hai (hoặc đoạn trao đổi nhiệt thứ hai) trong chuỗi có ba hoặc nhiều các bộ trao đổi nhiệt (hoặc các đoạn trao đổi nhiệt). Tốt hơn, nếu phân đoạn khí thứ hai G_2 có thể được rút ở nhiệt độ trung bình trước khi tiếp tục làm mát của phân đoạn khí thứ nhất G_1 . Sau khi đã được làm mát, phân đoạn dòng khí G_1 có thể được nén đến áp suất lớn hơn P_2 mà tốt hơn nếu có thể lớn hơn P_1 . Ví dụ, việc nén này có thể được thực hiện bằng máy nén nhiều giai đoạn mà được làm mát trung gian. Ví dụ, áp suất P_3 có thể nằm trong khoảng từ 40 bar (4 MPa) đến 100 bar (10 MPa), nằm trong khoảng từ 60 bar (6 MPa) đến 100 bar (10 MPa) hoặc nằm trong khoảng từ 67 bar (6,7 MPa) đến 80 bar (8 MPa).

Phân đoạn dòng khí G_2 đã rút có thể được nén một cách riêng biệt đến áp suất P_3 mà còn tốt hơn nếu lớn hơn P_1 . Áp suất P_3 có thể nằm trong vùng áp suất P_2 ; tuy nhiên, P_2 và P_3 không cần thiết phải tương tự nhau. Theo một số phương án, phân đoạn dòng khí G_2 có thể được nén bằng cách sử dụng bước nén đoạn nhiệt mà không làm mát trung gian để làm nóng phân đoạn dòng khí G_2 đến nhiệt độ T_3 lớn hơn T_2 . Theo các phương án trong đó phân đoạn dòng khí G_2 có thể được rút ở nhiệt độ trung bình T_{int} , tốt hơn nếu T_3 lớn hơn T_{int} . Nhiệt từ phân đoạn dòng khí nén G_2 có thể được rút và dùng làm nhiệt bổ sung cho dòng khí tái tuần hoàn như tiếp tục được mô tả dưới đây.

Sau khi nén, nhiệt đã được rút ra khỏi phân đoạn dòng khí G_2 , phân đoạn dòng khí G_1 và phân đoạn dòng khí G_2 có thể được kết hợp để tạo ra dòng khí tái tuần hoàn kết hợp G_C . Dòng khí tái tuần hoàn G_C sẽ có áp suất mà về cơ bản tương tự như áp suất P_2 và/hoặc P_3 và có thể được bơm đến áp suất lớn hơn P_4 lớn hơn P_2 và lớn hơn P_3 . Bước bơm này được mong muốn trong trường hợp dòng khí tái tuần hoàn G_C được sử dụng trong ứng dụng có áp suất cao. Tuy nhiên, theo một số phương án, áp suất P_2 và/hoặc P_3 có thể là thích hợp và có thể không cần phải nén thêm.

Dòng khí tái tuần hoàn G_C (tùy ý, ở áp suất P_4) có thể cho đi đến bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi khiến cho dòng khí G_C được làm nóng bằng cách làm mát dòng khí G . Nhiệt rút ra khỏi phân đoạn dòng khí nén G_2 có thể được bổ sung vào dòng khí tái tuần hoàn G_C . Việc bổ sung nhiệt này có thể được thực hiện sau khi bơm đến áp suất P_4 . Theo một số phương án, việc bổ sung nhiệt có thể được thực hiện trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi. Ví dụ, nếu một bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi được sử dụng, nhiệt của phân đoạn dòng khí nén G_2 có thể được nạp vào bộ trao đổi nhiệt ở điểm thích hợp để tạo ra việc bổ sung nhiệt vào dòng khí tái tuần hoàn G_C trong vùng nhiệt độ mong muốn. Trong các phương án trong đó các bộ trao đổi nhiệt (hoặc các đoạn trao đổi nhiệt) được sử dụng, nhiệt của phân đoạn dòng

khí nén G_2 có thể được bổ sung vào một hoặc nhiều các bộ trao đổi nhiệt có nhiệt độ thấp (hoặc các đoạn trao đổi nhiệt). Ví dụ, trong khi việc nén, phân đoạn dòng khí G_2 có thể được làm nóng đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C , và nhiệt từ phân đoạn dòng khí nén G_2 có thể được bổ sung vào một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt (hoặc các đoạn trao đổi nhiệt) làm việc trong vùng nhiệt độ này. Trên FIG.3, ví dụ, phân đoạn dòng khí nén G_2 sẽ tương đương với dòng 52, mà được xuyên qua các bộ trao đổi nhiệt 26 và 27, mà đang làm việc ở vùng nhiệt độ thấp hơn so với bộ trao đổi nhiệt 29. Nói chung, chuỗi có các bộ trao đổi nhiệt như được minh họa trên FIG.3, bao gồm ba bộ trao đổi nhiệt mà mỗi bộ chuyển đổi trong các vùng nhiệt độ riêng biệt (các vùng này có thể chồng lên nhau). Trong ví dụ được thể hiện trên FIG.3, bộ trao đổi nhiệt 29 có thể được đặc trưng như vận hành trong vùng nhiệt độ R_1 , bộ trao đổi nhiệt 27 có thể được đặc trưng như vận hành trong vùng nhiệt độ R_2 , và bộ trao đổi nhiệt 26 có thể được đặc trưng như vận hành trong vùng nhiệt độ R_3 . Như được minh họa trên hình vẽ, do bộ trao đổi nhiệt 29 nằm ở đầu nóng của chuỗi và bộ trao đổi nhiệt 26 nằm ở đầu mát của chuỗi, mối tương quan nhiệt độ của chuỗi của các bộ trao đổi nhiệt sẽ là $R_1 > R_2 > R_3$.

Việc sử dụng nhiệt bổ sung được cung cấp bởi việc nén nhiệt trong phân đoạn dòng khí nén G_2 có thể có lợi để làm cho nhiệt độ của dòng khí tái tuần hoàn kết hợp G_C gần một cách đáng kể với nhiệt độ của dòng khí G trước khi làm mát. Ví dụ, dòng khí tái tuần hoàn G_C sau khi đưa đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi và tiếp nhận nhiệt từ phân đoạn khí nén G_2 có thể có nhiệt độ T_4 không quá 50°C so với T_1 . Thông thường, nhiệt độ T_4 của dòng khí tái tuần hoàn G_C sau khi đưa đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi sẽ giữ thấp hơn T_1 . Theo các phương án này, dòng khí tái tuần hoàn G_C sau khi đưa đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi và tiếp nhận nhiệt từ phân đoạn khí nén G_2 có thể có nhiệt độ T_4 mà thấp hơn so với T_1 một khoảng không lớn hơn 50°C .

Mức tiệm cận của T_4 đối với T_1 có thể được cải thiện hơn nữa thông qua việc bổ sung nhiệt từ một hoặc nhiều nguồn bổ sung. Nguồn nhiệt bổ sung này có thể bao gồm cơ cấu bất kỳ hoặc tổ hợp của các cơ cấu có kết cấu để tác động nhiệt lên dòng mà đủ để làm nóng dòng khí như được mô tả trong bản mô tả này khiến cho dòng khí có được chất lượng và nhiệt lượng mong muốn. Do các ví dụ không mang tính giới hạn, các nguồn nhiệt bổ sung có thể là một hoặc nhiều nguồn trong số nguồn nhiệt đốt, nguồn nhiệt năng lượng mặt trời, nguồn nhiệt năng lượng hạt nhân, nguồn nhiệt từ địa nhiệt, và nguồn nhiệt thải công nghiệp. Các nguồn nhiệt bổ sung có thể bao gồm bộ trao đổi nhiệt, bơm nhiệt, cơ cấu phát

năng lượng, và kết hợp các chi tiết khác bất kỳ (ví dụ, hệ đường ống và các chi tiết tương tự) thích hợp để tạo ra, cung cấp, hoặc phân phối nhiệt cần thiết.

Phương pháp làm nóng dòng khí tái tuần hoàn còn bao gồm một hoặc các bước. Ví dụ, dòng khí G có thể là dòng ra khỏi tuabin. Như vậy, áp suất P_1 của dòng khí G có thể được nhỏ hơn áp suất sớm hơn P_0 của dòng khí trước khi đi qua tuabin. Theo một số phương án, P_0 có thể gần bằng P_4 (ví dụ, không quá 10%, không quá 5%, hoặc không quá 2% của nó). Theo một số phương án, dòng khí tái tuần hoàn G_c có thể được đưa qua bước tăng nhiệt sau khi ra khỏi đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt (nghĩa là, sau khi được làm nóng lại trong bộ trao đổi nhiệt và tiếp nhận nhiệt bổ sung của việc nén từ G_2). Ví dụ, dòng khí tái tuần hoàn G_c có thể được làm nóng bằng nhiệt của việc đốt, bằng nhiệt từ năng lượng mặt trời, bằng nhiệt từ năng lượng hạt nhân, bằng nhiệt từ địa nhiệt, bằng nhiệt thải công nghiệp, hoặc bằng cách kết hợp bất kỳ. Theo một số phương án, dòng khí tái tuần hoàn G_c có thể được làm nóng như vậy và sau đó cho đi qua tuabin để giãn nở và phát năng lượng. Sau đó, dòng ra khỏi tuabin có thể lại đặc trưng như dòng khí G.

Các biến thể và các phương án khác của sáng chế sẽ được những người có hiểu biết trung bình về lĩnh vực kỹ thuật của sáng chế lưu ý do có các lợi ích của các bộc lộ trong phần mô tả nêu trên và các hình vẽ kèm theo. Do đó, cần hiểu rằng sáng chế không bị giới hạn ở các phương án cụ thể được mô tả trong bản mô tả này và các biến thể và các phương án khác được dự định nằm trong phạm vi của các điểm yêu cầu bảo hộ kèm theo. Mặc dù các thuật ngữ cụ thể được sử dụng trong bản mô tả này, song chúng được sử dụng chỉ để mô tả và theo nghĩa chung và không nhằm mục đích giới hạn sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp làm nóng dòng khí tái tuần hoàn bao gồm các bước:

đưa dòng khí G ở áp suất P_1 và nhiệt độ T_1 qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi khiến cho dòng khí được làm mát đến nhiệt độ T_2 mà thấp hơn so với T_1 ;

tách dòng khí G thành phân đoạn thứ nhất G_1 và phân đoạn thứ hai G_2 ;

nén phân đoạn dòng khí G_1 đến áp suất P_2 lớn hơn P_1 ;

nén phân đoạn dòng khí G_2 đến áp suất P_3 lớn hơn P_1 để làm nóng phân đoạn dòng khí G_2 đến nhiệt độ T_3 nghĩa là lớn hơn T_2 ;

rút nhiệt ra khỏi phân đoạn dòng khí nén G_2 ;

kết hợp phân đoạn dòng khí G_1 và phân đoạn dòng khí G_2 để tạo ra dòng khí tái tuần hoàn kết hợp G_C ;

bơm dòng khí tái tuần hoàn G_C đến áp suất P_4 lớn hơn P_2 và lớn hơn P_3 ; và

đưa dòng khí tái tuần hoàn G_C đến bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi khiến cho dòng khí G_C được làm nóng bằng cách làm mát dòng khí G;

trong đó nhiệt rút ra khỏi phân đoạn dòng khí nén G_2 được bổ sung vào dòng khí tái tuần hoàn G_C sau khi bơm đến áp suất P_4 .

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó một hoặc nhiều điều kiện trong số các điều kiện sau được áp dụng:

nhiệt độ T_3 nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C ;

áp suất P_2 của phân đoạn dòng khí G_1 và áp suất P_3 của phân đoạn dòng khí G_2 là riêng biệt nhau ở trong khoảng từ 4 MPa (40 bar) đến 10 MPa (100 bar);

áp suất P_4 của dòng khí tái tuần hoàn G_C nằm trong khoảng từ 10 MPa (100 bar) đến 50 MPa (500 bar);

tỷ số khối lượng của phân đoạn khí G_1 với phân đoạn khí G_2 dựa trên khối lượng tổng của dòng khí G nằm trong khoảng từ 50:50 đến 99:1;

dòng khí tái tuần hoàn G_C sau khi đưa đi qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi và tiếp nhận nhiệt từ phân đoạn khí nén G_2 có nhiệt độ T_4 không quá 50°C so với T_1 ;

phân đoạn dòng khí G_2 được nén bằng bước nén nhiều giai đoạn mà không làm mát trung gian;

sau khi rút nhiệt ra khỏi phân đoạn dòng khí G_2 , phân đoạn dòng khí G_2 tiếp tục được nén trước khi kết hợp với phân đoạn dòng khí G_1 .

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi bao gồm ba bộ trao đổi nhiệt (29, 27, 26) hoặc ba đoạn trao đổi nhiệt lắp nối tiếp, khiến cho nhiệt được truyền trong bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (29) hoặc đoạn trao đổi nhiệt vận hành trong vùng nhiệt độ R_1 , bộ trao đổi nhiệt thứ hai (27) hoặc đoạn trao đổi nhiệt vận hành trong vùng nhiệt độ R_2 , và bộ trao đổi nhiệt thứ ba (26) hoặc đoạn trao đổi nhiệt vận hành trong vùng nhiệt độ R_3 với mối tương quan nhiệt độ thỏa mãn $R_1 > R_2 > R_3$.

4. Phương pháp theo điểm 3, trong đó một hoặc nhiều điều kiện trong số các điều kiện sau sau được áp dụng:

dòng khí G được tách giữa bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (29) hoặc đoạn trao đổi nhiệt và bộ trao đổi nhiệt thứ hai (27) hoặc đoạn trao đổi nhiệt;

dòng khí G được tách giữa bộ trao đổi nhiệt thứ hai (27) hoặc đoạn trao đổi nhiệt và bộ trao đổi nhiệt thứ ba (26) hoặc đoạn trao đổi nhiệt;

nhiệt rút ra khỏi phân đoạn dòng khí nén G_2 được bổ sung vào dòng khí tái tuần hoàn G_c trong một trong số hoặc cả hai bộ trao đổi nhiệt thứ ba (26) hoặc đoạn trao đổi nhiệt và bộ trao đổi nhiệt thứ hai (27) hoặc đoạn trao đổi nhiệt.

5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó một hoặc nhiều điều kiện trong số các điều kiện sau được áp dụng:

phương pháp này còn bao gồm bước bổ sung nhiệt vào dòng khí tái tuần hoàn G_c sau khi bơm đến áp suất P_4 , trong đó nhiệt được bổ sung có nguồn gốc từ một trong số hoặc cả hai cụm tách không khí (81) và tuabin khí (83);

phương pháp này còn bao gồm bước cho dòng khí tái tuần hoàn đã được làm nóng G_c đi từ bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi đến lò đốt (30) mà đốt nhiên liệu với oxy để tạo ra dòng nhiên liệu đốt;

dòng khí G là dòng xả tuabin.

6. Phương pháp phát năng lượng, phương pháp này bao gồm các bước:

đốt nhiên liệu với oxy trong lò đốt (30) với sự có mặt của dòng CO_2 tuần hoàn để tạo ra dòng đốt chứa CO_2 ;

cho dòng đốt chứa CO₂ đi qua tuabin (31) để giãn nở dòng đốt chứa CO₂, tạo ra năng lượng, và tạo ra dòng xả tuabin;

rút nhiệt ra khỏi dòng xả tuabin;

chia dòng xả tuabin để tạo ra phần xả tuabin thứ nhất và phần xả tuabin thứ hai;

tách nước ra khỏi phần xả tuabin thứ nhất để tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn chính;

nén dòng CO₂ tuần hoàn chính;

nén phần xả tuabin thứ hai để tạo ra phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng;

rút nhiệt ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng;

tách nước ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén, đã làm mát để tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp;

kết hợp dòng CO₂ tuần hoàn chính và dòng CO₂ tuần hoàn thứ cấp để tạo ra dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp;

nén dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp;

làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin; và

tiếp tục làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng.

7. Phương pháp theo điểm 6, trong đó một hoặc nhiều điều kiện trong số các điều kiện sau được áp dụng:

dòng đốt chứa CO₂ có nhiệt độ nằm trong khoảng từ 500°C đến 1700°C và áp suất nằm trong khoảng từ 10 MPa (100 bar) đến 50 MPa (500 bar);

tỷ số áp suất qua tuabin nằm trong khoảng từ 5 đến 12;

nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi bao gồm ba hoặc nhiều đoạn hoặc bao gồm ba hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt riêng lẻ (29, 27, 26), cụ thể:

trong đó bước làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin và tiếp tục làm nóng dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp bằng nhiệt được rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng được thực hiện trong bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi.

8. Phương pháp theo điểm 6, trong đó một hoặc nhiều điều kiện trong số các điều kiện sau được áp dụng:

tỷ số khối lượng của phần xả tuabin thứ nhất so với phần xả tuabin thứ hai dựa trên khối lượng tổng của dòng xả tuabin nằm trong khoảng từ 50:50 đến 99:1;

hiệt rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng nằm trong vùng nhiệt độ nằm trong khoảng đến 100°C đến 400°C;

dòng CO₂ tuần hoàn chính và phần xả tuabin thứ hai được nén một cách độc lập đến áp suất nằm trong khoảng từ 4 MPa (40 bar) đến 10 MPa (100 bar);

dòng CO₂ tuần hoàn kết hợp sau khi làm nóng bằng nhiệt được rút ra khỏi dòng xả tuabin và tiếp tục được làm nóng bằng nhiệt được rút ra khỏi phần xả tuabin thứ hai đã nén được làm nóng có nhiệt độ không quá 50°C so với nhiệt độ của dòng xả tuabin;

phần xả tuabin thứ hai được nén theo cách đoạn nhiệt mà không làm mát trung gian giữa các giai đoạn của máy nén.

9. Hệ thống phát năng lượng bao gồm:

lò đốt (30) được tạo kết cấu để xả dòng đốt;

tuabin phát năng lượng (31) có kết cấu để tiếp nhận và giãn nở dòng đốt và tạo ra dòng xả tuabin;

bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi có kết cấu để tiếp nhận dòng xả tuabin;

bộ tách dòng có kết cấu để tách dòng xả tuabin đã làm mát thành dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai;

máy nén thứ nhất (21, 22) có kết cấu để tiếp nhận và nén dòng khí thứ nhất;

máy nén thứ hai (28) có kết cấu để tiếp nhận và nén dòng khí thứ hai;

bơm (25) có kết cấu để tăng áp dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai theo cách kết hợp, bơm được định vị ở phía sau so với máy nén thứ nhất (21, 22) và máy nén thứ hai (28);

đường dòng thứ nhất qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi được tạo kết cấu để thành đường của dòng xả tuabin;

đường dòng thứ hai qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi được tạo kết cấu để thành đường của dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai được tăng áp theo cách kết hợp;

đường dòng thứ ba qua bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi được tạo kết cấu để thành đường của dòng khí thứ hai đã nén;

trong đó đường dòng thứ nhất và đường dòng thứ ba được tạo kết cấu để làm nóng đường dòng thứ hai.

10. Hệ thống phát năng lượng theo điểm 9, trong đó bộ trao đổi nhiệt kiểu thu hồi bao gồm chuỗi có ba hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt (29, 27, 26) hoặc chuỗi có ba hoặc nhiều đoạn làm nóng.

11. Hệ thống phát năng lượng theo điểm 9, trong đó hệ thống này còn bao gồm một hoặc nhiều bộ tách (53, 67) có kết cấu để tách ít nhất là nước từ một trong số hoặc cả hai dòng khí thứ nhất và dòng khí thứ hai.

12. Hệ thống phát năng lượng theo điểm 9, trong đó máy nén thứ nhất (21, 22) bao gồm máy nén làm mát trung gian, nhiều giai đoạn.

13. Hệ thống phát năng lượng theo điểm 9, trong đó máy nén thứ hai (28) bao gồm máy nén nhiều giai đoạn, nén đoạn nhiệt mà không làm mát trung gian giữa các giai đoạn của máy nén.

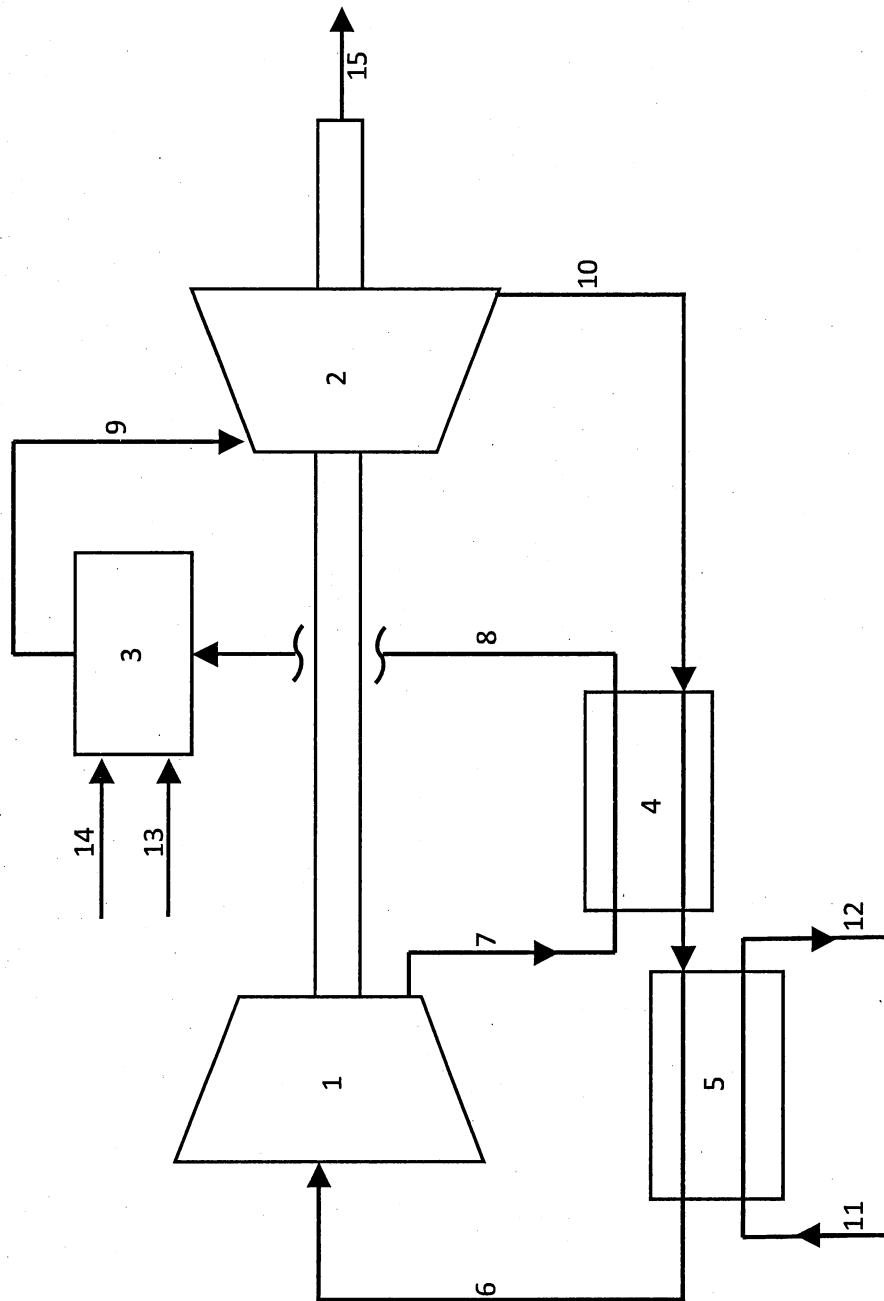


FIG. 1

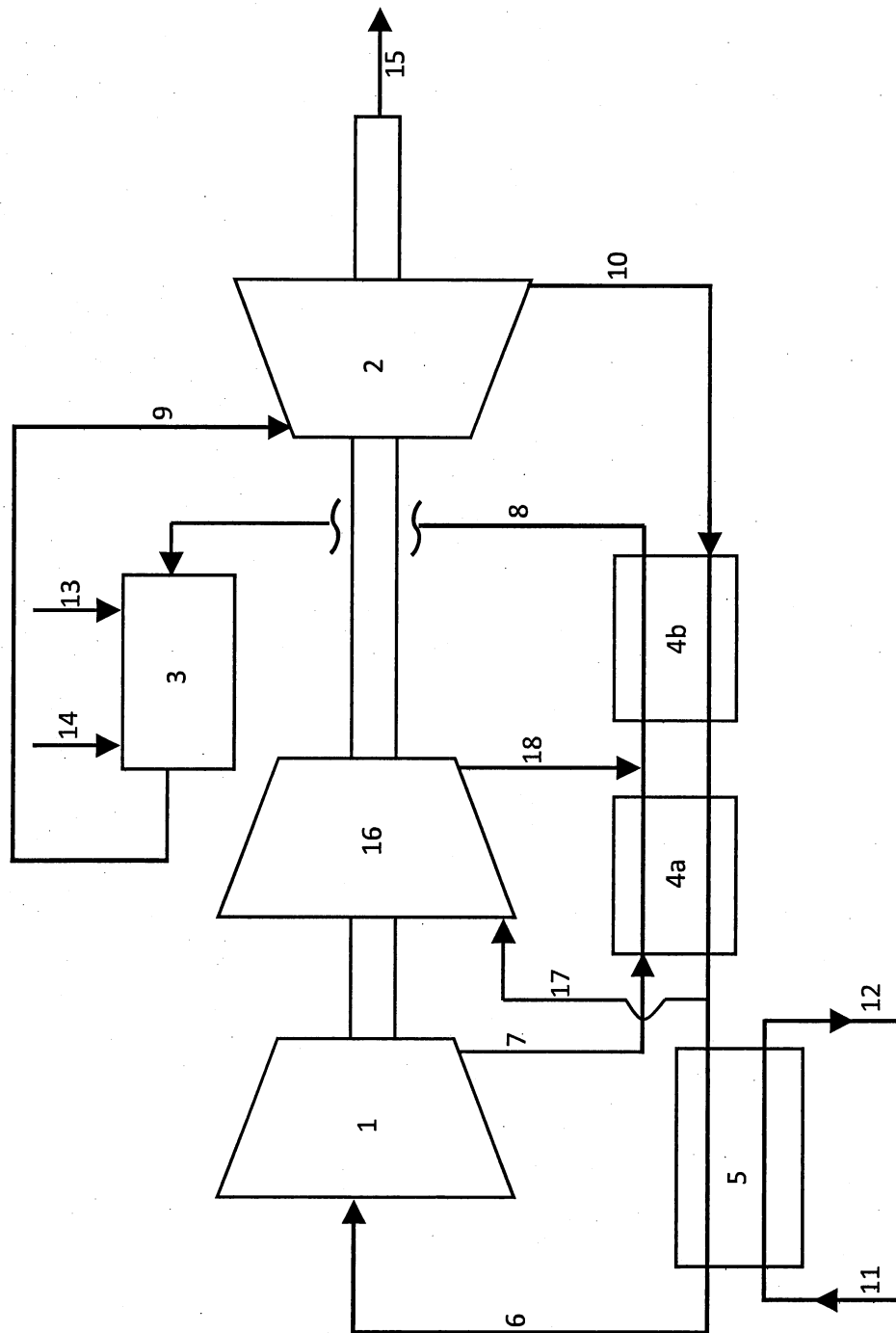


FIG. 2

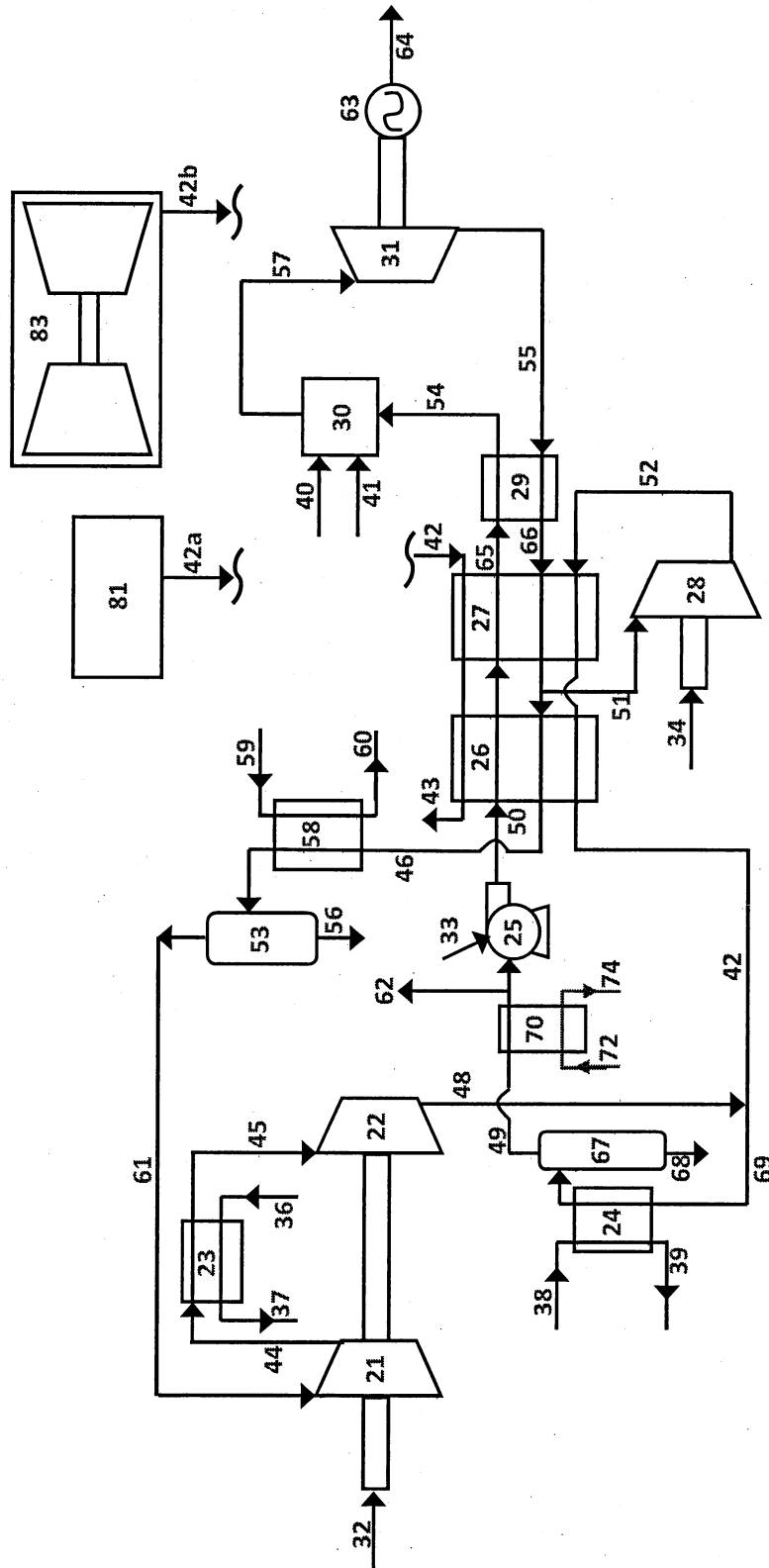


FIG. 3