



(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) 
1-0020613

(51)⁷ F02C 3/34, F01K 23/10, 25/10, F02C
7/143, F17C 9/04

(13) B

(21) 1-2014-01779

(22) 01.11.2012

(86) PCT/US2012/063012 01.11.2012

(87) WO2013/067149 10.05.2013

(30) 61/554,880 02.11.2011 US

61/555,096 03.11.2011 US

61/597,717 11.02.2012 US

(45) 25.03.2019 372

(43) 25.08.2014 317

(73) 8 RIVERS CAPITAL, LLC (US)

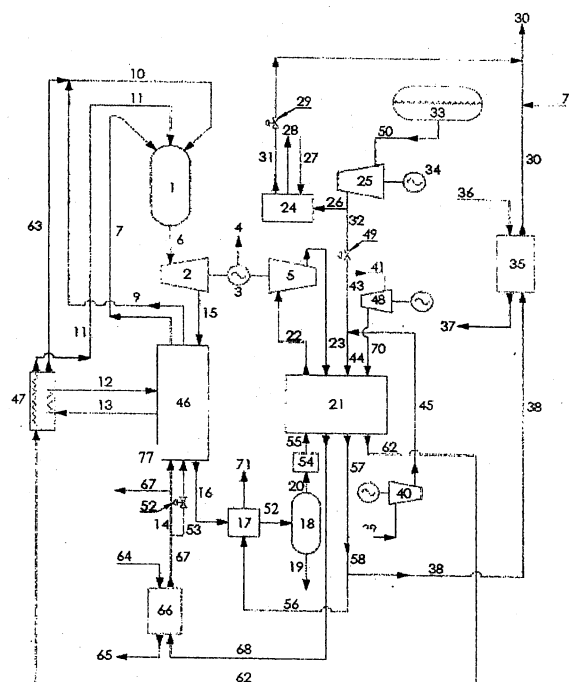
406 Blackwell Street, 4th Floor, Durham, North Carolina 27701, United States of America

(72) Rodney John ALLAM (GB), Jeremy Eron FETVEDT (US)

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

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP PHÁT ĐIỆN

(57) Sáng chế đề xuất hệ thống và phương pháp phát điện tích hợp và hệ thống và phương pháp và hệ thống làm bay hơi khí tự nhiên hóa lỏng (LNG). Cụ thể hơn, nhiệt từ dòng chứa CO₂ (15) từ phương pháp và hệ thống phát điện có thể được sử dụng để làm nóng (21) LNG để tái khí hóa (44) thành CO₂ dạng khí từ dòng chứa CO₂ được hóa lỏng (55). CO₂ hóa lỏng có thể được bơm và/hoặc tuần hoàn về lại đến buồng đốt (1) trong phương pháp và hệ thống phát điện.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới việc tích hợp hệ thống sản xuất điện với hệ thống tái khí hóa khí tự nhiên hóa lỏng. Cụ thể hơn, sáng chế đề cập tới hệ thống tích hợp sử dụng sự trao đổi nhiệt để làm lạnh dòng tuần hoàn trong hệ thống sản xuất điện và làm nóng và khí hóa dòng khí thiên nhiên hóa lỏng (Liquefied Natural Gas – LNG).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Thông thường, khí tự nhiên (nghĩa là, chủ yếu là metan) thường được hóa lỏng để dễ dàng lưu trữ và/hoặc vận chuyển và được tái khí hóa cho việc sử dụng cuối cùng trong thiết bị khí hóa LNG. Nói chung, việc tái khí hóa yêu cầu nén khí tự nhiên (“Natural Gas - NG”) đến áp suất đường ống yêu cầu – ví dụ, khoảng 1.000 psi (6,9 MPa). Thông thường, sau khi nén, NG vẫn ở hoặc gần nhiệt độ ở nhiệt độ thấp và do đó phải được làm nóng để nâng nhiệt độ đến nhiệt độ môi trường xung quanh. Điều này thường được thực hiện với bể nước được làm nóng bằng lò đốt chìm, lò đốt này có thể sử dụng một phần nhiệt độ môi trường xung quanh NG làm nhiên liệu. Thông thường, khoảng 1% - 2% LNG ở thiết bị tái khí hóa phải được đốt để làm nóng LNG đến nhiệt độ môi trường xung quanh sau khi nó đã được nén, và điều này tạo ra các tác động đáng kể đến hiệu suất, chi phí, sự tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch, và khí thải CO₂. Việc tạo ra hệ thống và phương pháp tái khí hóa mà khắc phục được các nhược điểm này là có ích.

Khí tự nhiên, than, và các nhiên liệu chứa cacbon khác thường được sử dụng trong các chu trình sản xuất điện, như các hệ thống tuabin khí kiểu chu trình hỗn hợp, các hệ thống than nghiền siêu tới hạn, và các hệ thống khác. Các hệ thống sản xuất điện khác sử dụng khí tự nhiên, than, và các nhiên liệu chứa cacbon khác làm nhiên liệu vẫn còn được sử dụng hoặc đưa ra. Tuy nhiên, hiệu suất sản xuất điện là nhân tố hạn chế trong việc tích hợp các công nghệ sản xuất điện mới. Do vậy, sẽ rất có ích nếu tạo ra hệ thống và phương pháp sản xuất điện có hiệu suất được cải thiện.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Sáng chế đề xuất việc tích hợp các hệ thống mà có thể cải thiện hiệu suất và giảm chi phí trong cả hai hệ thống này. Cụ thể, sáng chế đề xuất việc tích hợp phương pháp và hệ thống phát điện với phương pháp và hệ thống tái khí hóa LNG. Sáng chế còn đề xuất việc tích hợp quá trình vận chuyển CO₂ với quá trình vận chuyển LNG bằng đường thủy.

WO 2007/148984 bộc lộ phương pháp tái khí hóa LNG. Khí tự nhiên được đốt trong buồng đốt để tạo ra nhiệt nhằm làm bay hơi LNG. Nhiệt này được truyền từ buồng đốt đến LNG trong hệ thống trao đổi nhiệt kín, trong đó oxy gần như tinh khiết được dùng cho việc đốt cháy khí tự nhiên; CO₂ được tách ra khỏi khí xả để xuất khẩu hoặc làm lỏng đọng.

Hệ thống và phương pháp phát điện sử dụng chủ yếu CO₂ trong chu trình đốt khép kín đã được mô tả trong công bố đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 2011/0179799, mà toàn bộ nội dung của nó được đưa hoàn toàn vào đây bằng cách viện dẫn, và trong các phương án thực hiện khác nhau, một hoặc nhiều bộ phận hoặc các điều kiện của phương pháp và hệ thống phát điện đã được bộc lộ trong tài liệu trên có thể được đưa vào trong phương pháp và hệ thống phát điện theo sáng chế. Chu trình đốt có thể sử dụng tuabin có tỷ số áp suất cao nhằm làm giãn nở hỗn hợp các sản phẩm đốt được tạo ra trong quá trình đốt nhiên liệu bằng oxy với sự có mặt của dòng chất lỏng CO₂ đang hoạt động (dòng này thường được tuần hoàn – ít nhất trong phần – đi qua hệ thống khép kín). Trong các phương án thực hiện khác nhau, chu trình CO₂ như mô tả trên đây có thể được sử dụng trong việc sản xuất điện sử dụng NG, than, hoặc các vật liệu cacbon khác làm nguồn nhiên liệu. Khí xả nóng của tuabin được sử dụng để làm nóng sơ bộ một phần dòng chất lỏng tuần hoàn CO₂ đang hoạt động trong bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm. Dòng chất lỏng tuần hoàn CO₂ đang hoạt động còn có thể được làm nóng bằng cách sử dụng nguồn nhiệt thứ hai, như nhiệt thu được từ năng lượng nén từ nhà máy sản xuất O₂ được sử dụng để cung cấp oxy cho quá trình đốt. Nhiên liệu và các tạp chất thu được từ quá trình đốt (ví dụ, các hợp chất lưu huỳnh, CO₂, H₂O, tro, Hg, v.v.) có thể được tách ra để thải loại mà không phát xạ vào khí quyển. Hệ thống này có thể

tạo ra dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao (nghĩa là, tuần hoàn là chất lỏng đang hoạt động) và dòng sản phẩm CO₂ áp suất cao (nghĩa là, CO₂ dư thừa mà không được tuần hoàn trong buồng đốt và chúng có thể được thu lại để sử dụng, như thu hồi dầu tăng cường, hoặc cảng hóa). Điều này có thể đạt được bằng cách nén dòng khí xả tuabin đã được làm nguội từ bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm trong hệ thống nén nhiều giai đoạn.

Sáng chế đề xuất khả năng tích hợp hệ thống sản xuất điện bằng chu trình CO₂ sử dụng nhiên liệu NG, than, hoặc các vật liệu cacbon khác với việc tái khí hóa LNG sao cho nhiệt từ một hoặc nhiều dòng của hệ thống phát điện bằng CO₂ có thể được sử dụng để làm nóng NG nén trong khi đồng thời làm lạnh một hoặc nhiều dòng xử lý ra khỏi chu trình CO₂. Theo một số phương án thực hiện sáng chế, việc làm lạnh từ dòng NG nén trong hệ thống tái khí hóa LNG có thể là thích hợp với điều kiện cho phép loại bỏ một hoặc nhiều bộ phận nén ra khỏi chu trình CO₂ và hơn là hóa lỏng khí, dòng tuần hoàn so với LNG ở nhiệt độ thấp. Việc tích hợp hệ thống phát điện với hệ thống khí hóa LNG có thể tăng hiệu suất của quá trình sản xuất điện bằng chu trình CO₂ lên hơn 60%.

Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, việc tích hợp quá trình làm nóng LNG với bước nén CO₂ trong hệ thống phát điện chu trình khép kín và quá trình này có thể hữu ích để giảm hoặc loại bỏ việc tiêu thụ nhiên liệu cần để làm nóng LNG trong quá trình tái khí hóa thông thường. Hơn nữa, việc hóa lỏng dòng khí xả giàu CO₂ của tuabin thoát ra khỏi đầu làm lạnh của bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm theo sự tách ly nước ở dạng lỏng từ dòng khí xả tuabin có thể được thực hiện đồng thời với việc làm nóng dòng LNG thứ nhất đến nhiệt độ mong muốn, như lớn hơn khoảng 32°F (0°C). Sau đó, CO₂ lỏng có tỷ trọng cao có thể được bơm đến áp suất đủ cao được tuần hoàn trở lại trong quá trình đốt là chất lỏng CO₂ đang hoạt động, và điều này có thể đạt được với việc tiết kiệm điện một cách đáng kể so với phương pháp nén khí thông thường. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, khí tự nhiên từ bộ trao đổi nhiệt được sử dụng để hóa lỏng CO₂ có thể được làm nóng đến gần nhiệt độ môi trường xung quanh nên nó có thể được cung cấp cho đường ống dẫn khí tự nhiên. Ví dụ, điều này có thể được thực hiện bằng cách làm lạnh dòng nước làm lạnh đến nhiệt độ mong muốn, như khoảng từ

0°C đến 10°C. Sau đó, nước lạnh này có thể được sử dụng trong hệ thống chu trình khép kín để làm lạnh không khí được nén trước khi cung cấp đến nhà máy oxy ở nhiệt độ thấp để giảm sự tiêu thụ điện của máy nén khí. Hơn nữa, dòng CO₂ hóa lỏng có thể được làm lạnh đến nhiệt độ nằm trong khoảng 10°C của nhiệt độ hóa rắn của CO₂, và điều này có thể là hữu ích để làm giảm tới mức tối thiểu điện năng bơm CO₂ lỏng trong khi làm tăng tới mức tối đa tỷ trọng của CO₂ lỏng. Có lợi, nếu một phần khí tự nhiên được làm nóng thoát ra khỏi bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ có thể được tuần hoàn và hòa lẫn với nước lạnh, LNG áp suất cao thoát ra khỏi các bơm LNG chính để cung cấp chất lỏng khí tự nhiên ở nhiệt độ nằm trong khoảng 10°C trên nhiệt độ hóa rắn của CO₂. Chất lỏng khí tự nhiên hỗn hợp này có thể được sử dụng như môi trường làm lạnh trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, bộ cấp nhiệt LNG song song có thể được lắp ở nhiệt độ vận hành cần thiết như hệ thống dự phòng với sự điều khiển cho phép chuyển mạch ngay lập tức từ hệ thống phát điện chính sang bộ cấp nhiệt LNG trong trường hợp hệ thống phát điện phải ngừng hoạt động. Tương tự, ít nhất một bơm LNG sơ cấp bổ sung xả ở áp suất đường ống yêu cầu có thể được lắp nếu bơm LNG đang vận hành cung cấp cho hệ thống phát điện ngừng hoạt động, bơm thứ hai này có thể vận hành và đáp ứng các yêu cầu cung cấp LNG. Hơn nữa, việc xả bơm LNG thứ hai ở áp suất cao yêu cầu có thể được thực hiện và có thể được sử dụng để cung cấp dòng khí tự nhiên thứ hai để sử dụng làm nhiên liệu cho buồng đốt trong hệ thống phát điện. Việc làm lạnh từ dòng này có thể được phục hồi bằng cách làm nguội nó trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ trong mạch song song với mạch LNG thứ nhất.

Theo các phương án thực hiện nhất định, sáng chế đề xuất phương pháp phát điện. Ví dụ, phương pháp phát điện có thể bao gồm bước đốt nhiên liệu chứa cacbon trong buồng đốt với sự có mặt của oxy và CO₂ để tạo ra dòng tuần hoàn CO₂ và tạo ra dòng sản phẩm đốt hỗn hợp. Phương pháp này có thể còn bao gồm bước đưa dòng sản phẩm đốt hỗn hợp qua tuabin để phát điện và tạo ra dòng khí xả tuabin chứa CO₂ siêu tới hạn, đưa dòng khí xả tuabin chứa CO₂ siêu tới hạn đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất để chuyển đổi CO₂ siêu tới hạn thành dòng chứa CO₂ dạng khí, và đưa dòng CO₂ dạng khí đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai để tạo ra dòng

CO₂ lỏng. Bước đưa dòng CO₂ dạng khí đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai có thể còn bao gồm việc đưa dòng khí tự nhiên hóa lỏng (LNG) đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai và do đó tạo ra dòng khí tự nhiên (NG) dạng khí. Phương pháp này có thể còn bao gồm bước nén dòng CO₂ lỏng để tạo ra dòng tuần hoàn chứa CO₂ siêu tới hạn và đưa dòng tuần hoàn CO₂ đến buồng đốt. Nếu muốn, một phần LNG có thể được sử dụng làm nhiên liệu cho buồng đốt, và dòng sản phẩm NG có thể được cung cấp ở các nhiệt độ và áp suất thích hợp cho việc đưa vào đường ống phân phối khí tự nhiên.

Theo phương án thực hiện khác, sáng chế đề xuất phương pháp phát điện có thể bao gồm các bước sau: đốt nhiên liệu chứa cacbon trong buồng đốt với sự có mặt của oxy và CO₂ để tạo ra dòng tuần hoàn CO₂ và tạo ra dòng sản phẩm đốt hỗn hợp; đưa dòng sản phẩm đốt hỗn hợp này đi qua tuabin để phát điện và tạo ra dòng khí xả tuabin chứa CO₂; đưa dòng khí xả tuabin chứa CO₂ đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất để truyền nhiệt từ dòng khí xả tuabin đến dòng tuần hoàn CO₂ và tạo ra dòng khí xả tuabin đã được làm nguội; đưa dòng khí tự nhiên hóa lỏng (LNG) và CO₂ từ dòng khí xả tuabin đã được làm nguội đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai để làm lạnh và hóa lỏng CO₂ và làm nóng và làm bay hơi LNG để tạo ra dòng CO₂ hóa lỏng và dòng khí tự nhiên (NG) dạng khí; nén dòng CO₂ hóa lỏng để tạo ra dòng tuần hoàn CO₂; và đưa dòng tuần hoàn CO₂ đưa đến buồng đốt. Bộ trao đổi nhiệt thứ nhất có thể được đặc trưng bởi bộ trao đổi nhiệt của sản phẩm đốt, và bộ trao đổi nhiệt thứ hai có thể được đặc trưng bởi bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂.

Buồng đốt có thể là buồng đốt bất kỳ thích hợp cho việc đốt ở nhiệt độ và áp suất yêu cầu. Dòng tuần hoàn CO₂ đưa đến buồng đốt có thể được cung cấp ở áp suất khoảng 150 bar (15 MPa) hoặc lớn hơn, khoảng 200 bar (20 MPa) hoặc lớn hơn, khoảng 250 bar (25 MPa) hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 300 bar (30 MPa) hoặc lớn hơn. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, áp suất có thể nằm trong khoảng từ 150 bar (15 MPa) đến 400 bar (40 MPa), nằm trong khoảng từ 200 bar (20 MPa) đến 380 bar (38 MPa), hoặc nằm trong khoảng từ 250 bar (25 MPa) đến 350 bar (35 MPa). Việc đốt trong buồng đốt có thể được thực hiện ở nhiệt độ, ví dụ, khoảng 500°C hoặc lớn hơn, khoảng 600°C hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 700°C hoặc lớn hơn. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, việc đốt có thể được

thực hiện ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 500°C đến 1600°C, nằm trong khoảng từ 550°C đến 1200°C, hoặc nằm trong khoảng từ 600°C đến 1000°C. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, thậm chí các vùng nhiệt độ khác cũng có thể được sử dụng, như một cách mô tả khác dưới đây.

Phương pháp phát điện có thể được đặc trưng bởi tỷ số áp suất qua tuabin. Cụ thể là, tỷ số giữa áp suất của dòng sản phẩm đốt hỗn hợp (đi vào tuabin) với áp suất của dòng khí xả tuabin chứa CO₂ (đi ra khỏi tuabin) có thể là 12 hoặc nhỏ hơn, khoảng 10 hoặc nhỏ hơn, hoặc khoảng 8 hoặc nhỏ hơn. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, tỷ số áp suất có thể nằm trong khoảng từ 4 đến 12, nằm trong khoảng từ 5 đến 10, hoặc nằm trong khoảng từ 6 đến 10.

Bộ trao đổi nhiệt của sản phẩm đốt mà dòng sản phẩm đốt hỗn hợp được đi trực tiếp qua đó có thể là bộ trao đổi nhiệt nhiều tầng hoặc một dãy hai hoặc nhiều hơn, tốt hơn là ba, bộ trao đổi nhiệt nối tiếp. Trong dãy này, bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ nhất (đi từ đầu nóng đến đầu lạnh) có thể truyền nhiệt ở mức cao, vùng nhiệt độ rộng – ví dụ, từ nhiệt độ ở đầu ra của tuabin đến vùng nằm trong khoảng từ 150°C đến 200°C. Bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ hai có thể truyền nhiệt ở mức trung bình, phạm vi nhiệt độ hẹp hơn – ví dụ, từ nhiệt độ ở đầu ra của bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ nhất đến vùng nằm trong khoảng từ 80°C đến 140°C. Bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ ba có thể truyền nhiệt trên vùng nhiệt độ thấp – ví dụ, vùng nằm trong khoảng từ 20°C đến 75°C. Các vùng này có thể áp dụng cho các chất lỏng đi từ đầu lạnh đến đầu nóng của mỗi bộ trao đổi nhiệt trong dãy này. Dãy này có thể có lợi trong việc làm nóng bổ sung dòng tuần hoàn CO₂ đi từ đầu lạnh của các bộ trao đổi nhiệt nối tiếp đến đầu nóng của các bộ trao đổi nhiệt có thể được đưa vào ở điểm xác định. Ví dụ, dòng đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ ba và đi vào bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ hai có thể được tách ra, và một phân đoạn có thể đi vào bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ hai trong khi phần khác được làm nóng từ nguồn bên ngoài, như nhiệt nén bị giữ lại bởi thiết bị tách khí. Sau đó, phân đoạn được làm nóng cao hơn có thể kết hợp với dòng đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ hai và đi vào bộ trao đổi nhiệt nối tiếp thứ nhất. Nhiệt bổ sung có thể có lợi để đưa nhiệt độ của dòng tuần hoàn CO₂ đến ngưỡng thích hợp tương ứng với nhiệt độ của dòng khí xả tuabin. Cụ thể, dòng tuần hoàn CO₂ có thể được làm nóng đến 50°C hoặc

thấp hơn, 40°C hoặc thấp hơn, hoặc 30°C hoặc thấp hơn nhiệt độ của dòng khí xả tuabin.

Phương pháp phát điện có thể còn được đặc trưng bởi tính chất của LNG mà được xử lý song song với chu trình đốt. Ví dụ, LNG lưu trữ có thể thường ở áp suất thấp hơn khoảng 10 bar (1 MPa), thấp hơn khoảng 5 bar (0,5 MPa), hoặc thấp hơn khoảng 1 bar (0,1 MPa). Do đó, có thể có lợi cho LNG đưa vào trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai có thể cung cấp với áp suất tăng. Cụ thể là, LNG có thể được bơm đến áp suất khoảng 30 bar (3 MPa) hoặc lớn hơn, khoảng 40 bar (4 MPa) hoặc lớn hơn, khoảng 50 bar (5 MPa) hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 60 bar (6 MPa) hoặc lớn hơn. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, LNG có thể được bơm đến áp suất nằm trong khoảng từ 50 bar (5 MPa) đến 90 bar (9 MPa), nằm trong khoảng từ 55 bar (5,5 MPa) đến 85 bar (8,5 MPa) hoặc nằm trong khoảng từ 60 bar (6 MPa) đến 80 bar (8 MPa).

LNG còn có thể được lưu trữ ở nhiệt độ dưới điểm hóa rắn của CO₂ tại các áp suất đang hoạt động được mô tả dưới đây. Do đó, có thể là có ích để tăng nhiệt độ của LNG trước khi LNG đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai mà loại bỏ nhiệt từ dòng CO₂ và hóa lỏng dòng CO₂. Theo các phương án thực hiện nhất định của sáng chế, điều này có thể đạt được thông qua việc sử dụng phần được làm nóng, dòng NG dạng khí được tạo ra trong (và đi ra khỏi) bộ trao đổi nhiệt thứ hai (bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂). Cụ thể là, phân đoạn của dòng NG dạng khí được tạo ra bởi bộ trao đổi nhiệt thứ hai có thể được rút ra và đưa vào dòng LNG mà đưa vào trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai, tốt hơn là ngay trước khi dòng LNG đưa vào trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai. Phân đoạn của dòng NG dạng khí nạp vào dòng LNG có thể là lượng đủ để nâng nhiệt độ của dòng LNG đến nhiệt độ cao hơn nhiệt độ hóa rắn của CO₂. Tốt hơn nếu, nó đủ để nâng nhiệt độ của dòng LNG đến nhiệt độ trong khoảng 25°C, trong khoảng 20°C, trong khoảng 15°C, hoặc trong khoảng 10°C của nhiệt độ hóa rắn của CO₂.

Sự trao đổi nhiệt trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai còn có thể có đặc điểm liên quan đến nhiệt độ đến nhiệt độ dòng CO₂ được làm lạnh. Cụ thể là, CO₂ từ dòng khí xả tuabin đã được làm nguội có thể được làm lạnh (có thể được coi là quá lạnh) trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai đến nhiệt độ cao hơn nhiệt độ hóa rắn của CO₂

và trong khoảng 40°C, trong khoảng 30°C, hoặc cao hơn khoảng 20°C so với nhiệt độ hóa rắn của CO₂.

Có lợi, nếu dòng CO₂ hóa lỏng có thể được nén đến áp suất thích hợp để phun vào buồng đốt là dòng tuần hoàn CO₂. Cụ thể là, bước nén dòng tuần hoàn CO₂ này có thể bao gồm bước đưa dòng tuần hoàn CO₂ đi qua bơm chất lỏng. Theo một số phương án thực hiện sáng chế, tuabin phát điện và bơm chất lỏng có thể được bố trí sao cho tuabin phát điện tạo ra năng lượng trên trục mà có thể được sử dụng để dẫn động bơm chất lỏng. Dòng CO₂ hóa lỏng và nén đi ra khỏi bơm chất lỏng có thể được làm nóng. Đặc biệt, việc làm nóng có thể bao gồm bước đưa dòng tuần hoàn CO₂ bị nén quay trở lại qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai. Theo một số phương án thực hiện sáng chế, dòng tuần hoàn CO₂ có thể được làm nóng đến nhiệt độ khoảng -20°C hoặc lớn hơn, khoảng -10°C hoặc lớn hơn, khoảng 0°C hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 10°C hoặc lớn hơn.

Ngoài bộ trao đổi nhiệt thứ nhất và thứ hai, một hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt khác cũng có thể được sử dụng để duy trì điện thế của sự trao đổi nhiệt trong một hoặc nhiều bộ phận của hệ thống phát điện. Điện thế của sự trao đổi nhiệt này có thể được cấp cho nhiều dòng trong phương pháp được mô tả ngay sau đây.

Theo một số phương án thực hiện sáng chế, nhiên liệu chứa cacbon được sử dụng trong buồng đốt có thể bao gồm NG thu được từ dòng LNG. Phương pháp theo các phương án thực hiện khác của sáng chế có thể sử dụng các nhiên liệu chứa cacbon bổ sung hoặc khác nhau, bao gồm than, sinh khối, và các nhiên liệu tương tự. Để cấp dòng NG đến buồng đốt, phương pháp này có thể bao gồm bước đưa LNG đi qua bơm thứ nhất và bơm thứ hai để tăng áp suất của nó, đến áp suất đã được mô tả trên đây. Sau đó, LNG ra khỏi bơm thứ hai có thể được làm nóng, đến nhiệt độ khoảng 100°C hoặc lớn hơn, khoảng 150°C hoặc lớn hơn, khoảng 200°C hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 250°C hoặc lớn hơn. Việc làm nóng này có thể đạt được nhờ việc đưa LNG đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai để tạo ra dòng NG dạng khí. Nếu muốn, dòng NG dạng khí có thể còn được làm nóng nhờ các cách trao đổi nhiệt khác.

Ví dụ, việc làm nóng dòng NG dạng khí có thể bao gồm việc sử dụng nhiệt nén từ thiết bị tách khí, cụ thể là thiết bị tách khí ở nhiệt độ thấp. Thiết bị tách khí

này có thể được tích hợp bên trong hệ thống phát điện sao cho oxy được tạo ra trong thiết bị tách khí có thể được nạp trực tiếp vào buồng đốt trong phương pháp phát điện theo sáng chế. Hơn nữa, các cách sử dụng nhiệt nén từ thiết bị tách khí sẽ được mô tả dưới đây.

Theo các phương án thực hiện nhất định của sáng chế, phương pháp phát điện có thể bao gồm bước đưa dòng khí xả tuabin đã được làm nguội đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba sau khi đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất và trước khi đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai. Bộ trao đổi nhiệt thứ ba có thể là bộ trao đổi nhiệt ở nhiệt độ thấp, và việc đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba có thể có hiệu quả nhằm tạo ra việc làm lạnh ngay lập tức của dòng khí xả tuabin. Việc dòng khí xả tuabin đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất làm lạnh đáng kể dòng khí xả tuabin thông qua vùng nhiệt độ tương đối cao – ví dụ, từ vùng nhiệt độ nằm trong khoảng từ 600°C đến 800°C (hoặc nhiệt độ gần nhiệt độ đốt được mô tả trong bản mô tả này) đến vùng nhiệt độ nằm trong khoảng từ 50°C đến 20°C. Sau đó, dòng khí xả tuabin đã được làm nguội tiếp nhận sự làm lạnh ngay lập tức trong bộ trao đổi nhiệt thứ ba – ví dụ, còn làm lạnh dòng khí xả tuabin đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ -10°C đến 15°C, nằm trong khoảng từ -5°C đến 12°C, hoặc nằm trong khoảng từ 0°C đến 10°C. Do đó, việc làm lạnh ngay lập tức này có thể được thực hiện trước khi dòng khí xả tuabin đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai, mà tạo ra sự quá lạnh và hóa lỏng của CO₂ từ dòng khí xả tuabin. Trong bộ trao đổi nhiệt thứ ba, dòng khí xả tuabin có thể được làm lạnh ngược với phân đoạn của dòng NG dạng khí đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ hai.

Sau khi đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba và trước khi đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai, dòng khí xả tuabin đã được làm nguội có thể được đi qua một trong số hoặc cả thiết bị tách nước ở dạng lỏng và thiết bị sấy khử ẩm. Do đó, với việc nước được loại ra khỏi dòng khí xả tuabin, dòng CO₂ hóa lỏng từ dòng khí xả tuabin đã được làm nguội có thể được tạo ra như dòng CO₂ khô. Nếu muốn (và tùy thuộc vào nhiên liệu đốt được sử dụng), một hoặc nhiều thiết bị tách và/hoặc lọc khác cũng có thể được tính đến để loại bỏ các tạp chất khác khỏi dòng khí xả tuabin. Tốt hơn nếu, dòng CO₂ từ khí xả của tuabin có thể được đưa vào bộ trao đổi nhiệt thứ hai có độ tinh khiết của CO₂ khoảng 95% hoặc lớn hơn, khoảng 97% hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 99% hoặc lớn hơn. Theo một số phương án thực hiện sáng chế, dòng CO₂

khô có thể được làm khô đến nhiệt độ điểm sương khoảng -30°C hoặc thấp hơn, khoảng -40°C hoặc thấp hơn, khoảng -50°C hoặc thấp hơn, hoặc khoảng -60°C hoặc thấp hơn.

Theo các phương án thực hiện nhất định của sáng chế, một phần dòng tuần hoàn CO_2 đưa đến buồng đốt có thể được làm nóng bằng cách sử dụng nhiệt nén từ thiết bị tách khí. Cụ thể, nhiệt có thể được truyền đến dòng tuần hoàn CO_2 trên toàn bộ vùng nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C .

Cụ thể, dòng tuần hoàn CO_2 đưa đến buồng đốt có thể được tách thành phân đoạn thứ nhất và phân đoạn thứ hai. Phân đoạn thứ nhất của dòng tuần hoàn CO_2 đưa đến buồng đốt có thể được nạp trực tiếp đến buồng đốt. Phân đoạn thứ hai của dòng tuần hoàn CO_2 đưa đến buồng đốt có thể được kết hợp với oxy để tạo ra dòng chất oxy hóa được đưa vào buồng đốt, dòng chất oxy hóa có khả năng được cung cấp theo các hệ số khác nhau. Ví dụ, dòng chất oxy hóa có thể chứa khoảng từ 20% đến 40% oxy và khoảng từ 60% đến 80% CO_2 trên cơ sở phân tử. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, dòng chất oxy hóa có thể chứa khoảng từ 25% đến 35% oxy và khoảng từ 65% đến khoảng 75% CO_2 trên cơ sở phân tử.

Cụ thể, phương pháp phát điện theo sáng chế có thể có đặc điểm liên quan đến hiệu suất toàn phần của việc phát điện. Ví dụ, việc phát điện có thể đạt được với hiệu suất toàn phần trên năng suất tỏa nhiệt ròng ít nhất là 60%. Theo các phương án thực hiện khác của sáng chế, hiệu suất có thể ít nhất là 65%.

Theo phương án thực hiện khác, sáng chế có thể đề xuất nhiều hệ thống phát điện. Theo các phương án thực hiện nhất định của sáng chế, hệ thống phát điện có thể bao gồm bộ phận sau: buồng đốt được làm thích hợp để đốt nhiên liệu chứa cacbon với sự có mặt của oxy và dòng tuần hoàn CO_2 để tạo ra dòng sản phẩm đốt hỗn hợp; tuabin sản xuất điện nối thông chất lưu với buồng đốt và được làm thích hợp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt hỗn hợp và cung cấp dòng khí xả tuabin chứa CO_2 ; bộ trao đổi nhiệt thứ nhất nối thông chất lưu với tuabin sản xuất điện và buồng đốt và được làm thích hợp để truyền nhiệt từ dòng khí xả tuabin chứa CO_2 đến dòng tuần hoàn CO_2 để tạo ra dòng khí xả tuabin đã được làm nguội chứa CO_2 ; bộ trao đổi nhiệt thứ hai nối thông chất lưu với bộ trao đổi nhiệt thứ nhất và được làm phù hợp để hóa lỏng CO_2 trong dòng khí xả tuabin; máy nén khí tuần hoàn

được làm phù hợp để nén CO_2 hóa lỏng đến áp suất thích hợp để tuần hoàn đến buồng đốt; và nguồn khí tự nhiên hóa lỏng (LNG) nối thông chất lưu với bộ trao đổi nhiệt thứ hai. Trong các phương án thực hiện khác của sáng chế, hệ thống này có thể còn bao gồm bộ trao đổi nhiệt thứ ba được bố trí giữa và nối thông chất lưu với bộ trao đổi nhiệt thứ nhất và bộ trao đổi nhiệt thứ hai. Bộ trao đổi nhiệt thứ ba có thể có đầu vào nối thông chất lưu với đầu ra trên bộ trao đổi nhiệt thứ nhất, đầu vào nối thông chất lưu với đầu ra trên bộ trao đổi nhiệt thứ hai, và đầu ra nối thông chất lưu với đầu vào trên bộ trao đổi nhiệt thứ hai. Hệ thống theo sáng chế có thể còn bao gồm một hoặc nhiều thiết bị loại bỏ nước được bố trí giữa đầu ra trên bộ trao đổi nhiệt thứ ba và đầu vào trên bộ trao đổi nhiệt thứ hai.

Hệ thống phát điện như được thể hiện dưới đây có thể được tạo cấu hình sao cho tuabin sản xuất điện được làm phù hợp để tạo ra năng lượng trên trục cho bơm chất lỏng. Cụ thể hơn, bơm chất lỏng có thể được bố trí giữa và được nối thông chất lưu với nguồn LNG và bộ trao đổi nhiệt thứ hai.

Hệ thống phát điện như được thể hiện dưới đây có thể còn bao gồm thiết bị tách khí. Cụ thể hơn, thiết bị tách khí có thể là thiết bị tách khí ở nhiệt độ thấp bao gồm máy nén khí đoạn nhiệt chính và máy nén khí tăng áp. Máy nén khí đoạn nhiệt chính có thể có hai cấp đoạn nhiệt.

Trong phương án thực hiện khác của sáng chế, hệ thống phát điện theo sáng chế có thể bao gồm buồng đốt trong đó nhiên liệu chứa cacbon hoặc hydrocacbon được đốt với oxy và hòa lẫn với dòng tuần hoàn được làm nóng chứa CO_2 để tạo ra dòng tổ hợp được làm giãn nở trong tuabin sản xuất điện với khí xả của tuabin làm nóng dòng tuần hoàn trong bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm và với máy nén khí nén khí xả lạnh của tuabin đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm đến áp suất tuần hoàn yêu cầu. Cụ thể là, hệ thống này có thể có một hoặc nhiều đặc điểm sau.

- Máy nén khí tuần hoàn có thể là bơm chất lỏng.
- Dòng khí xả tuabin đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm có thể được hóa lỏng trong bộ trao đổi nhiệt trước khi đi vào bơm chất lỏng tuần hoàn.

- Nhiệt được loại ra khỏi dòng khí xả tuabin trong bộ trao đổi nhiệt có thể được truyền đến dòng khí tự nhiên lỏng mà có thể được làm nóng đến nhiệt độ được xác định bởi nhiệt độ gần với nhiệt độ hóa lỏng CO₂ lạnh.
- Dòng khí tự nhiên lỏng có thể giảm bớt việc xả của bơm LNG áp suất cao ở áp suất thích hợp với việc cấp khí tự nhiên áp suất cao được làm nóng vào trong đường ống vận chuyển.
- Phần khí tự nhiên được làm nóng đi ra khỏi đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ có thể được tuần hoàn và hòa lẫn với dòng LNG được nén từ bơm LNG để tạo ra dòng khí tự nhiên ở nhiệt độ trong khoảng 10°C và trên nhiệt độ hóa rắn của CO₂ và được sử dụng để hóa lỏng dòng CO₂ trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂.
- Dòng CO₂ hóa lỏng có thể được làm quá lạnh đến nhiệt độ cao hơn khoảng 20°C so với nhiệt độ hóa rắn của CO₂.
- Dòng tuần hoàn CO₂ lỏng được nén đi ra khỏi bơm CO₂ lỏng có thể được làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ đến nhiệt độ trên 0°C.
- Nhiên liệu khí tự nhiên dùng cho buồng đốt của hệ thống điện có thể giảm bớt việc xả của bơm LNG áp suất cao và nén áp suất yêu cầu cho quá trình đốt trong bơm LNG thứ hai.
- Khí nhiên liệu lỏng được nén dùng cho buồng đốt của hệ thống điện có thể được làm nóng đến nhiệt độ trên 200°C bằng cách sử dụng nhiệt từ việc làm lạnh, hóa lỏng và làm quá lạnh ít nhất phần làm khô khí xả của tuabin của hệ thống điện cộng thêm nhiệt nén của ít nhất phần không khí cung cấp cho thiết bị oxy ở nhiệt độ thấp mà cấp oxy cho buồng đốt.
- Dòng khí xả tuabin đã được làm nguội đi ra khỏi đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm có thể còn được làm lạnh đến khoảng từ 0°C đến 10°C trong bộ trao đổi nhiệt ngược với phần của dòng khí tự nhiên đi ra khỏi đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂.
- Dòng khí xả tuabin đã được làm nguội ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 0°C đến 10°C có thể được làm khô đến nhiệt độ điểm sương thấp hơn -

50°C nhờ sự kết hợp của thiết bị tách nước ở dạng lỏng và thiết bị sấy khử ẩm.

- Hệ thống điều khiển có thể cho phép chuyển đổi nhanh chóng dòng LNG nén từ việc cung cấp cho hệ thống phát điện và LNG tích hợp đến bộ cấp nhiệt LNG làm nóng tách biệt mà không khiến cho áp suất của đường ống dẫn khí tự nhiên dao động quá 2%.
- Hệ thống điều khiển có thể cho phép chuyển đổi nhanh chóng LNG nén đến hệ thống phát điện từ một bơm cấp đến bơm khác nếu bơm thứ nhất không đủ khả năng cung cấp LNG nén mà không khiến cho áp suất ở đầu vào của tuabin trong hệ thống điện giảm quá 5%.
- Không khí nén được sử dụng để cung cấp cho thiết bị tách khí có thể truyền nhiệt nén đến phần CO₂ tuần hoàn áp suất cao từ hệ thống phát điện trên toàn bộ vùng nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C.
- Không khí nén được sử dụng để cung cấp cho thiết bị tách khí có thể truyền nhiệt nén đến dòng oxy thành phẩm, mà được làm nóng đến nhiệt độ trên 300°C.
- Không khí nén được sử dụng để cung cấp cho thiết bị tách khí có thể truyền nhiệt đến dòng khí nhiên liệu của hệ thống điện áp suất cao, mà được làm nóng đến nhiệt độ trên 300°C.
- Chất lỏng làm lạnh của chu trình khép kín có thể được sử dụng trong bộ trao đổi nhiệt khác để làm lạnh ít nhất một phần không khí cấp cho thiết bị tách khí, và ít nhất một phần nhiệt được truyền để làm lạnh chất lỏng có thể được sử dụng để làm nóng ít nhất một phần CO₂ tuần hoàn áp suất cao đi ra khỏi đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂.
- Chất lỏng làm lạnh của chu trình khép kín có thể được sử dụng trong bộ trao đổi nhiệt khác để làm lạnh ít nhất một phần không khí cấp cho thiết bị tách khí, và ít nhất là một phần nhiệt được truyền để làm lạnh chất lỏng được sử dụng để làm nóng ít nhất một phần khí nhiên liệu áp suất cao dùng cho hệ thống điện.

Hệ thống và phương pháp theo sáng chế còn có lợi ích trong đó hiệu suất tuyệt vời có thể đạt được đồng thời với việc thu hồi cacbon. Do đó, hệ thống và phương pháp đã được thể hiện thỏa mãn được nhu cầu phát điện cùng với việc bẫy và lưu trữ cacbon (Carbon Capture and Storage - CCS). Ngược lại, việc đạt được CCS với hệ thống phát điện thông thường đã được chứng tỏ là khó và/hoặc không có hiệu quả về chi phí, phương pháp được thể hiện dưới đây sử dụng chu trình đốt khép kín có thể đạt được hiệu suất cao và thỏa mãn được các nhu cầu về CCS, trong khi vẫn có hiệu quả về chi phí.

Theo các các phương án thực hiện khác, hệ thống theo sáng chế tạo ra các sự cải thiện về hiệu suất sản xuất và vận chuyển LNG, thông qua việc tích hợp hệ thống và phương pháp vận chuyển CO₂ với hệ thống và phương pháp vận chuyển LNG bằng đường thủy. Việc tích hợp quá trình vận chuyển CO₂ với quá trình vận chuyển LNG bằng đường thủy có thể đưa đến sự cải thiện tổng thể về hiệu suất vận chuyển, hiệu suất sản xuất LNG, tiêu hao năng lượng vận chuyển, và vận chuyển khí thải CO₂. Cụ thể là, trang bị được sử dụng để vận chuyển LNG bằng đường thủy hoặc vận chuyển LNG theo cách khác từ khu vực sản xuất NG đến khu vực phân phối NG có thể được có thể còn được sử dụng để vận chuyển CO₂ bằng đường thủy hoặc vận chuyển CO₂ theo cách khác từ khu vực sản xuất CO₂ đến khu vực tiêu thụ CO₂. Ngược lại, các thùng chứa LNG trống không thường được vận chuyển bằng đường thủy trở lại khu vực sản xuất NG để được làm đầy lại, CO₂ được sản xuất trong hệ thống và phương pháp phát điện được mô tả dưới đây có thể được đổ đầy trong các thùng chứa LNG và vận chuyển bằng đường thủy trở lại khu vực sản xuất NG, mà tại đó CO₂ có thể được sử dụng cho nhiều quá trình, như sản xuất dầu hoặc khí tự nhiên tăng cường, hoặc có thể được cô lập một cách dễ dàng. Do đó, ngoài các lợi ích về hiệu suất liên quan đến việc tích hợp hệ thống phát điện và hệ thống làm bay hơi LNG, sự hợp nhất của việc vận chuyển CO₂ bằng đường thủy từ khu vực tiêu thụ NG/khu vực sản xuất CO₂ đến khu vực sản xuất NG/khu vực tiêu thụ CO₂ làm tăng thêm hiệu suất và tính kinh tế bổ sung mà có thể được đánh giá bởi các chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật này, và đem lại các lợi ích kinh tế.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

FIG.1 là hình vẽ thể hiện bộ phận của hệ thống phát điện được tích hợp với bộ phận của hệ thống làm bay hơi LNG theo các phương án thực hiện nhất định của sáng chế và thể hiện sự truyền nhiệt nhờ vậy mà dòng CO₂ được hóa lỏng và dòng LNG được làm bay hơi để tạo ra dòng NG;

FIG.2 là hình vẽ dạng sơ đồ trình tự thể hiện hệ thống và phương pháp làm bay hơi LNG đã biết để tạo ra NG để đưa vào đường ống; và

FIG.3 là hình vẽ dạng sơ đồ trình tự thể hiện hệ thống và phương pháp theo các phương án thực hiện nhất định của sáng chế trong đó phương pháp và hệ thống phát điện được tích hợp với hệ thống và phương pháp làm bay hơi LNG.

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện sáng chế

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả một cách đầy đủ hơn dựa vào các phương án thực hiện khác nhau. Các phương án thực hiện này được đưa ra để phần mô tả này được tỉ mỉ và đầy đủ, và sẽ truyền đạt một cách đầy đủ phạm vi bảo hộ của sáng chế đến các chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật này. Thực sự, sáng chế có thể được thực hiện theo nhiều dạng khác nhau và sẽ không chỉ giới hạn ở các phương án thực hiện được đưa ra dưới đây; đúng hơn, các phương án thực hiện này được đưa ra để phần mô tả này đáp ứng các yêu cầu pháp lý thích hợp. Như được sử dụng trong bản mô tả, và trong các điều yêu cầu bảo hộ, các dạng số ít “một”, “một chiếc”, “một cái”, bao gồm cả ở số nhiều trừ khi bối cảnh được thể rõ ràng ở trạng thái khác.

Công bố đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 2011/0179799, như nêu trên, mô tả hệ thống và phương pháp sản xuất điện mà chu trình CO₂ được sử dụng trong hệ thống và phương pháp này. Trong hệ thống và phương pháp theo một số phương án thực hiện của sáng chế, chất lỏng luân chuyển CO₂ có thể được tạo ra trong buồng đốt thích hợp cho các điều kiện nhiệt độ cao và áp suất cao cùng với nhiên liệu chứa cacbon (như NG, than, khí đốt tổng hợp, sinh khối, v.v.) và chất oxy hóa, như không khí hoặc O₂. Hệ thống và phương pháp này có thể bao gồm buồng đốt vận hành ở nhiệt độ cao (ví dụ, khoảng 500°C hoặc lớn hơn, khoảng 750°C hoặc lớn

hơn, khoảng 1.000°C hoặc lớn hơn, hoặc khoảng 1.200°C hoặc lớn hơn), và sự có mặt của chất lỏng luân chuyển có thể thực hiện chức năng điều tiết nhiệt độ của dòng chất lỏng đi ra khỏi buồng đốt nên dòng chất lỏng có thể được sử dụng vào việc truyền năng lượng để sản xuất điện. Bản chất của quá trình phản ứng ở nhiệt độ và áp suất cao, và với nồng độ CO₂ tuần hoàn cao, có thể tạo ra hiệu suất cao cho quá trình và tốc độ phản ứng. Dòng sản phẩm đốt có thể được làm giãn nở qua ít nhất là một tuabin để phát điện. Sau đó, dòng khí giãn nở có thể được làm lạnh để loại bỏ các sản phẩm và/hoặc các tạp chất từ dòng này do quá trình đốt, và nhiệt được rút ra từ dòng khí giãn nở có thể được sử dụng để làm nóng chất lỏng luân chuyển CO₂ được tuần hoàn trở lại đến buồng đốt.

Ở trạng thái làm lạnh, dòng đốt có thể được xử lý để loại bỏ nước và các tạp chất khác để tạo ra dòng CO₂ gần như tinh khiết để tuần hoàn trở lại qua buồng đốt với các vật liệu đốt. Dòng CO₂ được làm sạch thường ở trạng thái khí, và có lợi để đưa dòng đến các trạng thái cần thiết sao cho CO₂ là ở trạng thái siêu tới hạn. Ví dụ, sau khi dòng đốt được làm giãn nở qua tuabin để phát điện, làm lạnh, và làm sạch chứa CO₂ gần như tinh khiết (ví dụ, ít nhất là 95% theo khối lượng, ít nhất là 97% theo khối lượng, hoặc ít nhất là 99% theo khối lượng CO₂), dòng tuần hoàn CO₂ tổng hợp có thể được nén để tăng áp suất của nó, như đến khoảng 80 bar (8 MPa). Bước nén thứ hai có thể được sử dụng để tăng áp suất xấp xỉ áp suất trong buồng đốt – ví dụ, khoảng 200 bar (20 MPa), khoảng 250 bar (25 MPa), hoặc khoảng 300 bar (30 MPa). Ở giữa các bước nén, dòng CO₂ có thể được làm lạnh để tăng tỷ trọng của dòng nhằm giảm năng lượng đầu vào cần để bơm dòng đến áp suất cao hơn. Sau đó, dòng tuần hoàn CO₂ được nén sau cùng có thể còn được làm nóng và đưa trở lại vào trong buồng đốt. Mặc dù hệ thống và phương pháp phát điện tạo ra hiệu suất tăng trên toàn bộ hệ thống và phương pháp phát điện thông thường (và như vậy trong khi đồng thời thu giữ cacbon được sản xuất), song quá trình dòng tuần hoàn CO₂ vẫn cần mức năng lượng đáng kể để đạt được việc nén cần thiết như nêu trên. Tuy nhiên, năng lượng đầu vào để nén, có thể được giảm một cách đáng kể thông qua việc tích hợp quá trình tái khí hóa khí tự nhiên hóa lỏng (LNG). Bằng cách sử dụng công suất làm lạnh từ hệ thống tái khí hóa LNG, có thể hóa lỏng CO₂ ở áp suất giảm (ví dụ, khoảng 30 bar) và sau đó tăng áp suất

của dòng. Do đó, hệ thống và phương pháp theo sáng chế có thể sử dụng việc làm lạnh vốn có cho LNG để giảm năng lượng yêu cầu cho việc nén trong chu trình CO₂ và còn giảm năng lượng yêu cầu cho việc khí hóa LNG.

Theo các phương án thực hiện khác nhau của sáng chế, hệ thống phát điện có thể được đặc trưng như được thể hiện trên FIG.1. Trên hình vẽ này, mối quan hệ trao đổi nhiệt (hình chữ nhật tô đậm) được sử dụng như nguồn nhiệt cho LNG trong hệ thống tái khí hóa và như nguồn làm lạnh của dòng tuần hoàn CO₂ trong hệ thống phát điện, điều này có thể giảm hoặc thậm chí loại bỏ sự cần thiết phải nén ngay từ đầu. FIG.1 thể hiện sự cấp LNG 210a được cung cấp ở nhiệt độ chuẩn – ví dụ, khoảng -247°F (-155°C), và được bơm đến áp suất khoảng 69 bar (6,9 MPa). Sự cấp LNG (giao cắt tuy ý với sự cấp liệu bổ sung được mô tả dưới đây) được đi qua bộ trao đổi nhiệt 221, và dòng NG sau cùng 257 đi ra ở nhiệt độ khoảng 15°F (-9,4°C) và áp suất gần như không thay đổi. Dòng NG có thể được chia thành dòng NG sản phẩm 258 và dòng NG bổ sung 239. Dòng NG sản phẩm có thể được đưa vào đường ống hoặc mặt khác được vận chuyển hoặc sử dụng như nguồn nhiên liệu. Nếu muốn, dòng NG bổ sung có thể được đi theo hướng phía trước bộ trao đổi nhiệt và đưa vào thành sự cung cấp LNG để cung cấp nhờ sự cấp LNG. Sau đó, sự cấp LNG 210b làm nóng có thể là dòng LNG đưa vào bộ trao đổi nhiệt. Máy thổi 240 có thể được sử dụng để dẫn động dòng NG bổ sung.

Dòng khí xả lạnh và sạch của tuabin 255 có thể ở nhiệt độ và áp suất, ví dụ, khoảng 63°F (17,2 °C) và 30 bar (3 MPa). Dòng khí xả lạnh và sạch có thể được đi qua bộ trao đổi nhiệt 221, và đi ra, dòng tuần hoàn CO₂ quá lạnh 222 ở nhiệt độ khoảng -65 °F (-53 °C) và 30 bar (3 MPa) có thể được đi qua bơm 205. Dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao đi ra 223 có thể ở nhiệt độ khoảng -45°F (-42°C) và áp suất khoảng 305 bar (30,5 MPa). Nếu muốn, dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao có thể lại được đi qua bộ trao đổi nhiệt 221 (hoặc bộ trao đổi nhiệt riêng biệt) để tăng nhiệt độ của nó – ví dụ, đến khoảng 40°F (5°C). Sau đó, dòng tuần hoàn CO₂ được làm nóng có thể tiếp tục đi qua hệ thống phát điện, như được mô tả trên đây, để tuần hoàn trở lại vào trong buồng đốt.

Trong các phương án thực hiện khác của sáng chế, một hoặc nhiều bộ phận của hệ thống tái khí hóa LNG thông thường có thể được kết hợp với hệ thống phát

điện, như được mô tả trên đây. Ví dụ về hệ thống điển hình được sử dụng để chuyển đổi LNG (ví dụ, được chứa trong thùng có áp suất nằm trong khoảng từ 0,05 bar (0,005 MPa) đến 0,1 bar (0,01 MPa) trên áp suất khí quyển), đến đường ống dẫn khí tự nhiên có sẵn (ví dụ, gần nhiệt độ môi trường xung quanh và áp suất trên khoảng 70 bar (7 MPa)) được thể hiện trên FIG 2.

Nói chung, hệ thống tái khí hóa LNG thông thường sử dụng bơm ly tâm nhiều giai đoạn để bơm LNG đến áp suất cao sau đó nó được làm bay hơi trong bộ trao đổi nhiệt kiểu bể nước mà được làm nóng bằng cách đốt khí tự nhiên. Trong ví dụ được thể hiện trên FIG.2, LNG được chứa trong thùng 100. LNG chảy ra ngoài đáy thùng dọc theo đường cấp LNG 119 và được nén trong bơm 101 đến khoảng 70 bar (7 MPa). LNG nén được xả qua đường 118 và thiết bị bay hơi kiểu bể nước 102, được duy trì ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 50°C đến 90°C nhờ lò đốt 120 được cấp bởi dòng khí nhiên liệu nén 117 bao gồm hỗn hợp không khí được cung cấp qua đường dẫn khí 109 và khí tự nhiên được cung cấp qua đường nhiên liệu của lò đốt NG 113. Lò đốt 120 có ống xả chìm khoảng 2 mét bên dưới bề mặt của nước trong bể nước nên các sản phẩm đốt phải nổi lên qua và hòa lẫn với nước do đó làm nóng nước. Cách bố trí này khiến cho sự ngưng tụ nhiều nước được tạo ra bởi việc đốt khí tự nhiên, do đó tăng hiệu suất của hệ thống làm nóng. Các khí đốt làm lạnh được thông hơi với môi trường khí dọc theo đường thông hơi 121. Nhiên liệu khí tự nhiên được đưa từ đường bay hơi của thùng LNG 110 là dòng bay hơi 112, được nén đến áp suất yêu cầu của lò đốt trong máy thổi làm bay hơi được dẫn động bằng điện 105. Không khí thông qua đường dẫn khí quyển 107 yêu cầu cho việc đốt được làm sạch qua bộ phận lọc 103, và được nén đến áp suất lò đốt trong máy nén khí của lò đốt được dẫn động bằng điện 104. Dòng bay hơi của thùng LNG còn lại 110 chạy qua đường của máy nén khí làm bay hơi 111 và được nén đến khoảng 69 bar (6,9 MPa) trong máy nén khí làm bay hơi 106 để tạo ra dòng NG bay hơi được nén 114, được hòa lẫn dòng khí tự nhiên sản xuất 115 đi ra khỏi thiết bị bay hơi 102 để tạo ra dòng chảy của khí tự nhiên trong toàn bộ đường ống 116 ở áp suất khoảng 69 bar (6,9 MPa) và nhiệt độ khoảng 15°C. Lượng khí tự nhiên dùng trong lò đốt để chuyển đổi LNG thành khí trong đường ống thường là khoảng 1,55% tổng dòng khí tự nhiên chảy đường ống 116.

Hệ thống phát điện như được thể hiện trên đây liên quan đến hệ thống được mô tả trong đơn yêu cầu cấp patent Mỹ số 2011/0179799 có thể được cải thiện rất nhiều thông qua việc tích hợp hệ thống tái khí hóa LNG. Việc hệ thống phát điện tích hợp có thể sử dụng CO₂ là chất lỏng đang hoạt động trong hệ thống điện chu trình Brayton vận hành với bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm giữa dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao và dòng khí xả áp suất thấp của tuabin. Trong hệ thống này, việc nhiên liệu đốt cacbon có thể được thực hiện ở áp suất nằm trong khoảng từ 150 bar (15 MPa) đến 400 bar (40 MPa), và tỷ số áp suất giữa áp suất đốt và áp suất của dòng khí xả tuabin có thể được nằm trong khoảng từ 5 đến 12 hoặc nằm trong khoảng từ 5 đến 10. Buồng đốt mà nhiên liệu được đốt trong đó với sự có mặt của oxy (tốt hơn nếu oxy gần như tinh khiết) có thể được làm nguội bởi sự tuần hoàn lớn của dòng chất lỏng đang hoạt động ở áp suất cao, và dòng đi vào tuabin có thể là dòng hòa lẫn của các sản phẩm đốt và CO₂ tuần hoàn ở nhiệt độ nằm trong khoảng từ 400°C đến 1800°C, nằm trong khoảng từ 600°C đến 1700°C, hoặc nằm trong khoảng từ 800°C đến 1600°C. Hệ thống và phương pháp theo phương án thực hiện sáng chế có thể tạo ra hiệu suất đáng kinh ngạc bắt nguồn từ lượng nhiệt đáng kể được đưa vào dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao, cụ thể vùng nhiệt độ nằm trong khoảng từ 100°C đến 400°C. Nhiệt bên ngoài này có thể được tạo ra, ví dụ, từ nhiệt hàm của không khí nén đoạn nhiệt cung cấp cho nhà máy oxy ở nhiệt độ thấp. Do đó, hệ thống này có thể tạo ra sản phẩm tinh CO₂ thu được từ nhiên liệu ở áp suất đường ống – ví dụ, nằm trong khoảng từ 200 bar (20 MPa) đến 400 bar (40 MPa). Như một phương án thực hiện làm ví dụ của sáng chế, thì việc sử dụng nhiên liệu khí tự nhiên để tạo ra dòng sản phẩm đốt có nhiệt độ ở đầu vào của tuabin nằm trong khoảng từ 1100°C đến 1200°C có thể tạo ra hiệu suất thực với nền năng suất tỏa nhiệt ròng (Lower Heating Value - LHV) nằm trong khoảng từ 55% đến 60%.

Thậm chí, điều này có thể còn được làm tăng thông qua việc tích hợp với hệ thống tái khí hóa LNG theo sáng chế. Có thể thấy rằng việc tích hợp hệ thống làm bay hơi LNG và cung cấp đường ống dẫn khí tự nhiên với hệ thống phát điện có thể áp dụng cho nhiều hệ thống phát điện, cụ thể hệ thống kết hợp chu trình Brayton sử dụng bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm trong đó máy nén khí được sử dụng để nén tuần hoàn chất lỏng đang hoạt động sau đó được làm nóng lại trong bộ trao đổi

hiệu suất chu trình thực trên nền LHV có thể được tăng khoảng từ 58,8% đến 65,7%.

Chu trình Brayton tiết kiệm sử dụng hệ thống phát điện như mô tả trên đây có thể yêu cầu phải nén xấp xỉ 30 lần dòng phân tử của nhiên liệu khí tự nhiên đối với thiết bị thông thường có tuabin với điều kiện đầu vào khoảng 300 bar (30 MPa) và khoảng 1150°C và có áp suất đầu ra khoảng 30 bar (3 MPa). Máy nén khí trong trường hợp này có nhiệt độ hút sau khi ngưng tụ và tách nước là khoảng 20°C. Công suất yêu cầu để nén dòng tuần hoàn CO₂ và dòng sản phẩm CO₂ tinh đến vùng 305 bar (30,5 MPa) là khoảng 14,8% tổng công suất đầu ra của tuabin. Công suất yêu cầu của máy nén khí CO₂ có thể được giảm bằng cách hóa lỏng dòng CO₂ ở áp suất khoảng 29 bar (2,9 MPa) và làm lạnh CO₂ lỏng đến khoảng 10°C của nhiệt độ đông cứng do đó điều này có thể làm tăng tới mức tối đa tỷ trọng của dòng CO₂. Sau khi nén và hóa lỏng, dòng CO₂ lỏng có thể được bơm đến áp suất khoảng 305 bar (30,5 MPa), và CO₂ áp suất cao có thể được làm nóng trở lại đến nhiệt độ môi trường xung quanh. Phương pháp này có thể giảm công suất nén CO₂ đến khoảng 5,3% tổng công suất đầu ra của tuabin. Theo phương án thực hiện làm ví dụ của sáng chế, hiệu suất chu trình thực trên nền LHV có thể được tăng khoảng từ 58,8% đến 65,7%.

Sự làm lạnh cần thiết phải đạt được hiệu suất tăng trong hệ thống và phương pháp phát điện có thể thu được từ nguồn bất kỳ sẽ được công nhận là có ích theo quan niệm của sáng chế. Dựa vào FIG.2, sự làm lạnh cần thiết có thể được áp dụng cho hệ thống và phương pháp phát điện thông qua sự trao đổi nhiệt từ nhiệt của dòng LNG áp suất cao 118 đi ra khỏi bơm 101.

Theo một phương án thực hiện làm ví dụ của sáng chế, dòng CO₂ áp suất thấp từ hệ thống phát điện có thể được làm khô, và sau đó dòng CO₂ khô có thể được hóa lỏng và làm lạnh (ví dụ, trong bộ trao đổi nhiệt áp suất cao bằng thép không gỉ đảm bảo khuếch tán, như bộ trao đổi nhiệt Heatric) ngược với dòng LNG, mà lần lượt tiếp nhận nhiệt. Nếu cần, để ngăn chặn sự hóa rắn của CO₂ và chặn các sự đi qua bộ trao đổi nhiệt, một phần của dòng khí tự nhiên ở đầu ra 115 đi ra khỏi thiết bị bay hơi kiểu bể nước 102 ở nhiệt độ nằm trong khoảng -20°C đến 0°C có thể được tuần hoàn và hòa lẫn với dòng LNG nén lạnh 118 (mà ở nhiệt độ

khoảng -160°C) để tạo ra dòng khí tự nhiên trong khoảng 10°C trên nhiệt độ hóa rắn của dòng CO_2 . Dòng nhiên liệu khí tự nhiên đi vào buồng đốt trong hệ thống phát điện như mô tả nêu trên tốt hơn là ở áp suất được ghi chú trên đây, ví dụ, khoảng 305 bar (30,5 MPa). Nếu muốn, khí tự nhiên có thể thu được từ việc cung cấp LNG, và dòng nhiên liệu khí tự nhiên có thể được tạo ra bằng cách sử dụng bơm LNG thứ hai đưa dòng chảy của nó khỏi đường 118. Thứ nhất, dòng nhiên liệu khí tự nhiên có thể được làm nóng đến nhiệt độ môi trường xung quanh (ví dụ) ngược với dòng CO_2 lạnh, hóa lỏng, và quá lạnh. Thứ hai, sau đó dòng nhiên liệu khí tự nhiên có thể chảy qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai để làm lạnh dòng nước làm lạnh chu trình khép kín, mà có thể được sử dụng trong máy nén khí của thiết bị oxy giữa và sau các thiết bị làm lạnh. Việc sử dụng bơm LNG ở nhiệt độ thấp hơn là máy nén khí tự nhiên có thể tăng hiệu suất hơn 0,9% tổng công suất của tuabin. Việc sử dụng khí tự nhiên để hóa lỏng và làm quá lạnh CO_2 có thể áp đặt nhiệt độ tối đa của khí tự nhiên được làm nóng khoảng -10°C do nhiệt độ được giữ ở nhiệt độ hóa rắn của CO_2 – nghĩa là, -56°C . Khí tự nhiên có thể được làm nóng đến khoảng 15°C , mà có thể có ích để cung cấp cho đường ống dẫn khí tự nhiên, bằng cách sử dụng nó cho việc làm lạnh dòng NG ngược với dòng khí xả tuabin đi ra khỏi đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm trong hệ thống phát điện trước khi tách nước ở dạng lỏng. Điều này có thể giảm hàm lượng nước dư trong pha khí mà do đó giảm kích thước và chi phí của thiết bị sấy khử ẩm mà có thể cần để ngăn không cho nước đóng băng lắng đọng trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO_2 .

Tốt hơn nữa, việc tích hợp hệ thống phát điện như mô tả nêu trên với hệ thống làm bay hơi LNG có thể bao gồm tất cả các bộ phận cần thiết để ngăn chặn các sự gián đoạn trong việc phát điện cũng như dòng khí tự nhiên đến đường ống. Ví dụ, có thể có lợi nếu hệ thống LNG mà có hệ thống cấp nhiệt LNG tương tự như được mô tả trên FIG.2, tốt hơn là với bộ cấp nhiệt LNG 102 trên và tại hoặc gần nhiệt độ vận hành để tạo ra chuyển đổi nhanh chóng nhằm tiếp nhận tải LNG đang được làm nóng trong hệ thống phát điện tích hợp nếu hệ thống phát điện ngừng hoạt động. Điều này có thể ngăn chặn các dao động đáng kể bất kỳ trong áp suất cấp cho đường ống và duy trì áp suất này nằm trong dung sai yêu cầu. Lỗi bất kỳ

tương tự của dòng LNG nén (như, ví dụ, trục trục của bơm 101) có thể được giải quyết. Ví dụ, trong ví dụ về sự trục trục của bơm, dòng LNG có thể được chuyển ngay lập tức đến bơm LNG song song mà có thể có mặt trong thiết bị chuyển LNG. Tốt hơn, nếu sự chuyển đổi này có thể được thực hiện trong khoảng từ 5 giây đến 10 giây để cho phép vận hành liên tục hệ thống phát điện.

Phương án thực hiện làm ví dụ của sáng chế thể hiện hệ thống phát điện (sử dụng sự cung cấp nhiên liệu khí tự nhiên nén) tích hợp với hệ thống cấp khí tự nhiên nén và làm bay hơi LNG được thể hiện trên FIG.3. Phần mô tả trên FIG.3 thể hiện hệ thống và phương pháp liên quan đến phương án thực hiện cụ thể của sáng chế, và các giá trị và vùng nhất định sẽ không được coi là giới hạn. Các chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ nhận thấy các giá trị khác nhau có thể được thay đổi dựa trên các điều kiện vận hành cụ thể của hệ thống phát điện và hệ thống làm bay hơi LNG. Toàn bộ vùng của sáng chế đã được dự tính bao gồm trong phần mô tả này, là ví dụ về bản chất và được đưa ra để đáp ứng các yêu cầu của sáng chế.

Hệ thống phát điện bao gồm buồng đốt 1 đốt nhiên liệu khí tự nhiên bằng oxy với sự có mặt của chất lỏng CO₂ tuần hoàn đang hoạt động để tạo ra dòng sản phẩm đốt 6 giàu CO₂. Theo ví dụ này, dòng sản phẩm đốt ở áp suất khoảng 300 bar (30 MPa) và nhiệt độ khoảng 1150°C. Dòng sản phẩm đốt 6 đi vào tuabin điện 2 dẫn động máy phát điện bằng tuabin 3 nhằm tạo ra điện năng 4 cùng với năng lượng trên trục bổ sung được sử dụng để dẫn động bơm CO₂ lỏng 5. Dòng xả tuabin 15 ở nhiệt độ khoảng 788°C và áp suất khoảng 30 bar (3 MPa) được làm lạnh trong bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm 46 để tạo ra dòng chảy xả của tuabin được làm nguội ban đầu 16 ở nhiệt độ khoảng 25°C. Dòng xả tuabin được làm nguội ban đầu 16 còn được làm lạnh trong bộ trao đổi nhiệt ở nhiệt độ thấp 17 và đi ra là dòng xả tuabin được làm nguội thứ hai 51 ở nhiệt độ khoảng 4°C. Điều này đạt được ngược với dòng khí tự nhiên làm lạnh 56, là một phần của dòng khí tự nhiên toàn phần 57 đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ 21. Dòng khí tự nhiên làm lạnh 56 được làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt ở nhiệt độ thấp 17 để tạo ra phần dòng khí tự nhiên thành phẩm 71 ở nhiệt độ khoảng 20 °C, và dòng này kết hợp với the dòng sản phẩm khí tự nhiên toàn phần trong đường ống 30 đi ra khỏi thiết bị LNG (ví dụ, ở nhiệt độ khoảng -10 °C hoặc lớn hơn). Dòng xả tuabin được làm

nguội thứ hai 51 đưa vào trong thiết bị tách nước ở dạng lỏng 18, và nhờ đó dòng nước ngưng tụ 19 được loại ra khỏi dòng xả tuabin được làm nguội thứ hai 51. Dòng khí CO₂ tách biệt 20 được làm khô đến nhiệt độ điểm sương khoảng -60°C trong thiết bị sấy khử ẩm tái sinh bằng nhiệt 54. Các hệ thống loại bỏ nước khác, như các cụm hấp thụ dao động áp suất (Pressure Swing Adsorption - PSA) còn có thể được sử dụng. Dòng khí CO₂ khô 55 được làm lạnh để hóa lỏng, và CO₂ lỏng được làm lạnh đến khoảng -50 °C (ví dụ, -56 °C hoặc lớn hơn) trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ 21 (ví dụ, bộ trao đổi nhiệt kiểu Heatric liên kết khuếch tán làm bằng bằng thép không gỉ), đồng thời làm nóng dòng sản phẩm LNG được làm nóng lại 44 ở áp suất khoảng 68,9 bar (6,89 MPa) đến nhiệt độ khoảng -9,4°C để tạo ra dòng khí tự nhiên toàn phần 57. Một phần khí tự nhiên làm nóng LNG 39 được chia từ dòng khí tự nhiên toàn phần 57, được nén trong máy thổi dẫn động bằng điện 40. Nhờ đó tạo ra dòng khí tự nhiên làm nóng LNG được nén 45 được hòa lẫn với dòng sản phẩm LNG được nén 43, là phần chủ yếu của LNG nén, để dòng sản phẩm LNG được làm nóng lại 44, mà đi vào bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ 21 ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ hóa rắn của CO₂ là -56°C (ví dụ, đến nhiệt độ -55°C hoặc lớn hơn). Cụ thể, sự sắp xếp này cùng với CO₂ khô và LNG được làm nóng có thể có ích để ngăn chặn sự hóa rắn của CO₂ làm trở ngại hoặc hư hại đến bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ 21.

Theo một ví dụ của sáng chế, LNG được lưu trữ ở áp suất khoảng 0,08 bar (0,008 MPa) trong thùng LNG 33. Dòng xả của thùng LNG 50 được bơm đến áp suất khoảng 70 bar (7 MPa) trong bơm LNG 25 được dẫn động bằng động cơ điện 34. Dòng xả LNG 26 có thể đi qua bộ cấp nhiệt kiểu bể nước 24 để tạo ra dòng khí tự nhiên làm nóng của bể 31 ở nhiệt độ khoảng 15°C. Bể nước được làm nóng bởi dòng khí nhiên liệu của bể 27 được đốt trong không khí trong lò đốt bằng ống hút với các khí đốt đi qua nước và xả qua ống thông hơi của bể 28. Dòng chảy của dòng LNG nén 32 có thể được điều khiển như mong muốn. Ví dụ, van điều khiển thứ nhất 29 và van điều khiển thứ hai 49 có thể được sử dụng để xác định đường truyền của LNG. Ngoài ra, sự kết hợp đa dạng của các bơm và các bộ cấp nhiệt kiểu bể nước trong thiết bị LNG (không được thể hiện trên các hình vẽ), có thể được sử dụng để biến đổi đường dòng của dòng LNG nhằm đảm bảo cấp liên tục

LNG đến hệ thống phát điện nếu bơm LNG 25 ngừng hoạt động và làm nóng liên tục tất cả LNG nén theo các điều kiện của đường ống nếu hệ thống phát điện ngừng hoạt động. Các dự phòng hỗ trợ an toàn còn được mô tả dưới đây.

Theo một ví dụ của sáng chế, khí tự nhiên được sử dụng làm nhiên liệu trong buồng đốt 1 của hệ thống phát điện có thể được rút ra từ dòng LNG nén như phần nhiên liệu LNG 41 và được bơm đến áp suất khoảng 306 bar (30,6 MPa) trong bơm nhiên liệu LNG 48 (ví dụ, bơm dẫn động bằng điện kiểu pittông nhiều xi lanh). Dòng nhiên liệu LNG áp suất cao 70 được làm nóng đến khoảng -10°C trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO_2 21 và đi ra là dòng nhiên liệu khí tự nhiên áp suất cao 62. Việc làm nóng ngược với làm lạnh, hóa lỏng và làm quá lạnh CO_2 . Sau đó, dòng nhiên liệu khí tự nhiên áp suất cao 62 được làm nóng trong thiết bị tách khí 47 đến nhiệt độ khoảng 230°C ngược với không khí nén đoạn nhiệt sử dụng chất lỏng truyền nhiệt của chu trình khép kín, mà có thể có lợi để ngăn chặn sự rò rỉ của khí dễ cháy bên trong thiết bị tách khí. Dòng khí tự nhiên áp suất cao 11 đi ra được làm nóng sau đó được đưa đến buồng đốt 1. Thiết bị tách khí ở nhiệt độ thấp có thể bao gồm máy nén khí đoạn nhiệt chính cấp thứ nhất với áp suất xả khoảng 4 bar (0,4 MPa) và máy nén khí tăng áp mà khoảng một phần ba không khí nén cấp thứ nhất được nén trong hai cấp đoạn nhiệt đến khoảng 100 bar (10 MPa). Đầu tiên, khối nhiệt nén đoạn nhiệt được truyền đến dòng bên CO_2 tuần hoàn áp suất cao 13 được lấy từ dòng tuần hoàn CO_2 áp suất cao được làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm 46. Dòng bên CO_2 tuần hoàn áp suất cao có thể được lấy ở nhiệt độ khoảng 110°C và được trở lại như dòng bên CO_2 tuần hoàn áp suất cao siêu nhiệt 12 ở nhiệt độ khoảng 149°C . Thứ hai, nhiệt nén đoạn nhiệt của hai cấp đoạn nhiệt được sử dụng để làm nóng dòng nhiên liệu khí tự nhiên áp suất cao 62 đến nhiệt độ khoảng 230°C để tạo ra dòng nhiên liệu khí tự nhiên áp suất cao được làm nóng 63. Thứ ba, nhiệt nén được sử dụng để làm nóng dòng sản phẩm oxy 11 ở áp suất khoảng 305 bar (30,5 MPa) từ thiết bị tách khí đến nhiệt độ khoảng 230°C .

Đi ra khỏi đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO_2 21 là dòng tuần hoàn CO_2 quá lạnh 22. Dòng này được nén đến khoảng 306 bar (30,6 MPa) trong bơm CO_2 lỏng 5, mà có thể được nối trực tiếp qua hộp bánh răng đến máy phát điện bằng tuabin 3. Theo cách lựa chọn khác, máy nén khí tăng áp (không được thể hiện

trên các hình vẽ) trong thiết bị tách khí ở nhiệt độ thấp có thể được nối trực tiếp với máy phát điện bằng tuabin 3. Theo các lựa chọn khác nữa, máy nén khí chính trong thiết bị tách khí có thể được nối trực tiếp với máy phát điện bằng tuabin. Tốt hơn nếu, tuabin được chịu tải trực tiếp với nhu cầu điện từ một trong số các lựa chọn này để trong trường hợp có sự ngắt điện từ lưới điện (ví dụ, bắt nguồn từ việc ngắt máy phát), phụ tải trên máy phát sẽ thực hiện chức năng như bộ phanh do khí tiếp liệu tuabin áp suất cao sẽ chảy đến khi cân bằng áp suất hệ thống.

Dòng tuần hoàn CO₂ quá lạnh được nén 23 ở nhiệt độ khoảng -43 °C được làm nóng trong bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂ 21 đến nhiệt độ khoảng 5,5 °C. Dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao 68 được làm nóng đến nhiệt độ khoảng 25 °C trong bộ trao đổi nhiệt CO₂ bổ sung 66 để tạo ra dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao được làm nóng lại 67. Dòng chất lỏng truyền nhiệt được làm nóng của chu trình khép kín 64 ở nhiệt độ khoảng 40 °C được làm lạnh đến nhiệt độ khoảng 10 °C để đi ra là dòng chất lỏng truyền nhiệt làm lạnh 65. Tương tự, phần dòng khí tự nhiên toàn phần 38 ở nhiệt độ khoảng -9,4 °C có thể được đi qua bộ trao đổi nhiệt bằng khí tự nhiên thứ cấp 35 để được làm nóng ngược với dòng chất lỏng truyền nhiệt được làm nóng thứ hai của chu trình khép kín 36 ở khoảng 40°C. Dòng chất lỏng truyền nhiệt làm lạnh thứ cấp 37 đi ra ở nhiệt độ khoảng 10°C.

Dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao được làm nóng lại 67 đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt CO₂ bổ sung 66 được chia thành phần CO₂ tuần hoàn áp suất cao thứ nhất 14 và phần CO₂ tuần hoàn áp suất cao thứ hai 53, mà cả hai đi qua bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm 46 và đi ra ở nhiệt độ khoảng 752°C. Van điều khiển phần CO₂ tuần hoàn 52 trên đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm 46 điều khiển hệ số dòng của phần CO₂ thứ nhất 14 so với phần CO₂ thứ hai 53. Dòng của phần CO₂ thứ nhất làm nóng 7 được chuyển đến buồng đốt 1 như chất lỏng đang hoạt động. Dòng của phần CO₂ thứ hai làm nóng 9 hòa lẫn với dòng sản phẩm oxy 63 để tạo ra tỷ lệ phân tử 30% oxy, 70% CO₂ trong dòng chất oxy hóa 10 đi vào buồng đốt 1, mà điều tiết nhiệt độ ngọn lửa đoạn nhiệt đến giá trị thấp hơn khoảng 3000°C. Sản phẩm CO₂ tinh khiết thu được từ nhiên liệu đốt có thể là dòng sản phẩm CO₂ có sẵn trong đường ống 77 ở áp suất khoảng 305 bar (30,5 MPa) và nhiệt độ khoảng 25°C.

Các giá trị năng suất dựa trên công suất ra thực 250 MW được tính toán cho hệ thống tích hợp theo ví dụ nêu trên sử dụng metan tinh khiết từ nguồn LNG làm nhiên liệu cho buồng đốt. Các giá trị tính toán như sau:

$$\begin{aligned}\text{Khí tự nhiên được đốt trong hệ thống công suất thực} &= 380,4 \text{ MW} \\ &= 34,269 \text{ mmscfd (40.432,97 m}^3\text{/h)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Khí tự nhiên được làm nóng trong công suất thực} &= 1095,9 \text{ mmscfd} \\ &(\text{1.293.019,53 m}^3\text{/h})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tiết kiệm khí tự nhiên dùng cho bộ cấp nhiệt kiểu bể nước} &= 16,986 \text{ mmscfd} \\ &(\text{20.041,27 m}^3\text{/h})\end{aligned}$$

Dựa vào các thông số trên, việc lập mô hình được sử dụng để tính toán các hiệu suất cho hệ thống phát điện có công suất thực 1000 MW với hệ thống LNG tích hợp như mô tả nêu trên tạo ra tốc độ dòng chảy của khí tự nhiên là 1000 mmscfd (1.179.870 m³/h) ở 68 bar (6,8 MPa) chuyển đến đường ống ở 15°C. Hiệu suất toàn phần được tính toán là 68,06%. Hiệu suất toàn phần được tính toán với tốc độ dòng chảy LNG bằng không của nhà máy điện 1000 MW là 58,87%. Theo phương án thực hiện khác theo mô hình sử dụng Aspen Plus, hệ thống và phương pháp theo sáng chế sử dụng nhiên liệu metan trong buồng đốt, tuabin, bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (là một dãy ba cụm trao đổi nhiệt), thiết bị tách nước, bộ trao đổi nhiệt thứ hai mà tại đó CO₂ được hóa lỏng ngược với LNG để tạo ra NG (với dòng bên được sử dụng để làm nóng lại LNG), một bơm để nén dòng tuần hoàn CO₂, và thu hồi nhiệt từ thiết bị tách khí để cấp nhiệt đưa dòng tuần hoàn CO₂. Trong mô hình theo phương án thực hiện nêu trên, hiệu suất toàn phần của hệ thống và phương pháp phát điện và hệ thống và phương pháp làm bay hơi LNG tích hợp là 65,7%. Tất cả các sự tính toán hiệu suất nêu trên bao gồm việc thu giữ toàn bộ tất cả CO₂ dư thừa từ quá trình đốt.

Lợi ích còn được xem xét liên quan đến hệ thống tái khí hóa LNG thông thường trong đó, thông thường, khoảng 1,4% LNG được xử lý được đốt để tạo ra nhiệt, như trong lò đốt chìm được thể hiện trên FIG.2, cho 98,6% LNG được xử lý còn lại. Công suất này được áp đặt mà không có lợi ích bổ sung bất kỳ. Tuy nhiên, hệ thống phát điện 250 MW theo sáng chế, ví dụ, có thể được tích hợp với nhà máy tái khí hóa LNG. Theo ví dụ này, nhà máy LNG có thể làm nóng lại xấp xỉ 10,8 tỷ

m³ LNG/năm trong khi đốt xấp xỉ 3,1% để tạo ra nhiệt. Do sự tích hợp này, mặc dù tổng lượng khí gửi đi được giảm đến 96,9% tổng số lượng được xử lý, Công suất tăng cung cấp nhiên liệu cho sự phát điện trong nhà máy điện 250 MW. Có lợi nếu, các hệ thống này có thể được vẽ theo tỷ lệ như mong muốn để tăng hoặc giảm sức chứa liên quan đến LNG được xử lý và/hoặc điện được sản xuất.

Các biến thể và các phương án thực hiện khác của sáng chế đưa ra trong bản mô tả này sẽ là hiển nhiên đối với các chuyên gia trong lĩnh vực kỹ thuật này mà lợi ích có gắn liền với sáng chế này đã được thể hiện trong phần mô tả nêu trên. Phải hiểu rằng các phương án thực hiện đã được bộc lộ không bị coi là giới hạn, và các biến thể và các phương án thực hiện khác sẽ nằm trong vùng của các điểm yêu cầu bảo hộ. Mặc dù các thuật ngữ cụ thể được sử dụng trong bản mô tả này, chúng được sử dụng chỉ có ý nghĩa khái quát và mô tả và không nhằm mục đích giới hạn.

Các số chỉ dẫn:

- 1 buồng đốt
- 2 tuabin điện
- 3 máy phát điện bằng tuabin
- 4 lượng điện ra
- 5 Bơm CO₂ lỏng
- 6 dòng sản phẩm đốt
- 7 dòng của phần CO₂ thứ nhất được làm nóng
- 9 dòng của phần CO₂ thứ hai được làm nóng
- 10 chất oxy hóa
- 11 dòng sản phẩm oxy
- 12 dòng bên CO₂ tuần hoàn áp suất cao siêu nhiệt
- 13 dòng bên CO₂ tuần hoàn áp suất cao
- 14 phần CO₂ tuần hoàn áp suất cao thứ nhất
- 15 dòng chảy xả của tuabin
- 16 dòng chảy xả của tuabin được làm nguội ban đầu
- 17 bộ trao đổi nhiệt ở nhiệt độ thấp
- 18 thiết bị tách nước ở dạng lỏng
- 19 dòng nước ngưng tụ
- 20 dòng khí CO₂ tách biệt
- 21 bộ trao đổi nhiệt hóa lỏng CO₂
- 22 dòng tuần hoàn CO₂ quá lạnh
- 23 dòng tuần hoàn CO₂ quá lạnh được nén
- 24 bộ cấp nhiệt kiểu bể nước
- 25 bơm LNG
- 26 Dòng xả LNG
- 27 dòng khí nhiên liệu của bể
- 28 ống thông hơi của bể
- 29 van điều khiển thứ nhất

- 30 dòng sản phẩm khí tự nhiên toàn phần trong đường ống
- 31 dòng khí tự nhiên làm nóng của bể
- 32 dòng LNG nén
- 33 thùng LNG
- 34 động cơ điện
- 35 bộ trao đổi nhiệt bằng khí tự nhiên thứ cấp
- 36 chất lỏng truyền nhiệt làm nóng thứ cấp của chu trình khép kín
- 37 chất lỏng truyền nhiệt làm lạnh thứ cấp
- 38 phần dòng khí tự nhiên toàn phần
- 39 Phần khí tự nhiên làm nóng LNG
- 40 máy thổi
- 41 phần nhiên liệu LNG
- 43 dòng sản phẩm LNG được nén
- 44 dòng sản phẩm LNG được làm nóng lại
- 45 dòng khí tự nhiên làm nóng LNG được nén
- 46 bộ trao đổi nhiệt có bộ phận tiết kiệm
- 47 thiết bị tách khí
- 48 bơm nhiên liệu LNG
- 49 van điều khiển thứ hai
- 50 dòng xả của thùng LNG
- 51 dòng xả tuabin được làm nguội thứ hai
- 52 Van điều khiển CO₂ tuần hoàn
- 53 phần CO₂ tuần hoàn áp suất cao thứ hai
- 54 thiết bị sấy khử ẩm tái sinh bằng nhiệt
- 55 dòng khí CO₂ khô
- 56 dòng khí tự nhiên làm lạnh
- 57 dòng khí tự nhiên toàn phần
- 62 dòng nhiên liệu khí tự nhiên áp suất cao
- 63 khí tự nhiên áp suất cao làm nóng dòng NG

- 64 dòng chất lỏng truyền nhiệt làm nóng của chu trình khép kín
- 65 dòng chất lỏng truyền nhiệt làm lạnh
- 66 bộ trao đổi nhiệt CO₂ bổ sung
- 67 dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao được làm nóng lại
- 68 dòng tuần hoàn CO₂ áp suất cao
- 70 dòng nhiên liệu LNG áp suất cao
- 71 phần dòng khí tự nhiên thành phẩm
- 77 dòng sản phẩm CO₂
- 100 thùng
- 101 bơm
- 102 thiết bị bay hơi kiểu bể nước
- 103 bộ phận lọc
- 104 máy nén khí của lò đốt
- 105 máy thổi làm bay hơi
- 106 máy nén khí làm bay hơi
- 107 đường dẫn khí quyển
- 109 đường dẫn khí
- 110 Đường bay hơi của thùng LNG
- 111 đường của máy nén khí làm bay hơi
- 112 dòng bay hơi
- 113 đường nhiên liệu của lò đốt NG
- 114 dòng NG bay hơi được nén
- 115 dòng khí tự nhiên sản phẩm
- 116 dòng chảy khí tự nhiên toàn phần trong đường ống
- 117 dòng khí nhiên liệu nén
- 119 đường cấp LNG
- 120 lò đốt
- 121 đường thông hơi
- 210a sự cung cấp LNG

210b sự cung cấp LNG làm nóng

221 bộ trao đổi nhiệt

239 dòng NG bổ sung

240 máy thổi

257 dòng NG

258 dòng NG sản phẩm

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp phát điện, trong đó phương pháp này bao gồm các bước:

đốt nhiên liệu chứa cacbon trong buồng đốt (1) với sự có mặt của oxy và dòng tuần hoàn CO_2 để tạo ra dòng sản phẩm đốt hỗn hợp;

đưa dòng sản phẩm đốt hỗn hợp qua tuabin (2) để phát điện và tạo ra dòng khí xả tuabin chứa CO_2 ;

đưa dòng khí xả tuabin chứa CO_2 qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (46) để truyền nhiệt từ dòng khí xả tuabin đến dòng tuần hoàn CO_2 và tạo ra dòng khí xả tuabin đã được làm nguội;

đưa dòng khí tự nhiên hóa lỏng (LNG) và CO_2 từ dòng khí xả tuabin đã được làm nguội qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21) để làm lạnh và hóa lỏng CO_2 và làm nóng và làm bay hơi LNG để tạo ra dòng CO_2 hóa lỏng và dòng khí tự nhiên (NG) dạng khí;

nén dòng CO_2 hóa lỏng để tạo ra dòng tuần hoàn CO_2 ; và

đưa dòng tuần hoàn CO_2 đến buồng đốt (1).

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phương pháp này bao gồm một hoặc nhiều bước trong số các bước sau:

dòng tuần hoàn CO_2 được đưa đến buồng đốt (1) ở áp suất khoảng 150 bar (15 MPa) hoặc lớn hơn;

bước đốt được thực hiện ở nhiệt độ khoảng 500°C hoặc lớn hơn;

tỷ số giữa áp suất của dòng sản phẩm đốt hỗn hợp với áp suất của dòng khí xả tuabin chứa CO_2 là khoảng 12 hoặc nhỏ hơn; và

LNG đưa vào trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21) ở áp suất nằm trong khoảng từ 50 bar (5 MPa) đến 90 bar (9 MPa).

3. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phân đoạn của dòng NG dạng khí được tạo ra bởi bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21) được rút ra và đưa vào dòng LNG đưa vào trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21), tùy ý trong đó phân đoạn của dòng NG dạng khí nạp

vào dòng LNG là đủ để nâng nhiệt độ của dòng LNG đến nhiệt độ cao hơn nhiệt độ hóa rắn của CO₂ và cao hơn khoảng 20°C so với nhiệt độ hóa rắn của CO₂.

4. Phương pháp theo điểm 1, trong đó CO₂ từ dòng khí xả tuabin đã được làm nguội được làm lạnh trong bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21) đến nhiệt độ cao hơn nhiệt độ hóa rắn của CO₂ và cao hơn khoảng 30°C so với nhiệt độ hóa rắn của CO₂.

5. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước nén dòng tuần hoàn CO₂ bao gồm việc đưa dòng tuần hoàn CO₂ qua bơm chất lỏng (5), tùy ý trong đó tuabin phát điện (2) tạo ra năng lượng trên trục, và trong đó năng lượng trên trục được sử dụng để dẫn động bơm chất lỏng (5).

6. Phương pháp theo điểm 5, trong đó dòng tuần hoàn CO₂ nén đi ra khỏi bơm chất lỏng (5) được làm nóng, tốt hơn là một hoặc cả hai trong số việc làm nóng bao gồm việc đưa dòng tuần hoàn CO₂ nén qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21), và dòng tuần hoàn CO₂ được làm nóng đến nhiệt độ khoảng 0°C hoặc lớn hơn.

7. Phương pháp theo điểm 1, trong đó nhiên liệu chứa cacbon là NG thu được từ dòng LNG.

8. Phương pháp theo điểm 7, trong đó việc thu bao gồm việc đưa LNG qua bơm thứ nhất (25) và bơm thứ hai (48), tốt hơn là trong đó LNG ra khỏi bơm thứ hai (48) được làm nóng đến nhiệt độ khoảng 200°C hoặc lớn hơn, tốt hơn là trong đó việc làm nóng bao gồm việc đưa LNG qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21) để tạo ra dòng NG dạng khí, tốt hơn là trong đó việc làm nóng còn bao gồm việc sử dụng nhiệt nén từ thiết bị tách khí (47).

9. Phương pháp theo điểm 1, trong đó phương pháp còn bao gồm bước đưa dòng khí xả tuabin đã được làm nguội qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba (17) sau khi đưa qua bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (46) và trước khi đưa qua bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21),

tốt hơn là trong đó dòng khí xả tuabin đi qua bộ trao đổi nhiệt thứ ba (17) được làm lạnh đến nhiệt độ nằm trong khoảng từ 0°C đến 10°C, tốt hơn là trong đó dòng khí xả tuabin được làm nguội ngược với phân đoạn của dòng NG dạng khí đi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21), hoặc trong đó phương pháp này còn bao gồm bước đưa dòng khí xả tuabin đã được làm nguội qua một trong số hoặc cả thiết bị tách nước ở dạng lỏng (18) và thiết bị sấy khử ẩm (54) để tạo ra CO₂ từ dòng khí xả tuabin đã được làm nguội dưới dạng dòng CO₂ khô, tốt hơn là trong đó dòng CO₂ khô được làm khô đến nhiệt độ điểm sương khoảng -50°C hoặc thấp hơn.

10. Phương pháp theo điểm 1, trong đó một phần dòng tuần hoàn CO₂ đưa đến buồng đốt (1) được làm nóng bằng cách sử dụng nhiệt nén từ thiết bị tách khí (47), hoặc trong đó dòng tuần hoàn CO₂ đưa đến buồng đốt (1) được tách thành phân đoạn thứ nhất và phân đoạn thứ hai, tốt hơn là trong đó phân đoạn thứ nhất của dòng tuần hoàn CO₂ đưa đến buồng đốt (1) được nạp trực tiếp vào buồng đốt (1), hoặc trong đó phân đoạn thứ hai của dòng tuần hoàn CO₂ đưa đến buồng đốt (1) được kết hợp với oxy để tạo ra dòng chất oxy hóa được đưa vào buồng đốt (1).

11. Hệ thống phát điện bao gồm:

buồng đốt (1) được làm thích hợp để đốt nhiên liệu chứa cacbon với sự có mặt của oxy và dòng tuần hoàn CO₂ để tạo ra dòng sản phẩm đốt hỗn hợp;

tuabin sản xuất điện (2) nối thông chất lưu với buồng đốt (1) và được làm thích hợp để tiếp nhận dòng sản phẩm đốt hỗn hợp và xả ra dòng khí xả tuabin chứa CO₂;

bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (46) nối thông chất lưu với tuabin sản xuất điện (2) và buồng đốt (1) và được làm thích hợp để truyền nhiệt từ dòng khí xả tuabin chứa CO₂ đến dòng tuần hoàn CO₂ nhằm tạo ra dòng khí xả tuabin đã được làm nguội chứa CO₂;

bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21) nối thông chất lưu với bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (46) và được làm thích hợp để hóa lỏng CO₂ trong dòng khí xả tuabin;

máy nén khí tuần hoàn (5) được làm thích hợp để nén CO₂ hóa lỏng đến áp suất thích hợp để tuần hoàn đến buồng đốt (1); và

nguồn (33) của khí tự nhiên hóa lỏng (LNG) nối thông chất lưu với bộ trao đổi nhiệt thứ hai.

12. Hệ thống theo điểm 11, trong đó hệ thống này còn bao gồm bộ trao đổi nhiệt thứ ba (17) nằm giữa và nối thông chất lưu với bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (46) và bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21), tốt hơn là trong đó bộ trao đổi nhiệt thứ ba (17) có đầu vào nối thông chất lưu với đầu ra trên bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (46), đầu vào nối thông chất lưu với đầu ra trên bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21), và đầu ra nối thông chất lưu với đầu vào trên bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21), tùy ý hệ thống này còn bao gồm một hoặc nhiều thiết bị loại bỏ nước (18) được bố trí giữa đầu ra trên bộ trao đổi nhiệt thứ ba (17) và đầu vào trên bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21).

13. Hệ thống theo điểm 11, trong đó tuabin sản xuất điện (2) được làm thích hợp để tạo ra năng lượng trên trục cho bơm chất lỏng (25), tùy ý trong đó bơm chất lỏng (25) nằm giữa và được nối thông chất lưu với nguồn LNG (33) và bộ trao đổi nhiệt thứ hai (21).

14. Hệ thống theo điểm 11, trong đó hệ thống này còn bao gồm thiết bị tách khí (47), tốt hơn là trong đó thiết bị tách khí (47) là thiết bị tách khí ở nhiệt độ thấp bao gồm máy nén khí đoạn nhiệt chính và máy nén khí tăng áp.

15. Hệ thống theo điểm 11, trong đó bộ trao đổi nhiệt thứ nhất (46) là chuỗi có ba cụm trao đổi nhiệt.

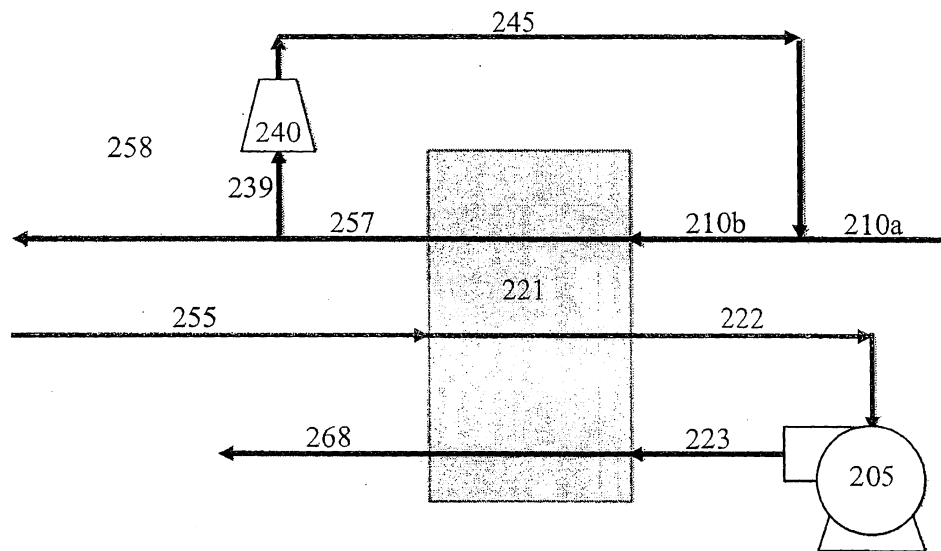


FIG. 1

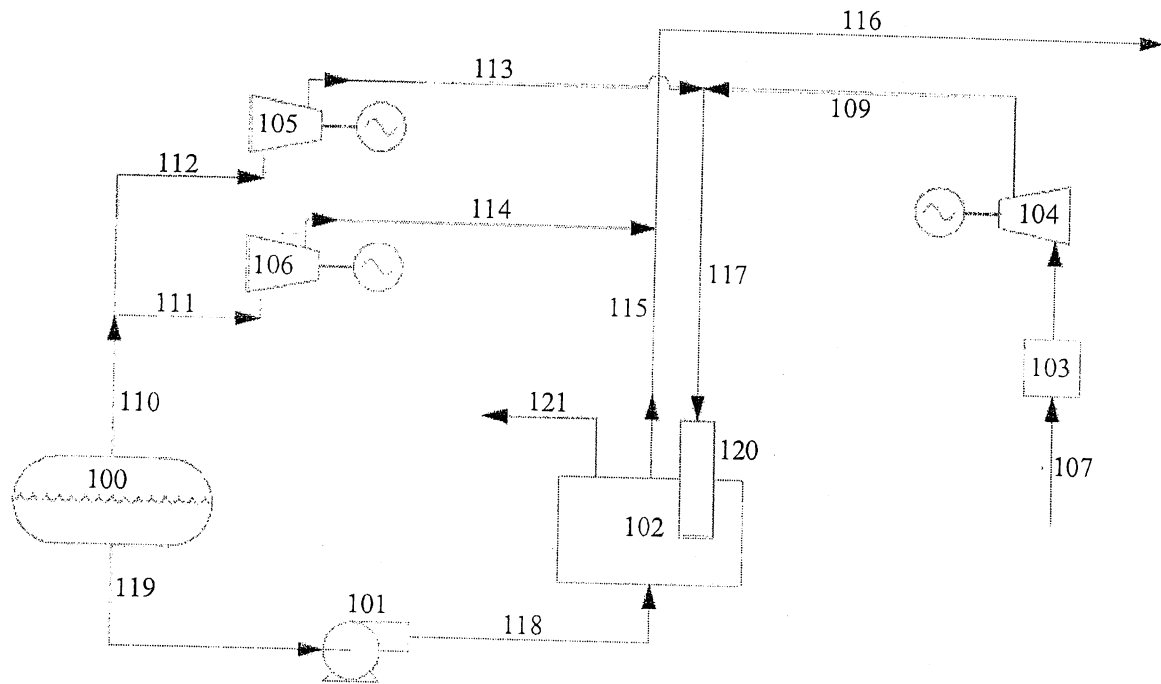


FIG. 2

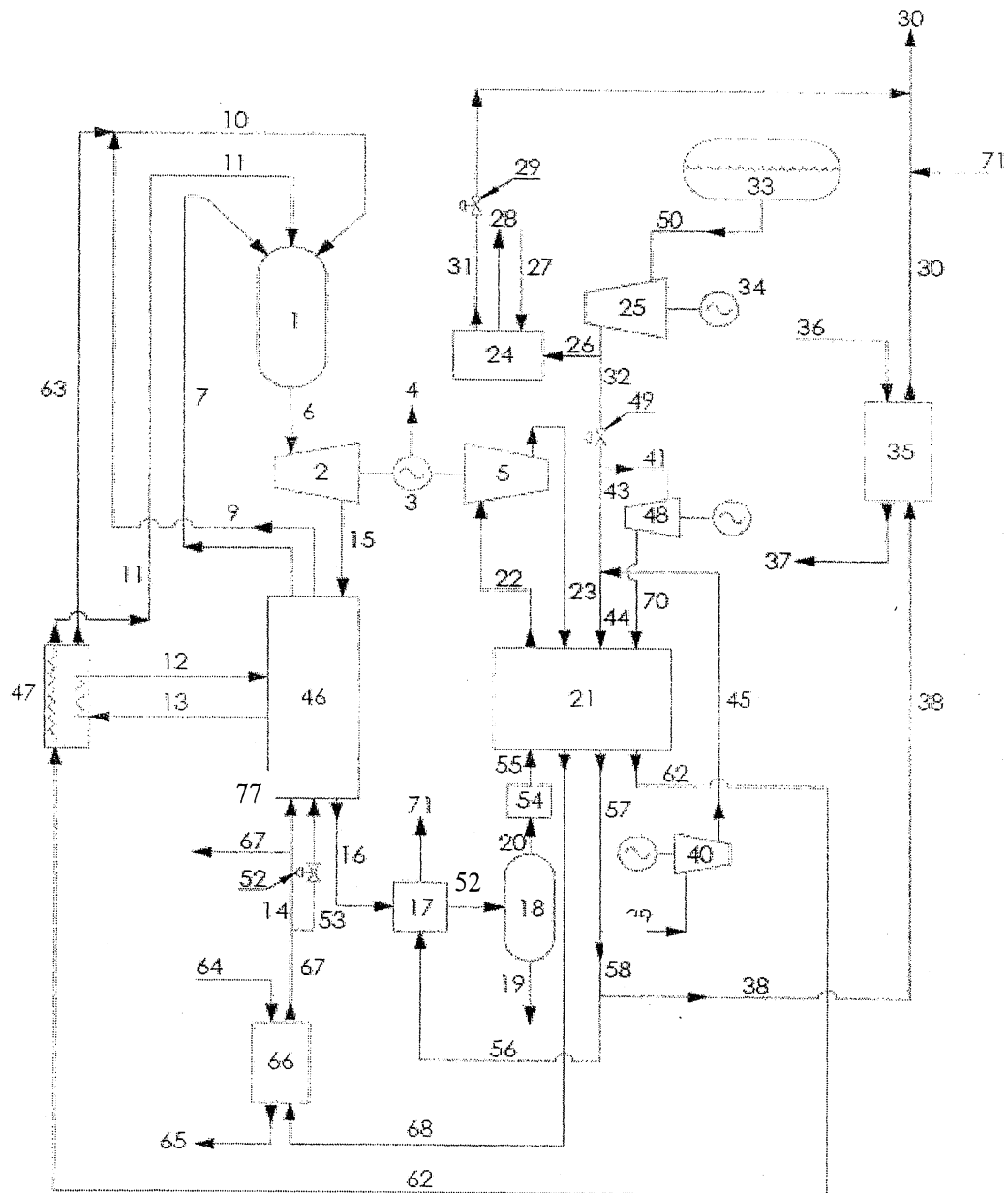


FIG. 3