

THU HỒI NHIỆT TỪ DÒNG KHÓI THẢI RA KHỎI HỆ THỐNG LÒ HƠI THU HỒI NHIỆT BẰNG CHU TRÌNH RANKINE HỮU CƠ TẠI NHÀ MÁY ĐIỆN NHƠN TRẠCH 1 & 2 ĐỂ SẢN XUẤT THÊM ĐIỆN

Lê Hồng Nguyên, Đặng Thị Tuyết Mai, Đặng Thị Bích Phương, Lưu Thị Ánh Trinh

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: nguyenlh.pvpro@vpi.pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2022.05-05>

Tóm tắt

Sau khi được thu hồi nhiệt tại các lò hơi thu hồi nhiệt, khói thải từ các turbine khí tại Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 & 2 có nhiệt độ khoảng 100 - 113°C. Nhiệt lượng trong dòng khói thải không được thu hồi bằng các phương án thu hồi nhiệt truyền thống do không mang lại hiệu quả. Chu trình rankine hữu cơ (organic rankine cycle, ORC) sử dụng các môi chất hữu cơ có khả năng bay hơi ở nhiệt độ thấp nên có khả năng thu hồi nhiệt từ dòng khói thải nhiệt độ thấp. Kết quả khảo sát chu trình ORC cho thấy, với môi chất R245fa công suất Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 tăng thêm 2 MW và với môi chất R113 công suất Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 tăng thêm 3,6 MW.

Từ khóa: Chu trình rankine hữu cơ, khói thải, môi chất, công suất điện, Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1, Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2.

1. Giới thiệu

Nhà máy điện Nhơn Trạch 1 & 2 có cấu hình công nghệ 2-2-1, gồm 2 turbine khí, 2 lò hơi thu hồi nhiệt và 1 turbine hơi. Nhiên liệu chính là khí thiên nhiên, công suất thiết kế của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 là 450 MW và Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 là 750 MW. Hình 1 mô tả tổng quát sơ đồ công nghệ Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2.

Hỗn hợp không khí và khí nhiên liệu được đốt cháy tại buồng đốt, sau đó giãn nở làm quay turbine khí. Khí thải từ turbine khí có nhiệt độ cao được thu hồi sản xuất hơi tại lò hơi thu hồi nhiệt. Khí thải sau thu hồi nhiệt tại các nhà máy có nhiệt độ khoảng 100 - 113°C được thải ra môi trường qua ống khói thải. Nhiệt độ tối thiểu cho phép đối với các dòng khói thải có liên hệ chặt chẽ với các vấn đề ăn mòn vật liệu, do đó nhiệt độ tối thiểu cho phép của khói thải được duy trì cao hơn so với nhiệt độ điểm sương acid của dòng khói thải. Tuy nhiên, ống khói của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 & 2 được chế tạo bằng vật liệu thép không gỉ, vì vậy giảm thiểu được vấn đề duy trì nhiệt độ tối thiểu của dòng khói thải.

Với khoảng nhiệt độ trên, nhiệt lượng của các dòng

khói thải không thể tiếp tục thu hồi bằng các phương pháp truyền thống do không mang lại hiệu quả. Trong trường hợp này, chu trình rankine hữu cơ cho phép thu hồi nhiệt từ các nguồn nhiệt thải cấp thấp để sản xuất điện. Chu trình rankine hữu cơ đã được ứng dụng rộng rãi để thu hồi nhiệt từ các nguồn nhiệt thải trong các lĩnh vực công nghiệp khác nhau như: công nghiệp luyện thép, công nghiệp sản xuất xi măng, công nghiệp dầu khí, nhà máy điện [1, 2].

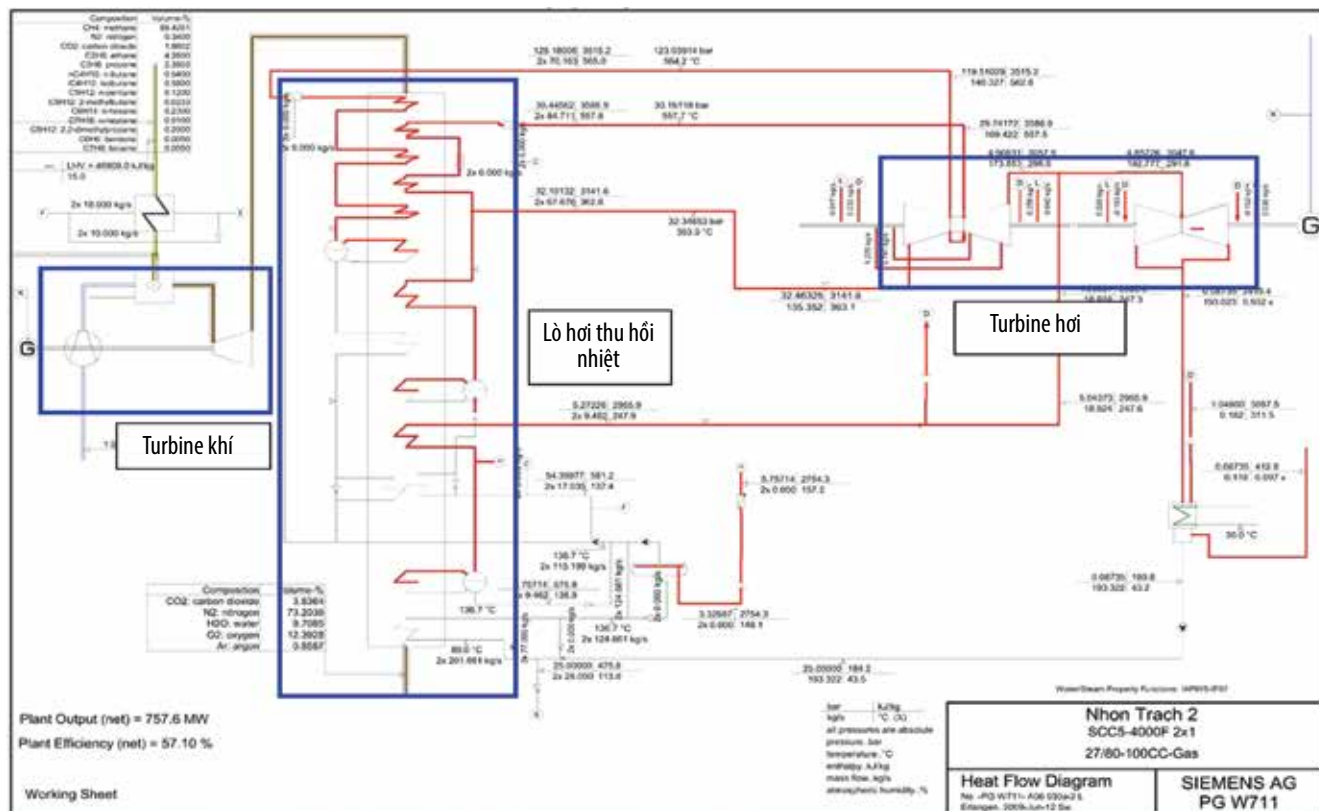
Chu trình rankine hữu cơ là một chu trình nhiệt động lực học, chuyển đổi năng lượng nhiệt thành năng lượng điện. Điện sản xuất từ ORC là điện 3 pha có mức điện áp 380 - 500 V, tần số 50 - 60 Hz, có thể được sử dụng tiêu thụ nội bộ trong nhà máy để giảm tỷ lệ điện tự dùng [3]. Chi phí vận hành chu trình rankine hữu cơ thấp do hệ thống được vận hành từ nhiệt thừa của các quá trình công nghệ chính, cụ thể là nhiệt thừa từ dòng khói thải. Nguyên lý hoạt động của chu trình rankine hữu cơ và bố trí các thiết bị cơ bản tương tự như chu trình rankine truyền thống. Điểm khác biệt chính là môi chất hữu cơ có nhiệt độ bay hơi thấp được sử dụng thay vì hơi nước. Hình 2 mô tả một chu trình rankine hữu cơ sử dụng thu hồi nhiệt từ dòng khói thải ra khỏi hệ thống lò hơi thu hồi nhiệt tại các nhà máy nhiệt điện khí.

Một chu trình rankine hữu cơ gồm các thiết bị cơ bản như bơm môi chất, thiết bị bay hơi, thiết bị giãn nở, thiết

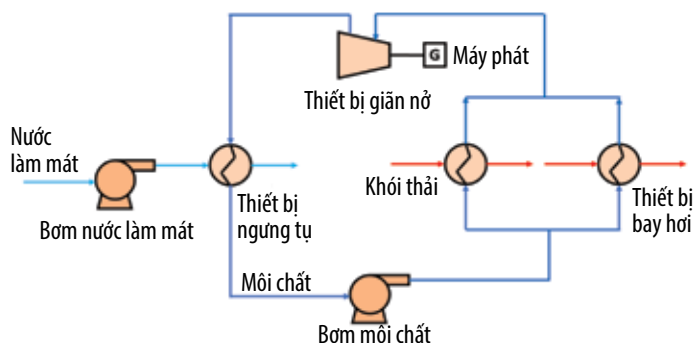


Ngày nhận bài: 22/3/2022. Ngày phân biên đánh giá và sửa chữa: 22/3 - 26/4/2022.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 20/5/2022.



Hình 1. Sơ đồ công nghệ Nhà máy Điện Nhon Trach 2.



Hình 2. Sơ đồ chu trình rankine hữu cơ.

bị ngưng tụ. Nguyên lý làm việc của chu trình rankine hữu cơ (Hình 2) như sau:

- Môi chất làm việc có nhiệt độ sôi thấp được bơm vào thiết bị bay hơi, tại đây quá trình trao đổi nhiệt giữa nguồn nhiệt thải nhiệt độ thấp và môi chất diễn ra làm hóa hơi môi chất. Thông thường, hơi môi chất tại đầu vào thiết bị giãn nở ở trạng thái bão hòa hơi. Đối với ứng dụng thu hồi nhiệt từ các dòng khí thải tại các nhà máy điện, mỗi chu trình rankine hữu cơ sẽ bao gồm 2 thiết bị bay hơi là 2 lõi trao đổi nhiệt đặt trong 2 hệ thống lò hơi thu hồi nhiệt;

- Tiếp theo, hơi áp suất cao được dẫn vào thiết bị giãn nở, đây là thành phần quan trọng của toàn bộ nhà máy điện ORC, quyết định hiệu suất của hệ thống ORC. Chất lỏng làm việc được giãn nở tạo ra cơ năng rồi biến đổi thành điện năng nhờ 1 máy phát điện kết hợp với trục turbine;

- Sau đó, hơi thải được ngưng tụ tại thiết bị ngưng tụ bằng nước làm mát hoặc không khí và bắt đầu một chu trình làm việc mới.

Môi chất làm việc trong chu trình là các chất lỏng hữu cơ được đặc trưng bởi khối lượng phân tử cao hơn và nhiệt độ bay hơi thấp hơn nước nên thích hợp để thu hồi nhiệt từ các nguồn nhiệt cấp thấp. Một chu trình rankine hữu cơ phù hợp với nhiệt độ và lưu lượng nguồn nhiệt thải sẽ được lựa chọn thông qua khảo sát các môi chất khác nhau. Công suất điện của chu trình ứng với mỗi môi chất được tối ưu thông qua xác định nhiệt độ/áp suất bay hơi/ngưng tụ thích hợp. Đối với nguồn nhiệt thải có nhiệt độ thấp, môi chất R245fa được nhiều nhà sản xuất sử dụng trong chu trình ORC [4], bên cạnh đó, nhóm tác giả đã đánh giá thêm nhiều môi chất khác (như R141b, R601, R152a, R113, R123...) nhằm tìm ra môi chất tiềm năng đối với nguồn nhiệt có sẵn tại mỗi nhà máy điện.

Xét về khía cạnh kinh tế, chi phí đầu tư cho hệ thống ORC được ước tính bằng tổng chi phí đầu tư các thiết bị chính, chi phí xây dựng, chi phí quản lý dự án và chi phí dự phòng khác. Trong đó, chi phí thiết bị như thiết bị bay hơi, thiết bị ngưng tụ, thiết bị giãn nở, các bơm môi chất, bơm nước làm mát được trích xuất từ phần mềm chuyên dụng. Hình 3

minh họa kết quả ước tính chi phí thiết bị từ phần mềm. Một trong những chức năng của phần mềm trong ước tính chi phí thiết bị là cho phép người dùng lựa chọn loại vật liệu - một trong những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến chi phí thiết bị. Nhóm tác giả đã lựa chọn vật liệu titanium đối với phần ống của thiết bị ngưng tụ, nơi chất lưu là nước làm mát. Đối với lõi trao đổi nhiệt đặt trong ống khói, vật liệu thép không gỉ đã được lựa chọn. Theo tham khảo từ các dự án đã thực hiện, các chi phí đầu tư còn lại được ước tính chiếm khoảng 70% chi phí thiết bị, trong đó chi phí xây dựng, quản lý dự án, chi phí dự phòng khác lần lượt chiếm 53%, 8% và 10%.

Ngoài ra, nhóm tác giả đã sử dụng thêm khái niệm chi phí điện bình quân hóa (LEC) để đánh giá tính kinh tế khi sử dụng công nghệ ORC thu hồi nhiệt thải từ dòng khói thải để sản xuất thêm điện. LEC được xác định bằng công thức sau [5]:

$$LEC = \frac{CRF \times C_{tot} + COM}{t_{op} \times W_{net}} \quad (USD/kWh) \quad (1)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^{LT_{pl}}}{(1+i)^{LT_{pl}} - 1} \quad (2)$$

Trong đó:

LEC: Chi phí điện bình quân hóa (USD/kWh);

CRF: Hệ số thu hồi vốn;

LT_{pl} : Tuổi thọ hệ thống ORC, 20 năm;

i: Lãi suất, 5%;

C_{tot} : Tổng chi phí đầu tư;

COM: Chi phí vận hành, bảo dưỡng, chiếm 1,5% chi phí đầu tư;

t_{op} : Thời gian vận hành, 8.000 giờ/năm;

W_{net} : Công suất điện ròng của hệ thống ORC.

2. Ứng dụng chu trình rankine hữu cơ tại Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1

Theo kết quả phân tích mẫu khí thải định kỳ 3 tháng/lần trong năm 2021 của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1, hàm lượng SO_2 trong khói thải nằm trong khoảng không phát hiện, 10 mg/Nm^3 và hàm lượng H_2O trong khói thải vào khoảng 9,4% thể tích. Theo kết quả tính toán bằng phần mềm mô phỏng, nhiệt độ điểm sương khói thải nằm trong khoảng 85,7 - 98,5°C (tương ứng với độ chuyển hóa SO_2 thành SO_3 là 1 - 5%). Tuy nhiên, ống khói của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 được chế tạo bằng thép không gỉ, do đó nhiệt độ khói thải cho phép vận hành xuống dưới nhiệt độ điểm sương acid.

Việc đánh giá phương án thu hồi nhiệt khí thải của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 sử dụng chu trình rankine hữu cơ sẽ được thực hiện với các thông số giả định và ràng buộc như Bảng 1.

Kết quả đánh giá và tính toán kinh tế cho mô hình ORC với từng loại môi chất làm việc được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 1. Thông số thiết kế chu trình ORC Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1

Các thông số giả định	Giá trị
Nhiệt độ nguồn nhiệt thải vào ORC (°C)	98,3
Lưu lượng nguồn nhiệt thải vào ORC (kg/s)	$521,5 \times 2$
Nhiệt độ đầu vào của nước làm mát (°C)	30
ΔT của nước làm mát (°C)	7
Các điều kiện ràng buộc	Giới hạn
Chênh lệch nhiệt độ tối thiểu giữa dòng nóng và lạnh (°C)	≥ 5
Hệ số hiệu chỉnh Ft	$\geq 0,75$ [6]
Các biến thay đổi	Giới hạn
Lưu lượng chất lỏng làm việc (kg/s)	
Áp suất làm việc của môi chất ORC (bar) (bao gồm áp suất sau bơm và sau turbine)	Phụ thuộc vào đường bao pha của lưu chất

Name	Equipment Cost [USD]	Equipment Weight [LBS]	Total Installed Weight [LBS]	Sizing Errors	Evaluation Errors
E-100	1,856,300	533700	717716		
E-101	93,300	20200	44051		
K-100	727,600	35400	57751		
K-100-10	720,800	35100	57384		
K-100-11	616,700	31700	52923		
K-100-12	525,200	28500	48762		
K-100-13	538,600	29000	49404		
K-100-14	480,100	26900	46675		
K-100-15	589,100	30800	51737		
K-100-2	654,400	33000	54611		
K-100-3	727,600	35400	57751		
K-100-4	619,900	31800	53057		
K-100-5	709,800	34800	56973		
K-100-6	642,200	32600	54086		
K-100-7	613,500	31600	52790		
K-100-8	607,500	31400	52528		

Hình 3. Ước tính chi phí thiết bị bằng phần mềm chuyên dụng.

Kết quả đánh giá (Bảng 2) cho thấy với các môi chất làm việc R123, R601, R245fa, R113, R141b, hệ thống ORC đều có chi phí sản xuất điện thấp hơn chi phí sản xuất điện của nhà máy. Đánh giá về thời gian thu hồi vốn và LEC, môi chất R245fa thể hiện ưu thế hơn so với các môi chất còn lại với công suất điện nhà máy tăng thêm 2 MW và thời gian thu hồi vốn là 4,6 năm.

3. Ứng dụng chu trình rankine hữu cơ tại Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2

Theo kết quả mô phỏng, dòng khí thải ra khỏi cụm lò

hơi thu hồi nhiệt của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 có nhiệt độ điểm sương acid là 81,8°C. Tuy nhiên, ống khói của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 được chế tạo bằng thép không gỉ, do đó nhiệt độ khói thải cho phép vận hành xuống dưới nhiệt độ điểm sương acid. Việc đánh giá phương án thu hồi nhiệt khí thải của Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2 sử dụng chu trình rankine hữu cơ được thực hiện với các thông số giả định và ràng buộc như Bảng 3.

Kết quả đánh giá và tính toán kinh tế cho mô hình ORC với từng loại môi chất làm việc được thể hiện như trong Bảng 4.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật và kinh tế hệ thống ORC Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1

Môi chất	Công suất turbine (kW)	Công suất bơm môi chất (kW)	Công suất bơm nước làm mát (kW)	Công suất điện ròng (kW)	Thông số vận hành					Chi phí đầu tư (triệu USD)	LEC (USD/kWh)	Thời gian thu hồi vốn (năm)
					Nhiệt độ khí thải ra khỏi ORC (°C)	Lưu lượng nước làm mát (kg/s)	Áp suất đầu ra turbine (bar)	Lưu lượng môi chất (kg/s)	Áp suất đầu ra bơm môi chất (bar)			
R123	2.918	43	304	2.571	67	1.077	1,45	190	3,80	12,448	0,058	7,4
R245fa	2.252	58	192	2.001	78	680	2,34	107	7,60	5,991	0,036	4,6
R113	2.682	24	291	2.367	68	1.028	0,77	200	2,10	10,771	0,054	6,9
R141b	2.918	33	299	2.585	67	1.059	1,25	143	3,30	13,607	0,063	8,1
R152a	2.861	197	307	2.357	67	1.086	9,00	131	18,70	28,116	0,142	18,3
R601	2.836	35	303	2.498	67	1.074	1,10	86	2,88	16,785	0,080	10,3

Bảng 3. Thông số thiết kế chu trình ORC Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2

Các thông số giả định	Giá trị
Nhiệt độ nguồn nhiệt thải vào ORC (°C)	112,7
Lưu lượng nguồn nhiệt thải vào ORC (kg/s)	646 × 2
Nhiệt độ đầu vào của nước làm mát (°C)	30
ΔT của nước làm mát (°C)	7
Các điều kiện ràng buộc	Giới hạn
Chênh lệch nhiệt độ tối thiểu giữa dòng nóng và lạnh (°C)	≥ 5
Hệ số hiệu chỉnh Ft	≥ 0,75 [6]
Nhiệt độ của khí thải sau khi ra khỏi ORC (°C)	Không ràng buộc
Các biến thay đổi	Giới hạn
Lưu lượng chất lỏng làm việc (kg/s)	
Áp suất làm việc của môi chất ORC (bar) (bao gồm áp suất sau bơm và sau turbine)	Phụ thuộc vào đường bao pha của lưu chất

Bảng 4. Thông số kỹ thuật và kinh tế hệ thống ORC Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2

Môi chất	Công suất turbine (kW)	Công suất bơm môi chất (kW)	Công suất bơm nước làm mát (kW)	Công suất điện ròng (kW)	Thông số vận hành					Tổng chi phí đầu tư (triệu USD)	LEC (USD/kWh)	Thời gian thu hồi vốn (năm)
					Nhiệt độ khí thải ra khỏi ORC (°C)	Lưu lượng nước làm mát (kg/s)	Áp suất đầu ra turbine (bar)	Lưu lượng môi chất (kg/s)	Áp suất đầu ra bơm môi chất (bar)			
R123	5.279	80	507	4.724	70	1.792	1,45	316	4,12	24,009	0,061	8,3
R245fa	3.398	107	220	3.070	93	779	2,3	120	11	9,780	0,038	5,2
R113	3.937	46	281	3.610	88	996	0,8	189	3,55	9,847	0,032	4,5
R141b	5.079	65	461	4.553	73	1.632	1,33	221	3,92	20,048	0,052	7,2
R152a	4.812	380	455	3.977	74	1.609	9,54	198	21,8	29,921	0,090	12,3
R601	5.104	67	467	4.570	73	1.653	1,11	131	3,4	24,711	0,064	8,8

Kết quả đánh giá (Bảng 4) cho thấy với môi chất làm việc là R245fa, R113, R601, R141b, R123 hệ thống ORC đều có chi phí sản xuất điện thấp hơn chi phí sản xuất điện của nhà máy. Với khía cạnh đánh giá về thời gian thu hồi vốn và LEC, môi chất R113 thể hiện ưu thế hơn so với các môi chất còn lại với công suất điện tăng thêm là 3,6 MW và thời gian thu hồi vốn là 4,5 năm.

4. Kết luận

Giải pháp thu hồi nhiệt từ dòng khói thải ra khỏi hệ thống lò hơi thu hồi nhiệt bằng chu trình rankine hữu cơ được đề xuất cho Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 & 2. Kết quả khảo sát chu trình rankine hữu cơ với các môi chất làm việc khác nhau cho thấy giải pháp mang lại hiệu quả cho cả 2 nhà máy điện khi công suất điện tăng lên. Đối với Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1, khi áp dụng giải pháp thu hồi nhiệt khói thải bằng chu trình rankine hữu cơ với môi chất R245fa đã góp phần tăng công suất thêm 2 MW với giá trị kinh tế là 1,3 triệu USD, chi phí đầu tư cho giải pháp là 5,992 triệu USD và thời gian thu hồi vốn là 4,6 năm. Đối với Nhà máy Điện Nhơn Trạch 2, khi áp dụng giải pháp thu hồi nhiệt khói thải bằng chu trình rankine hữu cơ với môi chất R113 đã góp phần tăng công suất thêm 3,6 MW với giá trị kinh tế là 2,2 triệu USD, chi phí đầu tư cho giải pháp là 9,847 triệu USD và thời gian thu hồi vốn là 4,5 năm.

Tài liệu tham khảo

[1] Sanne Lemmens, "Technological innovation in the

energy sector: Case of the organic rankine cycle", Universiteit Antwerpen, 2017.

[2] Dongxiang Wang, Xiang Ling, Hao Peng, Lin Liu, and Lanlan Tao, "Efficiency and optimal performance evaluation of ORC for low grade waste heat power generation", *Energy*, Vol. 50, pp. 343 - 352, 2012. DOI: 10.1016/j.energy.2012.11.010.

[3] ElectraTherm, "6500B+ specification sheet".

[4] Steven Lecompte, Martijn Van den Brock, and Michel De Paepe, "Optimal selection and sizing of heat exchanger for organic rankine cycle (ORC) based on thermo - economics", *Proceedings of the 15th International Heat Transfer Conference, Kyoto, Japan, 10 - 15 August 2014*. DOI: 10.1615/IHTC15.rne.008989.

[5] Yongqiang Feng, Yaning Zhang, Bingxi Li, Jinfu Yang, and Yang Shi, "Comparison between regenerative organic rankine cycle (RORC) and basic organic rankine cycle (BORC) based on thermoeconomic multi-objective optimization considering exergy efficiency and levelized energy cost (LEC)", *Energy Conversion and Management*, Vol. 96, pp. 58 - 71, 2015. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.02.045.

[6] Suraya Hanim Abu Bakar, Mohd Kamaruddin Abd Hamid, Sharifah Rafidah Wan Alwi, and Zainuddin Abdul Manan, "A simple case study on application in synthesizing a feasible heat exchanger network", *Chemical Engineering Transaction*, Vol. 56, pp. 157 - 162, 2017. DOI: 10.3303/CET1756027.

RECOVERING HEAT OF FLUE GAS FROM HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR SYSTEM AT NHON TRACH 1 AND NHON TRACH 2 GAS POWER PLANTS BY ORGANIC RANKINE CYCLE TO PRODUCE POWER

Le Hong Nguyen, Dang Thi Tuyet Mai, Dang Thi Bich Phuong, Luu Thi Anh Trinh

Vietnam Petroleum Institute

Email: nguyenh.vp@vpi.pvn.vn

Summary

Flue gas from gas turbines at Nhon Trach 1 and Nhon Trach 2 gas power plant are in the temperature range of 100 - 113°C after heat has been recovered at the heat recovery steam generator. These heat flows are not recovered by conventional methods since they are not effective. Meanwhile, the organic Rankine cycle (ORC) uses organic fluids with low boiling point, that is why it can recover heat from low-temperature flue gas streams. Results of the ORC investigation reveal that with R245fa as a fluid, the Nhon Trach 1's capacity will increase by 2.0 MW, and the Nhon Trach 2's capacity will see an increase of 3.6 MW with R113 as a fluid.

Key words: Organic Rankine cycle, flue gas, organic fluid, power capacity, Nhon Trach 1 gas power plant, Nhon Trach 2 gas power plant.