مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 92-95

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

آنالیز ترمودینامیکی و اقتصادی چرخه‌های اکسپاندری- نیتروژنی ساده و دو اکسپاندری به منظور استفاده در واحدهای مایع‌سازی گاز طبیعی

معین منقل‌ساز[1]، سید مجتبی موسوی نائینیان[2]، مصطفی مافی[3]

1– کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران
2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران
3- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین
*تهران، صندوق پستی 146651148، Nainiyan.m@wtiau.ac.ir

چکیده

مهم‌ترین عامل در بهبود فرایندهای مورد استفاده در واحدهای مایع‌سازی گاز طبیعی انتخاب صحیح چرخه سرمازا می‌باشد. فرایند انتخابی باید بیشترین راندمان اگزرژی و کمترین هزینه اقتصادی ممکن را در برداشته باشد چرا که فقط در این حالت، تولید گاز طبیعی مایع توجیه اقتصادی دارد. فرایندهای زیادی جهت مایع‌سازی گاز طبیعی وجود دارند که در این مقاله از میان آن‌ها فرایند اکسپاندری- نیتروزنی با توجه به مزایای موجود (شناخت کافی از تجهیزات و مشخص بودن پارامترهای طراحی) انتخاب شده است. در این تحقیق نتایج آنالیز اگزرژی نشان می‌دهدکه راندمان اگزرژی کل چرخه سرمازا در فرایند دو اکسپاندری- نیتروژنی 3 درصد بیشتر از فرایند اکسپاندری- نیتروژنی ساده است در ادامه پژوهش جهت تحلیل اقتصادی، هزینه سالیانه کل چرخه با نرخ بهره 15 درصد و طول عمر واحد فرایندی 10 محاسبه گردید. نتایج حاصل از آنالیز اقتصادی نیز نشان می‌دهد که هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا در فرایند دو اکسپاندری- نیتروژنی 28 درصد از فرایند اکسپاندری- نیتروژنی ساده کمتر است. بنابراین با توجه به نتایج آنالیزهای موجود فرایند دو اکسپاندری- نیتروژنی جهت استفاده در واحدهای مایع‌سازی گاز طبیعی از نظر اقتصادی و راندمان اگزرژی نسبت به فرایند اکسپاندری- نیتروژنی ساده دارای عملکرد بهینه‌تر است.

کلید واژگان: فرایند اکسپاندری - نیتروژنی، آنالیز اقتصادی، آنالیز اگزرژی

An economic and exergetic analysis of two and simple expander- nitrogen processes used in natural gas liquefaction plants

Moein manghalsaz[1], Seyed Mojtaba Mousavi Nainiyan[2*], Mostafa Mafi[3]

1- Department of Mechanical Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, k.N. toosl University of TECHNOlOGY, Tehran, Iran
3- Department of Mechanical Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
*P.O.B.146651148, Tehran, Iran, Nainiyan.m@wtiau.ac.ir

ABSTRACT

The choice of the correct liquefaction cycle is the most important factor in improving the used processes in natural gas liquefied units. From thermo-economic viewpoints, the selected process should present the highest exergy efficiency and lowest production cost of LNG. There are many processes for liquefying of natural gas. In this paper, the expander-nitrogen processes type is selected because of their advantages such as enough knowledge about equipment and given design parameters. The results of the exergy analysis show that the exergitic efficiency of the cycle is over 3% in the two expander-nitrogen process rather than simple expander. In the next step, to do an economic analysis, the total annual cost of the cycles is calculated with 15% interest rate and 10 life cycle process. The results of the economic analysis also show that the total annual cost of two-expander- nitrogen process is 28% less than a simple expander process. Therefore, two-expander cycle is introduced for liquefying natural gas because of its better economic and exergetic efficiency parameters.

Keywords: Expander-nitrogen process, Economic analysis, Exergy analysis

1- مقدمه

مایع‌سازی گاز طبیعی یک تبرید دما پایین است که هدف از انجام این فرایند، تولید گاز طبیعی مایع در مقیاس صنعتی می‌باشد. مایع‌سازی گاز موجب کاهش شدید حجم آن نسبت به حجم اولیه می‌شود بنابراین حمل و نقل گاز طبیعی به مسافت‌های بیش از سه هزار کیلومتر را از نظر فنی و اقتصادی توجیه می‌نماید. برای تولید گاز طبیعی مایع در ابتدا باید فرایندی مناسب جهت سرمایش گاز طبیعی با توجه به حجم مایع‌سازی، شرایط محیطی و عملیاتی و هزینه‌های اقتصادی مربوط به سیکل سرمازا انتخاب نمود. بهینه سازی ترمودینامیکی بر روی چرخه سرمازا در فرایند مایع‌سازی گاز طبیعی زمانی ارزش سرمایه‌گذاری خواهد داشت که این بهینه‌سازی بتواند هزینه‌های اقتصادی مربوط به چرخه سرمازا را کاهش دهد [1]. بنابرین برای داشتن درک درستی از هزینه‌های اقتصادی، راندمان اگزرژی و کارایی فرایند انتخابی باید چرخه سرمازا را مورد آنالیز اقتصادی و اگزرژی قرار داد تا بتوان مقادیر عددی آن‌ها را محاسبه نمود. در این تحقیق فرایندهای اکسپاندری- نیتروژنی ساده و دو اکسپاندری جهت استفاده در واحدهای مایع‌سازی گاز طبیعی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتایج آنالیز اقتصادی و هزینه سالیانه کل چرخ سرمازا برحسب نرخ بهره 15 درصد و طول عمر واحد فرایندی ده ساله

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
M.manghalsaz, S.M.Mousavi Nainiyan, M.Mafi, An economic and exergetic analysis of two and simple expander- nitrogen processes used in natural gas liquefaction plants, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 92-95, 2016 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-18]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.52.9]

در فرایندهای مورد مطالعه استخراج و مورد بحث قرار گرفته است و تغییرات هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا برحسب توان مصرفی واقعی جهت تحلیل اقتصادی ارائه شده است.

2- معرفی فرایندهای مایع‌سازی مورد مطالعه

فرایندهای زیادی جهت مایع‌سازی گاز طبیعی وجود دارند که در این مقاله از میان آن‌ها فرایند اکسپندری- نیتروژنی با توجه به مزایای موجود (شناخت کافی از تجهیزات) انتخاب و مورد آنالیز اقتصادی و اگزرژی قرار گرفته است.

2-1- فرایند اکسپاندری- نیتروژنی ساده

این فرایند ساده‌ترین نوع فرایند اکسپاندری و نام دیگر آن چرخه برایتون معکوس می‌باشد. مبرد استفاده شده در این چرخه نیتروژن است و سرمایش موردنیاز جهت مایع‌سازی گاز طبیعی (95% درصد متان) در طی یک فرایند انبساطی در اکسپاندر تامین می‌شود. این فرایند با تولید کار نیز همراه است. سادگی در عملکرد، زمان آغاز به کار کوتاه‌تر، ایمنی بالا و تعداد کم تجهیزات از ویژگی‌های این فرایند می‌باشد. بالا بودن توان مصرفی و در نتیجه کارایی پایین مهم‌ترین نقطه ضعف این فرایند است [3،2].

2-2- معرفی فرایند دواکسپاندری-نیتروژنی غیروابسته

فرایند سرمازای دواکسپاندری-نیتروژنی از دو چرخه بسته تبرید جهت پیش سرد کردن و مایع‌سازی گازطبیعی استفاده می‌کند. سیال مبرد استفاده شده در هر دو چرخه نیتروژن می‌باشد. در این فرایند، کاهش دما و در نتیجه تولید سرمایش به سبب انبساط آنتروپی ثابت مبرد در اکسپاندر صورت می‌پذیرد.

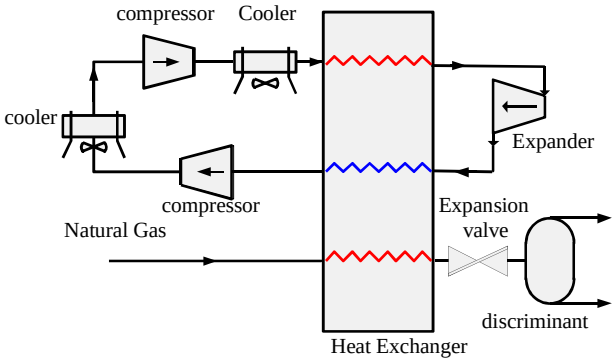

Fig. 1 The Simple Expander-nitrogen process

شکل 1 فرایند اکسپاندری- نیتروژنی ساده [1]

جدول 1 پارامترهای طراحی فرایند اکسپاندری- نیتروژنی ساده [1-3]

Table 1 Designing parameters process TheExpander-nitrogeneasy

مشخصات فرآیند	مقدار
دمای مبرد خروجی از مبدل حرارتی	- 40 °C
دمای مبرد بعد از خنک کننده اول	36°C
دمای مبرد بعد از خنک کننده دوم	27°C
دبی خوراک ورودی	20454kg/h
دمای گاز خوراک ورودی	32°C
فشار گاز خوراک ورودی	60bar
فشار تخلیه	100bar
فشار مکش	6.3bar
توان مصرفی فرآیند	13.33MW
نسبت توان واحد مایع‌سازی به نیروگاه	3.5%

جدول 2 پارامترهای طراحی فرایند دو اکسپاندری [2-4]

Table 2 Designing parameters process two Expander [2-4]

مشخصات فرآیند	مقدار
فشار تخلیه	80 bar
فشار مکش	10 bar
دمای مبرد بعد از خنک کننده اول	36°C
دمای مبرد بعد از خنک کننده دوم	27°C
دبی خوراک	20454 kg/h
دمای گاز خوراک ورودی	32°C
فشار گاز خوراک ورودی	60bar
توان مصرفی فرایند	7.79 MW
نسبت توان واحد مایع‌سازی به نیروگاه	2.3%

3- آنالیز اگزرژی فرایندهای مورد مطالعه

در ادامه راندمان اگزرژی کل چرخه سرمازا و ضریب عملکرد سیستم تبرید برای هر دو چرخه مورد مطالعه محاسبه شده و نتایج مورد بحث قرار گرفته.

3-1- محاسبه راندمان اگزرژی فرایندهای مورد مطالعه

جهت محاسبه راندمان اگزرژی برای فرایندهای مورد مطالعه باید کار مینیمم (حداقل توان مصرفی جهت مایع‌سازی‌گاز طبیعی) را بر مقدار کار مصرفی واقعی چرخه سرمازا (مجموع توان ورودی به کمپرسورها) تقسیم نمود[6].

$$\varepsilon_{\text{refrigeration system}} = \frac{W_{min}}{W_{actual}} \quad (1)$$

برای محاسبه مقدارکار مینیمم چرخه سرمازا می توان از رابطه شماره (2) استفاده نمود[6].

$$W_{min} = m\cdot [(h_{in} - h_{Out}) - T_0(S_{in} - S_{Out})] \quad (2)$$

3-2- محاسبه ضریب عملکرد سیستم تبرید فرایندهای مورد مطالعه

زمانی که مقدار حرارت دفع شده از گاز طبیعی به محیط اطراف هنگام مایع‌سازی مشخص گردد می‌توان ضریب عملکرد سیستم تبرید را برای فرایندهای مورد مطالعه از رابطه شماره (3) بدست آورد[6].

$$Cop = \frac{Q}{W_{min}} \quad (3)$$

مقدار Q در رابطه شماره (3) از رابطه شماره (4) بدست می‌آید [6].

$$Q = m\cdot(h_{in} - h_{out}) \quad (4)$$

4- آنالیز اقتصادی فرایندهای مورد مطالعه

در ادامه تحقیق مقدار عددی هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا برای فرایند مورد مطالعه بدست آمده و نتایج حاصل مورد تحلیل و بررسی گرفته است.

4-1- هزینه سرمایه گذاری اولیه کمپرسور

هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمپرسور از رابطه شماره (5) بدست آمده است [6].

$$C_{compressor} = 68\,(1 + f_i)(Power)^{.42} \quad (5)$$

4-2- هزینه سرمایه گذاری اولیه مبدل حرارتی

از رابطه شماره (6) برای محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه مبدل حرارتی چند جریانی (صفحه- پره‌ای) استفاده می‌شود [6].

$$C_{Plate-Fin\ Heat\ Exchanger} = 30000 + 1900(Ar)^{.83} \quad (6)$$

سطح تبادل حرارت مبدل حرارتی برحسب m^2 می‌باشد که مقدار عددی آن برای حداقل اختلاف دمای بهینه 1.5°C در چرخه اکسپاندری- نیتروژنی ساده $10000\ m^2$ و چرخه دواکسپاندر $12000\ m^2$ محاسبه شده است [6].

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-18]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.52.9]

3-4- فاکتور سرمایه‌گذاری سالیانه برای فرایندهای مورد مطالعه

فاکتور سرمایه‌گذاری سالیانه از رابطه شماره (7) به‌دست آمده است [6].

$$A_{\text{nnual cost factor}} = \frac{I\,(1+I)^n}{(1+I)^n-1} \quad (7)$$

در این تحقیق با توجه به شرایط اقتصادی و فنی در کشور مقدار نرخ بهره 15 درصد و طول عمر واحد فرایندی 10 ساله در نظر گرفته شده است.

4-4- هزینه سالیانه سرمایه گذاری اولیه

جهت محاسبه هزینه سالیانه سرمایه‌گذاری اولیه باید هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمپرسور و مبدل حرارتی) را در مقدار فاکتور سرمایه گذاری سالیانه ضرب نمود [6].

$$C_{Operating} = A_{ncf}\,(C_c + C_{HE}) \quad (8)$$

5-4- محاسبه هزینه سالیانه عملیاتی چرخه‌ها مورد مطالعه

جهت محاسبه هزینه سالیانه عملیاتی چرخه‌های مورد مطالعه از مقادیر ارائه شده در مرجع [6] استفاده و مقدار آن به ازاء 8000 ساعت کاری در سال محاسبه گردیده است.

6-4- محاسبه هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا

هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا از رابطه شماره (9) به‌دست آمد است [6].

$$C_t = A_{ncf}(C_c + C_{HE}) + C_o \quad (9)$$

5- نتایج آنالیز اقتصادی و اگزرژی برای فرآیندهای مورد مطالعه

با توجه به نمودار تغییرات هزینه سالیانه کل چرخه برحسب توان مصرفی واقعی کمپرسورها مطابق با "شکل 2" به ازای هر2000 کیلو وات توان مصرفی کمپرسورها در فرایند دواکسپاندری هزینه سالیانه کل چرخه نزدیک به 35% افزایش خواهد داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا وابستگی زیادی به توان مصرفی کمپرسورها دارد بنابراین با بهینه-سازی کمپرسورها و افزایش تعداد مراحل پیش سرمایش می‌توان کار مصرفی جهت مایع سازی گاز طبیعی را کاهش داد و چرخه سرمازا را از نظر اقتصادی و راندمان اگزرژی بهبود بخشید. آنالیز اقتصادی در انتخاب یک فرایند سرمازا جهت مایع‌سازی گاز طبیعی نقش کلیدی و تعیین کننده‌ای دارد.

1-5- نتایج آنالیز اگزرژی چرخه های مورد مطالعه

تحلیل آنالیز اگزرژی در این تحقیق نشان می‌دهد که راندمان اگزرژی کل چرخه سرمازا در فرایند دو اکسپاندری 3 درصد بیشتر از فرایند اکسپاندری– نیتروژنی ساده می باشد.

2-5- نتایج آنالیز اقتصادی چرخه‌های مورد مطالعه

هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا در سیستم تبرید دواکسپاندری 28% از چرخه اکسپاندری-نیتروژنی ساده کمتر است. هزینه سالیانه چرخه سرمازا در فرایندهای مورد مطالعه به توان مصرفی کمپرسورها و نحوه تولید برودت در چرخه سرمازا وابسته زیادی دارد. بنابراین فرایند دواکسپاندری به دلیل توان مصرفی پایین‌تر جهت مایع‌سازی گاز طبیعی به هزینه اقتصادی کمتری نیاز

جدول 3 مقدار عددی آنالیز اگزرژی [1-3]

Table 3 Numerical Amounts analyze Exergy [1-3]

متغیرها	دواکسپاندری – نیتروژنی	اکسپاندری- نیتروژنی ساده
ضریب عملکرد سیستم تبرید	1.55	1.67
راندمان اگزرژی کل چرخه	28.5%	31.32%

جدول 4 نتایج آنالیز اقتصادی چرخه اکسپاندری-نیتروژنی ساده [6]

Table 4 results analyze Economic The Expander-nitrogen cycie easy

مشخصات	مقدار
حداقل اختلاف دمای بهینه	1.5℃
سطح تبادل حرارت مبدل	10000m^2
فاکتور سرمایه گذاری سالیانه	0.1992
توان مصرفی فرایند	13330 Kw
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمپرسور	7675090($)
هزینه سرمایه‌گذاری مبدل حرارتی	3972662($)
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سالیانه	2320232($)
هزینه عملیاتی چرخه	3199200($)
هزینه کل چرخه	5519432($)

جدول 5 نتایج آنالیز اقتصادی چرخه دواکسپاندری [6]

Table 5 results analyze Economic The cycie two Expander

مشخصات	مقدار
حداقل اختلاف دمای بهینه	1.5℃
سطح تبادل حرارت مبدل	12000 m^2
فاکتور سرمایه گذاری سالیانه	0.1992
توان مصرفی فرایند	7790 Kw
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمپرسور	6124803($)
هزینه سرمایه‌گذاری مبدل حرارتی	4648213($)
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سالیانه	2145966($)
هزینه عملیاتی چرخه	1869600($)
هزینه کل چرخه	4015566($)

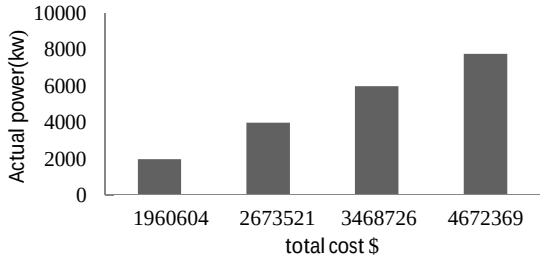

Fig. 2 thechart changes total cost to according power actual

شکل 2 نمودار تغییرات هزینه کل با توجه به توان واقعی

دارد. باید توجه داشت که با کمتر شدن نرخ بهره و یا افزایش طول عمر واحد فرایندی هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا کاهش خواهد یافت.

6- نتیجه‌گیری و دست‌آورد علمی صنعتی

نتایج حاصل از پژوهش برروی فرایندهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین هزینه اقتصادی جهت ساخت و طراحی یک چرخه سرمازا مربوط به هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمپرسور است بنابراین هر روش علمی قابل اجرا که بتواند عملکرد کمپرسورها را بهینه نماید می‌تواند هزینه اقتصادی کل چرخه سرمازا را به مقدار قابل ملاحضه‌ای کاهش دهد. هزینه سرمایه‌گذاری سالیانه کل چرخه سرمازا در فرایند دواکسپاندری 28% از فرایند اکسپاندری-نیتروژنی ساده کمتر است به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت زمان بازگشت سرمایه در فرایند دواکسپاندری کوتاه‌تر خواهد بود. نتایج آنالیز اگزرژی در این تحقیق نشان می‌دهد که راندمان اگزرژی کل چرخه سرمازا در فرایند دواکسپاندری 3 درصد بیشتر از فرایند اکسپاندری– نیتروژنی ساده است. اختلاف در هزینه‌های اقتصادی و راندمان اگزرژی در فرایندهای مورد مطالعه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-18]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.52.9]

مربوط به نحوه تولید برودت در چرخه سرمازا می‌باشد. فرایند دواکسپاندری از دو سیکل تبرید بسته جهت مایع‌سازی گاز طبیعی استفاده می‌کند. سیکل اول نقش پیش سرمایش گاز را دارد و باعث کاهش دمای گاز خوراک ورودی می‌شود در این حالت اختلاف دمایی بین سیال مبرد (نیتروژن) و گاز خوراک (معمولا"متان) در مبدل حرارتی کمتر می‌شود این پدیده باعث کاهش شدید کار مینیمم درسیکل سرمازا و جلوگیری از افزایش اتلافات اگزرژی در مبدل حرارتی می‌گردد که نتیجه نهایی آن کاهش هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا به‌سبب بهینه‌سازی صورت گرفته در سیستم دو اکسپاندری است. نتایج اقتصادی این پژوهش نشان می‌دهد که تمایل جهت سرمایه‌گذاری در چرخه دواکسپاندری نسبت به چرخه اکسپاندری– نیتروژنی ساده بیشتر است چرا که به سبب هزینه‌های مالی پایین‌تر و راندمان اقتصادی بالا زمان بازگشت سرمایه اولیه در فرایند دو اکسپاندری کوتاه‌تر است و اثر نرخ تورم بر میزان سرمایه‌گذاری اولیه در این چرخه سرمازا کمتر خواهد بود. بدون تردید توجیه اقتصادی طرح‌های صنعتی زود بازده ساده‌تر و تمایل جهت سرمایه‌گذاری در چنین پژوه‌های بیشترخواهد بود. هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا به طول عمر واحد فرایندی، نرخ بهره، توان مصرفی کمپرسور و نحوه تولید برودت در چرخه سرمازا وابسته است بنابراین شرایط مالی کشور مانند نرخ بهره نقش اساسی در تعیین هزینه اقتصادی چرخه سرمازا در فرایندهای مورد مطالعه دارد.

7- فهرست علائم

T_0	دمای محیط (°Fیا°C)
COP	ضریب عملکرد سیستم تبرید
h	آنتالپی (kj / kg)
s	آنتروپی (kj / kg)
Q	گرمای دفع شده از گاز طبیعی در هنگام مایع‌سازی (kw)
$\dot{m}$	نرخ دبی جرمی (kg/h)
C_t	هزینه سالیانه کل چرخه سرمازا
A_{ncf}	فاکتور سرمایه‌گذاری سالیانه
C_c	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمپرسور
C_{HE}	هزینه سرمایه‌گذاری اولیه مبدل حرارتی
C_0	هزینه عملیاتی چرخه سرمازا
Ar	سطح تبادل حرارت مبدل
f_i	فاکتور نصب کمپرسور (مقدار عددی آن 1.09 است)
I	نرخ بهره سالانه
n	طول عمر واحد فرایندی

علایم یونانی

ε	بازدهی اگزرژی

زیر نویس‌ها

in	حالت ورودی
min	مینیمم
out	حالت خروجی
N	نیتروژن

8- مراجع

[1] P. R. A. Mortazavi, C. Somers, Y. Hwang, R. Radernacher, "Performance enhancement of propane precooled mixed refrigerant LNG plant", Appl. Energy, Vol. 93, pp. 138–147, 2012.

[2] S. Mokhatab, J. Y. Mak, J.V. Valappil, D. A. Wood, Handbook of Liquefied Natural Gas: Gulf Professional Publishing, 2013.

[3] G. Venkatarathnam, Cryogenic mixed refrigerant processes: Springer ,2008.

[4] H. Chang, J. Park, K. Cha, S. L. a. K. Choe, Modified Reverse-Bryton Cycles for Efficient Liquefaction of Natural Gas, Cryocoolers ,Vol. 17, No. 1, pp. 435-442, 2012.

[5] H. M. Chang, M. J. Chung, M. J. Kim, S. B. Park, Thermodynamic design of methane liquefaction system based on reversed-Bryton cycle, Cryogenics, Vol. 49, No. 6, pp. 226-234, 2009.

[6] M. Amidpour, M. H. Hamedi, M. Mafi, B. Ghorbani, R. Shirmohammadi, M. Salimi, Sensitivity analysis, economic optimization, and configuration design of mixed refrigerant cycles by NLP technique, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 24, pp. 144-155, 2015. (in Persian فارسی).

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-18]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.52.9]