Archive of SID

چهارمین کنفرانس مشعل و کوره های صنعتی
تهران، ۲۹ خرداد ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
www.Koureh.ir تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶

بازیافت انرژی برای فرآیند تولید ایزو پروپیل بنزن

حسن زارع علی آبادی[۱]، مهدی منفرد راد[۲]،مهلا حسینی[۳]
۱- استادیار گروه مهندسی شیمی ، دانشگاه مهندسی فناوریهای نوین قوچان
H_A_Zare@yahoo.com

چکیده

در فرآیند تولید کومن(ایزو پروپیل بنزن) خوراک که مخلوطی از پروپیلن تازه،بنزن و بنزن برگشتی از واحد تفکیک می باشد در دو مرحله،ابتدا بوسیله بخار فشار بالا به شدت ۱۸۲۴۰۰ کیلوگرم در روز تا دمای ۲۱۴ درجه سانتیگراد پیشگرم و سپس در کوره که از سوخت گازی به شدت ۱/۲۷ میلیون فوت مکعب استاندارد در روز (MMscfd) تغذیه می نماید به دمای نهایی ۳۵۰ درجه سانتیگراد می رسد.واضح است که مصرف انرژی در این واحد بسیار بالا بوده و علاوه بر بالا بودن هزینه تامین این میزان انرژی، استفاده از کوره منجر به انتشار حجم عظیمی از گازهای آلاینده می شود.در این نوشتار بازیافت انرژی برای فرآیند تولید کومن به روش Backward Heat صورت گرفته که نتایج بسیار خوبی نیز حاصل شده است.در این روش امکان بهره گیری از جریان محصول راکتور که دارای دمای بسیار مناسب ۳۵۲ درجه سانتیگراد می باشد برای استفاده بجای بخار فشار بالا و کاهش مصرف سوخت در کوره مذکور بررسی گردید و نتایج حاکی از آن می باشند که استفاده از روش Backward Heat در این فرآیند منجر به کاهش ۸۱/۳۱ درصدی مصرف سوخت کوره،کاهش ۸۳ درصدی تولید گازهای دودکش و بازیافت ۱۰۰ درصدی بخار فشار بالا می گردد.براساس برآورد اقتصادی انجام شده میزان سود حاصل از اعمال روش Backward Heat در فرآیند تولید کومن سالانه ۷۱۱۲۰۳ دلار خواهد بود.

کلمات کلیدی : بازیافت انرژی، کوره، روش Backward Heat ،کاهش مصرف سوخت

---

۱ - استادیار گروه مهندسی شیمی ، دانشگاه مهندسی فناوریهای نوین قوچان
۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی گرایش شیمی آلی ، دانشگاه پیام نور واحد تربت حیدریه

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

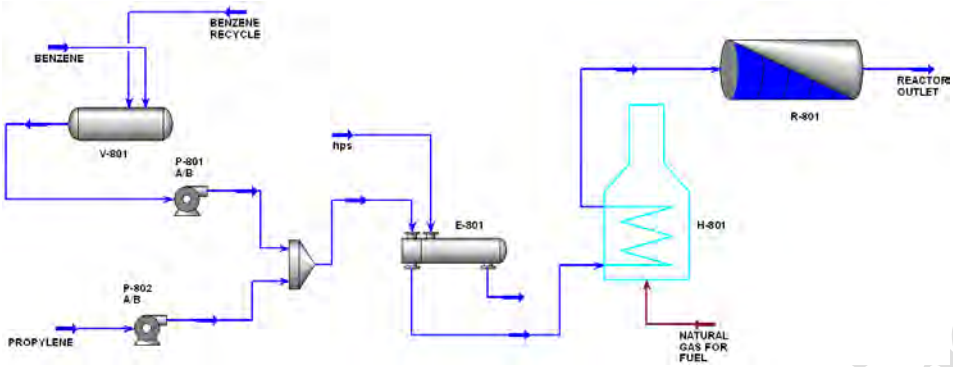
بکار گیری روش های خاص به منظور تعیین راه حل موثر و اقتصادی یک مسئله در یک فرایند را بهینه سازی می گویند .بهینه سازی از عمده ترین ابزار تصمیم گیری در صنایع می باشد ، بهینه سازی با انتخاب بهترین جواب یا راه حل از میان جواب های محتمل با بکارگیری روش های موثر کمی سر و کار دارد . البته رایانه و نرم افزارهای مرتبط با موضوع ، محاسبات لازم را امکان پذیر و با حداقل هزینه انجام می دهند [۱] .حفظ انرژی در طراحی یک واحد شیمیایی همواره یکی از مهمترین موارد مورد توجه می باشد به علاوه تعین کمترین مقدار انرژی گرمایی و سرمایی مورد نیاز یک پروسه از اصلی ترین محاسبات برای تعین مقدار ذخیره انرژی است بنابراین انتگراسیون حرارتی (یکپارچه کردن انرژی) یکی از عوامل مهم در طراحی های اقتصادی می باشد [۲].نام تکنولوژی پینچ برای پژوهشگران و دانشمندان فعال در عرصه بهینه سازی مصرف انرژی شناخته شده و آشناست.این تکنولوژی برای تحلیل و بررسی شبکه مبدل های حرارتی به منظور کاهش مصرف انرژی استفاده می شود . پژوهشگران به منحنی ترکیبی بعنوان ابزاری مهم در بازیافت انرژی پرداختند . تاکید آن ها بر نقطه پینچ بعنوان نقطه کلیدی در بازیافت انرژی بود و به همین علت نام تکنولوژی پینچ را برای آن انتخاب نمودند . تا به امروز تکنولوژی پینچ پیشرفت های زیادی نموده است و علاوه بر شبکه مبدل های حرارتی برای بهینه سازی برج های تقطیر و کوره ها استفاده می شد. انتگراسیون حرارتی یک روش برای حداقل نمودن مصرف انرژی بر اساس معادلات ترمودینامیکی می باشد.این هدف با بهینه نمودن سیستم های بازیابی حرارتی،روش های تامین انرژی فرایند و شرایط عملکرد آن حاصل می شود.این تکنولوژی به نام های انتگراسیون حرارتی۱،انتگراسیون انرژی یا انتگراسیون تکنولوژی پینچ نیز معروف است.تکنولوژی پینچ در طراحی شبکه مبدلهای حرارتی حداقل مصرف انرژی را تضمین می کند.آنالیز اگزرژی از قوانین اول و دوم ترمودینامیک بهره می گیرند تا بتواند جریان اگزرژی را در سیستم محاسبه و نیز اجزاء غیر بهینه را مشخص کند[۳-۶].

۲- شرح واحد سنتز فرآیند تولید کومن (ایزو پروپیل بنزن)

خوراک ورودی به این فرآیند شامل بنزن (بنزن تازه و بنزن برگشتی از واحد جداسازی) و پروپیلن مـی باشـد . پـروپیلن و بنزن هر یک در پمپ های جداگانه ای به فشار ۳۱۵۰ کیلوپاسکال رسیده و در یک جمع کننده یکی شده و به منظـور تغییـر فاز از مایع به بخار وارد مبدل حرارتی E-801 می شوند . در این مبدل توسط بخار آب فشار بالا مخلوط بنـزن و پـروپیلن بـه دمای ۲۱۴ درجه سانتیگراد رسیده و به بخار تبدیل می شوند . در ادامه خروجی از مبدل مذکور وارد کوره H-801 شده و بـه دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد می رسد و وارد راکتور می شود (شکل شماره ۱) . راکتور از نوع لولـه ای بـوده و دارای ۴۳۲ لولـه بطول ۶ متر می باشد . به منظور کنترل دمای راکتور از جریان آب استفاده می کنند . خروجی از راکتور با دمـای ۳۵۰ درجـه سانتیگراد پس از خنک سازی به بخش تفکیک و خالص سازی کومن ارسال می شود [۷].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ : شماتیک شبیه سازی واحد سنتز فرآیند تولید کومن

۳- بیان مسئله و ضرورت تحقیق

کوره ها در فرآیند های پتروشیمی وپالایشگاهی از مهمترین مصرف کننده های انرژی هستند.کاربرد مهم آن ها در کراکینگ حرارتی، پیش گرم کردن سیال فرآیند است.سیر صعودی قیمت انرژی در اواخر قرن بیستم باعث بوجود آمدن روش های بهینه سازی انرژی و صرفه جویی در مصرف سوخت شده است.

در بخش سنتز فرآیند تولید کومن به منظور پیشگرم نمودن پروپیلن از یک کوره (شکل شماره ۱) استفاده می شود[۷].سوخت این کوره از گاز طبیعی (جدول شماره ۱) تامین شده که دبی قابل توجهی را به خود اختصاص می دهد . از طرفی با توجه به اینکه گازهای حاصل از احتراق گاز طبیعی در کوره به اتمسفر ارسال می شوند علاوه بر هدر رفت انرژی تخریب محیط زیست نیز صورت خواهد گرفت که این امر لزوم استفاده از روشی به منظور کاهش مصرف سوخت و در پی آن کاهش آلاینده های زیست محیطی (در این مورد خاص کاهش تولید گاز های گلخانه ای) را دو چندان می نماید . در حال حاضر به منظور تامین سوخت کوره فوق الذکر روزانه ۱/۲۷ میلیون فوت مکعب گاز مصرف می شود که محصولات حاصل از احتراق آن گاز های گلخانه ای از قبیل اکسید های نیتروژن ، اکسید های گوگرد ، بخار آب و منواکسید کربن می باشند که با توجه به بالا بودن دبی گاز مصرفی ، میزان گاز های آلاینده نیز قابل توجه خواهد بود.هزینه تامین انرژی برای این فرایند بصورت زیر محاسبه شده است :

هزینه بخار در مبدل های گرمایی + هزینه انرژی کوره = هزینه تامین انرژی در حالت فعلی(دلار در سال)

هزینه بخار در مبدل های گرمایی(دلار در سال) = E-801 Cost + E-804 Cost + E-806 Cost

هزینه تامین بخار (kg/h) =دبی بخار در سه مبدل × Steam Cost Per 1000 kg of HPS[۸] ×۸۰۰۰

هزینه تامین بخار (دلار در سال) = ۱۴۴۱۰ × ۸/۶۲ × ۸۰۰۰ = ۹۹۳۷۱۴

هزینه انرژی کوره (دلار در سال) = مصرف انرژی (Gj/h) × قیمت هر گیگا ژول انرژی[۸] × ۸۰۰۰

هزینه انرژی کوره (دلار در سال) = ۷/۵۰۱ × ۳× ۸۰۰۰ = ۱۸۰۰۲۴

هزینه تامین انرژی در حالت فعلی (دلار در سال) = ۱۸۰۰۲۴ + ۹۹۳۷۱۴ = ۱۱۷۳۷۳۸

جدول ۱ : ترکیب سوخت گازی تزریقی به کوره

کسر مولی	ترکیبات
۰/۰۰۰۰۰۲	سولفید هیدروژن
۰/۰۰۰۱۵۰	دی اکسید کربن

www.SID.ir

Archive of SID

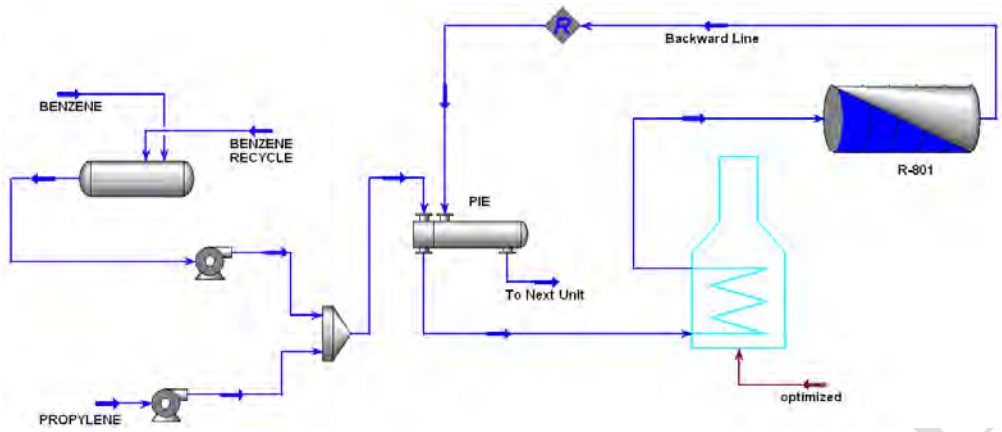
نیتروژن	۰/۰۰۱۴۷
متان	۰/۸۱۵۲۷۵
اتان	۰/۱۱۰۹۰۱
پروپان	۰/۰۴۷۹۹۷
ایزو بوتان	۰/۰۰۶۶۶۴
نرمال بوتان	۰/۰۱۲۲۲۳
ایزو پنتان	۰/۰۰۲۶۱۳
نرمال پنتان	۰/۰۰۲۱۴۷
نرمال هگزان	۰/۰۰۰۴۱۷
نرمال هپتان	۰/۰۰۰۰۸۲

۴- بازیافت انرژی به روش Backward Heat

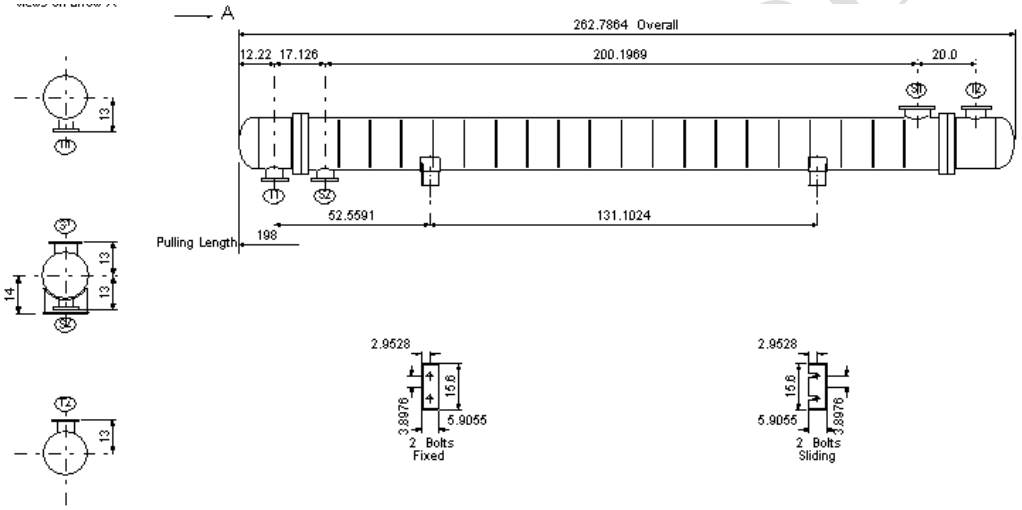
با توجه به شکل شماره ۱ بیشترین مصرف انرژی که از لحاظ زیست محیطی نیز تهدید جدی به شمار می آید در کوره پیشگرم کننده کومن می باشد .لذا می بایست روش ارائه شده در جهت کاهش مصرف سوخت در این تجهیز قرار گیرد . انتگراسیون حرارتی در این راستا عمل نموده و می تواند با صرف کمترین هزینه ممکن این هدف را میسر سازد . روشی که در این مقاله ارائه شده بر اساس انتگراسیون حرارتی به روش Backward Heat می باشد که در نهایت منجر به کاهش قابل ملاحظه مصرف سوخت گازی و در پی آن کاهش گاز های آلاینده می شود . پس از شبیه سازی واحد سنتز کومن ، استفاده از انرژی گرمایی (دمای بالای این جریان) محصول خروجی (بخار) از راکتور بررسی گردید و مشخص شد که چنانچه خوراک پروپیلن قبل از ورود به کوره ، به مبدل گرمایی PIE (طراحی در شکل۳) وارد و با بخار خروجی از راکتور تبادل حرارت نماید (شکل شماره ۲) می تواند تا حد زیادی به پیش گرمایش خوراک کمک نموده که در نهایت منجر به کاهش قابل ملاحظه مصرف سوخت در کوره خواهد شد . بر اساس نتایج حاصل از شبیه سازی ، در صورت استفاده از روش ارائه شده (شکل شماره ۲) میزان مصرف سوخت در کوره به میزان ۸۱/۳۱ درصد،میزان انتشار آلاینده ها ۸۵/۳ درصد و مصرف بخار فشار بالا ۵۲/۷۴ درصد کاهش خواهد یافت که قابل توجه بوده و چنانچه از دیدگاه محیط زیستی به آن نگاه شود منجر به کاهش تولید گاز های آلاینده و پیامد های ناشی از آلودگی هوا از جمله ، بارش باران های اسیدی، تخریب لایه ازن ، وارونگی هوا و غیره خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ : بازیافت انرژی به روش Backward Heat



شکل۳ : شماتیک طراحی مبدل PIE با نرم افزار HTFS

۵- برآورد اقتصادی

۸۰۰۰ = دوره عملکرد سالیانه واحد صنعتی

(هزینه تامین انرژی براساس طرح ارائه شده - هزینه تامین انرژی در حالت فعلی) = سود پروژه(دلار در سال)

هزینه بخار در مبدل های گرمایی + هزینه انرژی کوره = هزینه تامین انرژی در حالت فعلی(دلار در سال)

E-801 Cost + E-804 Cost + E-806 Cost = هزینه بخار در مبدل های گرمایی(دلار در سال)

[۸] Steam Cost Per 1000 kg of HPS×۸۰۰۰× دبی بخار در سه مبدل (kg/h) =هزینه تامین بخار

۱۴۴۱۰× ۸/۶۲ × ۸۰۰۰= ۹۹۳۷۱۴ = هزینه تامین بخار (دلار در سال)

۸۰۰۰ × قیمت هر گیگا ژول انرژی[۸] × مصرف انرژی (Gj/h) = هزینه انرژی کوره (دلار در سال)

۷/۵۰۱ × ۳× ۸۰۰۰ = ۱۸۰۰۲۴ = هزینه انرژی کوره (دلار در سال)

۹۹۳۷۱۴ + ۱۸۰۰۲۴ = ۱۱۷۳۷۳۸ = هزینه تامین انرژی در حالت فعلی (دلار در سال)

هزینه بخار در مبدل های گرمایی + هزینه انرژی کوره = هزینه تامین انرژی براساس طرح ارائه شده (دلار در سال)

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه بخار در مبدل های گرمایی(دلار در سال) = E-801 Cost + E-804 Cost + E-806 Cost

هزینه تامین بخار (kg/h) = دبی بخار در سه مبدل × Steam Cost Per 1000 kg of HPS×۸۰۰۰

هزینه تامین بخار (دلار در سال) = ۶۸۱۰× ۸/۶۲ × ۸۰۰۰= ۴۶۹۶۱۷

هزینه انرژی کوره (دلار در سال) = مصرف انرژی (Gj/h) × قیمت هر گیگا ژول انرژی[۸] × ۸۰۰۰

هزینه انرژی کوره (دلار در سال) = ۱/۴۰۴ × ۳× ۸۰۰۰ = ۳۳۷۰

هزینه تامین انرژی براساس طرح ارائه شده (دلار در سال) = ۳۳۷۰+ ۴۶۹۶۱۷ = ۴۷۲۹۸۷

سود پروژه(دلار در سال) = هزینه تامین انرژی در حالت فعلی - هزینه تامین انرژی براساس طرح ارائه شده

سود پروژه(دلار در سال) = ۱۱۷۳۷۳۸ - ۴۷۲۹۸۷ = ۷۰۰۷۵۱

با توجه به اینکه در صورت استفاده از طرح پیشنهادی مبدل E-802 (شکل شماره۲) و همینطور آب خنک کننده مصرفی در این تجهیز نیز از فرایند کسر می گردد،لذا می بایست در محاسبه سود لحاظ گردد که بصورت زیر خواهد بود:

هزینه تامین آب خنک کننده (دلار) = دبی آب (kg) ×[۸] قیمت هر ۱۰۰۰ کیلوگرم از آب خنک کننده

هزینه تامین آب خنک کننده (دلار) = ۲۶۱۳۰۰×۰/۰۴ = ۱۰۴۵۲

که در نتیجه سود پروژه برابر خواهد بود با :

سود پروژه(دلار در سال) = ۱۱۷۳۷۳۸ - ۴۷۲۹۸۷ = ۷۰۰۷۵۱ + ۱۰۴۵۲ = ۷۱۱۲۰۳

هزینه سرمایه گذاری پروژه :

هزینه سرمایه گذاری پروژه (دلار) = هزینه خرید مبدل گرمایی Process Integration Exchanger

هزینه های مبدل مذکور با استفاده از نرم افزار تخصصی Aspen HTFS محاسبه شده اند (شکلشماره۳):

Cost data	Dollar(US)
Labor cost	90617
Tube material cost	8740
Material cost (except tubes)	33750
Total cost (1 shell)	26621
Total cost (all shells)	133105

شکل ۳: هزینه های مبدل گرمایی PIE

هزینه سرمایه گذاری پروژه (دلار) = هزینه خرید مبدل گرمایی Process Integration Exchanger = ۱۳۳۱۰۵

مدت زمان سود دهی پروژه :

زمان سود دهی طرح (سال) = هزینه سرمایه گذاری / سود پروژه

زمان سود دهی طرح = ۱۳۳۱۰۵/ ۷۱۱۲۰۳ = ۰/۱۹ (سال) = ۲/۲۵ (ماه) = ۶۷/۳۸ (روز)

۶- نتیجه گیری

با اجرای روش ارائه شده میزان انتشار گازهای گلخانه ای در سطح منطقه ای و ملی به میزان چشم گیری کاهش یافته و در ایجاد محیط زیستی پاک اثر گذار خواهد بود،که از منظر اجتماعی نیز موجب یک دور نای مثبت از واحد تولید کومن در اذهان عمومی خواهد شد.همچنین با بازیابی سوخت گازها ارسالی به کوره و بازیافت بخار فشار بالا سود مناسبی نصیب واحد

www.SID.ir

Archive of SID

تولید کومن می شود.از نظر اقتصادی انجام این پروژه مستلزم هزینه سرمایه گذاری خواهد بود که البته در آمدهای قابل حصول از انجام پروژه بیانگر این است که نرخ بازگشت سرمایه و سود پروژه برای واحد تولید کومن کاملا توجیه اقتصادی خواهد داشت.

منابع

[1] Dumas J. Engineering and energy saving: energy efficiency in the cement industry. Appl Sci 1990:109–17.
[2] Lowes TM, Bezant KW. Energy management in the UK cement industry. Appl. Sci.. In: Sirchis J, editor. Energy efficiency in the cement industry. London, England: Elsevier; 2011
[3] Worell E, Martin N, Price L. Potential for energy efficiency improvements in the United States cements industry. Energy 2000;25(12):189–1214.
[4] Liu F, Ross M, Wang S. Energy efficiency in China’s cement industry. Energy 1995;20(7):669–81.
[5] Engin T, Ari V. Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems: a case study. Energy Convers Manage 2010;46:551–62.
[6] Ziya Sgüt, Zuhal Oktay, Hikmet Karakoç, Mathematical modeling of heat recovery from a rotary kiln, Applied Thermal Engineering 30 (2010) 817–825.
[7] http://www.che.cemr.wvu.edu/publications
[8] http://www.DOE.com

www.Koureh.ir

www.SID.ir