

ارائه راهکار برای رفع مشکل ناپایداری برج دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک

فرجام جاوید ، سعید علامه نژاد ، سعید خواجه مندلی

واحد تحقیق و توسعه شرکت پتروشیمی اراک

E-mail : research@arpc-ir.net , fjavid@noavar.com

چکیده

در این مقاله مشکل ناپایداری عملیاتی برج دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک و راهکار رفع آن مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نوسانات شدید افت فشار در برج، ابتدا پدیده طغیان به عنوان محتمل ترین عامل ناپایداری مطالعه گردید. بدین منظور پارامترهای مشخص کننده طغیان محاسبه و با شاخص های مربوط مقایسه شد. نتایج این بررسی، وجود پدیده طغیان در دی بوتانایزر را با قطعیت نفی نمود. از آنجایی که فشار بالای برج همواره ثابت است نوسانات شدید افت فشار را می توان ناشی از تغییرات فشار ته برج در اثر ناپایداری ریویلر و نوسانات دبی بخار تولیدی توسط آن دانست. مطالعه مشکلات رایج ریویلرهای ترموسیفون عمودی نشان داد که دو پارامتر " اختلاف دمای سیال گرم کننده و سیال فرآیندی در خروجی ریویلر " و " فلاکس حرارتی ماکزیم " نقش ویژه ای در طراحی و کارکرد مناسب این نوع ریویلر دارد. با توجه به تغییر مشخصات خوراک و شرایط عملیاتی دی بوتانایزر نسبت به طراحی، پارامترهای مذکور در شرایط کنونی محاسبه و با شاخص های مربوط مقایسه گردید. نتایج بیانگر آن است که عامل اصلی ایجاد ناپایداری در ریویلر و متعاقب آن در برج، تجاوز پارامترهای فوق از حد مجاز می باشد. محاسبات نشان می دهد که برای رفع مشکل ناپایداری دی بوتانایزر، استفاده از بخاری با دمای اشباع 100°C به عنوان سیال گرم کننده در ریویلر الزامی است.

واژه های کلیدی : ناپایداری ؛ طغیان ؛ ریویلر ؛ ترموسیفون ؛ دی بوتانایزر

مقدمه

ناپایداری آن" در دستور کار واحد تحقیق و توسعه شرکت پتروشیمی اراک قرار گرفت. اثرات "کارکرد نامناسب ریویلر" و "پدیده طغیان" بر ایجاد ناپایداری در دی بوتانایزر و راهکار رفع مشکل در مقاله حاضر مورد بررسی قرار گرفته است. دستاوردهای دیگر پروژه فوق در زمینه های جداسازی نامناسب و مشکلات سیستم کنترلی در قالب دو مقاله دیگر تحت عناوین "شبه سازی و بهینه سازی برج دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک به منظور رفع مشکل جداسازی نامناسب و افزایش تولید برش C_4 " " تعیین محل مناسب سنسور کنترل کننده دما به کمک شبه سازی در برج دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک" به هشتمین

برج دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک حلقه اتصال این واحد با واحدهای هیدروژناسیون بنزین پیرولیز (PGH) و لاستیک پلی بوتادین (BD/PBR) می باشد. ناپایداری عملیاتی و جداسازی نامناسب در دی بوتانایزر موجب بروز معضلات فراوانی در عملکرد برج و واحدهای پایین دست آن شده است. تغییرات زیاد پارامترهای عملیاتی، تولید محصولات با کیفیت نامطلوب (Off-Spec Products) و نوسانات شدید خلوص محصولات از مهم ترین این مشکلات می باشد. برای حل مشکلات مذکور پروژه "شبه سازی و بهینه سازی برج دی بوتانایزر واحد الفین و ارائه راهکار برای حل مشکلات جداسازی نامناسب و

نیز شرایط عملیاتی (Operating Conditions) دی بوتانایزر در حال حاضر منطبق بر طراحی نمی باشد. جدول ۳ نشان می دهد که با سبک تر شدن خوراک، اپراتور به ناچار برای حفظ خلوص محصول بالاسری، دمای پایین برج را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش داده است.

جدول ۳- مقایسه خوراک و شرایط عملیاتی دی بوتانایزر در حالت فعلی با طراحی

Condition	Design	Actual
Feed Temperature (°C)	59	48
C4-Cut in Feed (%Wt.)	61.5	67.5
C5+ in Feed (%Wt.)	38.5	32.5
Top Temperature (°C)	41.1	34
Bottom Temperature (°C)	113	66
Top Pressure (KPa)	460	370
Bottom Pressure (KPa)	500	400
C4-Cut in Bottom (%Wt.)	0.34	25.0
C5+ in Distillate (%Wt.)	0.20	Nil-3.2

ناپایداری دی بوتانایزر و پیامدهای آن

ناپایداری (Instability) به هر دلیلی که در یک برج تقطیر پدید آید پیامدهای نامطلوبی را نظیر ایجاد مشکلات عملیاتی، پایین آمدن ظرفیت تولید، از دست رفتن خلوص محصولات و در نهایت کاهش بهره وری به دنبال خواهد داشت. این پدیده علاوه بر اینکه ممکن است به واحدهای پایین دست و حتی بالادست منتقل شود در موارد حاد می تواند باعث صدمه زدن به تجهیزات برج و توقف تولید گردد [۲،۳].

مشاهدات میدانی (Field Observations) توسط مؤلفین و آنالیز محصولات برج با دستگاہ بسیار پیشرفته "GC/MS Varian Saturn 2200" طی ۹ ماه متوالی نشان دهنده وجود ناپایداری شدید در دی بوتانایزر واحد الفین می باشد. تغییرات زیاد ارتفاع مایع در ته برج (Bottom Liquid Level) و ظرف تجمع جریان برگشتی (Reflux Drum Level)، نوسانات شدید دبی محصولات بالاسری و پایین برج و نیز افزایش ناگهانی افت فشار (Column ΔP) بارزترین نشانه های وجود ناپایداری در دی بوتانایزر می باشد.

کنگره ملی مهندسی شیمی ارائه گردید. ضمناً نتایج این پروژه تحقیقاتی جهت اجرا به اداره مهندسی فرآیند، بهره برداری و تعمیرات واحد الفین ارجاع داده شده است.

مشخصات و شرح عملکرد برج دی بوتانایزر

دی بوتانایزر یک برج سینی دار می باشد که در انتهای قسمت سرد واحد الفین (Cold Section) قرار گرفته است. جدول ۱ مهم ترین مشخصات مکانیکی این برج و تجهیزات جانبی آن را نشان می دهد [۱].

جدول ۱- مشخصات مکانیکی برج دی بوتانایزر

Tower Diameter (mm)	915
No. of Trays	40
Tray Type	Valve
Tray Spacing (mm)	610
Feed Tray Locations	21 , 25
Reboiler Type	Thermosyphon
Heating Medium	LLP Steam
Condenser Type	Total
Cooling Medium	Cooling Water

دی بوتانایزر وظیفه تامین خوراک دو واحد پایین دستی خود را به عهده دارد. محصول بالاسری (برش C₄) و پایین برج (بنزین پرولیز خام) به عنوان خوراک به واحدهای BD/PBR و PGH ارسال می گردد. ترکیب درصد خوراک و محصولات برج در جدول ۲ نشان داده شده است [۱].

جدول ۲- مشخصات خوراک و محصولات

دی بوتانایزر در حالت طراحی

Component	Stream		
	Feed	Distillate	Bottom
Methyl Acetylene	8.8	8.8	0.0
Propadiene	0.1	0.1	0.0
VinylAcetylene	170.8	158.5	12.3
1,3-Butadiene	3528.9	3527.9	1.0
1-Butene	2513.6	2513.2	0.4
n-Butane	254.8	254.6	0.2
C5+	4068.0	12.9	4055.1
Total(Kg/hr)	10545	6476	4069

براساس بررسی های به عمل آمده، مشخصات و ترکیب درصد خوراک (Feed Condition & Composition) و

شاخص های گوناگونی نظیر افزایش ناگهانی افت فشار (Sharp Rise in Column Differential Pressure)، کاهش محصول پایین برج (Loss of Bottom)، افت فشار بسیار شدید در برج (Excessive Column ΔP) برای تشخیص پدیده طغیان در برج های تقطیر وجود دارد [۳،۴].
نرمن لیبرمن (Norman Lieberman) فرمول ذیل را برای بررسی عملکرد برج های تقطیر و پیش بینی طغیان در آنها ارائه نموده است [۵]:

$$K = \frac{(\Delta P)(10.318)}{(NT)(TS)(SG)} \quad (1)$$

ΔP : افت فشار در برج بر حسب KPa

NT: تعداد سینی ها

TS: فاصله سینی ها بر حسب سانتی متر

SG: چگالی ویژه مایع در دمای کارکرد برج

وی با محاسبه پارامتر K برای صدها برج تقطیر در صنعت نشان داد که:

✓ اگر $0.12 < K < 0.10$ باشد، بازده سینی ها به علت ریزش مایع از آن کم است.

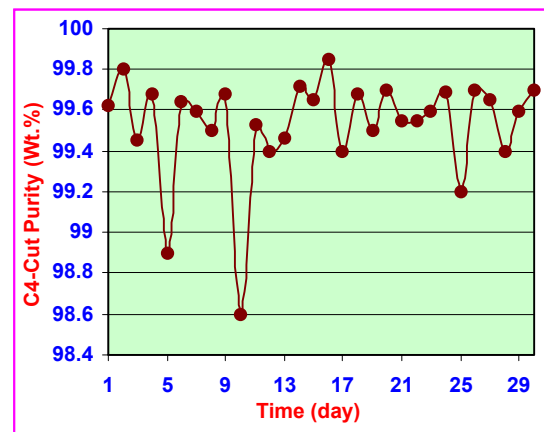
✓ اگر $0.25 < K < 0.18$ باشد، سینی کارکرد مناسبی دارد.

✓ اگر $0.40 < K < 0.35$ باشد، سینی مشکل ماندگی مایع (Entrainment) دارد. در این حالت افزایش مایع برگشتی (Reflux) باعث کاهش بازده سینی می شود.

✓ اگر $K \geq 0.5$ باشد، سینی در حالت طغیان کامل (Fully Developed Flooding) قرار دارد.

بر مبنای اطلاعات متعدد جمع آوری شده از واحد الفین و اندازه گیری افت فشار دی بوتانایزر در طی چند ماه دو نوع رفتار متفاوت در عملکرد برج مشاهده می شود. در "حالت عادی" افت فشار برج حدود ۳۰-۲۰ کیلو پاسکال بوده و تغییرات آن بسیار اندک است. "شرایط بحرانی" زمانی است که افت فشار به صورت ناگهانی تا حدود 50KPa و بیشتر افزایش یافته و متعاقب آن دیگر پارامترهای عملیاتی برج دچار نوسان می شود.

ناپایداری دی بوتانایزر علاوه بر اینکه اپراتورهای واحد الفین را در کنترل برج دچار مشکل نموده، باعث نوسان خلوص محصولات و به تبع آن بروز مشکلات فرآیندی در واحدهای پایین دست (BD/PBR,PGH) شده است.
آنالیز برش C₄ در طی چند ماه متوالی نشان می دهد که میزان ناخالصی آن (C₅+) دچار نوسانات شدید بوده و در اکثر مواقع بیش از حد مجاز (۰/۳ درصد وزنی) می باشد. این نوسانات باعث ایجاد مشکلاتی نظیر افزایش مصرف فورفورال و سرویس های جانبی، تشدید فولینگ (Fouling) در مبدل های حرارتی و کوتاه شدن زمان کارکرد مبدل ها در واحد BD/PBR شده است. شکل ۱ تغییرات خلوص برش C₄ در طی یک ماه را به عنوان نمونه نشان می دهد.



شکل ۱ - نمودار نوسانات خلوص برش C₄

بررسی پدیده طغیان در دی بوتانایزر

یکی از مهم ترین و رایج ترین مشکلات هیدرولیکی برج های تقطیر، تجمع بیش از حد مایع در داخل برج بوده که طغیان (Flooding) نامیده می شود. این پدیده باعث محدود شدن ظرفیت برج و ایجاد ناپایداری شدید در آن می گردد. طراحی نادرست اجزاء برج نظیر قطر، نوع و فاصله بین سینی ها، دان کامر (Downcomer) و نیز افزایش بیش از حد سرعت فاز گاز و مایع عمده ترین عوامل ایجاد طغیان می باشد [۳].

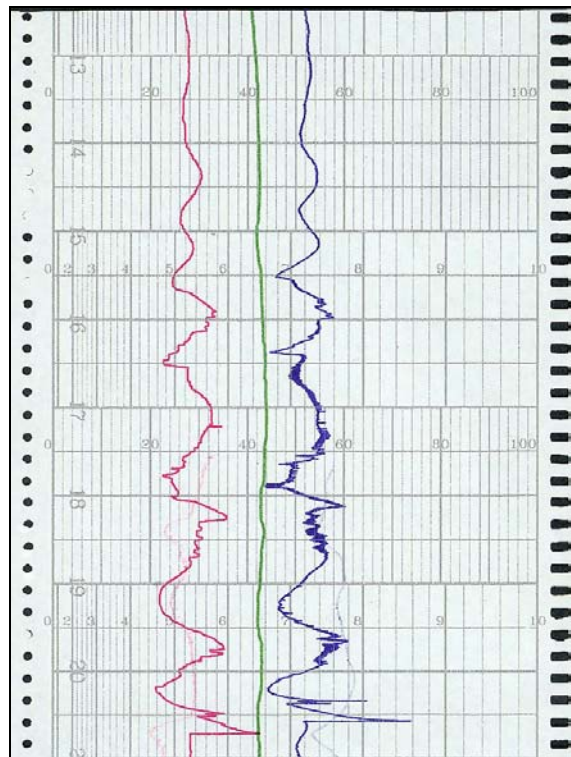
مقادیر K در شرایط طراحی، حالت عادی و بحرانی با استفاده از فرمول (۱) محاسبه و در جدول ۴ ذکر شده است.

جدول ۴- مقادیر K در شرایط مختلف کارکرد

	Design Condition	Normal Condition	Critical Condition
ΔP (KPa)	40	20-30	50-70
SG	0.625	0.617	0.617
K	0.27	0.14 - 0.20	0.35-0.48

مقایسه مقادیر K با شاخص های ارائه شده برای آن نشان می دهد که برج در شرایط طراحی و حالت عادی، عملکرد مناسبی دارد ولی در شرایط بحرانی به نظر می رسد در نزدیکی محدوده طغیان قرار می گیرد.

شکل ۲ تصویر (Scan) قسمتی از چارت مربوط به ثبت کننده های (Recorders) دی بوتانایزر می باشد که در آن تغییرات میزان مصرف بخار در ریبویلر با رنگ قرمز، دبی جریان برگشتی با رنگ سبز و افت فشار برج با رنگ آبی به ترتیب از چپ به راست نشان داده شده است.



شکل ۲- چارت تغییرات پارامترهای عملیاتی برج

مطابق آنچه در مراجع بدان تصریح شده است در صورت ایجاد پدیده طغیان در یک برج تقطیر، تنها راه از بین بردن آن کاهش دبی خوراک یا جریان برگشتی می باشد [۳,۶]. برگشت خودبه خودی دی بوتانایزر از شرایط بحرانی به حالت عادی در زمانی صورت می گیرد که دبی خوراک و جریان برگشتی برج توسط شیر کنترلی ثابت نگه داشته می شود، در نتیجه وجود پدیده طغیان در برج را می توان با قطعیت نفی نمود. بنابراین با توجه به ثابت بودن فشار بالای برج تنها دلیل نوسانات شدید افت فشار در آن، تغییرات دبی بخار (Vapor Rate) می باشد که ناشی از نوسانات دبی بخار (Steam) مصرفی در ریبویلر و ناپایداری آن است.

مشکلات ریبویلرهای ترموسیفون عمودی

ریبویلر موتور محرک برج های تقطیر می باشد و هرگونه اشکال در عملکرد آن باعث ایجاد ناپایداری و بروز مشکلاتی در برج می گردد. بیش از ۵۰ درصد از معضلات گزارش شده در فرآیندهای جداسازی به وسیله تقطیر، ناشی از کارکرد نادرست ریبویلر بوده است [۷].

ریبویلر ترموسیفون عمودی (Vertical Thermosyphon Reboiler) متداول ترین نوع ریبویلر در صنعت می باشد. به رغم مزایای فراوان نظیر هزینه پایین ساخت، عدم نیاز به پمپ و ...، این نوع ریبویلر دارای مشکلات زیادی می باشد که برخی از آن ها به طور اجمال مورد بررسی قرار می گیرد [۳,۸,۹]:

الف) دبی چرخشی زیاد

زمانی که ارتفاع مایع در ته برج خیلی زیاد باشد دبی چرخشی بیش از حد مورد نیاز خواهد شد. چنانچه مخلوط ته برج دارای نقطه جوش وسیعی باشد این پدیده را می توان توسط وجود اختلاف دمای اندک میان ورودی و خروجی ریبویلر شناسایی کرد. برای کم کردن دبی چرخشی باید درصد باز بودن (Opening Percent) شیر ورودی به ریبویلر را کاهش داد.

ب) دبی چرخشی کم

دبی چرخشی کم معمولاً در اثر ارتفاع کم مایع در ته برج، افت فشار بیش از حد در لوپ ریبویلر (Reboiler Loop) انسداد مسیر چرخش (Plugging) و نشستی سیال از تیغه داخل برج (Baffle Leakage) به وجود می آید. این مساله همراه با فلاکس حرارتی بالا باعث تشکیل یک ناحیه با رژیم جریان میست (Mist) در قسمت انتهایی لوله های ریبویلر می گردد (شکل ۳). جریان مذکور منجر به کاهش انتقال حرارت، افزایش نرخ فولینگ و داغ شدن لوله های ریبویلر (Tube Overheating) می شود. افزایش ارتفاع مایع در ته برج، کاهش افت فشار در لوپ ریبویلر و استفاده از چرخش اجباری (Forced Circulation)، راه های افزایش دبی چرخشی می باشد.

ج) نوسانات

یکی از عوامل ایجاد ناپایداری در ریبویلرها پدیده نوسانات (Oscillation) می باشد که معمولاً در اثر افت فشار زیاد در خروجی ریبویلر به وجود می آید. زمانی که بخارات ایجاد شده نتواند به راحتی از ریبویلر خارج شود قسمتی از آن به صورت بسته هایی (Pockets) در بالای ریبویلر تجمع می یابد و باعث کاهش جریان چرخشی به صورت لحظه ای می گردد. با انبساط این بسته ها فشار بالای ریبویلر کاهش یافته و مجدداً جریان نرمال برقرار می شود. پدیده نوسانات حاصل تکرار مراحل فوق بوده و در اثر فلاکس حرارتی بالا ایجاد می گردد.

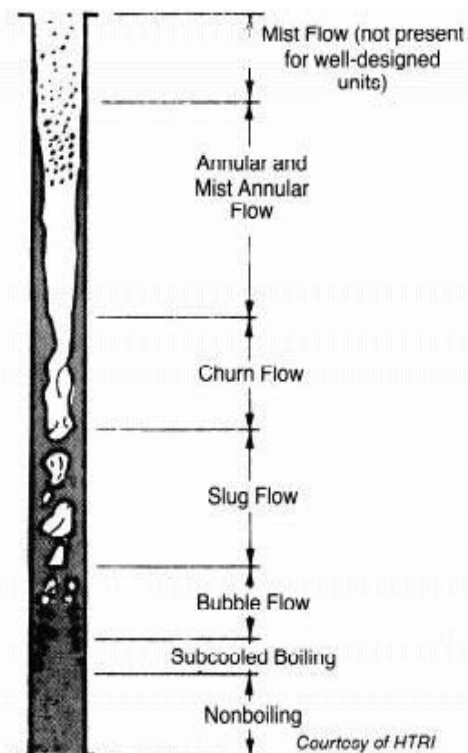
د) جوشش فیلمی

هر چه فلاکس حرارتی ریبویلر افزایش یابد، تجمع بخارات در مجاورت دیواره لوله ها بیشتر می شود. هنگامی که فلاکس حرارتی به یک مقدار ماکزیمم (Maximum Heat Flux) برسد یک فیلم بخار بین جداره لوله ها و توده مایع تشکیل می شود. این حالت را جوشش فیلمی (Film Boiling) گویند. با توجه به اینکه فیلم بخار مقاومت بالایی در برابر انتقال حرارت دارد ایجاد جوشش فیلمی باعث کاهش شدید نرخ انتقال حرارت و افزایش دمای دیواره لوله ها می گردد.

محدود کردن فلاکس حرارتی ماکزیمم، داشتن دبی چرخشی کافی و اعمال اختلاف دمای مناسب بین سیال گرم کننده و سیال فرآیندی راه های جلوگیری از بروز پدیده جوشش فیلمی می باشد.

علت یابی مشکلات ریبویلر دی بوتانایزر

با توجه به مطالبی که در بخش های قبل ذکر شد و نیز شاخص های ارائه شده در مراجع، عمده ترین علل ناپایداری ریبویلر دی بوتانایزر را می توان به دو دسته تقسیم بندی نمود:



شکل ۳ - رژیم های مختلف جریان در طول لوله های ریبویلر

الف) اختلاف دمای زیاد

اختلاف دمای سیال گرم کننده (Heating Medium) و سیال فرآیندی (Process Fluid) در خروجی ریبویلر که به آن اختلاف دما (Temperature Difference or ΔT) می گویند نباید بیش از 50°C باشد، در غیر این صورت پدیده جوشش فیلمی و پیامدهای نامطلوب آن اتفاق می افتد [۱۰،۱۱]. جدول ۵ مقادیر اختلاف دما را در شرایط طراحی و حالت فعلی نشان می دهد.

جدول ۵- اختلاف دما در شرایط طراحی و فعلی

Condition	Design	Actual
Reboiler Inlet Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	112.6	65.8
Reboiler Outlet Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	115.4	69
Steam Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	131	131
$\Delta T = T_{\text{steam}} - T_{\text{reboiler outlet}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	15.6	62

با توجه به شاخص مذکور ($\Delta T < 50^{\circ}\text{C}$)، در شرایط کنونی کارکرد دی بوتانایزر، پتانسیل بالایی برای ایجاد جوشش فیلمی در لوله های ریبویلر وجود دارد.

ب) فلاکس حرارتی ماکزیمم

در اصول طراحی مبدل های حرارتی، حاصل ضرب میانگین لگاریتمی اختلاف دما (LMTD) در ضریب انتقال حرارت کلی (Overall Heat Transfer Coefficient) را فلاکس حرارتی ماکزیمم (Maximum Heat Flux) گویند. این پارامتر ($U \times \text{LMTD}$) در طراحی ریبویلرهای ترموسیفون عمودی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. طبق اصول طراحی ریبویلرهای ترموسیفون حد بالای فلاکس حرارتی ماکزیمم برای محلول های آلی $38\text{KW}/\text{m}^2$ و محلول های آبی $95\text{KW}/\text{m}^2$ می باشد [۳،۱۰،۱۲].

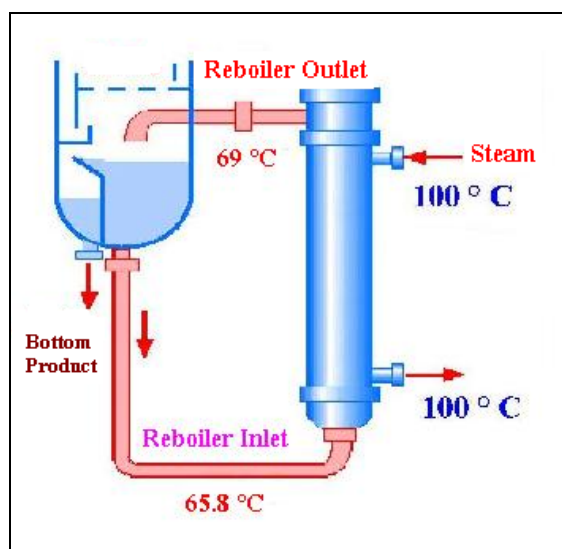
فلاکس حرارتی ماکزیمم برای ریبویلر دی بوتانایزر در حالت طراحی $17.4\text{KW}/\text{m}^2$ بوده که در محدوده مجاز است ولی با افزایش فلاکس حرارتی ماکزیمم تا حدود $65.5\text{KW}/\text{m}^2$ در شرایط فعلی و تجاوز آن از حد مجاز ($38\text{KW}/\text{m}^2$) پتانسیل بروز پدیده های نامطلوبی نظیر

جریان میست، نوسانات، جوشش فیلمی و در نهایت ناپایداری ریبویلر ایجاد می گردد.

ارائه راهکار برای رفع ناپایداری دی بوتانایزر

بنابر آنچه در بخش قبل ذکر شد بالا بودن "اختلاف دما" و "فلاکس حرارتی ماکزیمم" دو عامل اصلی ایجاد مشکلات ریبویلر و یا به عبارت بهتر ناپایداری دی بوتانایزر می باشد. با توجه به محدودیت هایی که دی بوتانایزر در زمینه جداسازی دارد افزایش دمای ته برج امکان پذیر نیست. بنابراین تنها راه ممکن برای کاهش اختلاف دما در ریبویلر و متعاقب آن محدود شدن فلاکس حرارتی ماکزیمم، استفاده از بخاری با دمای کمتر می باشد.

مطابق جدول ۵ در حال حاضر از بخار (Low Low Pressure Steam) LLPS با دمای 131°C و فشار 280KPa به عنوان سیال گرم کننده در ریبویلر استفاده می شود. براساس اصول طراحی ریبویلرهای ترموسیفون عمودی برای حل مشکلات ریبویلر پیشنهاد می شود از بخاری با دمای اشباع 100°C استفاده گردد. در این صورت طبق محاسبات انجام شده، اختلاف دما و فلاکس حرارتی ماکزیمم به ترتیب 31°C و $33.4\text{KW}/\text{m}^2$ خواهد شد که هر دو در محدوده مجاز قرار می گیرد (شکل ۴).



شکل ۴ - شرایط پیشنهادی برای کارکرد ریبویلر

نتیجه گیری

4. Lieberman P.N., "Basic Field Observations Reveal Tower Flooding", Oil & Gas Journal, p.39, May 1988.
5. Lieberman P.N., Lieberman E. T., "A Working Guide to Process Equipment", McGraw-Hill Inc., New York, 1997.
6. Harrison M.E., France J. J., "Troubleshooting Distillation Columns; Part1: Technique and Tools", Chemical Eng., p.116, March 1989.
7. Kister H.Z., "What Causes Malfunctions in Refinery Towers", Part1, Hydrocarbon Asia, p.44, July/August 2002.
8. Perry R.H., "Chemical Engineer's Handbook", 7th edition, McGraw-Hill Inc., New York, 1997.
9. Martin G.R., Sloley A.W., "Effectively Design and Simulate Themosyphone Reboiler Systems", Hydrocarbon Processing, Vol.74, p.101, June 1995.
10. Ludwig, E.E., "Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants", 3rd edition, Vol.2, Gulf Publishing, Hoston, 1995.
11. Shah G.C., "Troubleshooting Reboiler Systems", Chemical Engineering Progress, Vol.75, No.7, p.53, 1979.
12. Douglas J. M., "Conceptual Design of Chemical Processes", McGraw-Hill Inc., 1988.

(۱) نوسانات شدید خلوص محصولات دی بوتانایزر واحد الفین پتروشیمی اراک ناشی از ناپایداری برج و تغییرات شدید شرایط عملیاتی آن به ویژه افت فشار می باشد.

(۲) ثبت شرایط عملیاتی برج طی ۹ ماه متوالی، محاسبه پارامترها و مقایسه آنها با شاخص های مربوط نشان داد که وجود پدیده طغیان در دی بوتانایزر را می توان با قطعیت نفی نمود.

(۳) با توجه به ثابت بودن فشار بالای دی بوتانایزر، تنها دلیل تغییرات شدید افت فشار و ایجاد ناپایداری در برج، ناپایداری ریویلر و نوسانات دبی بخار تولید شده توسط آن می باشد.

(۴) براساس اصول طراحی ریویلرهای ترموسیفون عمودی، اختلاف دمای سیال گرم کننده و سیال فرآیندی (ΔT) و فلاکس حرارتی ماکزیمم در ریویلر نباید به ترتیب از 50°C و 38KW/m^2 بیشتر باشد. مقادیر مذکور برای ریویلر دی بوتانایزر در شرایط فعلی خارج از محدوده مجاز (62°C و 65.5KW/m^2) است.

(۵) مهم ترین عامل ناپایداری ریویلر دی بوتانایزر و نوسانات شدید دبی بخار تولیدی، تجاوز اختلاف دما و فلاکس حرارتی ماکزیمم از محدوده مجاز می باشد.

(۶) برای رفع مشکل ناپایداری دی بوتانایزر باید از بخاری با دمای اشباع 100°C در ریویلر استفاده شود. در این صورت مقادیر اختلاف دما و فلاکس حرارتی ماکزیمم به ترتیب 31°C و 33.4KW/m^2 خواهد شد که هر دو در محدوده مجاز قرار می گیرد.

مراجع

1. TPL's PFD and P&ID of Olefins Plant, Arak Petrochemical Company, 1988.
2. Wauquier J.P., "Separation Processes", Vol.2, Technip ed., Paris, 2000.
3. Kister H.Z., "Distillation Operation", McGraw-Hill Inc., New York, 1990.