کاهش انتشار آلاینده های هوا در واحد کت کراکر جدید پالایشگاه آبادان توسط اسکرابر

نادر نیک اقبالی سی سخت[۱]، محمد صادق سخاوت جو[۲*]، بهروز روزبهانی[۳]، علی دادالهی[۴]

[۱]مهندس ارشد فرایند، اداره مهندسی طرح های شرکت پالایش نفت آبادان، آبادان، ایران

[۲]استادیار، بخش مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، خوزستان، ایران

[۳] استادیار، دانشکده نفت آبادان، آبادان، ایران

[۴] استادیار، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

دریافت: ۹۲/۱۱/۱۴ پذیرش: ۹۳/۳/۱۹

چکیده

در فرایند واحد کت کراکر جدید پالایشگاه آبادان که دارای ظرفیت ۴۵۰۰۰ بشکه در روز می باشد، ضمن عملیات کک سوزی و احیاء کاتالیست در برج احیاء به میزان ۲۳۰ تن در ساعت گازهای سوخته شده تولید می گردد. گازهای سوخته شده شامل آلاینده های SO_2، NO_2، CO_2 و ذرات جامد کاتالیست می باشد. میزان آلاینده SO_2 در جریان گاز ورودی به اسکرابر ۰/۲ درصد مولی و حداکثر ذرات کاتالیست همراه آن ۱۰۰ میلی گرم در متر مکعب می باشد. در این تحقیق فرایند جذب با بافر کاستیک فسفات که از نظر اقتصادی، راندمان جذب در اولویت بود انتخاب و توسط نرم افزار HYSYS Refinery شبیه سازی گردید و نتایج زیر به دست آمد. در این فرایند میزان آلاینده SO_2 در جریان گازهای سوخته واحد کت کراکر از ۲۰۰۰ ppm به ۵۰۰ ppm کاهش داده می شود. راندمان جذب دی اکسید گوگرد در این فرایند ۷۵ درصد و برای آلاینده های CO_2 حدودا ۸ درصد و NO_2 به میزان ۷/۶ درصد می باشد.

کلمات کلیدی: اسکرابر، واحد کت کراکر، پالایشگاه آبادان، آلودگی هوا، فاکتور انتشار

مقدمه

واحد کت کراکر اگر چه یکی از واحد های اصلی پالایشگاهی تولید بنزین و با ارزش افزوده بالاست ولی به دلیل وجود گوگرد در خوراک آن به میزان ۲/۵ درصد وزنی نیاز است که آلاینده های خروجی از این واحد از جمله ذرات جامد کاتالیست و گازهای سوخته شده که شامل آلاینده های SO_2 و NO_2 و CO_2 می باشد

* sekhavatjou@gmail.com

قبل از ورود به اتمسفر تصفیه شوند. در واحد کت کراکر حدودا ۵۰ درصد از گوگرد در راکتور واحد تبدیل به H_2S شده و همراه گاز تولیدی خارج می گردد. بقیه ۵۰ درصد گوگرد در محصولات توزیع می گردد. [۷]
واحد کت کراکر جهت تبدیل گازوئیل سنگین واحد تقطیر در خلاء (H.V.G.O)[1] در مجاورت کاتالیست زئولیت (SiO_2/Al_2O_3) و با شرایط دمایی و فشار مناسب طراحی شده است. در راکتور این واحد واکنش کراکینگ زنجیره های طویل نفتی که معمولا ۲۰ تا ۳۰ کربنه هستند در شرایط دمای ۵۲۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱/۵barg و درمجاورت کاتالیست زئولیت صورت می گیرد و محصولات با ارزش گاز، گاز مایع، بنزین اکتان بالا و گازوئیل سبک تولید می شود. [۷]
در راکتور واحد کت کراکر ضمن واکنش کراکینگ کک تشکیل می شود که حدودا ۹۰ درصد کربن و ۱۰ درصد هیدروژن دارد. حدودا ۵ درصد وزنی گوگرد به همراه کک روی سطح کاتالیست به برج احیاء منتقل می گردد. [۷]
با عبور مخلوط کاتالیست و بخارات مواد نفتی از سیکلون های درون راکتور عمل جداسازی کاتالیست و محصولات از یکدیگر صورت گرفته، محصولات از بالای راکتور خارج شده و به برج تفکیک جهت جداسازی ارسال می‌گردد و کاتالیست ها پس از عبور از بخش عریان گر[2] راکتور و تنظیم میزان کک روی سطح کاتالیست از راکتور خارج شده و به سمت محفظه احتراق[3] برج احیاء ارسال شده تا عملیات کک سوزی و احیاء کاتالیست صورت گرفته و همچنین با حرارت ایجاد شده از سوختن کک گرمای مورد نیاز واکنش کراکینگ در بخش راکتور را تامین نماید. میزان چرخش کاتالیست بین برج احیاء و راکتور جهت تامین حرارت مورد نیاز واکنش کراکینگ ۳۵ تن در دقیقه می باشد. [۸]
پس از عملیات کک سوزی و احیاء کاتالیست در برج احیاء واحد، آلاینده های خروجی از دودکش واحد شامل NO_2,CO_2,SO_2 و ذرات کاتالیست می باشد که توسط تجهیزات مناسب باید کنترل و کاهش داده شوند. [۸]
مخلوط کاتالیست و گازهای سوخته[4] ایجاد شده در حین کک سوزی پس از عبور از سیکلون های دو مرحله‌ای برج احیاء و جدا شدن کاتالیست همراه آن جهت کاهش مجدد کاتالیست به جدا ساز مرحله سوم کاتالیست(TSS)[5] ارسال تا میزان کاتالیست همراه به کم تر از ppm ۱۰۰ رسانده شود. از گرمای گازهای سوخته جهت تولید بخار آب فشار بالا در بویلر بازیافت حرارت(WHB)[6] استفاده می گردد. پس از کاهش دما این گاز به سمت اسکرابر گاز مرطوب (WGS)[7] جهت کاهش آلاینده SO_x ارسال می‌گردد. گازهای ورودی به اسکرابر دارای آلاینده SO_2 به میزان ۰/۲ درصد مولی و کاتالیست همراه آن ppm۱۰۰ می باشد که بوسیله اسکرابر گاز مرطوب این آلاینده کاهش داده شده و به حد استاندارد می رسد. [۸]

[1] Heavy vacuum Gas Oil
[2] Stripper
[3] Combustor
[4] Flue Gas
[5] Third Stage Separator
[6] Waste heat boiler
[7] Wet Gas Scrubber

روش کاهش و کنترل ذرات گرد و غبار کاتالیست در واحد کت کراکر

به طور کلی دو گروه اصلی از آلاینده های خروجی از برج احیاء واحد کت کراکر را ذرات جامد کاتالیست و آلاینده های گازی تشکیل می دهند. در طراحی واحد کت کراکرجهت جلوگیری از هدر روی کاتالیست از برج احیاء واحد ۸ عدد سیکلون دو مرحله ای طراحی شده است. جریان خروجی از برج احیاء حداکثر دارای ۲۰۰ mg/m^3 کاتالیست می باشد که توسط سیستم های جدا ساز مرحله سوم و چهارم عمل کاهش ذرات جامد کاتالیست به ۱۰۰mg/m^3 صورت می گیرد. میزان این آلاینده طی عملیات شست و شو در سیستم اسکرابر به ۵۰mg/m^3 می رسد.

۱. سیکلون ها

سیکلون ها در واحدهای کت کراکر وسیله نسبتا ساده ای هستند که برای حذف بیش تر ذرات کاتالیست مورد استفاده قرار می گیرند. ذرات بزرگ تر از طریق نیروهای گریز از مرکز به سمت بیرون حرکت کرده و با برخورد به دیواره سیکلون حذف خواهند شد. با کم شدن سرعت برخورد، ذرات سقوط کرده و از طریق لوله عمودی سیکلون به بستر محل جمع آوری کاتالیست بر می گردد. مناسب ترین سرعت جداسازی ذرات جامد کاتالیست در سیکلون در محدوده ۶۰ تا ۷۰ فوت در ثانیه می باشد. [۷]

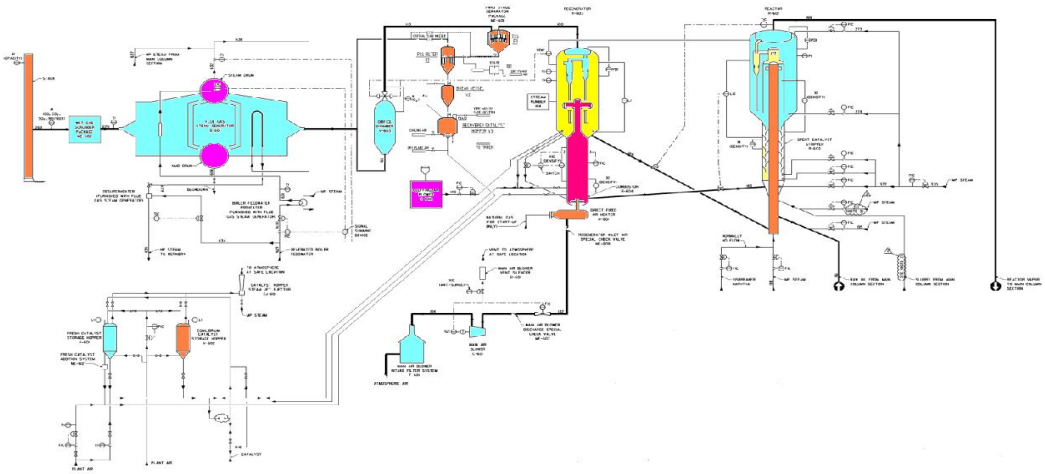
۲. جداکننده مرحله سوم و چهارم کاتالیست

این سیستم جهت کاهش انتشار ذرات کاتالیست همراه گازهای سوخته برج احیاء طراحی شده است. گازهای سوخته خروجی از برج احیاء واحد کت کراکر دارای ۲۰۰ mg/m^3 ذرات جامد کاتالیست می باشد و طبق طراحی انجام شده میزان ذرات کاتالیست در خروجی این سیستم می بایست به کم تر از ۱۰۰ mg/m^3 برسد. [۸]

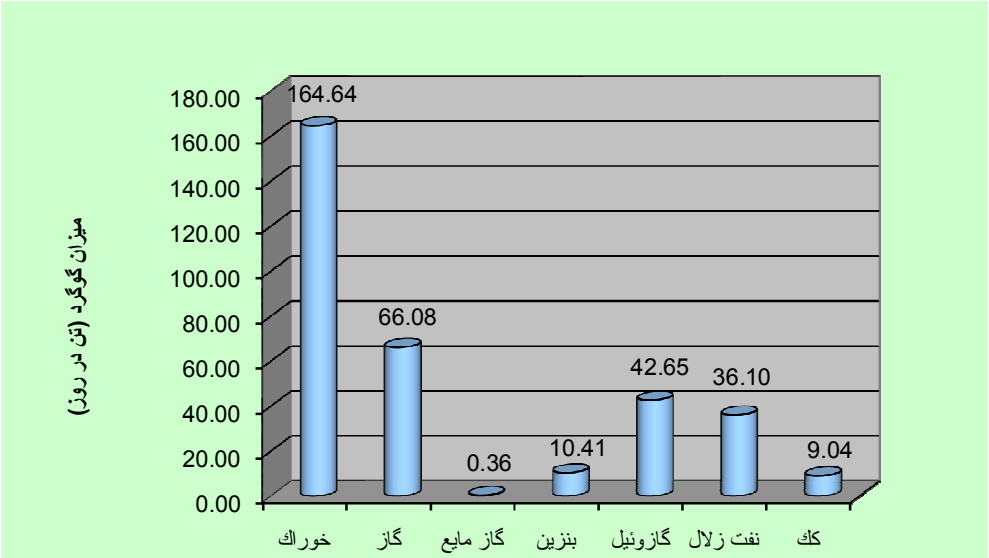
این بخش دارای ۹۸ عدد سیکلون لوله ای پره دار چرخشی می باشد. ۹۷ درصد از جریان گازها از بالای جدا ساز مرحله سوم با مقدار کاتالیست ۷۷ mg/m^3 خارج می شود. ۳ درصد از کل جریان از پایین جدا ساز مرحله سوم که شامل مقدار زیادی کاتالیست است پس از عبور از لوله های فین دار و خنک شدن تا دمای ۴۵۰ ^oC به سمت سیستم جداساز مرحله چهارم ارسال می گردد. این قسمت دارای ۹۸ عدد فیلتر به قطر ۱۲۰ میلی متر و به طول ۳ متر و از جنس الیاف متخلخل می باشد. جریان گاز خروجی از بالای جدا ساز مرحله چهارم دارای مقدار ۲۲ mg/m^3 کاتالیست می باشد. [۸]

در شکل ۱ نمایی از بخش راکتور و برج احیاء واحد کت کراکر جدید نشان داده شده است.

بر اساس داده های طراحی واحد کت کراکر نمودار توزیع گوگرد در خوراک و محصولات واحد کت کراکر جدید برای ظرفیت ۴۵۰۰۰ بشکه در روز محاسبه شده و در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه فرایندی بخش راکتور و برج احیاء واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان



شکل ۲. میزان گوگرد در خوراک و محصولات واحد کت کراکر جدید پالایشگاه آبادان با ظرفیت ۴۵۰۰۰ بشکه در روز

شرح فرایند سیستم اسکرابرواحد کت کراکر جدید پالایشگاه آبادان

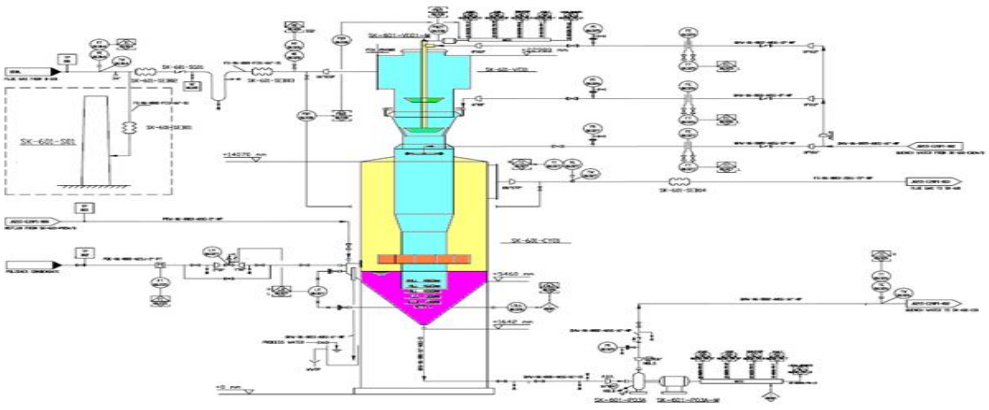
سیستم اسکرابر واحد جدید کت کراکر دارای تجهیزات ونتوری اسکرا بر، جدا کننده سیکلونی، برج جذب، برج عریانگر، مبدل ها، کولرها و ریبویلر، تلمبه ها، مخازن مواد شیمیایی می باشد. به طور کلی یک سیستم اسکرابر از سه بخش اصلی پیش تصفیه، جذب و احیاء یا دفع تشکیل شده است. در این سیستم از یک محلول جاذب معدنی با ترکیب درصد خاص از محلول های کاستیک و اسید فسفریک استفاده می گردد. این محلول در برج جذب SO_2 را جذب کرده و در برج احیاء، SO_2 احیاء گردیده و از بالای برج خارج می گردد. از SO_2 بازیافتی جهت تولید گوگرد و یا اسید سولفوریک استفاده می شود. [۳]

بخش پیش تصفیه

اولین بخش از فرایند تصفیه گاز شامل یک ونتوری (VE01) و یک جداکننده سیکلونی (CY01) است که باعث سرد کردن گاز و رساندن دما به زیر دمای اشباع آدیاباتیک آن شده و حذف بخش عمده ای از گرد و غبار کاتالیست نیز در این مرحله انجام می شود. هدف از این بخش جداسازی ذرات کاتالیست تا حدی که در قسمت جذب پتانسیل گرفتگی مسیر به حداقل برسد. در این قسمت با استفاده از یک برج اولیه و اسپری آب در مقاطع مختلف ضمن کاهش دمای گاز به حد مطلوب دمای جذب ($50\ ^{o}C$)، قسمت اعظم ذرات کاتالیست از گاز جدا می گردد. [۶]

بخش پیش تصفیه به صورت یک دودکش با یک ونتوری طراحی شده که بالای یک جدا کننده سیکلونی قرار گرفته است. انتهای خروجی ونتوری تا نزدیک پایین ظرف سیکلون گسترش پیدا کرده است و موانع منحنی شکل را که باعث حرکت چرخشی حول محور مرکز جداکننده سیکلونی شده است شامل می شود. گاز از بالا وارد ونتوری شده و جامدات جمع آوری شده پس از عبور از فیلتر F-۱۰۱ و آبگیری از سیستم خارج می گردد. [۳]

آب سرد و گردشی توسط پمپ های P-۱۰۱ A/B از مخزن TK- ۱۰۱ گرفته شده و مجددا در دو مرحله قبل و بعد از گلوگاه ونتوری تزریق می شود تا انتقال حرارت مناسب به خوبی حاصل شود. تماس آب با گاز به صورت یک جریان مخالف هم انجام می شود تا گاز را تا دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خنک کند. گاز با سرعت بالا از موانع چرخشی ونتوری حرکت می کند و بر اثر این چرخش و از طریق جدا کننده سیکلونی به سمت بالا رانده می شود. نیروهای گریز از مرکز توسط گرداب گاز تولید شده باعث می شود که اجزاء با تراکم بالاتر مانند ذرات جامد و قطرات مایع از گاز جدا شده و به لجن و مایع در پایین جدا کننده سیکلونی سقوط کرده و جمع شوند. گاز پیش تصفیه شده از قسمت بالای جدا کننده سیکلونی خارج می شود و از طریق یک کانال به سمت برج جذب (V-۱۰۱) اسکرابر واحد کت کراکر ارسال می گردد. در شکل ۳ نمایی از بخش پیش تصفیه سیستم اسکرابر نشان داده شده است. [۳]



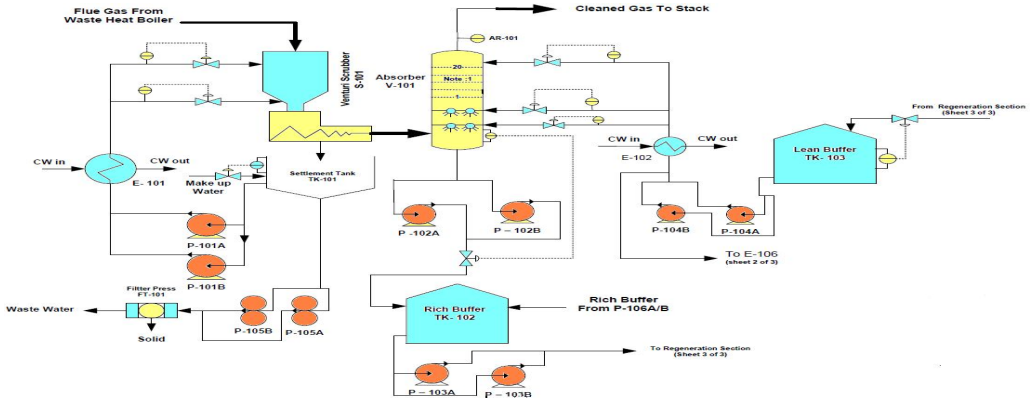
شکل ۳. بخش پیش تصفیه سیستم اسکرابر واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

قسمت جذب SO_2

در این قسمت با استفاده از محلول بافر کاستیک فسفات به صورت جریان های مختلف الجهت در برج جذب(V-۱۰۱)، SO_2 جذب می شود. در قسمت پایین این برج با توجه به ذرات کاتالیست که به طور کامل در مرحله قبل حذف نگردیده اند، با استفاده از اسپری آب و با استفاده از نازل های مخصوص در دو مرحله ضمن جذب SO_2، باقیمانده ذرات کاتالیست جدا می گردد. در قسمت بالای برج تماس محلول و گاز کامل شده و SO_2 باقیمانده جدا می گردد. [۶]

برج جذب (V-۱۰۱) دارای قطر ۴/۹ متر و ارتفاع ۲۲ متر و دارای ۲۲ عدد سینی می باشد. فشار عملیاتی این برج bar ۱/۰۵ و دمای عملیاتی آن ^{o}C ۶۵ می باشد. گازهای سوخته از قسمت پایین برج جذب وارد و از طریق توزیع کننده بخار به سمت بالا حرکت کرده تا با مایع جاذب به صورت جریان متقابل تماس حاصل نماید. گاز تصفیه شده از طریق یک دودکش که در بالای برج جذب نصب شده است به اتمسفر ارسال می شود. [۳]

بافر ضعیف توسط پمپ های P-۱۰۴A/B از مخزن TK-۱۰۳ گرفته شده و از بالای برج جذب و روی سینی شماره ۲۰ وارد می شود. محلول بافر غنی حاوی SO_2 در پائین برج جذب جمع شده و توسط پمپ های P -۱۰۲ A/B و پس از کنترل سطح به مخزن نگهداری بافر غنیTK-۱۰۲ ارسال می گردد. [۳] بافر موجود در مخزن غنی توسط پمپ های P -۱۰۳ A/B و با یک سیستم کنترل سطح مایع از مبدل حرارتی بافر غنی/ ضعیف (E-۱۰۱) عبور داده شده و جهت جداسازی SO_2 موجود در آن به سمت برج دفع (V-۱۰۳) ارسال می گردد. بخش جذب سیستم اسکرابر در شکل ۴ نشان داده شده است. [۳]



شکل ۴. بخش جذب سیستم اسکرابر واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

بخش احیاء

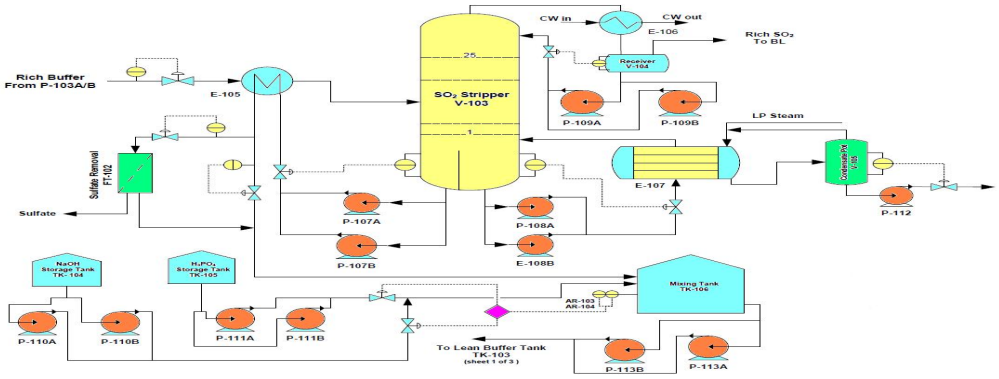
برج دفع(V-۱۰۳) دارای قطر ۲/۴۵ متر و ارتفاع ۲۲ متر و دارای ۲۵ عدد سینی می باشد. فشار عملیاتی این برج bar ۳ و دمای عملیاتی آن ^{o}C ۱۴۰ می باشد. در این برج محلول استفاده شده در برج جذب، احیاء شده و SO_2 به صورت گاز از بالای برج خارج شده و محلول عاری از SO_2 به تانک ذخیره محلول جهت استفاده مجدد در برج جذب ارسال می گردد. این برج در حقیقت یک عریان کننده بوده و با استفاده از بخار آب که به قسمت پایین برج تزریق می گردد، SO_2 از محلول جدا می گردد. در صورت وجود SO_3 در گاز

ورودی به برج مقداری از محلول تجزیه شده و سولفات سدیم تشکیل می گردد. به همین منظور بخشی از محلول احیاء شده برای تخلیص به دستگاه های جدا کننده انتقال داده می شود. [۳]

بافر غنی توسط پمپ های P-۱۰۳ A/B از برج جذب (V-۱۰۱) گرفته شده و پس از عبور از مبدلE-۱۰۵ به برج دفع (V-۱۰۳) ارسال می گردد. مایعات پایین برج که گاز آلاینده SO_2 آن جدا شده است توسط پمپ های P-107 A/B پس از کنترل سطح از مبدلE-۱۰۵ به مخزن اختلاط TK-۱۰۵ ارسال می گردد. بخشی از این جریان بعد از سرد شدن در مبدل E-۱۰۵ و عبور از فیلتر FT-۱۰۲ که کار حذف سولفات را به عهده دارد از سیستم خارج می شود. [۳]

جریان دوم از پایین برج توسط پمپ های P -۱۰۸ A/B به ریبویلر E-۱۰۷ رفته و پس از گرم شدن و ایجاد بخارات لازم به برج برگشت داده می شود. جریان خروجی از بالای برج پس از سرد شدن در کولرهای E-۱۰۶ در ظرف جمع کننده بالاسری V-۱۰۴ جمع شده و توسط پمپ های P-۱۰۹ A/B به برج برگشت داده می شود. جریان غنی از SO_2 از بالای ظرف V-۱۰۴ خارج شده و جهت عملیات جدا سازی گوگرد به واحد تولید گوگرد ارسال می گردد. [۳]

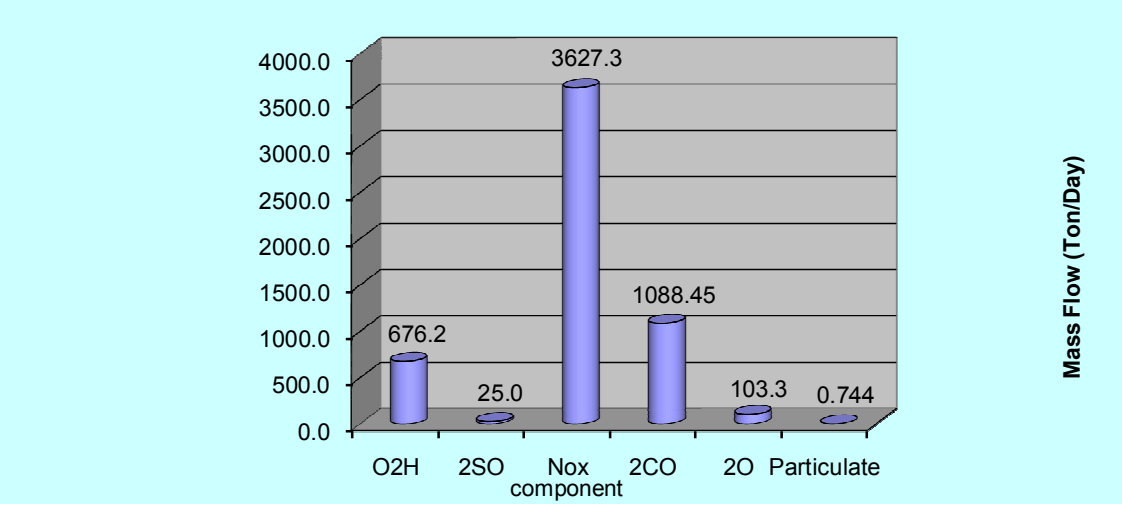
مخزن TK-۱۰۳ جهت نگهداری اسید فسفریک و مخزنTK-۱۰۴ جهت نگهداری کاستیک در نظر گرفته شده است. اسید فسفریک توسط پمپ های P-۱۱۱ A/B و کاستیک توسط پمپ هایA/B ۱۱۰ - P پس از کنترل جریان توسط شیرهای کنترل جهت ایجاد بافر مناسب به مخزن اختلاط TK-۱۰۶ ارسال می شود. کار ارسال بافر ضعیف از مخزن TK-۱۰۶ به برج جذب را پمپ های A/B ۱۱۳ - P به عهده دارند. بخش احیاء سیستم اسکرابر در شکل ۵ نشان داده شده است. [۳]



شکل ۵. بخش احیاء سیستم اسکرابر واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

مشخصات و ویژگی ترکیبات خروجی از برج احیاء واحد کت کراکر

جریان جرمی ترکیبات خروجی از برج احیاء واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان در شکل ۶ آمده است.



شکل۶. میزان جریان جرمی ترکیبات در گازهای خروجی از احیاگر واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان (ورودی به اسکرابر)

نتایج حاصل از اندازه گیری ترکیبات گازهای خروجی از احیاگر واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

آزمایش های میزان گوگرد در خوراک واحد کت کراکر و میزانSO_2 در جریان گازهای سوخته خروجی از برج احیاء به صورت هفتگی انجام می شود و میزان آلاینده ها در جریان گازهای سوخته پس از انجام آزمایش Orsat توسط آزمایشگاه مرکزی پالایشگاه گزارش می شود. نتایج به دست آمده از اندازه گیری آلاینده ها در واحد کت کراکر برای یک دوره ۵ ماهه و تعداد ۲۰ نمونه در جدول (۱) آمده است.

جدول۱. میزان آلاینده ها در جریان گازهای سوخته واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

درصد مولی آلاینده ها در جریان گازهای سوخته واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان						
شماره نمونه	میزان گوگرد در خوراک واحد (ppm)	O_2	H_2O	CO_2	N_2	SO_2
۱	۲۰۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۱
۲	۱۵۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۰۸
۳	۱۳۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۰۷
۴	۳۰۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۷
۵	۲۶۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۴
۶	۲۷۸۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۵
۷	۲۸۲۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۶
۸	۲۷۲۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۵
۹	۲۶۸۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۵
۱۰	۲۷۶۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۵
۱۱	۲۲۶۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۲
۱۲	۲۱۶۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۲
۱۳	۲۱۶۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۲
۱۴	۲۱۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۲
۱۵	۲۰۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۱
۱۶	۲۱۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۲
۱۷	۱۸۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۰
۱۸	۲۱۶۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۲
۱۹	۲۳۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۱۳
۲۰	۲۵۰۰۰	۱/۷	۱۹/۲	۱۲/۷	۶۶/۲	۰/۲۰

نتایج محاسبه فاکتور های انتشار آلاینده ها در واحد کت کراکر

برای محاسبه فاکتور انتشار آلاینده ها در واحد جدید کت کراکر بر اساس داده های طراحی، مقدار خوراک واحد ۴۵۰۰۰ بشکه در روز (۲۹۸ متر مکعب در ساعت) و مقدار کاتالیست چرخشی بین برج احیاء و راکتور ۳۵ تن در دقیقه در محاسبات لحاظ شده است. برای واحد قدیمی کت کراکر میزان کاتالیست چرخشی ۱۵ تن در دقیقه و مقدار خوراک واحد ۱۱۲/۶ متر مکعب در ساعت لحاظ شده است. نتایج حاصل از محاسبه فاکتور های انتشار آلاینده ها در واحد کت کراکر جدید در صورتی که سیستم اسکرابر نصب نشود، در جدول (۲) آمده است. با مقایسه ضرایب انتشار به دست آمده با حالت استاندارد به خوبی مشخص است که در صورتی که اسکرابر نصب نشود وضعیت انتشار آلاینده های گازی در واحد از مقادیر استاندارد بسیار بالاتر می باشد.

جدول ۲. فاکتور های انتشار آلاینده ها در واحد کت کراکر جدید، بدون نصب سیستم اسکرابر

ردیف	نوع آلاینده	روش محاسبه فاکتور انتشار	فاکتور انتشار آلاینده ها (استاندارد)	فاکتور انتشار آلاینده ها بدون اسکرابر
۱	ذرات جامد کاتالیست (Particulate)	(gram/Ton catalyst circulation)	۷۸۳	۱۴۱۴/۳
۲	گاز دی اکسید گوگرد (SO_2)	(gram/m^3 Feed)	۱۴۱۳	۳۴۹۶۷۶
۳	گاز دی اکسید نیتروژن (NO_2)	(gram/m^3 Feed)	۱۷۹/۵	۶۵۰۶۶/۶
۴	گاز دی اکسید کربن (CO_2)	(gram/m^3 Feed)	–	۱۵۲۷۴۲

در جدول (۳) وضعیت انتشار آلاینده های واحد های جدید و قدیم کت کراکر پالایشگاه آبادان با هم مقایسه شده است.

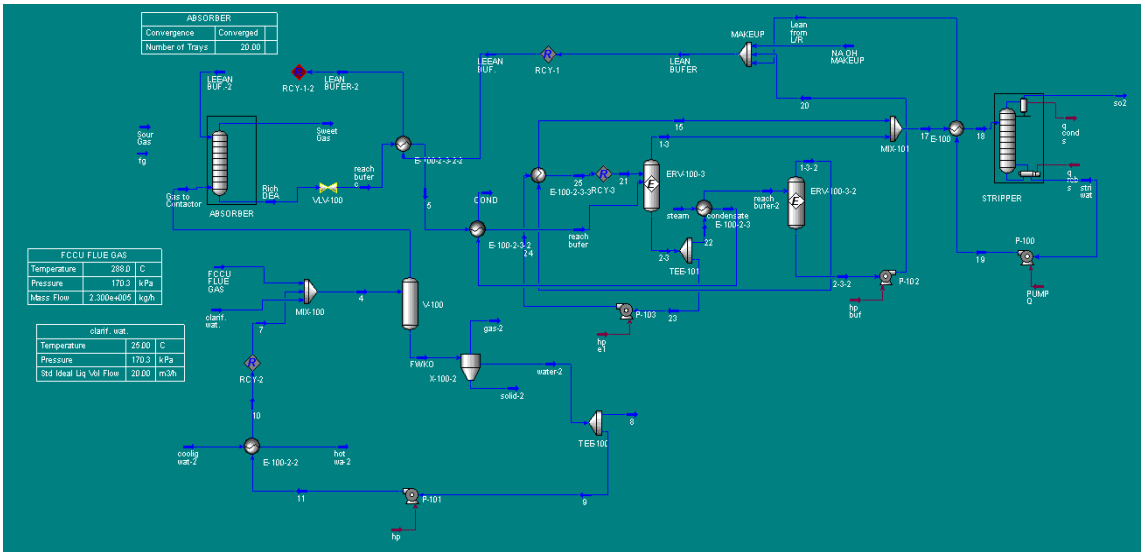
جدول ۳. مقایسه وضعیت انتشارآلاینده های واحد های جدید و قدیم کت کراکر پالایشگاه آبادان

ردیف	نوع آلاینده	روش محاسبه فاکتور انتشار	فاکتور انتشار آلاینده ها (استاندارد)	فاکتور انتشار آلاینده ها در واحد قدیم کت کراکر	فاکتور انتشار آلاینده ها در واحد جدید کت کراکر
۱	ذرات جامد کاتالیست (Particulate)	(gram/Ton catalyst circulation)	۷۸۳	۸۱۵۴	۳۸۸/۶
۲	گاز دی اکسید گوگرد (SO_2)	(gram/m^3 Feed)	۱۴۱۳	۲۷۷/۴	۷۶۵
۳	گاز دی اکسید نیتروژن (NO_2)	(gram/m^3 Feed)	۱۷۹/۵	۱۴۷/۴	۴۶۸۸۱
۴	گاز دی اکسید کربن (CO_2)	(gram/m^3 Feed)	–	۵۴۶۰۰	۱۴۱۳۳۵
۵	گاز منو اکسید کربن (CO)	(gram/m^3 Feed)	۳۹۰۴۵	۱۶۸۰	۰

نتایج خروجی از نرم افزار برای فرایند LABSORB (جذب با بافر کاستیک فسفات)

فرایند جذب با بافر کاستیک فسفات توسط نرم افزار Hysys Refinery و برای ۲۰ نمونه از گازهای سوخته واحد با توجه به میزان گوگرد خوراک واحد اجرا شده و همگرا و حل شده است. نتایج شبیه سازی

فرایند برای نمونه های مورد مطالعه در ادامه آمده است. صفحه اصلی فرایند شبیه سازی شده اسکرابر در شکل ۷ نشان داده شده است. در این شکل تجهیزات مورد نیاز فرایند و مسیرهای ارتباطی مشخص می باشد.



شکل ۷. صفحه اصلی PFD شبیه سازی فرایند بافر کاستیک فسفات(تکنولوژی Labsorb)

درجدول (۴) میزان ترکیب آلاینده ها در گازهای سوخته تصفیه شده خروجی از فرایند اسکرابر شبیه سازی شده آمده است.

جدول ۴. میزان آلاینده ها در جریان گازهای سوخته تصفیه شده واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان

درصد مولی آلاینده ها در جریان گازهای سوخته تصفیه شده واحد جدید کت کراکر پالایشگاه آبادان					
شماره نمونه	O_2	H_2O	CO_2	N_2	SO_2
۱	۱/۵۷	۲۵/۳۴	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۲	۱/۵۷	۲۵/۳۶	۱۱/۷۵	۶۱/۲۷	۰/۰۳
۳	۱/۵۷	۲۵/۳۷	۱۱/۷۵	۶۱/۲۷	۰/۰۳
۴	۱/۵۷	۲۵/۳۱	۱۱/۷۶	۶۱/۳۰	۰/۰۵
۵	۱/۵۷	۲۵/۳۲	۱۱/۷۶	۶۱/۲۹	۰/۰۵
۶	۱/۵۷	۲۵/۳۲	۱۱/۷۶	۶۱/۲۹	۰/۰۵
۷	۱/۵۷	۲۵/۳۲	۱۱/۷۶	۶۱/۲۹	۰/۰۵
۸	۱/۵۷	۲۵/۳۲	۱۱/۷۶	۶۱/۲۹	۰/۰۵
۹	۱/۵۷	۲۵/۳۲	۱۱/۷۶	۶۱/۲۹	۰/۰۵
۱۰	۱/۵۷	۲۵/۳۲	۱۱/۷۶	۶۱/۲۹	۰/۰۵
۱۱	۱/۵۷	۲۵/۳۳	۱۱/۷۸	۶۱/۲۹	۰/۰۴
۱۲	۱/۵۷	۲۵/۳۴	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۱۳	۱/۵۷	۲۵/۳۴	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۱۴	۱/۵۷	۲۵/۳۴	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۱۵	۱/۵۷	۲۵/۳۴	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۱۶	۱/۵۷	۲۵/۳۴	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۱۷	۱/۵۷	۲۵/۳۵	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۱۸	۱/۵۷	۲۵/۳۴	۱۱/۷۶	۶۱/۲۸	۰/۰۴
۱۹	۱/۵۷	۲۵/۳۳	۱۱/۷۶	۶۱/۲۹	۰/۰۴
۲۰	۱/۵۷	۲۵/۳۱	۱۱/۷۵	۶۱/۲۶	۰/۰۵

فاکتور انتشار پس از اصلاح سیستم و استفاده از اسکرابر

فاکتور های انتشار آلاینده ها در واحد کت کراکر پس از اصلاح سیستم و استفاده از اسکرابر محاسبه شده است و در جدول (۵) آمده است. ضرایب انتشار به دست آمده نشان می دهد که وضعیت انتشار ذرات جامد

کاتالیست و گاز دی اکسید گوگرد (SO_2) مناسب و در حد استاندارد می باشد و برای آلاینده های NO_2 و CO_2 در محدوده استاندارد نمی باشد.

جدول ۵. فاکتور های انتشار آلاینده ها در واحد کت کراکر جدید، پس از نصب سیستم اسکرابر

ردیف	نوع آلاینده	روش محاسبه فاکتور انتشار	ضریب انتشار آلاینده ها (استاندارد)	ضریب انتشار آلاینده ها با اسکرابر
۱	ذرات جامد کاتالیست (Particulate)	(gram/Ton catalyst circulation)	۷۸۳	۳۸۸/٦
۲	گاز دی اکسید گوگرد (SO_2)	(gram/m³ Feed)	١٤١٣	٧٦٥
۳	گاز دی اکسید نیتروژن (NO_2)	(gram/m³ Feed)	۱۷۹/۵	٤٦٨٨١
٤	گاز دی اکسید کربن (CO_2)	(gram/m³ Feed)	–	١٤١٣٣٥

محاسبات، واکنش ها و موازنه جرم در فرایند اسکرابر بافر کاستیک فسفات

میزان جریان گازهای سوخته خروجی از برج احیاء واحد کت کراکر = ۲۳۰,۰۰۰ Kg/hr

میزان SO_2 همراه گازهای سوخته = ۲۰۰۰ppm

میزان SO_2 خروجی به اتمسفر = ۵۰۰ ppm

وزن مولکولی گازهای سوخته = ۲۸/۲۵ Kg /kg mole

میزان SO_2 ورودی به اسکرابر = ۲۳۰۰۰۰ kg/hr*۲۰۰۰ ppm*$۱۰^{-۶}$ *۱/۲۸/۲۵=۱۶/۲۸ kg mole/hr*

۶۴Kg/kg mole = ۱۰۴۲ kg/hr = ۲۵ ton /day

میزان آب = ۱۶/۲۸ kgmol/hr * ۱۸ kg/kgmole = ۲۹۳ kg/hr

میزان Na_2HPO_4 = ۱۶/۲۸ kgmol/hr * ۱۴۲ kg/kgmole = ۲۳۱۲ kg/hr

میزان $NaHSO_3$ = ۱۶/۲۸ kgmol/hr * ۱۰۴ kg/kgmole = ۱۶۹۳ kg/hr

میزان NaH_2PO_4 =۱۶/۲۸ kgmol/hr * ۱۲۰ kg/kgmole = ۱۹۵۴ kg/hr

واکنش جذب

$$SO_2 + H_2O + Na_2HPO_4 \longrightarrow NaHSO_3 + NaH_2PO_4 \qquad (50\ ^oC) \qquad (۱)$$

جدول۶. موازنه جرم فرایند بافر کاستیک فسفات(واکنش جذب)

ردیف	نوع ماده	وزن مولکولی(MW)	میزان جریان(کیلوگرم در ساعت)
۱	SO_2	۶۴	۱۰۴۲
۲	H2O	۱۸	۲۹۳
۳	Na_2HPO_4	۱۴۲	۲۳۱۲
٤	$NaHSO_3$	۱۰۴	۱۶۹۳
٥	NaH_2PO_4	۱۲۰	۱۹۵۴

واکنش دفع در برج عریانگر

$$NaHSO_3 + NaH_2PO_4 \longrightarrow SO_2 + H_2O + Na_2HPO_4 \qquad (120\ ^{o}C) \qquad (۲)$$

جدول۷. موازنه جرم فرایند بافر کاستیک فسفات(واکنش دفع)

ردیف	نوع ماده	وزن مولکولی(MW)	میزان جریان(کیلوگرم در ساعت)
۱	$NaHSO_3$	۱۰۴	۱۶۹۳
۲	NaH_2PO_4	۱۲۰	۱۹۵۴
۳	SO_2	۶۴	۷۸۲
٤	H_2O	۱۸	۲۹۳
٥	Na_2HPO_4	۱۴۲	۲۵۷۲

محاسبه میزان SO_2 جذب شده و راندمان جذب توسط اسکرابر

۲۳۰۰۰۰ kg/hr * ۱۵۰۰ ppm * ۱۰ $^{-۶}$ / ۲۸/۲۵ = ۱۲/۲۱ kgmol/hr *۶۴=۷۸۲ kg/hr =۱۸/۸ Ton/day

محاسبه راندمان جذب در سیستم اسکرابر

راندمان جذب =SO_2جذب شده مقدار ورودی/ SO_2 مقدار کل *۱۰۰

راندمان جذب =۱۸/۸ ÷۲۵ *۱۰۰= ٪۷۵

مقایسه هزینه تن کاهش آلودگی در واحد کت کراکر توسط فرایند های مختلف اسکرابر

از پارامتر هایی که از نظر اقتصادی در انتخاب یک فرایند مهم می باشد می‌توان به هزینه های مهندسی، خرید و نصب سیستم، پرسنل و مواد شیمیایی مصرفی و آب و برق و بخار اشاره نمود. در جدول ۸ هزینه های مواد مصرفی مورد نیاز فرایند Labsorb محاسبه شده است.

جدول ۸. هزینه های مواد شیمیایی و یوتیلیتی مصرفی در فرایند LABSORB

هزینه های مواد شیمیایی و یوتیلیتی مصرفی در فرایند LABSORB						
مواد شیمیایی		مصرف			قیمت(ریال/واحد)	هزینه سالانه (ریال)
	واحد	در ساعت	روزانه	سالانه		
سود ۳۰ ٪	تن	۰/۰۶۶	۱/۶	۵۷۸/۲	ریال ۱,۱۶۲,۲۶۸	ریال ۶۷۱,۹۷۶,۸۶۷
اسید فسفریک	تن	۰/۰۴۴	۱/۰۵۶	۳۸۵/۴۴	ریال ۷,۰۰۰,۰۰۰	ریال ۲,۶۹۸,۰۸۰,۰۰۰
بخار آب فشار پایین	تن	۴۰	۹۶۰	۳۵۰۴۰۰	ریال ۵۰,۰۰۰	ریال ۱۷,۵۲۰,۰۰۰,۰۰۰
آب کندانس	متر مکعب	۲/۳	۵۵/۲	۲۱۰۴۸	ریال ۱۵,۰۰۰	ریال ۳۰۲,۲۲۰,۰۰۰
آب خنک کننده	متر مکعب	۱۶۶۶	۳۹۹۸۴	۱۴۵۹۴۱۶۰	ریال ۱۸۰	ریال ۲,۶۲۶,۹۴۸,۸۰۰
برق	مگا وات ساعت	۰/۵۸	۱۳/۹۲	۵۰۸۰/۸	ریال ۳۰,۸۰۰	ریال ۱۵۶,۴۸۸,۶۴۰
هزینه مواد مصرفی در سال (ریال)						۲۳,۹۷۵,۷۱۴,۳۰۷
هزینه مواد مصرفی در سال (دلار)						۲,۳۹۷,۵۷۱

پس از انتخاب فرایند های مورد توجه پالایشگاه جهت اسکرابر مرطوب در واحد کت کراکر برآورد اقتصادی فرایند ها صورت گرفت و هزینه کاهش آلودگی (دلار به تن) محاسبه شده و در شکل ۸ نمودار مقایسه ای هزینه حذف گوگرد توسط فرایندهای مختلف اسکرابر آمده است.

شکل ۸. هزینه کاهش آلودگی گوگرد (تن/ دلار) برای فرایند های مختلف اسکرابر

میزان کاهش آلاینده ها در واحد کت کراکر، راندمان جذب آلاینده ها در فرایند اسکرابر محاسبه شده و در جدول (۹) آمده است.

= میزان کاهش آلاینده دی اکسید گوگرد (SO_2)

۷۸۲ Kg/hr* ۱ton/۱۰۰۰ kg *۲۴ hr /۱day =۱۹ ton/day

= میزان کاهش آلاینده CO_2

۲۳۰۰۰۰ kg/hr × ۰/۰۱۰ mole% × ۴۴/ ۲۸/۲۵ = ۳۵۸۲ kg/hr ×۲۴/۱۰۰۰= ۸۶ Ton/day

= میزان کاهش آلاینده NO_2

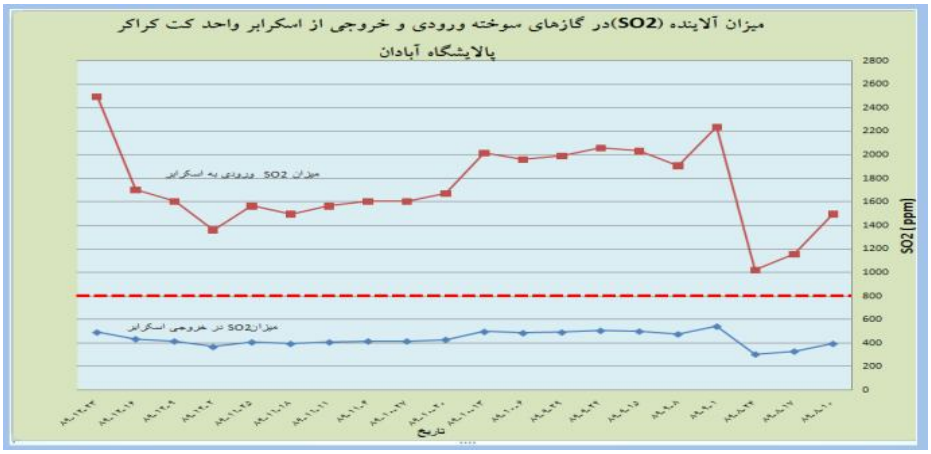
۲۳۰۰۰۰ kg/hr × ۰/۰۵ mole% ×۰/۱ × ۴۶/ ۲۸/۲۵ = ۱۸۷/۳ kg/hr ×۲۴/۱۰۰۰= ۴۵ Ton/day

جدول ۹. راندمان حذف آلاینده ها در واحد کت کراکر توسط اسکرابر

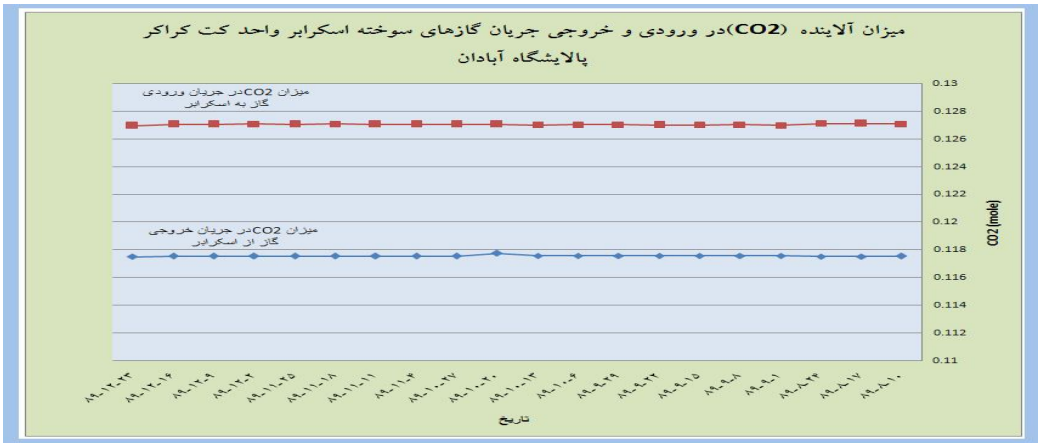
ردیف	نوع آلاینده	میزان ورودی به اسکرابر (تن در روز)	میزان خروجی از اسکرابر (تن در روز)	میزان کاهش (تن در روز)	راندمان جذب
۱	SO2	۲۵	۶	۱۹	%۷۵
۲	CO2	۱۰۹۲	۱۰۰۶	۸۶	%۸
۳	NO2	۵۹۵	۵۵۰	۴۵	%۷/۶

نتایج حاصل از کاهش انتشار آلاینده های هوا ناشی از به کار بردن اسکرابر در واحد کت کراکر

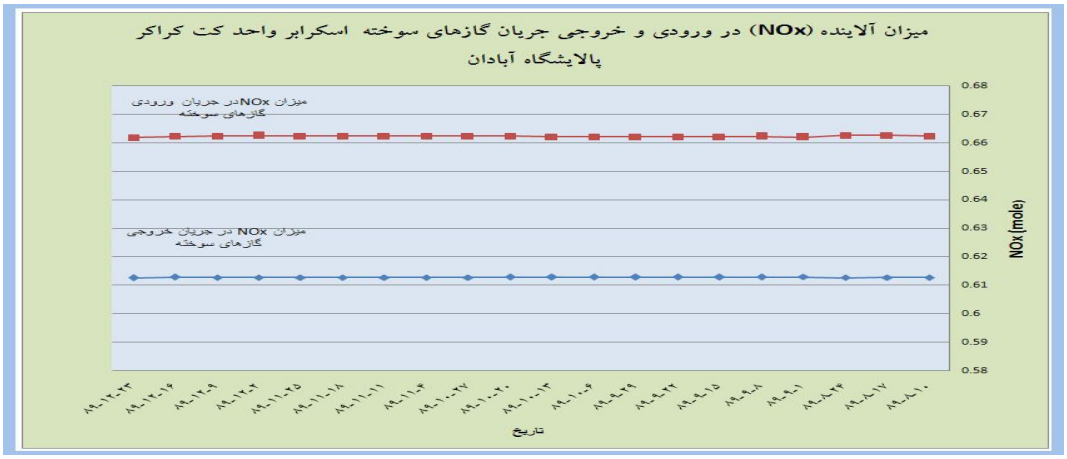
نتایج حاصل از کاهش انتشار آلاینده های هوا در واحد کت کراکر جدید پالایشگاه آبادان در صورت استفاده از اسکرابر در جدول ۴ آمده است و همچنین نتایج به دست آمده از شبیه سازی فرایند توسط نرم افزار HYSYS REFINERY در شکل های ۹ و۱۰و ۱۱ به صورت نمودار نشان داده شده است.



شکل ۹. میزان آلاینده (SO_2) درگازهای سوخته ورودی و خروجی از اسکرابر واحد کت کراکر پالایشگاه آبادان



شکل ۱۰. میزان آلاینده (CO_2) درگازهای سوخته ورودی و خروجی از اسکرابر واحد کت کراکر پالایشگاه آبادان



شکل ۱۱. میزان آلاینده (NO_x) درگازهای سوخته ورودی و خروجی از اسکرابر واحد کت کراکر پالایشگاه آبادان

بررسی هزینه های اجرای طرح و کمینه سازی انتشار(تن کاهش آلودگی)

با توجه به هزینه سرمایه گذاری و هزینه های عملیاتی، هزینه تن کاهش آلاینده های گازی واحد کت کراکر در جریان گازهای سوخته توسط اسکرابر محاسبه و نتایج حاصله در جدول ۱۰ آمده است.

جدول۱۰. هزینه تن کاهش آلاینده ها در واحد کت کراکر توسط اسکرابر

ردیف	عنوان	واحد	آلاینده SO_2	آلاینده CO_2	آلاینده NO_2
۱	ظرفیت واحد کت کراکر	بشکه در روز	٤٥٠٠٠		
۲	میزان گوگرد در خوراک واحد	درصد وزنی	۲/٥		
۳	هزینه سرمایه گذاری اسکرابر(مهندسی و خرید و نصب)	دلار	۲۰,۰۰۰,۰۰۰		
٤	هزینه تعمیرات (۲ درصد سرمایه)	دلار در سال	٤۰۰,۰۰۰		
٥	هزینه مواد مصرفی در سال	دلار در سال	۲,۳۹۷,٥۷۱		
٦	کل هزینه های عملیاتی در سال	دلار در سال	۲,۷۹۷,٥۷۱		
۷	هزینه اسکرابر(با عمر مفید ۱٥ سال و نرخ بهره ۱۰٪)	دلار در سال	۲,۰۰۰,۰۰۰		
۸	کل هزینه های سالانه	دلار	٤,۷۹۷,٥۷۱		
۹	میزان آلاینده حذف شده در روز	تن در روز	۱۹	۸٦	٤٥
۱۰	میزان آلاینده حذف شده در سال	تن در سال	٦۸۲٥	۳۱۳۹۰	۱٦٤۲٥
۱۱	**هزینه تن کاهش آلودگی**	**دلار**	۷۰۳	۱٥۳	۲۹۲

محاسبه زمان بازگشت سرمایه در اثر کاهش انتشار در زیر آمده است:

= درآمد حاصل از طرح / هزینه های سالانه طرح = زمان بازگشت سرمایه

سال ۳ = سال /دلار ۱,٥۳۳,۲۰۲÷۴,۷۹۷,٥۷۱ دلار

زمان بازگشت سرمایه دراین طرح ۳ سال می باشد.

نتایج و بحث

واحد کت کراکر یکی از واحد های فرایندی مهم و بنزین ساز در پالایشگاه می باشد و دارای ارزش افزوده بالایی است. ۵۷ درصد حجمی از خوراک واحد، تبدیل به بنزین با اکتان ۹۳ می گردد. گازهای سوخته که ضمن واکنش های سوختن کک و احیای کاتالیست در برج احیاء واحد تولید می شود نیاز به تصفیه دارد. در واحد جدید کت کراکر عمل کاهش آلاینده ذرات جامد کاتالیست تا ppm ۲۰۰ توسط ۸ عدد سیکلون دو مرحله ای که در برج احیاء نصب شده صورت می گیرد و کاهش این آلاینده تا ppm ۱۰۰ توسط سیستم جدا ساز مرحله سوم و چهارم انجام می گردد. عمل کاهش انتشار آلاینده های SO_2، CO_2 و NO_2 توسط سیستم اسکرابر گاز مرطوب صورت می گیرد.

محاسبات اقتصادی انجام شده در رابطه با فرایند های مورد بررسی نشان می دهد که هزینه های عملیاتی فرایند جذب با آب رودخانه به میزان ۳۵،۲۷۲،۱۰۷،۹۷۴ ریال به عنوان پرهزینه ترین روش و هزینه های عملیاتی فرایند جذب با آمین به مقدار ۱۵،۲۶۶،۰۱۴،۶۹۰ ریال به عنوان کم هزینه ترین روش می باشد. هزینه های عملیاتی فرایند جذب با بافر کاستیک فسفات به میزان ۲۳،۹۷۵،۷۱۴،۳۰۷ ریال می باشد. از مشکلات اصلی فرایند آمین می توان به انحصاری بودن جاذب آن اشاره نمود.

هزینه حذف هر تن گوگرد توسط سیستم اسکرابر با فرایند جذب با آب رودخانه ۱۷۳۱ دلار، برای فرایند آمین ۱۱۴۶ دلار و برای فرایند بافر کاستیک فسفات ۱۴۰۱ دلار می باشد.

طبق جدول۲ در صورتی که اسکرابر وجود نداشته باشد، فاکتور انتشار آلاینده های SO_2، CO_2 و NO_2 در حد استاندارد نمی باشد ولی فاکتور انتشار ذرات جامد کاتالیست در محدوده مجاز و استاندارد می باشد. این موضوع نشان می دهد که کنترل انتشار ذرات جامد کاتالیست در واحد کت کراکر توسط سیکلون ها و سیستم های جدا ساز مراحل سوم و چهارم به خوبی صورت می گیرد و برای دیگر آلاینده های موجود در جریان گازهای سوخته نیاز به سیستم کنترل انتشار مناسب مانند اسکرابر می باشد.

بر اساس جدول ۳ فاکتور انتشار آلاینده ذرات جامد کاتالیست برای واحد های جدید و قدیم کت کراکر نشان می دهد که این فاکتور برای واحد جدید در حد مجاز بوده و برای واحد قدیم در محدوده مجاز و استاندارد نمی باشد. علت بالا بودن فاکتور انتشار ذرات جامد کاتالیست و هدر روی بالای آن در واحد قدیمی کت کراکر به دلیل کارایی نامناسب سیکلون ها به واسطه قدیمی بودن آن ها و اشکالات مکانیکی سیکلون ها و عدم کارایی مناسب سیستم الکترو فیلتر این واحد می باشد.

بر اساس جدول ۵ محاسبات فاکتور انتشار نشان می دهد که در صورت نصب سیستم اسکرابر برای واحد کت کراکر، ضریب انتشار آلاینده SO_2 در محدوده مجاز و استاندارد قرار می گیرد ولی فاکتور انتشار آلاینده های CO_2 و NO_2 در محدوده مجاز نمی باشد. فاکتورهای انتشار به دست آمده نشان می دهد که سیستم اسکرابر برای کنترل انتشار آلاینده SO_2 مناسب بوده و از آنجائی که واکنش جذب یک واکنش انتخابی است برای کنترل انتشار دیگر آلاینده ها باید از جاذب مناسب دیگری استفاده شود و به یک سیستم کنترل مجزای دیگر نیاز می باشد.

میزان آلاینده دی اکسید کربن در گازهای سوخته واحد کت کراکر ۱۰۸۸ تن در روز می باشد. این آلاینده از گازهای گلخانه ای بوده و در گرمایش جهانی تاثیر زیادی دارد و کاهش این گاز گلخانه ای امری ضروری می باشد.

نتیجه گیری

۱- در سیستم اسکرابر با فرایند جذب توسط بافر کاستیک فسفات، حذف آلاینده SO_2 به میزان ۷۵ درصد، حذف آلاینده CO_2 به میزان ۸ درصد و آلاینده NO_2 به میزان ۷/۶ درصد انجام می گردد.

۲- هزینه تن کاهش آلودگی SO_2 با فرایند جذب توسط بافرکاستیک فسفات به میزان ۷۰۳ دلار، برای آلاینده CO_2 به مقدار ۱۵۳ دلار و برای آلاینده NO_2 به میزان ۲۹۲ دلار می باشد.

۳- هزینه کاهش آلودگی گوگرد در فرایند جذب با آمین ۱۱۴۶ دلار به تن (کم هزینه ترین روش)، برای فرایند جذب با بافر کاستیک فسفات ۱۴۰۱ دلار به تن و برای فرایند جذب با آب دریا ۱۷۳۱ دلار به تن (پر هزینه ترین روش) می باشد.

۴- با نصب سیستم اسکرابر، فاکتورانتشارآلاینده SO_2 از ۳۴۹۶/۶ به ۷۶۵ کاهش پیدا کرده است و در محدوده مجاز قرار می‌گیرد. مقادیر فاکتور انتشار آلاینده های CO_2 و NO_2 همچنان در محدوده مجاز نمی باشند و از میزان استاندارد بالاتر می باشد.

۵- کنترل انتشار ذرات جامد کاتالیست توسط سیکلون ها و جداسازهای مراحل سوم و چهارم به خوبی صورت می گیرد و فاکتور انتشار این آلاینده در محدوده مجاز و به مقدار۳۸۸/۶ می باشد.

۶- حذف و کاهش انتشار آلاینده CO_2 نیاز به یک سیستم جداگانه کنترل انتشار با جاذب مناسب دارد.

منابع

1. Borolini S,Bellini V. 2007. Abadan Refinery FCCU Scrubber proposal ،Actea Company
2. Brinbaum. R.W. , 2008. Cansolv SO2 Scrubbing in Refinery Applications
3. Belco Company. 2007. Abadan Refinery FCCU Scrubber proposal
4. Davey S.W., 1999. Environmental Fluid Catalytic Cracking Technology Presented at the European Refining
5. Eagleson S. T.؛ Confuorto N. ؛ Weaver E.H.. 2000. Considerations in Controlling FCCU Emissions, Presented at Stone & Webster
6. Kare Company. 2007. Abadan Refinery FCCU Scrubber proposal
7. Sadeghbigi. R. 2000. FCCU Handbook, second Edition
8. Wilson .H, et al. 2005. Abadan Refinery new FCCU Operating manual book (UOP Company)
9. Weaver E.H.؛ Eagleson S. T.؛ Confuorto N.1999. BELCO Technologies Corporation, Alberta, Canada