

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه

کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش پیشرفته

عنوان:

مدل سازی رآکتور تبدیل نرمال بوتان به ایزوبوتان

نگارش:

دارا عظیمی

استاد راهنما:

دکتر روئین حلاج

دی ۱۳۸۷



دانشگاه صنعتی
امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات
تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: دارا عظیمی
دانشجوی آزاد
شماره دانشجویی: ۸۵۱۲۲۰۱۴
رشته تحصیلی: مهندسی شیمی

بورسیه / معادل
دانشکده: مهندسی شیمی
گروه: پیشرفته

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر روئین حلاج
درجه و رتبه: استادیار دانشکده مهندسی شیمی

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی:
نام و نام خانوادگی:
درجه و رتبه:
درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی: مدلسازی رآکتور تبدیل نرمال بوتان به ایزوبوتان

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: **n-Butane isomerization reactor modeling**

نوع پروژه: کارشناسی / ارشد / دکتری
کاربردی / بنیادی / توسعه‌ای / نظری

سال تحصیلی: ۱۳۸۷
تاریخ شروع: ۱۳۸۶/۷/۱
تاریخ خاتمه: ۱۳۸۷/۱۰/۱۵
تعداد واحد: ۶
سازمان تأمین کننده اعتبار: -

واژه‌های کلیدی به فارسی: مدلسازی - ایزومریزاسیون - بوتان - راکتور بستر ثابت
واژه‌های کلیدی به انگلیسی: **Modeling - Isomerization - Butane - Fixed Bed Reactor - MTBE**

تعداد صفحات ضمیمه	تعداد مراجع	نمودار <input type="radio"/>	جدول <input type="radio"/>	تصویر <input type="radio"/>	تعداد صفحات	مشخصات ظاهری
	20	واژه‌نامه <input type="radio"/>		نقشه <input type="radio"/>	123	
	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input checked="" type="radio"/>	چکیده		فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>		زبان متن
یادداشت						

نظرها و پیشنهادهای به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما:
تاریخ:

با سپاس و قدردانی از استاد بزرگوارم

جناب آقای دکتر روئین حلاج

که انجام این پروژه بدون راهنمایی های ایشان ممکن نبود.

دارا عظیمی

تقدیم به:

مادر عزیزم
یگانه مهر آسمان محبت

و پدر بزرگوارم
بزرگ معلم صبر و استقامت

چکیده

با اهمیت روز افزون حفاظت محیط زیست، کاهش گازهای سمی حاصل از احتراق انواع سوختهای نفتی با جدیت بیشتری در سطح جهانی پیگیری می شود. بدین جهت ترکیبات بکاررفته در این سوختها همواره در حال دگرگونی است. از جمله این تغییرات جایگزینی ترکیبات سرب دار و آروماتیکی موجود در بنزین با MTBE و ایزواکتان می باشد. ایزواکتان و MTBE گذشته از دارا بودن عدد اکتان بالا، از نظر زیست محیطی مضرات سرب و آروماتیکیها را ندارند. همچنین MTBE به دلیل دارا بودن اکسیژن، احتراقش موجب کم شدن اکسیژن در اتمسفر نمی گردد. از آنجا که ماده اولیه تولید MTBE و ایزواکتان، ایزوبوتان است لذا تولید و دسترسی به مقادیر بیشتری از ایزوبوتان مطلوب می باشد. بهترین روش جهت تولید ایزوبوتان، ایزومریزاسیون نرمال بوتان است. از سال ۱۹۳۳ که واکنش کاتالیستی ایزومریزاسیون آلکانها مشاهده شد، محققین همواره در تلاش بوده اند تا کاتالیست های جدیدی که فعالیت بیشتری داشته و واکنش ایزومریزاسیون را در دمای پایین تری انجام دهند بیابند. با مطالعه تحقیقات محققین در دو دهه اخیر روی واکنش ایزومریزاسیون نرمال بوتان استفاده از کاتالیست زیرکونیای سولفات به طور چشمگیری مشاهده می شود. این کاتالیست دارای جایگاه های اسیدی بسیار قوی می باشد که در درجه حرارت و فشار پایین قادر به هدایت واکنش بسیار مشکل ایزومریزاسیون نرمال بوتان است. تمامی تحقیقات انجام گرفته روی این کاتالیست در سطح آزمایشگاهی بوده و شامل عوامل تاثیر گذار در ساخت، مقایسه با دیگر کاتالیستها، تاثیر هیدروژن و الفینها، تقویت کردن کاتالیست با برخی فلزات و مطالعه مکانیسم واکنش بوده است. در پروژه حاضر سعی بر آن شده است تا با استفاده از نتایج آزمایشگاهی که موکد معادله سرعت واکنش است و بدست آوردن معادلات حاکم بر واکنش و عوامل موثر بر واکنش در مقیاس صنعتی نظیر انتقال جرم، انتقال حرارت و مقاومت های موجود در واکنشهای کاتالیستی، به ارائه یک برنامه کامپیوتری که تولید ایزوبوتان را در یک رآکتور کاتالیستی بستر ثابت شبیه سازی می نماید پرداخته و با تغییرات عوامل موثر بر واکنش، نتایج حاصل از شبیه سازی را بررسی نمایم.

با توجه به تولید MTBE در مجتمع پتروشیمی بندر امام، امید است این برنامه مقدمه ای جهت بررسی تعویض کاتالیست و افزایش راندمان تولید MTBE در ایران گردیده و همچنین به عنوان نرم افزاری برای مطالعه سایر واکنشهای کاتالیستی بستر ثابت در مقیاس صنعتی در اختیار دانشجویان و محققین قرار گیرد.

ایزومریزاسیون (Isomerization)، بوتان (Butane)، رآکتور بستر ثابت (Fixed Bed Reactor)

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
یک	چکیده

فصل اول: مقدمه

۱	۱-۱ مقدمه
۴	۲-۱ روش تولید MTBE و اثر افزودن آن به بنزین
۵	۳-۱ فرآیندها
۷	۱-۳-۱ فرآیند BP
۷	۲-۳-۱ فرآیند UOP
۱۰	۳-۳-۱ فرآیند پتروشیمی بندر امام خمینی
۱۰	۱-۳-۳-۱ تشریح کلی فرآیند
۱۲	۲-۳-۳-۱ شرح جریان فرآیندی
۱۳	۳-۳-۳-۱ متغیرهای فرآیند

فصل دوم: کاتالیست زیرکونیای سولفات

- ۱-۲ تاریخچه کاتالیست های جامد در فرآیندهای ایزومریزاسیون ۲۱
- ۲-۲ طبقه بندی کاتالیست های جامد ۲۳
- ۳-۲ روشهای تعیین اسیدیته کاتالیست های جامد ۲۵
- ۴-۲ تاریخچه کاتالیست های مورد استفاده در ایزومریزاسیون نرمال بوتان .. ۲۸
- ۱-۴-۲ نسل های مختلف کاتالیست ها ۲۹
- ۵-۲ مقایسه کاتالیست SZ با دیگر کاتالیست ها ۳۱
- ۶-۲ روشهای تهیه سولفات زیرکونیا (SZ) ۳۹
- ۱-۶-۲ روشهای دو مرحله ای ۳۹
- ۱-۱-۶-۲ روش سل-ژل ۴۰
- ۲-۶-۲ روشهای یک مرحله ای ۴۱
- ۱-۲-۶-۲ روش نمونه اول ۴۲
- ۲-۲-۶-۲ روش نمونه دوم ۴۲
- ۳-۶-۲ تهیه اروژل های سولفات زیرکونیا ۴۴
- ۷-۲ تاثیر هیدروژن بر فعالیت کاتالیست SZ ۴۵

- ۴۷ ۸-۲ تقویت کردن کاتالیست های جامد
- ۴۸ ۱-۸-۲ نقش پلاتین
- ۴۹ ۲-۸-۲ تقویت کردن SZ با Fe,Mn,Ni و مقایسه آنها

فصل سوم: مکانیزم و معادلات سرعت واکنش

- ۵۱ ۱-۳ آزمایش
- ۵۱ ۱-۱-۳ تهیه کاتالیست
- ۵۱ ۲-۱-۳ جذب دما ثابت و گرمای دیفرانسیلی جذب
- ۵۲ ۳-۱-۳ ایزومریزاسیون بوتان
- ۵۳ ۲-۳ تفسیر نتایج
- ۱-۲-۳ واکنش های نرمال بوتان و ایزوبوتان در فشارهای
- ۵۳ جزئی مختلف
- ۵۶ ۲-۲-۳ توزیع محصولات در تبدیل بالا
- ۵۷ ۳-۳ مکانیسم عمومی در تبدیل های کم و معادله سرعت واکنش

فصل چهارم: مدل سازی رآکتور بستر ثابت

- ۶۷ ۱-۴ مقاومت های موجود در واکنش های کاتالیستی
- ۷۱ ۲-۴ اثرات حرارتی حین واکنش
- ۷۳ ۳-۴ تعیین مقاومت های کنترل کننده سرعت
- ۷۴ ۱-۳-۴ مقاومت فیلمی
- ۷۵ ۲-۳-۴ اثرات حرارتی
- ۷۵ ۳-۳-۴ مقاومت نفوذ حفره ای
- ۷۵ ۱-۳-۳-۴ محاسبه ضریب نفوذ موثر
- ۷۶ ۲-۳-۳-۴ محاسبه ضریب تاثیر نفوذ حفره ای
- ۸۱ ۴-۴ روشهای تماس جامد- سیال
- ۸۵ ۵-۴ معادلات حاکم بر رآکتور کاتالیستی بستر ثابت
- ۸۵ ۱-۵-۴ معادله موازنه جرم
- ۸۶ ۲-۵-۴ معادله موازنه انرژی
- ۸۸ ۶-۴ محاسبه ضریب پراکندگی محوری
- ۸۹ ۷-۴ محاسبه ضریب هدایت گرمایی موثر

۸-۴ محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد ۹۰

۹-۴ محاسبه افت فشار در طول بستر ۹۱

فصل پنجم: نتایج حاصل از مدل سازی

۱-۵ مشخصات خوراک ۹۵

۲-۵ مشخصات رآکتور ۹۵

۳-۵ مشخصات کاتالیست SZ ۹۵

۴-۵ بررسی مقاومت فیلمی ۹۶

۵-۵ بررسی مقاومت نفوذ حفره ای ۹۷

۶-۵ بررسی اختلاف دما در دانه کاتالیست ۹۷

۷-۵ محاسبه ضریب تاثیر نفوذ حفره ای ۹۹

۸-۵ محاسبه ثابت تعادل واکنش ۱۰۲

۹-۵ محاسبه غیر فعال شدن کاتالیست ۱۰۳

۱۰-۵ مدل سازی رآکتور و نتایج ۱۰۶

فصل ششم: خلاصه، نتیجه گیری، پیشنهادات

۱-۶ خلاصه ۱۱۷

۲-۶ نتیجه گیری ۱۱۸

۳-۶ پیشنهادات ۱۲۰

مراجع ۱۲۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

امروزه آلودگی ناشی از سرب تقریباً هر گوشه و نقطه ای از کره خاکی را در بر گرفته است ۸۰٪ این آلودگی ناشی از گازهای خروجی از وسایل نقلیه بنزینی است. در اوایل سال ۱۹۲۰، صنعت اتومبیل آمریکا با این مسئله روبرو بود که مردم، اتومبیلهای پرسرعت تر می خواستند، اما اتومبیلهای آن روز موتورهای درون سوز داشتند که وقتی راننده پدال گاز را تا آخر فشار می داد به جای اینکه به سرعت اتومبیل افزوده شود صدای «تق تق» دیوانه کننده ای می داد.

در سال ۱۹۲۲ تحولی به وقوع پیوست، یکی از گروههای پژوهشی شرکت جنرال موتورز به سرپرستی توماس میجلی (که چندی بعد پدر بنزین اتیلی لقب گرفت) به ماده ای افزودنی برای بنزین دست یافت که به نظر می آمد خواص خارق العاده ای دارد. این ماده سبب می شد که موتور تق تق نکند، ضریب تراکم موتور افزایش یابد و سرعت اتومبیل به آسانی افزایش یابد. اما در این میان فقط یک اشکال اساسی وجود داشت و آن اینکه شواهدی در دست بود که این ماده افزودنی یعنی «تترا اتیل سرب» برای سلامتی انسانها زیان آور و خطرناک است. در حدود ۸۰٪ از تمامی سربی که وارد هوا می شود از اگزوز موتور وسایل نقلیه ای تولید می شود که این نوع بنزین را مصرف می کنند.

از اوایل دهه ۱۹۲۰ به منظور بهبود کارکرد موتورهای درون سوز بنزینی و به دست آوردن توان بیشتر از سوخت مصرفی، تولید کنندگان فرآورده های نفتی، افزودن ماده ای به نام «ئی دی بی» (EDB) را به تترا اتیل سرب و تترا متیل سرب موجود در بنزین آغاز کردند.

در نتیجه افزودن دیبروماید اتیل (EDB) به تترا اتیل یا تترا متیل سرب، سرب بنزین آزاد می شود. EDB که گمان می رود سرطان زا باشد، بدین دلیل به تترا اتیل یا تترا متیل

سرب افزوده می شد تا نشت سرب و انباشته شدن آن در موتور اتومبیل را کاهش داده، از گیر کردن سوپاپها جلوگیری کند. تنفس هوای آلوده به سرب، منجر به افزایش غلظت سرب موجود در خون تا آستانه خطرناک ۲۵ میکرو گرم در هر دسی لیتر می شود.

اثرات بنزین سرب دار بر سلامتی گوناگون است: بالا رفتن فشار خون، پیدایش کم خونی، نارسایی کلیه ها و خستگی ذهنی که بعضی از این عوارض گاه در کودکان پدید می آید.

بنابراین وقتی شرکت «جنرال موتورز» و شرکت شیمیایی همکار آن یعنی «دوپون» در سال ۱۹۲۴ اعلام کردند که تصمیم به تاسیس شرکت مشترکی به نام «اتیل» دارند که تترا اتیل سرب (TEL) را تولید و بازاریابی کند، صدای اعتراض دانشمندان، کارشناسان بهداشت همگانی و رهبران اتحادیه کارگری بلند شد.

در همان سال فاجعه ای در یک کارگاه آزمایشی تولید تترا اتیل سرب (که توسط شرکت استاندارد اتیل بهره برداری و اداره می شد) رخ داد که منجر به مرگ حداقل ۵ نفر و آسیب دیدگی ۳۵ نفر شد. آسیب دیدگان مبتلا به رعشه، هذیان و فلج بودند که همگی از علائم مسمومیت سرب هستند.

سئوالی که مطرح بود این بود که این ماده در مقیاس بزرگ چه تاثیری بر جامعه خواهد داشت؟ دانشمندانی که در صنایع پتروشیمی یا اتومبیل سازی کار نمی کردند وحشت خود را از آزاد شدن صدها هزار تن سرب در هوای شهرهای آمریکا ابراز کردند، اما مقامهای مسئول در شرکت «اتیل» نظر متفاوتی داشتند و معتقد بودند که میزان سرب در هوا کمتر از حدی خواهد بود که بتواند تاثیری بر کسی داشته باشد. حتی یکی از نماینده های شرکت اتیل در کنفرانسی متشکل از جراحان آمریکایی، تترا اتیل سرب را «هدیه ای از سوی خداوند» خواند.

در جایی دیگر توماس میجلی در یک کنفرانس مطبوعاتی با خواستن مقداری تترااتیل سرب خالص و شستن دستهایش در آن، سعی کرد نشان دهد که کار کردن با این ماده برای کارگران زیانی ندارد. اما آنچه او امروز فراموش کرد بگوید این بود که در سال گذشته مرخصی طولانی گرفته بود تا مسمویتش که از سرب ناشی می شد را بهبود دهد. بالاخره پس از آنکه همه طرف های درگیر، دلایل و پیشنهادات خود را ارائه کردند و بخصوص هشدار دادند که بنزین سرب دار سلامت جامعه را بطور جدی به خطر خواهد انداخت، دولت آمریکا طرف شرکت «اتیل» را گرفت. اکنون دیگر تردیدی درباره آثار زیانبار سرب وجود ندارد. وجود سرب حتی به میزان بسیار کم سبب آسیب مغزی برگشت ناپذیر، مشکلات رشدی و ناهنجاریهای رفتاری در کودکان می شود. [۱]

فرآیندهای مختلف که برای اصلاح فرمول بنزین عرضه شده اند:

۱- ایزومریزاسیون C_6-C_5

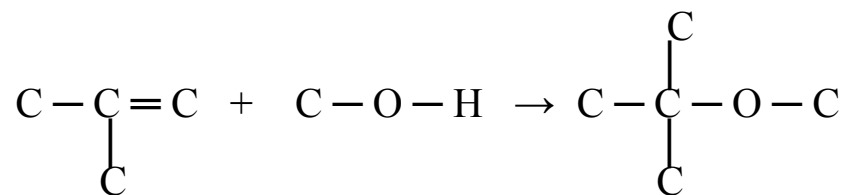
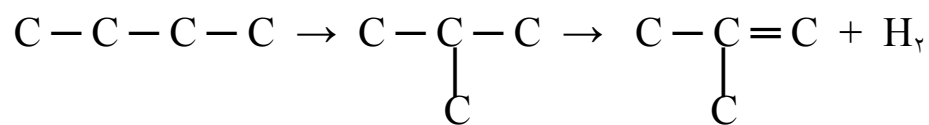
۲- دگر سازی^(۱)

۳- تولید MTBE (از گاز مایع بوتان)

۴- سایر روشها از جمله احداث واحدهای FCC^(۲)

۲-۱ روش تولید MTBE و اثر افزودن آن به بنزین

برای تولید متیل ترشری بوتیل اتر (MTBE)، خوراک واحد را که نرمال بوتان است در واحد ایزومریزاسیون به ایزوبوتان تبدیل می کنند. ایزوبوتان را در واحد دی هیدروژناسیون به ایزوبوتیلن تبدیل کرده و پس از واکنش با متانول، MTBE بدست می آید.



افزودن MTBE به بنزین سبب افزایش ۱۳ درصدی در عدد اکتان و افزایش ۱۱ درصدی در حجم بنزین می گردد.

همچنین ماده ی دیگری که سبب افزایش عدد اکتان بنزین می گردد ایزواکتان است. ایزواکتان توسط ایزوبوتان و در واحد آلکیلاسیون بدست می آید. آلکیلاسیون عبارت است از افزایش الفین های سبک به ایزوبوتان به منظور تولید هیدروکربنهای پرشاخه ای که در محدوده جوش بنزین قرار می گیرند. از ایزوبوتان و الفین های سبک به عنوان خوراک واحد آلکیلاسیون استفاده می شود. ایزوبوتان بیشتر از واحدهای هیدروکراکینگ کاتالیزوری بدست می آید ولی می توان آن را از واحدهای دگرسازی، تقطیر نفت خام و ایزومریزاسیون گاز طبیعی نیز تهیه کرد.

روش مناسب تر برای تولید ایزوبوتان، ایزومریزاسیون نرمال بوتان است.

۳-۱ فرآیند ها

به طور کلی دونوع از فرآیند ایزومریزاسیون کاتالیستی وجود دارد که برای تبدیل پارافین های نرمال به ملکولهای شاخه دار استفاده می شود. چندین فرآیند جداسازی با این فرآیندهای ایزومریزاسیون همراه می شوند که جهت بالا بردن عدد اکتان است. یک نوع از ایزومریزاسیون از یک کاتالیست خیلی فعال دردمای کم در محدوده ۲۰۰-۴۰۰ درجه فارنهایت استفاده می کند. فرآیند های این نوع ایزومریزاسیون توسط کمپانی های BP^(۱) و UOP^(۲) انجام می شوند. در انواع دیگر فرآیندهای ایزومریزاسیون، از یک کاتالیست زئولیتی با فعالیت کمتر استفاده می شود که حساسیت کمتری نسبت به ناخالصی ها دارد و حداکثر دردمایی در حدود ۵۰۰ ° F عمل می کنند.

ایزومریزاسیون دردمای کم از لحاظ ترمودینامیکی سودمند است زیرا تعادل در دمای کم برای ملکولهای شاخه دار (ترکیبات با اکتان بالا و ایزوبوتان) مناسب ترمی باشد. چون این واکنش ها اندکی گرمازا هستند و افزایش دما اثر نامساعدی بر آنها دارد و نیز دمای بالا باعث افزایش سرعت واکنش جنبی هیدروکراکینگ می شود و موجب کاهش محصول ایزومری می گردد.

بطور کلی فرآیندهای واکنش ایزومریزاسیون بوتان به ایزوبوتان در دو فاز بخار و مایع انجام می شود که عملیات همه این فرآیندها مشابه است.

به عنوان نمونه فرآیند شل^(۳) در فاز مایع در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

به علت اهمیت و گستردگی فرآیندهای BP, UOP مختصری راجع به این فرآیند ها بحث می کنیم.

۱-۳-۱ فرآیند BP

با توجه به گزارشات منتشر شده، در فرآیند BP یک کاتالیست پلاتین دار استفاده می شود. اطلاعات منتشر شده توسط BP شرایط عملیاتی ویژه ای را نشان می دهد. از دیدگاه تجهیزات، شرایط متوسط $300-400^{\circ}\text{F}$ و فشار $200-400\text{ Psi}$ هستند. یک شتاب دهنده کلریدی آلی (در حدود چند PPM) به خوراک اضافه می شود. کاتالیست پلاتین - آلومینا که کلردار شده است یک تبدیل نزدیک به تبدیل تعادلی، یعنی در حدود ۵۷٪ در هر گذر می دهد.

برای رسیدن به خصوصیات محصول خواسته شده جهت خوراک واحد آلکیلاسیون، از محصول تعادلی، ایزوبوتان جدا می شود و بوتان نرمال به رآکتور برگردانده می شود. ایزوبوتان موجود در خوراک تازه نیز قبل از تغذیه رآکتور جدا می شود. جزئی از CO به واسطه عدم خلوص خوراک به داخل سیستم وارد می شود و به عنوان یک محصول جانبی با تقطیر جزء به جزء دفع می شود. [۲]

۲-۳-۱ فرآیند UOP

گزارش های منتشر شده نشان می دهد که در فرآیند UOP از کاتالیست های پلاتین دار استفاده می شود. این کاتالیست ها، یک تبدیل نزدیک به تبدیل تعادلی با متوسط ۵۸٪ در هر گذر را در مراحل تجاری می دهد. شرایط عملیاتی گزارش نشده اند. اما با توجه به این

اطلاعات، دمای عملیاتی تجاری حدود $400^{\circ}F$ است. با توجه به نمودار جریان UOP که منتشر شده، فرآیند به طور اساسی شبیه به فرآیند BP است.

در یک پتنت یک سری از رآکتورها برای کنترل دمای میانی واکنش ادعا شده است. استفاده از دو رآکتور یک موضوع اقتصادی برای ذخیره کاتالیست است. (سرعت غیرفعال شدن کمتر است).

داده های عملیاتی تجاری برای ایزومریزاسیون بوتان دردمای کم در دسترس نیست. تنها تعداد کمی از مقالات به موازنه مواد اشاره می کند. در شکل (۱-۳) نمودار جریان نشان داده شده است. ترکیب کلرید آلی با عنوان HCl نشان داده شده است.

دونوع خوراک این فرآیند، جهت حذف گوگرد و سایر ناخالصی ها قبل از ورود به واحد ایزومریزاسیون، تصفیه شده است. برشهای بوتان از واحد تقطیر نفت خام و جریان رآکتور آلکیلاسیون که در C-۲۰۱ از ایزوبوتان جدا می شود. بوتان به دست آمده از واحد آلکیلاسیون شامل بوتان نرمال است که با خوراک الفینی وارد واحد آلکیلاسیون می شود. محصول تقطیر شده به مخازن جهت ذخیره سازی فرستاده می شود.

محصول پایینی ایزوبوتان زدا و بوتان به دست آمده از واحد آلکیلاسیون C_4^+ دارند که در C-۲۰۲ به عنوان محصول اضافی حذف می شود. C_4 می تواند به عنوان سوخت یا محصول بنزینی استفاده شود. محصول تقطیر در غربالهای ملکولی C-۱۰۱ و C-۱۰۲ خشک می شوند و خوراک مایع ایزومریزاسیون می شوند. این خوراک با مقدار کمی شتاب دهنده کاتالیست (کلرید آلی) و هیدروژن برگردانده شده، مخلوط می شوند. خوراک مخلوط توسط مبدل و با استفاده از جریان رآکتور در E-۱۰۱ و توسط گرمکن مشعل داری در H-۱۰۲ بخار می شود. خوراک از میان رآکتور R-۱۰۱ جریان می یابد و سپس به وسیله مبدل و چیلرهای E-۱۰۲ و E-۱۰۳ در مسیر آن به ظرف آبی (V-۱۰۱) سرد می شود.