

تجفيف الغاز الطبيعي باستخدام ثراي أثلين كلايكول

Natural Gas Dehydration with Tri Ethylene Glycol "TEG"

إعداد

المهندس رائد العبيدي - العراق

ملاحظات مهمة :

١. هذا الكتاب مجاني ١٠٠% ، ولا يجوز بيعه.
٢. يجوز لأي شخص أن يعيد توزيع أو نشر الكتاب بصورة غير ربحية.
٣. يجوز النقل والنسخ والأقتباس من الكتاب بشرط ذكر المصدر وهو موقع النفط والغاز الطبيعي العربي.
٤. لا يجوز إعادة نشر الكتاب باستبدال أسم المؤلف.

وأخيراً لا تنسونا في دعائكم.

Natural Gas Dehydration تجفيف الغاز الطبيعي

يحتوي الغاز الطبيعي الأتي من حقول الإنتاج إضافة إلى الغازات الحامضية كغاز H₂S و CO₂ على شوائب أخرى كالماء وتختلف كمية الماء في الغازات الهيدروكربونية تبعاً للضغط ودرجة الحرارة والماء إما أن يكون على شكل قطرات سائلة أو بخار ماء . ويكون الماء أكثر الشوائب غير المرغوب فيها في الغاز الطبيعي ، ويتم إزالة قسم من الماء (الماء الحر) من النفط والغاز عن طريق العازلات . **Separators**

إن الغاز الطبيعي المطلوب نقله إلى الأسواق بالأنابيب يجب أن تتوفر فيه شروط معينة من حيث احتوائه على الماء أو بخار الماء بحدود 6-8 باوند من الماء لكل مليون قدم مكعب قياسي من الغاز الطبيعي والغاية من وحدة تجفيف الغاز هي **لتخليص الغاز من الماء وتخفيض نقطة الندى** قبل إرساله بواسطة خطوط الأنابيب إلى **LPG plant** وذلك لتلافي الانجماد نتيجة لتكوّن سوائل تسمى **الهيدرات Hydrates** وهي عبارة عن مواد صلبة تشبه الثلج أو بلورات ناتجة عن اتحاد الغاز الطبيعي مع الماء في درجة حرارة أعلى من درجة انجماد الماء النقي . أن السبب الرئيسي لإزالة بخار الماء من الغاز الطبيعي هو أنه يتكثف عند انخفاض الحرارة و/ أو زيادة ضغط الغاز.

ومن العوامل التي تساعد على تكون هذه السوائل وانجمادها هي هبوط الضغط الفجائي وانخفاض درجة الحرارة ووجود الماء ضمن مكونات الغاز.

س: ما هو تجفيف الغاز الطبيعي؟

- إزالة الماء من الغاز الطبيعي من خلال **تخفيض درجة الندى**.

س: ما هي أضرار وجود الماء في الغاز الطبيعي؟

- لمنع تكوين الهيدرات حيث أنها تسبب حدوث انسدادات في الصمامات والتضيقات.
- لزيادة سعة الأنابيب حيث أن الماء يقلل من سعتها.
- لمنع تآكل الأنابيب حيث تسبب الأملاح الموجودة في الماء تآكل الأنابيب ونسبة التآكل يزداد بزيادة الضغط ودرجة الحرارة عند ظروف الإشباع.
- القيمة الحرارية للغاز الجاف أعلى من القيمة الحرارية للغاز الرطب.
- كبس الغاز الجاف يحتاج إلى قوة أقل من الغاز الرطب.

س: كيف يمكن التعبير عن وجود الماء في الغاز الطبيعي؟

- كمية (كتلة) محتوى الماء وتُقاس بوحدة (lb/MMscf).

- درجة حرارة الندى . **Dew Point**.

- التركيز الحجمي **Volume Concentration** ويُقاس بوحدة ppmv.

- التركيز الوزني **Volume Concentration** ويُقاس بوحدة ppmm.

حيث تستخدم القيم الثلاث الأولى مع الغازات ، في حين تستخدم القيمتان الثانية والرابعة مع السوائل ، ولكن الأكثر شيوعاً هو نقطة الندى

س: ما هي أشكال الماء في الغاز الطبيعي؟

- على شكل سائل (ماء حر).
- على شكل بخار (مذاب).
- علماً أن محتوى الماء هو دالة الضغط والحرارة والخواص الفيزيائية.

س: ما هي العوامل المؤثرة في تخفيض درجة الندى Dew Point Depression؟

- معدل تدوير الكلايكون.
 - تركيز الكلايكون غير المشبع. Lean Glycol.
 - عدد الصواني Trays في برج التلامس Contactor
 - درجة حرارة برج التلامس.
- وتكون نقطة الندى حساسة جداً لدرجة حرارة الغاز الداخل Inlet Gas Temperature، حيث يمكن تقليل نقطة الندى بشكل أكبر في درجات حرارة العالية للغاز .
- أما درجة حرارة الكلايكون فتتراوح بين (١٠-٥٧) درجة مئوية ، حيث يجب أن لا تزيد درجة حرارة الكلايكون عن ٥٧ درجة مئوية ، حيث تكون لزوجة الكلايكون أعلى في درجات الحرارة الواطئة ، أما في درجات الحرارة العالية فهذا يؤدي الى خسارة الكلايكون بسبب التبخر.

المواد المانعة لتكوين الهيدرات:

أن الهيدرات هي مواد صلبة مكونة من الماء مع أحد الغازات الهيدروكربونية شكله أقرب الى مظهر الثلج. أن الظروف المثالية لتكوين الهيدرات هي انخفاض درجة الحرارة وارتفاع الضغط.

إن الطريقة المثالية لحماية الأنابيب والأجهزة من الهيدرات المتكونة والتآكل هو بقاء هذه الأنابيب والأجهزة جافة وخالية من الماء، ومن الضروري إزالة الماء عندما تعمل الأجهزة بدرجات حرارة اقل من درجة تكون الهيدرات، وتضاف عدة مواد مانعة لتكوين الهيدرات ، وغالباً يضاف الميثانول أو احد أنواع الكلايكون كمادة مانعة لتكوين الهيدرات، ومن الممكن استرجاع كل المواد المضافة ماعدا الميثانول حيث لا تعتبر عملية الاسترجاع اقتصادية.

غالباً يضاف الميثانول عند أي درجة حرارة لكن داي اثلين كلايكون لا يمكن إضافته عندما تكون درجة الحرارة اقل من (-١٠ م°) بسبب لزوجته وصعوبة فصله عند وجود قطرات من النفط ، لذا يضاف عند درجات حرارة أعلى من (- ١٠ م°).

طرق تجفيف الغاز الطبيعي:

- أ. طريقة الامتصاص باستعمال مجففات سائلة مناسبة أهمها مادة الكلايكول الثنائي والثلاثي.
- ب. طريقة الامتصاص باستعمال المناخل الجزيئية **Molecular Seals** أو مجففات صلبة منها الألومينا المنشطة والسيليكاجيل البوكسايت والكربون المنشط.
- ت. التبريد.
- ث. الكبس ويتبعه التبريد.
- ج. العزل بدرجات حرارة واطنة.

أن أهم ما يميز عوامل التجفيف هو أنه يجب إعادة تنشيطها ، ومن مميزاتها الأخرى :

١. قابلية الأمتصاص : وهي أكبر كمية من الماء يمكن لهذا العامل أن يمتصها كنسبة وزنية. **weight percent**.
 ٢. القدرة على تقليل درجة الندى.
 ٣. القدرة على التجفيف وتقليل الرطوبة في الغاز.
 ٤. مدى درجة الحرارة **Temperature Range** وهو مدى درجة الحرارة التشغيلية التي يمكن خلالها استخدام هذا العامل بدون فقدان خواصه.
 ٥. عدد المرات التي يمكن فيها إعادة تنشيط المادة واستخدامها ثانية بدون أن تفقد خواصها.
- أن أغلب وحدات التجفيف تستخدم مواد التجفيف السائلة مثل **DEG** أو **TEG** وهي التي تجمع الاستخدام التشغيلي السهل ، وجانب الجدوى الاقتصادية. بالإضافة الى بعض العوامل الأخرى ، مثل:
- الدخول الفعال الحد الفاصل بين الغاز والسائل.
 - التعامل مع تراكيز مختلفة.
 - سهولة ضخها.
 - ملائمتها للظروف التشغيلية المختلفة.
 - كلفتها الواطئة مقارنة بغيرها من المواد.
 - سهولة إعادة تنشيطها في **ضغوط واطنة ودرجات حرارة عالية**.

أن سوائل التجفيف تكون بشكل عام ذات درجة غليان عالية وثابتة حرارياً ولا تفقد كفاءتها من كثرة الأستعمال.

الكلايكول: مادة نقية عديمة الرائحة سائلة حلوة المذاق تذوب في مدى واسع وبشكل تام في المذيبات القطبية مثل الماء والكحولات والأستون إلا أن ذوبانها قليل في المذيبات غير القطبية مثل البنزين ، التلوين ، داي كلورو إيثنان والكلوروفورم.

تعتبر طريقة التجفيف بطريقة الامتصاص باستعمال الكلايكول من أحسن الطرق وأكثرها شيوعاً واستعمالاً وبصورة خاصة للمركبات الغازية وكذلك عند عدم الحاجة إلى النزول بدرجة الندى إلى درجة واطنة جداً.

الكلايكول سائل له خواص امتصاص الماء بكميات كبيرة جداً وفقدانها بعد التسخين وبذلك يصبح صالحاً للاستعمال مرة

أخرى . أن جزيئات الماء متماسكة بشدة بسبب الأواصر الهيدروجينية ، كما أن مجاميع الأثيل والهيدروكسيل في الكلايكول تشكّل ترابطات شبيهة مع جزيئات الماء .

س : ما هي أسباب تفضيل استعمال الكلايكول لتجفيف الغازات من بخار الماء؟

هناك العديد من العوامل التي تجعل الكلايكول من أكثر المواد المُجففة رغبةً وهي:

- قابليته العالية لامتصاص بخار الماء.
- لا يتأثر بالحرارة العالية على أن لا يتجاوز ٢١٠ م° . كما أنه يتميز بثباته ضد التحلل الكيميائي.
- ضغطه البخاري واطئ.
- كلفته مناسبة.
- إمكانية استخدامه بشكل مستمر بسبب سهولة إعادة تنشيطه مما يقلل كلفته. حيث يمكن إعادة تنشيطه الى تركيز يصل الى % (89-99,95)

س : ما هي مركبات الكلايكول المستعملة في تجفيف الغاز؟

- الأثلين كلايكول (EG) ورمزه الكيميائي $C_2H_6O_2$

يستخدم الأثلين كلايكول في حالات خاصة بسبب صعوبة إعادة تركيزه واستخدامه ثانية بدون فقدان كميات كبيرة منه، لذا لا يمكن اعتباره كأحد المواد الممتصة والمستخدمة على نطاق واسع.

- داي أثلين كلايكول (DEG) ورمزه الكيميائي $C_4H_{10}O_3$

يستخدم على نطاق واسع وذلك لقلّة ذوبانه في السوائل الهيدروكاربونية ، يتراوح درجات الحرارة اللازمة لإعادة تنشيطها ما بين (171,1 - 157,2) منوية.

- تراي أثلين كلايكول TEG ورمزه الكيميائي $C_6H_{14}O_4$

يمتاز التراي اثلين كلايكول بدرجة انحلال عالية تصل الى 206 ° منوية تؤثر درجات الحرارة العالية على الكلايكول وتؤدي إلى تكوين حوامض مسببة للتآكل)، ويتأثر أيضاً بأمكانية إعادة تركيزه بدرجة عالية من النقاوة مع زيادة انخفاض في درجة الندى للغاز، تتراوح درجات الحرارة اللازمة لإعادة تنشيطها ما بين (204,4 – 190,6) منوية.

- تترا أثلين كلايكول (TREG) ورمزه الكيميائي $C_8H_{18}O_5$

يمتاز هذا المركب بدرجة تحلل أعلى من التراي اثلين كلايكول ويؤدي استعمال التترا اثلين كلايكول زيادة في انخفاض درجة الندى مايقارب ١٠ ° فنهايت أكثر من الدرجة التي يتم الحصول عليها باستعمال التراي اثلين كلايكول ومن مساوئه الكلفة العالية وصعوبة إعادة تركيزه بدرجات الحرارة العالية . تتراوح درجات الحرارة اللازمة لإعادة تنشيطه ما بين (221,1 – 207,2) منوية.

ولأجراء عملية التجفيف بالمواد السائلة يفضّل استخدام سائل Tri Ethylene Glycol والمسمّاة اختصاراً (TEG)

أن تخفيض درجة الندى Dew Point مرتبط بمجموعة من الأمور وهي: معدل تدوير الكلايكول - تركيز الكلايكول - عدد الصواني Number of Trays - درجة حرارة التماس بين الكلايكول والغاز. ولعل أهم عامل يؤثر على نقطة الندى هو

درجة حرارة الغاز الداخل حيث أن نقطة الندى تنخفض بشكل كبير بزيادة درجة حرارة الغاز ، كما أنها تزيد بتقليل درجة حرارة الغاز .ويجب أن لا تزيد درجة حرارة الكلايكون عن 57°م. أما بالنسبة لتأثير الضغط فهو محدود جداً ، ولكن بشكل عام تزيد كفاءة التجفيف كلما قل الضغط. كما أن درجة حرارة الكلايكون إذا قلت عن 21 درجة مئوية فإن الكلايكون يصبح لزجاً .

الخصائص الفيزيائية لأنواع الكلايكون

الخاصية الفيزيائية	الوحدة	DEG	TEG
التركيب الكيميائي Formula		C4H10O3	C6H14O4
الوزن الجزيئي Molecular Weight		106	150
الكثافة في 20/20 °C	kg/lt	1,1184	1,1254
الكثافة في 25/25 °C	kg/lt	1,1160	1,1220
درجة الغليان Boiling Point في الضغط الجوي	°C	245	287
درجة التفكك Decomposition Point	°C	164	206
درجة الأنجماد Freezing Point	°C	- 9	- 6
اللزوجة النوعية Specific Viscosity في 0 °C	Centipoise	127	155
اللزوجة النوعية Specific Viscosity في 25 °C	Centipoise	29	34
الحرارة النوعية Specific Heat في 25 °C	Kcal/kg.°C	0,550	0,540
الحرارة النوعية Specific Heat في 100 °C	Kcal/kg.°C	0,610	0,615
الحرارة النوعية Specific Heat في 180 °C	Kcal/kg.°C	0,680	0,695
حرارة التبخير Evaporation Heat في الضغط الجوي	Kcal/kg.°C	83,3	99,5
نقطة الوميض Flash Point	°C	135	154
الشد السطحي Surface Tension	dine/cm2	44	45

وكما يتضح من الجدول ، فإنه عند تنشيط DEG يجب أن لا تتجاوز درجة الحرارة عن 164 °C لأنها درجة تفككه للوصول الى تركيز 96% أو أعلى ، في حين عند تنشيط TEG فيجب أن لا تتجاوز درجة الحرارة عن 204°C وهي درجة تفككه للوصول الى تركيز يصل الى 98.9% .

س : ما هي محاسن ومساويء استخدام TEG و DEG؟

ج :

■ محاسن DEG:

1. مستقر مع H₂O و CO₂ في درجات الحرارة التشغيلية الاعتيادية.
2. يمتص للرطوبة بشكل كبير.
3. أقل كلفة من TEG.

■ مساويء DEG:

1. ذوبانه جزئياً في الهيدروكربونات السائلة.
2. عند إعادة تنشيطه لا يزيد تركيزه عن 95% وزناً تحت الضغط الجوي.

■ محاسن TEG:

1. مستقر مع H₂O و CO₂ في درجات الحرارة التشغيلية الاعتيادية.
2. يمتص للرطوبة بشكل كبير.
3. يصل تركيزه الى أكثر من 97% .

■ مساويء TEG:

1. أعلى من DEG .
2. قد يتسبب بتكوين الرغوة. مما قد يستوجب حقن المواد المانعة للرغوة.

العوامل المؤثرة على عملية التجفيف:

1. مكونات الغاز.
2. درجة الحرارة التشغيلية والضغط التشغيلي.
3. كفاءة التلامس بين الغاز والكلايكل للطور الغازي.
4. حرارة ولزوجة الطور السائل.
5. تركيز الماء في الكلايكل النشط.

وصف عملية التجفيف:

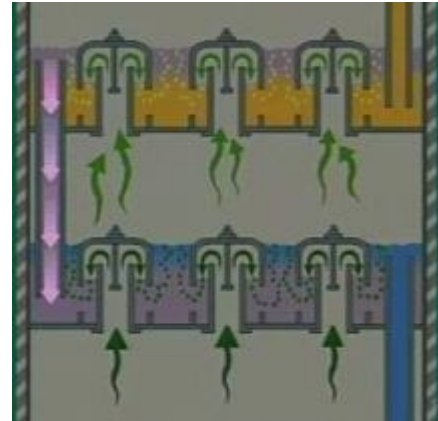
تتألف وحدة التجفيف عادةً من قسمين : برج التلامس **Contactor** - وحدة إعادة تنشيط الكلايكول **Glycol** **Regeneration Unit**، القسم الأول يخص الغاز ، أما القسم الثاني فيخصص الكلايكول حيث أن عملية تجفيف الغاز تتم في برج التلامس ويخرج الغاز منه خالياً من الرطوبة الى حد كبير ، أما وحدة تنشيط الكلايكول فيتم فيها تخلص الكلايكول من الرطوبة من خلال تسخينه حيث يرجع الى حوالي 99% من تركيزه الأصلي.

يضخ الكلايكول من خزان الكلايكول بواسطة المضخات الى أعلى برج التلامس في حين يدخل الغاز الرطب من أسفل برج التلامس **Contactor**، ويحتوي برج التلامس عادةً على صواني **Trays** يحتوي كل منها على تراكيب تسمى **Bubble Caps** تكون بهذا الشكل □ تقريباً يحصل فيها التلامس بين الكلايكول والغاز الرطب حيث أن الغاز يكون فقاعات داخل الكلايكول تتسرب الى الأعلى ليخرج الى الصينية التالية الأعلى ، في حين يتراكم الكلايكول الى ممر جانبي يسمى **Downcomer** لينزل الى الصينية التي بالأسفل كما هو موضح بالشكل . وهناك بعض التصميمات الحديثة لأبراج التلامس تكون فيها المسافة بين آخر صينية ومستخلص الرذاذ **Mist Extractor** كبيرة لتقليل خسارة الكلايكول والحصول على فصل أكبر بين الكلايكول والغاز. كما أن بعض التصميمات الحديثة تستخدم أبراج الحشوة **Packing** للحصول على مساحة سطحية أكبر للتلامس بين الغاز الرطب والكلايكول.

يجب أن لا يزيد فرق الحرارة بين الكلايكول الداخل من أعلى برج التلامس والغاز الرطب الداخل من أسفل برج التلامس عن (5 درجة مئوية) . لذلك يتم تبريد الكلايكول بواسطة وحدة تبريد هوائية **fin fan air cooler** قبل دخوله الى برج التلامس لضمان هذا الفرق في الحرارة.

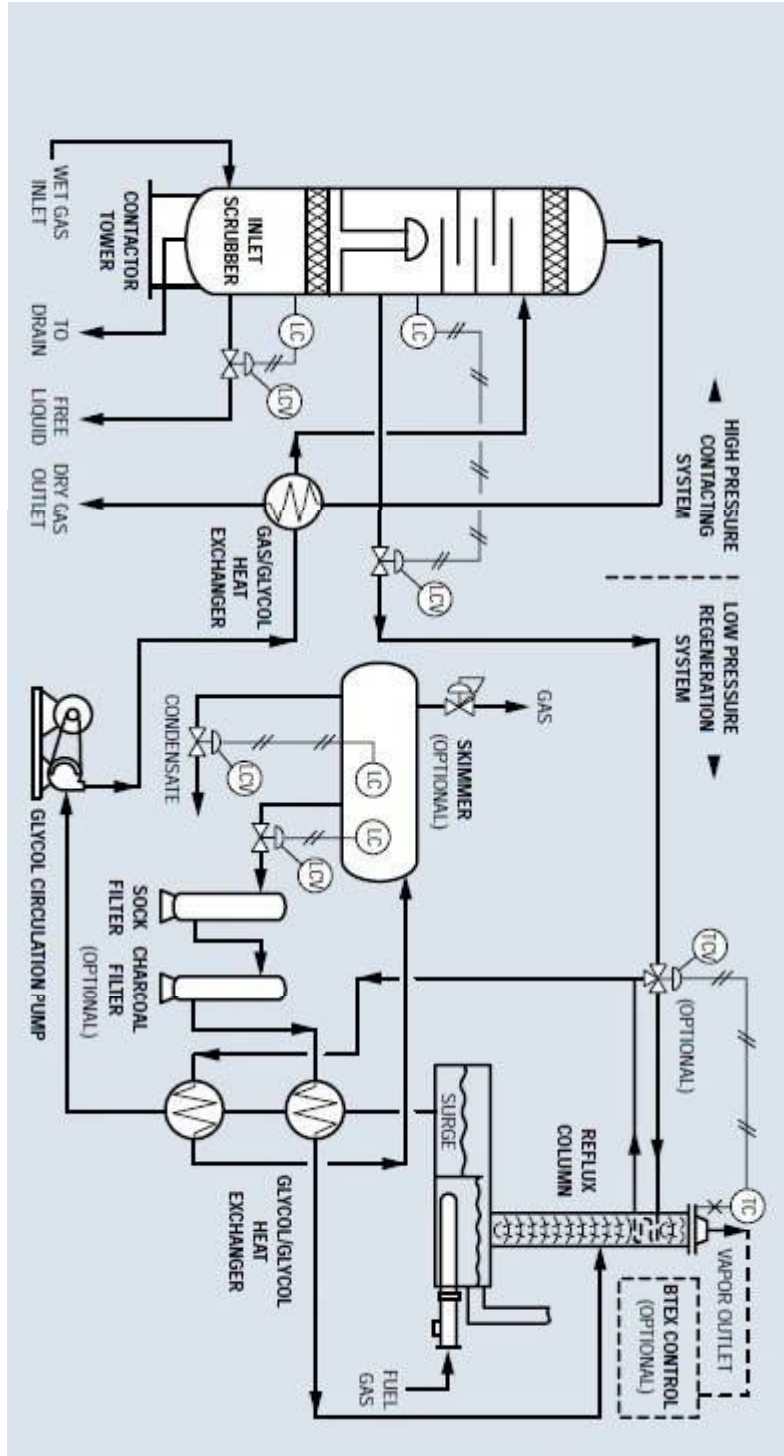


Bubble Cap



يخرج الكلايكول الرطب من برج التلامس حيث يتم التحكم بمستوى الكلايكول في برج التلامس بواسطة مسيطر مستوى **Controller Level** يذهب بعدها الكلايكول المشبع **Rich Glycol** الى عازلة أفقية تسمى **Flash Separator** أو **Flash Tank** الغاية منها التخلص من المكثفات الموجودة فيه ، مع أستعمال غاز الوقود لنزع غاز **H2S** منه ، يذهب بعدها الكلايكول الى المرشحات وهي على نوعين : الأول **Wet Glycol Filter** لتخليص الكلايكول من المواد الصلبة ، أما الثاني فهو **Carbon Filter** والذي يقوم بتخليص الكلايكول من السوائل الهيدروكربونية أو كبريتيد الحديد . يدخل بعدها الى مبادل حراري لتسخين الكلايكول بشكل أولي قبل دخوله الى المسخنة **Reboiler** حيث يتم تسخينه في المسخنة الى درجة تتراوح بين (195-200) مئوية ليتم تخليصه من الماء ، مع وجوب المحافظة على درجة حرارة الكلايكول أقل من 204 مئوية (لضمان عدم تحلل الكلايكول) ، في حين يخرج الماء منه على شكل بخار ماء من أعلى المسخنة بواسطة أنبوب يُسمى **Vent Stack** ، وتقوم بعض التصميمات على طريقة إضافية لتقليل فقدان الكلايكول من خلال أمرار الكلايكول في **Coil** داخل **Vent Stack** لتسخينه.

يرجع الكلايكول بعد تنشيطه الى خزان الكلايكول **Glycol Tank** والذي يسمى أحياناً بـ **Surge Tank** ومنه يضخ بواسطة مضخات الكلايكول والتي تكون عادةً من نوع **Positive Displacement Pump PDP** ليتم ضخه الى برج التلامس مرة ثانية .. وهكذا تستمر دورة الكلايكول . والمخطط التالي هو لوحدة تجفيف مثالية.



تعتمد كفاءة برج التلامس على:

١. معدل تدفق الغاز inlet gas flow

٢. حرارة وضغط وتركيز الكلايكلول الداخل.

٣. معدل تدفق الكلايكلول glycol flow

أن الغاز الداخل الى برج التلامس قد يكون مشبعاً ببخار الماء ، في حين أن كمية الماء الذي يتم امتصاصه تزيد بزيادة تركيز الكلايكلول ، وتقليل درجة حرارة الكلايكلول ، ومعدلات التدفق العالية وزيادة عدد صواني برج التلامس.

المواصفات المثالية للكلايكلول:

المواصفات	الكلايكلول المشبع Rich glycol	الكلايكلول النشط lean glycol
الدالة الحامضية PH	7.0-8.6	7.0-8.6
نسبة الكلوريدات mg/L	>600	>600
الهيدروكربونات %	> 0.3	> 0.3
الماء wt%	3.5-7.5	>1.5

أن الدالة الحامضية تكون أقل بالنسبة للكلايكلول المشبع نظراً لأحتوائه على الغاز الحامضي ، أما محتوى الهيدروكربونات والمعادن والكلوريدات فيعتمد على كفاءة المرشحات المستخدمة في وحدة التجفيف . ويكون فرق محتوى الماء بين الكلايكلول المشبع والنشط بين (2 % - 0.6)

س : ما هي المعلومات التي تحتاج إليها لتصميم وحدة تجفيف؟

- معدل تدفق الغاز ، وضغطه ، ودرجة حرارته.
- درجة الندى Dew Point المطلوبة أو محتوى الماء المطلوب في الغاز الخارج.
- تحاليل الغاز الداخل ، ومحتوى الغاز الحامضي.

س : ما هي كمية غاز النزع المطلوبة Stripping Gas؟

ج : تتباين هذه الكمية وفقاً لنقطة الندى المطلوبة ، ويستخدم بواقع نصف قدم مكعب قياسي لكل غالون من الكلايكلول.

مضخات الكلايكلول:

يجب أن تكون مضخات الكلايكلول من نوع المضخات الترددية Reciprocating Pumps بسبب الحاجة الى ضغط دفع عال High disch. Pressure وتدفق قليل نسبياً relatively low flowrate وذلك لضخ الكلايكلول من خزان الكلايكلول Glycol Surge Tank الى أعلى برج التلامس ، ويجب وجود مضختين في الوحدة أحدهما عاملة ومضخة احتياط Stand-By يتم تدويرها بواسطة محرك كهربائي مع إمكانية تغيير معدل التدفق.

أبراج التلامس المستعملة في العملية :

يتم إزالة بخار الماء بأستعمال طرق تجفيف الغاز الطبيعي ، حيث يُمكن لهذا البخار أن يتكثف من خلال الكبس والتبريد ، وقد ذكرنا سابقاً أن عملية التجفيف تعتمد بشكل أساسي على برج التلامس **Contactor** الذي يحصل فيه التلامس بين الغاز الرطب والكلايكول الذي يعمل على أمتصاص الرطوبة منه ، وسنحاول في هذا الجزء توضيح مكونات هذا البرج.

أن وجود هذا البرج مهم للغاية في عملية التجفيف لأن عملية أنتقال المادة **Mass Transfer** تحصل فيه ، يتضمن التصميم التقليدي لبرج التلامس وجود بعض التراكيب الداخلية **Internals** مثل:

-تركيب الدخول **Vane Inlet Device VID** والغرض منها توزيع الغاز.
-جزء تجميع السائل **liquid collection tray**.

-الصواني **Trays** أو الحشوة **Packing** لضمان حصول انتقال المادة.
-أجزاء أخرى مثل مستخلص الرذاذ والذي يقلل من فقدان الكلايكول.

أن الغاية من **تركيب الدخول** هو توزيع الغاز الداخل وتقليل عزم الدخول **feed momentum**، وعزل السوائل (إن وجدت) ، بالإضافة الى توزيع الغاز خلال مقطع البرج. كما أن لهذا التركيب دوراً مهماً في تقليل ارتفاع البرج.

أما **جزء تجميع السائل liquid collection tray** فتكون الغاية منه تجميع السوائل أسفل البرج ثم تصريفها منه كنتاج غير مرغوب فيه ، حيث يتم التحكم بمستواها عن طريق مسيطر مستوى **level controller** لتذهب الى حفرة الحرق.

أن **الصواني المزوّدة بالتراكيب المقلوبة Bubble Cap Trays** فتستخدم بشكل واسع في هذا النوع من الأبراج ، لفاعليتها في معدلات التدفق المختلفة ، كما أنها مناسبة

للسوائل اللزجة. وتستعمل أغلب أبراج التلامس (4-12) صواني وبمسافة 24 عقدة بين الواحدة والأخرى. وتكون المسافة بين الصواني 0.6-0.8 m في حالة كون سرعة الغاز 0.3 - 0.2 م/ثا .

يعتمد عدد الصواني على: (١) درجة الحرارة التشغيلية (٢) معدل تدفق الكلايكول (٣) نقطة الندى المطلوبة.

كما أن هناك حاجة لوجود **تركيب ميكانيكي لتوزيع الكلايكول** ، وذلك للتعامل مع تقلبات تدفق الكلايكول ، كما أن وجوده سيمنع أصدّام الكلايكول القادم بسرعة عالية بالصواني أو الحشوة حيث أنه يؤدي الى تضرر الصواني وتراكيب **Bubble Caps** و الى تضرر الحشوة وتراكمها في جهة واحدة بسبب تركّز ضغط سائل الكلايكول على الجهة الأخرى. ويعتمد تصميم هذا التركيب على معدل تدفق الكلايكول ، وقطر البرج.

أما **مستخلص الرذاذ** فيجب أن يكون على مسافة مناسبة من خط خروج الغاز **Gas Outlet** لا تقل عن ٣ قدم. ويعمل على أستخلاص الكلايكول من الغاز في حالة خروجه مع الغاز أي حصول **Carry over** .

استعمال الحشوات النظامية Structured Packing

أن التوجه السائد الآن هو استعمال الحشوات بدلاً من الصواني ، وخاصةً لدرجات الندى الواطئة ، وقد أدى هذا الأمر الى إعادة اختبار تصاميم أبراج التلامس للحصول على المزيد من التجفيف بكلفة أقل ، أن لهذا النوع من الأبراج العديد من الميزات فهي تتعامل كميات أكبر ، مع فرق الضغط قليل ، وأرتفاع أقل للبرج إذا قورنت بالبرج ذو الصواني . ويمكن تلخيص الفروق بين النوعين في النقاط التالية:

- أن السرعة التصميمية للغاز في أبراج الحشوات هي ضعف السرعة في أبراج الصواني ، مما يعطيها سعة أكبر.
 - فقدان الكلايكل أقل في الأبراج ذات الحشوات.
 - أن أبراج الحشوة أقل كلفةً من أبراج الصواني.
- كما يجب الأخذ بنظر الاعتبار وضع تركيب توزيع الكلايكل ، ومستخلص رذاذ ذات كفاءة عالية.

أن وجود الهيدروكربونات السائلة في الغاز يؤدي الى آثار سلبية وخاصة في الأبراج ذات الصواني لأنها تسبب الرغوة foam مما يسبب تقليل كفاءة برج التلامس ، وهذه الحالة تستوجب وجود عازلة flash separator لإزالة كل هذه الهيدروكربونات السائلة ، كما يتوجب التخلص من أكبر قدر ممكن من هذه السوائل قبل دخول الغاز الى وحدة التجفيف .

برج التلامس:

ما هي أسباب عدم حصول التجفيف الكافي؟

- محتوى الماء العالي في الكلايكون المشبع Lean Glycol
- معدل التدوير عالي أو واطيء. حيث أن معدل التدوير العالي يؤدي الى عدم حصول التبريد بالشكل الكافي ، وبالتالي ارتفاع درجة حرارة الكلايكون وقلة قابليته على امتصاص الماء. كما أن معدل التدوير العالي يؤدي الى تقليل زمن التلامس.
- أما معدل التدوير الواطيء فيؤدي الى عدم كفايته في إزالة الماء.
- ارتفاع درجة حرارة الغاز الداخل High Inlet Gas temperature. لأن الماء يفضل الطور الغازي.
- قلة ضغط برج التلامس Absorber Pressure .

حصول الرغوة Foaming

- زيادة سرعة الغاز (لسبب ميكانيكي) .
- وجود الشوائب (لأسباب كيميائية) وهذه الشوائب تتمثل في الشوائب الصلبة ، مانع التآكل Corrosion Inhibitor، المواد الكيميائية المستعملة في حفر الآبار. ويمكن حل هذه المشكلة بنصب (مرشحة كاربون منشط Activated Carbon filter) لأزالة أية مواد تسبب الرغوة. Foaming materials.

الفقدان في الهيدروكاربونات Hydrocarbon Losses

المسبب الرئيسي لهذا الفقدان هو الخواص الفيزيائية للمذيب. ويمكن معالجته باستخدام مكثف أو عازلة بعد برج التلامس.

مشاكل خزان الحفظ Glycol Surge Tank

أن أغلب مشاكل خزان الحفظ هي مشاكل المستوى ، حيث أن المستوى العالي يؤدي الى زيادة التدفق وبالتالي زيادة معدل التدوير. كما أن المستوى الواطيء يؤدي الى تقليل معدل التدوير.

مشاكل المبادل الحراري Heat Exchanger

- التآكل.
- تضرر المبادل.

مشاكل المضخات Glycol Pump

- التنقر Pitting، السبب الرئيسي هو وجود الشوائب الصلبة ويمكن معالجة هذه المسألة بنصب مصفاة Strainer في خط السحب للمضخة Pump Suction.

تقليل انبعاثات وحدة التجفيف Reducing Dehydration Emissions

أن الغاية الأساسية من عملية التجفيف كما ذكرنا مسبقاً هي إزالة الرطوبة من الغاز الطبيعي لمنع التآكل وتكون الهيدرات Hydrates في الأنابيب. وقلنا أن العملية الأكثر شيوعاً هي عملية التجفيف باستخدام TEG، حيث يحصل تماس بين مادة تراي أثيلين كلايكول والغاز الطبيعي الرطب.

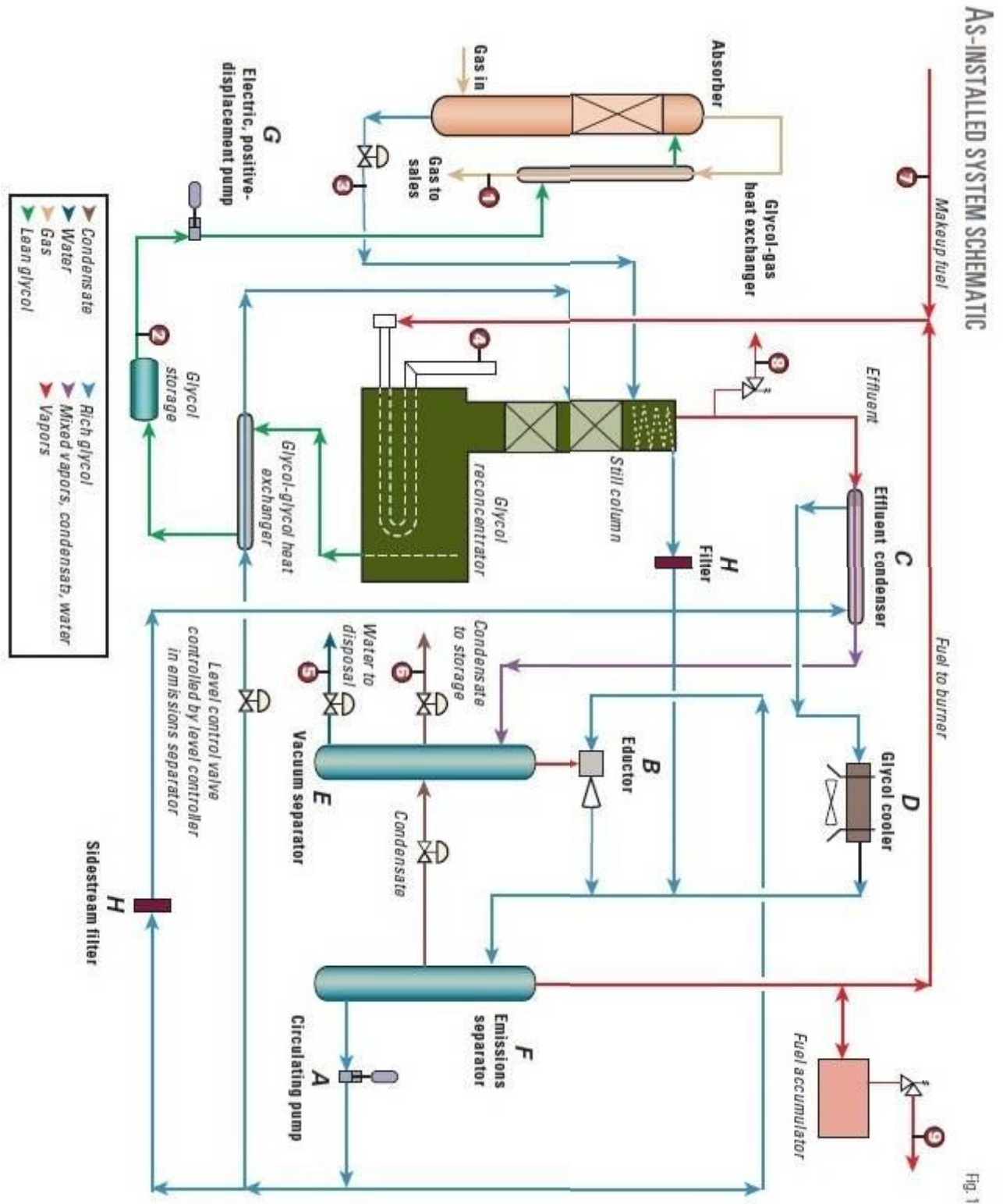
أن الكلايكول لا يمتص الرطوبة فقط ، بل سيمتص معه الميثان CH4 وغيره من المركبات العضوية الطيارة Volatile Organic Compounds VOCs وغيرها من ملوثات الهواء الخطرة HAPs Hazardous Air Pollutants والموجودة في الغاز الطبيعي.

فقد ذكرت دراسة أعدتها وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA، أن هناك ما يزيد عن 38 ألف وحدة تجفيف بالكلايكول في الولايات المتحدة في عام ٢٠٠١ ، مما يؤدي الى انبعاث حوالي 18.6 مليار قدم مكعب من الميثان سنوياً الى الهواء الجوي. وتحتل صناعة الغاز الطبيعي المركز الثالث في مصادر انبعاث الميثان بنسبة 17% فيما تشكل انبعاثات VOC و HAP من وحدات التجفيف 85% و 81% على التوالي من مجموع الانبعاثات السنوية الناتجة من إنتاج الغاز الطبيعي. وعلى ضوء هذه الأرقام فقد وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية EPA معايير لأقصى تقنيات السيطرة MACT والتي أجبرت مستعملي وحدات التجفيف بالكلايكول على تقليل انبعاثات HAP من هذه الوحدات بنسبة 95% . وبموجب معايير MACT فإن على مستخدمي وحدات التجفيف بالكلايكول نصب معدات سيطرة لتقليل الملوثات الناجمة عنها. فقد تم تطوير وحدات جديدة تتطابق مع هذه المعايير ، حيث تقوم هذه الوحدات بتقليل انبعاثات HAP وغاز الميثان ، وتتلخص هذه الطريقة بجمع الأبخرة الهيدروكاربونية المنبعثة من وحدة التجفيف من Vent Stack ومن ثم تكثيفها لتكوين مركب هيدروكاربوني مفيد ، وبعض الماء ، كما يتم الاستفادة من الأبخرة المتبقية كمصدر للوقود لنفس الوحدة. أن التقنية الجديدة تستخدم مبدأ تكثيف السائل ، وفصل الأطوار ، في حين لا يحتاج الماء الى معالجة ، وتقليل تلوث الهواء الى الحد الأقصى ، ويختلف التصميم الجديد بنصب مضخة جديدة تقلل انبعاث الميثان ، ونصب وحدة لمعالجة انبعاثات Vent Stack ، مع تصميم جديد للمسخنة Reboiler يقلل أستهلاك الغاز وانبعاثاته. وعازلة ثلاثية الطور Three-Phase Separator ووحدة لتبريد الكلايكول ويتجسد التعديل الرئيسي في هذا التصميم في وضع منظومة سيطرة على برج Vent Stack حيث يتم تجميع الهيدروكاربونات ومركبات HAPs في ضغط فراغي Vacuum وتكثيفها.

وقد حققت هذه الطريقة نجاحاً كبيراً حيث تم تقليل انبعاثات HAP الى حوالي 99.74% ولقد قللت هذه الطريقة من انبعاثات BTEX الى حد كبير وهي (Benzene - Toluene - Ethyl benzene - Xylene). لقد تم تجربة هذه التقنية في وحدة تجفيف تعالج ٢٦ مليون قدم مكعب قياسي باليوم شمال غرب برغتون في ولاية

كولورادو ، وقد كانت الرطوبة الزائدة الخارجة من برج Vent Stack تسبب مشاكل مستمرة قبل تطبيق هذه التقنية ، كما أن التحاليل للغازات المنبعثة من برج Vent Stack كانت عبارة عن: اول وثاني اوكسيد الكربون - الهيدروكربونات - مركبات BTEX - مركبات HAPs بالاضافة الى الهيكسان .

مخطط الوحدة المحورة لتجفيف الغاز بالكلايكلول لتقليل الانبعاثات الخطرة



وقد أستخدمت وكالة البيئة الأمريكية تعريفاً جديداً وهو كفاءة كسر ملوثات الهواء الخطرة **HAPs destruction efficiency** وهو عبارة عن كمية الملوثات **HAPs** الداخلة الى المنظومة منقوصاً منها كمية الملوثات **HAPs** الخارجة من المنظومة مقسوماً على كمية الملوثات **HAPs** الداخلة الى المنظومة. وقد كانت أغلب هذه الملوثات منبعثة عن الماء المنتج والتسربات **Leaks** (أن وجدت) والغازات المنبعثة من المسخنة **Reboiler**، حيث أن عمود حرق الغازات **burner stack** قد يحتوي على بعض الملوثات غير المحترقة مما يؤدي الى أنبعاثها الى الهواء الجوي ، أما الملوثات الذائبة في الماء فأنها تنبعث منه عند تصريفه.

لقد أستمرت تجربة هذا النموذج لمدة ٧ ايام للحصول على المعلومات المطلوبة وتقييم التصميم الجديد ، والتأكد من أن الوحدة تعمل بشكل جيد. وقد تم قياس نسبة الملوثات والميثان بواسطة الكروماتوغرافيك **Chromatographic** كل 15 دقيقة ، حيث كان معدل الأنبعاث أقل من **0.0016 lb/hr** كما أن نسبة الرطوبة في الغاز الجاف الخارج كانت أقل من **7 lb/MMscf** أي أقل من 7 باوندات لكل مليون قدم مكعب قياسي وهو ضمن المواصفات القياسية للغاز الطبيعي المصدر ، في حين كانت كمية الغاز المعالج بهذه الوحدة تتراوح بين **29.3 - 26.8** مليون قدم مكعب قياسي .

لقد لوحظ أن هذه المنظومة قامت بحرق كل الهيدروكربونات غير المتكثفة بدون تصريفها الى الهواء الجوي كما استعملت بعض هذا الغاز في المنظومة. وقد تراوح معدل تدوير الكلايكل **3.0 - 3.77 gpm** في حين كانت نسب اوكسيدات النتروجين **NOx** وأول اوكسيد الكربون وثاني اوكسيد الكربون وملوثات الهواء الخطرة **HAPs** المنبعثة من عمود حرق الغازات في المسخنة كالاتي **0.0003 - 111 - 0.0005 - 0.0817** :باوند/ ساعة على التوالي أما أنبعاثاتها من الوحدة فقد كانت **غير محسوسة** ، أما كفاءة كسر الملوثات الخطرة **HAPs destruction efficiency** أكثر من **99.74%**.

تقليل أنبعاثات البنزين Benzene Emissions Reduction

قامت الجمعية الكندية لمنتجي النفط **Canadian Association of Petroleum Producers** بتشكيل مجموعة للعمل على أنبعاثات البنزين من وحدات التجفيف بالكلايكل وإعداد دراسة بهذا الخصوص ، وقد كان الغرض منها إيجاد طريقة فعالة للسيطرة على الأنبعاثات من وحدة التجفيف وخاصة أنبعاثات البنزين وزيادة الوعي بمخاطرها على صحة الإنسان وكيفية تقليل المخاطر الناجمة عن التعرض لهذه الأنبعاثات ، ومن ثم تبني طرق فاعلة للسيطرة على هذه الأنبعاثات. في الجدول التالي بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للبنزين **Benzene**

الملاحظات	القيمة	الخاصية
		مركب أروماتي حلقي بسيط
أعلى من الماء	5 °	Freezing Point درجة الأنجماد
أقل من الماء	80 °	Boiling Point درجة الغليان
أن البنزين السائل يطوف فوق الماء	0.8 g/mL @ 20 °	Density الكثافة
ميل شديد للتبخر الى الهواء	10 KPa @ 25 °	Vapour Pressure الضغط البخاري
يستخدم بحذر	شديدة	القابلية على الاشتعال

أن البنزين يكون موجوداً بشكل طبيعي في الغاز ، ويتم امتصاصه مع مجموعة من الهيدروكربونات بواسطة الكلايكل في برج التلامس لينبعث بعدها من أعلى برج **Vent Stack** ويعتمد معدل الامتصاص على معدل تدفق الكلايكل. وتحاول أغلب الشركات تحسين أداء وحدة التجفيف ولكن هذا قد يؤدي الى زيادة انبعاثات البنزين ، بسبب زيادة نسبة تدوير

الكلايكل أو زيادة استخدام غاز النزح . **Stripping Gas**

أن أهم العوامل المؤثرة على انبعاث البنزين هي:

- نسبة وجود البنزين في الغاز الطبيعي الداخل : حيث يكون موجود في بعض الأحيان (وليس في جميع الأحيان) في الغاز الطبيعي وتعتمد كمية البنزين الذي يتم

امتصاصه من الغاز الطبيعي على تركيز البنزين في الغاز الطبيعي الداخل.

- معدل تدوير الكلايكل : **Glycol Circulation Rate** حيث تكون كمية البنزين الذي يتم امتصاصه متناسبة مع معدل تدوير الكلايكل.

- درجة حرارة برج الامتصاص : **Absorber Temperature** أن درجة حرارة برج الامتصاص تتأثر بشكل كبير بدرجة حرارة الكلايكل الداخل ، حيث أن زيادة درجة الحرارة تؤدي الى زيادة نسبة بخار الماء وزيادة تطاير البنزين مما يؤدي الى تقليل كفاءة امتصاص البنزين في الكلايكل.

- ضغط برج الامتصاص **Absorber Pressure** ويتم تحديدها بواسطة ضغط الغاز الداخل ، وبزيادة ضغط برج الامتصاص تزيد كمية البنزين الذي يمتصه الكلايكل.

- معدل تدفق الغاز **Gas flow rate** تتأثر كمية البنزين الذي يتم امتصاصه بواسطة الكلايكل بمعدل تدفق الغاز ، ولكن هذا العامل ليس له نفس تأثير العوامل التي تم ذكرها.

كيفية تقليل انبعاثات البنزين :

أن طريقة التفكير الهندسي الاستباقي في تصميم وحدات التجفيف هو الشيء الأكثر تأثيراً في تقليل انبعاثات البنزين ، حيث يجب أخذ الأمور التالية بنظر الاعتبار عند التصميم:

- معدل تدوير الكلايكل ، وتركيزه ونقاوته.

- درجة حرارة برج الامتصاص.

- وجود وحدات سيطرة على الانبعاثات.

الخطوات العملية لتقليل انبعاثات البنزين :

١. **معدل تدوير الكلايكون** : وهو من أكثر العوامل تأثيراً على كمية البنزين التي تم امتصاصها ، لذا يجب الحفاظ على معدل تدوير الكلايكون يضمن تجفيفاً جيداً ولا يزيد عن المعدلات المطلوبة كي لا تزيد كمية البنزين الذي يتم امتصاصه. أو بأختصار استخدام الحد الأدنى المقبول.
٢. **درجة حرارة برج الأمتصاص** : حيث يزيد أمتصاص البنزين في الضغوط العالية لبرج الأمتصاص ودرجات الحرارة الواطنة لنفس البرج ، لذا يتوجب ضبط ضغط برج التلامس لتقليل انبعاثات البنزين بالشكل الذي يضمن استمرار عملية التجفيف وتقليل انبعاثات البنزين الى الحد الأدنى.
- أما درجة حرارة برج الأمتصاص ضبطها من خلال السيطرة على درجة حرارة الكلايكون المشبع (في المبادل الحراري على سبيل المثال) أو من خلال ضبط درجة حرارة الغاز الداخل اليه من خلال نصب وحدات لتسخين الغاز قبل التجفيف (ملاحظة: في محطات الكبس لن تكون هناك حاجة الى تسخين الغاز حيث أنه يكون بدرجة حرارة عالية بعد خروجه من الكابسة).
٣. **عدد صواني برج الأمتصاص : Absorber Trays** حيث يزيد أمتصاص البنزين بزيادة عدد الصواني في برج الأمتصاص أو ارتفاع الحشوة (في أبراج الأمتصاص ذات الحشوة Packing Absorbers).
٤. **درجة حرارة المسخنة : Reboiler Temperature** أن الغاية الأساسية من المسخنة هو لزيادة كفاءة الأمتصاص. أن درجة الحرارة المثالية للمسخنة هي ما يساعد على زيادة تركيز الكلايكون ، أن التغييرات في درجة حرارة المسخنة (صعوداً أو نزولاً) عن درجة الحرارة المثالية قد يجعل من عملية التجفيف عملية غير كفوءة ، حيث أن درجات الحرارة الأعلى يؤدي الى تجفيف كاف لكنه قد يؤدي الى فقدان الكلايكون ، وزيادة في أستهلاك غاز الوقود .
أما عندما تكون درجات الحرارة أوطأ من درجة الحرارة المثالية فذلك سيؤدي الى قلة كفاءة عملية أمتصاص الماء وقد يدفع المشغل الى زيادة معدل تدوير الكلايكون.
٥. **غاز النزع Stripping Gas** : وهو عبارة عن غاز ووقود جاف يتم حقنه في جزء النزع من المسخنة ، وذلك لإعادة تنشيط الكلايكون عالي التركيز ، ويجب أن تكون معدلات مناسبة لهذا الغاز لأن الكميات الزائدة منه سوف تذهب الى الجو على أية حال. لذا فالدراسة توصي بتقليل غاز النزع الى الحد الأدنى.
٦. **خزان Flash Tank** : والغاية منه إزالة الغاز الذائب من الكلايكون المشبع وتحسين عملية إعادة تركيز الكلايكون ، وهو يزيد من فاعلية وحدات التكثيف في السيطرة على انبعاثات البنزين.
٧. **أمور أخرى** : أن إضافة الحشوة أو المزيد من الصواني Trays الى برج الأمتصاص يزيد كفاءة عملية التجفيف وتقليل نقطة الندى Dew Point أن الملوثات الموجودة في النفط والغاز مثل الماء المنتج ، الزيوت Lubricants، المواد الكيماوية التي يتم إضافتها الى النفط والغاز oil well chemicals والصدأ قد تُقلل كفاءة الكلايكون في أمتصاص الماء. أما الهيدروكربونات الأثقل فأنها تزيد قابلية الكلايكون على أمتصاص البنزين، مما يؤدي الى تقليل كفاءة العملية ، لذلك يمكن زيادة الكفاءة من خلال نصب مرشحات معينة Filters قبل وحدة التجفيف.
- كما أن لضغط برج الأمتصاص دوراً كبيراً في هذا الموضوع ، حيث أن ذوبانية البنزين Benzene Solubility تزيد

زيادة الضغط ، أما الغاز الذي يكون بضغط عال فتكون له قابلية محدودة لحمل الماء مما يساعد على تقليل تدفق الكلايكلول.

معدات السيطرة على الانبعاثات:

حيث يتوجب إضافة مجموعة من المعدات لتقليل هذه الانبعاثات ، أو الحد منها ، ومن هذه المعدات:

١. **المكثفات Condensers** : وتقوم بتقليل درجة حرارة الغازات التي يتم تصريفها من **Vent Stack**، ليتم بعدها تجميع هذه السوائل لغرض معالجتها أو تصريفها ، وأهم أنواع المكثفات هي التي مكثفات التبريد بالهواء - مكثفات التبريد بالماء - مكثفات التبريد بالغاز ، ومكثفات التبريد بالماء يقل استخدامها في المناطق الباردة بسبب مشاكل الأنجماد ، وهناك تقنية لتوجيه الغازات المنبعثة من **Still Column** الى خزان أرضي أو تحت باطن الأرض لغرض تبريده وخاصةً في المناطق الباردة حيث تكون لحرارة الجو المنخفضة عاملاً مساعداً للتبريد ويمكن بعدها إعادة توجيه الخارج من الخزان الى المشاعل **flares** أو المحارق **Incinerators**.

٢. **الطرق الحرارية** وتتضمن منظومات المشاعل **flares system** أو المحارق **Incinerators** ولكلا المنظومتين دور فاعل في السيطرة على انبعاثات البنزين، ولكن هذه المنظومات كانت منصوبة أصلاً للسيطرة على انبعاث كبريتيد الهيدروجين.

المشاعل ويتضمن تجميع كافة الغازات والأبخرة الى خزان حيث يتم تجميع السوائل المتكثفة وتصريفها ، أما الغازات المنبعثة من الخزان فيتم حرقها في مشعل الضغط الواطيء **LP flare** ويجب أن يتم نصب كاجح اللهب **Flame Arrestor** لمنع رجوع اللهب الى المنظومة ويمكن للمشاعل أن تقوم بتدمير مركبات **BTEX** من خلال حرقها ، كما تم تصميم مشاعل حديثة لغرض ضمان الاحتراق الكامل لهذه المركبات.

المحارق Incinerators يمكن نصب محرقة قبل المكثفات ، حيث أن الحرق بدرجات حرارة عالية يؤدي الى حرق كامل يصل الى أكثر من 99% لهذه المركبات . أن موقع وأرتفاع المحرقة يجب أن يكون مبنياً على متطلبات وأسس السلامة ومراعاة محددات تراكيز الغازات السامة ، كما يجب أخذ غاز الوقود بنظر الاعتبار أثناء التفكير بأعتبارات الكلفة عند نصب هذه المحارق.

معالجة المخلفات:

مرشحات الكلايكلول Glycol Filters : هناك نوعان أساسيان من المرشحات هما: مرشحة الكاربون المنشط **Activated**

carbon filters ومرشحة **wet filter**، أن مخلفات هذه المرشحات تعتبر خطرة جداً بسبب قابليتها على الاحتراق أو

الأشتعال.

مخلفات الكلايكلول : يمكن أن يصبح الكلايكلول ملوثاً بالكلوريدات بشكل خاص مما يفقده كفاءته في أمتصاص الماء، ولا

تعتبر مخلفات الكلايكلول خطرة إلا إذا كانت نقطة الوميض أقل من 61°C ، أن مخلفات الكلايكلول لا يجب تصريفها الى

الهواء الجوي أو الى المحيط .

المكثفات Condensates : هناك مصدران للمكثفات (الماء والهيدروكاربونات) ، ومن ثم وحدات التجفيف التي تنتج

مزيج (الماء - الكلايكلول - الهيدروكاربون) من الأبخرة المتكثفة. ويتوجب فصل هذه المكثفات بواسطة عازلات. ويمكن

حقن هذه المكثفات في أحد الابار أو اي من طرق التصريف الأخرى ، أن معرفة حجم ونوعية المكثفات يمكن أن يساعد

في اختيار الطريقة ذات الجدوى الاقتصادية.

المصادر:

1. Gas Dehydration Using Glycol, Manning & Thompson, LSU.
2. Gas Plants part.1 / ENI Corporate University.
3. Oil & Gas Processing.
- 4 . NATCO Glycol Dehydration Systems.
5. Oil & Gas Journal .
6. Canadian Association of Petroleum Producers and Canadian Gas Association, A Management Strategy for Air Emissions from Glycol Dehydrators..