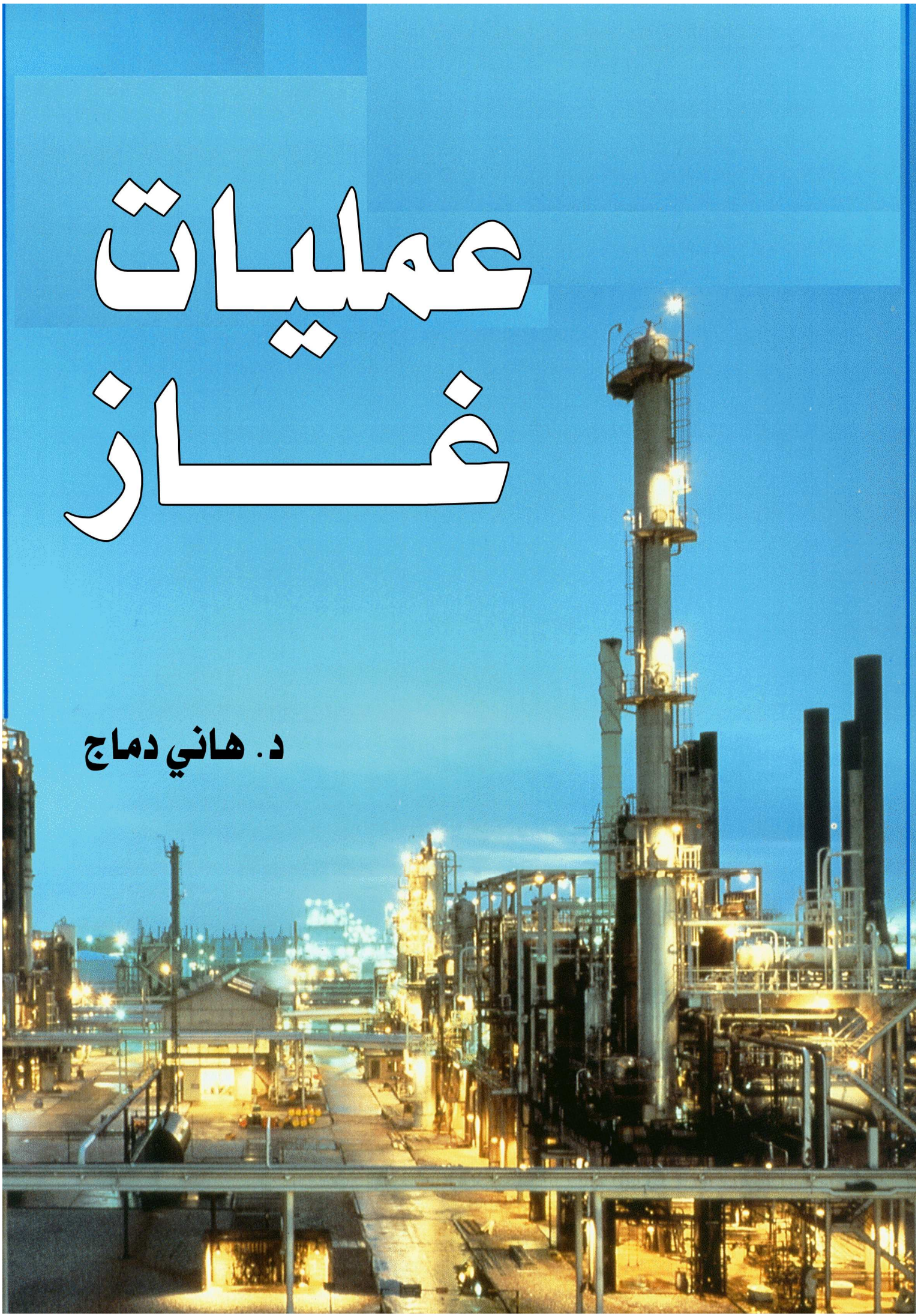
عمليات غاز

د. هاني دماج



:: المحاضرة الأولى ::

الغازات الهيدروكربونية

1- 1- تركيب الغازات الهيدروكربونية.

1- 2- مصطلحات متداولة في الصناعات الغازية.

1- 3- تنقية الغازات الهيدروكربونية.

1- 4- التنقية العميقة للغازات.

1- 5- الخواص الفيزيائية للغازات.

:: تركيب الغازات الهيدروكربونية ::

تعتبر الغازات الهيدروكربونية خامات هامة جداً لكثير من عمليات التخليق العضوي وكذلك مصدراً للحرارة والطاقة، وتنتج من هذه الغازات في الوقت الحاضر الأنواع المختلفة من المطاط الاصطناعي و الكحولات والمركبات ذات الجودة العالية لوقود المحركات و المذيبات و الزيوت الاصطناعية و اللدائن وكثير من المواد الاصطناعية الأخرى.

وتنقسم الغازات إلى غازات طبيعية (Natural Gas) وغازات اصطناعية (Refinery Gas) ناتجة من مصانع معالجة البترول.

تنقسم الغازات الهيدروكربونية الطبيعية تبعاً لطابع الحقل وطريقة الاستخراج إلى:

1- غازات طبيعية بالذات (Exacted Natural Gas):

هي الغازات المستخرجة من حقول الغاز التي لا تحتوي على البترول، وتتركب هذه الغازات من الهيدروكربونات البارافينية ذات الوزن الجزيئي المنخفض وهي لا تحتوي تقريباً على الهيدروكربونات الثقيلة ولذلك فهي تنتمي إلى مجموعات الغازات الجافة. (تسمى أحياناً بالغازات الحرة (Free Gas)).

2- الغازات المصاحبة (Associated Gases):

تستخرج مع البترول وتكون هذه الغازات في ظروف الطبقة (على عمق كبير وتحت ضغط مرتفع) ذائبة في البترول. وينفصل الغاز عن البترول عند خروج الأخير إلى سطح الأرض نتيجة لانخفاض الضغط وتنتمي إلى الغازات الدسمة (البنزين الغازي).

3- غازات حقول الغاز المتكثفة (Condensate Gases):

يُطلق هذا الاسم على الغازات المشبعة في ظروف الطبقة بالهيدروكربونات البترولية السائلة، وعند خروج مثل هذا الغاز إلى سطح الأرض يترسب الطور السائل على هيئة متكثف يُفصل بسهولة من الكتلة الأساسية للغاز، وتحتوي غازات حقول الغاز و المتكثف على نسبة كبيرة من البروبان وكذلك علة الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئي المرتفع التي تدخل في قطفات البترول الجازولينية والكيروسينية وأحياناً قطفات وقود الديزل.

وتحتوي الغازات الطبيعية أيضاً على الشوائب غير الهيدروكربونية مثل كبريتيد الهيدروجين والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون وأبخرة الماء ... إلخ

وتنتمي الغازات المتكونة أثناء المعالجة الهدامة للبترول وللأجزاء البترولية والمتبقيات إلى الغازات الاصطناعية. وتعتبر هذه الغازات التي يحصل عليها من التكسير الحفزي والحراري ومن الييروليز ومن بعض العمليات الأخرى لمعالجة البترول الهدامة هي المصدر الأساسي للهيدروكربونات الأوليفينية الغازية اللازمة للصناعات البتروكيميائية وتقسم هذه الغازات إلى الأنواع التالية:

1- غازات التقطير (Distillation Gases):

تفصل هذه الغازات كناتج رأسي من أعلى أبراج التقطير عند إجراء عملية التقطير سواء تحت الضغط الجوي أو الفراغي أو من محطات التنقية الهيدرولية وغيرها، وهي مركبات مشبعة. وتستخدم في إنتاج غاز البترول المسيل (LPG) وكوقود في وحدات التصفية المختلفة.

2- غازات التكسير (Cracking Gases):

يحصل على هذه الغازات كناتج ثانوي من عمليات التكسير سوى بهدف الحصول على جازولين أو تجهيز مواد خام نقية لا تسمم المواد الحفازة، وتتوقف كميته وتركيبه أساساً على نوع التكسير (تكسير حراري أو بالعامل المساعد)، وعلى ظروف العملية التكنولوجية، وتستخدم هذه الغازات كوقود في المصافي ذاتها، وكمادة أولية للصناعة البتروكيميائية في حالة الاستفادة من الأوليفينات فيه.

3- غازات المعالجة (Treatment Gases):

هي الغازات الهيدروكربونية الغنية بالهيدروجين والناتجة عند إجراء عملية التهذيب الحفزي للجازولين بهدف رفع العدد الأوكتاني، ويُحصل من هذه العمليات على كمية إضافية من الغاز الرطب (الغني بالبروبان والبيوتان) عند تثبيت الجازولين.

:: مصطلحات متداولة في الصناعات الغازية ::

- **الغاز الحامض (Sour Gas) :**

وهو الغاز الذي يحوي على الغازات الحامضية مثل كبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون.

- **الغاز الرطب (Wet Gas) :**

الغاز الذي يحوي على كمية عالية نسبياً من البروبان والبيوتان والبنتان وسوائل هيدروكربونية أخرى إلى جانب الميثان والإيثان.

- **الغاز الطبيعي المسال (Liquefied Natural Gas - LNG) :**

يتكون من الميثان و الإيثان وبالإمكان تسييله باستعمال الضغط والتبريد معاً.

- **نقطة الفقاعة (Bubble Point) :**

تُعرّف هذه النقطة بالظروف التي عندها يكون النظام في الحالة السائلة مع وجود قطرة صغيرة منه في الحالة البخارية، أي عند تغير الظروف قليلاً (رفع درجة الحرارة) يبدأ السائل بالغليان.

- **حدود قابلية الاشتعال (Inflammability Limits) :**

أدنى وأعلى تركيز للغاز في خليطه مع الهواء يؤدي إلى اشتعال الخليط ويُعطي بالنسبة المئوية.

- **غاز البترول المسال (Liquefied Petroleum Gas) :**

()

:: تنقية الغازات الهيدروكربونية ::

تُفصل عن الغازات في عملية التنقية الشوائب الغازية غير الهيدروكربونية التي تؤثر على جودة المنتجات المتكونة. ويشتمل مخطط تنقية الغازات على عمليات معقدة ذات مراحل عديدة.

وتنقسم عمليات تنقية الغازات من كبريتيد الهيدروجين إلى تنقية جافة (بهيدروكسيد الحديد والكربون المنشط (**Char Coal**)) وإلى تنقية سائلة (بواسطة محلول الصودا أو محلول الإيثانول – أمين أو الفيناثات (**Phenates**)).

تعتبر عملية التنقية الجافة (باستخدام هيدروكسيد الحديد) أحد العمليات القديم لفصل المركبات الكبريتية من الغازات الصناعية. وتستخدم هذه الطريقة في الحالات التي تتطلب فصلاً تاماً لكبريتيد الهيدروجين تحت ضغوط منخفضة وعند معالجة كميات صغيرة نسبياً من الغاز. ولا تجدي هذه الطريقة في حالة وجود نسبة عالية من كبريتيد الهيدروجين، نظراً لاحتمال تجلط كتلة الكبريت. وتستخدم طرق التنقية السائلة للحجوم الكبيرة من الغازات. وتعتبر التنقية بواسطة محلول كربونات الصوديوم أبسط طرق التنقية، وتستخدم في حالة احتواء الغاز على (2٪) بالوزن أو أقل من كبريتيد الهيدروجين، يسيل محلول كربونات الصوديوم على حشو جهاز غسل الغاز (**Absorber**) من أعلى إلى أسفل فيقابل الغاز الخاضع للتنقية والمتحرك في الاتجاه المعاكس، ويتفاعل كبريتيد الهيدروجين الموجود في الغاز الموجود في الغاز مع الصودا طبقاً للمعادلة الآتية:

$$Na_2CO_3 + H_2S \rightleftarrows + NaHS + NaHCO_3$$

ويُدفع محلول الصودا المنصرف من جهاز غسل الغاز إلى المسترجع حيث يُسترجع بواسطة تيار مضاد من الهواء ثم يعود بعد ذلك مرة أخرى إلى العملية ويتجه الهواء و كبريتيد الهيدروجين الخارجان من المسترجع لعملية الاحتراق ولا تؤدي هذه الطريقة إلى تنقية الغازات من المركبات الكبريتية تنقية عميقة بدرجة كافية.

:: التنقية العميقة للغازات (Sweetening) ::

تجري عملية تنقية الغـــــازات الأكثر عمقاً مع الحصول على كبريتيد الهيدروجين النقي بواسطة أحادي - إيثانول – أمين ($NH_2(CH2CH2OH)_2$) و الفيناثات ويتمتع الإيثانول – أمين بخواص قاعدية ويمتص بسهولة كبريتيد الهيدروجين والكبريتيدات الهيدروجينية وحمض الكربونيك.

قبل تعريض الغاز للتنقية بواسطة إيثانول – أمين أو بواسطة مواد أخرى يجب أن يُنقى الغاز من الغبار العالق وبعض الشوائب ذات الكتلة الوزنية المرتفعة، وتتم هذه التنقية عن طريق إمرار الغاز بواسطة جهاز يُسمى (صائد الغبار الزيتي) الذي سوف نتطرق إليه (انظر إلى الشكل رقم (1)).

- صائد الغبار الزيتي:

عبارة عن أسطوانة عمودية من الحديد الصلب ذو غطاء البئر، والذي يعمل بضغط يساوي الضغط في أنابيب نقل الغاز، قطره عادة يكون ما بين (1080 – 2400 mm)، توجد بداخله وسائل تعمل على إيجاد احتكاك قوي بين الزيت والغاز المعرض للتنقية، كمية الزيت التي تصب في هذا الجهاز بغرض التنقية لا تزيد عن ($1.5 – 2\ m^3$) في حالة يكون قطر صائد الغبار الزيتي (2400 mm).

وتحسب الإمكانية العملية (Q) (كم يمكن أن يستوعب من المادة الخام) في جهاز صائد الغبار الزيتي من المعادلة التالية:

$$Q = 95300\frac{D^2P}{T}\left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g}\right)$$

حيث:

(D): القطر الداخلي لصائد الغبار الزيتي (m).

(P): ضغط الغاز (MPa).

(ρ): كثافة السائل والغاز المخلوطين في الظروف العملية (Kg/m^3).

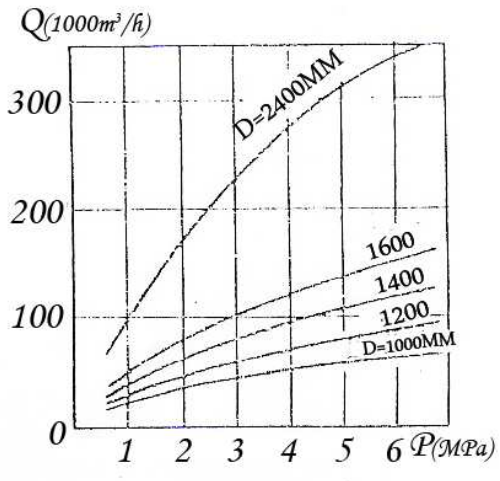
(T): حرارة الغاز (K^0).

من الضروري توفير بعض الشروط لكي يعمل هذا الجهاز بصورة جيدة ومنها :

1- الحفاظ على مستوى ثابت للزيت في الجهاز.

2- سرعة الخـــــروج الغازي (Flow rate of Gas) لا تـــزيد عن (1-3 m/sec).

وعادةً تكون نسبة التنقية من (97 – 98%) ونسبة الضائع من الغاز لا تزيد عن (25 جرام) لكل ($1000\ m^3$) من الغاز المنقى.



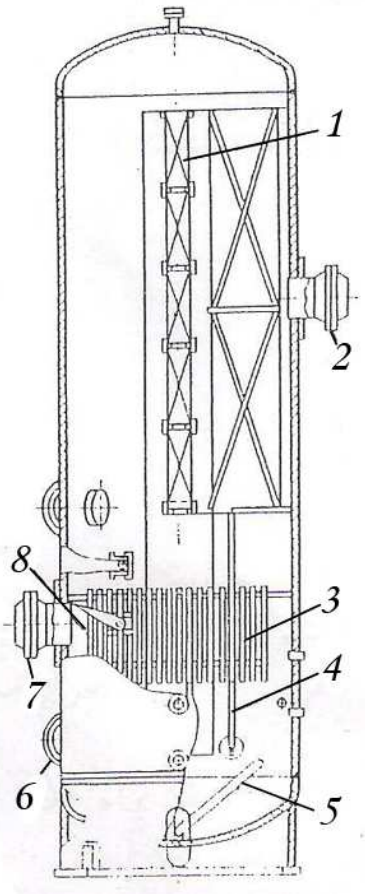
مخطط رقم (1):

العلاقة بين (Q) وكل من (P) و (D)

شرح تركيب صائد الغبار الزيتي:

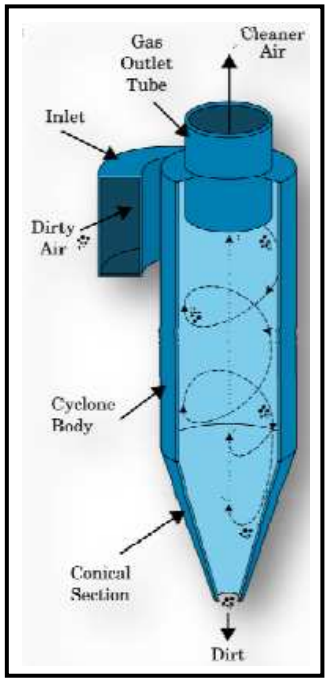
بالنظر إلى (شكل رقم (1))، فإن صائد الغبار الزيتي يتركب من :

1- عمود تنقية الأجزاء الصغيرة جداً المتبقية في الغاز النقي (شبكي).
2- مخرج (Lock) الغاز النقي.
3- أنابيب عمودية مغطاة بالزيت.
4- أنبوب للتخلص من الأجزاء الزيتية الخفيفة.
5- أنبوب للتخلص من الزيت المستخدم.
6- مدخل (Lock) للترميم الدوري.
7- مدخل المادة الخام.
8- حائط صد لتوجيه الغاز للاحتكاك بالزيت.



شكل رقم (1):
تركيب صائد الغبار الزيتي

- الفاصل السايكلوني ذو الكفاءة العالية (High Efficient Cyclone Separator):



يمكن لهذا الجهاز من فصل قطرات الماء وكذلك الأجزاء الصلبة من الغاز الطبيعي باستخدام ما يعرف بقوة الطرد المركزي (Centrifugal Force) الناجمة عن تدوير الغاز. بدون أي أجزاء متحرك، الفاصل السايكلوني يعمل عند ظروف قاسية. المعدات منخفضة التكلفة، وذات كفاءة عالية. الفاصل السايكلوني الأحادي و مجموعة الفواصل السايكلونية متوفرة. ويمكن استخدامها لتحقيق الآتي:

- إزالة الغبار من أنابيب نقل الغاز .
- فصل (سائل/غاز) من أنبوب نقل الغاز ومحطة الضغط.
- فصل (سائل/غاز) أو (غاز/صلب) من الغاز الطبيعي الرطب.
- حماية نظام احتراق الغاز في توربينات الغاز.
- حماية الضاغط في مدخل المحطة، وكذلك أجهزة القياس ومحطة التخزين.
- إطالة عمر الخدمة للجهاز، وتقليل الصيانة.

مميزات الفاصل السايكلوني:

- إزالة قطـــرات المـــاء والشـــوائب الميكانيكية بحجم يزيد عن (10 ميكرون) بكفاءة فصل تصل إلى (85 - 95٪).
- إزالة قطـــرات المـــاء والشـــوائب الميكانيكية بحجم (5- 10 ميكرون) بكفاءة فصل تصل إلى (91 - 99٪).
- تم تجهيز الجزء السفلي للفاصل السايكلوني الأحادي بـ (Hopper) وذلك لضمان سلاسة العمل أثناء التفريغ .
- هيكل بسيط وأداء مستقر.
- لا يتأثر بتركيز ودرجة حرارة الملوثات الداخلة.

Natural Gas Filter/Filter Separator

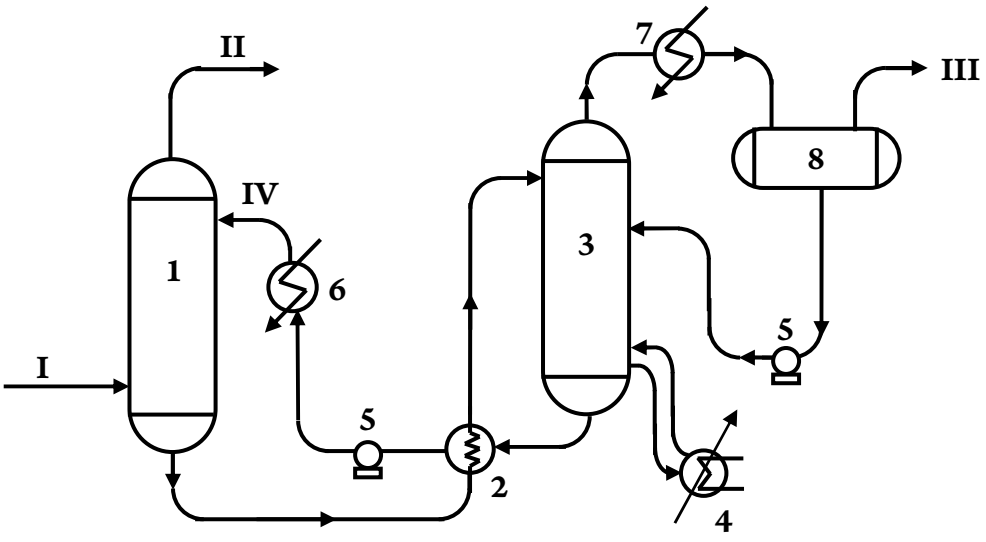
- مرشحات (فلاتر) الغاز الطبيعي (Natural Gas Filter):

يستطيع هذا الجهاز فصل قطرات الماء والأجزاء الصلبة الصغيرة من الغاز الطبيعي باستخدام مرشحات خاصة، ويتميز بدقة عالية. ويستخدم بشكل كبير في عمليات معالجة الغاز . ويمكن استخدام لإزالة الغبار أو السوائل في الغاز الطبيعي قبل محطة التنظيم والتوزيع، وكذلك لإزالة الملوثات من محطة الضغط وذلك لتفادي الأضرار التي قد تلحق بالضواغط و تآكل الصمامات .

مميزات المرشحات (الفلاتر):

- كفاءة الترشيح تصل إلى (99.999٪)
- دقة معالجة الأجزاء الصلبة تصل إلى (0.5 ميكرون).
- كفاءة الفصل لقطرات الماء التي بحجم يزيد عن (1ميكرون) تزيد عن (98٪).
- هيكل بسيط وأداء مستقر.
- لا يتأثر بتركيز ودرجة حرارة الملوثات الداخلة.
- الهبوط في الضغط يصل إلى (0.05 MPa).
- مادة المرشحات وكذا التركيب يتم اختيارها بدقة حسب متطلبات العملاء.
- يتم تصميمها وتصنيعها وفقاً للمواصفات العالمية ، وتمتلك سعة تحمل عالية للملوثات مع فترة خدمة طويلة.
- سهولة التبديل والتعامل معها.

ويوضح الشكل رقم (2) المخطط التكنولوجي لتنقية الغاز بواسطة محلول الإيثانول ـ أمين



شكل رقم (2): الرسم التخطيطي لتنقية الغاز بواسطة محلول الإيثانول ـ أمين

الأجهزة :

1- جهاز الغسل (**Absorber**).
2- مبادل حراري (**Heat exchanger**).
3- جهاز الاسترجاع (المسترجع - **Desorber**).
4- مسخن (غلاية) (**Boiler**).
5- مضخات (**Pumps**).
6- مبرد مائي.
7- مكثف مبرد (**Condenser - Refrigerator**).
8- وعاء تجميع المتكثف.

أسماء المواد:

I- المادة الخام (الغاز الغير نقي).
II- الغاز النقي المنتج.
III- الغاز الحاوي على الشوائب (H_2S).
IV- محلول الإيثانول ـ أمين.

شرح العملية التكنولوجية:

1- يدخل الغاز المراد تنقيته (I) في جهاز غسل الغاز (**Absorber**) (1) من النوع المزود بحشو أو صواني (رفوف)، ويدخل في الجزء السفلي من جهاز غسل الغاز ويخرج من الجزء العلوي (2).

2- يسيل محلول الإيثانول ـ أمين (IV) في اتجاه مضاد لاتجاه الغاز. ولا تتفاعل الهيدروكربونات مع ثنائي ـ الإيثانول ـ أمين. أما كبريتيد الهيدروجين وحمض الكربونيك فيمتصان عند درجة حرارة (20 - 30م^0) مع تكوين مركبات كيميائية غير ثابتة. فيتفاعل مثلاً ثنائي ـ الإيثانول ـ أمين مع (H_2S) طبقاً للمعادلة التالية:

$$2NH_2(CH_2-CH_2OH)_2 + H_2S \rightleftarrows [NH_2(CH_2-CH_2OH)_2]_2S$$

3- يمر المحلول المنصرف من أسفل جهاز غسل الغاز تحت الضغط (من 10- 100 atm) خلال المبادل الحراري (2) ثم يدخل في المسترجع (3).

4- يُسخن المحلول في مسخن المسترجع (الغلاية) (4) إلى درجة (105- 130 م^0) ويحلل عند درجة الحرارة هذه (كبريتيد ثنائي الإيثانول أمين) إلى ثنائي الإيثانول أمين و كبريتيد الهيدروجين. ويعود ($NH_2(CH_2CH_2OH)_2$) لرش جهاز غسل الغاز (1) بواسطة المضخة (5) وذلك بعد تبريده في المبادل الحراري (2) وفي المبرد المائي (6).

5- يخرج (H_2S) مصحوباً بثاني أكسيد الكربون وبخار الماء من أعلى المسترجع (3) ويبرد في المكثف المبرد (7) ثم يجمع في وعاء تجميع المكثف (8).

6- يسحب الغاز (3) من وعاء التجميع ويستخدم للحصول على الكبريت والحمض (H_2SO_4).

7- المتكثف يدفع بواسطة المضخة (5) إلى الجزء العلوي من المسترجع كرش.

ويستخدم عادة مخطط التنقية ذو المرحلتين لتنقية الغازات الطبيعية التي تحتوي على نسبة عالية من الكبريت. ويغسل الغاز في المرحلة الأولى بواسطة الماء أو محلول الإيثانول ـ أمين نصف المستهلك، وفي المرحلة الثانية بواسطة محلول جديد أو مسترجع استرجاعاً جيداً من الإيثانول أمين.

واقتصادية المخطط الموضح سابقاً الذي يستخدم فيه محلول الإيثانول أمين الدائر باستمرار بين جهاز غسل الغز والمسترجع عالية جداً (انظر للاستهلاك الصغير لمواد التفاعل).

عيب عملية تنقية الغازات باستخدام الإيثانول أمين هو تكوّن الرغاوي في حالة السرعات العالية للغاز مما يؤدي إلى فقد كمية كبيرة من مواد التفاعل. وينحصر سبب تكون الرغاوي في وجود الشوائب (كبريتيد الحديدوز) في المحلول. ويمكن تجنب تكون الرغاوي في الإيثانول أمينات إذا استخدم في المخلوط معها ثنائي ـ إيثيلين ـ جليكول و ثلاثي ـ إيثيلين ـ جليكول لتجفيف الغاز.

والطريقة الأخرى للتنقية السائلة للغازات من كبريتيد الهيدروجين هي طريقة استخدام الفيناثات والمبنية على أساس التفاعل بين فينات الصوديوم وكبريتيد الهيدروجين مع تكون الفينول وكبريتيد الصوديوم الهيدروجيني طبقاً للمعادلة التالية:

$$NaOC_6H_5 + H_2S \rightleftarrows NaH_5 + C_6H_5OH$$

ويسخن المحلول المنصرف في المسترجع (3) إلى درجة (110- 120م^0) ويرتفع إلى أعلى بخار الماء المتكون عند درجة الحرارة هذه ويُطرد كبريتيد الهيدروجين من مادة التفاعل السائلة. ويُبرد محلول مادة التفاعل المسترجع ويعود إلى العملية مرة أخرى، أما (H_2S) المبرد فيذهب إلى وحدة إنتاج الكبريت أو حمض الكبريتيك.

:: الخواص الفيزيائية للغازات ::

1- كثافة الغاز (Gas Density):

وتمثل كتلة وحدة الحجم وتُقاس بـ (Kg/m^3) أي علاقة وزن الغاز إلى حجمه.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

حيث :

(m): وزن الغاز. (V): حجم الغاز.

2- الحجم النوعي (Specific Volume):

وهو مقلوب الكثافة، الحجم النوعي للغاز (V) يمثل حجم وحدة لوزن معين من الغاز .

$$\nu = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m}$$

3- تصريف الغاز (مخروج الغاز – Flow rate gas):

يُفرق بين مخروج الغاز الحجمي و مخروج الغاز الكتلي (الوزني).

أ) معدل الخروج (التصريف) الوزني للغاز (M): يطلق على وزن الغاز (m) المار عبر مقطع عرض لتيار في زمن معين (t).

$$M = \frac{m}{t}$$

ب) معدل التصريف الحجمي للغاز (Q): يُطلق على كمية الغاز (V) في وحدته الحجمية، المار عبر مقطع عرض للتيار في وحدة زمنية معينة (t).

$$Q = \frac{V}{t}$$

4- السرعة الخطية (w):

تُعرف السرعة الخطية للغاز (w) في أنابيب نقل الغاز كمعدل الخروج الحجمي (Q) عند الشروط القياسية (حرارة، ضغط) من خلال (عبر) مقطع عرض للتيار (F).

$$w = \frac{Q}{F}$$

5- السرعة الوزنية للغاز (U):

تسمى التصريف الوزني للغاز (M) عبر مقطع عرض للتيار الغازي (F) (في أنبوبة نقل الغاز).

$$U = \frac{M}{F}$$

6- ضغط الغاز (P):

في مزيج من الغازات لا يوجد بين مكوناته تفاعل كيميائي فإن الضغط الكلي يساوي مجموع الضغوط الجزئية للغازات المختلفة، بعبارة أخرى يسلط كل غاز من غازات المزيج ضغطه الخاص به بغض النظر عن الغازات الموجودة معه، كما لو كان وحده يشغل حجم الإناء وضغط الغاز، بشكل عام هو عبارة عن القوة المسلطة (N) على وحدة المسافة (S) المتأثرة بهذه القوة.

$$P = \lim \frac{N}{S} = \frac{\partial N}{\partial S}$$

عند تساوي مقدار القوة المسلطة على المسافة (S)، الضغط يمكن إيجاده من خلال المعادلة التالية:

$$P = \frac{N}{S}$$

لوصف حالة الغازات يستعمل مصطلح الضغط المطلق ($P_{Absolute}$) الذي يعبر عن ضغط الغازات على جدران أنابيب نقل الغاز. لمعـــرفة الجهـــــد الضخـــم الواقع على جدران أنابيب نقل الغاز، باستخدام مفهوم الضغط الفائض (الزائد) (Excessive Pressure $P_{exc.}$) وهو عبارة عن الفرق بين الضغط المطلق للغاز والضغط البارومتري للوسط.

$$P_{exc} = P_{abs} - P_{bar}$$

7- القيمة الحرارية :

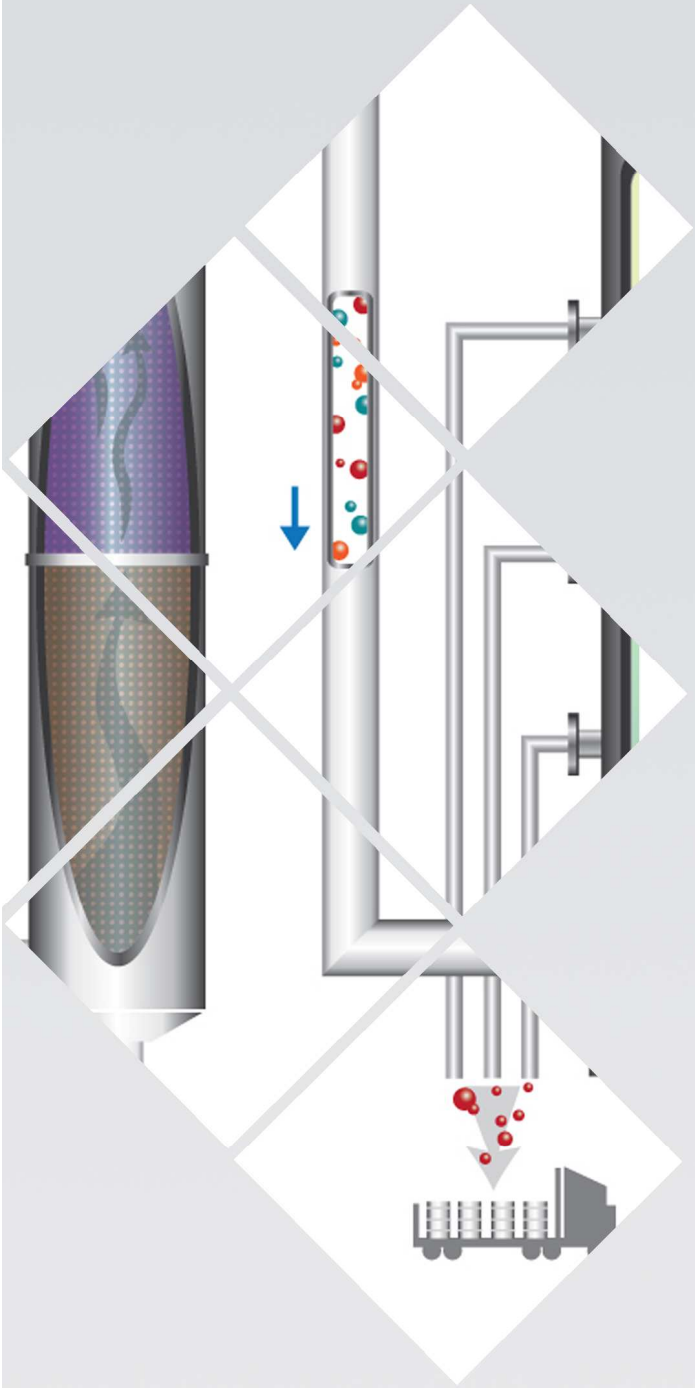
تأخذ القيمة الحرارية للوقود الغازي عادة على أساس وحدة الحجم وتمثل كمية الحرارة الناتجة من حرق وحدة حجمية واحدة من الغاز. القيمة الحرارية الصافية هي القيمة الحرارية العليا مطروح منها حرارة تبخر الماء الناتج من حرق الهيدروجين الحر أو المشترك في تركيب الوقود.

8- فرضية أفوجادرو (Avogadro Hypothesis):

تنص هذه الفرضية على أن الوزن الجزيئي الجرامي الواحد من الغاز يشغل (22.4) لتر تحت الظروف القياسية (درجة حرارة الصفر المئوي، وضغط 1 atm) و ينص كذلك على أن الأحجام المتساوية من الغازات المختلفة تحتوي في نفس درجة الحرارة و الضغط على نفس العدد من الجزيئات. وأهمية هذه الفرضية تنعكس في العلاقة بين حجم الغاز وعدد الأوزان الجزيئية له عند إجراء حسابات للتفاعلات الكيميائية التي تدخل فيها أو تنتج منها غازات.

:: المحاضرة الثانية ::

تجفيف الغـــــاز



2- 1- مقـــــــدمة.

2- 2- طرق تجفيف الغاز.

2- 3- التجفيف بالامتصاص.

:: تجفيف الغاز ::

يسبب الماء (الرطوبة) الذي يتواجد في الغاز إما على شكل بخار أو بخار متكاثف مشاكل جمة مثل تشكل الهيدرات الصلبة التي تترسب وتضيق مقطع الأنبوب بالإضافة إلى تجمد الماء عند انخفاض درجة الحرارة، كما أن وجود الرطوبة يهيئ الوسط الجيد للتآكل عند تواجد (H_2S) في الغاز.

:: طرق تجفيف الغاز ::

1- **تجفيف الغاز بالتبريد:**

ويتم عن طريق تبريد الغاز عند ضغط المبرد إلى درجة الحرارة الملائمة والتي يتكاثف عندها الماء و يُزال حيث أنّ زيادة الضغط أو نقصان درجة الحرارة يؤدي إلى إنقاص محتوى الماء المشبع في الغاز.

2- **تجفيف الغاز كيميائياً:**

تستعمل هذه الطريقة في حال توفر المادة الكيميائية التي تتفاعل مع الماء فقط دون أن يحصل أي تفكك لمركبات الغاز وبالتالي تغير تركيبه، والواقع أنّ هذه الطريقة قليلة الاستعمال.

3- **تجفيف الغاز بالامتصاص:**

طريقة تجفيف الغازات بواسطة مواد الامتصاص التي تمتص أو ترتبط بالرطوبة هي أكثر طرق التجفيف انتشاراً، وتستخدم مواد الامتصاص الصلبة والسائلة.

عملية تجفيف الغازات باستخدام مواد الامتصاص الصلبة غير مريحة في التشغيل حيث تتطلب استخدام العمل اليدوي في عملية شحن وتفريغ مواد الامتصاص، لكنها ضرورية أحياناً في حالة الحاجة إلى درجة ندى منخفضة جداً (إلى $75\ ^0C$-).

يستخدم أكسيد الألمنيوم المنشط (البوكسيت - **Bauxite**) أو كلوريد الكالسيوم المحبب و هيدروكسيد الصوديوم المنصهر و الزيوليتات الاصطناعية (المناخل الجزئية (**Molecules Sieves**)) وهي ألومينو سيليكات الصوديوم أو الكالسيوم. وكذلك يستخدم هلام السيليكا (**Silica Gel**) وسوف نخصص درس لعملية التجفيف بالمواد الصلبة أو ما يسمى (**Adsorption**) (التجفيف بالامتزاز (الادمصاص)).

:: التجفيف بالامتصاص ::

طرق تجفيف الغاز باستخدام مواد الامتصاص السائلة هي الأكثر انتشاراً. وتستخدم طريقة التجفيف السائلة في الحالة التي لا تتطلب خفض درجة الندى إلى أقل من ($20\ ^0C$-). في حالة تجفيف الغاز بواسطة المواد السائلة أو ما يسمى بالامتصاص (**Absorption**)، يكون من السهل إتمام العملية التكنولوجية.

وتجري عملية التجفيف للغازات التي تحت أي ضغط (من الخصائص الهامة أنه يمكن الجمع بين عملية التجفيف (**Dehydration**) وعملية التحلية (**sweetening**) من كبريتيد الهيدروجين.

تعتبر طريقة التجفيف بالامتصاص (**Absorption**) أي باستعمال سائل لفصل الماء (نزع الرطوبة) أكثر فائدة، خاصةً عند تجفيف الغاز الطبيعي. وهناك بعض الشروط المهمة التي يجب أن توفرها في مواد التجفيف السائلة (أي مواد الامتصاص (**Adsorbent**)) منها:

1- أن تكون شرهه للماء (امتلاك ذوبانية عالية في الماء).

2- عدائية منخفضة (لا يسبب التآكل في المعدات والأجهزة).
3- ثابتة بالنسبة إلى المركبات الغازية.
4- سهولة عملية إعادة التنشيط (Regeneration) أي الاسترجاع.
5- لزوجة منخفضة نسبياً.
6- أن تكون ثابتة خلال عملية الاسترجاع.
7- انخفاض إمكانية تكوين الرغوة و المستحلبات.
8- أن تكون رخيصة الثمن ومتوفرة.

تتكون وحدة التجفيف بالامتصاص أساساً من برجين هما: برج الامتصاص (Absorber) وبرج النزع (Stripping Column) وقد يُسمى (Desorber) في داخلها رفوف أو مادة حشو لزيادة الاحتكاك. يدخل الغاز المعرض للتجفيف من أسفل برج الامتصاص ويرتفع إلى الأعلى بينما يضخ السائل من الأعلى أي بطريقة التيار المعاكس (Counter-current Flow) حيث يحصل امتصاص الماء عند درجات حرارة واطئة وضغط مرتفع، ويخرج الغاز المجفف من أعلى البرج بينما يُترك السائل المشبع (قد يسمى السائل الغني Rich Liquid) من الأسفل.

من أهم المواد التي تحقق بشكل تقريبي المواصفات المذكورة أعلاه:

إيثيلين الجليكول (أحياناً إيثيلين غليكول (Ethylene Glycol)) ذو الصيغة ($C_2H_6O_2$) (CH_2-OH-CH_2-OH)، والذي كثافته ($1.115\ gm/cm^3$)، الوزن الجزيئي (62.07)، ودرجة غليانه عند الضغط الجوي تساوي ($197.5C^0$)، ويمتزج الجليكول مع الماء بجميع النسب، حيث أنّ محلوله المائي يتميز بدرجة حرارة تجمد منخفضة.

أغلب الخواص الأساسية لمواد الامتصاص السائلة تتوفر في ثنائي إيثيلين الجليكول (Diethylene Glycol) الذي يُحضر عن طريق تفاعل اتحاد لجزيئين من إيثيلين الجليكول مع تكون جزيء من (H_2O).

صيغة ثنائي إيثيلين الجليكول ($C_4H_{10}O_3$) (CH_2OH-CH_2-O-CH_2-CH_4OH)، ذو الكثافة ($1.117\ g/cm^3$)، والوزن الجزيئي (106.12) ودرجة غليانه عند الضغط الجوي تساوي ($245\ C^0$).

ويستخدم كذلك ثلاثي إيثيلين الجليكول (Triethylene Glycol) الذي يتكون عند اتحاد ثلاثة أجزاء من إيثيلين الجليكول، ويملك الصيغة التالية ($C_6H_{14}O_4$) (CH_2OH-CH_2-O-CH_2-CH_2-O-CH_2-CH_2OH).

من التجارب المعملية والصناعية فإنّ طريقة التجفيف السائلة للغازات تفي بالغرض في الحالات التي لا يتطلب خفض درجة الندى إلى أقل من ($-20\ C^0$).

درجة الندى (Dew Point):

يُطلق هذا الاسم على أعلى درجة حرارة تتكون عندها قطرات الماء في الوسط الغازي.

يستخدم عادة (TEG) في معالجة الغازات التي تمتلك حرارة مكمنية عالية، وذلك لأنه يمتلك قوة ابتلاعية للرطوبة، ويحصل على نتائج أفضل من استخدام (DEG).

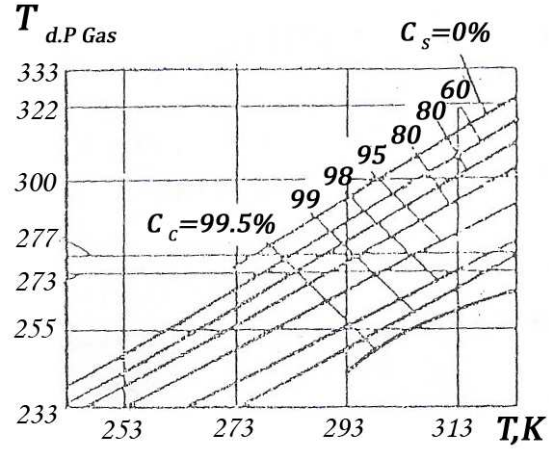
الجليكول كمادة تنتزع الرطوبة من الغازات بشكل جيد في مدى واسع من اختلاف التركيز، وعادة يكون ضياع (فقدان) الجليكول ليس كبير، وتكون نسبة الغاز المفقود عند استخدام (DEG) من ($5 - 18\ gm/1000\ m^3$) من الغاز، وعند استخدام (TEG) تكون من ($2 - 4\ gm/1000\ m^3$) من الغاز.

درجة غليان الماء و الجليكول تختلفان بشكل كبير مما يسهل عملية إعادة التنشيط للمبتلع (Regeneration) وكذلك اللزوجة المنخفضة للمبتلع (Absorbent) تسهل من عمل المضخات الدوارة (Cycle Pipes) و لا يشكل الجليكول المبلل

خطر من ناحية التآكل (Corrosion). عند الضغط الجوي (DEG) يبدأ بالتفكك عند درجة حرارة قدرها (164 C^0)، أما (TEG) فيتفكك عند درجة حرارة (205 C^0). تطابقاً مع هذا، في الظروف الصناعية نسبة إعادة التنشيط تصل إلى (96-98%).

(TEG) يمتلك صفة الميلان إلى إفراز الرغوة من أجل هذا يُضاف إليه مواد خاصة على سبيل المثال ($C_2H_5ONH_2$). أما كيفية إجراء عملية تجفيف الغازات بواسطة الجليكول (Glycol) يعتمد اعتماداً كلياً على (P,T) وكيفية احتكاك الغاز مع المادة المبتلعة (Sorbent) وتركيز هذه المادة.

الإمكانية الابتلاعية لـ (Sorbent) لبخار الماء من الغاز، يؤثر بشكل كبير تركيز (Sorbent)، عـــادةً هـــــذا التركيز يتراوح ما بين (99% – 90)، اعتماداً على كيفية (مقدار جودة) التجفيف.



مخطط رقم (2):

العلاقة بين ($T_{d.p}$) وكل من (C_S) و (T_{Con})

اعتماد ($T_{d.p.g}$–Dew Point) على تركيز (C_S - Sorbent) ودرجة حرارة الاحتكاك ($T_{Con.}$) موضح بالمخطط رقم (2).

عند مقارنة (DEG) و (TEG)، من الضروري الأخذ بالاعتبار أنّ (DEG) أرخص من حيث السعر، لكن عند استخدام (TEG) يمكن الحصول على نقطة ندى منخفضة، ضياع (TEG) عند إعادة التنشيط أقل بكثير من ضياع (DEG).

شرح العملية التكنولوجية لتجفيف الغاز بواسطة (Sorbent) السائل التي تمتلك انتشاراً واسعاً في الحقول الغازية:

(المقصود بـ (Sorbent) محلول من (DEG) أو (TEG))

1- الغاز الواصل من الحقول يعبر عبر جهاز الفصل (Separator) (1) حيث يتم فيه ترسيب حبات الرطوبة (قطرات الماء المتكثف) ومن ثم يؤخذ الغاز إلى الجزء الأسفل من جهاز الامتصاص (Absorber)(2).

2- بدايةً الغاز يوجه إلى المنطقة السُفلى في (Scrubber) (Scrubber Section)(3) للتخلص مما تبقى من قطرات الرطوبة (Humidity) وذلك بفضل الاحتكاك السطحي مع (Packet) نوع من الرفوف أو مواد الحشو.

3- الغاز بشكل تتابعي يعبر من خلال الألواح (الرفوف) (4) متجه إلى أعلى (عدد الألواح في جهاز الامتصاص ما بين 4 - 12) . في اتجاه معاكس لتيار الغاز يُدفع (DEG) ذو تركيز (97% – 95)، الذي دفع إلى جهاز الامتصاص عن طريق المضخة (10).

4- الغاز المجفف الناتج من الاحتكاك مع السائل الماص (Absorbent) يمر من خلال الجزء العلوي من (Scrubber section)(5)، حيث يُحرر الغاز من قطرات السائل الماص، ومن هناك يوجه الغاز إلى أنبوب النقل.

5- المحلول المشبع الحاوي على (8% – 6) رطوبة من رف التجميع الأصم الأسفل لجهاز الامتصاص (Absorber)، يُوجه إلى المبادل الحراري (7)، والذي يتم فيه تسخين المحلول عن طريق التيار المضاد للمحلول النقي ومن ثم يعبر عن طريق جهاز التهوية (Aerator)(8) حيث يتم طرد (فصل) الغاز المذاب فيه (الغاز المذاب في المحلول الماص).

6- الغاز المفصول من المحلول الماص يذهب إلى الاستخدام الذاتي (داخل المحطة).

7- من جهاز التهوية (8)، (DEG) المشبع يضخ عن طريق المضخة (9) إلى عمود التبخير (Desorber)(12) حيث تحدث إعادة التنشيط للمحلول الماص.

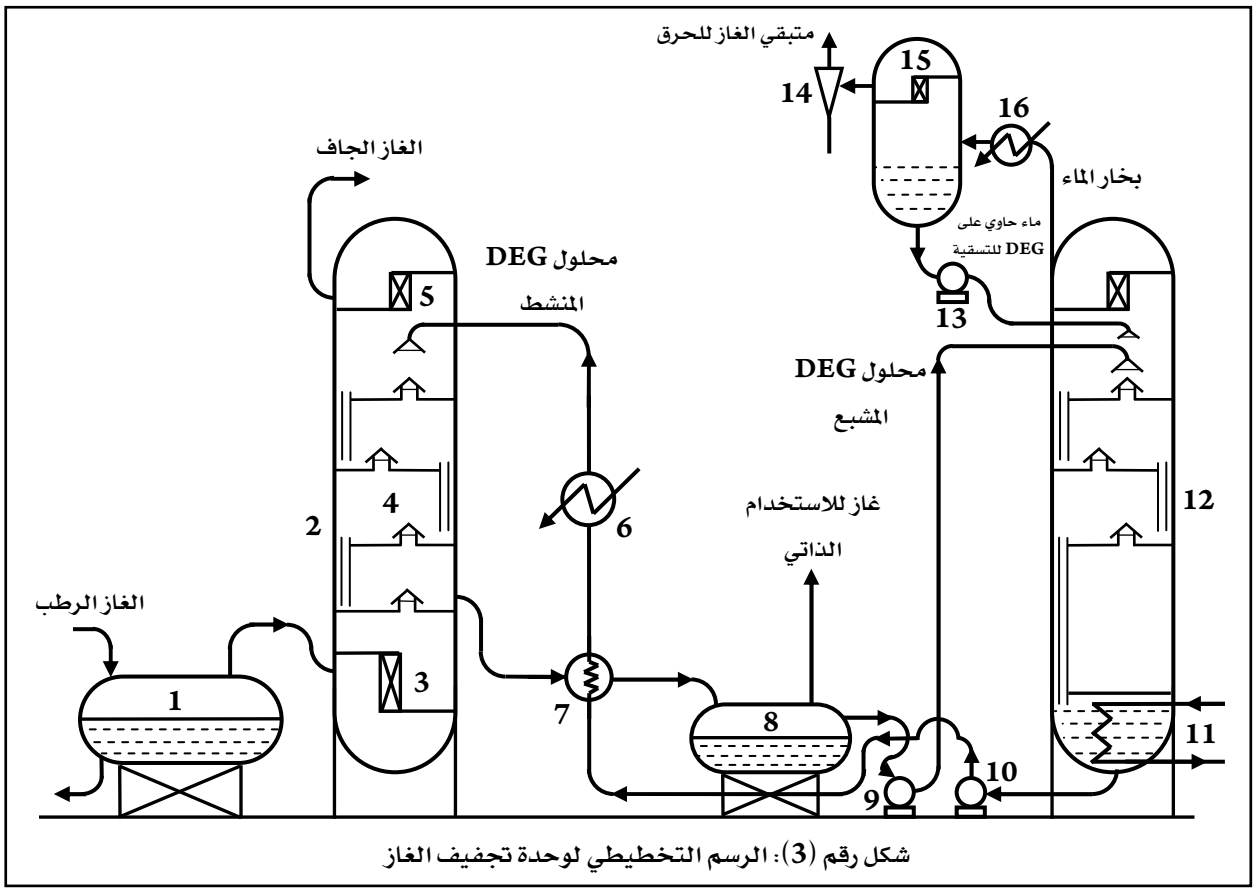
8- برج التبخير يتكون من جزئين: برج ذو ألواح والذي يتم فيه تبخير المحلول المشبع (DEG) المسال إلى الأسفل، تتبخر الرطوبة عن طريق التيار المضاد ببخار الماء الساخن وأبخرة (DEG)، والجزء السفلي (القسم الثاني من برج التبخير) عبارة عن غلاية (Boiler) - مبخر (Vaporizer)(11) والذي يتم فيه تسخين محلول الجليكول وتبخير الماء.

9- تُحفظ درجة الحرارة في الغلاية (Boiler) لمحلول الجليكول في مدى محدد من ($160\ C^0 - 150$) وفي الجزء العلوي من برج التبخير (Stripping Column)(12) تُحفظ درجة الحرارة عند ($107C^0 - 105$) ويمكن الحصول على هذه الحرارة بواسطة التسقية (الرش) للجزء العلوي من البرج (12) بالماء الذي يمتلك درجة حرارة قدرها ($30\ C^0$)، هذا يسمح بتكثيف أبخرة (DEG) والتقليل من الضائع.

10- بخار الماء من جهاز (Desorber) يذهب إلى المكثف (16) حيث يتم تكثيف الجزء الأساسي من البخار وتجميعه في جهاز الفصل (15)، من هنا يُشفط الغاز من المتكثف بواسطة المضخة الفراغية (Vacuum Pump)(14) التي توجه الغاز إلى المحرقة.

11- جزء من الماء الحاوي على (DEG) يُدفع إلى الجزء العلوي من البرج بواسطة المضخة (13) للتسقية، والحفاظ على درجة حرارة من ($105 - 107\ C^0$).

12- المحلول المنشط (DEG) يضخ بواسطة المضخة (10) من خلال المبادل الحراري (7) والمبرد (6)، حيث تنخفض درجة حرارته، ومن جديد يوجه إلى الرف العلوي من (Absorber)(2).



شكل رقم (3): الرسم التخطيطي لوحدة تجفيف الغاز

الأجهزة:

1- (Separator). 2- (Absorber). 3- (Scrubbers Section). 4- (Plates).

5- (Lower Scrubbers Section). 6- (Refrigerator). 7- (Heat Exchanger).

8- (Aerator). (9، 10، 13)- (Pumps). 11- (Boiler-Vaporizer).

12- (Stripping Column-Desorber). 14- (Vacuum Pump). 15- (Separator).

16- (Condenser).

لو كان من الضروري الحصول على محلول (DEG) المشبع ذو التركيز العالي (99% – 98) من اجل الوصول إلى أصغر درجة للندى، فمن الضروري أن تتم عملية التنشيط للجليكول تحت الضغط الفراغي الذي يحدث بواسطة المضخة الفراغية (14).

لماذا يجب التخلص من الرطوبة الموجودة في الغاز؟

يوجد الماء في الغاز كشوائب غير مرغوب فيها. ويمكن أن يتواجد الماء في الغاز على صورة بخار أو قطرات سائلة، ويؤدي وجود الماء في الغاز إلى زيادة التآكل (الذحل) الكيميائي للأجهزة و أنابيب الغاز تحت تأثير كبريتيد الهيدروجين. ويتجمد علاوة على ذلك الماء في الأنابيب عند درجات الحرارة المنخفضة وتتحد في ظروف معينة (درجة الحرارة والضغط) الهيدروكربونات مع الماء مكونة هيدراتات صلبة ($C_2H_6.7H_2O$ or $CH_4.7H_2O$) إلخ. وتسد هذه الهيدراتات الصلبة أنابيب الغاز والأجهزة وكلما زاد الوزن الجزيئي للهيدروكربون كلما انخفض الضغط ودرجة الحرارة واللذان يتكون عندهما الهيدرات الصلبة.

و تتملل الهيدراتات بالتسخين، ويعطي أيضاً كبريتيد الهيدروجين مع الماء هيدرات صلبة ($H_2S.5H_2O$) عند درجات الحرارة المنخفضة.

وتتكون الهيدراتات فقط في حالة وجود الرطوبة على صورة قطرات سائلة في الغاز. ولذلك فإن الغرض من تجفيف الغاز لا ينحصر في خفض الكمية الوزنية لبخار الماء في المخلوط الغازي فقط، وإنما أيضاً خفض درجة الندى (Dew Point) إلى الحد الذي يمنع ظهور الرطوبة على صورة قطرات سائلة في الغاز.

قطر جهاز الامتصاص (Absorber) ومقياس (Scrubber Section) في جهاز الامتصاص

تتعين اعتماداً على سرعة الغاز وكميته في الممرات الحرة في جهاز الامتصاص.

السرعة المسموح بها (الممكنة):

$$v = 0.82\sqrt{\rho}$$

حيث :

(ρ): كثافة الغاز في الظروف العملية.

$$\rho = {}^{P}/_{(ZRT)}$$

تابع قوانين الغاز:

* **قانون الغاز الغير مثالي (Non-ideal Gas):**

عند ارتفاع الضغط فوق (4 atm) تطبق قوانين الغازات الغير مثالية.

1- **قانون فاندرفالس:**

$$RT = P + \frac{a}{V^2}(V - b)$$

حيث: (a) و (b) : ثوابت خاصة بالغاز.

2- **قانون معامل الانضغاطية (Compressibility Factor):**

$$PV = ZnRT$$

حيث: (z) : معامل الانضغاطية.

Gas Dehydration Absorption process
Glycol Dehydration

Among the different gas drying processes, absorption is the most common technique. Where the water vapor in the gas stream becomes absorbed in a liquid solvent stream.
Glycols are the most widely used absorption liquids as they approximate the properties the meet commercial application criteria. Several glycols have been found suitable for commercial application .

1- **Monoethylene Glycol (MEG).**
2- **Diethylene Glycol (DEG).**
3- **Tetra ethylene Glycol (TEG).**

Process Description

In this section dehydration of natural gas by (TEG) is first out lined by summarizing the flow path of natural gas and glycol. Then the individual components of a typical (TEG) unit are described in detail. As shown in figure (1). Wet natural gas first typically enters an inlet separator to remove all liquid hydrocarbons from the gas stream. Then the gas flows to an absorber (Contractor) where it is contacted counter currently and dried by the lean (TEG).
(TEG) also absorbs volatile organic compounds ($VOCs^2$) that vaporize with the water in the reboiler. Dry natural gas exiting the absorber passes through a gas/glycol heat exchanger and then into the sales line, the wet or (rich) glycol exiting the absorber flows through a coil in the accumulator where it is preheated by hot lean glycol. After the glycol-glycol heat exchanger, the rich glycol enters the stripping column and flows down the packed bed section into the reboiler.
Steam generated in the reboiler strips absorbed water and VOCs out of the glycol as it rises up the packed bed. The water vapor and Desorber natural gas are vented from the top of the stripper. The hot regenerated lean glycol flows out of the reboiler into the accumulator (Surge tank) where it is cooled via cross exchange with returning rich glycol, it is pumped to a glycol/gas heat exchanger and back to the top of the absorber.

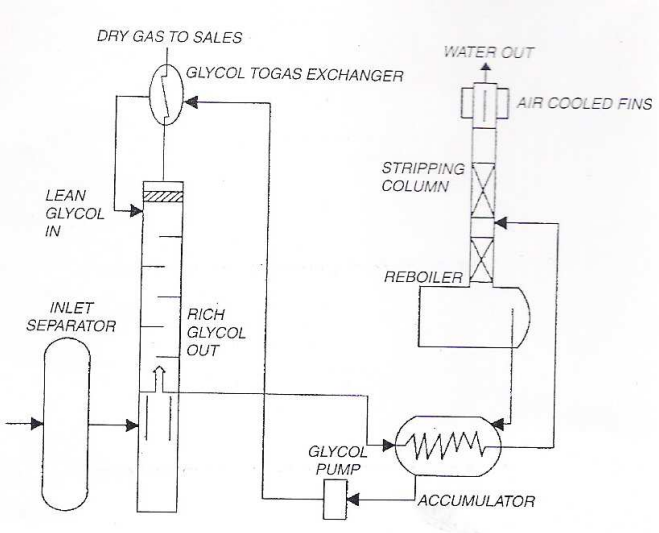
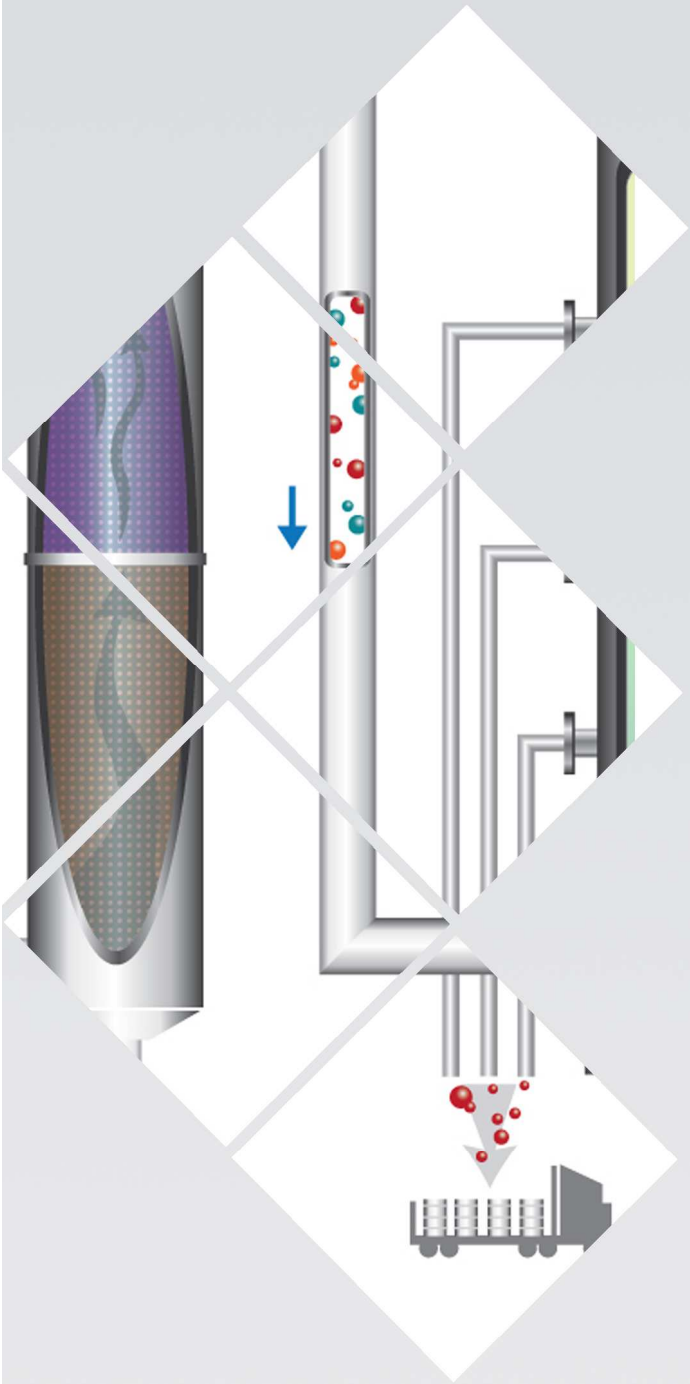


Fig.(4): Gas Dehydration Absorption process

:: المحاضرة الثالثة ::

تجفيف الغـاز بالامتزاز



3- 1- مقـــــــدمة.

3- 2- الامتزاز.

3- 3- مواد الامتزاز.

:: تجفيف الغاز بالامتزاز ::
::Adsorption::

لوجود الماء في الغاز مساوئ عند تصنيعه أو استعماله. و أهمها تكثف الماء عند ارتفاع الضغط أو التبريد مما يعرقل عملية الضخ عند تكون الهيدرات ، وكذلك احتمال تجمد الماء وتكوين بلورات صلبة عند التبريد مما يسبب الانسداد ، وتجري عملية تجفيف الغاز عن طريق الامتزاز باستعمال مواد صلبة (**Adsorbent**).

الامتزاز (Adsorption):

أن مواد الامتصاص (يمكن القول هكذا) المستخدمة في طريقة الامتزاز هي الأجسام الصلبة ذات المسام الصغيرة والتي يكون سطحها التنشيط كبيراً.

وتعتمد مساحة سطح مادة الامتزاز على بناء المسام ، فلكما صغرت المسام كلما زاد السطح، و تتحدد نوعية مادة الامتزاز بالسطح النوعي و القطر المتوسط للمسام و الكتلة الحجمية.

يطلق اسم **السطح النوعي** على النسبة بين وحدة مساحة سطح مادة الامتزاز و وحدة كتلتها (م ^{2}/ جرام ـ m^2/g).

وتقسم مواد الامتزاز تبعاً لقطر المسام إلى مواد امتزاز كبيرة المسام ، وصغيرة المسام (مايكرو مسامية) ويُقاس قطر المسام، بالأنجستروم ($1\ I^0 = 10^{-8}$ سم) و تنتمي مواد الامتزاز التي قطر مسامها ($13\ I^0$) أو أقل إلى مواد الامتزاز ذات المسام الصغيرة.

الكتلة الحجمية : تعنى كتلة وحدة حجم مادة الامتزاز . ويتضمن هذا الحجم حجم المسام والفراغ بين الحبيبات ، والكتلة الحجمية لغالبية مواد الامتزاز هي ($0.4 - 0.6\ g/cm^3$).

ويجب أن تتمتع مواد الامتزاز بالخواص التالية:

1- سعة الامتزاز كبيرة (مساحة سطحية واسعة).
2- مسامية كبيره وصلابة.
3- تكون سهلة الاسترجاع.
4- لا تقاوم حركات الغازات مقاومه كبيرة.
5- يجب أن تتمتع مادة الامتزاز بخاصية انتقائية الامتزاز.
6- مقاومه ميكانيكية ، لتجنب التهشيم وتكون الغبار.
7- يجب أن يكون الوسط الصلب (الماز) غير متفاعل كيميائياً أثناء دورات العمل ، وغير مسبب لتآكل المعادن.

يؤثر الضغط وبعض العوامل الأخرى تأثيراً ملحوظاً على عملية الامتزاز فتنخفض فعالية مادة الامتزاز برفع درجة الحرارة، ($20\text{-}25\ C^0$) وهي درجة الحرارة المُثلى لعملية الامتزاز. وبزيادة لضغط تسهل إمكانية دخول جزئيات الغاز من مسام مادة الامتزاز و يزداد تركيز الهيدروكربونات في وحدة حجم الغاز مما يؤدي إلى رفع درجة استخلاص المركبات من المخلوط الغازي. وتجري عملية الامتزاز تحت ضغط ($6 - 4\ atm$).

ويعتمد امتزاز الغازات الهيدروكربونية على التركيب الكيميائي و التفصيلي للمركبات و على وزنها الجزيئي و تُمتز الهيدروكربونات الأوليفينية أحسن الهيدروكربونات البارافينية في حالة تساوي الظروف الأخرى. وتُمتز الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئي العالي بفعالية أكبر من الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئي المنخفض من نفس السلسلة.

تجري عملية الامتزاز في أجهزة امتزاز تعمل دورياً ذات طبقه غير متحركة (ثابتة) من مادة الامتزاز المحببة ، وكذلك في أجهزة امتزاز ذات طبقة متحركة باستمرار من مادة الامتزاز ويمر المخلوط الغازي خلال الأجهزة الأخيرة إلى أن تتشبع مادة الامتزاز تشبعاً

تاماً ثم يُنقل بعد ذلك المخلوط الغازي للامتزاز في جهاز امتزاز ذي طبقة ثابتة في حين تجري في الجهاز الأول عملية مج الهيدروكربونات الممتزة بواسطة بخار الماء المحمص (الساخن جداً) إلى ($250\ C^0$). وتُجفف مادة الامتزاز بعد طرد الرطوبة وتُبرد عن طريق إمرار الغاز الجاف (جزء من المنتج) الخارج من جهاز الامتزاز العامل – خلالها.

تمثل عملية الامتزاز الطريقة التي عندها تتوقف الجزئيات من الغاز أو بعض مكوناته على سطح المادة الصلبة (**Solid desiccant**) بواسطة القوى السطحية. ويتم تجفيف الغازات عند إمرارها خلال وسط من مادة صلبة ملائمة. وتتم عملية التجفيف بالامتزاز بثلاث مراحل هي :

مرحله الامتزاز أي فصل الماء من الغاز عند درجات الحرارة الواطئة ($20\text{-}25\ C^0$) وضغط مناسب (**4-6 Atm**). وبعد تشبع المادة الصلبة (**adsorbent**) (تسمى المُمْدصة – أي المادة الصلبة المشبعة بالرطوبة) بالماء تتم مرحلة استعادة النشاط ، أي إزالة الماء من المادة (**adsorbent**) عند درجات حرارية عالية ($120\text{-}150\ C^0$). بضخ غاز ساخن داخل محتويات برج الامتزاز . و أخيراً تتم مرحلة تبريد البرج و تهيئته لعملية الامتزاز و يستخدم عملياً في وحدات التجفيف برجين إلى أربعة أبراج، حيث يكون أحدهما في مرحلة الامتزاز و الثاني في مرحلتي التنشيط و التبريد على التوالي.

المواد الشائعة الصلبة المستخدمة في تجفيف الغاز :

1- أوكسيد الألمنيوم ، المصنع كيميائياً.
2- هلام السيليكا (السيليكا جل – **Silica gel**).
3- المناخل الجزيئية (**Molecules sieves**).
4- الكربون المنشط (**Activated Carbon**).
5- البوكسيت (**Bauxite**):

هو مصدر طبيعي يتكون من (**% 60 – 50**) من أوكسيد الألمنيوم المائي. وعادةً يُنشط البوكسيت عند درجة حرارة قدرها ($360\ C^0$) لمدة (**3** ساعات) بمعزل عن الهواء ، ومن المميزات الأساسية لهذه المادة :

- درجة ندى منخفضة للغاز المجفف.
- سهولة عملية إعادة التنشيط للمبتلع.
- عدم التعقيد في تكوين المحطة ، والسعر الرخيص.

البوكسيت يستخدم على شكل حبيبات قطرها (**4 – 2 mm**) و ذو كتلة حجميه ($800\ kg/m^3$)، مدة عمل الشحنة من البوكسيت أكثر من سنة وسرعة عبور الغاز من خلال البوكسيت للتجفيف تكون مابين (**0.5 – 0.6 m/s**).

فوائد المجففات الصلبة :

1- تستخدم في الحالات التي تتطلب درجات ندى منخفضة ($Dew\ Point < -40\ C^0$).
2- لا تتأثر بالتغيرات التي تحدث للغاز مثل درجة الحرارة و الضغط ضمن الظروف التصميمية.
3- تمتاز ببساطة تصميم و تشغيل الأجهزة المستعملة.
4- خالية من مشاكل التآكل و الرغوة.
5- تستعمل لتجفيف كميات قليلة جداً من الغاز و بسعر قليل.
6- تمدص (تمتز) بخار الماء حسب السعات الآتية :
   - البوكسيت: (**6 kg – 4**) من الماء لكل (**100 kg**) من (**adsorbent**).
   - الألومينا: (**7 kg -4**) لكل (**100 kg**) من (**adsorbent**).
   - السيليكا جل : (**7-9 kg**) لكل (**100 kg**) من (**adsorbent**).
   - الزيوليت : (**9-12 kg**) من الماء لكل (**100 kg**) من المادة الصلبة.

مساوئ المجففات الصلبة :

1- الكلفة الابتدائية عالية، لذا يتطلب مقارنة بين السعر و مدى الحاجة لهذه المواد.
2- هبوط كبير في الضغط.
3- قابليتها عاليه للتسمم.
4- تتطلب حرارة عاليه لإعادة التنشيط.

شرح المخطط التكنولوجي :

1- الغاز الرطب (1) من خلا ل جهاز الفصل (1) (**separator**) يُوجه إلى جهاز الامتزاز (2) (**Adsorber**) حيث يعبر الغاز من خلال صف (طبقة) من (**adsorbent**) سواء الثابتة – أو المتحركة، الموجودة على الرفوف ذات الأســـاس الشبكي (عرض الطبقة الواحدة لا يزيد عن **60 cm**).
2- بعد عبور الغاز خلال المادة المازة (سواء كان البوكسيت أو الزيوليت أو غيرها من المواد المعروفة المستخدمة). يُحرر الغاز من الرطوبة ومن ثم يُوجه إلى أنبوب النقل .
3- بعد فترة زمنيه اعتماداً على كمية المادة المازة و الســـرعة الحجمية للغاز الرطب (وهذه الفترة الزمنية تساوي من (**16-12**) ساعة) جهاز الامتزاز (**adsorber**) يُحول إلى إعادة التنشيط (**Regeneration**).
4- يُوجه الغـــــاز الرطب القادم (الجـــــديد) إلى جهـــــاز الامتزاز الثاني (2) (**adsorber**) الذي تم إعادة تنشيطه (**after Regeneration**).
5- في حاله استخدام البوكسيت (على سبيل المثال) كمادة مازة (يُنشط (يُجفف) يتم طرد الماء) من خلال دفع من خلاله (خلال طبقات البوكسيت) الغاز الساخن (4) المجفف (غ س)، عند هذا من مادة الامتزاز البوكسيت تُطرد كل الرطوبة المبتلعة من مادة الامتزاز (**adsorbent**) من الغاز عند عملية التجفيف.
6- إعادة تنشيط المادة المازة (**adsorbent**) البوكسيت تتم على النحو التالي: (انظر شكل رقم 5).

تجرى عملية التنشيط في جهاز الامتزاز (**adsorber**) الثاني (3)

أ- عند توجه (**adsorber**) إلى إعادة التنشيط، تُدفع كمية محدودة من الغاز الجاف (3) من أجل تعبئة النظام وإعادة التنشيط، ويُدفع الغاز الجاف (3) المتشبع الكافي لعملية التنشيط، من خط خروج المنتج الأساسي (3) من خلال منظم الضغط ((**18**) **R.P**)، عند ضغط يزيد قليلاً عن (**0,1 MPa**).
ب- هذا الغاز يوجه في البداية إلى المبرد (4)، ومن ثم إلى جهاز الفصل (5) (**separator**).
ت- يُدفع الغاز عن طريق جهاز دفع الغاز (6) تحت ضغط لا يزيد عن (**3k.pa**)، إلى جهاز التسخين (7) حيث يُسخن إلى درجة حرارة قدرها (**200 C^0**) ، ومن ثم إلى عمود إعادة التنشيط (3) الذي يتم فيه تنشيط البوكسيت (أي مادة تستخدم للماز).
ث- عند خروج الغاز المشبع الساخن من (**adsorber**) (3) يوجه إلى المبرد (4) و من ثم إلى جهاز الفصل (5) حيث تُفصل الرطوبة المبتلعة في جهاز الامتزاز.

كنتيجة لعمليات إعادة التنشيط الدوري (**Cycle**) للغاز (جهاز دفع الغاز (6) ← المسخن (7) ← جهاز المج (**adsorber**) ← المبرد (4) ← (**separator**) ← جهاز دفع الغاز (6)). بعد هذه الدورة، البوكسيت يُجفف ويمكنه من جديد أن يبتلع الرطوبة من الغاز.

كمية المادة المازة (adsorbent) الضرورية لتجفيف الغاز:

$$G = \frac{V_H(m_H - m_K)\tau}{24a}$$

حيث

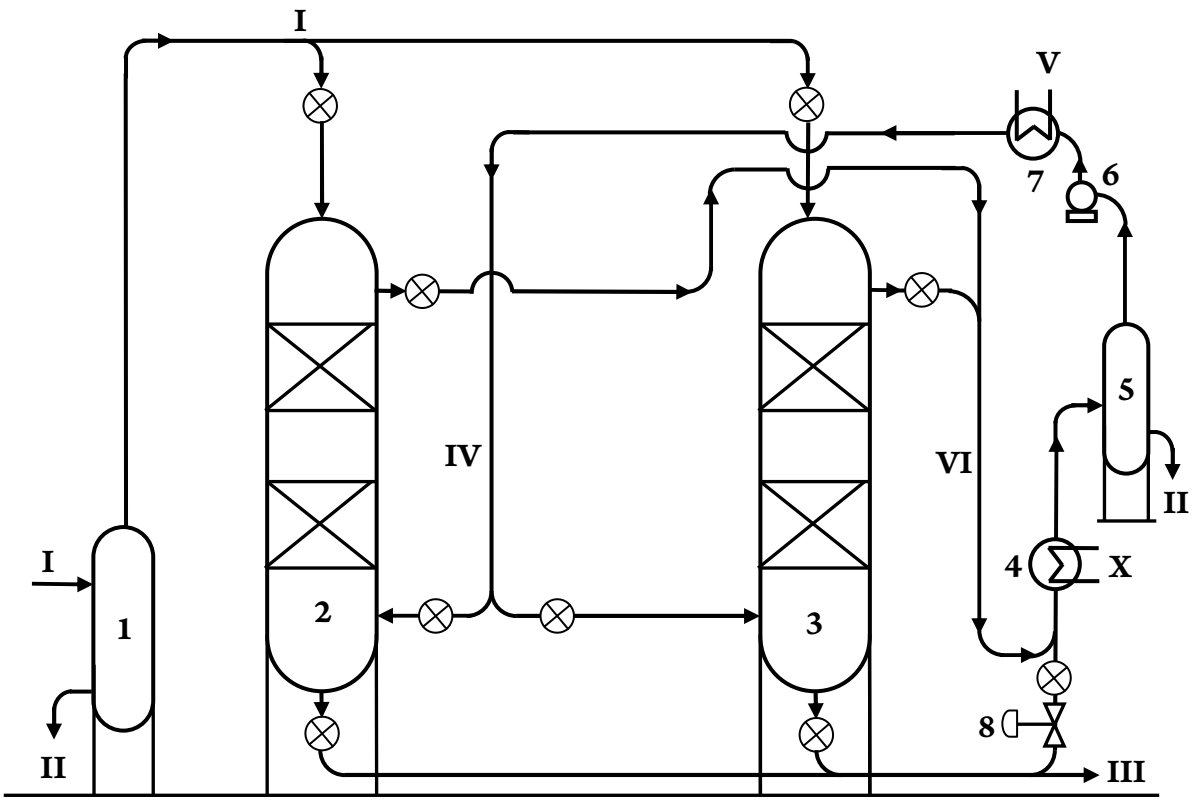
V_H: كمية الغاز الرطب الموجه إلى التجفيف عند الظروف القياسية (م^3/ اليوم).

m_H : محتوى الرطوبة في الغاز الرطب (الخام) (Kg/m^3).

m_K : محتوى الرطوبة في الغاز الجاف (المنتج) (Kg/m^3).

t : الفترة الزمنية للابتلاع (hour).

a : نشاط الماز (Activation Adsorbent) (القدرة الابتلاعية) ويساوي (0.05 – 0.04).



شكل رقم (5): المخطط التكنولوجي لوحدة تجفيف الغاز بالامتزاز

شرح المخطط

أسماء الأجهزة:

1- جهاز فصل (separator).

(3،2)- أجهزة امتزاز (adsorber).

4- مبرد.

5- جهاز فصل.

6- جهاز دفع الغاز.

7- مسخن.

8- منظم الضغط (R . P.).

أسماء المواد:

I- غاز رطب .

II- متكثف .

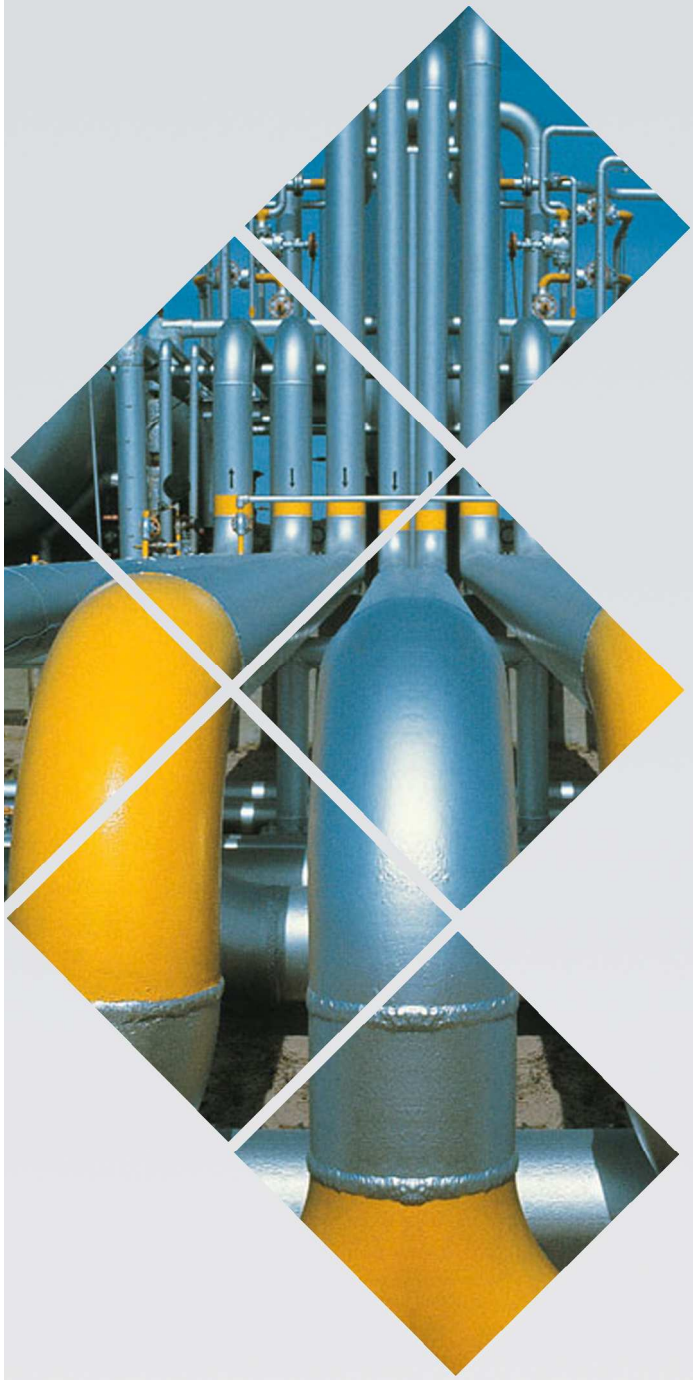
III- غاز جاف .

IV- غاز ساخن .

VI- غاز ساخن مشبع .

V- بخار .

X- ماء.



:: المحاضرة الرابعة ::

فصل الغازات

3- 1- مقـــــــدمة.

3- 2- الامتصاص.

3- 3- الانتشاف الكيميائي.

3- 4- الانتشاف المفرط.

3- 5- الفصل عند درجات الحرارة المنخفضة.

:: فصل الغازات ::
وحدات الفصل التجزيئي للغاز

تجري عملية فصل الغازات (سواء الطبيعية أو غازات المصافي) بهدف إزالة الهيدروكربونات الغازية الثقيلة (C_5-C_7) بغرض تحسين المواصفات الفيزيائية للغاز، ويتطلب في صناعة البترول المسال فصل البروبان والبيوتان أولاً قبل مزجهما حسب المواصفات المطلوبة. كما يحصل فصل الغازات بهدف الحصول على مشتقات معينة أو مركبات هيدروكربونية موحدة .

تستخدم الطرق الآتية لفصل المخاليط الغازية الى قطفات (أجزاء) و إلى هيدروكربونات منفردة ذات درجة نقاوة محددة :

- الامتصاص (**Absorption**).
- الامتزاز (**adsorption**) .
- تكرير التقطير (**rectification**) (تحت الضغط والتبريد الشديد).
- الانتشاف الكيميائي (**Chemisorptions**).

الامتصاص (Absorption):

يستخدم لفصل القطفات التي تضم المـــــركبات من البروبيلين إلى البنتان و الايثيلين من المخلوط الغازي . ويمكن أن يدخل الإيثان و الايثيلين في تركيب الأجزاء المنفصلة .

وتتلخص هذه الطريقة في جعل المخلوط الغازي يتلامس مع الزيت الممتص (مادة الامتصاص) الذي يتحرك في اتجاه مضاد للغاز . وتذوب المركبات الغازية في السائل، وتكون درجة ذوبانها مختلفة.

وكلما زاد الوزن الجزئي زاد الوزن الجزئي كلما كانت درجة ذوبانه في مادة الامتصاص أحسن. فالبنتان مثلاً يذوب كلياً أما البيوتان يُمتص (95% – 90) والبروبان بنسبة (80% – 75) و الإيثان بنسبة (30% – 25) في حين يمتص الميثان بكمية قليلة نسبياً. و تحدد ظروف إجراء عملية الامتصاص (الضغط – درجة الحرارة – النسبة بين مادة الامتصاص والغاز) على أساس درجة الاستخلاص الضرورية للمركب من الغاز. و يُجرى لمادة الامتصاص تحت ضغط (**atm 20 – 12**).

و برفع الضغط تزداد درجة الاستخلاص المركبات من الغاز. وتزداد درجة الاستخلاص كذلك بخفض درجة حرارة الامتصاص. ويكون امتصاص الغاز بالسائل مصحوباً بانطلاق الحرارة (حرارة الامتصاص) ونتيجة لذلك تسخن مادة الامتصاص أثناء عملية التشبع. ومع ارتفاع درجة الحرارة يزداد ضغط المركبات الغازية في المحلول مما يؤدي إلى إساءة عمليه الامتصاص . وتتوقف تماماً عملية الامتصاص عند درجات الحرارة المرتفعة وتبدأ العملية العكسية لها وهي عملية المج . وتجري عملية تبريد مرحلية في أجهزه الامتصاص لتجنب رفع حرارة مادة الامتصاص. وتجري عملية الامتصاص عملياً عند درجات حرارة لا تزيد عن ($35C^0$).

على ذلك فإن كلاً من زيادة ضغط الغازات فوق السائل وخفض درجة حرارة الامتصاص والضغط الجزئي للغازات في المحلول يرفع معامل الامتصاص .

ويعتمد معامل الامتصاص (حجم الغاز بـ($م^3$) الذي يمتصه . **1**كجم من مادة الامتصاص) علاوة على درجة الحرارة والضغط وعلى عدة عوامل أخرى.

فلزيادة معامل الامتصاص يجب أيضاً زيادة سطح التلامس بين مادة الامتصاص والغاز . ويمكن التوصل إلى سطح التلامس الكبير عن طريق تكوين الرغاوي والضباب من رذاذ مادة الامتصاص على السطح الفاصل بين الطورين ويعتمد تكون الرغاوي والضباب على سرعة الغاز الخاضع للامتصاص و المار خلال السائل. فبزيادة سرعة الغاز المكون للفقاقيع تزداد درجة تكون الرغاوي في السائل وتتحسن ظروف امتصاص الغاز. إلا أنّ زيادة السرعة بدرجة كبيرة تؤدي الى زيادة الجرف الميكانيكي لقطرات السائل المعلقة في الغاز

الخارج مما يؤدي بدوره إلى إساءة عملية الامتصاص. ولذلك تحدد سرعه حركة الغاز في الحدود المثلى لخفض درجة جرف مادة الامتصاص مع الغاز الخارج. ويزداد فقد مادة الامتصاص أيضاً مع الغاز الجاف الخارج بزيادة ضغط أبخره مادة الامتصاص المشبعة. ويتطلب هذا الوضع استخدام مادة امتصاص أكثر ثقلاً مع أنه في هذه الحالة تسوء قدرتها الامتصاصية . ويمكن التوصل الى رفع فعالية الامتصاص بزيادة النسبة بين مادة الامتصاص والغاز.

ويستخدم الديزل والكيروسين وقطفات الكيروسين وزيت الغاز البترولي كمواد امتصاص، كما يستعمل في بعض الحالات البنزين المنزوع منه البيوتان. وتتجه مادة الامتصاص المشبعة بالهيدروكربونات إلى عمليه المج التي يكون من نتيجتها طرد وتكثيف المركبات الغازية الذائبة في مادة الامتصاص ويخضع المتكثف لعملية تكرير التقطير في حالة ضرورة الحصول على الهيدروكربونات المنفردة . وبما أن الهيدروجين والميثان والجزء الإيثان ـ إيثيلين تذوب أيضاً في مادة الامتصاص، فإنها قد توجد بكميات قليلة في المتكثف.

ويؤدي وجود الهيدروجين والميثان في متكثف عمليه المج الى إساءة ظروف فصله الى مركبات منفردة. ولذلك تخضع مادة الامتصاص المشبعة قبل عملية السبح لعملية التعرية (أي تجرى عملية المج جزئياً على حساب رفع درجه الحرارة أو خفض الضغط التي ينفصل عندها الهيدروجين والميثان) كما ينفصل الإيثان جزئياً (إذا لم يطلب استخلاصه من الغاز).

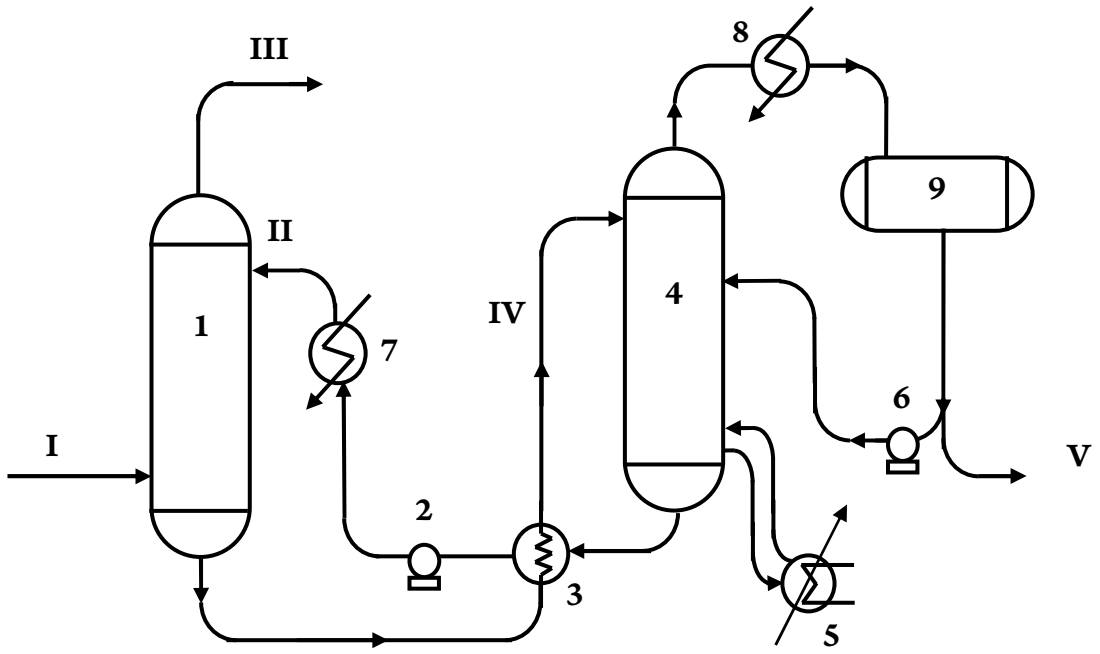
وتنفصل من المتكثف مع هذه الهيدروكربونات أثناء التعرية الهيدروكربونات الأخرى (أجزاء البروبان- بروبلين والبيوتان – بيوتيليين) . ونظراً لذلك يُعاد امتصاص الغاز (تكرير الامتصاص) في بعض الحالات.

وفي بعض المخططات يُجمع بين الأجهزة التي تجري فيها التعرية وتكرير الامتصاص في جهاز واحد (عام) تجري عمليه التعرية في جزئه السفلي وتكرير الامتصاص في الجزء العلوي .

وينتشر استخدام طريقة الامتصاص لفصل الغازات الهيدروكربونية وذلك نظراً لأن عمليه الامتصاص عملية مستمرة سهلة التشغيل أوتوماتيكياً . ويوضح الشكل (رقم(6-1)) مخطط وحدة الامتصاص.

شرح العملية التكنولوجية :

1- يدخل الغاز الغني (I) من أسفل جهاز الامتصاص (1) (absorber) المزود بصواني.
2- تدخل مادة الامتصاص من أعلى جهاز الامتصاص (2)، ويخرج الغاز الفقير (III) من أعلى جهاز الامتصاص.
3- تمر مادة الامتصاص المشبعة بهيدروكربونات الغاز (IV) خلال المبادل الحراري (3) وتدخل في جهاز المج (adsorber) حيث يتم طرد الهيدروكربونات الممتصة على حساب حرارة الغلاية (5)(boiler).
4- تسحب مادة الامتصاص (المنقاة من المتكثف – الغاز) (II) من أسفل جهاز المج (4) بواسطة المضخة (2) (pump) وتُدفع في جهاز الامتصاص بعد مرورها خلال المبادل الحراري (3) والمبرد(7).
5- على هذا النحو، تمر مادة الامتصاص في المنظومة في دورة مغلقة : جهاز الامتصاص – جهاز الج – جهاز الامتصاص.
6- تخرج من أعلى جهاز المج (في الطور البخاري) المركبات الغازية المطرودة من مادة الامتصاص والتي تُكثف و تُبرد في المكثف (8) ثم تدخل في مجمع الرش (9) (accumulator of spraying) ويسحب البنزين الغازي من مجمع الرش (V) بواسطة المضخة (6) ويدفع في جهاز المج كرش تسقية.
7- يُسحب البنزين الغازي الزائد كمنتج رئيس (V).



شكل رقم (6-1): الرسم التخطيطي لوحدة امتصاص الغاز

شرح المخطط

أسماء الأجهزة:

1- جهاز امتصاص (Absorber).

(6،2)- مضخات (Pump).

3- مبادل حراري (Heat Exchanger).

4- جهاز المج (Desorber).

5- غلاية (Boiler).

(8،7)- مبرد مائي (Water Cooler).

9- مجمع الرش (Accumulator of spraying).

أسماء المواد:

I- الغاز الغني

II- مادة الامتصاص

III- الغاز الفقير

IV- مادة الامتصاص المشبعة

V- البنزين الغاز الزائد منتج

طريقة الانتشاف الكيميائي (Chemisorption):

تقوم هذه الطريقة على أساس قدرة الهيدروكربونات المنفصلة من المخلوط على تكوين مركب كيميائي مع مادة الانتشاف. ويفرق بين عمليات الامتزاز الكيميائي التي يرتبط فيها المركب الغازي بمادة انتشاف سائلة. وفي الصناعة تستخدم طرق الامتصاص الكيميائي بصورة أساسيه . وتكون في هذه الحالة مادة الامتصاص السائلة مركباً كيميائياً مع الهيدروكربونات المنفصلة. ويتحلل هذا المركب الكيميائي بسهولة إلى المركبات الأولية عند التسخين. ويمكن استخدام ثاني أكسيد الكبريت كمادة امتصاص كيميائي.

سيعطي ثاني أكسيد الكبريت مع البيوتاديين مثلاً : سلفونا حلقياً عبارة عن مادة صلبة تتحلل إلى المركبات الأولية عند تسخينها إلى درجة ($125\ C^0$)

يمكن استخدام أملاح النحاس الأحادية التكافؤ لمواد الامتصاص الكيميائي فسيكون مثلاً: المحلول النشادري لخلات النحاس الأحادي التكافؤ مع البيوتاديين مادة متراكبة. وهذا التفاعل عبارة عن تفاعل عكسي ويستخدم لاستخلاص البيوتاديين من الغاز.

طريقة الانتشاف المفرط (Hyper Sorption):

تعتبر عملية الامتزاز المستمرة (Hyper Sorption) عملية أكثر كمالاً. و تمر الغازات الخاضعة للفصل خلال الفحم النشط المتحرك باستمرار، و تتم عمليات الامتزاز والمج والتبريد في الأجهزة المستخدمة في الامتزاز المستمر (أجهزة الانتشاف المفرط) تبعاً لمرور مادة الامتزاز فيها. وتجري عملية مج الهيدروكربونات الممتزجة عند درجة حرارة عالية ($250 - 300C^0$) ولذلك لا تتحطم مادة الامتزاز بواسطة أبخرة الماء وتستبعد في هذه الحالة ضرورة تجفيفها.

ويسمح الانتشاف المفرط علاوة على ذلك بفصل القطفات بدرجة نقاوة كافية بدون استخدام أبراج التجزئة. وتجري عملية الانتشاف المفرط أوتوماتيكيا بصورة كاملة مما يؤدي إلى تحسين خدمة الوحدة بدرجة كبيرة، ويوضح الشكل (6-2) مخطط وحدة الانتشاف المفرط. وجهاز الانتشاف المفرط عبارة عن برج يتكون من أقسام الامتزاز و تكرير التقطير و التبخير و الطرد بالبخار.

شرح عملية الانتشاف المفرط:

يجري فصل الغازات على النحو التالي:

1- تمر مادة الامتزاز (الفحم النشط) الخارجة من الصومعة (1) خلال المبرد (2) حيث يتم تبريدها بالماء وتدخل في منطقة الامتزاز (3) ثم تتحرك بعد ذلك في الجزء السفلي من الجهاز.

2- يدخل الغاز الأولي في الجزء السفلي لمنطقة الامتزاز (I) عن طريق صواني التوزيع.

3- يمر هـــذا الغـــاز في الجهاز بتيار مضاد لتيار مادة الامتزاز . وتجري عملية الامتزاز في المنطقة (3) تحت ضغط (10-11 atm)، وعند درجة (40-50C0).

4- تسحب الغازات الخفيفة التي لم تمتز (II)(الميثان والهيدروجين) من الجزء العلوي لقسم الامتزاز الموجود أسفل المبرد(2) مباشرة ، وتتجه الغازات إلى شبكة وقود المصنع.

5- تتقابل مادة الامتزاز في منطقة تكرير التقطير(4) مع تيار الهيدروكربونات الثقيلة المنفصلة من مادة الامتزاز في منطقة التبخير. وفي هذه المنطقة تُطرد المركبات الثقيلة مركبات الغاز الأخف من مادة الامتزاز.

6- تجمع هذه المركبات الخفيفة كمنتج جانبي (مقطرات جانبية C3,C4) وتتحرك مادة الامتزاز إلى أسفل عن طريق صينية الانتقاء السفلي و تدخل في منطقة الطرد بالبخار(5).

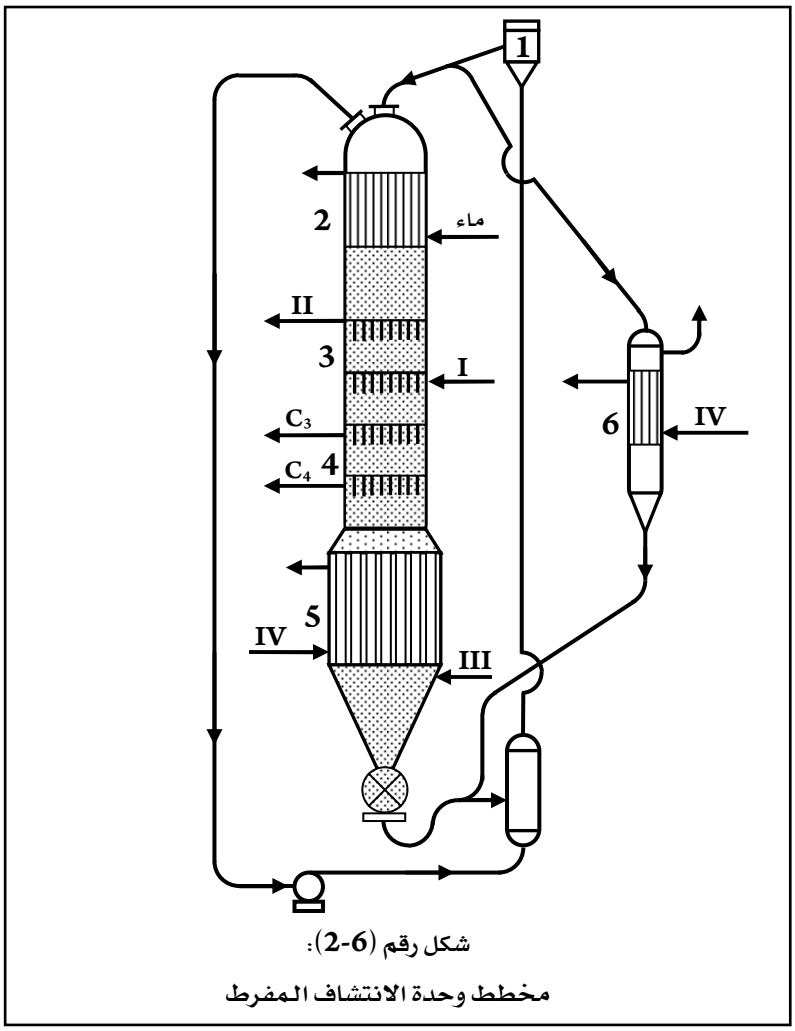
7- تطرد الهيدروكربونات في هذه المنطقة بواسطة بخار الماء (III) عند درجة (290-300C0) ويسحب جزء من الهيدروكربونات ويرتفع جزء إلى منطقة تكرير التقطير(4).

8- تخرج مادة الامتزاز الساخنة بعد فصل الغاز الممتز منها من الجزء السفلي لجهاز الانتشاف المفرط وترتفع إلى الصومعة العليا بواسطة رافعة أو بواسطة مصعد الغاز.

9- يعمل المسترجع (6) إلى جانب جهاز الانتشاف المفرط للمحافظة على فعالية مادة الامتزاز.

10- تجـــــري عملية استرجاع مادة الامتزاز عند درجة ($560\text{-}600\ C^0$) ويحـــافظ على هذه الدرجـــــة بواسطة وسط التسخين (IV).

الطريقة المذكورة ذات فعالية كبيرة في حالة استخلاص الايثيلين من الغازات الفقيرة. وطريقة الانتشاف المفرط أكثر اقتصادية من طريقة الامتصاص في حالة فصل الغاز الطبيعي إلى قطفات (الإيثان والبروبان والبيوتان و أعلى من ذلك).



شكل رقم (2-6):

مخطط وحدة الانتشاف المفرط

شرح المخطط

أسماء الأجهزة:

1- الصومعة.

2- مبرد مائي.

3- منطقة الامتزاز.

4- منطقة تكرير التقطير.

5- جهاز الطرد بالبخار.

6- المسترجع.

أسماء المواد:

I- الغاز الخام الأولي .

II- الغازات الخفيفة (CH_4,H_2).

III- بخار الماء الساخن.

IV- وسط التسخين.

:: Ideal gas transformation::

- السعات الحرارية :

1- السعة الحرارية عند ثبات الضغط:

$$C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$$

2- السعة الحرارية عند ثبات الحجم

$$C_V = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_V$$

- **الفرق بين السعة الحرارية عند ثبات الضغط والسعة الحرارية عند ثبات الحجم :**

- **أولاً: الغازات المثالية :**

$$C_P - C_V = R \quad , \quad n = 1$$

- **ثانياً : المواد الصلبة والسوائل :**

$$C_P \equiv C_V$$

- **علاقة السعة الحرارية بدرجة الحرارة**

$$C_P = a + bT + cT^2 + dT^3$$

حيث أنّ: (a,b,c) عبارة عن ثوابت تختلف من غاز لآخر ومن مادة لأخرى

عمليات عند ثبات الغاز :

$$dU = C_V dT \qquad \dots (1)$$
$$dH = C_P dT \qquad \dots (2)$$

تكامل (1) و (2) يؤدي إلى:

$$\Delta U = C_V(T_2 - T_1) \qquad \dots (3)$$
$$\Delta H = C_P(T_2 - T_1) \qquad \dots (4)$$

تغير الحالة الكظومي (الأدييباتيكي):

توجد ثلاث قوانين تعرف بقوانين " بويزون"

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \qquad \dots (5)$$

$$T_1 P_1^{1-\gamma} = T_2 P_2^{1-\gamma} \qquad \dots (6)$$

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}, PV^{\gamma} = constant$$

$$where: \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

العزل عند درجة الحرارة المنخفضة (Low Temperature Separation):

التجفيف للغاز والحصول على المكثف من الغاز المعرض للتجفيف يمكن الجمع بينهما في عملية العزل عند درجة الحرارة المنخفضة .(L.T.S) إن العزل عند درجة الحرارة المنخفضة الذي يعتبر أكثر الوسائل فعاليه التي ابتكرت لحد الآن لمعالجة الغاز والمكثف العالي الضغط عند رأس البئر يمكن أن يؤدي الوظائف التالية:

1- عزل الماء والسائل الهيدروكربوني من مدخل مجرى البئر.
2- استخلاص كمية اكبر للسوائل من الغاز منها بعازلات درجه الحرارة الاعتيادية.
3- تجفيف الغاز الى الحد المسموح به ضمن مواصفات أنبوب النقل.

عند تبريد الغاز عن طريق استخدام محطات التبريد الصناعي يمكن في نفس الوقت عزل الهيدروكربون و الرطوبة (لتجنب تكوين الهيدرات عند دخول الغاز الخام قبل المبادل الحراري (غاز- غاز) يُرش (يدفع) بقطرات من الميثانول (CH_3O_4) أو الجليكول). (نقطة الندى)(Dew point) بالرطوبة تحددها درجة الحرارة وتركيز الجليكول عند مخرج المبادل الحراري محطة (L.T.S). تعمل بطاقة إنتاجية قدرها ($4*10^6$ م^3) مع استخدام محطة إنتاج التبريد الصناعي.

شرح العملية التكنولوجية:

1- الغاز الرطب (I) بدرجة حرارة قدرها (40C0) وضغط قدره (5.5 MPa.) توجه في الوسط الأنبوبي للمبادلات الحرارية (T-1) والذي سيتم فيها التبريد عن طريق الغاز المعاكس (تيار معاكس) إلى درجة حرارة فدرها ($-5C^0$).
2- كنتيجة لتبخر المبرد (Refrigerant) (قد يستخدم البروبان ،النشادر) وغيرها من المواد التي تتبخر عند درجات حرارة واطئة جداً) ذو التيار الأمامي (التوافقي) الهيدروكربونات الثقيلة تنفصل عن الغاز في أجهزة الفصل (Separators) (C_1-C_2)
3- في جهاز فصل المرحلة الأولى (C-1)، يفصل المتكثف والرطوبة (III) المنزوعة من الغاز الآتي من المكمن الى جهاز الفصل .
4- في جهاز فصل المرحلة الثانية(C-2)، يفصل خليط المتكثف مع الجليكول (IV).
5- بعد ذلك يدفع الغاز الى الوسط الأنبوبي، لجهاز التبخير (Vaporizer)(N-1)، والذي يتم فيه نتيجة للتبادل الحراري بين بخار المبرد (Refrigerant) والغاز، ويبرد الغاز إلى درجة ($-12\ C^0$). يُوجه إلى (C-3) للفصل إذا كان هناك سائل.
6- السائل المفصول من جهاز الفصل (C-3)، يُوجه إلى التقسيم ، أما الغاز البارد المنقى والمجفف بعد عبوره من خلال المبادلات الحرارية (T-1,T-2) يُسخن إلى حرارة ($30\text{-}35C^0$) مع ضغط (5.3-5.4 MPa) يُوجه إلى أنبوب النقل.

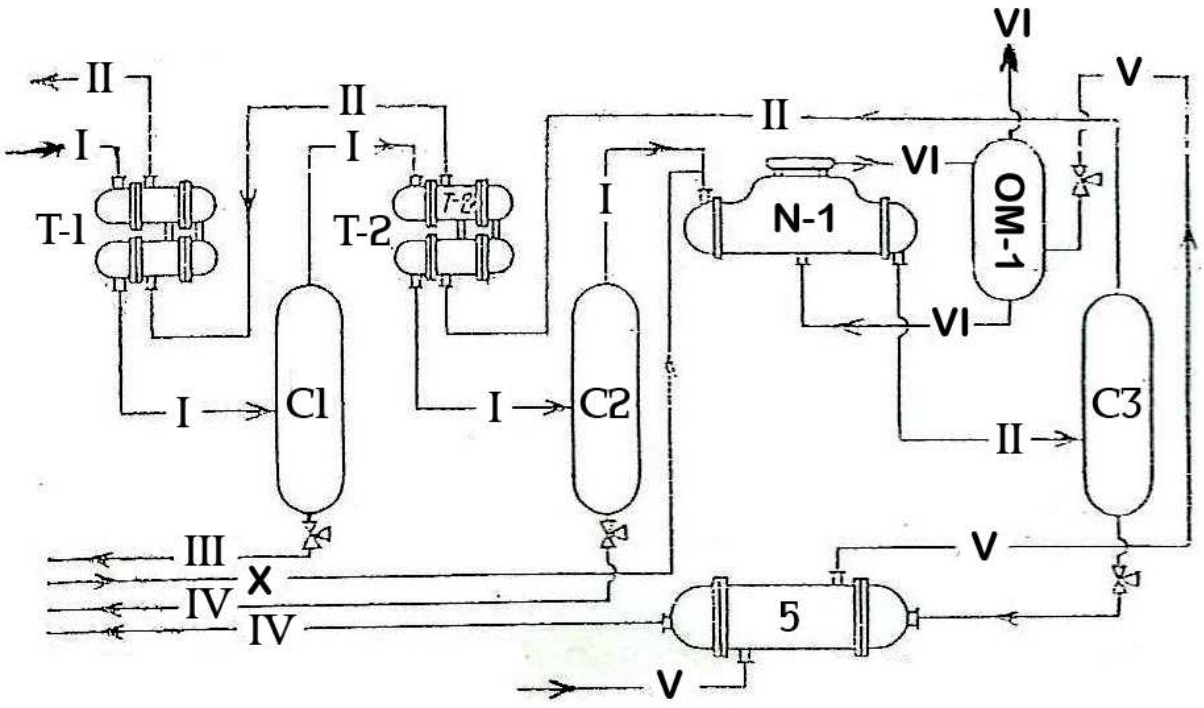
شرح المخطط

أسماء الأجهزة:

1- مبادلات حرارية (T1 - T 2)
2- أجهزة الفصل C 1 – C2 – C3 (separator)
3- مبخر (Vaporizer) (N -1)
4- فاصل السائل (Om – 1)
5- مبادل حراري للتحكم بالبرد (Cold) للمكثف.

أسماء المواد:

I- الغاز الخام .
II- الغاز الجاف .
III- خليط المتكثف مع الماء.
IV- خليط المتكثف مع الجليكول أو (الميثانول).
VI- نشادر في حالة غازية (بخر).
V- نشادر سائل .
X- جليكول منشط .



شكل رقم (7): الرسم التخطيطي لمحطة العزل عند درجة الحرارة المنخفضة

شرح عملية تدوير التبريد بين محطة (L.T.S) ، و محطة إنتاج الصقيع :

ومن الشكل رقم (8) الموقع في الأسفل:

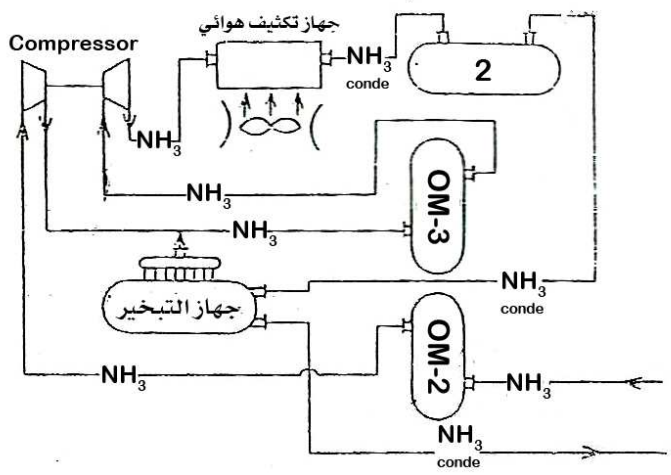
1- النشادر في الحالة البخارية من جهاز التبخير في محطة (L.T. S) (N-P-3) مع الضغط (0.18 MPa)، ودرجة حرارة من (C^0 23 – 18)، يوجه إلى محطات التبريد إلى فاصل السائل الجاف (Om – 2) .

2- بعد ذلك تضغط (يعرض للضغط النشادر السائل) في جهاز الضغط (Compressor).

3- بخار النشادر المضغوط يخلط مع بخار النشادر الأتي من الخزان المؤقت (سعة- 250).

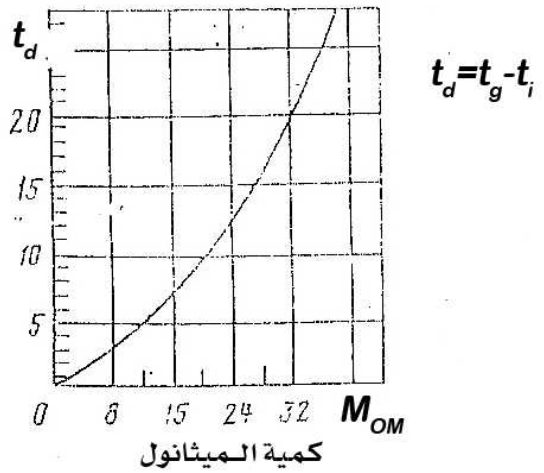
4- بعد هذا الخلط مرة ثانية يضغط بخار النشادر ويدفع الى جهاز التكثيف الهوائي.

5- النشادر المكثف يوجه إلى (RESIVER) الخطي (2) ومن ثم من خلال جهاز التبخير إلى محطة (L.T. S).

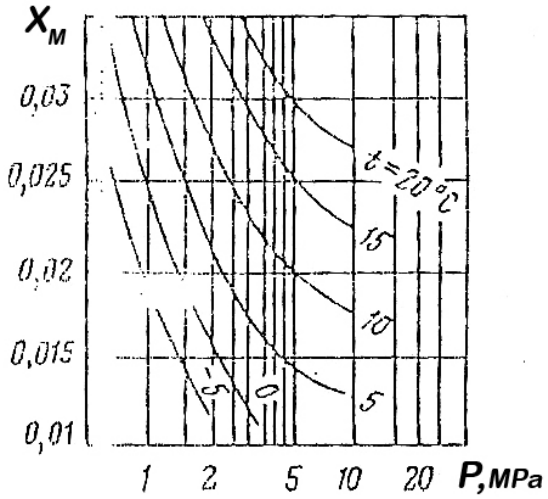


شكل رقم (8):

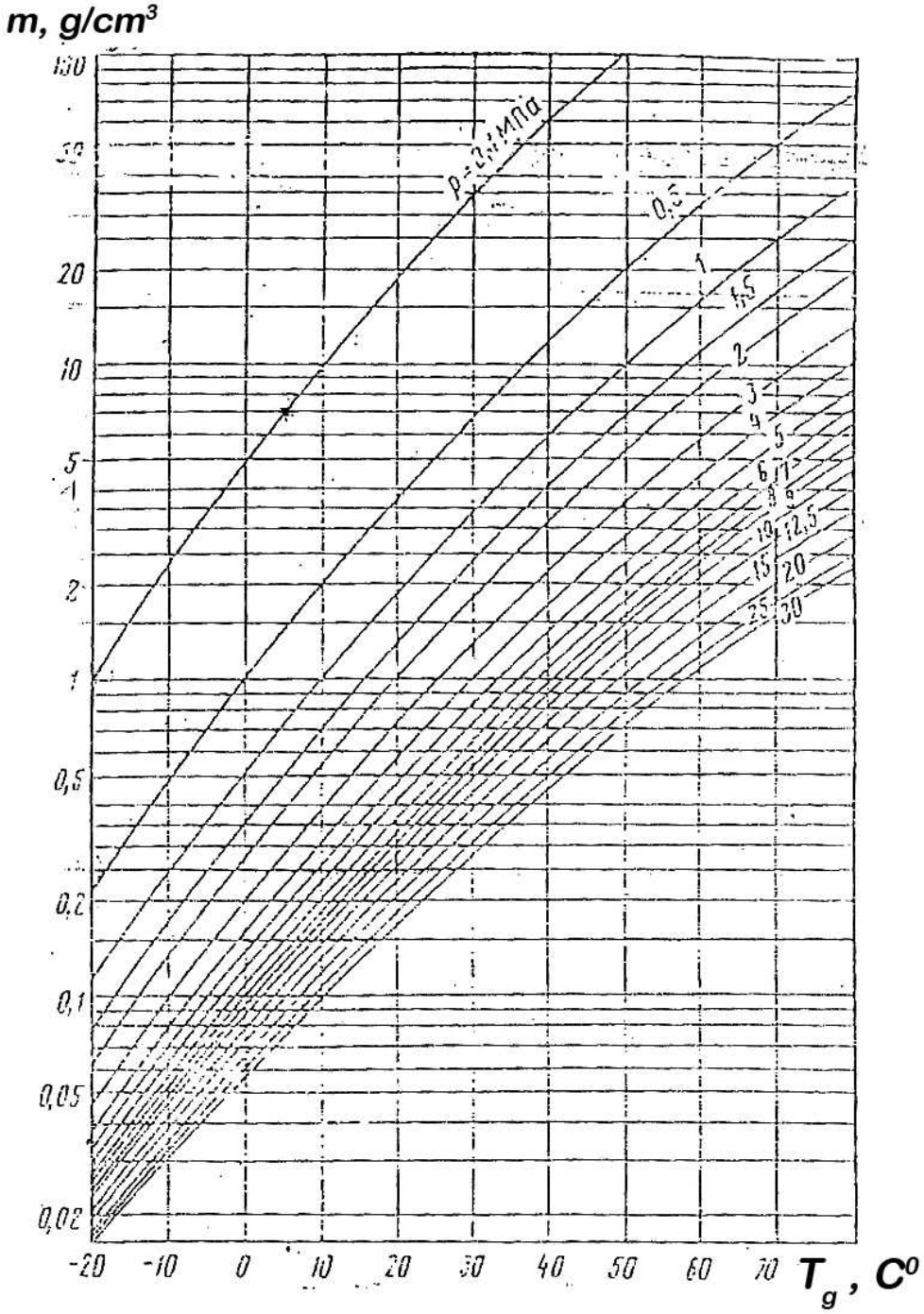
وحدة إعادة تدوير التبريد



مخطط رقم (3):
انخفاض درجة التجمد للسائل
اعتماداً على كمية (محتوى)
الميثانول (M_{OM})



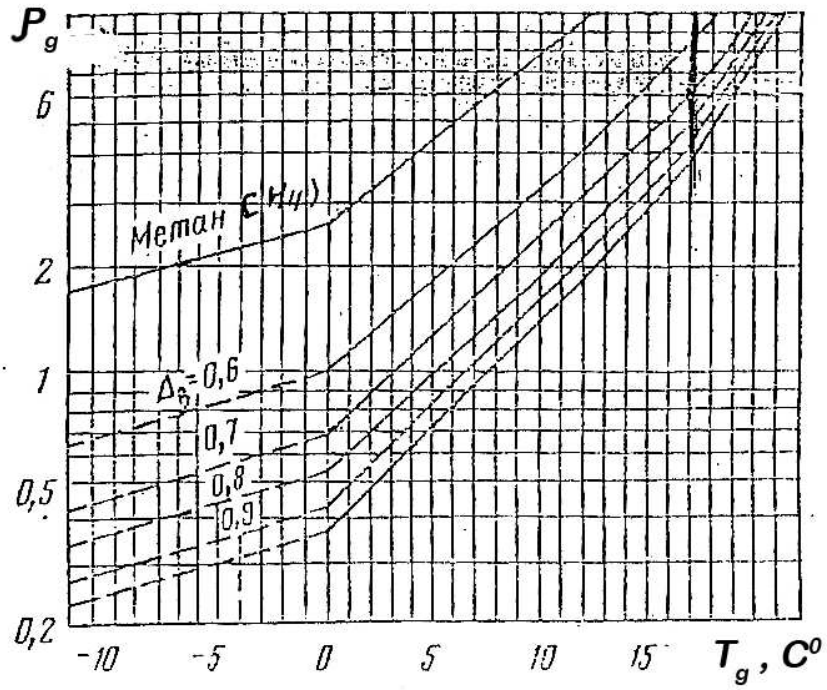
مخطط رقم (4):
كمية (محتوى) الميثانول في الطورين الغازي (البخاري) والسائل
اعتماداً على الضغط (P) ودرجة حرارة الغاز (T)



مخطط رقم (5):

اعتماد محتوى الرطوبة القصوى (m) للغاز عند التشبع التام

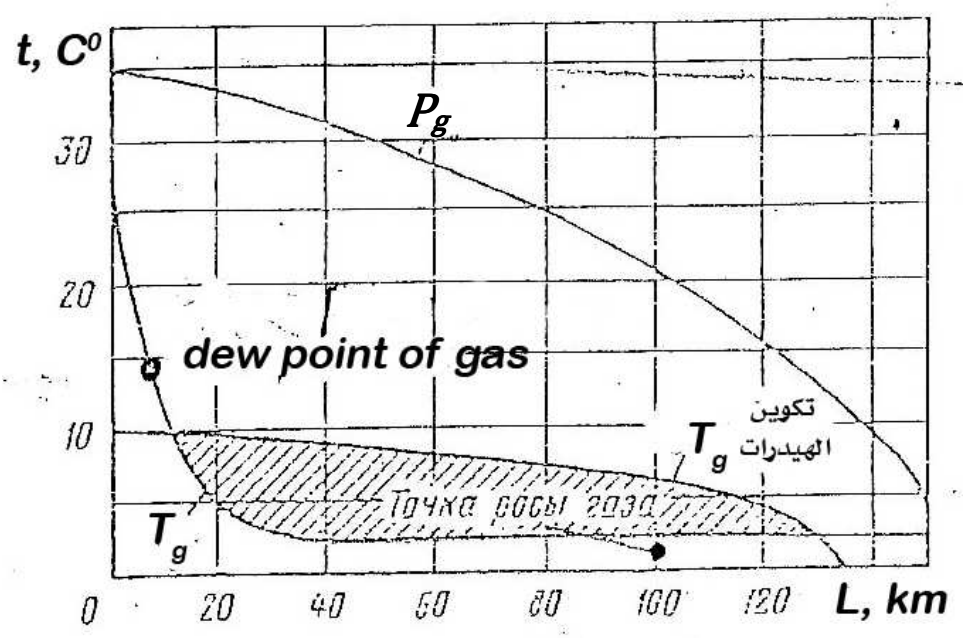
على الضغط (P) ودرجة الحرارة (t_g) للغاز



مخطط رقم (6):

مخطط تكوين الهيدرات للغازات الطبيعية التي تمتلك

كثافة نسبية مختلفة (ΔB)



مخطط رقم (7):

تقدير الحرارة والضغط ومكان تكون الهيدرات في أنبوب النقل

:: المحاضرة الخامسة ::

الغازات السائلة

3- 1- مقـــــــدمة.

3- 2- طرق إسالة الغازات.

3- 3- دورة التثليج المتعددة.

3- 4- تحولات الغاز المثالي.

:: الغازات السائلة ::

تشكل الغازات السائلة وقود ملائم يتميز كونه نظيف الاستعمال. أي لا يعمل على تلوث البيئة وسهولة السيطرة على الاحتراق ودرجة حرارة اللهب العالية نسبياً، ويساعد تحويل الغاز الطبيعي إلى الحالة السائلة على خزن كميات كبيرة منه في حيز صغير ويسهل عملية نقلة لمسافات طويلة. إذ إنه عند التسييل يقل حجم الغاز بحوالي (600) مرة كما أنّ مليار متر مكعب من الغاز يزن حوالي (700) ألف طن عند التسييل.

لقد جرت منذ أوائل القرن الثامن عشر محأولات عديدة لإسالة الغاز وكانت معظمها فاشلة لأنها اقتصرت على زيادة الضغط ولقد أصبح معروفاً بأن أي محأولة لإسالة غاز ما يجب أن يسبقها تبريد الغاز إلى درجة حرارة منخفضة أولاً وعند ذلك يلزم مقدار من الضغط لانجاز عملية الإسالة.

كان لاتور (Latur) أول من أدرك هذه الحقيقة. إذ استنتج من تجاربه بأنه توجد حرارة معينة عند تجأوزها لا يمكن تحويل الغاز إلى سائل مهما كان الضغط الواقع عليه وقد سمى هذه الدرجة بالدرجة الحرجة ويُدعى الضغط اللازم لإسالة الغاز عند هذه الدرجة بالضغط الحرج ويسمى حجم كمية الغاز عند درجته وضغطه الحرجين بالحجم الحرج.

:: طرق إسالة الغازات ::

اليوم تُحضر جميع الغازات صناعياً (أي تحويلها إلى سائل) بالرغم من تفأوت خواصها بعملية تقنية متشابهة بحيث تشكل عمليات الإسالة بالتثليج (refrigeration) خطوة مشتركة ضمن خطوات التحضير.

وتعتمد طرق إسالة الغازات بصورة عامة استنباط (إيجاد) وسائل لإحداث التبريد الشديد أهمها:

1- **استعمال مخاليط التجميد:**
يمكن الحصول على ($-20\ C^0$) تحت الضغط من خليط الثلج و كلوريد الصوديوم وعلى ($-50\ C^0$) بإضافة كلوريد الكالسيوم إلى الخليط.

2- **التبريد بالتمدد العزلي (Adiabatic):**
لغازات مكبوسة وباردة وعلى هذا الأساس تبنى أجهزة لإسالة كثير من الغازات .

3- **التبريد بالتبخر السريع للسوائل الطيارة:**
وقد انتفع به في صنع الثلج باستعمال الأمونيا.

4- **التبريد بتأثير جول ـ تومسون (Joule -Thomson effect):**
تعتمد الطرق الحديثة لإسالة الغازات الدائمة على تأثير جول – تومسون. وقد أسفرت تجاربهما سنة (1852-1862) عن أنه قليلاً من التبريد ينتج لمعظم الغازات المكبوسة عندما يسمح بها بالانتشار خلال حاجز مسامي إلى فضاء فارغ أو أقل ضغطاً منها. ويكون التبريد ناتج لحركة ووضع جزئيات الغاز بهدف تسييل الغازات الجاف (Natural Gas) الطبيعية لتحويله إلى سائل مناسب للخزن والنقل خاصة عند التسويق لمسافات طويلة.

ويتم تحويل الغاز الطبيعي إلى سائل تحت الضغط الاعتيادي عن طريق تبريداً منخفضاً ($-161: -165\ C^0$) وامتصاص حرارة الغاز حتى درجات التسييل وثم الحرارة الكامنة للتسييل لمكوناته الهيدروكربونية. قبل مراحل التسييل يتطلب معالجة الغاز الطبيعي بهدف فصل الغازات الحامضية ونزع الرطوبة وغيرها من الشوائب (المحاضرات السابقة) كما يتطلب إزالة الهيدروكربونات الغازية الثقيلة ، البنتان و الهكسان.

بالإمكان تسييل البروبان التجاري عند درجات الحرارة الاعتيادية باستعمال ضغط حوالي (8.5 - 9 atm) ، أما البيوتان التجاري فبالإمكان تسييله عند درجات الحرارة الاعتيادية باستعمال ضغط حوالي (2.1 جوي).

ما المقصود بغاز البترول المسال (LPG)؟

هو عبارة عن مزيج من البروبان التجاري والبيوتان التجاري بنسب تُحدد حسب موسم السنة ومجالات الاستعمال، ويُضاف إليها أي غازات البترول المسالة قليل من مركبات الكبريت العضوية لإعطاء رائحة قوية مميزة للتحذير عند تسرب الغاز. وتُجهز تحت الضغط في قناني (دباب) ذات سعة تصل إلى (35-50 kg).

عمليات الإسالة للغازات يتم عن طريق امتصاص الحرارة من الغاز أثناء عملية التسييل بطريقتين أساسيتين:

1- إما بالتبريد باستعمال عملية التصقيع (Refrigeration). حيث يتم إمرار الغاز خلال مصقعات درجة حرارتها تنخفض تدريجياً فتسيل الغازات حسب كتلها الجزئية على أساس أن الغازات الثقيلة تُسال أولاً أي أن انخفاض درجة الحرارة يصاحبه تسييل للغازات تدريجياً، حيث يُسال البنتان ثم البيوتان ثم البروبان ثم الإيثان ثم الميثان على التوالي.

2- استعمال خليط من الهيدروكربونات الغازية و النتروجين (t_{bol}=-195.8 C^0) كمادة مبردة واحدة في عملية التصقيع، وتعتمد هذه الطريقة على السماح للغاز الموجود تحت الضغط بالتمدد. أي إزالة الضغط، في ممددات خاصة (Expanders) عند ذلك يتم تبريده إلى درجة التسييل (يُستفاد من تمدد الغاز بتأدية شغل خارجي حيث يحرك أثناء تمدده ماكينات مناسبة)

:: إنّ عمليات تمدد الغازات باعثة للحرارة بينما عملية انضغاطها (زيادة الضغط) ماصة للحرارة ::

تعتبر محطات الضغط مع محطات التبريد هي أساس العملية التكنولوجية لتسييل الغازات بشكل عام سوى كانت غازات طبيعية أو بترولية وحتى الهواء الجوي. وتنقسم محطات الضغط تبعاً لنوع المنتج المضغوط إلى محطات ضغط غازية ومحطات ضغط هوائية، وتستخدم محطات الضغط الغازية لضغط الغاز إلى ضغط معين ثم نقله إلى وحدة المعالجة. وتنقسم الضواغط (Compressors) تبعاً لمقدار ضغط الغاز المضغوط (الضغط الزائد) (Excessive pressure) إلى:

1- ضواغط الضغط المنخفض (من 3-25 atm)
2- ضواغط الضغط المتوسط (25-60 atm)
3- ضواغط الضغط المرتفع (60-350 atm)
4- ضواغط الضغط فوق المرتفع (أكثر من 350 atm)

وتعتمد إنتاجية الضاغط أساساً على ضغط الغاز المسحوب وعلى سعة المرحلة الأولى وارتفاع الضغط في خط السحب.

نموذج إسالة غاز (هواء):

تقوم العملية التكنولوجية لإسالة أي غاز على أساس توفير بعض الشروط المهمة ومنها المعرفة التامة لخواص المادة المراد تسييلها من حيث درجة حرارتها الحرجة وكذلك معرفة درجة غليان وانصهار هذه الغازات (سوى غازات الهواء الجوي أو غازات البترول و لنأخذ على سبيل المثال تسييل الهواء المكون أساساً من النتروجين و الأكسجين أو عملية فصل احدهما عن الآخر ، حيث يمكن الفصل بينهما اعتماداً على مدى الفرق في درجة الغليان (درجة غليان النيتروجين (-195.8 C^0) ودرجة غليان الأوكسجين (-183 C^0) فعند تسخين الهواء المسال يحتوي الطور البخاري على غاز النيتروجين ويكون السائل المتبقي هو الأوكسجين.

أبسط الأجهزة لإسالة الهواء أو الغاز هو جهاز (Linde and Mompson) والجهاز عبارة عن أنبوبين نحاسيين مزدوجين وحلزونيين وتوجد فتحة إلى غرفة واسعة حيث يحصل تمدد للغاز . ويعمل هذا الجهاز على النحو التالي :

1- يُكبس الهواء النقي (الغاز الطبيعي) أولاً بمقدار (200 atm).

2- تُسحب الحرارة الناجمة عن الكبس عن طريق جهاز تبريد مائي.
3- يدخل الهواء المكبوس الأنبوب الداخلي من الأنبوبيين النحاسيين المزدوجين.
4- يُسمح للهواء (الغاز) في نهاية الأنبوب بالتمدد فجأة من خلال فتحة ضيقة إلى غرفة واسعة فيبرد الهواء.
5- يدخل الهواء المبرد بعد غرفة التسييل إلى الأنبوب الخارجي مسبباً هذه المرة تبريد الغاز (الهواء) المستمر في الدخول إلى الأنبوب الداخلي وهكذا يستمر التبريد حتى يسيل الهواء.(يسمح تبريد الغاز إلى درجات حرارة منخفضة، بخفض الضغط اللازم لتكثف الهيدروكربونات)

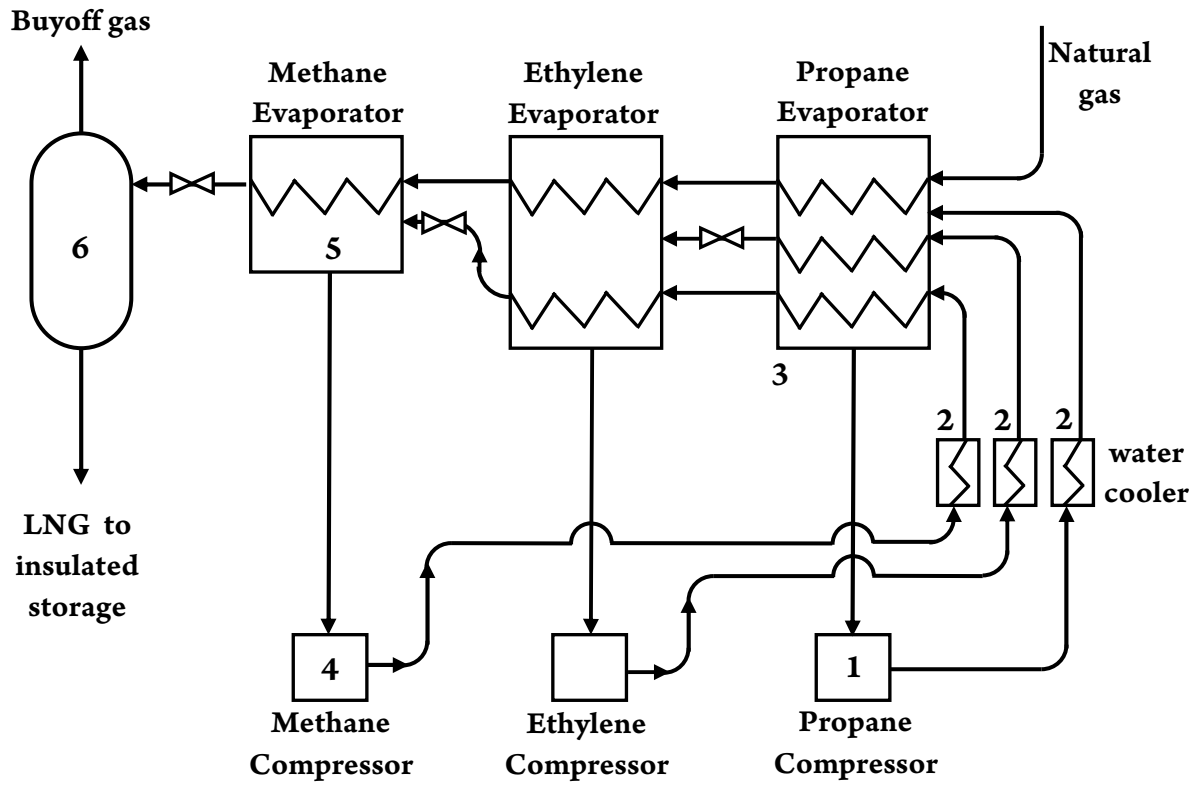
:: إسالة الغازات الطبيعية دورة التثليج المتعددة ::
:: Multiple Refrigerant Cycle ::

يمكن إسالة الغازات الطبيعية على نفس المبدأ المذكور سابقاً وتستخدم محطات دورة التثليج المتعددة، حيث يستخدم في هذا النظام عدد من دورات التثليج المنفصلة لانخفاض درجة حرارة الغاز الطبيعي بمراحل إلى ($162\ C^0$-) (معلوم أن درجة غليان الميثان ($161.4\ C^0$-) أي أنه عند درجة حرارة أقل من هذه الدرجة يحول الغاز إلى سائل.
من الشكل رقم (9):

شرح عمل المخطط لدورة التثليج الميكانيكي :

1- يُبرد البروبان عن طريق ضغط في جهاز ضغط البروبان (1) (Propane Compressor) ومن ثم إمرار الغاز (البروبان) المضغوط من خلال جهاز تبريد مائي (2) للتخلص من حرارة الكبس، ومن هناك يدفع إلى جهاز التبخير البروباني (3) (Propane Evaporator) بحيث يُسمح للبروبان المضغوط بالانتشار (يقل الضغط) فيبرد بشدة ويستخدم بخاره البارد لتبريد الغاز الطبيعي (Natural Gas) المدفع إلى الجهاز (3) عن طريق التبادل الحراري بين المادتين.
2- بُسحب البروبان البارد من (3) ويضغط من جديد في (1) إلى ضغط أعلى من ضغط المرحلة الأولى ، ثم يدفع عن طريق المبرد المائي (2) ليوجه إلى جهاز التبخير (3) وتتم الدورة (Cycle).
3- يُدفع الغاز الطبيعي (1) إلى جهاز (Propane Evaporation) (3) بحيث يبرد عن طريق البروبان المصقع أو المسال إلى درجة حرارة قدرها ($38\ C^0$-). وتسمى هذه المرحلة الأولى في التصقيع يُستخدم البروبان كمادة للتبريد.
4- في المرحلة الثانية يستخدم الايثيلين ($CH_2=CH_2$) والمضغوط ، والمسموح له بالتمدد (تُكرر نفس الخطوات السابقة في عملية التصقيع – تابع الخطوات على المخطط) في هذه المرحلة يُبرد الغاز الطبيعي إلى ($100\ C^0$-) ، مُستخدماً الايثيلين كمادة للتبريد عن طريق التبادل الحراري.
5- الغاز الطبيعي قد بُرد إلى الحد الذي يمكن إسالته تحت الضغط الواطئ في (Methane Compressor) (4) والتبريد النهائي إلى درجة ($162\ C^0$-) بعد جهاز (Methane evaporator)(5).
6- بعد (5) يوجه الغاز المسال إلى جهاز العزل (6) للحصول على الغاز المسال (LNG) الذي يوجه إلى الخزان أو النقل.

وبنفس التقنية يمكن إسالة غاز البترول وهو يشمل بصورة عامة الهيدروكربونات الثلاثية والرباعية من البروبان والبروبيلين والبيوتان الاعتيادي والبيوثيلين و الأيزوبيوتان .



شكل رقم (9): مخطط دورة التثليج الميكانيكي

:: تحولات الغاز المثالي ::
(Ideal Gas Transformation)

1- الحرارة والعمل (Heat and Work):

- الحرارة (Q):

$$Q = m.C_P(T - T_0) = m.C_P\Delta T$$

m: الكتلة.

C_P: السعة الحرارية عند ثبات الضغط .

T_0: درجة الحرارة الابتدائية

T: درجة الحرارة النهائية

- **العمل (W):**

- عمل التمدد (**Expansion Work**):

$$W = P(V_2 - V_1)$$

يستعمل هذا القانون في حالة ثبات الضغط المقابل وعند كون تغير الحجم تغيراً ملموساً أي ليس تفاضلياً.

$$W = \int_1^2 PdV, \quad W_{max,min} = nRT \int_1^2 dV/V$$

لاستعمال هذا القانون يجب ان تكون درجة الحرارة ثابتة وتغير الحجم تغيراً تفاضلياً.

- عمل الانكماش (**Compression work**):

$$W = P(V_2 - V_1), \quad V_1 > V_2$$

$$W_{max,min} = nRT \int_1^2 \frac{dV}{V}, \quad T = constant$$

- العمل في الحالة الكظومة (**Work in adiabatic state**):

$$|W_{max}| = \frac{nR(T_2 - T_1)}{1 - \gamma}, \qquad \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

C_P: السعة الحرارية عند ثبات الضغط .

C_V: السعة الحرارية عند ثبات الحجم .

2- الطاقة الداخلية (Internal Energy)

يرمز للطاقة الداخلية بالحرف (**U**)

قوانين الطاقة الداخلية الممكنة

$$\sum_i E_i = U$$

(**Ei**) : أي نوع من أنواع الطاقة سوى كان عملاً أم حرارة.

$$\sum_i \Delta E_i = \Delta U$$

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum_i n_i u_i = U$$

(**Ui**): مقدار لا يتعلق بقدرة النظام (**intensive**)

(**U**): مقدار يتعلق بقدرة النظام (**extensive**)

يعرف (**Ui**) كالتالي :

$$u_i = \left(\frac{\partial U}{\partial n_i}\right)_{T,P,n_i}$$

3- القانون الأول للثرموديناميك:

$$dU = dQ - PdV$$

حالة خاصة :

1- خط تساوي الحجم (ثبات الحجم):

$$dU = dQ \quad , \quad V = constant$$

$$\Delta U = Q$$

2- خط تساوي الضغط (ثبات الضغط)

تعريف المحتوى الحراري (**H**) (**Enthalpy**)

$$H = U + PV$$

$$\Delta H = QP$$

حيث أن الضغط ثابت يكون

هذه الحقيقة تنتج عن :

$$dH = dQ + VdP$$

$$dQ = dH - VdP$$

حيث أن (**p**) ثابت يكون

ومنه

$$dQ = dH \quad \Longrightarrow Q = \Delta H$$

:: المحاضرة السادسة ::

الفصل التجزيئي للغاز بواسطة تكرير التقطير

6- 1- مقدمة.

6- 2- عملية تقطير التكرير.

6- 3- الحسابات التكنيكية لأنابيب النقل.

:: الفصل التجزيئي للغاز بواسطة تكرير التقطير ::

لا تصلح الطرق السابقة (المحاضرة السابقة) بما في ذلك طريقة الانتشاف المفرط للفصل (الأوحد) للغازات مثل فصل الايثيلين عن الإيثان وعيب كل الطرق الامتزاز هو ضرورة فصل الهيدروكربونات الثقيلة عن المخلوط الغازي حيث أنها رديئة الانفصال عن مادة الامتزاز أثناء عملية المج.

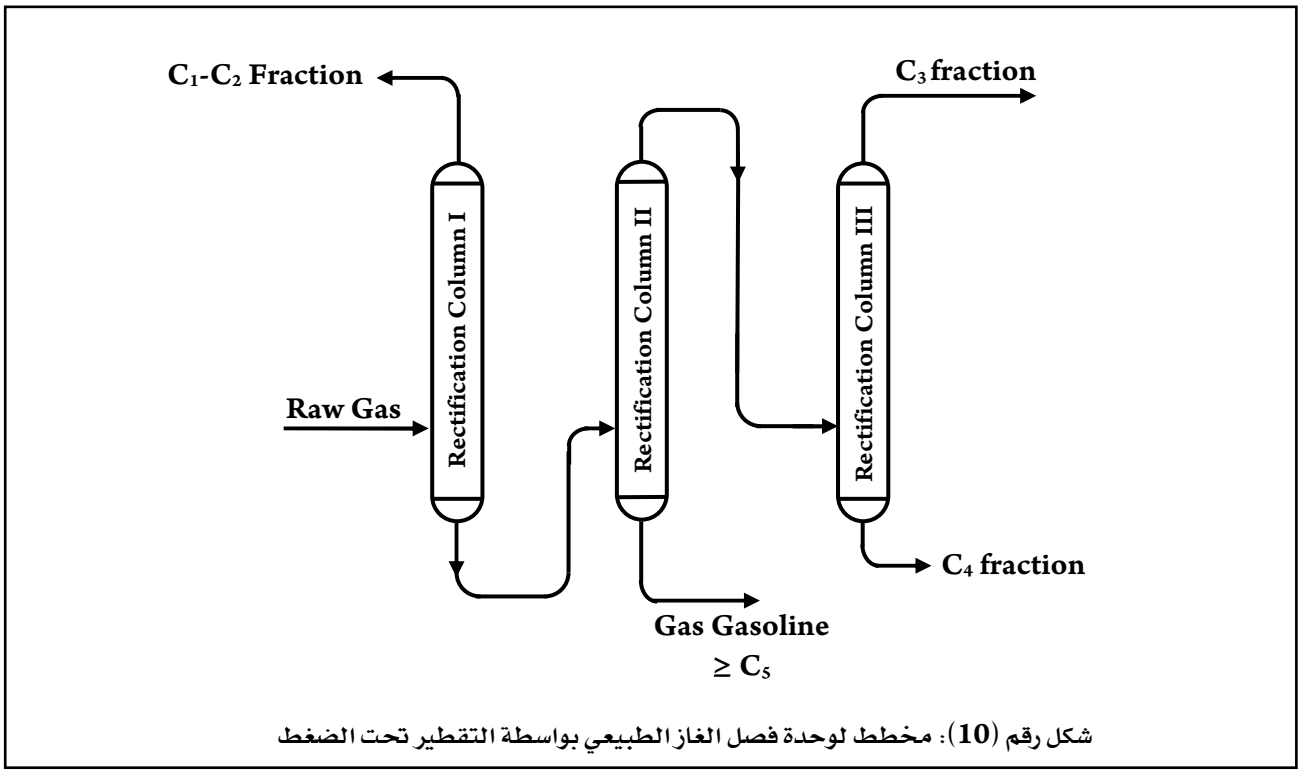
طريقة تكرير التقطير :

هي الطريقة الأساسية لفصل الغازات . ويصعب تجزئة الغازات إلى المركبات الداخلية في تركيبة من الطور الغازي مباشرة ويفصل الغاز في أغلب الأحوال إلى قطفتين واسعتين : قطفة الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئي المنخفض في صورة غازية وقطفة الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئي المرتفع في صورة سائلة.

وتفصل المنظومة الثنائية الطور (سائل – غاز) المتكونة إلى سائل وغاز ميكانيكياً ثم يخضع الطور السائل بعد ذلك لتكرير التقطير (الأدق) في أبراج التجزئة . ويتحقق فصل الطور السائل من الغاز عن طريق خفض درجة الحرارة ورفع الضغط . ويؤدي انضغاط الغاز إلى تكثف الهيدروكربونات المرتفعة الغليان مرة واحدة ولا يعطي فصلاً دقيقاً للهيدروكربونات . ويسمح تبريد المخلوط الغازي إلى درجات حرارة منخفضة بخفض الضغط اللازم لتكثف الهيدروكربونات . وتستخدم لتبريد الغازات وحدات التبريد المختلفة مثل الوحدات النشادرية ذات دورتي تبريد والتي يمكن بواسطتها التوصل إلى درجة ($100\ C^0$-) ، والوحدات التي يستخدم فيها التبريد (بالمخانق) والتي يمكن بواسطتها التوصل إلى درجات حرارة أقل (يقوم تأثير الخنق على أساس مقدرة الغازات المضغوطة على أن تبرد بشدة عندما ينخفض الضغط بسرعة).

ويتحدد اختيار هذا المخطط أو ذاك وكذلك درجات الحرارة والضغط بتركيب المخلوط الغازي الأولي (الخام) والغرض من منتجات الفصل وعدد القطفات المطلوبة ودرجة النقاوة المطلوبة في الهيدروكربونات المنفردة. ويكتفي في الصناعة في أغلب الأحوال بفصل القطفات تبعاً لعدد ذرات الكربون . وتجزأ الغازات الصناعية عند ذلك إلى الميثان وقطفات الإيثان- إيثيلين ، والبروبان – بروبيلين، والبيوتان – بيوتيلين والبنتان – (اميلين).

عمليات التقطير لفصل الغاز الطبيعي إلى مكوناته تُجرى تحت الضغط أو عند درجات الحرارة الواطئة أو الاثنين معاً . تتوقف ظروف عمل وحدات التقطير وعدد الأبراج على مكونات الغاز ودرجة النقاوة المطلوبة للمنتجات ويمثل الشكل (10) مخطط لوحدة فصل الغاز الطبيعي حيث يحصل في برج التقطير الأول عند ضغط (17.5 atm) فصل الميثان و الإيثـــان ، في البرج الثاني عند ضـــغط (9 atm) ودرجة حرارة أسفل البرج ($120\text{-}140\ C^0$)، فصل الجازولين كمتبقي في الأسفل بينما يحصل في البرج الثالث وعند ضغط (17.5 atm) و ($115\ C^0$) حرارة أسفل البرج فصل البروبان والبيوتان كما مبين في الشكل (10)



شكل رقم (10): مخطط لوحدة فصل الغاز الطبيعي بواسطة التقطير تحت الضغط

إن التطور الحديث لصناعة التخليق العضوي لا يطرح مسألة فصل الغازات فقط إلى قطفات تبعاً لعدد ذرات الكربون وإنما يطرح أيضاً فصل كل جزء (قطفة – **fraction**) إلى المركبات المنفردة. فيمكن مثلا فصل الإيثان و الايثيلين جيداً بتكرير تقطير الغازات المتكثفة تحت الضغط بما أن الفرق بين درجتي غليانهما يصل إلى($15\ C^0$) (درجة غليان الإيثان ($-88.6\ C^0$) و الإيثيلين ($-103\ C^0$))

و يُفصل أيضاً البروبان و البروبيلين اللذان يساوي الفرق بين درجتي غليانهما ($5.6\ C^0$) فقط بواسطة أبراج تكرير التقطير المزودة بعدد كبير من الرفوف (الألواح) النظرية عندما يكون معامل الراجع (**Reflux**) مرتفعاً . ويعتبر فصل الجزيئات (التي يحصل عليها من غازات التكسير) أصعب مهمة . فدرجة غليان أغلب مركبات قطفة البيوتان – بيوتيلين قريبة من بعضهما بحيث لا يمكن فصلهما بطرق تكـــرير التقطير العادية . فدرجة غليان الايزو- بيوتان (**Iso-butane**) في الظروف العادية ($-11.7\ C^0$)، و الايزو بيوتيلين ($-6.9\ C^0$)، و البيوتين ($-6.6\ C^0$) و البيوتاديين ($-4.4\ C^0$)، والبيوتان العادي ($-0.5\ C^0$).

ولفصل البيوتاديين و البيوتين ، يجب استخدام برج مزود بأكثر من **200** رف (لوح) نظري عندما يكون معامل الرجع (**25:1**) . وهذا شيء مستحيل عملياً. ولا يمكن أيضاً فصل البيوتاديين عن البيوتان العادي بواسطة تكرير التقطير بما أنهما يكونان مخلوطاً ايزوتروبياً يغلي عند درجة ($-5\ C^0$). ويتم فصل المواد التي تتقارب درجات غليانها والتي لا يمكن فصلها بطرق التجزئة العادية بطريقة تكرير التقطير الايزوتروبي. فيضاف إلى الهيدروكربونات الخاضعة للفصل مركب يكون مع أحد الهيدروكربونات مخلوطاً ايزوتروبياً تختلف درجة غليانها اختلافاً كبيراً عن درجة غليان المواد الأولية مما يؤدي إلى إمكانية تكرير تقطيرها. ويفصل في البداية بواسطة تكرير التقطير أحد المركبات التي لا تكون مخلوطاً ايزوتروبياً ثم يفصل بعد ذلك المخلوط الايزوتروبي.

:: الحسابات التكنيكية لأنابيب النقل من الحقول البترولية-الغازية ::

أنابيب النقل (pipe line) المستخدمة في الحقول البترولية:

تقسم إلى الأنواع التالية

1- بالنوعية الاستخدامية: أنابيب نقل النفط (السائل) ، أنابيب نقل الغاز ، أنابيب نقل خليط النفط مع الغاز والمياه، أنابيب نقل الماء (يمكن أن يدفع في الأنبوب النفط والغاز و كذلك مياه المكامن).

2- بنوع (حجم) الضغط العملي (**Work Pressure**):

- أنابيب الضغط المنخفض إلى (**1.6 MPa**).
- أنابيب الضغط المتوسط (**1.6-2.5 MPa**).
- أنابيب الضغط المرتفع ، أكثر من (**2.5 MPa**)

3- بنوع العمل الهيدروفليكي: تقسم إلى بسيطة (**single pipe**) ومركبة (معقدة)...

- أنابيب النقل البسيطة – هي تلك الأنابيب التي تمتلك قطر (**diameter**) ومخرج كتلي (**mass flow rate**) ثابت (غير متغيرة) على طول أنبوب النقل .
- أنابيب النقل المركبة (المعقدة) –هي تلك الأنابيب التي تمتلك تفرعات أو تمتلك أنابيب يتغير قطرها ، في مراحل متعددة من طول الأنبوب ، أنابيب النقل المركبة يمكن أن تقسم إلى أجزاء(قطع) و الذي تعتبر أنابيب نقل بسيطة.

4- على حسب طريقة الإنشاء (التصميم) : تقسم أنابيب النقل إلى أنابيب ممتدة فوق الأرض ، ممتدة تحت الأرض ، أنابيب تحت الماء و أخرى معلقة (أي معلقة في الهواء مرتكزة على أعمدة من الخرسانة المسلحة).

بما أن الكثافة والسرعة الخطية للغاز يعتمدون على الضغط لذلك من الضروري إضافة الى معادلة جريان الغاز إضافة الى معادلة (balance equation)، كمية الغاز (material balance) .

$$M = \rho\omega F$$

معادلة الحالة (وضع الغاز)

$$P = \rho z R T$$

M : التدفق الكتلي للغاز mass flow rate

F : مساحة المقطع للأنبوب النقل – مساحة مقطعة –

Z : معامل الانضغاطية للغاز (Coefficient Compressibility)

R : ثابت العام للغازات

T : حرارة النقل

عندما نكامل المعادلة تؤخذ الشروط (الظروف) والتجاوزات.

أنبوب نقل الغاز يمتلك إما ارتفاع ثابت متسلسل أو ميلان الى الأسفل متسلسل ثابت عند ذلك

$$\cos(g,x) = {}^{dh}/_{dx} = {}^{\Delta h}/_{L}$$

Δh: فرق العلامات (الإشارات) للنقاط النهائية والبدائية لأنبوب نقل الغاز

L: طول الأنبوب الجزء(القطاع) المبحوث (المنظور) للأنبوب النقل الغاز.

T: حرارة الغاز على طول خط الأنبوب النقل ثابتة.

Z: يؤخذ على أساس متوسط الضغط في أنبوب نقل الغاز.

مع الأخذ بعين الاعتبار التجاوزات المأخوذة ، نكامل المعادلة في المدى من (P_1,w_1) x=0 إلى (P_2,w_2) x=1

$$P_1^2 . e^{-bc} - P_2^2 = \lambda \frac{M^2 z K T}{F^2} . \frac{L}{D} . \frac{1 - e^{-bc}}{b}$$

حيث:

b: معامل يحسب تأثير فرق العلامات البدائية والنهاية لأنبوب نقل الغاز.

$$b = \frac{2g\Delta h}{zRT}$$

c: يحسب تأثير تغير السرعة الخطية للغاز

$$c = 1 + \frac{\alpha D}{\lambda L} ln \frac{2g\Delta h D + \lambda L \omega_1^2}{2g\Delta h D + \lambda L \omega_2^2}$$

في الحسابات التطبيقية يمكن إهمال تأثير فرق الإشارات (العلامات) للنقاط الحدودية (الأطراف) لأنبوب نقل الغاز وكذلك تغير السرعة الخطية للغاز ، عند ذلك يمكن أن تسهل المعادلة

$$P_1^2 - P_2^2 = \lambda \frac{M^2 z K T}{F^2} \cdot \frac{L}{D}$$

تعتبر هذه المعادلة هي المعادلة الحسابية الأساسية (Basic Design Equation) عند الحسابات وغالباً يستخدم التدفق الحجمي للغاز (Volume Flow Rate)

$$Q_0 = M/\rho_o$$

عند الظروف الطبيعية (العادية) (Normal Condition , T=273 K , P = 0.1 MPa)

عند الأخذ في الحسابات معادلة حالة الغاز عند الظروف الطبيعية عند ذلك (Z = 1) ($P_0=\rho_0 RT$) عند ذلك المعادلة الحسابية الأساسية تأخذ الشكل التالي :

$$P_1^2 - P_2^2 = \lambda \frac{Q_o^2 \rho_o z T P_o}{F^2 T_o} \cdot \frac{L}{D}$$

مقدار معامل المقاومة الهيدروفليكية (Coefficient Hydraulic Resistance) HCR

λ في المعادلة السابقة تحسب اعتماداً على نظام حركة الغاز وخشونة أنابيب النقل بالمعادلات التالية:

- إذا كان (Re<2320) عند ذلك تكون الحركة صفائحية (Laminar Flow) في هذه الحالة خشونة (Rough) جدار الأنبوب لا تؤثر على معامل المقاومة الهيدروفليكية (λ) الذي يعين من خلال معادلة ستوكس (Stocks)

$$\lambda = 64/Re$$

- إذا كان (Re>2320) عند ذلك تكون الحركة (التدفق) مضطرب (Turbulent) (التدفق المضطرب بشكل دقيق يبدأ عند (Re>2800) أما في الحيز ما بين (2320<Re<2800) يكون نظام التدفق انتقالي ولكن في الحسابات التطبيقية هذا الحيز يعتبر تدفق مضطرب)

بعض المعادلات المهمة المستخدمة في حساب نقل الغاز

الإمكانية العملية لقطاع (جزء) من أنبوب نقل الغاز عند (P = 0.1 MPa ، T = 20 C^0)

$$q = 105.087 \times 10.2 D^{2.5} \sqrt{\frac{P_B^2 - P_E^2}{\lambda . \Delta B . T_{av} . Z_{av} . L}}$$

حيث أن :

D : القطر الداخلي لأنبوب نقل الغاز (**mm**).

P_B , P_E : الضغط في بداية ونهاية الجزء (القطاع) من أنبوب النقل (**MPa**).

λ: معامل المقاومة الهيدروليكية

ΔB:الكثافة النسبية للغاز بالهواء.

$T_{a.v}$: متوسط حرارة على طول أنبوب النقل (**K**)

$Z_{a.v}$: متوسط معامل الانضغاطية على طول أنبوب نقل الغاز .

L : طول القطاع (الجزء) من أنبوب نقل الغاز (**km**)

الإمكانية العملية للجزء (القطاع) من أنبوب نقل الغاز عندما يكون فرق العلامات لا يزيد عن (**200 m**) ، وتحسب من الدالة

$$q = 105.087 \times 10.2 \times 10^{-5} D^{2.5} \sqrt{\frac{P_B^2 - P_E^2(1+ah_f)}{\lambda.\Delta B.T_{av}.Z_{av}.L\left[1+\frac{a}{2l}\sum_{i=1}^{n}(h_i+h_{i+1})\right]G_T}}$$

حيث:

$$a = \frac{\Delta}{(14.64\ T_{av}Z_{av})}$$

h_E: علامة النقطة الختامية للقطاع (الجزء) المحسوبة بالنسبة للنقطة (العلامة) البدائية (**m**) .

h_i : علاقة هذه النقطة (**i**) (النقطة المحسوبة أو المدروسة) على الطريق (امتداد الأنبوب بالنسبة للنقطة الأولى (الابتدائية)(**m**).

Li: طول القسم (**i**) (الجزء المحسوب من أنبوب النقل) (**km**).

قبل هذا وذلك يجب أن يحسب التدفق اليومي (القدرة العملية) (**q**) للغاز انطلاقاً من قيمة البرنامج السنوي لنقل الغاز من العلاقة التالية :

$$q = \frac{Q}{365\ k}$$

Q : المعدل السنوي لنقل الغاز (m^3).

365 : عدد أيام العمل في السنة (في حال كان خط الأنابيب قديم بعض الشيء وتؤخذ عدد أيام العمل في السنة (**350**) يوم على أساس أن (**15**) يوم تستخدم للصيانة (أغلب المعامل تعمل على **340** يوم في السنة سوء كان للنفط أو الغاز).

K : الثابت السنوي لعدم انتظام نقل الغاز حيث أن :

(**K = 0.85**) – من أجل الأنابيب الغازية بدون خزانات والتي يزيد طولها عن (**300 Km**)

(**K = 0.70**) – من أجل الأنابيب التي تقل أطوالها عن (**300 Km**)

(**K = 0.95**) – من أجل الأنابيب التي توجد لها خزانات تحت الأرض في أماكن الاستهلاك

لو عدنا إلى رينولد ، حيث أن:

$$Re = \frac{\omega N}{\nu} = \frac{\omega DP}{\mu}$$

انظر المعادلة الثانية لربط الأتي وكذلك معامل المقاومة الهيدروفليكية

معامل المقاومة الهيدروفليكي النظري :

$$\lambda = 1.05\lambda_{T.P}$$

1.05 : المعامل التصميمي الذي بواسطته تحسب مقاومة المفاتيح الخطية (الصمامات و الأكواع) والممرات والتوصيلات المتعددة.

$\lambda_{T.P}$: معامل المقاومة الهيدروفليكية لأنبوب أثناء تدفق الغاز (من أجل حسابات المقاومة المحلية تتجه لوجود الأكواع والصمامات وغيرها فانه يوصى بأخذ المقاومات المحلية بمقدار (5 %) من المقاومة على طول الأنبوب)

كيف تحسب (CHR) يجب أن يحدد نظام التدفق (**Flow System**) :

1- من أجل النظام الصفائحي (**Laminar Regime**) (**Re<2000**)، عند ذلك :

$$\lambda_{T.P} = {}^{64}/_{Re}$$

2- من أجل أو في منطقة أنبوب الجدار الأعلى (قد يسمى الناعم) أي عندما (**Re = 2-4 *10^3**)

$$\lambda_{T.P} = \frac{0.1844}{Re^{0.2}}$$

3- في منطقة النظام الانتقالي أو المخلوط (**Re> 4000**) عند ذلك :

$$\lambda_{T.P} = 0.067\left(\frac{158}{Re + \varepsilon}\right)^{0.2}$$

حيث أن:

K_E :الخشونة المكافئة (أي متوسط ارتفاع الزوائد داخل الأنبوب ، لأنابيب نقل الغاز الجديدة **(K_E = 0.03mm**

ε : الخشونة النسبية (**relative rough**) (**1/mm**)

$$\varepsilon = {}^{2K_E}/_{D}$$

4- في منطقة أو مجال الاحتكاك التربيعي (النظام المربعي)

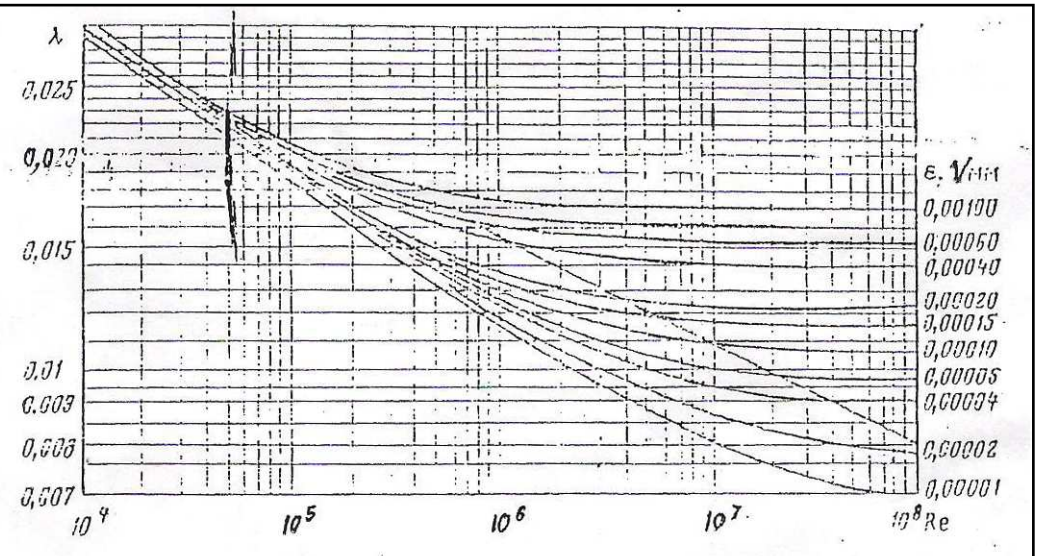
$$\lambda_{T.P} = 0.067\varepsilon^{0.2}$$

5- عندما الخشونة المكافئة K_E= 0.03 mm

$$\lambda_{T.P} = {}^{0.03817}/_{D^{0.2}}$$

تعيين (HCR) عن طريق المخططات

يمكن تحديد معامل المقاومة الهيدروفليكية بواسطة مخطط رقم (8)



مخطط رقم (8):

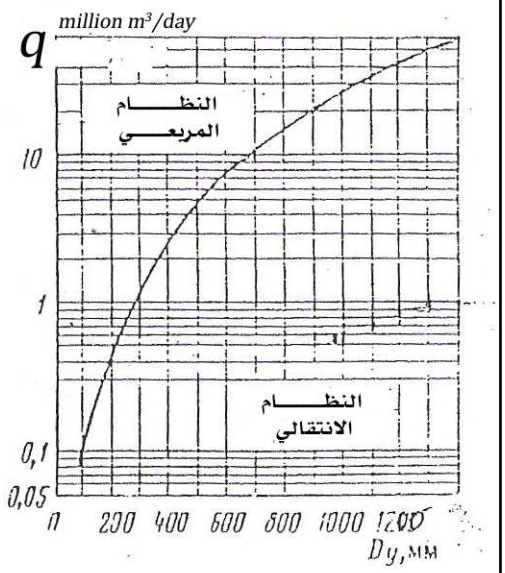
مخطط اعتماد (HCR) على (Re) و الخشونة

القدرة العملية (كمية التدفق) لأنبوب نقل الغاز في ظروف التدفق الحدودية للغاز (بين النظام الانتقالي والنظام المربعي) عندما (K_E= 0.03 mm) تحدد بواسطة المخطط رقم (9)، أو عن طريق المعادلة التالية:

$$q = 0.4D^{2.5}\frac{\mu}{\Delta B}$$

عندما يكون :

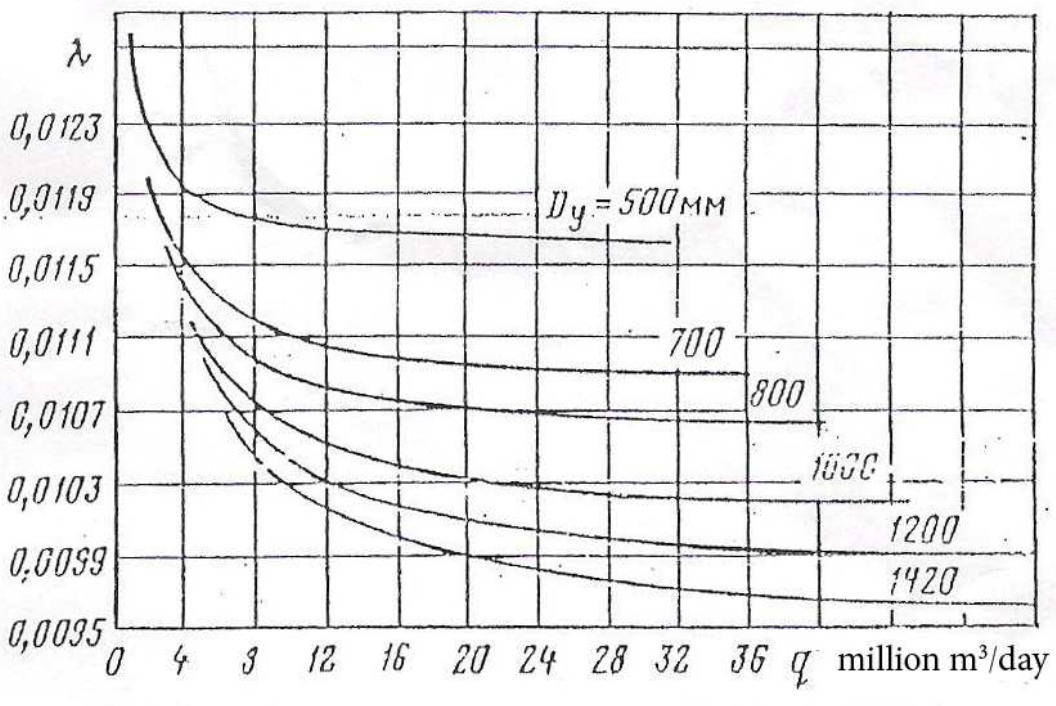
$$Re = 11\left({}^{D}/_{2K_E}\right)^{1.5}$$



مخطط رقم (9):

تحديد نظام تدفق الغاز

من أجل الخشونة المكافئة (K_E= 0.03 mm) معامل المقاومة الهيدروفليكي للأنابيب مختلفة الأقطار يمكن الحصول عليها بواسطة المخطط رقم (10).

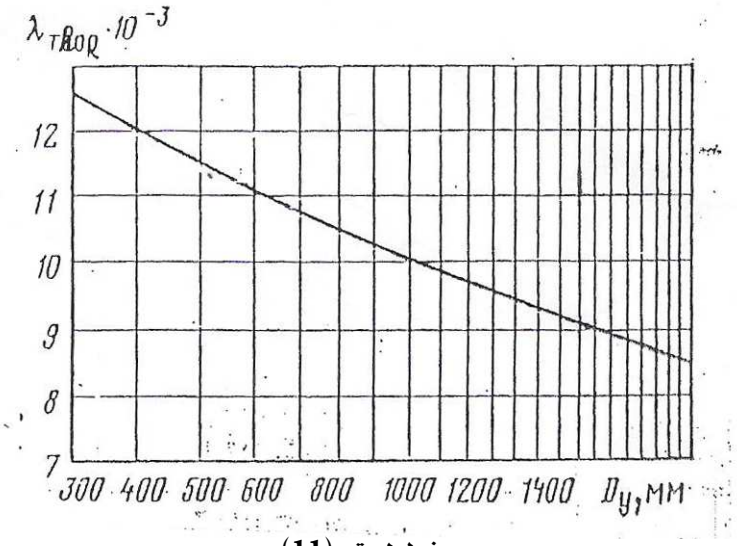


مخطط رقم (10):

مخطط يبين اعتماد معامل المقاومة الهيدروفليكية على قطر أنبوب نقل الغاز (D_y)

و تدفق الغاز (**flow rate of gas**) (**q**)

عند النظام المربعي لتدفق الغاز ، معامل المقاومة الهيدروفليكي النظري (λ_{theo})، يعين بواسطة المخطط رقم (11):



مخطط رقم (11):

مخطط يبين اعتماد (HCR) النظري على قطر أنبوب نقل الغاز عند النظام المربعي (نظام التدفق)

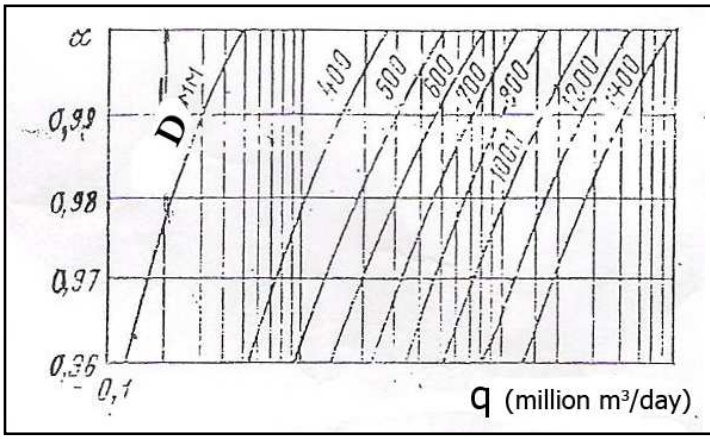
القدرة العملية (كمية التدفق) لأنبوب نقل الغاز في الشكل العام تحدد من خلال المعادلة التالية:

$$q = 1.64 * 10^{-3} \alpha \varphi E D^{2.6} \sqrt{\frac{P_B^2 - P_E^2}{\Delta B . T_{av} . Z_{av} . L}}$$

حيث أن:

α: المعامل التصحيحي الذي يحسب ميلان (المقصود هنا الاختلاف عند القاعدة) نظام التدفق للغاز عن النظام المربعي.

ويحدد بواسطة مخطط رقم (12) ، اعتماداً على الإمكانية العملية (q) وقطر الأنبوب (D) (من أجل النظام المربعي α=1)



مخطط رقم (12):

مخطط حساب المعامل التصحيحي (α) اعتماداً على علاقة (D) و (q)

φ: معامل يحسب تأثير الروابط بين الأكواع في الأنابيب

(عندما تكون المسافة بين الأكواع (L_E=0) فهذا يعني (φ=1))

(عندما تكون المسافة بين الأكواع (L_E=12) فهذا يعني (φ=0.975))

(عندما تكون المسافة بين الأكواع (L_E=6) فهذا يعني (φ=0.95))

E: (Coefficient Effectiveness) الذي يحسب حالة (وضع الجدار الداخلي لأنبوب نقل الغاز).

من أجل تسهيل الحسابات بواسطة المعادلة الأخيرة يمكن استخدام الجدول رقم (1) (عندها تؤخذ ثوابت عامة (T_{AV}=288K) (Z_{AV}=0.92) (ΔB=0.6)) من الجدول رقم (1) حيث:

D_{Hop}: القطر الخارجي (mm)

δ: سمك جدار الأنبوب (mm)

Таблица 1.1

Вспомогательные данные для гидравлического расчета газопровода

$D_{нар} \times \delta$	$D^{2,6} \cdot 10^{-4}$	$1{,}61 \cdot 10^{-4} \times D^{2,6}$	k_T	$D_{нар} \times \delta$	$D^{2,6} \cdot 10^{-4}$	$1{,}61 \cdot 10^{-4} \times D^{2,6}$	k_T	$D_{нар} \times \delta$	$D^{2,6} \cdot 10^{-4}$	$1{,}61 \cdot 10^{-4} \times D^{2,6}$	k_T
108×3	0,1659	0,2720	0,0216	×5	3,1120	5,1037	0,4047	×6	11,284	18,506	1,4675
×4	0,1575	0,2584	0,0205	×6	3,0613	5,0205	0,3982	×7	11,173	18,324	1,4531
×5	0,1495	0,2452	0,0194	×7	3,0107	4,9375	0,3916	×8	11,060	18,138	1,4383
×6	0,1417	0,2324	0,0184	×8	2,9602	4,8547	0,3850	×9	10,947	17,953	1,4237
114×3	0,1925	0,3157	0,0250	325×9	2,9107	4,7736	0,3786	×10	10,835	17,769	1,4091
×4	0,1834	0,3007	0,0238	×10	2,8617	4,6932	0,3722	×11	10,727	17,592	1,3950
×5	0,1745	0,2862	0,0227	377×4	4,6951	7,7000	0,6106	630×4	18,255	29,938	2,3741
×6	0,1659	0,2720	0,0216	×5	4,6302	7,5935	0,6022	×5	18,100	29,684	2,3540
159×2	0,4924	0,8076	0,0640	×6	4,5657	7,4878	0,5938	630×6	17,952	29,441	2,3347
×3	0,4760	0,7807	0,0619	×7	4,5012	7,3820	0,5854	×7	17,795	29,184	2,3143
×4	0,4601	0,7546	0,0595	×8	4,4347	7,2729	0,5768	×8	17,651	28,948	2,2955
×5	0,4444	0,7287	0,0578	×9	4,3725	7,1709	0,5687	×9	17,497	28,695	2,2756
×6	0,4291	0,7037	0,0558	×10	4,3090	7,0668	0,5604	×10	17,355	28,465	2,2571
168×3	0,5524	0,9060	0,0718	426×4	6,4941	10,650	0,8445	×11	17,203	28,213	2,2373
×4	0,5348	0,8770	0,0666	×5	6,4133	10,519	0,8342	720×6	25,555	41,910	3,3235
×5	0,5175	0,8483	0,0673	×6	6,3335	10,387	0,8236	×7	25,366	41,600	3,2989
×6	0,5007	0,8210	0,0651	×7	6,2546	10,258	0,8134	×8	25,197	41,323	3,2770
×7	0,4842	0,7941	0,0630	×8	6,1759	10,129	0,8032	×9	25,002	41,003	3,2515
219×3	1,1251	1,8452	0,1463	×9	6,0982	10,001	0,7930	×10	24,814	40,695	3,2272
×4	1,0981	1,8009	0,1428	×10	6,0198	9,872	0,7829	×11	24,635	40,401	3,2033
×5	1,0712	1,7568	0,1393	478×4	8,8084	14,446	1,1456	820×6	36,034	59,095	4,6864
×6	1,0448	1,7135	0,1359	×5	8,7109	14,286	1,1329	×7	35,802	58,715	4,6562
×7	1,0185	1,6703	0,1325	×6	8,6138	14,127	1,1202	×8	35,564	58,325	4,6253
×8	0,9930	1,6286	0,1292	×7	8,5165	13,967	1,1075	×9	35,354	57,981	4,5979
273×3	2,0248	3,3207	0,2633	×8	8,4242	13,816	1,0956	×10	35,123	57,602	4,5679
×4	1,9654	3,2561	0,2582	×9	8,3287	13,659	1,0832	×11	34,884	57,210	4,5368
×5	1,9469	3,1929	0,2532	×10	8,2384	13,511	1,0714	×12	34,874	56,265	4,5095
×6	1,9085	3,1299	0,2482	508×	10,170	16,670	1,3220	920×6	48,309	80,047	6,3479
×7	1,8706	3,0678	0,2432	×6,35				×7	48,528	79,586	6,3110
×8	1,8336	3,0071	0,2385	529×4	11,516	18,886	1,4976	×8	48,270	79,163	6,2777
325×3	3,2161	5,2744	0,4182	×5	11,400	18,696	1,4825	×9	47,975	78,679	6,2394
×4	3,1645	5,1898	0,4116					×10	47,696	78,221	6,2030

$D_{нар} \times \delta$	$D^{2,6} \cdot 10^{-4}$	$1{,}61 \cdot 10^{-4} \times D^{2,6}$	k_T
×11	47,411	77,754	6,1660
×12	47,152	77,329	6,1323
×13	46,859	76,849	6,0943
1020×7	63,711	104,49	8,2861
×8	63,380	103,94	8,2424
×9	63,057	103,41	8,1996
1020×10	62,721	102,86	8,1569
×11	62,345	102,33	8,1142
×12	62,092	101,83	8,0744
×13	61,742	101,26	8,0297
×14	61,429	100,74	7,9880
1120×7	81,524	133,70	10,6023
×8	81,115	133,03	10,5486
×9	81,742	132,42	10,5009
×10	80,367	131,80	10,4513
×11	79,992	131,19	10,4036
×12	79,583	130,53	10,3509
×13	79,231	129,94	10,3042
×14	78,863	129,34	10,2565
1220×10	100,77	165,26	13,1053
×11	100,33	164,54	13,0477
×12	99,91	163,85	12,9930
×13	99,47	163,13	12,9364
×14	99,03	162,41	12,8788
1420×9	150,98	247,61	19,6356
×10	150,45	246,74	19,5661
×11	149,90	245,84	19,4955
×12	149,32	244,89	19,4200
×13	148,78	244,00	19,3494
×14	148,22	243,08	19,2759
×15	147,37	242,13	19,2054
×16	147,09	241,23	19,1298

جدول رقم (1):

المعطيات المساعدة لحساب (HCR)

:: المحاضرة السابعة ::

التجزئة الانضغاطية التكثيفية للغازات باستخدام التبريد الإيثانو-نشادري

7- 1- مقـــــــدمة.

7- 2- شرح العملية التكنولوجية.

7- 3- تغير ضغط الغازات على طول خط الأنابيب.

:: التجزئة الانضغاطية التكثيفية للغازات باستخدام التبريد الإيثانو- نشادري ::

لقد زاد بشدة الطلب على الايثيلين ($CH_2=CH_2$) مع تطور البتروكيماويات ولذلك تخضع الغازات المحتوية على كمية كبيرة من الايثيلين (غازات التكسير في الطور البخاري وغازات البيروليز) للتجزئة في الوحدات التي يشترط فيها فصل قطفة الايثيلين بدرجة نقاوة عالية ويجري تكرير تقطير الغازات في هذه الحالة عند درجات حرارة منخفضة.

ويوضح الشكل (11) مخطط التجزئة الانضغاطية التكثيفية للغازات باستخدام التبريد الإيثانو- نشادري في الجزء العلوي لبرج الميثان.

شرح المخطط التكنولوجي :

1- تمر الغازات الخاضعة للمعالجة (I) تحت ضغط (45 atm – 35) خلال المبادل الحراري (1) و تدخل في برج الميثان (2) حيث ينفصل مخلوط الميثان والهيدروجين عن الهيدروكربونات الأخرى.

2- يُسحب الهيدروجين والميثان (II) من أعلى برج الميثان (2) ويمر مخلوطهما خلال المكثف الجزئي (3) لنظام التبريد الإيثانو- نشادري ويدخل في المبادل الحراري (1). (تُحفظ درجة الحرارة أعلى البرج في حدود ($-95\ C^0$ to $-100C^0$) درجة مئوية والضغط في حدود (42 atm – 38).

إذا كانت نسبة الهيدروجين في قطفة (fraction) الميثان- الهيدروجين لا تزيد عن (٪ 40) فإن نسبة الايثيلين في الغاز الجاف الخارج تنخفض إلى (2 وزن جزيئي ٪) في حالة إذا ما كانت ظروف (Parameters) تشغيل برج الميثان هي البارامترات المذكورة. ويرتبط الخفض التالي لدرجة حرارة أعلى البرج لخفض فقد الايثيلين مع الهيدروجين الخارج بصعوبات في تصميم أجهزة دورة التبريد ويؤدي إلى النمو السريع في استهـــلاك الطاقة ويؤدي استخدام ضغط أكبر من (42 atm) إلى ضرورة رفع درجة حرارة الجزء السفلي للبرج إلى ($18\ C^0$ – 17) إلى إدخال مركبات الفصل في منطقة البارامترات الحرجة مما يؤدي بدوره إلى صعوبة استخراج الايثيلين في صورة سائلة.

3- يدخل المتكثف الإيثان - اثيلين و الهيدروكربونات الأكثر ثقلاً الخارج من أسفل برج الميثان (2) في برج الإيثان (4) حيث يخضع لعملية تكرير التقطير (يُختار الضغط في برج الإيثان تبعاً لنظام درجات الحرارة في حدود (32 – 25 atm) وتحفظ درجة حرارة أعلى البرج (-5 to $-10\ C^0$) ودرجة حرارة أسفل البرج (4) من (85 – $95\ C^0$)

4- تنفصل قطفة الإيثان- اثيلين في برج الإيثان عن الهيدروكربونات (C_3) والهيدروكربونات الأعلى وتمر خلال مكثف ((Condenser (5)) أعلى برج الميثان وتدخل في المجمع (6) في حالة سائلة.

5- يعود جزء من هذه القطفة بواسطة المضخة (7) كراجع إلى برج الإيثان ويتجه الفائض إلى برج الإيثيلين (8) للحصول على الايثيلين المركز.

6- يسحب الايثيلين (III) على صورة غاز من أعلى البرج ويغذى برج الايثيلين بالراجع (Reflux) بواسطة تكثيف جزء من الايثيلين بالمكثف (9) .

7- يخرج الإيثان (IV) من أسفل برج الايثيلين (8).

8- تدخل الهيدروكربونات (C_3) والهيدروكربونات الأكثر تعقيداً الخارجة من أسفل برج الإيثان (IV) إلى بـــرج البروبان (10).

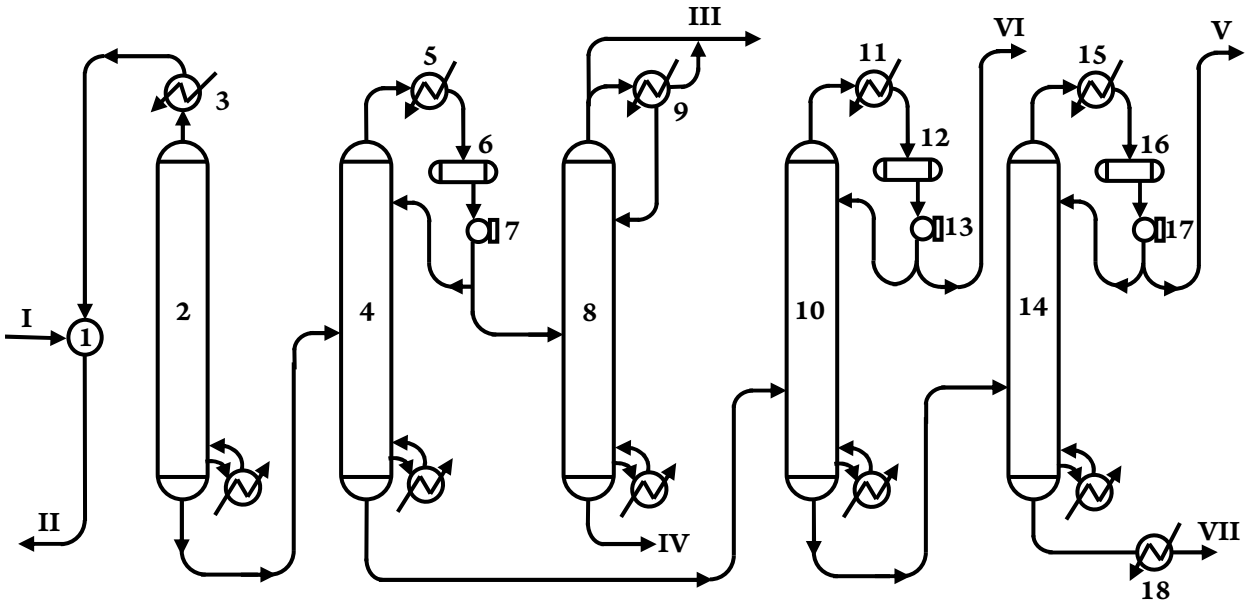
9- تمر قطفة البروبان (VI) الخارجة من أعلى برج البروبان (10) خلال المكثف (11) والمجمع (سعة) (12) وتعود جزئياً بواسطة المضخة (13) كراجع . ويُسحب فائض هذه القطفة إلى سعة.

10- تدخل الهيدروكربونات (C_4) و الهيدروكربونات الأعلى الخارجة من أسفل برج البروبان (10) في برج البيوتان (14) و تجمع قطفة البيوتان – بيوتيلين من أعلى برج البيوتان في المجمع (16) عن طريق المكثف (15).

11- تعود قطفة البيوتان – بيوتيلين من المجمع بواسطة المضخة (17) كراجع إلى البرج ويُجمع الفائض (V) في سعة تجارية.

12- ويجمع المتبقي (VIII) الخارج من أسفل برج البيوتان (14) والمتكون من الهيدروكربونات (C_5) و الهيدروكربونات الأعلى في السعة الخاصة بمركب جازولين السيارات بعد مروره عن طريق المبرد (18).

ملاحظة: (يوضع أو يستخدم في الجزء السفلي لكل برج (2 , 4 , 8 , 10 , 14) (Boiler) مسخن ، مبخر (Vaporizer))



شكل رقم (11): مخطط وحدة الفصل التجزيئي الانضغاطي التكثيفي للغازات باستخدام التبريد الإيثانو –نشادري من الجزء العلوي لبرج الميثان

شرح المخطط

أسماء الأجهزة:

1 - مبادل حراري (Heat Exchanger)

2 - برج الميثان (Methane Column)

3- المكثف الجزئي لنظام التبريد الإيثانو- تشاوري

4- برج الإيثان (Ethane's Column)

5 , 9 , 11 , 15 – مكثفات (Condensers)

6 , 12 , 16 – مجمع (سعة أو خزان)

7 , 13 , 17 – مسطحات (Pumps)

8- برج الإيثيلين (Ethylene's Column)

10- برج البروبان (Propane's Column)

14- برج البيوتان (Butane's Column)

18- مبرد (Coolers)

19 - Boiler – Vaporizer

أسماء المواد:

I- الغاز الخاضع للمعالجة (Feed Stocks)

II- ميثان + هيدروجين

III- الإيثيلين المركز

IV- الإيثان

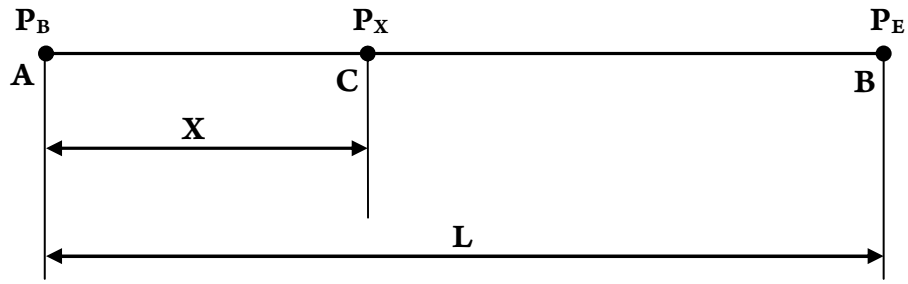
VI- البروبان

V- البيوتان – بيوتيلين

VII- جازولين السيارات ($\geq C_5$)

:: تغير ضغط الغازات على طول خط الأنابيب ::

من أجل حساب الضغط في أي نقطة على خط الأنابيب نفترض لدينا أنبوب طوله (L) وضغط الغاز في بدايته (P_B) وفي نهاية الخط (P_E) ويُراد معرفة الضغط (P_X) في ألنقطه (C) التي تبعد بمقدار (X) عن بداية الأنبوب :



شكل رقم (12)

من أجل حساب الضغط غي أي نقطه على طول خط الأنابيب نكتب معادله التدفق في الجزء (AC) على النحو التالي:

$$Q = k_o D^{\frac{5}{2}} \sqrt{\frac{P_B^2 - P_X^2}{\lambda \rho Z T_{av} X}}$$

وكذلك في الجزء الثاني من الأنبوب (CB) تكون معادله التدفق:

$$Q = k_o D^{\frac{5}{2}} \sqrt{\frac{P_X^2 - P_E^2}{\lambda \rho Z T_{av} (L - X)}}$$

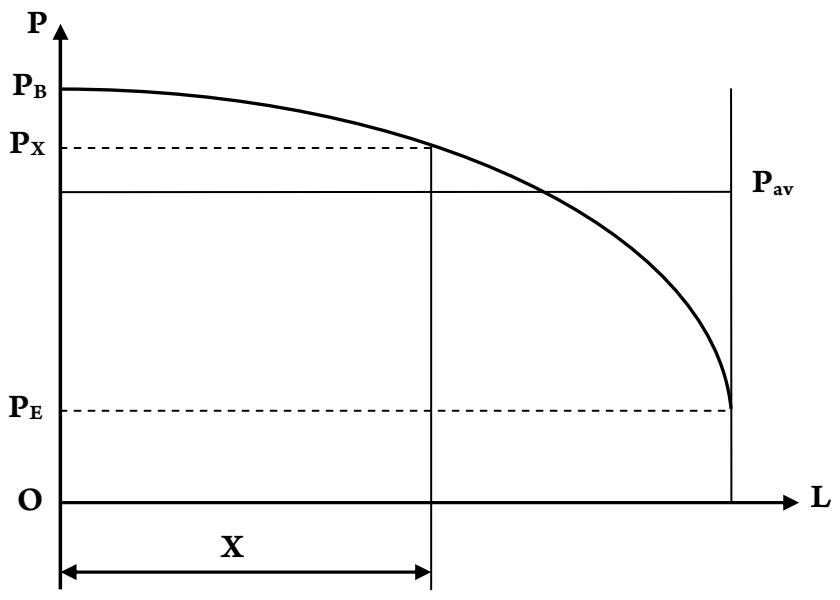
وبما أن تدفق الغاز ثابت على طول خط الأنابيب فان المعادلتين متساويتين ومنه يكون :

$$\frac{P_B^2 - P_X^2}{X} = \frac{P_X^2 - P_E^2}{L - X}$$

ومن المعادلة السابقة يمكن حساب الضغط (P_X) في النقطة (C) كما يلي :

$$P_X = \sqrt{P_B^2 - (P_B^2 - P_E^2)\frac{X}{L}}$$

هذه المعادلة تمثل معادلة قطع مكافئ الشكل (13) حيث يلاحظ أن تدرج الضغط يتزايد على طول خط الأنابيب الأمر الذي يشير إلى الميل الهيدروفليكي :



شكل رقم (13)

حيث :

Q: معدل تدفق الغاز (m^3)

D: قطر الأنبوب (mm)

P_E: ضغط الغاز عند نهاية خط الأنابيب $(Kg/\ Cm^3)$

P_B: ضغط الغاز عند مدخل الأنابيب $(Kg/\ Cm^3)$

P_x: الضغط في النقطة المعلومة (المراد تحديد الضغط فيها) $(Kg/\ Cm^3)$

L: طول خط الأنابيب (Km)

X: المسافة من بداية الأنبوب حتى النقطة (C)

K_o: ثابت يأخذ بعين الاعتبار تجانس الوحدات.

$$K_o = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{\rho_a \sqrt{Re}}$$

حيث أن :

ρ_a: كثافة الهواء في الشروط النظامية

Re: ثابتة للغازات بالنسبة للهواء.

الجديد بالذكر انه في بداية الأنابيب يكون الضغط مرتفعاً وتكون كثافة الغاز كبيرة لذلك تكون سرعة الغاز غير كبيرة ومع ابتعاد الغاز عن بداية الخط يتناقص الضغط وبالتالي تتناقص الكثافة وتزداد نتيجة لذلك سرعة الغاز مما يؤدي الى زيادة ضياع الضغط بالاحتكاك .

وهذا يعني أنه بالابتعاد عن محطة الضواغط تزداد قيمة هبوط الضغط بالنسبة لوحدة طول خط الأنابيب وهكذا فأنه من المفيد تصغير المسافة بين محطات الضواغط الأمر الذي يؤدي الى تخفيض نفقات استهلاك ألقدره المطلوبة لضخ الغاز غير أنه من جهة أخرى فإن تصغير المسافة ما بين محطات الضواغط يتطلب بناء محطات إضافية للضواغط الأمر الذي يزيد من رأس المال الموظف وبالتالي فان اختيار المسافة المثالية بين الضواغط وتحديد هبوط الضغط يتم انطلاق من مقارنه الحسابات الفنية و الاقتصادية .

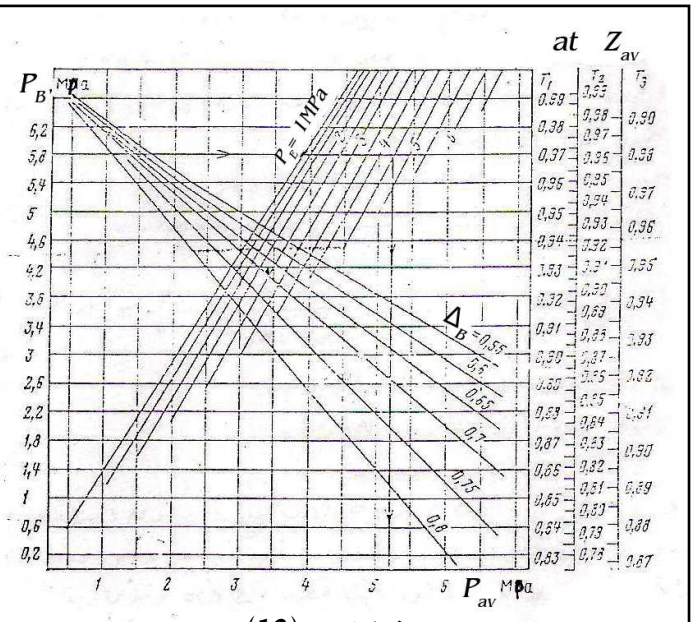
الضغط الوسط لخط أنابيب الغاز

يفيد معرفة الضغط الوسطي للغاز من أجل معرفه معامل انضغاطية الغاز (Z) بالإضافة الى إمكانية حساب كميه الغاز الموجود في خط الأنابيب وتعطى معادلة حساب الضغط الوسطي :

$$P_{av} = \frac{1}{l} \int_0^l P_x \, dx$$

بمراعاة المعادلة الرابعة و بمكاملة المعادلة الأخيرة ينتج:

$$P_{av} = \frac{2}{3}\left(P_B + \frac{P_E^2}{P_B + P_E}\right)$$



مخطط رقم (13)

تعيين متوسط الضغط (P_{av}) ومعامل الانضغاطية للغاز

:: المحاضرة الثامنة ::

العمليات المركبة للفصل التجزيئي للغازات الطبيعية البترولية

8- 1- مقـــــــدمة.

8- 2- شرح العملية التكنولوجية.

8- 3- حسابات أنابيب نقل الغاز.

8- 4- حماية الأنابيب من التآكل.

:: العمليات المركبة للفصل التجزيئي للغازات البترولية الطبيعية ::

تحتوي المخططات الصناعية لوحدات الفصل التجزيئي للغاز على عمليات مركبة لفصل الغاز مثل التكثيف (Condensation) والانضغاط أو التضاغط (Compression) وتكرير التقطير (Rectification-distillation) والامتصاص (Absorption) والمج (Desorption). فيُفصل مثلاً الغاز في وحدات التكسير بالحفز عن البنزين(الجازولين - Gasoline) تحت الضغط المنخفض . واستخدام (Absorption) فقط في هذه الحالة لفصل المركبات الضرورية من غاز التكسير يتطلب استهلاك كمية كبيرة من مادة الامتصاص مما يرفع من تكاليف التشغيل . ولذلك يجري استخلاص المركبات المطلوبة من الغـــاز في هذه الوحدات بالطرق المختلفة (طرق الامتصاص والتضاغط والتكثيف ... إلخ).

شرح المخطط التكنولوجي لوحدة الامتصاص والتجزئة الأكثر انتشاراً:

1- يضغط الغاز الغني (I)(Rich gas) المنقى تمهيدياً من كبريتيد الهيدروجين بواسطة ضاغط (Compressor) المرحلة الأولى (1) إلى ضغط (4 atm)، ويُبرد في المبرد (Cooler) (2) ثم يدخل في فاصل الغاز (Separator) (3) الذي يعمل تحت الضغط المنخفض .

2- يدخل الغاز الخارج من فاصل الغاز (3) في المرحلة الثانية للضاغط (4) حيث يضغط إلى1(17-18 atm) ثم يمر خلال المبرد (5) ويدخل في فاصل الغاز (6) الذي يعمل تحت الضغط المرتفع.

3- يدخل الغاز الخارج من أعلى فاصل الغاز (6) بعد تخلصه من المتكثف عند درجة حرارة ($30-35\ C^0$) أسفل الصينية الأولى (عند العد من أسفل) لجهاز الامتصاص (Absorber) (7) ويُسحب المكثف من فاصل الغاز (3,6) (غير موضح بالرسم)

ويحافـــظ على الضغـــط في جهـــــــاز الامتصـــاص (7) في حدود (14-16 atm) بواسطة منظم الضغط (valve of pressure) .

4- يُغذى الرف العلوي لجهاز الامتصاص بمادة الامتصاص المفتقرة (Lean Absorbent) (III) ودرجة الحرارة أعلى جهاز الامتصاص ($30\ C^0$)، وأسفله ($45\ C^0$).

5- يدخل الغاز الخارج من أعلى جهاز الامتصاص (7) في جهاز امتصاص ذيلي (8) يقذف منه بالغاز الجاف (II) المتكون أساساً من الميثان والهيدروجين إلى خط الوقود.

6- يُرش (يُسقى) جهاز الامتصاص (8) بمادة امتصاص مفتقرة (III) .

7- تدخل مادة الامتصاص المشبعة الخارجة من أسفل جهاز الامتصاص (7) تحت تأثير وزنها في جهاز المج (9) (Desorber) لفصل قطفة الإيثان – إيثيلين منها. يُحافظ على الضغط في جهاز المج (10-11 atm) ويُحافظ على درجة الحرارة أسفل جهاز المج ($110\ C^0$) على حساب حرارة المسخن الذي يسخن ببخار الماء وتحفظ درجة حرارة أعلى الجهاز ($35\ C^0$) نتيجة التغذية بمادة الامتصاص المفتقرة (III) .

8- تدخل قطفة الإيثان – إيثيلين الخارجة من أعلى جهاز المج في أبراج التنقية (10) حيث تُنقى من كبريتيد الهيدروجين بواسطة الصودا الكاوية .

9- يتم إمرار المركب القلوي (IV) في الأبراج في دورة بواسطة المضخة (11) وبعد الغسيل بالماء العذب (X) في البرج (12) تضغط قطفة الإيثان – إيثيلين (V) بواسطة ضاغط وتتجه للمعالجة.

10- يُدفع ناتج أسفل جهاز المج بعد تخليصه من الهيدروكربونات الخفيفة بواسطة المضخة (13) خلال المبادل الحراري (14) ويدخل في برج البروبان (Propane Column) (15) حيث تنفصل قطـــــفة البروبان – بروبلين عن

الهيدروكربونات (C_4) ، والهيدروكربونات الأعلى (تُحفظ درجة حرارة أسفل برج البروبان ($140 - 180\ C^0$) على حساب درجة **Boiler**).

11- ويساوى الضغط في برج البروبان (**16 -17 atm**) ويدخل الجزء البروباني بروبيليني الخارج من أعلى برج البروبان (**15**) في مكثف – مبرد (**16**) حيث يبرد إلى درجة ($20 - 25\ C^0$) ثم يتجه بعد ذلك إلى المجمع (**17**).

12- يُدفع جزء من مادة البروبان بروبيلين بواسطة المضخة (**18**) على شكل راجع إلى البرج (**15**) وذلك بغرض المحافظة على درجة حرارة أعلى البرج في حدود ($40\ C^0$) ، أما الجزء الأخر(**VI**) فيسحب إلى السعة التجارية كناتج جاهز.

13- يدخل الناتج الخارج من أسفل برج البروبان في برج البيوتان (**19**) وتدخل قطفة البيوتان – بيوتيلين الخارجة من أعلى البرج (**19**) في المكثف – المبرد (**20**) ويدفع بواسطة المضخة (**22**) كراجع ويدفع الفائض كناتج جاهز (**VII**) . درجة حرارة الجزء العلوي لبرج البيوتان ($60\ C^0$) و (**7 – 8 atm**).

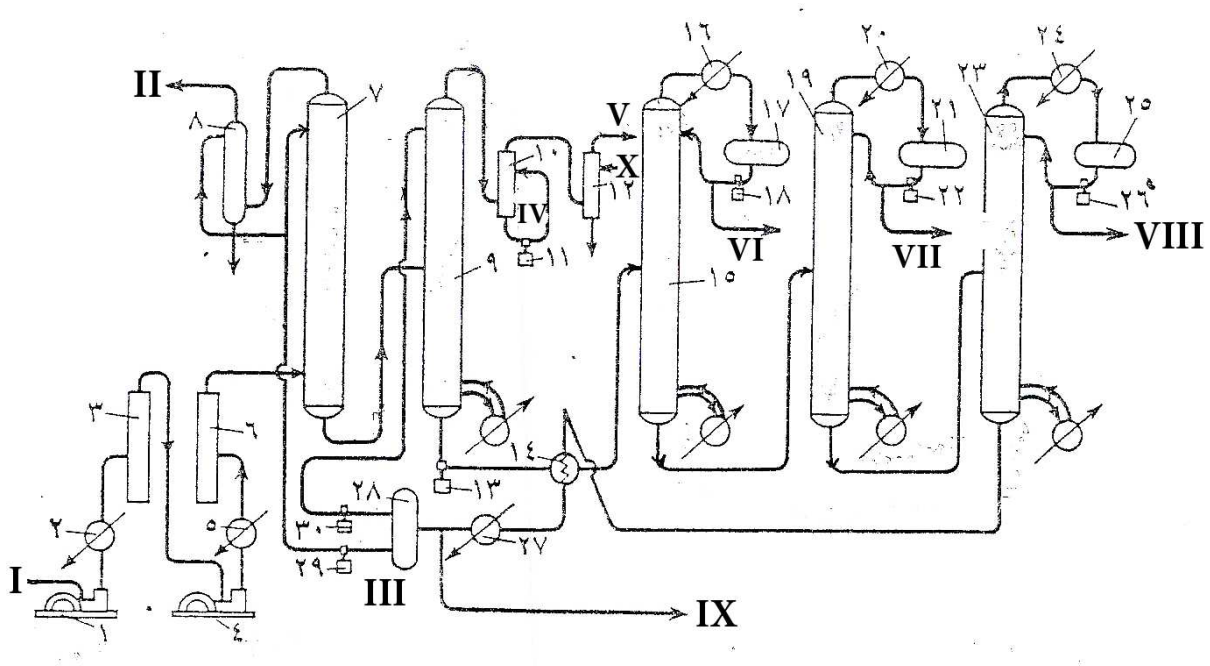
14- يتجه الناتج الخارج من الجزء السفلي لبرج البيوتان والذي درجة حرارته ($150\text{-}200\ C^0$) درجة مئوية إلى برج البنتان (**23**).

15- يُكثف الناتج الخارج من أعلى البرج قطفة (البنتان – اميلين) ويُبرد في المبرد (**24**) ويجمع في المجمع (**25**) ويعود الراجع بواسطة المضخة (**26**) .

16- يخرج فائض قطفة البنتان – اميلين من الوحدة كناتج جاهز (**VIII**) (تحفظ درجة حرارة أعلى برج البنتان في حدود($80 - 100\ C^0$) والضغط (**4-5 atm**) ودرجة حرارة أسفل البرج ($150\text{-}200\ C^0$).

17- يدخل الناتج السفلي لبرج البنتان بعد تبريده في المبادل الحراري (**14**) والمبرد (**27**) في مجمع مادة الامتصاص (**28**) ومنه يدفع بواسطة مادة الامتصاص المفتقرة (**III**) بواسطة المضختين (**29** ، **30**) لرش جهازي الامتصاص (**7**، **8**) وجهاز المج (**9**) . ويسحب فائض هذا الجزء (**IX**) من الوحدة.

يُسمح استخدام الجمع بين عمليتي الامتصاص وتكرير التقطير دون استخدام تبريد صناعي بالتوصل إلى استخلاص قطفة البروبان بروبيلين بنسبة (**80 – 85 %**) والجزء البيوتان بيوتيلين بنسبة (**90 – 95 %**) وقطفة البنتان أكثر من (**98 %**).



شكل رقم (14): الرسم التخطيطي لوحدة امتصاص وتجزئة

أسماء الأجهزة:

1، 4- Compressor

2،5،24،27- Coolers

3 – فاصل الضغط المنخفض

6- فاصل الضغط المرتفع

7- Absorber

8- برج امتصاص ذيلي Absorber

9- برج مج Desorber

10- برج تنقية

11، 18، 22، 26، 29، 30- مضخات Pumps

12- برج التقطير

15- برج البروبان Propane column

16،20- مكثف مبرد Condenser – Refrigerator

17،21- مجمع (سعه – خزان)

19 - برج البيوتان Butane column

23- برج البنتان

28- مجمع مادة الامتصاص المفتقرة.

أسماء المواد:

I- الغاز الغني (Rich Gas)

II- الغاز الجاف (CH_4 H_2).

III- ماده الامتصاص (خلاصه برج البنتان (C_5-C_7).

IV- مركب قلوي (الصودا الكاوية).

V- الجزء الإيثان – اثيلين .

VI- قطفة البروبان – بروبيلين .

VII- قطفه البيوتان – بيوتيلين .

VIII- قطفة البروبان – اميلين الفائض .

IX- خلاصه برج البينتان C_5<

X- الماء العذب.

:: تحديد قطر الأنبوب ::

هناك علاقات كثيرة لحساب قطر الأنابيب فبالإضافة إلى العلاقة العلاقات السابقة (المحاضرة السابقة) تستخدم في الحسابات العملية العلاقة التالية :

$$P_B^2 - P_E^2 = q.\frac{\sqrt{L.T.Z.\rho}}{493.33 \times d^{\frac{8}{3}}}$$

$$d = \left[\frac{q.\sqrt{L.T.Z.\rho}}{\sqrt{P_B^2 - P_E^2} \times 493.33}\right]^{\frac{3}{8}}$$

حيث أن :

(q) : كمية الغاز المنقولة (م^3\اليوم)

(L) : طول خط الأنابيب (كم)

(T) : درجة حرارة الضخ الوسطية (K)

(Z) : معامل الانضغاطية.

(ρ) : كثافة الغاز النسبية (بالنسبة للهواء)

(d) : القطر الداخلي للأنابيب (سم)

(P_B) : ضغط الغاز عند مدخل الأنابيب (كغ\سم^2)

(P_E) : ضغط الغاز عند نهاية خط الأنابيب (كغ\سم^2)

:: تحديد سماكة جدران الأنابيب ::

تحدد سماكة جدران الأنابيب عند عبورها مناطق خالية من السكان بحسب العلاقة التالية :

$$t = \frac{P.D}{2S} + c$$

حيث أن :

(P) : ضغط التصميم (Psi)

(S) : جهد الليونة المسموح به (Psi) و تؤخذ عادة قيمة (S) من جداول خاصة وبالنسبة للفولاذ من نوع (5LX50) (S = 52000 Psi)

(t) : سماكة جدار الأنبوب (in)

(C) : تسامح للتآكل (Tolerance).

$$S = 0.72.E.\delta y$$

(E) : معامل اللحام ويساوي 1 لمعظم الأنابيب المصنوعة بالطرق الحديثة.

(δy) : حد الخضوع المكفول (Specified Minimum Yield Strength)

هناك علاقة أخرى لحساب سماكة الأنابيب مع اعتبار تغيرات الحرارة والضغط وتأثير كبريتيد الهيدروجين التآكلي على المعدن :

$$S = \frac{n.P.D_H}{2(\psi_1.R_1 + n.R)} + C_1$$

حيث أن :

(S): سماكة جدار الأنبوب (سم)

(D_H) : القطر الخارجي للأنبوب (سم)

P : الضغط التشغيلي للأنبوب (كغ\سم^2)

n : معامل زيادة ضغط التشغيل . ويؤخذ n=1.1

ψ: معامل حساب التوتر في معدل الأنبوب ويحدد من العلاقة :

$$\psi_1 = \sqrt{1 - 0.75\left(\frac{nP}{R_1}\right)^2} - 0.5\frac{\delta_{n.p}}{R_1}$$

$\delta_{n.p}$: التوتر الطولي لمعدن الأنبوب (كغ\سم^2) ويحسب كما يلي :

$$\delta_{n.p} = 0.25.n.p\frac{D}{\delta} - \alpha.E.\Delta t$$

حيث أن :

D : القطر الداخلي للأنبوب (سم) حيث $D=D_H-2$

α : معامل التمدد الحراري الطولي ويساوي بالنسبة للفولاذ ($12*10^{-6}$ $1/C^0$)

E : معامل المرونة ويساوي للفولاذ ($2.1*10^{-6}$ كغ\سم^2)

Δt : فرق درجات الحرارة الحسابي صيفاً وشتاءً (C^0)

δ : سماكة جدران الأنبوب دون الأخذ بعين الاعتبار التوتر من معدن الأنبوب، ويحسب كالتالي:

$$\delta = \frac{n.P.D_H}{2(R_1 + n.P)}$$

ويضاف الى السماكة المحسوبة قيمه أخرى تتراوح بين (1- 3 مم) من أجل التآكل .

:: الحرارة الوسطية t_{av} للغاز المنقول ::

بعد معالجه الغاز فإن درجة حرارته عند خروجه من محطة الضواغط إلى خط الأنابيب قد تصل الى ($40\ C^0$ - 60) و مع حركه الغازات على طول الأنابيب فان درجه حرارته ستنخفض إلى أن تصل كما دلت التجربة إلى حرارة الوسط المحيط بعد أن يقطع الغاز مسافة (20- 30 كم)

فإذا اعتبرنا أن تغير درجة الحرارة على طول مسار خط الأنابيب تصفها علاقة شوخوف فإنه يمكن حساب الحرارة الوسطية (متوسط حرارة الغاز في الأنبوب أثناء النقل) للغاز من العلاقة التالية :

$$t_{av} = \frac{1}{L}\int_0^1 t dx$$

حيث :

L: طول الأنابيب (كم)

بإجراء التكامل مع الأخذ بعين الاعتبار علاقة شوخوف :

$$t_{av} = t_0 + \frac{(t_B - t_0).G.C_p}{\pi.K.D_H.L}\left[1 - e^{\frac{K.\pi.D_H.L}{G.C_p}}\right]$$

من أجل الحسابات يمكن أن تستخدم العلاقة التالية :

$$t_{av} = t_0 + \frac{(t_B - t_0).G.C_p}{\frac{0.225.K.D_H.L}{q.\bar{\rho}.C_p.10^6}}\left[1 - e^{\frac{0.225.K.D_H.L}{q.\bar{\rho}.C_p.10^6}}\right]$$

حيث:

q : التدفق الحجمي للغاز (مليون م^3\يوم).

t_B : درجة حرارة الغاز في بداية الأنابيب.

P : الكثافة النسبية للغاز .

D_H : القطر الخارجي للأنبوب .

t_0 : حرارة الوسط الخارجي.

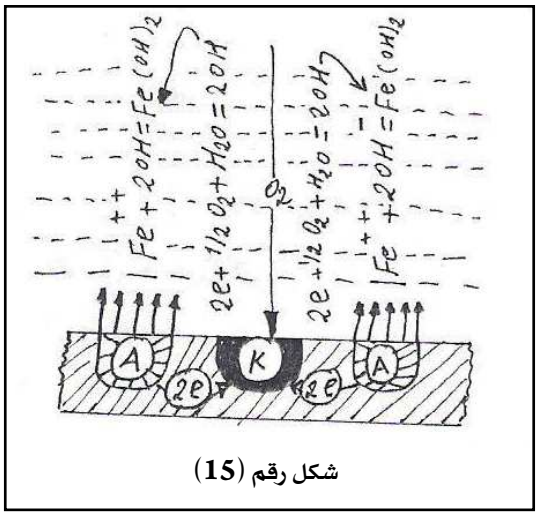
:: حماية الأنابيب من التآكل ::

إن مدى خدمة الأنابيب يعتمد على درجة حماية هذه الأنابيب من التآكل والتأثيرات الخارجية، فمن الخارج تؤثر على الأنبوب الطبقات الأرضية الحاوية على نسبة معينة من الأملاح والرطوبة. ومن الداخل تؤثر على الأنبوب المياه الطبقية (في حالة الدفع المختلط) التي تحوي تراكيز مختلفة لأملاح متعددة، والمستحلبات، والنفط ذاته الذي يحوي على عناصر كبريتية. يمارس على الأنابيب نوعين من التآكل (كيميائي، الكتروكيميائي)

التآكل الكيميائي:

عبارة عن تآكل (تخرب) سطح المعدن عند تلامسه مع عنصر كيميائي دون أن يرفق ذلك ظهور تيار كهربائي في المعدن.

1- التآكل الالكتروكيميائي:



شكل رقم (15)

عبارة عن تآكل (تخرب) سطح المعدن مع ظهور تيار كهربائي ضمن المعدن ويتلخص جوهر التآكل الالكتروكيميائي في أنه نتيجة للتأثير المتبادل بين المعدن والوسط المحيط به، يحدث تخريب للمعدن مع ظهور تيار كهربائي. فعند تلامس المعدن مع الماء المستقطب فإن الذرات السطحية للمعدن تتزحزح من مكانها بتأثير قوة حقل جزيئات الماء والتي بمساعدة حجمها الصغير تتغلغل في جسم المعدن. هذا التأثير الذي يسمى عادة المعالجة بالماء قد يكون كبيراً بحيث أنه يحدث ضعفاً بين ذرات المعدن مع الكتروناتها الخارجية، وأيون المعدن (Fe^{+2}) يحصل على إمكانية الهروب إلى الوسط السائل، وفور هروبه تحيط به ذرات الماء وتتعادل معه وبالتالي يتحرر إلكترونان على سطح المعدن وينتقلان إلى السائل عبر النقطة (k) كما هو موضح في الشكل (15) ليتعادلان مع الأوكسجين والماء وينتج بالتالي (OH^-) الذي يعود ليتفاعل مع جدران الأنبوب (مع الحديد) من جديد (Fe^{-2}).

$$2e + {}^1/_2\, O_2 + H_2O \longrightarrow 2OH^-$$

$$Fe^{+2} + 2OH \longrightarrow Fe(OH)_2$$

عند تواجد كمية كافية من الأوكسجين في السائل المدفوع (أو الغاز المدفوع) من تفكك الهيدرات. فإن هيدروكسيد الحديد ($Fe(OH)2$) تتفاعل معه وتتحول إلى هيدرات راسبة كما في المعادلة التالية:

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 \downarrow$$

وهكذا يحدث التآكل الالكتروكيميائي للمعدن

2- تأكسد السطح الداخلي لأنابيب النفط والغاز:

تعد التأثيرات الكيميائية والكهروكيميائية للأوساط المحيطة بالمعدن من الأسباب الرئيسية للتأكسد، ويتعلق نشاط التأكسد أساساً بطبيعة تركيب المعدن ومواصفات الوسط المحيط الذي يمكن أن يحتوي على مواد مختلفة مسرعة أو مبطئة لعملية التأكسد، كما تلعب التأثيرات الميكانيكية على المعدن دوراً لا بأس به في هذا المجال.

تزداد سرعة الأكسدة بانخفاض قيمة درجة الحموضة (PH) للوسط المحيط إلى مادون (4) وعندما تتراوح قيمتها بين (4- 9) فإن سرعة الأكسدة تبقى ثابتة تقريباً، أما حين ترتفع قيمة الحموضة أكثر من (9) فإن هذه السرعة تنخفض، إلا أنه في وسط قلوي فيه (PH=14) يلاحظ زيادة في نشاط الأكسدة بسبب انحلال نواتج الأكسدة في المحاليل الكهربائية ولدى توفر ضغط وحرارة عالية تزداد سرعة تأكسد المعدن حيث أن الحرارة تعمل على تسريع التفاعلات المهبطية والمصعدية بينما يلعب دوراً كبيراً في زيادة انحلالية الغازات (CO_2) المشاركة في التفاعلات الكهروكيميائية.

هناك نوع آخر من التآكل يدعى بالتآكل البيولوجي للأنابيب والذي يحدث بفعل النشاط الفعال للحيوانات الميكروبية، وفي الوقت الحاضر يولى هذا الموضوع اهتماماً خاصاً ذلك لأن التآكل البيولوجي يؤدي الدور الأكبر في تخريب مواسير الإنتاج في آبار النفط والغاز وكذلك في أنابيب التجميع الحقلية.

تقسم البكتيريا إلى لاهوائية والتي يجري نشاطها عند انعدام الأوكسجين. وهوائية تنشط فقط في وجود الأوكسجين. فالبكتيريا اللاهوائية المتواجدة غالباً في الطبيعة بشكل واسع هي البكتيريا المولدة للكبريت ، والوسط الأكثر ملائمة لتطور هذه البكتيريا هو مياه الطبقات المنتجة في الآبار النفطية التي يكون فيها درجة الحموضة (PH=5-9) ودرجة الحرارة ($25\text{-}55C^0$). وكنتيجة لنشاط هذه البكتيريا يتشكل غاز الكبريت (H_2S) الذي يتحد مع معدن الأنابيب ويشكل كبريتات الحديد الراسبة.

$$2Fe + 6H_2S + 3O_2 \longrightarrow 2Fe_2S_3 \downarrow +6H_2O$$

3- حماية الأنابيب من الأكسدة الداخلية:

من أجل حماية التجهيزات والمعدات من الأكسدة فقد تبين أن الفصل الجيد للمياه الطبقية (بالنسبة لأنابيب نقل النفط الخام) وكذلك الغازات الحامضية (بالنسبة لنقل الغاز) هذا بالإضافة إلى تخليص النفط من الأملاح المنحلة، يعتبر الطريقة المثلى في مكافحة التآكل الداخلي كما أن استخدام المواد المخفضة للأكسدة (تُدعى موانع التآكل) من أفضل الأساليب نفعاً ومن أهم المسائل التي تتعلق بهذا العمل هو اختيار المادة الأكثر فعالية والأقل كلفة. وتستعمل في الأوساط الحمضية عادة المواد العضوية وبعض المواد البوليميرية وغيرها. ومن المواد التي تسبب تأخيراً في نشاط الأكسدة في الأوساط الحمضية هي الأمينات والكيتونات والفينولات وغيرها. ويتراوح تركيز هذه المواد ضمن المجال (1% – 0.1) من كمية الوسط المحيط، ويجب الانتباه إلى أن درجة الحرارة العالية تمنع هذه المواد من أن تلعب دورها المرسوم.

وهناك طرق أخرى تتمثل في عزل الأنبوب من الداخل بطبقة من مادة خاملة، غير أن هذه الطريقة لم تستخدم بشكل واسع بسبب صعوبة عزل هذه الأنابيب من الداخل بشكل متجانس وبسبب ارتفاع كلفة عملية العزل من جهة أخرى.

4- حماية الأنابيب من التآكل الخارجي:

إن الأنبوب المعدني المعزول والواقع في التربة له اتصال غير مباشر مع رطوبة التربة من خلال عدم تماسك طبقة العزل، ورطوبة التربة عبارة عن محلول له تراكيب و تراكيز مختلفة وحصول التماس بينها وبين المعدن يسبب تشكل العناصر المتأكسدة، وهناك أسباب لنشاط عملية الأكسدة بين معدن الأنبوب والتربة منها:

- عدم تجانس هيكلية بناء المعدن.
- نشؤ مواقع مشوهة في المعدن (في مواقع الوصل واللحام).
- وجود الخدوش (أثناء عملية البناء) والتشققات في سطح المعدن سبباً لنشؤ المواد المؤكسدة.

وهناك طرق لمقاومة التآكل الخارجي في الأنابيب أهمها الطرق الخاملة والطرق النشيطة. ويتلخص جوهر الطرق الخاملة بعزل سطح المعدن بطبقة من مادة خاملة كالقطران (tar) وغالباً ما يستخدم القار (Bitumen) والبوليمير، حيث يتم تنظيف الأنبوب بواسطة فراشي خاصة ثم يطلى الأنبوب بعد ذلك بالمادة العازلة.

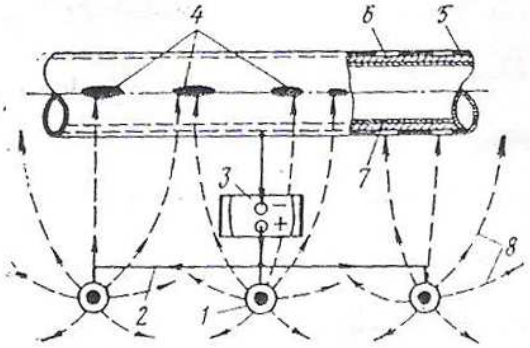
من أجل اختبار نوع الحماية للمنشات تحت أرضية (أنابيب، خزانات) لا بد من توفر بعض المعلومات عن الخواص التآكلية للتربة، فكلما كانت المقاومة الكهربائية للتربة (الجافة) كبير، كلما كانت تيارات التآكل أقل وبالتالي سرعة منخفضة للتآكل .

اعتماداً على المقاومة النوعية لأجزاء التربة التي سيتموضع فيها الأنبوب والتي يفرق بينها بالمقاومة النوعية من عالية جداً (5 Ohm.m) إلى ضعيفة (100 Ohm.m >) يتم اعتماد نوع وسماكة طبقة العزل. وفي جميع أحوال العزل الخامل فإن مادة العزل يجب أن تتميز بالتالي:

1- عدم قابلية تحرير الماء.
2- متانة جيدة حول المعدن.
3- عزل كامل للتيار الكهربائي.
4- إبداء قساوة وقابلية المقاومة ضد التأثيرات الخارجية عند ردم الأنبوب.
5- أن تكون رخيصة الثمن.

وهناك طرق أخرى تستخدم لقياس سماكة وتماسك طبقة العزل الخامل. عند الاستخدام الطويل لأنابيب النفط وللخزانات المحمية فقط بالعزل الخامل سوف تظهر رؤوس تآكل بعد حوالي (5-8) سنوات بعد ردم الأنابيب، وبعد (2-3) سنة في حال تواجد تيارات التحريض في منطقة إنشاء الأنابيب، لذلك لا بد من اتباع طريقة أخرى مع الطرق الخاملة وهكذا كانت الطريقة التنشيطية المتمثلة بالحماية الكاثودية (المهبطية):

ويتمثل جوهر هذه الطريقة بجعل الأنبوب المعدني مهبطاً عن طريق وصله إلى القطب السالب لمولد كهربائي ثابت ومستمر. أما القطب الموجب فيوصل إلى مصعد من الحديد (أو مادة أخرى) ويوضع في التربة (يغمس) في التربة ويبعد عادة عن الأنبوب مسافة (200 m - 100)، أما التجهيز الواحد فيكفي لحماية الأنابيب بطول (8 – 10 km) حيث يُمد سلك أرضي بين المصاعد وبهذا الشكل يصبح انتقال المعدن من المصعد إلى المهبط (الأنبوب) أي أنه مع الزمن يتآكل المصعد الذي يمكن تغيره انظر الشكل (16).



شكل رقم (16)

شكل نموذجي للحماية المهبطية لمنشأة حديدية

حيث أن :

1 – وتد 2 – كابل 3 – مولد كهربائي 4 – جدار الأنبوب 5 – العزل الخارجي للأنبوب
6 – الأنبوب 7 – العزل الداخلي للأنبوب 8 – جهة التيار الكهربائي

إن نوعية الأنابيب والتربة المحيطة بها تلعب دوراً في تحديد عناصر المجال الكهربائي (شده التيار ، فرق الكمون) والحد الأدنى لفرق الكمون الذي عنده تقف عملية الأكسدة يسمى الكمون الأدنى للحماية وهذا الكمون يتعلق بنوع المعدن ونوع العزل وطريقته وصفات التربة المحيطة بالأنابيب.

ولقد دلت التجربة أن مقدار الحد الأدنى للكمون يساوي (0.85 V) وعند هذا المقدار تتوقف تماماً عملية الأكسدة ويمكن اعتبارها معدومة ويعتبر هذا الرقم معتمداً لدى وضع التصاميم لأعمال حماية الأنابيب. من جهة أخرى يمكن رفع هذه القيمة حتى (1.5 V) في حال تعرض الأنبوب لخدوش ميكانيكية وعطب في طبقة العزل وبشكل عام يحدد الكمون المطلوب اعتماداً على أنواع المعادن المستعملة.