

القسم الثاني: التركيب الكيميائي للبتترول، وتصنيفه ومعالجته

التركيب الكيميائي للبتترول

إن أيدروكربونات السلاسل البارافينية والنفتينية والأروماتية هي المركبات الأساسية الداخلة في تركيب البتترول ٨٠ - ٩٠%، كما توجد في البتترول، علاوة على ذلك، كميات ضئيلة نسبياً من المركبات الأوكسجينية والكبريتية والنتروجينية. وتتحدد خواص البتترول الفيزيائية والكيميائية بنسبة المركبات الداخلة في تركيبه. أما الأيدروكربونات غير المشبعة "الأوليفينات" فغالباً لا تتوفر في الخام، ولكن يمكن توفرها نتيجة لعمليات التكرير المختلفة.

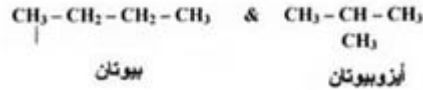
1. الأيدروكربونات الداخلة في تركيب البتترول

في البتترول أيدروكربونات غازية وسائلية وصلبة بتركيبات مختلفة ويمكن تقسيمها إلى :

أ. الأيدروكربونات البارافينية "الكانات"

الأيدروكربونات البارافينية الداخلة في تركيب البتترول عبارة عن غازات أو سوائل أو مواد صلبة عند درجة الحرارة العادية، وتحتوي سلسلة المركبات الغازية من ١ إلى ٤ ذرات كربون ($C_1 - C_4$) ، وتدخل هذه المركبات في تركيب الغازات الطبيعية المصاحبة " associated gases الميثان، الإيثان، البروبان، البيوتان". أما المواد التي تحوي من ٥ إلى ١٥ ذرة كربون ($C_5 - C_{15}$) ، فهي سوائل، تدخل في تركيب الجازولين والكيروسين ووقود آلات الديزل، وابتداءً من $C_{16}H_{34}$ مواد صلبة "شموع بارافينية".

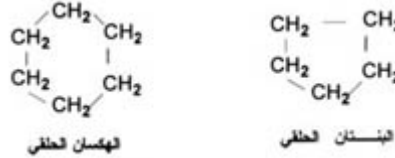
والأيدروكربونات سلسلة الميثان أيزومرات مختلفة، يزداد عددها ازدياداً كبيراً كلما زاد عدد ذرات الكربون في السلسلة الكربونية. وتؤدي هذه الخاصية إلى صعوبة فصل بارافينات منفصلة مفردة من القطفات البترولية، نتيجة لتقارب درجات غليان الأيزومرات. ويمكن أن يوجد البيوتان على شكلين كالآتي :



والأيدروكربونات ذات الصيغة الجزيئية $C_{13}H_{28}$ ، يمكن أن توجد في ٨٠٢ أيزومر، وكذلك $C_{14}H_{30}$ له ١٨٥٨ أيزومر، ولذلك نرى أن التركيب الكيميائي للبتترول معقد جداً. وأيزومرات الأيدروكربونات المتفرعة تختلف كلية في خواصها الكيميائية والفيزيائية، عن الأيدروكربونات المقابلة ذات السلسلة المستقيمة. وهذا الاختلاف ممكن أن يشاهد حتى بزيادة ذرة كربون واحدة في الجزيء. فنرى أن للهيبتان العادي ($n-C_7H_{16}$) رقم أكتان = صفر بينما أن للأيزو أكتان ($iso-C_8H_{18}$) رقم أكتان = ١٠٠. وتعتمد النسبة بين البارافينات العادية والمتفرعة على طبيعة الخام ذاته، فالبتترول ذو الكثافة الأقل يكون غنياً بالبارافينات العادية. والبارافينات العادية تؤدي إلى خفض الرقم الأوكتاني، بينما البارافينات المتفرعة تؤدي إلى رفع الخصائص المحركية لوقود الجازولين.

ب. الأيدروكربونات النفثينية "الألكانات الحلقية":

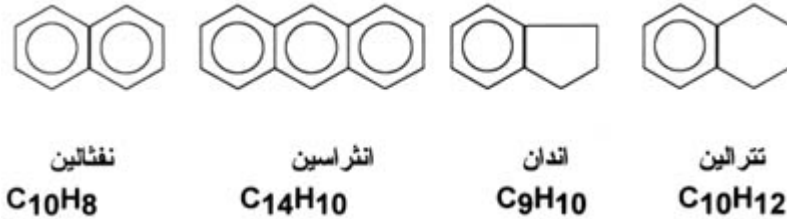
الصيغة الجزيئية العامة لها C_nH_{2n} ، وتختلف عن الأوليفينات بعدم وجود روابط ثنائية. وهي أكثر الأيدروكربونات الداخلة في تركيب البترول انتشاراً. وتوجد في قطرات البترول المنخفضة الغليان نفثينات خماسية وسداسية الحلقة "البننان الحلقي والهكسان الحلقي"



وتوجد كميات كبيرة من الأيدروكربونات النفثينية في القطرات التي تتبخر عند درجة حرارة أعلى من ٤٠٠ م. وفي بعض أنواع البترول الغنية بالبارافينات، تحتوي على القطرات التي تتبخر عند درجة ٤٠٠ - ٥٥٠ م على ٧٠ - ٨٠% من الأيدروكربونات النفثينية. وتتميز نفثينات القطرات البترولية العالية بتركيب متعدد الحلقات، أي أنها تحتوي على حلقة واحدة أو عدة حلقات ذات سلاسل بارافينية جانبية طويلة.

ج. الأيدروكربونات الأروماتية:

تدخل الأيدروكربونات الأروماتية، من سلسلة البترول والتولوين والنفثالين وغيرها، في تركيب جميع قطرات البترول. وقد تم فصل البنزول والتولوين من قطرات الجازولين. وتحتوي قطرات الكيروسين على أيدروكربونات أروماتية أحادية الحلقة، وقد ثبت وجود مشتقات ثنائي الفينيل والنفثالين وغيرها، وكذلك مشتقات البنزول ذات السلاسل الأليفاتية الجانبية الطويلة والقصيرة في القطرات التي تغلي عند درجات حرارة أعلى. والقطرات العالية الغليان تحتوي كقاعدة على نسبة من الأيدروكربونات الأروماتية أكبر مما تحتويه القطرات المنخفضة الغليان. وعلى هذا فإن في الجازولين الذي يحتوى على كمية كبيرة من الأيدروكربونات النفثينية، كمية صغيرة من الأيدروكربونات الأروماتية، وبالعكس فالقطرات الغنية بالأيدروكربونات البارافينية تحتوي على كمية كبيرة من الأيدروكربونات الأروماتية، وقد اكتشف وجود أيدروكربونات تحتوي على حلقات أروماتية ونفثينية في الوقت نفسه، وذلك في القطرات البترولية الزيتية العالية الغليان.



2. المكونات غير الأيدروكربونية في البترول :

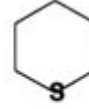
أ. المركبات الكبريتية :

تتوفر المركبات الكبريتية في جميع أنواع البترول بكميات مختلفة ٠,٥% إلى ٣% ويمكن أن تصل إلى ٧%، ويُعدّ الخام المحتوي على أقل من ٠,٥% كبريت خامًا منخفض الكبريت، وأعلى من ذلك يُعدّ خامًا عالي الكبريت .

ويدخل الكبريت في تركيب مركبات مختلفة، منها غاز كبريتيد الأيدروجين H₂S ، والمركبات RSH والكبريتيدات R-S-R وثنائي الكبريتيدات R-S-S-R والكبريتيدات الحلقية .



تتراميثيلين سلفيد



بنثامثيلين سلفيد

وكذلك مشتقات الثيوفين



ويتوزع الكبريت في القطفات البترولية، بحيث تزداد نسبة وجوده مع ارتفاع درجة الغليان .

ب. المركبات النتروجينية :

توجد المركبات النتروجينية في البترول بكميات صغيرة "من ٠,٣ إلى ٠,٣%"، وتزداد نسبة النتروجين في البترول بزيادة الوزن النوعي، ونسبة المواد الراتنجية، ويوجد النيتروجين في الغالب على صورة مركبات ذات طابع عضوي، وتتركز المركبات النتروجينية أثناء التقطير بصورة أساسية في المتبقي بعد عملية التقطير الأولى وهو المازوت .

ج. المركبات الأكسجينية :

لا تزيد نسبة الأكسجين في البترول عن ١%، وتنتمي إلى الأحماض النفثينية والفينولات وكذلك المركبات الأسفلتية الراتنجية . والأحماض النفثينية من ناحية التركيب الكيميائي هي مركبات حلقية تحتوي على مجموعة الكربوكسيل .

د. الشوائب المعدنية :

إن دراسة رماد البترول تقودنا إلى أن البترول يحتوي - علاوة على الأزوت N والكبريت S - على عناصر أخرى مثل الفاناديوم V والفسفور P والبوتاسيوم K والنيكل Ni واليود I وغيرها .

هـ. المواد الأسفلتية والراتنجية :

تتضم إلى طائفة المركبات العديدة الحلقات، ذات الوزن الجزيئي الهائل المتعادلة والمحتوية على الكبريت، علاوة على الأكسجين وتتركز في المتبقي بعد التقطير .

والمواد الراتنجية والأسفلتية تكسب المنتجات البترولية لونًا غامقًا، ويساعد توفر كميات كبيرة من هذه المواد في الوقود، على تكوين فحم الكوك والقشور في أسطوانات المحرك .

وتنقسم المواد الراتنجية والأسفلتية، طبقًا للتصنيف المعمول به، إلى راتنجات متعادلة تذوب في الجازولين الخفيف، وأسفلتينات" نواتج بلمرة الراتنجات المتعادلة مع الأحماض الأيدروكسيلية" لا تذوب في الجازولين الخفيف، ولكنها تذوب في البنزول والكلوروفورم، وكبريتيد الكربون، وأحماض بوليفينينية وانهيدريداتها؛ وهي ذات طابع حمضي، ولا تذوب في الجازولين الخفيف ولكنها تذوب في الكحول .

تصنيف خام البترول

لنظام تصنيف البترول أهمية كبيرة، إذ يسمح بتحديد اتجاه تكرير البترول، وقائمة أنواع المنتجات وجودتها .

ويتخذ التركيب الأيدروكربوني أساسًا للتصنيف الكيميائي للبترول، فبعض أنواع الخام تحتوي على نسب عالية من البارافينات، ومنها الشموع البارافينية الصلبة، وأنواع أخرى تحتوي على النفثينات . وبالتالي فالمنتجات غير القابلة للتقطير "المتبقي" تختلف من خام إلى خام آخر .

ويصنف البترول الخام بطريقة عامة إلى ثلاثة أصناف :

1. البترول ذو الأساس البارافيني :

يحتوي على الشموع البارافينية، وقد يحتوي على كميات ضئيلة من المواد الأسفلتية، ويحتوي عمومًا على الأيدروكربونات البارافينية، وغالبًا ما يعطي كميات جيدة من الشمع البارافيني وزيت التزيبب عالية الجودة .

2. البترول ذو الأساس الإسفلتي :

يحتوي على المواد الإسفلتية بكميات كبيرة، أما الشمع البارافيني فلا يتوفر أو يتوفر بكمية ضئيلة، الأيدروكربونات تكون غالبًا من النوع النفثيني "الحلقي" . وتحتاج زيوت التزيبب المنتجة من هذا الخام إلى نوع من المعالجة لتكون في كفاءة الزيوت المنتجة من الخامات ذات الأساس البارافيني .

3. الخام ذو الأساس المختلط :

يحتوي على كل من الشمع البارافيني وكذلك المواد الإسفلتية بالتساوي، وبه الأيدروكربونات البارافينية والنفثينية، وكذلك بعض النسب من الأيدروكربونات الأروماتية .

الخواص الفيزيائية للبترول ومنتجاته :

عرفنا أن البترول هو خليط معقد من المركبات الأيدروكربونية؛ ولذلك فإن الخواص الفيزيائية التي يتم تعيينها هي في الواقع متوسطات للقيم المفردة لهذه المركبات .

1. الوزن النوعي النسبي ودرجة API:

بعدّ الوزن النوعي والكثافة من أهم الخصائص المستخدمة عند دراسة البترول والمنتجات البترولية. ولهاتين الخاصيتين أهمية خاصة عند حساب وزن المنتجات البترولية وكتلتها في الحالات التي يعين فيها حجم هذه المنتجات بالقياس المباشر .

ويطلق اصطلاح الوزن النوعي للسائل أو الغاز، على وزن وحدة حجمه، ويطلق اصطلاح كثافة السائل أو الغاز، على كمية المادة الموجودة في وحدة الحجم، ولتعيين الوزن النوعي لمادة ما، يجب قسمة وزن جسم منها G على حجمه G/V:

ولتعيين كثافة مادة ما، يجب قسمة كتلة جسم منها m على حجمه V

$$P = \frac{m}{V} \text{ Kg/m}^3$$

أما الوزن النوعي النسبي "الكثافة النسبية"، فهي كمية غير مميزة، وتساوي نسبة كثافة المادة المختبرة إلى كثافة الماء النقي عند درجات الحرارة القياسية "4+م للماء و+ 20م للمنتجات البترولية" ويرمز له بالرمز 420 والكثافة النسبية والوزن النوعي النسبي كميّتان متساويتان عدديًا. وتقاس كثافة الماء عند درجة 4 م، إذ أن أعلى كثافة للماء تكون عند هذه الدرجة. وهناك طريقة أخرى للتعبير عن كثافة السوائل وهي درجة American Petroleum Institute API

وهي مقلوب الوزن النوعي النسبي، ويعبّر عنها بالعلاقة التالية :

$$\text{Degree API} = \frac{141.5}{\text{Sp.gr.60 / 60}^\circ\text{F}} - 131.5$$

$$F^\circ = C^\circ \times \frac{9}{5} + 32$$

$$C^\circ = (F^\circ - 32) \frac{5}{9}$$

وتعين كثافة المنتجات البترولية بواسطة الهيدروميتر أو بالميزان الأيدروستاتي، وكذلك بواسطة قنينة الكثافة .

وتقل كثافة المنتجات البترولية بارتفاع درجة الحرارة. كذلك هناك تأثير بسيط للضغط على كثافة السوائل. وهناك جداول شاملة تبين تغير الكثافة أو الوزن النوعي مع التغير في درجة الحرارة والضغط .

ودرجة API تبدأ غالبًا من 10 إلى 50 API، ولكن لمعظم أنواع خام البترول تنحصر القيمة بين 20 إلى 40 API.

وتستخدم قيم الكثافة والوزن النوعي مرشدًا لمعرفة التركيب الكيميائي للخام، فعمومًا الأيدروكربونات البارافينية تكون كثافتها قليلة، والأيدروكربونات النفثينية والأوليفينية لها كثافات متوسطة، أمّا الأيدروكربونات الأروماتية فلها قيم كبيرة للكثافة .

2. اللزوجة "الاحتكاك الداخلي للسائل "

" وهي مقاومة السائل لإزاحة إحدى طبقاته بالنسبة لطبقة أخرى تحت تأثير قوة خارجية"، ويتم التمييز بين اللزوجة الدينامية والكينماتية والنسبية .

اللزوجة الدينامية (n) وتقاس بالباسكال ثانية (Pa.s)

واللزوجة الكينماتية (v) وهي النسبة بين اللزوجة الدينامية والكثافة النسبية للسائل d عند درجة الحرارة نفسها، وتقاس بالمتر المربع على الثانية .

اللزوجة النسبية هي النسبة بين زمن تدفق ٢٠٠ ملل من المنتج البترولي عند درجة حرارة الاختبار، وبين زمن تدفق حجم الماء المقطر نفسه عند درجة ٢٠ م .

مقياس اللزوجة البسيط

Simple Viscometer

يتم تعيين الزمن الذي يأخذه السائل من الانتقال إلى الوصول إلى الانتفاخ ٢ من خلال الأنبوبة C

تتغير لزوجة المنتجات البترولية مع التغير في درجة الحرارة، فتقل بارتفاع درجة الحرارة، وتزداد بانخفاضها. وبالنسبة لزيت التزيب، لا بد من تعيين التغير في اللزوجة خلال معدل درجات التشغيل العادية .

ومن هذه الطرق دليل اصطلاحي افتراضي يطلق عليه اسم دليل اللزوجة (Viscosity Index (VI ، ويعين بواسطة مخططات بيانية خاصة، على أساس معرفة مقدار اللزوجة عند ١٠٠ م، ٥٠ م؛ وذلك لزيت قياسية، والمقارنة بينها حيث يعطي الزيت الذي تتأثر لزوجته تأثراً كبيراً بالتغير في درجة الحرارة = VI صفر، أما الزيت الذي له خواص لزوجة جيدة وذلك بتغير الحرارة بين هاتين الدرجتين فيعطي VI = 100 وتقرن زيوت التزيب بهذا الدليل. فدليل اللزوجة العالي القيمة يدل على زيت تتأثر لزوجته تأثراً طفيفاً مع التغير في درجة الحرارة .

3.الوزن الجزيئي :

يتوقف الوزن الجزيئي للبتروول والقطفات البترولية على الوزن الجزيئي للمركبات الداخلة فيها وعلى النسبة بينها. وغالباً ما يتراوح للخام من ٢٥٠ إلى ٣٠٠. ويزداد الوزن الجزيئي للقطفات البترولية بارتفاع درجة غليانها. والتركيب الأيدروكربوني للقطفات المتماثلة من الأنواع المختلفة للبتروول مختلف، ونتيجة لذلك تكون أوزانها الجزيئية غير متساوية .

وعند درجات الغليان نفسها، تتميز قطفات الأنواع البارافينية من البتروول بأكثر وزن جزيئي، وقطفات الأنواع النفثينية الأروماتية بأقل وزن جزيئي، وتشغل قطفات البتروول ذات القاعدة النفثينية مكاناً وسطاً .

4.درجة الوميض والاشتعال والاشتعال الذاتي :

يحكم على قابلية المنتجات البترولية الخفيفة للاشتعال "الالتهابية" inflammability بدرجة وميضها .

يطلق اسم درجة الوميض flash point على درجة الحرارة التي تومض عندها أبخرة المنتج البترولي المسخن في ظروف محددة عند تقريب لهب منها .

وتتميز درجة الوميض بأن اللهب ينطفئ في الحال. وإذا رفعت بعد ذلك درجة حرارة السائل، فعند الوصول إلى درجة حرارة معينة، وتقريب اللهب، تشتعل الأبخرة مرة أخرى، ولكنها لا تنطفئ. ويطلق على درجة الحرارة هذه "درجة الاشتعال للمنتجات Ignition point" ودرجة الاشتعال أعلى دائماً من درجة الوميض .

ولكي يتم وميض الأبخرة القابلة للاشتعال، يجب أن تقع نسبة تركيزها في الهواء في حدود معينة، ويفرق بين الحد الأعلى والحد الأدنى لتركيز الأبخرة. والحد الأدنى هو أقل نسبة لتركيز الأبخرة في الهواء يلاحظ عندها الوميض عند تقريب اللهب، أما الحد الأعلى فهو تلك القيمة لتركيز الأبخرة التي لا يحدث الوميض بعدها لعدم

كفاية الأكسجين. والحد الأدنى لتركيز الأبخرة البترولية هو الذي يؤخذ في الاعتبار عند تعيين درجة الوميض. وكلما خف المنتج البترولي كانت هذه الدرجة أقل. فدرجة وميض الجازولين أقل من صفر، والكيروسين ٣٠ - ٥٠ م، ووقود الديزل المختلف الأنواع من ٣٠ إلى ٩٠ م، وزيت التزيت من ١٣٠ إلى ٣٢٠ م.

ويحكم في الظروف الصناعية على وجود القطفات الخفيفة في المنتجات بدرجة الوميض، فتدل مثلاً درجة الوميض المنخفضة للمازوت، المتبقي بعد تقطير البترول، على أن المنتجات البترولية الخفيفة لم تفصل جيداً منه.

وعلاوة على درجة الوميض ودرجة الاشتعال اللتين يجري عند تعيينهما اشتعال الأبخرة البترولية بتقريب لهب إليها، تعرف أيضاً ظاهرة "الاشتعال الذاتي" Self Ignition، أي الظاهرة التي يجري عندها اشتعال المنتج المسخن عند التلامس مع الهواء بدون تقريب لهب إليه. ويطلق اسم درجة الاشتعال الذاتي "العفوي" على درجة الحرارة التي عندها يشتعل المنتج البترولي ذاتياً عند ملامسة الهواء. وتعتمد درجة الاشتعال الذاتي على ثبات المنتج لتأثير الأكسجين. وأكثر المنتجات تعرضاً للاشتعال الذاتي هي متبقيات تكرير البترول الثقيلة "القار والسناج وغيرها". فدرجة الاشتعال الذاتي للمنتجات البترولية المنخفضة الغليان أعلى من درجة الاشتعال الذاتي للمنتجات العالية الغليان. وتبلغ درجة الاشتعال الذاتي للمتبقيات البترولية ٣٠٠ م - ٣٥٠ م، وللكيروسين أعلى من ٤٠٠ م، وللجازولين أعلى من ٥٠٠ م.

أما درجة وميض الجازولين، فهي أقل من ١٨ م، معنى ذلك أنه في درجات الحرارة العادية يكون تركيز بخار الجازولين أعلى بكثير من تركيز الهواء في حيز مغلق، وبالتالي لن يشتعل الجازولين. أما المنتجات البترولية التي تتراوح درجة وميضها بين ٣٠ و ٦٠ م، فيجب الاحتياط من خطورة اشتعالها، حيث إنه في خلال هذا المدى من درجات الحرارة يتم إنتاج هذه المنتجات ونقلها وتخزينها.

5. معامل الانكسار

تتغير سرعة الأشعة الضوئية واتجاهها عند انتقالها من وسط إلى آخر، وتسمى هذه الظاهرة بـ "انكسار الشعاع". ويطلق اسم "معامل الانكسار" على النسبة بين زاوية سقوط الشعاع وزاوية الانكسار. ويدخل في تركيب البترول والمنتجات البترولية طوائف أيدروكربونية مختلفة ذات معاملات مختلفة للانكسار. فأيدروكربونات السلسلة البارافينية ذات معامل انكسار قليل يليها الأيدروكربونات النفثينية ثم الأروماتية، ويزداد معامل الانكسار بازدياد الوزن الجزيئي للأيدروكربونات. ويستخدم جهاز خاص لتعيين معامل الانكسار يطلق عليه اسم "مقياس انكسار الأشعة" (refractometer).

معالجة البترول

يصاحب البترول أثناء خروجه من البئر غازات وأملاح ومياه وشوائب ميكانيكية "رمال وطين"، ولذا يجب فصل هذه الأشياء جزئياً في الحقل، وكلياً بعد ذلك في معمل التكرير.

ويتم فصل الغازات المصاحبة في حقول البترول في أجهزة خاصة "مصايد"، ثم تدفع إلى وحدة الجازولين لفصل المكثفات الخفيفة، التي تكون غالباً مصاحبة للغازات، والتي يتم فصلها بتكثيفها وتسمى "الجازولين الطبيعي". ثم يدفع الخام بعد ذلك إلى مستودعات ترسيب، حيث يتم فصل الشوائب الميكانيكية بالترسيب. بعد ذلك يتم نزع الأملاح من البترول عن طريق غسل الأملاح بالماء العذب، ثم ينزع الماء بعد ذلك من البترول. ويعالج البترول المحتوي على نسبة كبيرة من الأملاح بواسطة

10 - ١٥% من الماء مرتين أو ثلاث مرات. ويفصل الماء من البترول في بعض الأحيان بسهولة نسبياً. ولكن غالباً ما يكون مستحلبات ثابتة مع البترول صعبة الفصل، خصوصاً خلال عمليات الضخ والنقل في أنابيب بسرعة كبيرة مما يصعب التخلص منه.

إعداد البترول للتكرير

1. طرد الغازات وتثبيت البترول في الحقول

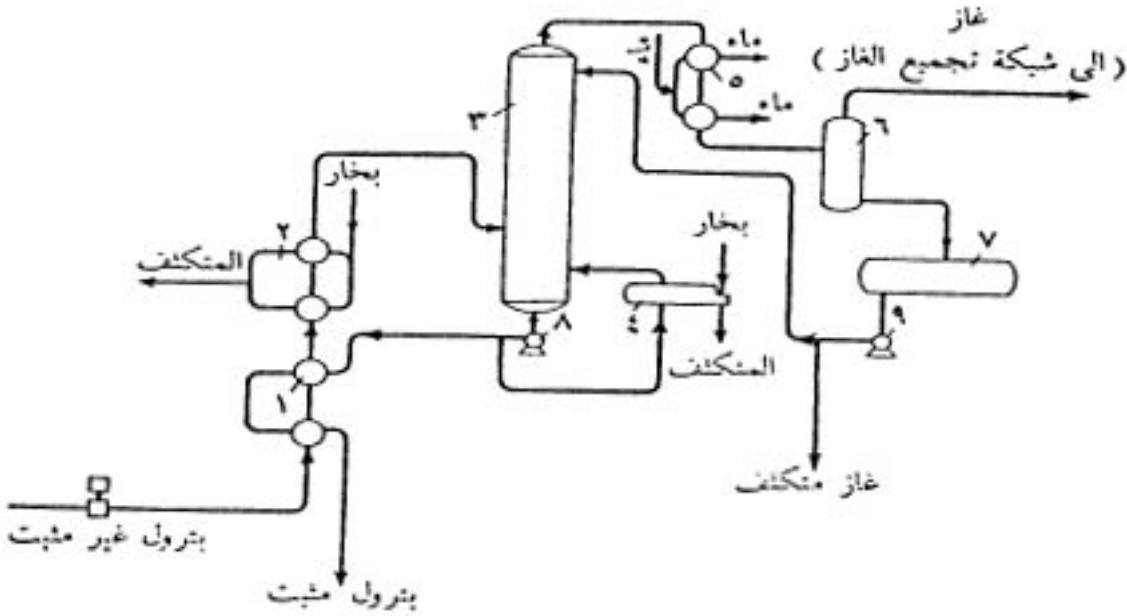
إنّ الغاز الذي يصاحب البترول أثناء خروجه من البئر، يجب فصله عن البترول. ويتم هذا الفصل في حقول البترول في أجهزة خاصة "مصايد"، وذلك بواسطة خفض سرعة حركة مخلوط البترول والغاز. وتستخدم طريقة فصل الغاز على عدة مراحل في حالة وجود ضغط عال في البئر .

ولا يكفي فصل الغاز فقط من البترول، إذ يتبقى بعد الفصل كثير من القطرات الخفيفة التي قد تتبخر أثناء التخزين في المستودعات وصب البترول في الصهاريج... إلخ. ولذلك فمن المستحسن تثبيت البترول في الحقول، وخاصة إذا كان البترول المستخرج يحتوي على كثير من القطرات الخفيفة، ويراد نقله لمسافات بعيدة .

ويتلخص تثبيت البترول في فصل القطرات الخفيفة والغازات الذائبة عن الخام. وتوجه لهذا الغرض أبخرة القطرات الخفيفة والغاز بعد مرورها خلال مكثف إلى فاصل الغاز gas separator، حيث يفصل الغاز ويدفع بواسطة مضخة إلى شبكة الغاز أو إلى مصانع معالجة الغاز. ويوجه البترول المثبت إلى المصانع للتكرير .

ويوضح (الشكل الرقم ٦) الرسم التخطيطي لوحدة تثبيت نموذجية .

مخطط وحدة نموذجية لتثبيت البترول



١ - مبادلات حرارية ، ٢ - مسخنات ، ٣ - مثبت ، ٤ - مسخن ، ٥ - مكثف مبرد
٦ - فاصل الغاز ، ٧ - سعة ، ٨ ، ٩ - مضخات .

يدفع البترول المنزوع منه الماء والذي لا يحتوي على أكثر من ٢% من الماء إلى مبادلات حرارية حيث يسخن بواسطة البترول المثبت، ثم يمر في مجموعة مبادلات حرارية مسخنة بالبخار. ويدخل البترول بعد تسخينه إلى درجة 90° م في المثبت الذي يعمل تحت ضغط ١،٥ ضغط جوي، والمزود بمسخن بخاري reboiler يعمل على تثبيت درجة الحرارة عند ١١٠ م. ويدفع البترول المثبت في مبادلات حرارية حيث يبرد على حساب تسخين البترول الخام غير المثبت، ثم يجمع بعد ذلك في خزان. ويمر مخلوط البخار والغاز الخارج من المثبت خلال مكثف وفاضل. وتوجه الغازات الخارجة من الفاصل للمعالجة أو تدخل في شبكة جمع الغاز. أما المكثف فيجمع في سعة حيث يدفع جزء منه إلى القسم العلوي للمثبت كرجع .

2. نزع الماء والأملاح من البترول :

إن الماء والشوائب الميكانيكية "الأملح والرمل والطين" تصاحب البترول دائماً أثناء استخراجِه. ويفصل الماء من البترول في بعض الأحوال بسهولة نسبية، ولكنه يكون مستحلبات ثابتة مع البترول في البعض الآخر .

ويجب أن يخضع البترول الذي يحصل عليه على صورة مستحلب، لمعالجة خاصة معقدة نسبياً لفصله عن الماء والشوائب الميكانيكية، حيث إن تكرير البترول ذو الشوائب يعقد تشغيل الوحدات الصناعية إلى حد كبير. فإذا سخن مثلاً بترول يحتوي على شوائب ميكانيكية في مبادل حراري، فإن هذه الشوائب تترسب على سطح التسخين؛ مما يؤدي إلى خفض كفاية المبادل الحراري، وأثناء مرور البترول في الأنابيب بسرعات كبيرة يكون للجسيمات الصلبة تأثير المواد الحاكة، أي أنها تحك في الأجهزة فتبليها قبل الأوان. ويؤدي بقاء الشوائب الميكانيكية في المتبقيات البترولية بعد التقطير، إلى خفض جودة هذه المتبقيات وزيادة نسبة الرماد فيها (وقود الغلايات والكوك)، وإلى عدم إمكانية الحصول على منتجات مطابقة للمواصفات .

ويتبخر بشدة الماء الداخل مع البترول في أجهزة التسخين، فيزداد حجمه زيادة بالغة، مما يؤدي إلى رفع الضغط في الأجهزة والإخلال بالمعدلات التشغيلية التقنية للوحدة. ويحتوي الماء الموجود في البترول على كمية كبيرة من الأملاح. وتتوفر هذه الأملاح بصورة أساسية على هيئة كلوريدات $NaCl, MgCl_2, CaCl_2$ ، ويتكون حمض الأيدروكلوريك من تحلل كلوريد الكالسيوم وخاصة كلوريد المغنسيوم أثناء عملية التقطير، ويحت هذا الحمض الأجهزة بشدة .

ويتضح مما سبق أن البترول بعد الحصول عليه من الآبار، يجب أن يخضع لمعالجة إعدادية لتوفير درجة نقاوته المطلوبة .

3.المستحلبات البترولية :

هناك نوعان من المستحلبات البترولية: "الماء في البترول"، مستحلبات أيروفوبية hydrophobic ، و"البترول في الماء"، مستحلبات أيروفيلية hydrophilic .

ومستحلبات النوع الأول أكثر انتشاراً من النوع الثاني. وفي مستحلبات النوع الأول يوجد الماء في البترول على صورة كمية لا حصر لها من القطرات المنتهية في الصغر. أما في مستحلبات النوع الثاني فيكون البترول على صورة قطرات مفردة معلقة في الماء .

وتتلخص عملية تكوين المستحلبات في الآتي: على الحد الفاصل بين سائلين لا يختلط بعضهما ببعض، وأحدهما مشتمت في الآخر على صورة جسيمات صغيرة جداً، تتراكم مادة ثالثة ضرورية لتكوين المستحلب وتسمى بالعامل المستحلب أو مثبت المستحلب. وينوب العامل المستحلب في أحد السائلين مكوناً ما يشبه الغشاء. ويحجب هذا الغشاء قطرات المادة المشتملة ويمنع اندماجها. وهذه العوامل المستحلبة في البترول هي الراتنجيات والأسفلتينات وصابون الأحماض النفطية والأملاح. وعلاوة على المواد المذكورة، تؤثر الشوائب الصلبة المختلفة المشتملة في أحد الأطوار على ثبات المستحلب .

والعوامل المستحلبة إما أيروفيلية أو أيروفوبية. وتعدّ المواد الراتنجية الأسفلتية والأحماض النفطية الموجودة في البترول مركبات طبيعية وعوامل مستحلبة أيروفوبية. أما الصوابين الصوديومية والبوتاسيومية التي تتكوّن أساساً من تفاعل الأحماض النفطية الموجودة في البترول مع أملاح المعادن الذائبة في ماء الحفر، فهي عوامل مستحلبة أيروفيلية. وتتمتع نفثينات Ca, Al, Fe, Mg بخواص أيروفوبية. والمعلقات الصلبة عديمة النشاط السطحي، إلا أن تراكمها على السطح البيني، interface، بين البترول والماء يجعل الغشاء أكثر متانة والمستحلب أكثر ثباتاً. ويعتمد تكون المستحلبات من النوعين المذكورين أعلاه على وجود هذا النوع أو ذلك من العوامل المستحلبة والمثبتة .

ويكون المستحلب المتكون من خلط الماء والبترول ذا طابع "بترول في الماء" إذا كان المثبت يذوب في الماء. أما إذا كان المثبت يذوب في الوسط الأيدروكربوني فيتكون المستحلب من نوع "ماء في البترول" .

4.الطرق الصناعية لإزالة استحلاب البترول :

هناك نوعان من المستحلبات البترولية "الماء في البترول" و"البترول في الماء"، يتضح مما تقدم أن سبب ثبات المستحلب البترولي يكمن في وجود غشاء متين واق على سطح القطرات. ويتلخص هدم المستحلبات في تحطيم الأغشية التي تمنع اندماج القطرات، والسبب الآخر لثبات المستحلبات هو تراكم شحنات الكهرباء الاستاتيكية على سطح قطرات الماء والمعلقات الصلبة. فتحت تأثير شحنات الكهرباء الإستاتيكية يحدث تنافر متبادل يمنع اندماج قطرات الماء. تتلخص عملية إزالة الاستحلاب في تحطيم المستحلب. وفي أغلب الأحوال، يمكن تقسيم هذه العملية إلى مرحلتين :

أ. تحطيم الأغشية الواقية واندماج قطرات الماء المعلقة إلى الحجم الذي يسمح بترسبها فيما بعد.

ب. ترسب القطرات الموحدة وفصل الماء عن البترول.

ويُزال استحلاب البترول في الظروف الصناعية تحت تأثير المواد المانعة للاستحلاب ودرجات الحرارة والمجال الكهربائي، كما يمكن استخدام التأثير المشترك لهذه العوامل. وهناك أيضاً طرق أخرى لتحطيم المستحلبات، مثل الطرد المركزي "الترشيح" واستخدام الإلكتروليتات. ولا تستخدم هذه الطرق على نطاق واسع؛ نظراً لقلّة فعاليتها أو لصعوبة تحقيقها .

ويُزال الاستحلاب بالطرق الآتية :

أ. الطرق الميكانيكية :

وتتم بالترويق أو الطرد المركزي أو الترشيح، ولكن لا تستخدم هذه الطرق على نطاق واسع .

ب. الطرق الحرارية :

تتم بتسخين المستحلب، وخلال ذلك تتمدد الطبقة المثبتة للمستحلب، وتتكسر، وبالتالي تتجمع قطرات الماء وتندمج. وتتخلص الطريقة الحرارية لنزع الماء في تسخين البترول وترويقه في الخزانات. وتستخدم هذه الطريقة لمعالجة المستحلبات غير الثابتة فقط، وهي تؤدي إلى فقد كمية كبيرة من قطرات البترول الخفيفة في حالة الإحكام غير الكافي .

ج. الطرق الكيميائية :

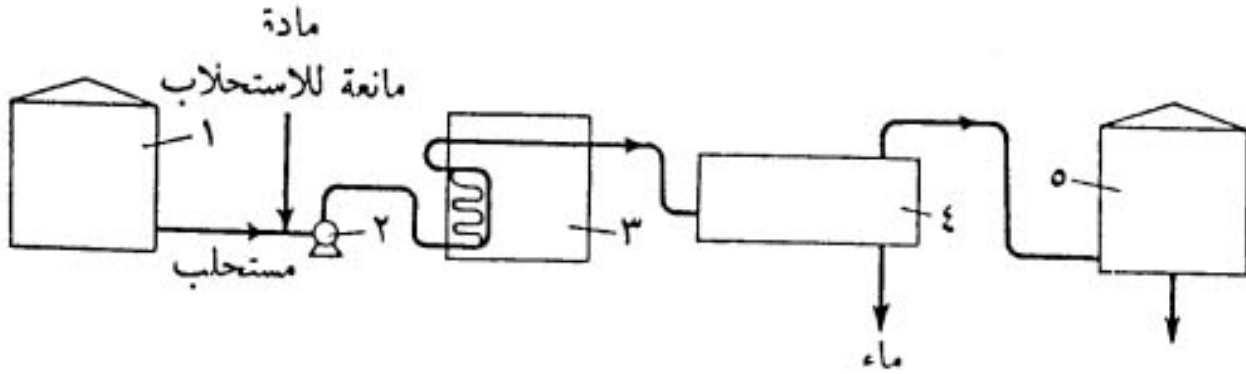
باستخدام مواد كيميائية مانعة للاستحلاب تكون رخيصة وذات فعالية كافية، وهذه المواد تضعف الغشاء المغلف لقطرات الماء .

د. الطرق الكيميائية الحرارية :

وفيها تستخدم مواد كيميائية مانعة للاستحلاب، وذلك خلال عملية تسخين المستحلب البترولي. ويمكن استخدام الطريقة الكيميائية الحرارية لإزالة الاستحلاب بنجاح، إذا وجدت مادة مانعة للاستحلاب تكون رخيصة وذات فعالية كافية، ويسهل الحصول عليها ونقلها، ولا تسبب التناثر الكيميائي للأجهزة. كما يجب، علاوة على ذلك، أن تختلط المادة المانعة للاستحلاب بالسائل الذي توضع فيه، لكي وتتم الطريقة الكيميائية الحرارية لإزالة الاستحلاب كالآتي :

يخلط المستحلب البترولي مع المادة المانعة للاستحلاب مباشرة، في مضخة طاردة مركزية، تضخ الخام إلى وحدة إزالة الاستحلاب. وتدفع المادة المانعة للاستحلاب بواسطة مضخات مجزئة إلى خط سحب مضخات الخام. ويسخن المخلوط في مبادلات حرارية أو في فرن أنبوبي بواسطة البخار، أو تيار من المنتج البترولي الساخن، أو بواسطة النار إلى درجة 70-75°م. ويؤدي التلامس بين المادة المانعة للاستحلاب وبين المستحلب، أثناء تحركهما في الأنابيب، إلى تحطيم الأغشية الواقية. ويدخل المستحلب المحطم بعد ذلك في وعاء نزع الماء أو في خزان حيث يفصل الماء عن البترول. ويوضح (الشكل الرقم ٧) الرسم التخطيطي لعملية إزالة

مخطط عملية إزالة الاستحلاب بالطرق الكيميائية الحرارية



١ ، ٥ - خزانات ، ٢ - مضخة ، ٣ - فرن ، ٤ - مروق .

وعيوب الطريقة المذكورة لإزالة الاستحلاب هي :

- أ . استهلاك كمية كبيرة من المواد المانعة للاستحلاب.
- ب . فقد قطرات البنزين الخفيفة.
- ج . ضرورة استخدام عدد كبير من الخزانات.
- د . تلويث المياه الصناعية المستهلكة بأملح السلفا... إلخ.

وللإقلال من زمن الترويق واستهلاك المادة المانعة للاستحلاب، يدفع المستحلب في مستودع به وسادة من الماء المفصول من المستحلب، والذي يحتوي على كمية من المادة المانعة للاستحلاب .

وقد انتشر استخدام طريقة كيميائية حرارية أكثر تطوراً لنزع الماء من البترول، وهي تسمح بالإقلال من الفاقد. ويتم الترويق في هذه الطريقة في أجهزة محكمة (أوعية خاصة لنزع الماء تعمل تحت الضغط).

ويسخن البترول الاستحلابي في حالة الترويق في أجهزة محكمة إلى درجة ١٥٠-١٥٥م في مبادلات حرارية أو في أفران، ثم يدخل بعد ذلك في أوعية نزع الماء حيث يحفظ الضغط مساوياً لـ ٨ ضغط جوي .

ويتم في أوعية نزع الماء انفصال البترول عن الماء وإبعاد الأخير. ويمر البترول المنزوع منه الماء خلال مبادلات حرارية حيث يبرد إلى درجة ٨٠-٩٠م بواسطة تيار مضاد من البترول الاستحلابي البارد. وتستخدم هذه الطريقة الكيميائية الحرارية المطورة لإزالة استحلاب البترول، عند تحطيم المستحلبات الثابتة للخامات البترولية الثقيلة .

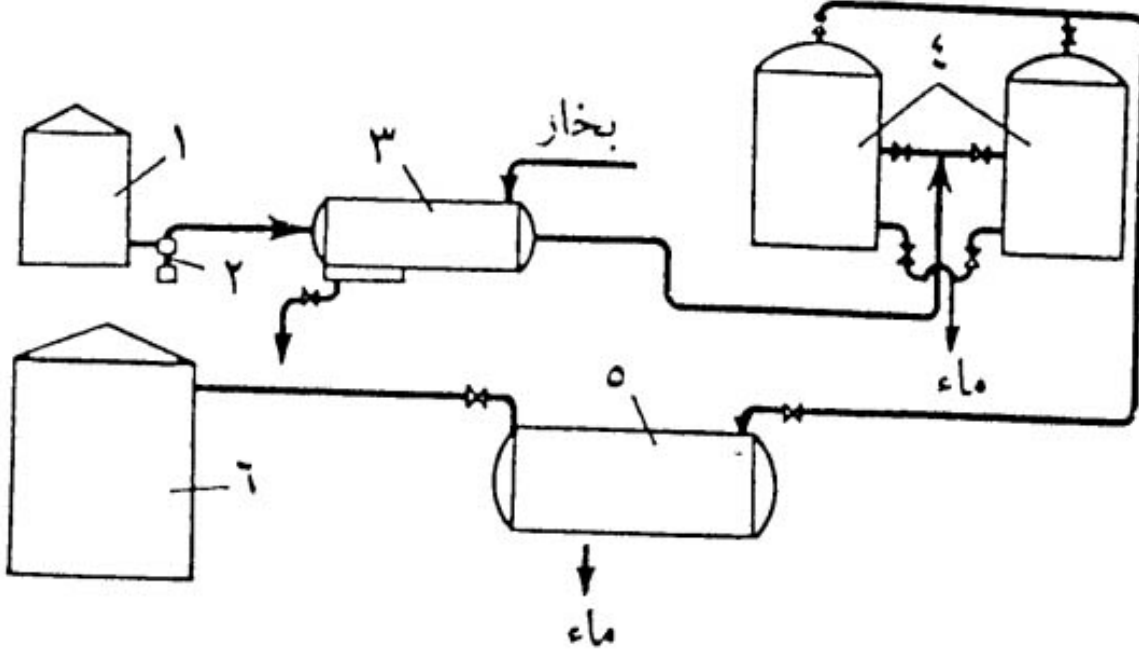
هـ. الطرق الكهربائية :

وتطبق حالياً على نطاق واسع لنزع الماء والأملاح من البترول. وفي هذه الطريقة يؤثر في المستحلب مجال كهربائي ذو جهد عال وتردد صناعي، فتتحرك قطرات الماء المشحونة تحت تأثير هذا المجال وتنتج إلى

الإلكترونيات. ويتغير اتجاه حركة القطرات مع تردد المجال، الأمر الذي يؤدي إلى تصادم القطرات بالإلكترونيات مما يساعد على اندماجها .

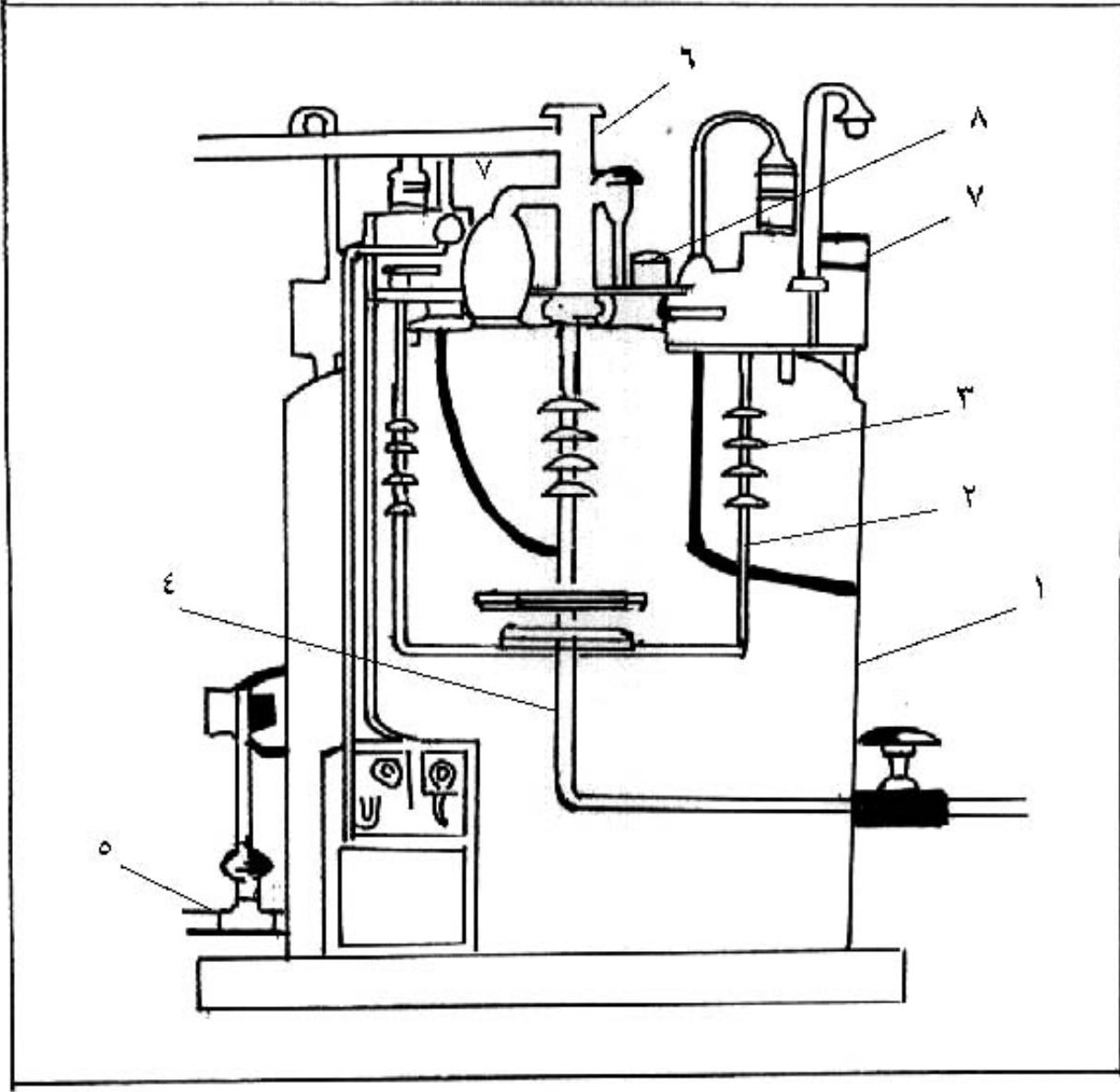
ويوضح (الشكل الرقم ٨

مخطط وحدة لازالة استحلاب البترول ونزع أملاحه



(، الرسم التخطيطي لوحدة إزالة الاستحلاب. يسحب المستحلب من خزان الخام 1 ، بواسطة المضخة ٢ ، ويدفع إلى المبادل الحراري ٣ ، حيث يسخن بالبخار " أو إلى فرن أنبوبي حيث يتم التسخين بواسطة النار " ثم يدخل في أوعية نزع الماء بالكهرباء ٤ ، وتعمل هذه الأوعية على التوازي. ويحدد عدد أوعية نزع الماء بالكهرباء وفقاً لإنتاجية الوحدة. ويصرف الماء المفصول في أوعية نزع الماء بالكهرباء إلى مجاري التصريف عن طريق خط التصريف. ويدخل البترول المفصول عن الماء وعاء الترويق الإضافي 5 ، ثم في المستودع ٦ . ويوضح (الشكل الرقم ٩)

وعاء نزع الماء بالكهرباء



1- جسم وعاء نزع الماء ، 2- الأكتروودات ، 3- العوازل

4- أنبوبة التغذية ، 5- مخرج الماء ، 6- منظم بعوامة

7- محور ، 8- صمام أمان

تركيب جهاز نزع الماء بالكهرباء. وهذا الجهاز وعاء أسطواني رأسي تعلق فيه الإلكترودات أفقياً على عوازل خزفية. وتتكون هذه الإلكترودات من حلقات من الصلب متحدة المركز. ويمكن عند الضرورة تغيير المسافة بين الإلكترودات.

ويدخل المستحلب الساخن خلال الأنابيب ويتجه خلال رأس التوزيع إلى الفراغ بين الإلكترودات حيث يتم تحطيم المستحلب.

وتنظم التغذية بالمستحلب عن طريق تغيير الخلوص رأس التوزيع بواسطة ساحب معدني موضوع خارج وعاء نزع الماء .

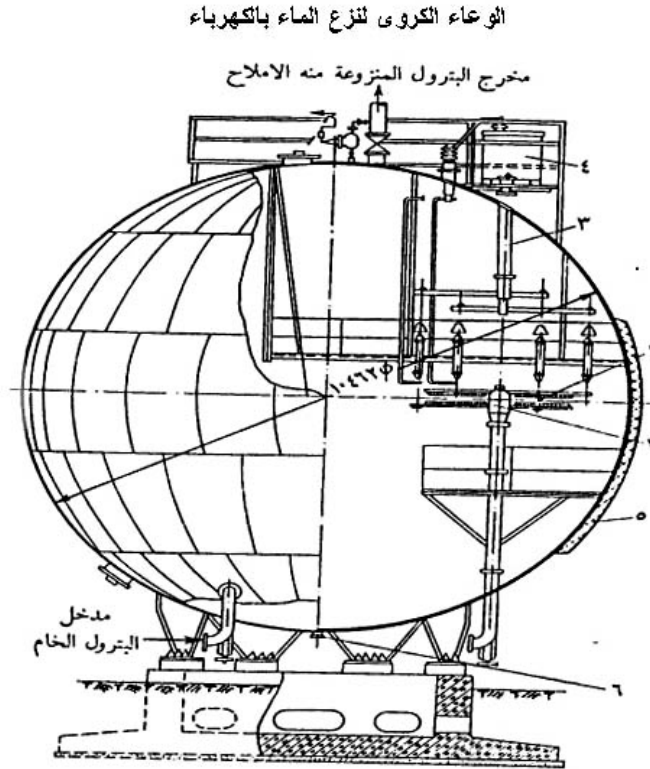
وتتصل الإلكترونيات بالملفات الثانوية لمحول موضوع على سقف الجهاز بواسطة سلك خلال مادة عازلة. ويصرف الماء المفصول عن البترول عن طريق أنبوية، ويصفي البترول في الجزء العلوي من الجهاز ويسحب خلال أنبوب استصفاء بواسطة منظم أئوماتي بعوامة. ويتصل المنظم ذو العوامة بمفتاح كهربائي، يقطع التيار حالة انخفاض منسوب السائل. وفي الجزء العلوي من الجهاز صمام أمان للتخلص من الضغط الزائد .

والجهاز يعمل تحت ضغط ٢٥ ضغط جوي ودرجة ٦٨-٨٠ م. وتستخدم هذه الوحدات معالجة المستحلبات البترولية التي تزيد نسبة الماء فيها عن ٢٠ %.

وأهم عيوب وحدات نزع الماء بالكهرباء هي :

١. انخفاض إنتاجيتها وخاصة إذا كان المستحلب يحتوي على كمية كبيرة من الماء .
٢. صعوبة المحافظة على نظام التشغيل في حالة تغير نسبة الماء في المستحلب .

ويستخدم الوعاء الكروي لنزع الماء بالكهرباء، والذي تبلغ سعته ٦٠٠ م^٣ في الوحدات الحديثة الضخمة لنزع الأملاح بالكهرباء. وتزيد إنتاجية هذه الأجهزة كثيراً عن إنتاجية الأجهزة السابقة. وطبقاً للمعلومات الموجودة، يستطيع الوعاء الواحد من هذا النوع من أوعية نزع الماء بالكهرباء معالجة 6500 - 6000 طن من الخام في اليوم .



الشكل الرقم ١٠

(مخطط الوعاء الكروي لنزع الماء بالكهرباء . ويوضح)

5. إزالة الأملاح :

تؤدي عملية إزالة استحلاب البترول في الحقول إلى تخلصه من الكتلة الأساسية من الماء والشوائب الميكانيكية، إلا أن البترول الذي أزيل استحلابه يحتوي على الأملاح في حالة معلقة. وهذه الأملاح هي أساساً كلوريدات الصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم وغيرها .

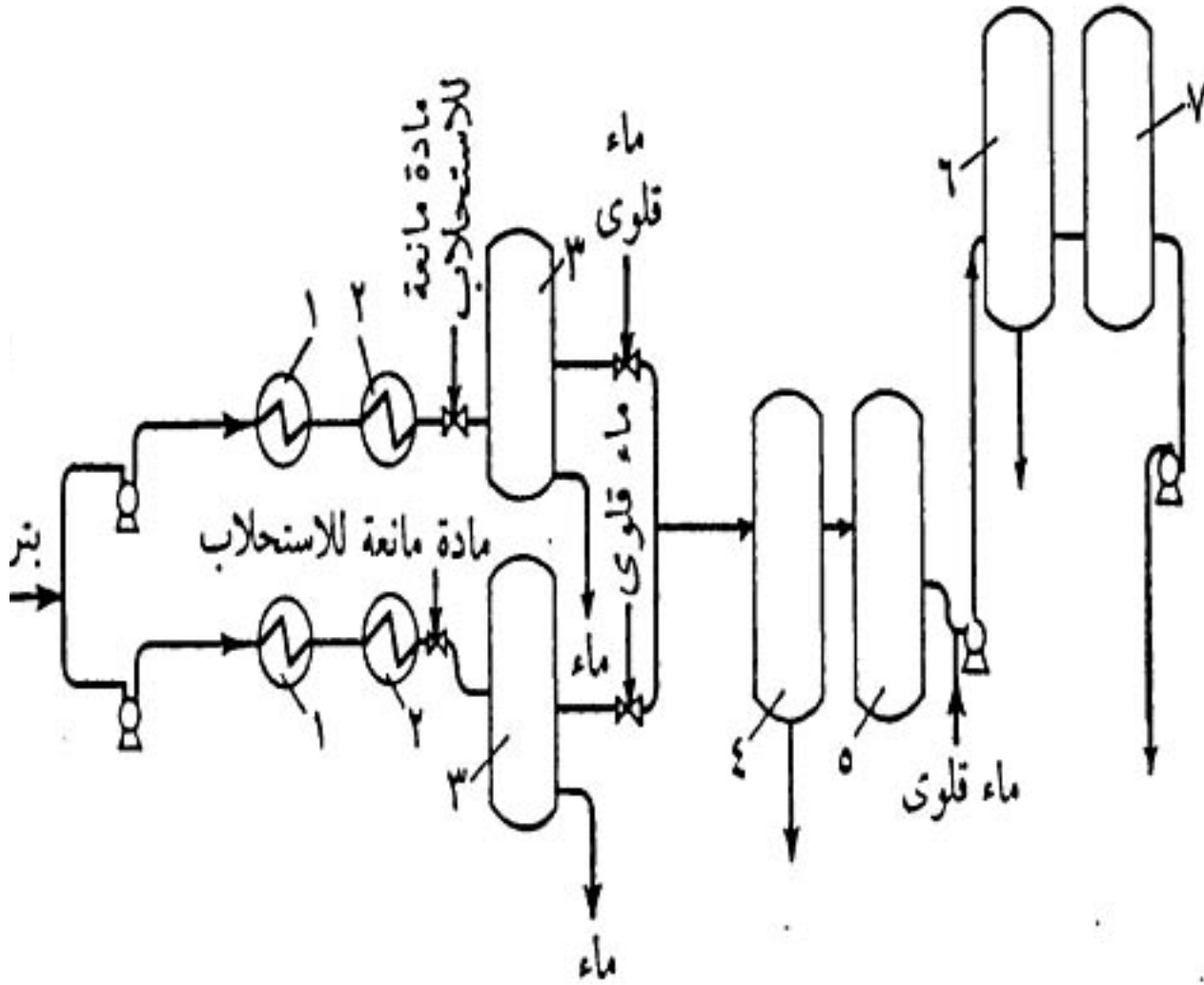
وقد أثبتت التجربة العملية أنه لكي يمكن تكرير البترول يجب ألا تزيد نسبة الأملاح فيه عن ٥٠ مليجرام/لتر، بل وأقل من ذلك، في حالة تكرير البترول مع الحصول على منتجات متبقية (الكوك البترولي مثلاً). وتجري عملية نزع الأملاح للحصول على النسبة المذكورة. وتشبه عملية نزع الأملاح عملية إزالة الاستحلاب، إلا أنه في عملية نزع الأملاح يحطم المستحلب الاصطناعي الذي يتكون من البترول وماء غسيله .

ويتم نزع الأملاح من البترول في مصانع التكرير، بصورة أساسية، عن طريق غسل الأملاح بالماء العذب، ثم نزع الماء بعد ذلك من البترول. ويعالج البترول المحتوي على نسبة كبيرة من الأملاح بواسطة ١٠ - ١٥% من الماء مرتين أو ثلاث مرات .

وتجري عملية نزع الأملاح من البترول في وحدات نزع الأملاح بالكهرباء، أو في وحدات مركبة من وحدة كيميائية حرارية ووحدة نازعة للأملاح بالكهرباء .

الشكل الرقم ١١ (الرسم التخطيطي لوحدة نزع الأملاح بالكهرباء ويوضح) .

مخطط وحدة نزع الأملاح بالكهرباء



يتجه تياران من البترول الخام المحتوي على 3000 - 2500 مليجرام/ لتر من الأملاح وحتى ٥% من الماء إلى المبادلات الحرارية، حيث يسخن الخام على حساب حرارة البترول المنزوعة منه الأملاح، ثم يدخل بعد ذلك مسخنات حيث يتم التسخين بواسطة البخار المنصرف. ويتجه البترول الخارج من المسخن إلى مروق نزع الأملاح بالطريقة الكيميائية الحرارية. وتضاف مادة مانعة للاستحلاب إلى البترول الساخن قبل دخوله إلى المروق، ويمر كل تيار بصمام خلط لتوفير التلامس التام بين المادة المانعة للاستحلاب وبين البترول. ويدخل تيارا البترول الخارجا من مروقي نزع الأملاح بالطريقة الكيميائية الحرارية في المجمع الأول لنزع الأملاح بالكهرباء، ويدفع إلى كل من التيارين ماء قلوي مسخن إلى درجة ٧٠ - ٨٠ م لغسل الأملاح. يتحد البترول الخارج من المجمع في تيار واحد، ليتجه إلى المرحلة الأولى لأجهزة نزع الماء بالكهرباء، ثم إلى المرحلة الثانية. ويدفع ماء قلوي في البترول المنزوعة منه الأملاح جزئياً قبل الدخول في المرحلة الثانية لأجهزة نزع الماء بالكهرباء. ويتجه البترول - بعد المرحلة الثانية لنزع الأملاح بالكهرباء - إلى وعاء تجميع .

وقد انتشر في العالم في السنوات الأخيرة استخدام الأوعية الأفقية لنزع الماء بالكهرباء التي تعمل عند درجة ١٣٥ - ١٥٠ م وتحت ضغط يبلغ ٢٠ - ٢٤ كجم/سم^٢. وتتميز هذه الأجهزة بإمكانية المحافظة على ضغوط ودرجات حرارة عالية، وكذلك بصغر ارتفاع الفصل؛ مما يوفر فصلاً أحسن للماء عن البترول بالمقارنة مع الأوعية الكروية لنزع الماء .

تستطيع أن تتفاعل بسهولة مع الغشاء الواقي لقطرات الماء .

لفصل الثاني

عمليات تكرير البترول

زيت البترول الخام، كما يخرج من باطن الأرض، هو خليط من العديد من المكونات الأيدروكربونية المختلفة، وكل من هذه المكونات يمكن حرقها، ولهذا كان زيت البترول الخام مصدرًا رائعًا للوقود، وبالإضافة إلى ذلك، فإن هذه المكونات - في الوقت نفسه - هي مصدر كل احتياجاتنا تقريبًا من زيوت التزييت، ناهيك عن آلاف المنتجات الأخرى، ابتداء من مستحضرات التجميل إلى الألياف الصناعية والمطاط الصناعي والبلاستيك وغير ذلك. وبصفة إجمالية، تعرف العمليات المختلفة، التي يتم بواسطتها إنتاج معظم هذه المنتجات باسم عمليات التكرير .

فالتكرير هو العمليات الضرورية التي يمكن بها معالجة الزيت الخام، واستخلاص المركبات العديدة المرغوب فيها منه، وتحويلها إلى منتجات صالحة للاستهلاك، إذ ليس من الممكن استعمال زيت البترول الخام بالصورة التي يوجد بها باطن الأرض. والمقصود بالتكرير تكسير الزيت الخام إلى مكوناته وجزئياته الأصلية المكونة من الأيدروجين والكربون، وإعادة ترتيبها لتكون مجموعات تختلف عن الموجودة في الزيت الخام، أي تصنيعها إلى منتجات نهائية صالحة للاستخدام. ويختلف تأثير التسخين على الأجزاء المتعددة للأيدروكربونات، فبعضها إذا فصل من الزيت الخام، يصير غازيًا، وبعضها يصبح سائلًا والبعض الآخر صلبًا. ولكل منها درجة غليان مختلفة، وتستعمل هذه الخاصية في التكرير .

وهناك ثلاث عمليات رئيسة للتكرير، هي :

1. العمليات الفيزيائية "الفصل Separation"
2. العمليات الكيميائية "التحويل Conversion"
3. المعالجة أو التنقية Treatment

القسم الثالث: العمليات الفيزيائية "الفصل Separation"

عمليات الفصل الأكثر شيوعًا هي :

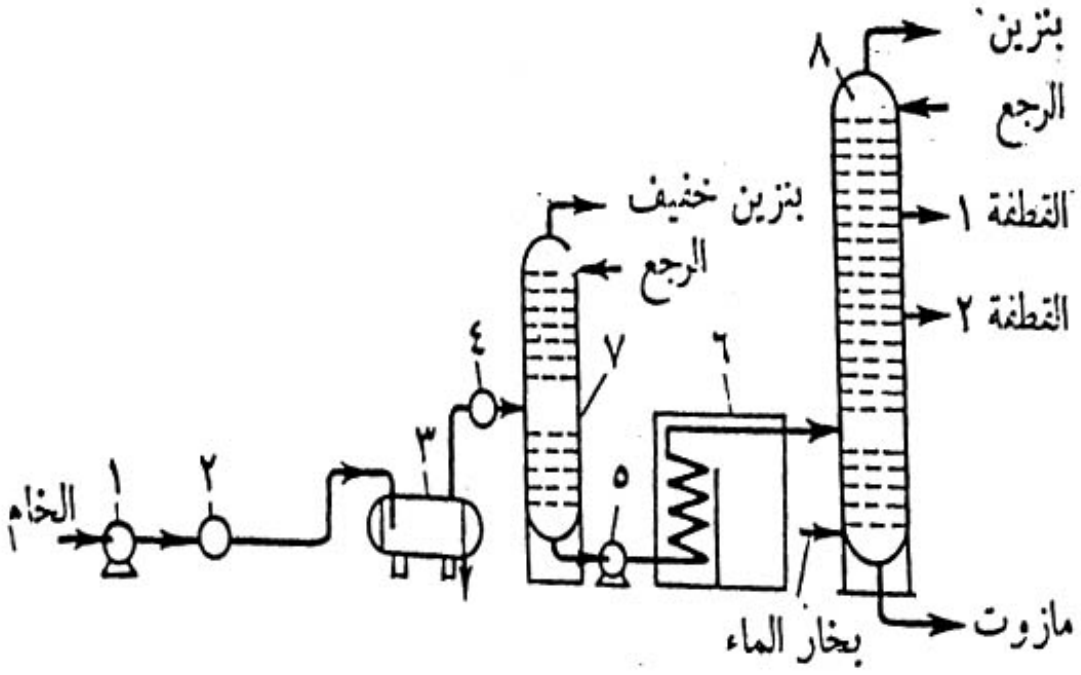
1. التقطير، وفيها تفصل الجزيئات الأخف ذات درجات الغليان المنخفضة - بواسطة الغليان والتكثيف .
2. الاستخلاص بالمذيبات، وفيها تفصل أنواع مختلفة من مواد خليط من بعضها، باستخدام مذيب يمكن فصل بعضها دون الأخرى .
3. التبريد، وفيه يتسبب تبريد الخليط في تصلب أجزاء معينة من المواد، وانفصالها من السائل .

التقطير .

يتم التقطير بواسطة أجهزة التقطير وهي نوعان :

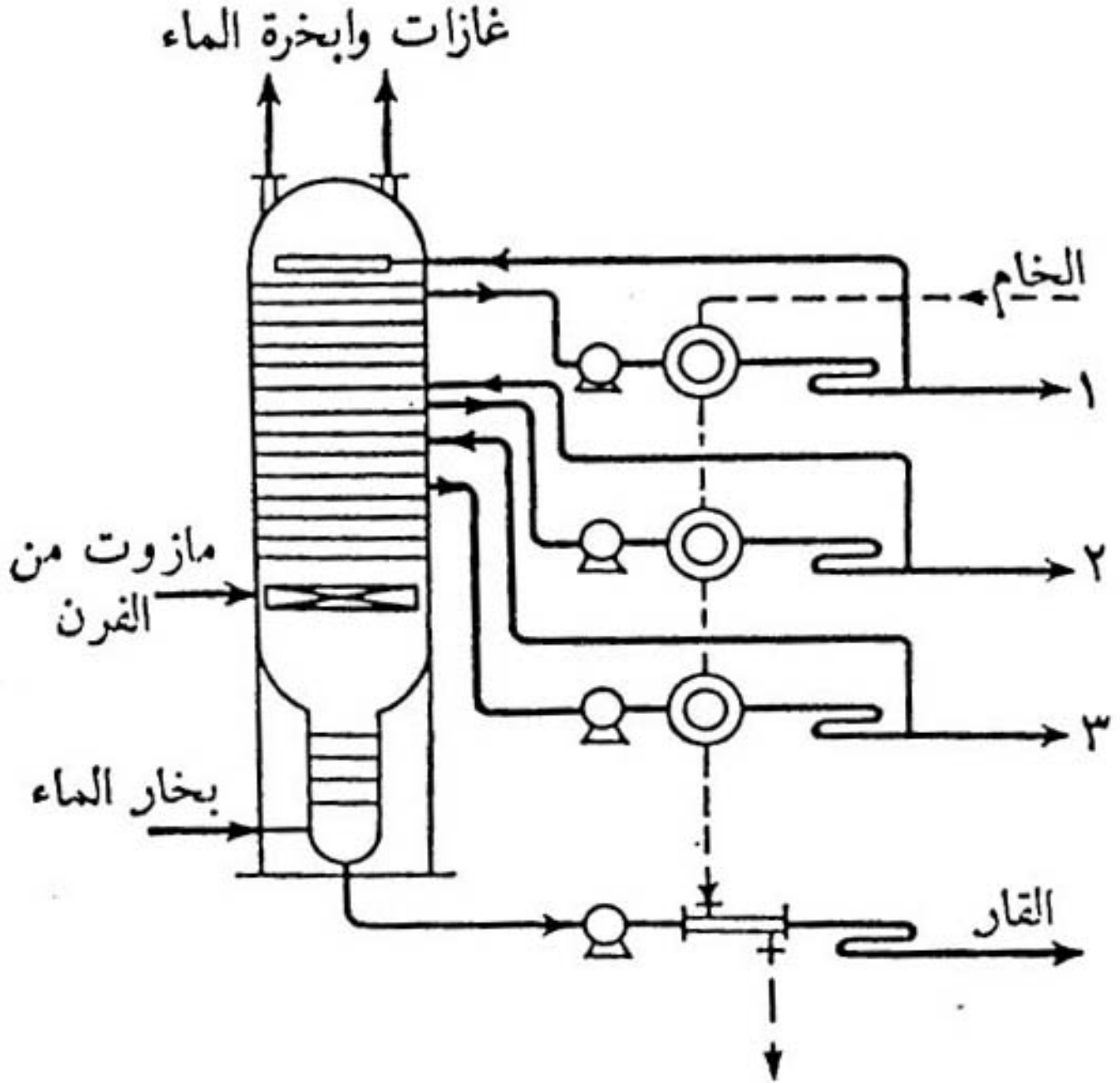
*أجهزة التقطير الابتدائي أو الجوي (الشكل الرقم ١٢).

التقطير الابتدائي (الجوي)



*أجهزة التقطير تحت ضغط مخزل "تفريغي" (الشكل الرقم ١٣).

التقطير تحت ضغط مخزل (تفريغي)



وفي أجهزة التقطير الابتدائي، تتم عملية التبخير والتكثيف في أبراج التجزئة تحت ضغط مساو للضغط الجوي أو أعلى قليلاً. وتعطينا هذه الأجهزة ستة منتجات رئيسة هي: البوتاجاز، والجازولين، والكيروسين، والسولار، والديزل، والمآزوت. أما في أجهزة التقطير تحت الضغط المنخفض أو المخزل، فتتم عملية التبخير والتكثيف تحت ضغط يقل عن الضغط الجوي، وأهم منتجاتها الإسفلت، وزيت التريبيت والشحومات.

1. التقطير الابتدائي :

يغلي الماء في درجة معينة تعرف بـ"نقطة الغليان" ويغلي خليط من سائلين قابلين للامتزاج عند درجة تقع بين نقطتي غليان كل منهما. ولكن السائل ذو درجة الغليان المنخفضة يتبخّر أسرع من السائل الآخر، وبالتالي تكون نسبته المئوية في البخار أكثر من نسبته المئوية في المزيج السائل. وعند تكثيف بخار الخليط ينتج مزيج تزيد فيه نسبة السائل ذي نقطي الغليان المنخفضة. وباستمرار عملية غليان المزيج، تنقص فيه نسبة السائل ذي نقطة الغليان المنخفضة تدريجياً. وعندئذ ترتفع نقطة غليان المزيج حتى يكاد البخار لا يحتوي إلا على السائل ذي نقطة الغليان المرتفعة.

وهذه العملية نطلق عليها "التقطير" وبواسطتها يمكن تقسيم المزيج تقريباً إلى المادتين اللتين يتكون منهما. وهذه هي الطريقة التي تتبع في التقطير الابتدائي للزيت الخام بهدف فصله إلى المجموعات الأيدروكربونية التي يتكون منها.

وتعد هذه العمليات الخطوة الأولى التي تستخدم في معاملة تكرير البترول لفصل الزيت الخام إلى مكوناته الأساسية الستة السابق ذكرها.

ولكل مجموعة من المواد الهيدروكربونية مدى غليان محدد. ونظراً لأن الزيت الخام يتكون من جزيئات هيدروكربونية بعضها صغير ذو درجات غليان منخفضة، والبعض الآخر كبير ذو درجات غليان مرتفعة، فإنه يمكن تجزئته الزيت الخام إلى "قطرات"، تكون كل منها مجموعة مكونات أيدروكربونية، وذلك بتسخينه. وتتم عملية التقطير الابتدائي على النحو التالي:

أ. يرفع زيت البترول الخام بالمضخات من مستودعاته إلى فرن، فيتبخّر تبخراً جزئياً. ويمر البخار إلى برج التجزئة، ويرتفع تدريجياً خلال صواني البرج، وكلما ارتفع البخار انخفضت درجة حرارته، وتكثف جزء منه على كل "صينية" من "الصواني" التي يتكون منها برج التجزئة. فإذا ما امتلأت إحدى الصواني، فاض ما عليها من سائل زائد، وسقط على الصينية التي تليها. وتكون كل صينية، عادة، أقل حرارة من التي تحتها، أي أنه كلما كان موقع الصينية مرتفعاً كانت المواد المتجمعة عليها أقل كثافة، وكلما اخترقت فقاعات البخار سائلاً على إحدى هذه الصواني، من خلال حاجز الفقاع، تكثف من البخار ذلك الجزء الذي له مدى غليان السائل الموجود على هذه الصينية نفسه، أما المواد الخفيفة التي قد تكون مختلطة بالسائل فإنها تنفصل على شكل مرة أخرى، وتنتقل إلى الصينية التي تلوها.

ب. ويمكن التحكم في درجة حرارة برج التجزئة بتمرير السائل الموجود في أسفل البرج، في فرن غليه من جديد، كما يمكن التحكم في درجة الحرارة أعلى البرج بإعادة دفع جزء معين من المنتج الذي يخرج من هذه المنطقة بعد تكثيفه، وتسمى هذه العملية "الارتداد"، ومع أنه يتجمع على كل صينية من صواني برج التجزئة سائل له مدى غليان يختلف قليلاً، فإن جزءاً معيناً من المنتج سوف يكثف، رغم أن مدى غليانه أقل من مدى غليان معظم السائل المتجمع على الصينية. وعندئذ يتم سحب السائل من صواني خاصة إلى أعلى أبراج جانبية. وفي هذه الأبراج يفيض السائل مجتازاً عدداً قليلاً من الصواني، بينما تطرد الأبخرة المتصاعدة المواد الأقل كثافة. وبذلك يتحدد مدى غليان السائل المنتج، وتعود الهيدروكربونات التي تطرد بالغليان إلى البرج الرئيس. وباستخدام أبراج التنقية الجانبية، يمكن الحصول على الجازولين والكيروسين والسولار من الزيت الخام بدون الحاجة إلى تقطير آخر.

ج. والمنتجات الرئيسية التي تؤخذ من برج التقطير تحت الضغط الجوي هي: الغازات البترولية الخفيفة، التي تستخدم في صناعة الأسمدة، والبوتاجاز والجازولين الذي يستخدم في إنتاج بنزين السيارات، والكيروسين ووقود النفاثات، والسولار، والديزل، وزيت الوقود "المازوت" الذي يستخدم وقوداً أو تغذية لعملية التقطير تحت الضغط المخلخل.

2. منتجات التقطير الابتدائي:

أ. الغازات البترولية المسالة (L.P.G.) : Liquefied Petroleum gases

هي خليط من غازي البروبان والبيوتان، اللذان يمكن تحويلهما إلى سائل تحت الضغط. ويمكن الحصول عليهما من الغاز الطبيعي، أو من وحدة الجازولين الطبيعي، وكذلك من وحدة التقطير الابتدائي. وهي تعتبر وقودًا منزليًا مهمًا "البوتاجاز"، وكذلك تستخدم مواد وسيطة في الصناعة البتروكيمياوية. ويجب الاهتمام بإزالة غاز كبريتيد الأيدروجين منها؛ حيث إنه يسبب مشكلات التآكل. ويتم الحصول من أجهزة التقطير أيضًا على غازي الميثان والأيثان. وهي غازات غير قابلة للتكثيف تحت الضغط الجوي، وتستعمل صناعة الأسمدة.

ب. الجازولين "البنزين: Gasoline"

هي القطفة البترولية التي يصل مدى غليانها حتى 150 م، وهي خليط من الأيدروكربونات من C₄ حتى C₁₂، والجازولين غني بالبارافينات العادية والمتفرعة، وكذلك النافثينات وحيدة الحلقة، التي من الممكن أن تكون لها سلاسل جانبية صغيرة، كذلك توجد الأيدروكربونات الأروماتية "العطرية" مثل البنزول والتولوين والزيلين، وأيضًا يوجد إيثيل البنزول. أما بالنسبة لمركبات الكبريت، فتوجد المركبات بصفة رئيسة وأحادي الكبريتيد. كذلك يوجد في الجازولين الأحماض الأليفاتية القصيرة والفينولات. وفصل مركب مفرد من الجازولين عملية صعبة وغير ممكنة نظرًا لكثرة عدد الأيزومرات.

ج. الكيروسين: Kerosine

هو المنتج الرئيس لعملية التكرير من حيث حجم الإنتاج، ويستخدم في الإضاءة وكذلك يستخدم وقودًا منزليًا للطبخ والتدفئة، ومكوّنًا أساسيًا لوقود النفاثات. ويشمل القطفة البترولية ذات مدى الغليان من 150 - 250 م، ويحتوي على البارافينات من C₁₂ حتى C₁₆، وكذلك النافثينات ثنائية الحلقة والأيدروكربونات العطرية أحادية الحلقة ذات السلسلة الجانبية الطويلة، مع العطريات ثنائية الحلقة والمركبات الحلقية، وتوجد الأحماض النفثينية مع الأحماض الأليفاتية في الكيروسين.

د. السولار "وقود الغاز: Gas Oil (solar)"

هو القطفة البترولية التي تغلي من 250 م حتى 350 م، وتحتوي على البارافينات من ذرة الكربون 17 حتى الكربون 20 (C₁₇-C₂₀)، والنافثينات ثنائية الحلقة مع العطريات أحادية الحلقة، التي بها عدد كبير من السلاسل الألكيلية الجانبية، وكذلك العطريات ثنائية الحلقة. وتوجد الأنواع المختلفة من المركبات الكبريتية. كذلك المركبات النتروجينية القاعدية وغير القاعدية، وكذلك أمكن استخلاص الأحماض الدهنية من السولار. ويمكن الحصول على وقود محركات الديزل المختلفة من مقطرات الكيروسين والسولار مدى غليان 180 م حتى 360 م غالبًا، وهي قطفات ذات مدى غليان ضيق حسب نوع محرك الديزل.

3. التقطير تحت الضغط المخلخل "التفريغي VACUUM DISTILLATION"

وتستخدم هذه الطريقة لتجزئة زيت الوقود الثقيل "المازوت" الناتج من عملية التقطير الابتدائي إلى بيتومين "إسفلت" ومواد أخرى "سولار ومقطرات شمعية"، وتستخدم أساسًا في إنتاج زيوت التزييت والشحومات، كما يمكن استخدامها في عمليات التكسير الحراري أو بالعوامل المساعدة التي سيرد ذكرها فيما بعد.

والتقطير تحت الضغط المخلخل "التفريغي" يتيح خفض درجة الحرارة اللازمة لتبخير أكبر جزء من زيت الوقود الثقيل "المازوت" للحصول على الإسفلت؛ ذلك لأن درجة الحرارة التي يغلي عندها السائل ترتبط بالضغط الواقع عليه. إذ يمكن تخفيض نقطة غليان السائل بتخفيض الضغط الواقع عليه. وهذه العملية لتفادي عملية التكسير لو تم التقطير تحت الضغط الجوي، إذ إن درجة حرارة زيت الوقود الثقيل "المازوت" إذا ما ارتفعت إلى الدرجات العالية التي يتطلبها تقطيره تحت الضغط الجوي العادي، فإنه لن يتبخر فحسب، بل ينكسر إلى مكونات لها خواص مختلفة تمامًا عن المنتج المطلوب. وتحقق هذه الطريقة خفضًا ملحوظًا في التكاليف.

وفي هذه الطريقة تستخدم أجهزة أو مضخات التفريغ Vacuum Pumps للاحتفاظ بضغط منخفض. كما تستخدم مضخات لرفع الزيت خلال فرن إلى برج التقطير تحت الضغط المنخفض، إذ إن التفريغ يحول دون سحب الزيت بالتدفق الطبيعي. ويتحول الزيت إلى بخار وينساب البيتومين "الإسفلت" إلى القاع، حيث يقابله بخار ماء ذو درجة حرارة عالية، يتسبب في دفع ما قد يكون عالقا بالإسفلت من مواد زيتية قليلة الكثافة إلى أعلى البرج.

وتخرج الأجزاء ذات الكثافة المنخفضة من أعلى البرج على شكل بخار مختلط ببخار الماء، ليمر على مكثف يكتفهما معاً، ثم يدخل المزيج من السولار والبخار المتكثفين إلى برج الاسترجاع، فتبرد الأبخرة بسحبها بالمضخات إلى أعلى صينية من صواني برج التجزئة. ويسحب الباقي باعتباره أحد المنتجات النهائية، ويتم سحب الغاز غير المتكثف من أعلى البرج بواسطة مضخات التفريغ .

وتسحب السوائل من برج التقطير على أبعاد مختلفة، ويمرر كل سائل برج تثبيت STABILIZER ، لفصل المواد الخفيفة بالاستعانة ببخار الماء وإعادتها إلى البرج. أما الباقي فيبرد على حدة، وهو أساساً السولار والمقطرات الشمعية التي تصبح المادة الخام لصناعة زيوت التزيت والشحومات، كما يمكن استخدامها في عمليات التكسير بالعوامل المساعدة، ويتبقى البيتومين "الإسفلت" في قاع البرج .

وفي عملية التقطير تحت الضغط المنخفض، يمكن الاحتفاظ بالتوزيع الصحيح للحرارة بضبط درجة حرارة المازوت الداخل، كذلك بضبط كميات السولار المرتد الذي تعيده المضخات من برج الاسترجاع إلى البرج، أي يتم تسخين برج التقطير من أسفل إلى أعلى بواسطة المازوت، ويتم تبريده من أعلى إلى أسفل بتأثير الزيت المرتد الذي يسيل من صينية إلى أخرى .

4.نواتج التقطير تحت التفريغ :

أ. زيوت التزيت Lubricating Oils :

توجد في القطفة التي تغلي من ٣٥٠ حتى ٥٠٠ م، ويمكن تقسيمها إلى زيوت خفيفة تغلي في المدى ٣٥٠ - ٤٠٠ م، وزيوت متوسطة من ٤٠٠ م إلى ٤٥٠ م، وزيوت ثقيلة تغلي من ٤٥٠ حتى ٥٠٠ م .

وهذه القطفات تحتوي على خليط من الزيوت والشموع والإسفلت، وتختلف نسب هذه المركبات في زيوت التزيت حسب نوع الخام. فالخام ذو القاعدة البارافينية غالباً لا يحتوي على الإسفلت، والخام ذو القاعدة الإسفلتية لا يحتوي غالباً على الشموع. والبارافينات في زيوت التزيت تصل عدد ذرات الكربون بها حتى ٤٢ ذرة كربون. والنافثينات ذات حلقات رباعية وخماسية، أما العطريات فهي وحيدة الحلقة حتى ثلاث حلقات، وبها سلاسل جانبية قصيرة. كذلك يمكن تواجد خمسة حلقات في المركبات العليا. وتوجد المركبات الكبريتية ذات الوزن الجزيئي الكبير في زيوت التزيت، كذلك توجد مشتقات الأحماض الكربوكسيلية .

ب. البيتومين "الإسفلت "

وهو المتبقي من عملية التقطير تحت التفريغ في الخام ذو القاعدة الإسفلتية .

الاستخلاص بالمذيبات Solvent Extraction:

يتم فصل مكونات الخام في عملية التقطير حسب درجة غليان كل قطفة، وحسب حجم الجزيئات، وليس حسب نوعها، أما في عملية الاستخلاص بالمذيبات، فيتم الفصل حسب النوع الكيميائي للجزيئات، مثل بارافينات أو عطريات أو نافثينات .

يدخل في نطاق عملية الاستخلاص بالمذيبات - التي تعد واحدة من عمليات الفصل المستخدمة في معامل تكرير البترول - عملية إنتاج زيوت التزيت وفيما يلي شرح مبسط لها :

سبق ذكر أن المقطرات الشمعية الناتجة من عمليات التقطير تحت الضغط المخلل "التفريغي"، التي يمكن الحصول عليها من مستويات مختلفة من البرج، يمكن معالجتها لإنتاج زيوت التزيت. وكذلك بالنسبة للمتبقي في قاع البرج، وكل ذلك يتم في حالة معالجة الخامات البارافينية، فهذه المقطرات الشمعية تشكل المواد الأولية اللازمة لإنتاج زيوت التزيت الخفيفة والمتوسطة والثقيلة، كما يعد المتبقي في قاع البرج المادة الأولية اللازمة لإنتاج الزيوت المتبقية BRIGHT STOCKS ، ومن الضروري أن تكون هذه الزيوت على درجة عالية من النقاء، وأن تتوفر فيها المواصفات القياسية العالمية نظراً لدورها الخطير في كافة الاستخدامات. ولتحقيق ذلك، يلزم معالجة المقطرات الشمعية والمتبقي، باستخدام مذيبات خاصة، لاستخلاص الشوائب من زيوت التزيت. ومن هذه المذيبات :

- ١ . يستخدم البروبان لإزالة المواد الإسفلتية من المتبقي الثقيل في قاع البرج .
- ٢ . يستخدم مذيب الفورفورال ومذيب الفينول وغيرهما لتنقية المواد الخام من المركبات العطرية .
- ٣ . يستخدم مذيب البنزول والتولوين والميثيل أيثيل كيتون وغيرهما، لتخليص الزيوت من الشموع العالقة بها ويجري فصل الشموع من المستخلص بالتبريد .
- ٤ . تستخدم أنواع عديدة من الطفلة الطبيعية أو الصناعية، لتنقية الزيوت من الشوائب والألوان... إلخ، ويمكن الاستعاضة عن هذه العملية بالتنقية عن طريق المعالجة بالأيدروجين، وهو الاتجاه العالمي الآن .
- ٥ . للحصول على القطفات المطلوبة، تتم عمليات تقطير لكل من هذه المنتجات، وكذلك عمليات إضافة بعض القطفات لبعضها .
- ٦ . يتم إضافة إضافات معينة لكل نوع من الزيوت، لتحسين مواصفاته أو لمنع الأكسدة، وذلك قبل طرح الزيوت في الأسواق .
- ٧ . تتم تعبئة الزيوت في عبوات خاصة مختلفة الحجم .

التبريد :

١ . فصل " فرز " الغازات - عملية تثبيت البنزين :

يدخل في نطاق عمليات التبريد - التي تعد واحدة من عمليات الفصل المستخدمة في صناعة التكرير - عملية فصل "فرز" الغازات الناتجة من عمليتي التكسير الحراري والتكسير بالعوامل المساعدة في معامل التكرير. وتعد هذه الغازات من أهم المصادر والمواد الأولية اللازمة للصناعة البتروكيماوية، والمصدر الآخر هو الغاز الطبيعي الذي يستخرج من بعض الآبار. وتشمل عملية فصل الغازات تبريد الغاز تبريداً عميقاً .

كان الغاز الطبيعي في الماضي يحرق باعتباره عديم الفائدة، وكانت كميات قليلة منه تستخدم في تصنيع أسود الكربون، Carbon Black ، أو وقوداً في حقول البترول. وبعد ذلك أمكن فصل الغازات الطبيعية إلى نوعين من الغازات .

أ. الغاز الرطب :

وهو غاز يحتوي على مركبات هيدروكربونية أثقل من الغاز، وأمکن استخلاص البنزين الطبيعي الجيد منه لمزجه بالبنزين .

ب. الغاز الجاف :

ويتخلف بعد استخلاص البنزين الطبيعي، وهو يتكون من الميثان والأيثان، ويمكن فصلهما لاستخدامهما مادة خام لصناعة البتروكيماويات، أو وقوداً في حقول البترول، أو في الأغراض الصناعية، بعد نقلهما بالأنابيب من الحقول إلى مصانع الغاز، أو في صناعة الأسمدة بإنتاج الهيدروجين اللازم لصنع النشادر منهما. وباقى المكونات التي يجري فصلها هي البروبان والبيوتان، اللذان يستخدمان وقوداً في المنازل بعد تعبئتهما في أسطوانات .

وكانت الغازات الناتجة عن عملية التكسير تحرق في أول الأمر وقوداً في معامل التكرير. ولكن منذ عام ١٩٣٠م، بدأ استخدام بعض أنواع المواد الهيدروكربونية الموجودة في هذه الغازات "الأوليفينات" وهي: الهيدروكربونات غير المشبعة في إنتاج المواد البتروكيماوية لما تتميز به من قدرة على سرعة الاتحاد بجزئيات أخرى لإنتاج العديد من هذه المواد .

2. تثبيت البنزين :

يؤدي تخزين البنزين في الأجواء الحارة إلى تبخر البروبان والبيوتان اللذين يحتويهما البنزين، وذلك لانخفاض درجة حرارتهما، فضلاً على أن هذين الغازين يمنعان استخدام البنزين بكفاءة في ماكينات الاحتراق الداخلي، ويعرقلان تشغيل المحركات .

ولمواجهة هذه المشكلات ولتحقيق الانتفاع بغازي البروبان والبيوتان، يتم فصل هذين الغازين وتعبئتهما في أسطوانات تحت ضغط مرتفع، بحيث يتم الاحتفاظ بهما في شكل سائل، ويستخدم البيوتان وقوداً في الأجهزة المنزلية، ويسمى تجارياً "بالبوتاجاز". وتسمى عملية فصل غازي البروبان والبيوتان من البنزين بعملية "تثبيت البنزين" وهي تتم

في أبراج تعمل بطريقة تشبه تماماً أي برج آخر للتجزئة، إلا أنها تعمل تحت ضغوط عالية لكي يبقى السائل المرتد في حالة السيولة دائماً .

العدد الأوكتاني للبنزين "الجازولين" ;

١. تُعدّ الخواص المانعة للخبط أو الثبات التفجيري أحد البارامترات الأساسية التي تحدد جودة الوقود الناتج من البترول، والمخصص لمحركات الاحتراق الداخلي بالشرارة الكهربائية .

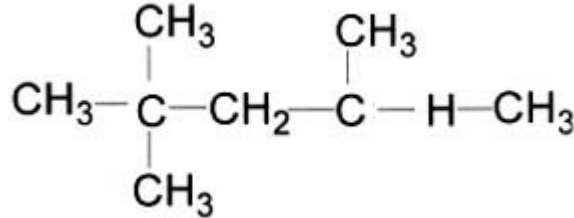
فعند عمل آلة الاحتراق الداخلي، يتم دفع خليط من بخار البنزين والهواء إلى الماكينة عن طريق المكربن. هذا الخليط يتم ضغطه داخل المكبس، حيث يتم إشعاله بواسطة شرارة كهربائية من شمعة الاحتراق. والغازات الناتجة من الاحتراق داخل المكبس تحدث ضغطاً على المكبس؛ مما يؤدي إلى حركته، وتكون سرعة انتشار اللهب العادية حوالي ٢٥ - ٣٠ م/ث. ولكن قد يحدث مع الوقود ذي الجودة المنخفضة أن بعض الهيدروكربونات داخل المكبس يتم اشتعالها بفرقة احتراق لحظي تفجيري، نتيجة للانضغاط وليس بواسطة الشرارة الكهربائية. وتصل سرعة اللهب عند الاحتراق اللحظي إلى 2000 - 2500 م/ث فتتكون نتيجة لذلك كمية كبيرة من الحرارة، ويسبب الاحتراق التفجيري هبوط قدرة المحرك، ويصاحب ذلك الخبط الموتور، مما يؤدي إلى سرعة البري والتآكل في الآلة .

٢. وظاهرة الاشتعال التفجيري غير مرغوب فيها، وهي خاصية من خواص الجازولين الناتج مباشرة من التقطير والمحتوي على نسبة عالية من البارافينات العادية، ومن ناحية أخرى، فإن الجازولين، المحتوي على نسبة عالية من البارافينات المتفرعة، يحترق بدون تفجير .

ويطلق اسم العدد الأوكتاني للوقود على دليل ثباته التفجيري وخواصه المانعة للخبط Antinock Resistance ، ويجري تقدير الخواص التفجيرية للوقود في المحرك بواسطة مقارنة الوقود المطلوب دراسته مع وقود آخر قياسي .

والوقودان القياسيان هما :

الأيزواوكتان (٢-٢-٤) ثلاثي ميثيل بنتان)



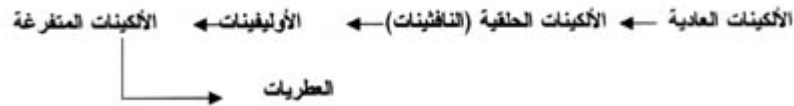
٣. وقد اصطلح على اعتبار عدده الأوكتاني مساوياً ١٠٠، وذلك لأنه قليل التفجير وله خواص مانعة للخبط جيدة جداً .

الهيبتان العادي السهل التفجر وعدده الأوكتاني يساوي صفرًا، والعدد الأوكتاني لمخاليط من الأيزواوكتان والهيبتان العادي يكون مده من صفر إلى ١٠٠، حسب نسبة الأيزواوكتان الموجود في الخليط .

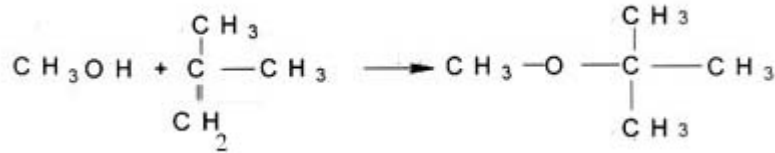
ويقارن الوقود المراد اختباره مع هذه المخاليط المختلفة تحت ظروف قياسية .

العدد الأوكتاني للوقود :

- يساوي عددًا النسبة المئوية "بالحجم" للأيزوأوكتان في مخلوطه مع الهبتان العادي، التي يكون عندها الثبات التفجيري "أو الخواص المانعة للخبث" لهذا المخلوط مساويًا للثبات التفجيري "الخواص المانعة للخبث" للوقود الجاري اختباره .
- وتتوقف مناعة الوقود ضد الخبث "ثباته التفجيري" أساسًا على تركيبه الكيميائي. فالبارافينات العادية تتمتع بثبات تفجيري منخفض. أما الأيزوبارافينات والأيدروكربونات الأروماتية فتتفجر بصعوبة، وتشغل النفثينات والأوليفينات مكانًا وسطًا. ويرتفع العدد الأوكتاني تصاعديًا كالآتي :



- والجازولين الناتج من التقطير الأولي مباشرة يكون له عادة رقم أوكتاني منخفض يتراوح بين ٥٠ و 70. ورفع العدد الأوكتاني للوقود يتم إما بخلطه مع وقود له رقم أوكتاني عال، أو بإضافة مواد ترفع العدد الأوكتاني مثل رابع إيثيل الرصاص $Pb(C_2H_5)_4$ ، وهو سائل عديم اللون يتم تخفيفه بواسطة بعض هاليدات الألكيل مثل ثنائي بروم الأيثان أو بروميد الأيثيل وغيرهما، وتسمى بذلك السائل الأيثيلي، فمثلاً يكفي إضافة ٢ إلى ٤ سم من هذا السائل الأيثيلي/ لكل لتر من الوقود لرفع درجة الأوكتان من ٧٠ حتى ٨٥. وإيثيل الرصاص شديد السمية. ويجب الاحتياط في التعامل به، وازدياد استخدامه يؤدي إلى تلوث الهواء بالعدم المحتوي على أول أكسيد الكربون مخلوطًا بمركبات الرصاص، التي تؤدي إلى أضرار خطيرة بصحة الإنسان، والعديد من دول العالم الآن تحاول منع استخدام هذه المركبات السامة في المدن الكبرى. وحديثًا ترفع درجة الأوكتان للبنزين الخالي من الرصاص، بواسطة مركب آخر جديد غير ضار هو (ميثيل ثالثي بيوتيل الأثير)، الذي له درجة أوكتان عالية ٩٨ وينتج من تفاعل الميثانول مع الأيزوبيوتيلين :



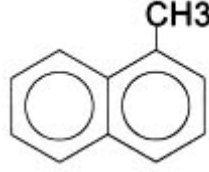
ميثيل ثالثي بيوتيل الأثير

العدد السيتاني لوقود الديزل

- يشتمل الوقود في ماكينات الديزل بالانضغاط، وليس بالشرارة الكهربائية، ويستخدم لها قطرات من وقود الديزل مدى غليانه من ١٨٠ حتى ٣٦٠ م، ويعد العدد السيتاني هو الدليل الذي يبين ميل وقود

الديزل إلى الاشتعال العفوي" بالانضغاط"، عن طريق مقارنة اشتعالية الوقود المختبر باشتعالية مخلوط من وقودين قياسييين هما :

السيتان: أيدركربون سلسلة البارافينات ذو تركيب عادي $n-C_{16}H_{34}$ ، ويعد عدده السيتاني مساوياً 100. وأيدروكربون أروماتي "١-ميثيل نفتالين" ويعد عدده السيتاني مساوياً للصفر .



٢. ويعرف العدد السيتاني بأنه النسبة المئوية "بالحجم" للسيتان في مخلوط السيتان و١-ميثيل نفتالين الذي تطابق اشتعاليتها الذاتية اشتعالية الوقود المطلوب اختباراه. وتتم المقارنة تحت ظروف قياسية .

ولذلك فإن الشروط المطلوبة بالنسبة للتركيب الكيميائي لوقود محركات الشرارة ومحركات الديزل تقع على طرفي نقيض؛ لأن الخواص المحركية لوقود الديزل عكس الخواص المحركية لوقود البنزين. فالألكانات ذات السلاسل الطويلة مثل الستان العادي تشتعل بسهولة بواسطة الانضغاط، بينما تشتعل الأيدروكربونات الأروماتية مثل ١-ميثيل نفتالين ببطء أشد كثيراً وغير مقبولة للاستخدام في محركات الديزل .

أنتهى الجزء الثاني
أنتظروا بقية الأجزاء قريباً حال أكمل عملية أعدادها
أخوكم : مهند الكاطع