جامعة الفرات
كلية الهندسة البتروكيميائية
هندسة البترول

مقرر

إنتاج غاز

مدرس المقرر : م. حازم جنيد

الفصل الدراسي : الثاني

السنة : الرابعة

للعام الدراسي ٢٠١٤-٢٠١٥

مكتبة هلا للخدمات الجامعية
دير الزور – القصور – جانب دوار أبو يحيى .
هـ : ٠٩٣٣٩٣٦١٧٣ - ٣٢٣٤٠٦

العام الدراسي
٢٠١٥/٢٠١٤

بسم الله الرحمن الرحيم

تصنيف الغاز الطبيعي و الصفات الأساسية له

مقدمة:

يمكن اعتبار الغاز الطبيعي خليطاً من الغازات الهيدروكربونية مع بعض الغازات اللاعضوية .

و تشمل الغازات الهيدروكربونية بشكل أساسي المركبات الهيدروكربونية ال با رافينية ذات الصيغة (C_nH_{2n+2})، حيث يمثل n عدد ذرات الكربون.

أما الغازات غير العضوية الممكن تواجدها مع الغازات الهيدروكربونية فأهمها : النتروجين (N_2) و غاز كبريت الهيدروجين (H_2S) و غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2).

و من الطبيعي أن يتغير تركيب الغاز من مكمن لآخر ، كذلك فقد يتغير تركيب الغاز من بئر لآخر ضمن نفس المكمن أو مع الزمن بسبب تغير الشروط الطبقية و خصوصاً الضغط.

ويمكن أن ندرج جميع المركبات الهيروكربونية ضمن الغازات الطبيعية إذا تمتعت بالصفات التالية:

- الكثافة ($\rho = 0.710 - 0.905\ Kg/m^3_N$) .
- الكثافة النسبية ($\Delta = 0.55 - 0.7$) .
- حدود الانفجار ($\varepsilon = 5 - 15\ Volume$) .
- حرارة الاشتعال ($\Theta = 650 - 750\ °C$) .

و من الممكن أن تصنف المركبات الداخلة في تركيب الغازات الهيدروكربونية تبعاً لحالتها الفيزيائية في الشروط النظامية ($P=1\ at;\ T= 273.15\ K$) ، و ذلك كما يلي:

- غازات حقيقية: و أهم هذه المركبات الميتان (CH_4) و الإيتان (C_2H_6)، و التي تبقى في الطور الغازي في الظروف الاعتيادية.
- أبخرة : و أهما البروبان (C_3H_8) و البوتان (C_4H_{10}) .

- سائلة : و هي المركبات الهيدروكربونية الأثقل من البوتان و ابتداء من الإيزوبنتان (i-C5H12) و الهيدروكربونات الأثقل من الصيغة (Cn H2n+2) حيث ($5 \leq n \leq 17$)، أما الهيدروكربونات التي تشمل على (C18) أو أكبر فتكون بالحالة الصلبة.

و بالنتيجة يمكن تصنيف الهيدروكربونات الأساسية كما في الجول التالي:

المركبات الهيدروكربونية	الحالة الفيزيائية
ميتان ، إيتان	غاز جاف
بروبان، إيزو بوتان، بوتان نظامي	غاز مسال
إيزوبنتان ، بنتان نظامي، هكسان	غازولين

تصنيف الغاز الطبيعي:

من أشهر نماذج تصنيف الغاز الطبيعي هو التصنيف المعتمد على أشكال تواجدها في المكامن ، و التي يمكن إيجازها بما يلي:

1. الغازات الحرة (Non-Associated Gases) :هو تعرف بالغازات غير المرافقة ، و هي المعروفة بالغازات الطبيعية المنتجة من مكامن الغاز، وتكون عادة على شكل غازات حرة في الشروط الابتدائية للمكمن (الضغط الطبقي الأولي، و درجة الحرارة الأولية)، و بالطبع يسيطر غاز الميتان على النسبة العظمى لتكوين هذا الغاز.
2. الغازات المرافقة (Associated Gases) : و هي الغازات المنتجة من القبعة الغازية في المكامن النفطية، و تعرف بغازات القبعة الغازية (Gas-Cap Gas)، و تكون بالشكل الغازي في الشروط الأولية للمكمن و تتكون من الغازات الهيدروكربونية (C1 –C6).
3. الغازات المنحلة (Solution Gases) : و هي المركبات الهيدروكربونية الغازية التي تكون منحلة في النفط عند الشروط الأولية للمكمن ، و يحدث انفصال الغاز عن النفط نتيجة لانخفاض الضغط لأقل من ضغط الإشباع.

و هناك تصنيف آخر للغاز الطبيعي اعتماداً على تركيب هذا الغاز ، و كما هو معروف يتركب الغاز الطبيعي من المركبات الهيدروكربونية البارافينية ذات الصيغة الكيميائية (Cn H2n+2)، ويشكل الميتان الجزء الرئيسي من الغاز الطبيعي، حيث تتراوح نسبة الميتان في الغاز الهيدروكربوني (50 -99%)، و تساهم بقية الغازات

(C2-C6) بنسب ضئيلة جداً،و تتراوح كثافة الغاز الطبيعي النسبية بين ($\rho = 0.55 - 0.9$) بينما تتراوح لزوجة الغاز الطبيعي بين ($\mu = 0.011 - 0.024$ cp).

كما يمكن أن يحتوي الغاز الهيدروكربوني على نسب متفاوتة من غازات كبريت الهيدروجين (H_2S)، و غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، و غاز النيتروجين (N_2)، و أياً كان مصدر الغاز فيمكن أن يصنف حسب تركيبه إلى:

- الغازات الجافة (Dry Gas): و غالباً ما يتركب بشكل رئيسي من الميتان مع نسبة قليلة من الإيتان.
- الغازات الرطبة (Wet Gas): و تحتوي هذه الغازات في تركيبها على كميات كبيرة نسبياً من المركبات الهيدروكربنية الأثقل من الميتان.

و يبين الجدول (1) النسب المولية لمركبات الغاز الجاف و الغاز الرطب.

المركب	الغاز الجف	الغاز الرطب- المكثفات
الميتان	70-98	50-92
الإيتان	1-10	5-15
البروبان	Traces-5	2-14
البوتان	Traces-2	1-10
البنتان	Traces-1	Traces-5
الهكسان	Traces-0.5	Traces-3
الهبتان +	0-Traces	Traces-15
النتروجين	Traces-15	Traces-10
ثاني أوكسيد الكربون	Traces-1	Traces-4
كبريت الهيدروجين	0-Traces	0-6
الهيليوم	0.5	0

الجدول (1) النسب المولية لمركبات الغاز الجاف و الرطب

- الغازات الطبيعية الحامضية: و هي التي تحوي على كميات معتبرة و ملحوظة من أحد الغازين : غازات كبريت الهيدروجين (H_2S) أو غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، و تدعى الغازات الطبيعية التي تحوي على نسب من غازات كبريت الهيدروجين (H_2S) بـ (Sour)، و لا بد من التخلص من هذه الغازات بمعالجتها كأحد الإجراءات الأساسية بسبب سمية هذه الغازات و لأنها تشكل أوساطاً شديدة التآكل.

أما من وجهة النظر الصناعية و التجارية و تبعاً لاستخدامات الغاز و بعد معالجته يمكن أن يتم تصنيف الغاز الطبيعي المنتج إلى:

- سوائل الغاز الطبيعي (NGL's: Natural Gas Liquids) : و هي منتج من الغازات الهيدروكربونية المستخلصة على السطح و التي تتركب من: الإيتان و البروبان و البوتان و الغازولين.

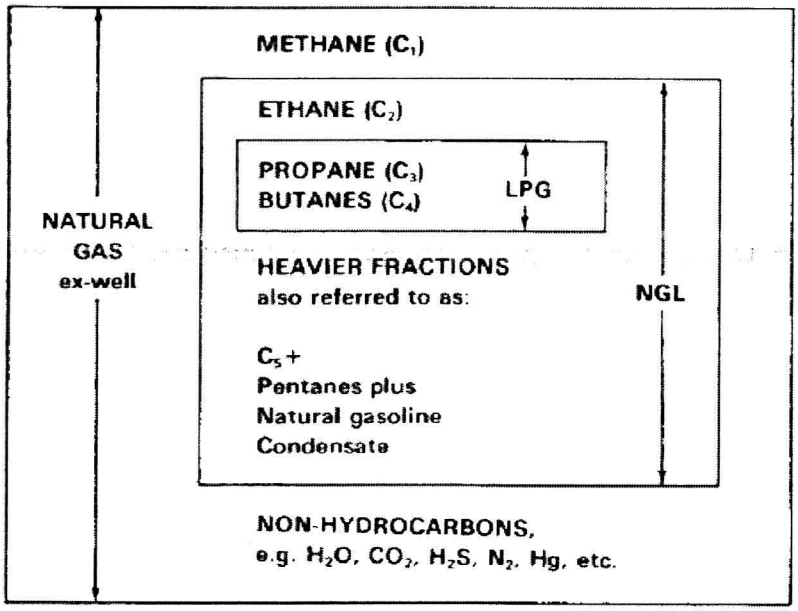
- الغازات الطبيعية المسالة (LNG: Liquefied Natural Gas) : و هي المركبات الهيدروكربونية الخفيفة القابلة للتميع، و يشكل غاز الميتان النسبة الأعظم منه، (مع ملاحظة أن درجة الحرارة اللازمة للمحافظة على البروبان في الحالة السائلة و عند الضغط الجوي هي $-44\ ^{\circ}C$ -، و الإيتان $-88\ ^{\circ}C$ ، و الميتان $-161\ ^{\circ}C$ -)..

- الغازات النفطية المسالة (LPG: Liquefied Petroleum Gas) : و يشكل البروبان و البوتان النسبة العظمى في تركيب هذه الغازات، و تبقى هذه الغازات في الطور السائل طالما بقيت محفوظة و بضغوط بسيطة، كما في الغاز المنزلي (مع ملاحظة أن درجة الحرارة اللازمة للمحافظة على البوتان في الحالة السائلة و عند الضغط الجوي هي $-0.5\ ^{\circ}C$ -، و إيزو بوتان $-14\ ^{\circ}C$).

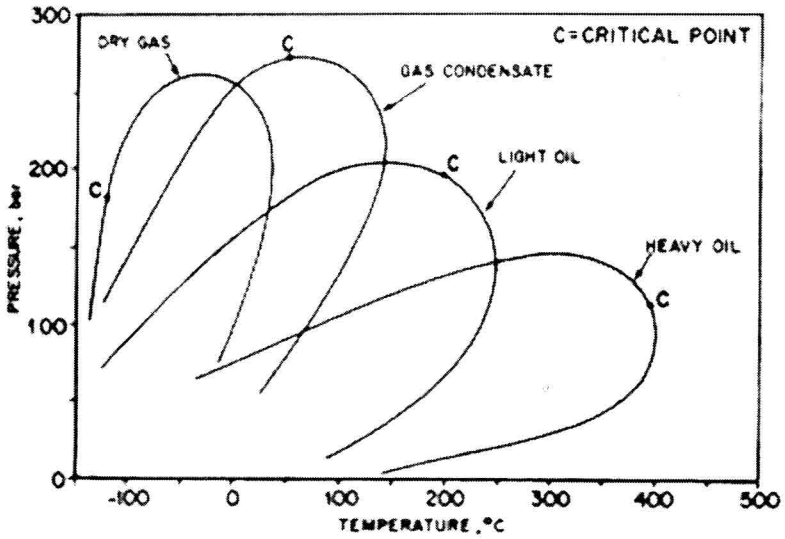
- الغازولين الطبيعي (Natural gasoline) : و هو مزيج من البنتان و الهكسان و المركبات الهيدروكربونية الأثقل المستخلصة من الغاز الطبيعي.

- المكثفات الغازية (Condensate) : و هي عبارة عن مركبات هيدروكربونية تكون في الحالة الغازية في المكمن و بمجرد صعودها إلى السطح تتحول إلى الطور السائل نتيجة لتغير شروط الضغط و الحرارة. و تتراوح الكثافة النسبية لها ضمن المجال ($\rho = 0.55 - 4.91$) بينما تكون اللزوجة في حدود ($\mu = 0.006 - 0.011$ cp).

و يوضح الشكل (1) المركبات الرئيسية الداخلة في تركيب الغازات الصناعية.



الشكل (1) المركبات الرئيسية الداخلة في تركيب الغازات الصناعية.



Pressure-temperature diagrams of hydrocarbon fluid systems

الشكل (2) المخطط الطوري للغاز و المكثفات الغازية و النفط الخفيف و الثقيل.

أهمية الغاز الطبيعي:

تأتي أهمية الغاز الطبيعي من سهوله استخدامه مقارنة بالمصادر الهيدروكربونية الأثقل (النفط و الفحم الحجري)، كذلك قالغاز الطبيعي ذو احتراق سهل و نظيف و كامل و لا يعطي بقايا تذكر نتيجة لاشتعاله، و قد زاد من استخدامه اعتماد الكثير من محطات التوليد الكهربائية عليه كوقود أساسي لتشغيل عنفات توليد الطاقة ، و التطور في مجال النقل الذي مكن من استخدام الغازولين الذح حل كوقود فعال بدلاً عن الباترول

و الديزل، و كذلك فالغاز الطبيعي يعد مصدراً لكثير من المواد الكيماوية الضرورية كالهيدروجين و الكحول الإيتيلي ، هذا عن استخدامه في المنازل كغاز منزلي.

المتطلبات الأساسية لاستثمار الغاز في المجالات الصناعية:

1 - لابد من التخلص من الغازات الحامضية التي قد توجد في تركيب الغاز الطبيعي من خلال عمليات تحلية الغاز (Sweating).

2 - يعتبر تشكل الهيدرات من المشاكل الأساسية التي لا بد من تجنبها ، و هذا ما يتم عن طريق معالجات خاصة لإزالة الجذر المائي (Dehydration).

جودة الغاز (Gas Quality):

تعتمد جودة الغاز على مقدار الحرارة الناتجة عن حرق حجم معين من الغاز ($MMsft^3$, Nm^3) أو وزن معين (kg) و التي يتم قياسها بواحدات (Btu, kcal)، و تزداد الجودة بزيادة كمية الحرارة الناتجة عن الحرق، و التي تزيد بزيادة المكونات الأثقل من الميتان.

هناك متطلبات لابد من توافرها في الغاز المسوق حتى يتم استخدامه بالشكل الأفضل ، و تبعاً للاستخدام المطلوب صناعياً فإن أكثر المعامل قد صممت لاستهلاك الغاز وفقاً للضغوط التالية المتعارف عليها:

- متطلبات الضغط لخطوط نقل الغاز :(± 1,000 psia) 70 bar .
- متطلبات الضغط لمعامل الغاز الطبيعي المسال(LNG): (± 800 psia) 55 bar .
- متطلبات الضغط لمعامل (وحدات) سوائل الغاز الطبيعي(NGL): (± 600 psia) 40 bar .
- متطلبات الضغط للعنفات الغازية: (± 300 psia) 20 bar
- متطلبات الضغط للمراجل الحرارية: (± 40 psia) 3 bar

و ذلك ضمن مجال حراري يتراوح بين ($0\ ^{o}C$ to $60\ ^{o}C$ ($32\ ^{o}F$ to $140\ ^{o}F$))، و بنسبة أوكسجين بالشكل النموذجي (0.1 to 0.5% mol) .

أما الغازات الخاملة المرافقة (النيتروجين و الآرغون و الهيليوم) فغالباً ما تكون بنسبة أقل من (1% mol)، إلا أن النيتروجين قد يظهر في بعض الحقول بنسب أعلى، كما تعتبر تكاليف التخلص منه عالية.

أما متطلبات القدرة الحرارية الناتجة عن الغاز فهي تتبع متطلبات المصانع.

بسم الله الرحمن الرحيم

عمليات الفصل (Separation Process)

مقدمة:

تتكون المواد الناتجة عن أنظمة الفصل في حقول النفط من النفط و الماء و الغاز، و المختلفة فيما بينها – بشكل رئيسي – بالكثافة.

و لابد قبل البدء بشرح عملية الفصل من التعرف على هذه المكونات.

النفط الخام: و هو عبارة عن مزيج معقد من الهيدروكربونات المنتجة من مكامن النفط و التي تكون في الطور السائل، و تتراوح كثافتها عادة بين (40-55 Lb/Cu ft).

الغاز الطبيعي: المرافق للنفط التراكمي، و يمكن أن يكون غازاً حراً أو غازاً منحلاً في النفط.

- **الغاز الحر:** و هو مزيج من الهيدروكربونات التي تكون موجودة في الحالة الغازية في الشروط الطبقية من الضغط و الحرارة، و التي تبقى في الحالة الغازية بعد الإنتاج في الظروف الاعتيادية.

- **الغاز المنحل:** يكون هذا الغاز منحلاً في النفط عند درجة جرارة و ضغط معينان، و بانخفاض الضغط أو زيادة درجة الحرارة قد يؤديان إلى تحرر و انفصال هذا الغاز من النفط، و بعدها يتصرف هذا الغاز المنفصل بشكل مشابه للغاز الحر.

ترتبط كثافة الغاز بشكل مباشر مع الضغط، و تتراوح كثافة الغازات الهيدروكربونية عند ضغط (750 Psi) بحدود (2.25 Lb/cu ft)، بينما تكون كثافة نفس هذا الغاز عند الضغط الجوي (0.1 Lb/cu ft).

كذلك فهناك علاقة بين حجم الغاز و النفط المنتج من المكمن، و هو ما يصطلح عليه بـ (GOR: Gas Oil Ratio)، و الذي يمكن تعريفه بأنه الحجم المنتج من الغاز من وحدة حجم منتجة من النفط، و الواحدة المستخدمة حقلياً (Scf/bbl).

أما الماء: قيمكن أن ينتج مع النفط أو الغاز و من الممكن أن يكون في حالة سائلة أو بخار، و الطور السائل يمكن أن يكون بشكل حر أو على شكل مستحلب مع النفط، و يتم بحث هذه المشاكل – مشكلة فصل مستحلب الماء مع النفط أو فصل بخار الماء عن الغاز - في فصول أخرى، بينما يتم التركيز في دراستنا على دراسة فصل الغاز الحر عن السائل.

و من المعروف أن الماء المنتج هو ماء مالح ذو كثافة عالية أكبر من كثافة ماء البحر و المياه المنتجة من مكامن النفط تتمتع بكثافة وسطية بحدود (67 Lb/cu ft).

و عند وجود هذه السوائل الطبقية الثلاثة معاً في مستوعب ما (خزان مغلق) و ببقائها في طور ساكن ستحدث عملية الفصل.

و على اعتبار أن الماء هو الأكبر كثافة لذا سيتوضع في الأسفل، و يعلوه النفط، و في الأعلى سيكون الغاز، **و هذا ما يشكل أساس عمليات الفصل في الحقول النفطية.**

إلا أن الموائع الطبقية تنتج بشكل مستمر، و هذا ما يتطلب استمرار لعمليات الفصل ، و هذا ما تتم دراسته في هذا الفصل.

٢-١ مبادئ عمليات الفصل (Separation Process Principles):

يمكن أن يكون الفصل ثنائي الطور أو ثلاثي الطور، و في الفصل الثنائي يتم فصل الغاز عن الطور السائل (النفط و الماء)، أما في الفصل الثلاثي فيتم فصل الماء عن النفط بالإضافة لفصل الغاز عن الطور السائل، و يوضح الشكل (٢-١) الفرق بين الفصل ثنائي و ثلاثي الطور.

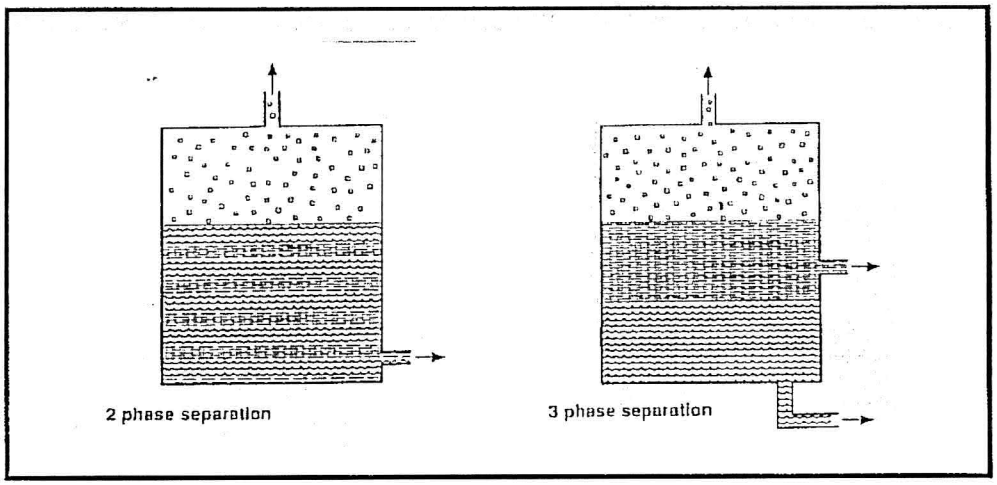
إن الهدف الرئيسي من عمليات الفصل هو الحصول على سائل هدروكربوني خالٍ من الغاز أو غاز خالٍ من السائل.

ونظرياً، يكون الغاز و السائل في حالة توازن عند شروط الضغط و الحرارة عند مدخل المستوعب (Vessel)، و هناك عاملان أساسين و ضروريان لا بد من توفرهما لإنجاز عملية الفصل:

١. عند وجود سائلين يراد فصلهما عن بعض يجب ألا يكون أي منهما قابلاً للذوبان في الآخر.

٢. يجب أن يكون أحد هاذين السائلين أخف من الآخر (مختلفان في الكثافة).

فعملية الفصل تعتمد على الجاذبية في فصل السوائل، وبوجود قابلية ذوبان لسائل في سائل آخر لن تنجح الجاذبية وحدها في عملية الفصل.



و يوضح الشكل (٢-١) الفرق بين الفصل ثنائي و ثلاثي الطور.

٢-١-١: الفصل الجاذبي (Gravity Separation):

على اعتبار أن الفصل الجاذبي يعتمد على الثقالة (الجاذبية ، اختلاف الكثافة) لذا، فإن عملية الفصل تكون أسهل كلما اختلفت الكثافة، أو بزيادة الفرق بين كثافة الطور السائل و الغاز تصبح عملية الفصل أسرع، و يوضح الشكل (٢-٢) عملية فصل الغاز عن السائل، و التي تمر بمرحلتين:

١- فصل الرذاذ السائل (Liquid Mist) من الطور الغازي.

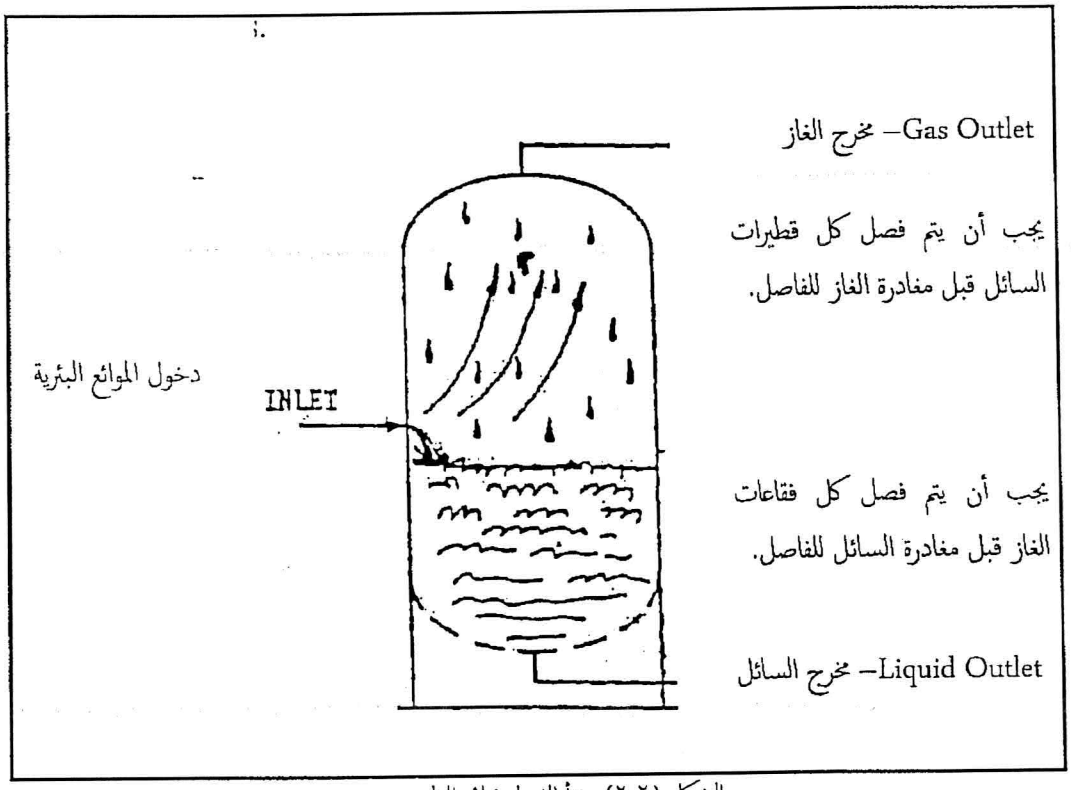
٢- فصل الغاز من الرغوة (Foam) الموجودة في الطور السائل.

و هكذا ستنفصل قطيرات السائل عن الغاز، مما يوجب:

- بقاء الغاز في الفاصل لفترة كافية للسماح لقطيرات السائل بالانفصال والتساقط.
- الحفاظ على سرعة لتيار الغاز بطيئة بشكل كافٍ، و عدم حدوث جريان اضطرابي، بما يؤمن انفصال الغاز عن السائل و صعوده، و بالتالي عدم هروب السائل.

و يكون لتأثير الفرق في الكثافة بين الغاز و السائل أثراً كبيراً في تحديد معدل الغاز المنتج من السائل المتبقي في الفاصل، على سبيل المثال: يتم فصل قطيرات السائل عن الغاز في المزيج الضبابي (بشكل رذاذ - Mist) عند ضغط فصل (52 bar – 750 Psi) لطالما أن سرعة الغاز أقل من (1 ft/sec).

و بمعنى آخر، يجب أن يكون الفاصل كبيراً بشكل كافٍ للسماح للغاز بمغادرة الفاصل من مخرج الفاصل (Outlet Nozzle).



الشكل (٢-٢) مبدأ الفصل ثنائي الطور.

و قد تم البرهان على أن الغاز ذي الكثافة (2.25 Lb/Cu ft =0.036 Kg/L) عند الضغط (52 Bar- 750 Psi) سيكون بكثافة (0.1 Lb/Cu ft = 0.0016 Kg/L) عند ضغط (1 Bar = 15 Psi)، و ستكون عملية الفصل عند الضغط الأقل أفضل و أكثر كفاءة بسبب زيادة الفرق بالكثافة بين الطورين الغاز و السائل مع انخفاض الضغط.

و بالنتيجة، يمكن أن يتدفق الغاز بسرعة أكبر من السائل عبر الفاصل، و بسرعة تصل إلى (1.52 m/sec = 5 ft/sec) و بدون أن يتعارض أو يؤثر على تساقط قطرات السائل المنفصلة عن الغاز.

أما فقاعات الغاز فتنفصل عن النفط – و بحسب أغلب التطبيقات الحقلية المتعارف عليها – خلال زمن (30-60 sec)، و بذلك نستدل أيضاً أن السائل يجب أن يبقى في الفواصل زمناً معيناً و بحدود (30-60 sec)، و هذا الزمن اللازم لبقاء السائل في الفاصل يدعى زمن الترقيد (Residence Time).

٢-١-٢ مشاكل فصل الغاز (Separation System Problems):

هناك عدد من المشاكل التي قد تشوه على نجاح عملية الفصل، و أهمها:

١- جريان السائل بشكل كتلي (Slugs): و الذي يؤدي إلى حدوث تآكل ميكانيكي ناتج عن تموج المائع المتدفق، وحدوث الطرق.

٢- وجود الرمال (Dust): و الذي يؤدي إلى حدوث تآكل ميكانيكي في صمامات دخول الغاز إلى الضواغط (Compressor Intake Valves)، كما يعيق عمل دارات التحكم من نوع (Orifice) في نظام الفصل.

٣- وجود النفط في الطور البخاري (Oil Fogs).

٤- وجود النفط بشكل رذاذ (Mist): و يؤدي هذان العاملان الأخيران إلى حدوث مشاكل بيئية، وانخفاض في كفاءة عمل المعدات بسبب تلوث مواد التشحيم و التزليق (Lubricants) و مواد التجفيف (Desiccants).

كما تتعرض خطوط نقل الغاز و محطات المعالجة بمختلف أقسامها لنفس هذه المشاكل في حال لم يتم الفصل بكفاءة عالية.

لذا، كان لا بد من إجراءات إضافية لدعم عملية فصل الغاز عن السائل من التيار القادم من الآبار.

٢-١-٣ العوامل المؤثرة على عملية الفصل (Factors affecting Separation):

يمكن إيجاز العوامل المؤثرة على تشغيل و فصل الطورين النفطي و الغاز بما يلي:

١- تركيب المزيج المائع المنتج (Fluid Stream Composition).

٢- ضغط التشغيل.

٣- حرارة التشغيل.

و يؤدي التغيير في أي من هذه العوامل الثلاثة إلى تغير في كمية الغاز و النفط الناتجين عن الفواصل.

٤- تشكل الرغوة (Foaming).

٥- تشكل المستحلبات (Emulsion).

كذلك فلا بد من التخلص من الرغوة و المستحلبات و منع تشكلها لجعل عملية الفصل ناجحة، و هذا ما يجعل الزمن اللازم لعميلة الفصل أطول، و يتم التخلص من هذه المشاكل – غالباً- من خلال استخدام المركبات الكيميائية، كالمركبات السيليكونية.

و يبين الجدول (٢-١) تأثير العوامل المسببة للفصل، كما يلي:

العامل	التأثير
الاختلاف في كثافة السائل	تصبح عملية الفصل أسهل و أكثر كفاءة بزيادة كثافة الطور السائل.
زمن البقاء في الفاصل (Residence time).	يكون الفصل أفضل بزيادة زمن بقاء السائل في الفاصل.
زيادة سطح الفصل	تزداد كفاءة الفصل بزيادة سطح الفصل.
الطرد المركزي	يزيد من سرعة عملية الفصل.
وجود الجزء الصلب	يؤدي إلى صعوبة عملية الفصل

الجدول (٢-١) تأثير العوامل المختلفة على عملية فصل الغاز عن السائل

و تعد عملية فصل النفط و الغاز عملية دقيقة و حرجة، و تعتبر من الضرورات اللازمة للحصول على الغاز و النفط المناسبين.

٢-٢ أطوار الفصل (Phases of Separation):

يمكن تقسيم المراحل الأساسية لعملية فصل الغاز عن النفط إلى أربعة أقسام كما هي موضحة في الشكل (٢-٣)، وهذه المراحل:

٢-٢-١ مرحلة الفصل الرئيسية (Primary Separation):

تحصل عملية الفصل الرئيسية عند دخول الموائع الطبقية من البئر إلى الفاصل (المستوعب (Vessel))، حيث تحدث عملية الفصل إلى غاز و سائل، و يحدث هذا الفصل نتيجة لـ:

١ • تناقص سرعة التيار المتدفق: و ذلك نتيجة لانتقال السائل من الجريان من مقطع صغير (قطر خط نقل المائع (Pipeline))، إلى الفاصل الأكبر حجماً و قطراً.

٢ • تناقص الضغط: و الذي يتبع لضغط التشغيل اللازم لهذا المستوعب (الفاصل).

٣ • تغير اتجاه الجريان: و الذي يتم إنجازه من خلال تركيب بعض (المعدات، الصفائح، ..) التي تغير اتجاه السائل المتدفق بعد مدخل الفاصل.

٢-٢-٢ مرحلة الفصل الثانية (Secondary Separation):

بعد الفصل الأولي الابتدائي، سيحاول الغاز الخروج للأعلى عبر مخرج الفاصل العلوي (Gas Outlet)، إلا أنه ستبقى كمية من السائل بشكل قطيرات (Droplets) معلقة في هذا الغاز، و في هذه المرحلة الثانية من الفصل يتم نزع هذه القطيرات من السائل عن الغاز من خلال تساقطها إلى اسفل الفاصل ايضاً بفعل القوة الجاذبية.

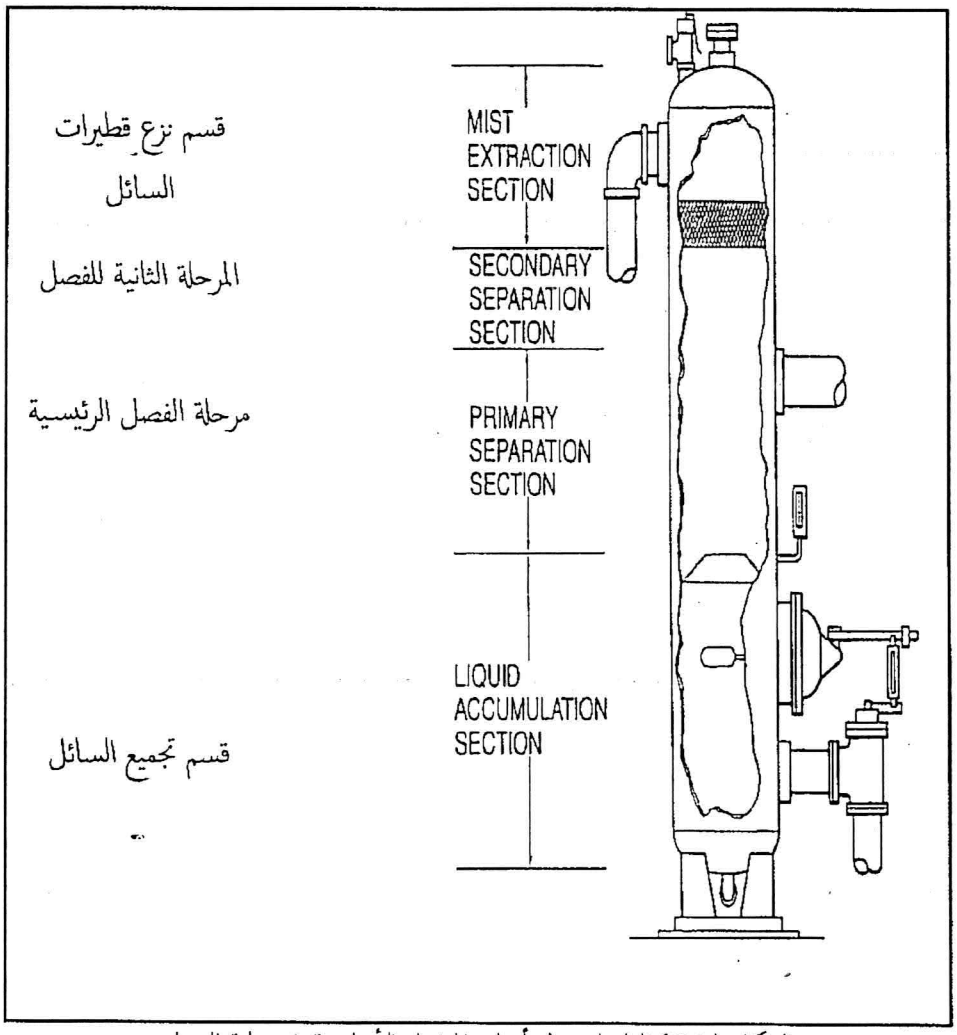
و ترتبط عملية نزع هذه القطيرات بعدة عوامل:

- قياس (حجم) هذه القطرات.

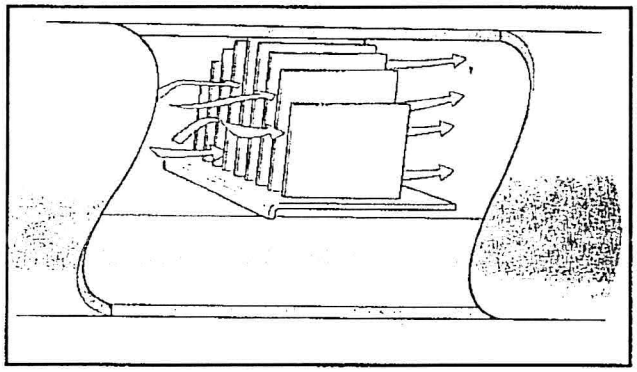
- كثافة سائل (هذه القطيرات) بالمقارنة مع كثافة الغاز: حيث يُحدَد هذان العاملان (قياس و كثافة القطيرات) من خلال تركيب المائع المنتج من البئر.

- سرعة حركة الغاز عبر الفاصل: و تحدد من خلال حجم الفاصل و مواصفاته الهندسية.

- مدى الاضطراب في تيار الغاز الداخل: و الذي يتم التخفيف منه من خلال مجموعة من الصفائح المستقيمة تدعى (Straitening Vanes)، و التي تركب في الفاصل لجعل التدفق أكثر انسيابياً ، كما في الشكل (٢-٤).



الشكل (٢-٣) الفاصل موضحاً عليه المراحل الأساسية في عملية الفصل.



الشكل (٢-٤) تحويل تيار الغاز المضطرب إلى انسيابي من خلال الصفائح الخاصة (Stratening Vanes)

٢-٢-٣ نزع الرذاذ(Mist Extraction):

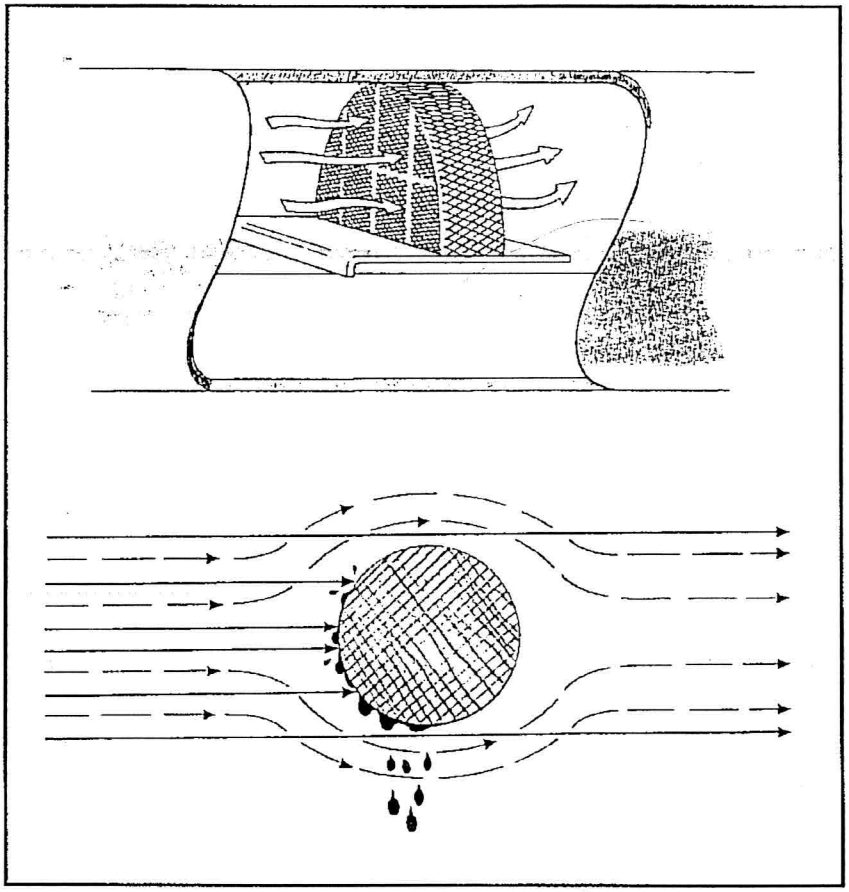
لن تستطيع المرحلة الثانية من الفصل أن تنتزع القطيرات متناهية الصغر من السائل و المشتتة في الطور الغازي على شكل رذاذ، ومن أجل ذلك من إجراء عملية نزع الرذاذ (Mist Extraction) للحصول على غاز خالٍ تماماً من السائل، من خلال وجود قسم لنزع الرذاذ في الفاصل.

ويتم نزع الرذاذ إما من خلال تطبيق قوة ارتطام أو اصطدام لتيار الغاز الحامل بالرذاذ أو من خلال قوة الفصل المركزي.

و الجهاز الأكثر شيوعاً من الأجهزة التي تعتمد على ارتطام تيار الغاز من أجل نزع الرذاذ هي عبارة عن شبكة من الأسلاك المعدنية (Knitted Wire Mesh)، و الموضح بالشكل (٢-٥).

و هذا النوع من الأجهزة يركب قرب مخرج الغاز في الفاصل (Gas Outlet)، حيث يستطيع الغاز الموجود في التيار الغازي أن يعبر حول شبكة الأسلاك، بينما ستسير قطرات الرذاذ في خط مستقيم باتجاه الأسلاك و تحتجز فيها، و مع زيادة كمية الرذاذ المصطدمة بالأسلاك ستتكون طبقة رقيقة من السائل لا تلبث أن تتحرك ببطء باتجاه الأسفل إلى أخفض نقطة في الأسلاك.

و في هذه اللحظة تكون قد تكونت قطرة، وعندما تكونّ هذه القطرة كبيرة كفاية ستنفصل عن سطح التجمع و تتساقط إلى مكان تجمع السائل في الفاصل تحت تأثير الجاذبية.



الشكل (٢-٥) توضح توضع و مبدأ عمل جهاز نزع قطرات السائل (Knitted Wire Mesh) في الفاصل

كذلك يمكن نزع الرذاذ باستخدام قوة الطرد المركزي (Centrifugal force)، و الذي غالباً ما يستخدم بشكل أقل، و يعتمد مبدأ عمل نزع القطرات على تحريك تيار الغاز بما فيه من رذاذ سائل بحركة دورانية مما يؤدي لطرد قطيرات السائل الناعمة باتجاه الخارج و تتجمع على جدار الجهاز أو المستوعب (Vessel)، و بالتالي تتجمع القطيرات شيئاً فشيئاً لتشكل قطيرات أكبر فقطرات لا تلبث أن تتساقط للتجمع في قسم تجميع السائل من الفاصل، كما في الشكل (٢-٦).

٢-٢-٤ قسم تجميع السائل (Liquid Accumulation Section):

يتجمع السائل في القسم الأدنى من الفاصل قبل أن يخرج من الفاصل.

في البداية، يكون هذا السائل حاوياً على فقاعات (Bubbles) من الغاز التي يجب أن تفصل عن السائل، و في الوقت الذي تتجه فيه قطرات السائل للانفصال و التساقط خارجة عن تيار الغاز، تتجه كذلك فقاعات الغاز للتحرر و الصعود إلى سطح السائل بسبب فرق الكثافة بفعل الجاذبية.

و الوقت اللازم لخروج الغاز على سطح السائل ثم الدخول في تيار الغاز يتنوع، و لكن يمكن – و من خلال التطبيقات الحقلية – تقدير هذا الزمن بـ (1-4 min)، و هذا يعني وجوب بقاء السائل في الفاصل هذه الفترة التي يصطلح عليها بـ (Retention Time).

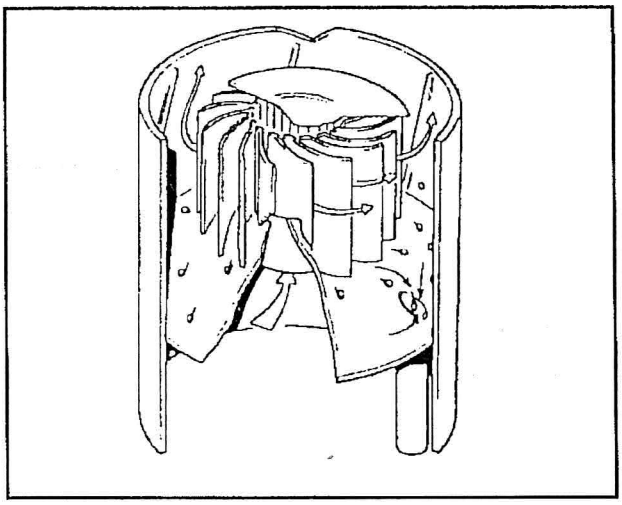
و عندما يكون الفاصل ذا حجم كبير نسبياً يكون من المسلم به أن الموائع الطبقية قد استقرت في الفاصل زمناً كافياً للفصل.

و لا بد من التذكير أن الفصل ثلاثي الطور لا يكون بنزع الغاز من السائل بل أيضاً يفصل النفط عن الماء.

٢-٣ قسم فصل النفط عن الماء (Oil & Water Separation Section):

من المعروف أن الماء لا يمتزج مع النفط، و عند بقاء هاذين السائلين في مستوعب (Vessel) ما لفترة كافية فسيتم فصل النفط الذي سيطفو أعلى الماء، و عملية فصل النفط عن الماء ستكون أسرع من عملية فصل الغاز عن النفط.

لذا، ففي الفواصل كبيرة الحجم و عندما يكون فصل الغاز فعالاً، فإن زمن استقرار الغاز من أجل الفصل (Retention Time) سيحقق زمن الاستقرار اللازم لفصل النفط عن الماء.



الشكل (٢-٦) جهاز نزع القطيرات باستخدام الطرد المركزي (Centrifugal Mist Extractor)

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل الثالث

أنواع عمليات الفصل و تطبيقاته (Terminology & Application)

1-3 اصطلاح المستوعبات (Vessel): يطلق اسم فاصل النفط و الغاز (Oil & Gas Separator) في الصناعة النفطية على المستوعبات (Vessels) التي تستخدم بهدف فصل الموائع الطبقية المنتجة إلى غاز و سائل، و المستوعبات المخصصة لأعمال الفصل تصنف وفقاً لما يلي:

1- (Oil and Gas Separator).

2- (Separator).

3- (Stage Separator).

4- (Trap).

5- (Knockout; vessel, drum, trap. Water Knockout, Liquid Knockout).

6- (vessel , trap.).

7- (Expansion vessel).

8- (Gas Scrubber).

9- (Gas Filter).

1-3 استخدام الفواصل:

لابد من أجل تصميم و حساب الحجم اللازم من الفواصل من أن تتوفر مجموعة من المعطيات و المعلومات الضرورية، و منها خواص السائل و ظروف التشغيل، و كذلك الوظيفة التي يجب أن يؤديها الفاصل بحسب نوعه، و كذلك المتطلبات اللازمة لعمل هذا الفاصل، كذلك النظام (المحطة)

التي سيعمل ضمنها الفاصل، و كذلك بعض المعطيات الإنشائية و المواصفات الهندسية في موقع التركيب.

و كل هذه المغطيات يجب أن تتوفر من أجل الحصول على القياس الأنسب و التصميم الأفضل للفاصل (علماً أن بعض المعطيات يتم تخمينها أو تقديرها)، لكن أيضاً و من أجل الحصول على التصميم الأمثل لا بد من معرفة نوع الوظيفة الأساسية للفاصل و علاقته بنظام العمليات.

كذلك يوجد أنواع من الفواصل المتوفرة و باستطاعات مختلفة بحسب الحاجة.

من حيث الشكل الرئيسي للفاصل نستطيع أن نميز بين الأنواع التالية من الفواصل: الفاصل الأفقي و الفاصل العمودي، و اللذين يختلفان بنوع الجريان طولياً أو عرضياً، كما يوجد تصنيف لأجهزة نزع الرذاذ، التي تختلف بتوفر أو عدم توفر أقسام إبطاء حركة التيار.

3-1-1 الفواصل (Separators):

تعرف بأنها أجهزة ميكانيكية تستخدم بشكل رئيسي لاستخلاص و تجميع السائل من الغاز الطبيعي، و الذي ينتهي عادة بالفصل باستخدام قوة الطرد المركزية.

إن اصطلاح فاصل النفط و الغاز (Oil & Gas Separator) أو الفاصل (Separator) ، المصيدة (Trap) أو الفاصل المرحلي (Stage Separator) كلها تشير إلى النوع التقليدي المتعارف عليه لجهاز الفصل، و هو من أنواع المستوعبات (vessels) التي تستخدم في محطات النفط و التي توظف عادة لفصل الموائع البئرية إلى غاز و نفط أو غاز و سائل، كما لا بد لها أن تكون قادرة على تحمل ضغوط و حجوم الموائع المنتجة من الآبار.

3-1-2 فاصل الإنتاج (Production Separator):

كذلك يدعى هذا الفاصل بالفاصل الرئيسي (Bulk Separator, Primary Separator) و الذي يستخدم لفصل من الموائع المنتجة من واحد أو أكثر من الآبار، و من الممكن أن يوجد هذا النوع من الفواصل في محطات التجميع أو المحطات الرئيسية أو المنصات البحرية، و من الممكن أن تكون هذه الفواصل ثنائية الطور أو ثلاثية الطور، و يشير الاصطلاح رئيسي إلى أن هذا الفاصل هو أول جزء من العمليات في المحطات النفطية، و عندما يكون هذا الفاصل في المحطات الرئيسية

أو معامل الغاز فلا بد من أن يكون ذا مقاس ضخم (كبير جداً) بما يتناسب و الحجم المنتج من الحقل كله، و في المحطات و معامل الغاز الضخمة جداً يمكن أن تتوفر فواصل رئيسية متعددة تعمل معاً على التوازي.

3-1-3 فاصل الاختبار (Test Separator):

يوصل هذا النوع من الفواصل بشكل موازٍ للفاصل الإنتاجي، و غالباً يستخدم لتشغيل بئر واحد فقط في كل مرة، و سيتم فصل إنتاج الابار التي تضخ الموائع البئرية من الخط الرئيسي للإنتاج و توصل بالفاصل الرئيسي لمعرفة إنتاج هذا البئر من النفط و الغاز و السائل، وبعد قياس معدل إنتاج البئر من هذه الموائع تضخ المنتجات البئرية مع الخطوط الرئيسية للمحطة.

Knoclout vessel, drum, trap 4-1-3

يستخدم هذا النوع من المستوعبات لفصل فقط الماء المنتج من الموائع البئرية المنتجة، كما يستخدم لفصل كل السائل من الغاز، و في هذه الحالة فإن وجود water knockout فاصل الماء سيتم خروج الغاز و النفط معاً ، بينما يتم فصل الماء لوحده من أسفل هذا المستوعب.

أما طارد السائل Liquid knock out فهو يستخدم لعزل جميع السائل (الماء و النفط معاً) من الغاز، و في هذه الحالة يتم خروج الماء و النفط معاً من أسفل المستوعب بينما يخرج الغاز من أعلى المستوعب.

Flash Chamber (Separator, Drum) 5-1-3

و هو من المستوعبات ثنائية الطور التي تستخدم كمرحلة لاحقة للفصل من أجل فصل السوئل الهيدروكربونية الخارجة من الفاصل الرئيسي، كما يعتبر هذا المستوعب كفاصل المرحلة الثانية من وحدة الفصل (عند درجة حرارة منخفضة). وغالباً ما يكون هذا الفاصل مصمم بضغط عمل قليل (أقل من Psig 125)، ونادراً ما يكون مختلفاً عن الفواصل الاعتيادية ذات ضغط العمل المنخفض.

و الهدف الآخر من هذا المستوعب هو نزع و تحرير الغاز عن السائل (degassing) قبل دخوله مرحلة أخرى من العمليات (مثل مرحلة نزع الأملاح أو المزج مع الموائع الأخرى) حيث يحذر من

وجود أي نسبة من الغاز في السائل، و في هذه الحالة يتم فصل الغاز عن السائل في المرحلة الآولى في Flash Separator و التي تكون موجودة أعلى مكان تكثيف السائل، و بالتالي الحصول على سائل بدون أي غاز.

Expansion Vessel 6-1-3

يطلق هذا الاسم على المستوعب الذي يسمح فيه للغاز بالتمدد أثناء الفصل البارد (cold separation)، كذلك يشير هذا الاسم إلى الفصل البارد أو الفاصل ذي درجات الحرارة المنخفضة، و يختلف هذا النوع من المستوعبات عن النوع الاعتيادي بشكل أساسي في كونه مصمم بشكل أساسي لإذابة هدرات الغاز المتشكلة بالتبريد المترافق مع تمدد الغاز.

و تطبيقات عمليات الفصل البارد حيث تستخدم موانع تشكل الهدرات يكون تصميم هذا النوع من الفواصل مشابهاً للفواصل العادية، و يكون ضغط العمل لهذا النوع من المستوعبات ضمن المجال (1000-1500 psi).

Filter (Dust Scrubber) 7-1-3

عند وجود السائل في الغاز بنسب ضئيلة يقوم عندها الفاصل الاعتيادي بإزالة الجزيئات الصلبة من التيار المائع المنتج، حيث يقوم السائل بالتصرف كأداة اصطياد للأجزاء الصلبة في قسم نزع الرذاذ (Mist Extractor or coalescer) ، حيث سيعمل كوسط ناقل للأجزاء الصلبة خارج المستوعب.

أما عندما يكون الغاز جافاً سيكون هناك أيضاً إمكانية لوجود بعض الأجزاء الصلبة في الغاز المتدفق، عندها يكون نزع هذه الأجزاء الصلبة من خلال ما يسمى الفلتر (Filter or Dust Scrubber) .

و تستخدم الفلاتر عادة حزم من الأسلاك المتشابكة لاحتجاز الأجزاء غير المرغوبة، و التي تحتاج عادة للاستبدال أو التنظيف من حين لآخر.

Scrubber 8-1-3

و هي عبارة عن مستوعبات عمودية ثنائية الطور، و لا يمكن أن تستخدم أبداً كفواصل أساسية بالقرب من مواقع الآبار، و إنما تستخدم من أجل:

- الفصل في المرحلة الثانية لإزالة الموائع المتبقة (الزائدة عن الحد) من خط العمليات كجهاز الامتصاص absorber أو Liquid Dust Scrubber.
- خطوط الغاز المفصول الخارجة من الفواصل عندما تكون هذه الخطوط قصيرة.
- عندما تكون النفوط المنتجة تتمتع بنسب عالية من الغاز (High GOR)، و بالتالي تكون الحاجة لفصل و نزع الكميات القليلة من السائل الموجودة في تيار الغاز.
- أجهزة نزع الغاز في خط الشعلة (Flare scrubber) و تفريغ الضغط (Vent scrubber) و التي توضع لإزالة أية سوائل متبقية أو مكثفات يمكن أن تتشكل في خط الغاز قبل عملية الحرق في الشعلة أو التفريغ (vent)، و لا بد أن تكون موجودة في الخطوط الخارجة عن الفواصل الرئيسية و قبل وصول الغاز إلى الشعلة.
- توضع أجهزة الامتصاص و الطرح (Suction & Discharge Scrubber) قبل و بعد الضواغط الغازية (Compressors).
- تقوم أجهزة (Fuel Gas Scrubbers) بنزع السوائل المتبقية في الغاز قبل استخدامه كوقود.
- (Pipeline Scrubbers) تقوم بنزع المكثفات الغازية من تيار الغاز المتدفق في خطوط الغاز.

Slug Catcher 10-1-3

أو ما يدعى بـ (Surge Drum) و الذي هو عبارة عن فاصل يصمم لفصل السائل عن الغاز الذي يجري بشكل كتلي، و كذلك فمن الممكن أن يستخدم هذا النوع من الفواصل كفاصل إنتاج (Production Separator) للحصول على عملية فصل أفضل، و الذي يصُمم عند توقع الجريان المتقطع.

Metering Separator 11-1-3

وهي من النوع المزود بأحجام معايرة و التي تستخدم في الفصل ثنائي و ثلاثي الطور، ومن خلال هذه المستوعبات نستطيع تقدير عدد الحجرات اللازمة لتقدير حجم الماء أو النفط المستخدمة عندما يكون المطلوب اختبار الآبار بشكل منفصل.

Accumulators 12-1-3

و فيها يتم تجميع الأبخرة المتكثفة الناتجة عن أعمدة التقطير، و بالتالي يبقى عمل الأبراج هادئاً و يحول دون حدوث تموج في السائل الناتج عن الفصل، و يكون زمن استقرار السائل هو العامل الرئيسي المؤثر على تصميم هذا النوع من المستوعبات.

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل الرابع – الفصل على مراحل– Satge Separation

إن الهدف من الفصل على مراحل هو تخفيض ضغط الموائع الطبقية بشكل بسيط في كل زمن، على مراحل متعاقبة، و بالتالي يتم الحصول على سائل أكثر استقراراً.

فغالباً ما تحتوي الموائع النفطية عند الضغوط العالية على كميات كبيرة من البروبان و البوتان و البنتان، و التي ستتبخر مع انخفاض الضغط، و هذا ما سيؤدي إلى نقصان في حجم السائل في الخزانات بسبب تركيب المائع المنتج من الآبار و الضغط و الحرارة، و على سبيل المثال فإن المكثفات الغازية المتطايرة عند ضغط 1500 psig عند ضخها باتجاه خزانات التجميع التي تعمل عند الضغط الجوي (Atmospheric Storage Tank) فإن معظمها سيتبخر فوراً و لن يتبقى إلا القليل من السائل في خزانات التجميع.

كذلك فعند إنتاج مائع طبقي من الآبار عند ضغط 2500 psig لرأس البئر، و بنسبة غاز إلى النفط GOR= 2000 Scf/bbl و عندما يكون الفصل من أجل الحصول على الغاز و النفط عند الضغط الجوي فستكون عندها الحاجة لفواصل ضخمة جداً، فمن أجل إنتاج 75000 bbl من النفط لا بد للفاصل من أن يكون قادراً على العامل مع 150 000 000 Cu ft من الغاز، وذلك يكون مترافقاً مع تخفيض الضغط خلال مرحلة واحدة من ظروف رأس البئر إلى الظروف الجوية.

إن الأساس النظري في عملية الفصل هو الحصول استخلاص الحجم الأعظمي من السائل و ذلك من خلال تحرير كميات متفاوتة (على مراحل) من الغاز عن طريق تخفيض ثابت للضغط من المرحلة الأولى التي يسيطر بها ضغط المكمن إلى المرحلة النهائية التي يسيطر فيها ضغط خزانات التجميع (Storage Tank)، و مع كل تخفيض بسيط في الضغط سيخرج قسم من الغاز المنحل في السائل، و من أجل عملية الفصل التفاضلي هذه سيلزم عدد غير متناه من مراحل الفصل، و هذا يعتبر غير عملي.

لذا كان هناك تقريب للحصول على الفصل التفاضلي للغاز من خلال تطبيق سلسلة من عمليات الفصل على ثلاثة مراحل أو أكثر، و يتم في كل مرحلة استبعاد الأبخرة الناتجة عن الفصل، و بالتالي يتم الحصول على الحجم الأعظمي من السائل المستخلص.

نظرياً، عندما يتم الفصل في مرحلة واحدة سيصل الغاز و السائل إلى مرحلة من التوازن عند ضغط و حرارة معينين ضمن هذا الفاصل، وبالتالي لن يعود هناك أية إمكانية للفصل.

و في الصناعة النفطية يكون الهدف هو تخزين النفط الخام من أجل التصدير عند ضغط مساوٍ تقريباً للضغط الجوي، و لهذا يجب أن يتم تشغيل الفاصل عند هذا الضغط.

و للحصول على الفصل الأمثل للغاز عن النفط يكون من الضروري وجود عدد من ألفواصل (المستوعبات المخصصة لعملية الفصل) التي تعمل على التسلسل، و كل فاصل سيعمل عند ضغط أقل من الفاصل الذي قبله.

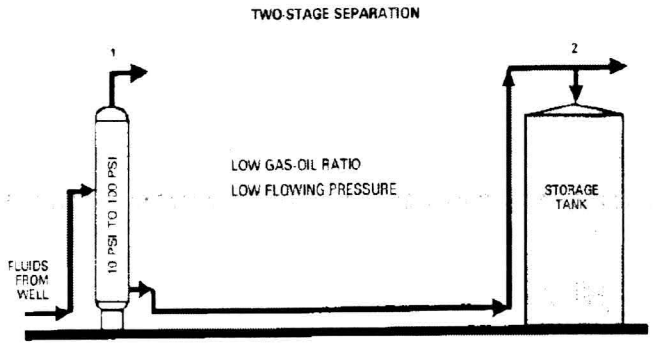
و هذا ما يعرف بالفصل التفاضلي، حيث وفي كل مرحلة يتم إزالة و استبعاد الغاز المفصول عن السائل ، بينما يتم توجيه السائل المتبقي مع ما فيه من غاز منحل فيه إلى الفاصل الآخر.

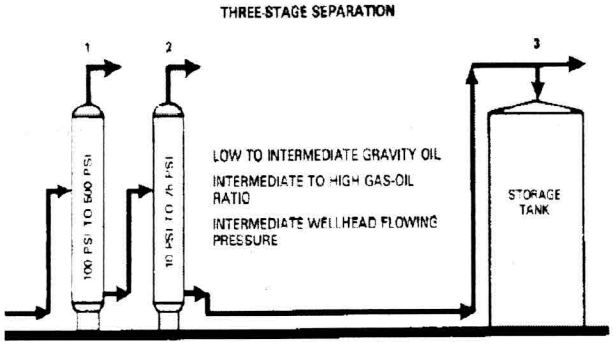
وفي الفصل التفاضلي يتم فصل الموائع الهيدروكربونية إلى طورين سائل و بخار عن طريق تخفيض الضغط مرتين أو أكثر و على التتابع.

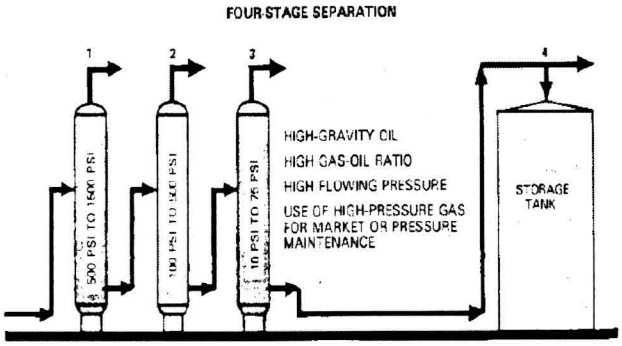
من الممكن أن تتكون مرحلتي الفصل من الفصل الأولي في الفاصل و الثانية في خزان التجميع (Stock Tank)، كما في الشكل (3-1)، كما يوضح الشكل نماذج أخرى للفصل على ثلاثة مراحل من خلال فاصلين و خزان التجميع و على أربعة مراحل من خلال وجود ثلاثة فواصل على التسلسل و خزان التجميع.

و يمثل خزان التجميع آخر مرحلة لفصل البخار عن السائل ، حيث تكون عندها آخر نقطة توازن بخاري يحتمل وجودها.

و تعرف سلسلة الفواصل المستخدمة في عمليات الفصل بـ (Train)، و يختلف عدد الفواصل في سلسلة الفصل و لكن عادة تتكون من فاصلين و حتى أربعة فواصل، و من هنا يمكن تسمية سلسلة الفواصل هذه بـ (two, three, or four stage separation train).







الأشكال (3-1) الفصل التفاضلي.

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل الخامس –تصنيف الفواصل (Separators Classification)

يمكن وبشكل مبسط أن يتم تصنيف الفواصل وفقاً للعاملين التاليين:

1- الشكل الخارجي للفاصل.

2- عدد الموائع الناتجة عن الفصل.

1-5 تصنيف الفواصل تبعاً لأشكالها(The Vessel Shape):

الشكل الشائع للفواصل المتعارف عليها تصنف وفقاً للأقسام الثلاثة التالية:

- فواصل أفقية (Horizontal Separators).
- فواصل عمودية (Vertical Separators).
- فواصل كروية (Spherical Separators).

1-1-5 الفواصل الأفقية (Horizontal Separators).

توضح الأشكال (5-1، 5-2، 5-3، 5-4) الفواصل الأفقية و التي تصمم في خط العمليات الرئيسية للموائع الخارجة من الآبار، تستخدم من أجل الفصل الفعال للغاز من السائل، و يتمتع هذا النوع من الفواصل بالمساحة الكبيرة التي تكون فيهاالغاز على تماس مع السائل، و هذا ما يزيد في فعالية الفصل، و عندما تكون كمية الغاز كبيرة سيكون لا بد من زيادة مراحل الفصل.

و تكون الفواصل الأفقية الأفضل و الأكثر اقتصادية عندما تكون ضغوط العمل كبيرة لأنها تمتع بسماكة كبيرة للجدران عند الحجوم الكبيرة من الفواصل.

و بشكل عام، ينصح بها كذلك عند العمل عند انخفاض نسبة الغاز إلى النفط (Gas Oil Ratio) مالم يكن هناك ما يمنع تشغيلها لسبب ما.

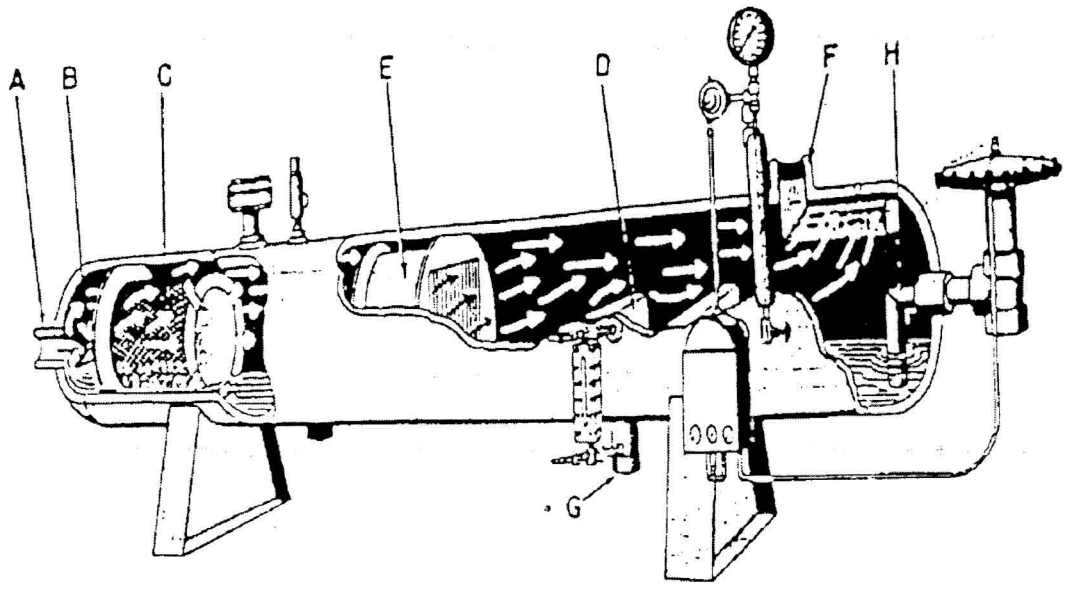
إلا أن المشكلة الرئيسية للفواصل الأفقية تكمن في التحكم بمستوى السائل من أجل ادخال كميات أخرى من السوائل بعكس الفواصل العمودية (Vertical Separators).

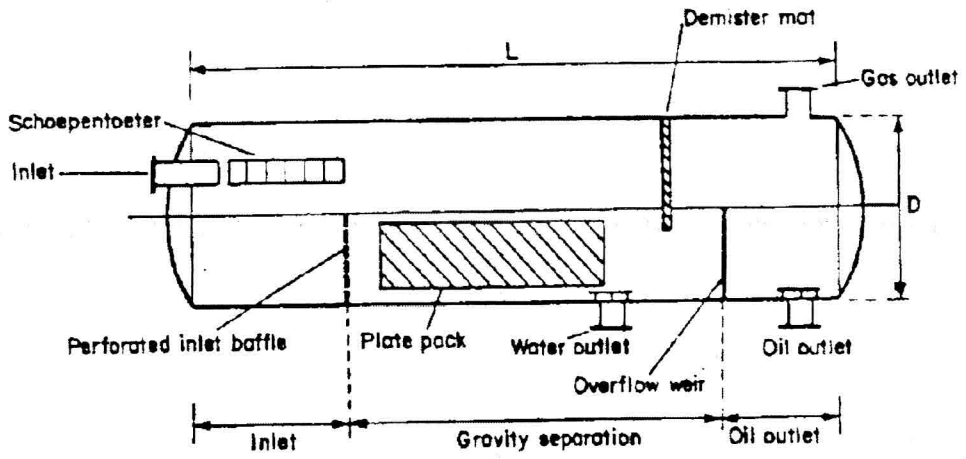
5-1-1-1 مبدأ عمل الفاصل الأفقي:

يدخل مزيج السائل مع الغاز الفاصل – كما هو موضح بالشكل – مدخل الفاصل (Inlet) (A) و يصطدم بـ مصد مصمم بزاوية ميلان (Angle baffle) (B) حيث يتم تغيير اتجاه جريان المزيج، و هذا ما سيؤدي إلى تساقط الموائع الثقيلة إلى أسفل الفاصل و ارتفاع الغاز، يعبر بعدها الغاز الرطب عبر الحجرة (C) و الذي تتجمع فيه القطرات الصغيرة لتشكيل قطرات أكبر تتساقط بعد تشكلها إلى الأسفل.

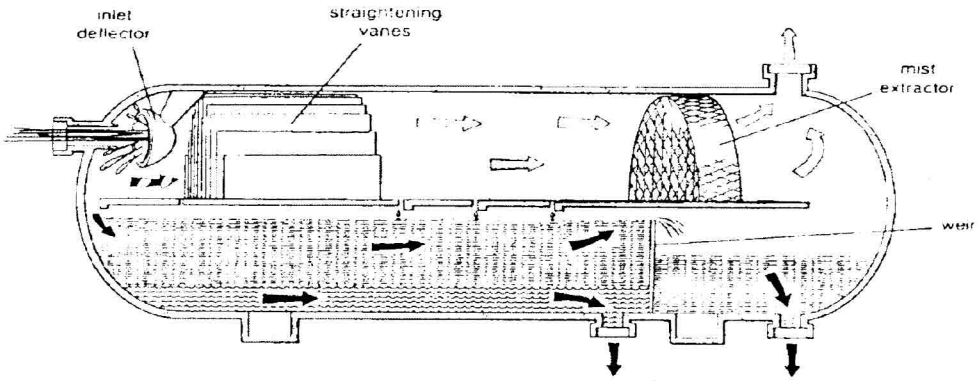
يمرر بعدها الغاز الجاف نسبياً (Partly Dries gas) عبر جهاز نزع الرذاذ (E) الذي يقوم بانتزاع الجزيئات الناعمة جداً من السائل التي بقيت معلقة في الغاز، بطريقة مشابهة لعمل جهاز اصطياد الغاز (Scrubber Dome)، عندها يعبر الغاز الجاف عبر الجزء العلوي من الفاصل باتجاه مخرج الغاز (Gas Outlet)(F).

أما السائل المنفصل عن الغاز على طول الجزء السفلي من الفاصل يمر عبر الصفائح (D) التي تمنع تموج السائل ، و من ثم إلى مخرج النفط (H).

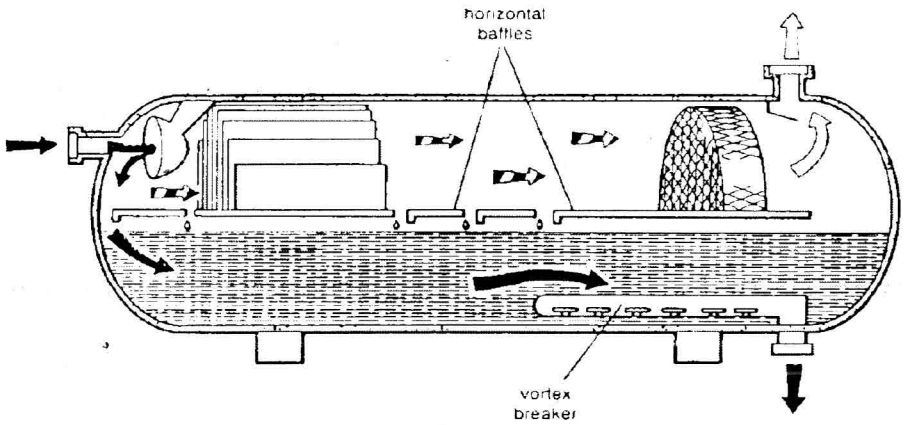




الأشكال (5-1 و 5-2) أجزاء و مبدأ عمل الفواصل الأفقية



الشكل (5-3) فاصل أفقي ثلاثي الطور



الشكل (5-4) فاصل أفقي ثنائي الطور

5-1-1-2 محاسن استخدام الفواصل الإفقية (Horizontal Separators Advantages):

1- من أجل حجم محدد من النفط و الغاز يكون الفاصل الأفقي أرخص من الفواصل العمودية.

2- يكون تطبيق الفواصل الأفقية أفضل و أكثر استقراراً للعمل على القواعد المعدنية (Skid) و أكثر ملاءمة من أجل تركيب شبكة الأنابيب اللازمة.

3- من أجل حجم معين للفاصل، فإن الفواصل الأفقية تؤمن مساحة استقرار أكبر للطور السائل، و بالتالي، فالفواصل الأفقية تتوافق مع الفصل الثلاثي أكثر من العمودية.

4- عند الحاجة إلى وشائع للتسخين أو وجود الرمال يمكن تعديل التصميم للفواصل الأفقية أسهل من العمودية.

5- تشغيل الفواصل الأفقية أفضل من العمودية في الموائع التي قد تشكل الرغوة، بسبب السطح الكبير بين الطورين الغازي و السائل، و هذا ما يساعد على تمرير الرغوة المتحطمة إلى القسم السائل في الفاصل، و في الواقع ، عندما يكون المائع قابلاً لتشكيل الرغوة بشكل واضح فإن هذه الخاصية هي الوحيدة التي ستلزم باستخدام الفاصل الأفقي.

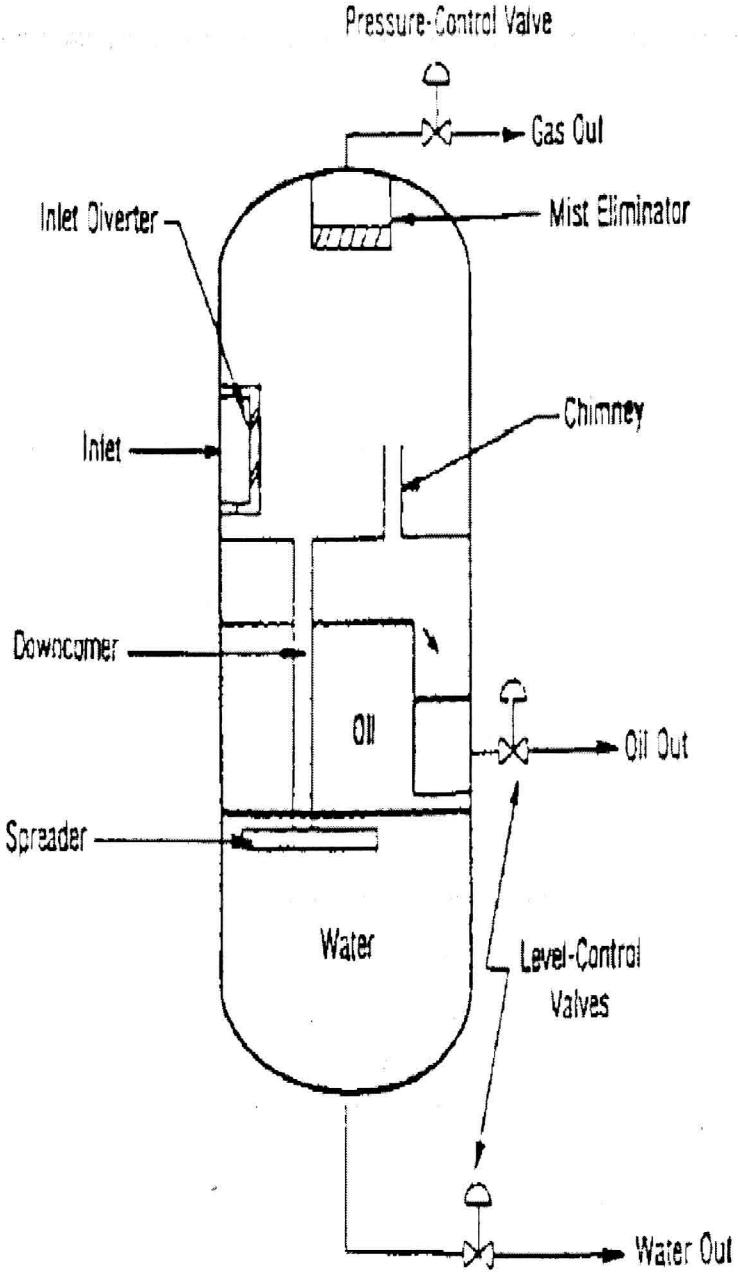
5-1-1-3 مساوئ استخدام الفواصل الأفقية (Disadvantages of Horizontal Separators):

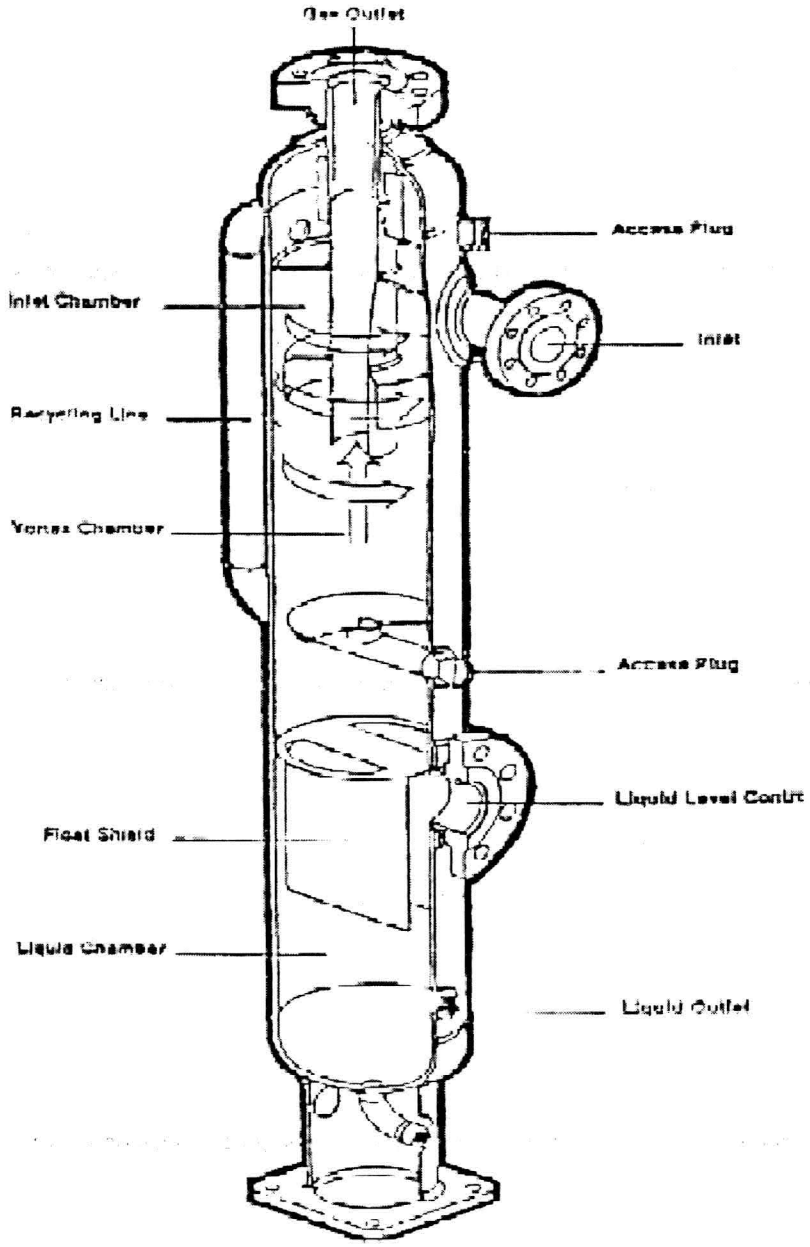
1. الفواصل الأفقية أقل قدرة على تعويض السائل من الفواصل العمودية.
2. التحكم بمستوى السائل في الفواصل الأفقية أقل من الفواصل العمودية.

5-1-2 الفواصل العمودية (Vertical Separator):

كما هو موضح في الأشكال (5-5، 5-6) تكون الفواصل العمودية مخصصة للتعامل مع الكميات الكبيرة من كتل السائل التي لا تتعدى مجال الخروج من مخرج الغاز (Gas Outlet)، و هي ملائمة تماماً للعمل مع الموائع الخارجة مباشرة من الآبار ذات الإنتاجية الكبيرة من السائل ذي المحتوى القليل من الغاز، و دون أن يشكل التحكم بمستوى السائل في الفاصل أية مشكلة تذكر.

و بوجود المسافة الشاقولية الكبيرة بين مستوى السائل و مخرج الغاز يكون ميلان السائل إلى التبخر قليلاً، و لهذا فإن الفواصل العمودية تستخدم غالباً لفصل الموائع ذات المحتوى القليل من الغاز و التي يغلب فيها حجم السائل (نسبة الغاز إلى النفط قليلة Low GOR).





الأشكال (5-5، 5-6) أجزاء و مبدأ عمل الفواصل العمودية

5-1-2-1 محاسن استخدام الفواصل العمودية (Advantages of Vertical Separators):

- لا يشكل التحكم بمستوى السائل في الفاصل مشكلة كما في الفواصل الأفقية.
- أسهل استخداماً و أرخص عند تشغيله من أجل الإنتاجيات المتقلبة.
- يمكن أن يتعامل بشكل أفضل بكثير من الفواصل الأفقية عند وجود الرمال و الطين و المواد المسببة للتآكل في السائل.

- تنظيف هذه الفواصل أسهل عادة.

2-2-1-5 مساوئ استخدام الفواصل العمودية (Disadvantages of Vertical Separators):

- أسعارها أعلى.
- لا يمكنها التكيف مع النماذج الهيكلية للمحطات النفطية كما في الفواصل الأفقية.
- تتطلب ارتفاع نسبة الغاز زيادة كبيرة في قطر الفاصل مقارنة بالفواصل الأفقية.

3-1-4 الفواصل الكروية (Spherical Separator):

يؤمن هذا النوع من الفواصل فصلاً جيداً للغاز، لكنها محدودة بالنسبة لمكان تجمع السائل و إنجاز الفصل، أما عند احتواء الموائع البئرية على الرمال المنتجة و الطين و وجود إنجاز الفصل، أما عند احتواء الموائع البئرية على الرمال المنتجة و الطين و وجود إمكانية لتشكل الرغوة فإن هذه الفواصل الكؤوية لا تكون اقتصادية على الإطلاق، كما أن التحكم بمستوى السائل تعتبر من المشاكل الحرجة في هذه الفواصل، و هذه الفواصل غير شائعة بسبب محدودية العمل فيها.

1-3-1-4 مبدأ عمل هذه الفواصل:

يظهر الشكلان (5-7 و 5-8) أجزاء و توضيح عمل هذه الفواصل، حيث تدخل الموائع من الآبار من أعلى الفاصل، ثم ينتشر السائل ببطء على صفائح شبه كروية و تتجمع في اسفل الفاصل، أما الغاز فيمر مع السائل ثم يرتفع بين الصفائح الكروية والصفائح الوسطية في الفاصل،ثم يدخل الغاز إلى حجرة الفاصل ثم إلى جهاز نزع الرذاذ ثم يخرج عبر النهاية الملتوية المتصلة التي تخرج من وسط الفاصل و للأسفل.

بينما تنشط السوائل الصاعدة أجهزة التحكم بالمستوى و من ثم يتم تشغيل صمام النفط في مكان التجميع في الفاصل.

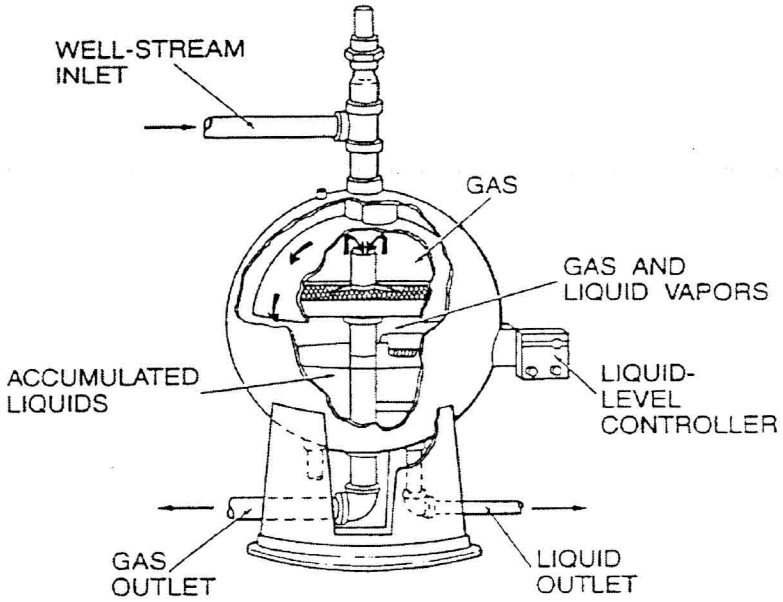
محاسن استخدام الفواصل الكروية (Advantages of Spherical Separators):

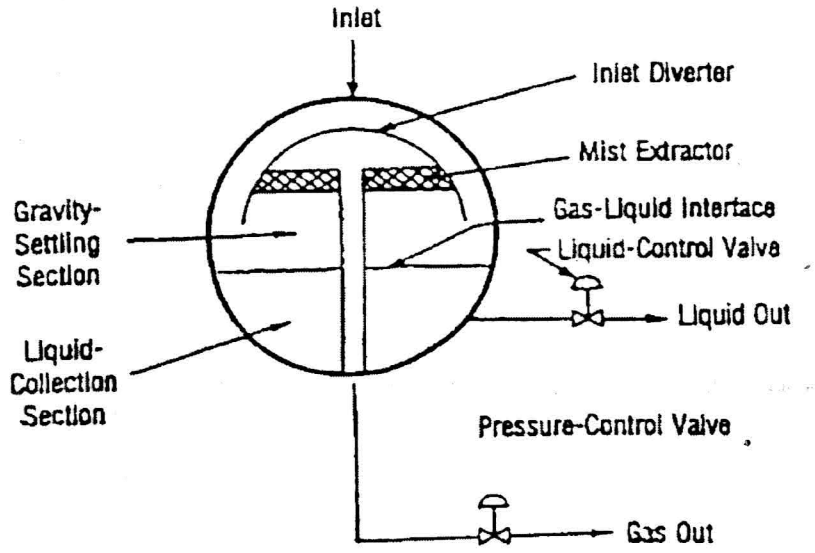
- سهلة التركيب و التوصيل بشبكة الأنابيب.

- تكاليف إنتاج الغاز فيها قليلة.
- إجراء عمليات التنظيف فيها أفضل من الفواصل الأخرى.

مساوئ استخدام الفواصل الكروية (Disadvantages of Spherical Separators):

- غير اقتصادية عند الحجوم الكبيرة من الغاز.
- حجم المعالجة محدود.





الأشكال (5-7، 5-8) أجزاء و مبدأ عمل الفواصل الكروية

2-5 تصنيف الفواصل تبعاً لعدد السوائل الناتجة عن الفصل:

يمكن أن يتم عادة فصل المنتجات البئرية إلى نوعين أو ثلاثة و تبعاً لعدد هذه النواتج عن الفصل يمكن تقسيم الفواصل إلى:

1- فواصل ثنائية الطور (Two Phase Separator): و يكون الناتج عن عملية الفصل سائل و غاز، و هذا النوع من الفواصل يمكن أن يكون فاصلاً أفقياً أو عمودياً،

2- فواصل ثلاثية الطور (Three Phase Separator): و يكون الناتج عن عملية الفصل في هذه الحالة غاز و نفط و ماء، و بالتالي فعدد المراحل تمثل عدد التيارات من المائعة المنتجة التي تغادر الفاصل و ليست عدد أطوار المائع الداخلة.

و على سبيل المثال: فواصل الاختبار (Test Separators) يدخل إليها الأطوار الثلاثة النفط و الغاز و الماء كموائع منتجة من الآبار، و لكن غالباً يتم الفصل فيه إلى طورين غاز و سائل، ثم يتم توجيه السائل إلى فاصل آخر ليتم فصل النفط و الماء، و بالتالي فالفواصل ثنائية الطور تفصل المائع الداخل إلى طورين فقط، و الثلاثية ينتج عنها ثلاثة منتجات.

5-2-1 الفواصل ثنائية الطور (Two Phase Separators):

يتشابه التدفق في الفواصل الأفقية والعمودية حيث تدخل المنتجات البئرية إلى الفاصل من المدخل (Inlet) و تضرب قسم التشتيت (baffle) ، مما يؤدي لتوقف الحركة المباشرة للسائل مؤقتاً و تساقط الجزء السائل إلى أسفل الفاصل، و بعدها يستمر السائل المشتت في الطور الغازي بالحركة عبر صفائح توجيه الغاز مانعة من تموج التيار (Straightening vanes) مما يسبب في تساقط قطرات السائل في قسم التجميع.

و يختلف الجريان في فواصل الطرد المركزيّ عن الفواصل الاعتيادية، و غالباً ما تكون فواصل الطرد المركزي عمودية لتسهيل عملية فصل الموائع، كما في الأشكال السابقة، حيث يتم توجيه السائل الداخل إلى الفاصل للجريان بشكل دائري بالقرب من جدار الفاصل بشكل دوامة، و هذا ما سيدفع الموائع الأثقل (السائل) باتجاه الخارج و بالتالي تتجمع قطرات السائل على

الجدار ثم تتساقط للأسفل، بينما تتجمع الموائع الخفيفة (الغاز) بالقرب من مركز الدوران ثم تتجه للأعلى ثم إلى خارج الفاصل.

5-2-2 الفواصل ثلاثية الطور (Three Phase Separators):

يستطيع هذا الفاصل التعامل مع الغاز و سائلين غير قابلين للامتزاج، ومن الممكن أن يكون هذين السائلين ماء و نفط، أو نفط و غلايكول، و الشرط الأساسي في الفصل ثلاثي الطور توفر الحجم اللازم للفصل في الفاصل.

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل السادس – التجهيزات الداخلية للفواصل

تختلف المكونات و الأجزاء الداخلية لمعدات و تجهيزات الفواصل الداخلية عادة فيما بينها تبعاً لاستخداماتها، و تتشابه بالشكل العام الخارجي لها من حيث تصنيفها كمستوعبات.

و الغاية الأساسية من هذه التجهيزات الداخلية هو زيادة فعالية عملية الفصل و تبسيطها.

أما عن الأجزاء الشائعة التي تتكون منها الفواصل ، فتتمثل في:

1- التجهيزات الخاصة بدخول الموائع إلى الفاصل (Inlet Configuration).

2- التجهيزات الداخلية (الجزء الوسطي) للفاصل (Intermediate Configuration).

3- التجهيزات الخاصة بخروج الموائع من الفاصل (Outlet Configuration).

6-1 تجهيزات متعلقة بدخول الموائع إلى الفاصل (Inlet Configuration).

يمكن أن تكون للتجهيزات الداخلية في **الفواصل الأفقية** أشكالاً متعددة، و أكثر الأشكال شيوعاً:

Cyclone Angle Iron

Schopentoeter Dished Heads Flat Plates

تعد الأنواع الثلاثة الأخيرة مخصصة لأعمال معينة، و تستخدم جميع هذه التجهيزات في مقدمة الفاصل (مدخل الفاصل Inlet)، و التي تؤمن من خلال وجودها وظيفتين أساسيتين:

- المساعدة في فصل الغاز الداخل إلى الفاصل عن الجزء السائل.

- تحويل مسار المائع الداخل إلى الفاصل.

أما في **الفواصل العمودية** فمن الممكن تزويد مدخل الفاصل بجهاز طرد مركزي (دوراني Centrifugal) و الذي سيقوم بوظيفة الفصل الرئيسي للغاز عن السائل.

وتكون عملية الفصل المركزي فعالة أكثر بـِ 500 مرة من الفصل الجاذبي، و هذا ما سيؤدي بالإعاقة الفعلية لحركة السائل بالشكل الأفقي، ويؤدي أيضاً لتجمع القطرات السائلة معاً لتتساقط و تتجمع في القسم السفلي من الفاصل.

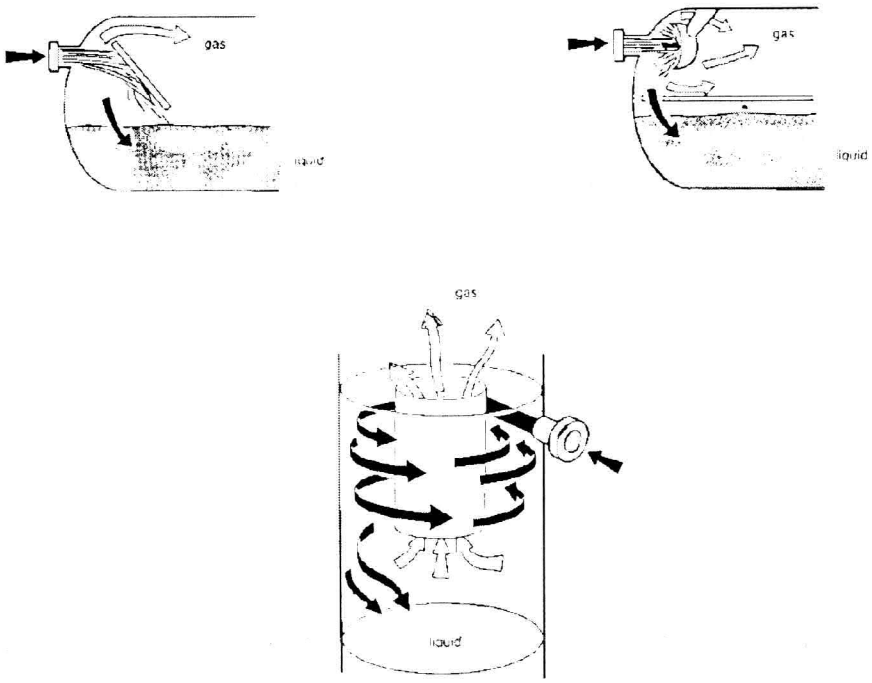
1-6-1 التجهيزات الخاصة بتغيير اتجاه المائع الداخل إلى الفاصل Inlet Diverts:

هناك عدة نماذج من هذه التجهيزات ، و يوضح الشكل (6-1) الأنواع الأكثر شيوعاً منهما، و الأول هو ما يدعى (مصد التوجيه: Deflector Baffle) و من الممكن أن يكون عبارة عن صفيحة نصف كروية Spherical Dish، أو صفيحة حديدية عادية Flat Plate أو صفيحة حديدية موضوعة بشكل مائل Angle Iron، أو صفيحة مخروطية الشكل Cone و التي تهدف جميعها للتغيير الكبير في سرعة و اتجاه جريان المائع الداخل إلى الفاصل، و هذا ما سيساعد في تفكيك السوائل المعلقة بالغاز نتيجة لاختلاف الطاقة الحركية، و عند نفس السرعة تزداد الطاقة الحركية للسوائل ذات الكثافة الأكبر فلا يتغير اتجاه جريانها كما في الغاز، و بالتالي: يدور الغاز حول جهاز التشتيت Diverter، بينما يصطدم السائل بجهاز التشتيت و من ثم يتساقط للأسفل إلى قاع الفاصل، و يتعلق تصميم جهاز التشتيت و نوعه بقدرة الجهاز على تحمل تأثير القوة الدافعة للسائل الداخل، و خصوصاً قدرة القاعدة الحاملة لجهاز التشتيت على تحمل الصدمات الميكانيكية الناجمة عن صد التيار الداخل إلى الفاصل.

أما الفائدة من استخدام أجهزة الصد المخروطية و نصف الكروية فلأنها تقلل من اضطراب السائل بعد الاصطدام أكثر مما هو عليه عند استخدام الصفائح العادية والمائلة.

كذلك قد يتم تجهيز مدخل الفاصل بِـ Cyclone ، للاستفادة من قوة الطرد المركزي في فصل الغاز، و من الممكن أن يزود هذا النوع بأسطوانة داخلية لفصل الغاز – كما في الشكل- أو يمكن أن يعتمد على السرعة المماسية لمختلف الموائع حول جدار هذه الأسطوانة.

تستطيع هذه التجهيزات التعامل مع نفس القناة الأصلية لدخول الموائع الموجودة الفاصل عادة، و تكون سرعة السائل الناتجة بحدود (20 ft/sec; 6.096 m/s) حول الأسطوانة الداخلية، و التي يجب ألا يزيد قطرها عن ثلثي (2/3) قطر الفاصل.



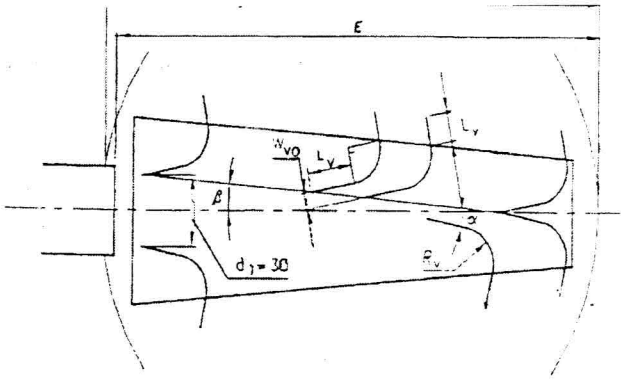
الشكل (6-1) نماذج لتجهيزات قسم دخول المائع إلى الفاصل

أما تجهيز مدخل الفاصل بـِ Schoepentoeter فقد انفردت به شركة Shell و يشبه بالشكل جهاز تحديد اتجاه الريح، و يعمل على مواجهة مزيج الغاز السائل الداخل إلى المستوعب، ثم يقوم بامتصاص الطاقة الحركية الداخلة الأولية عند مدخل الفاصل، ثم يعمل على فصل الغاز و رفعه للأعلى و إسقاط قطرات السائل، و يعتمد هذا الجهاز في عملة على تخفيض كل من سرعة و ضغط السائل الداخل إلى الفاصل.

و يظهر في الشكل (6-2) مقطعاً عرضياً للجهاز تظهر فيه بعض الصفائح المزود بها الجهاز.

و يعتبر استخدام هذا النوع من تجهيزات مدخل الفواصل محدوداً بسبب القياسات الهندسية الدقيقة المطلوب توفرها، و التي يمكن توضيحها بما يلي:

- عدد الصفائح المطلوب توفره على كل جانب.
- زاوية ميلان هذه الصفائح الداخلية، و التي يجب أن تتراوح بين ($^{\circ}$ 8-0).
- طول الجزء المستقيم من هذه الصفائح الداخلية L_v، و الذي يجب أن يكون (75,100,150 or 200 mm)، و يتعلق L_v بتثبيت الصفائح.
- نصف قطر هذه الصفائح R_v، و الذي يجب أن يكون (50 or, 100 mm).



الشكل (2-6) تجهيز فواصل الغاز بـ Schoepentoeter

مع الأخذ بالاعتبار الرموز التالية:

a: زاوية الصفيحة، التي يصنعها الجزء المستقيم من الصفيحة مع محور جهاز التشتيت.

b: الزاوية بين الجزء المائل من الصفيحة مع المحور.

D: القطر الداخلي للفاصل mm.

d1: القطر الداخلي لفتحة دخول المائع للفاصل mm.

E: الفراغ المتوفر mm.

Lv: طول الجزء المستقيم من الصفيحة (75,100,150 or 200 mm).

Nv: عدد الصفائح على كل جانب.

Rv: نصف قطر الصفيحة (100 mm or 50).

t: سماكة معدن الصفائح (5 mm or 3).

Wvo: عرض مدخل الصفيحة mm.

6-2 التجهيزات الداخلية للفواصل (Intermediate Configaration):

يمكن اعتبار التجهيزات التالية من أهم التجهيزات التي يمكن أن تزود بها الفواصل ، و هي:

- Wave Breaker
- Coalescing Plates
- Straightrning vanes
- Weir
- Horizontal baffles
- Defoaming Plates

6-2-1 صفائح منع تموج السائل (Wave Breakers):

في المستوعبات الكبيرة تستخدم تجهيزات منع الأمواج (Wave Breakers) من أجل منع نمو الموجات في المستوعبات و الناتجة عن السوائل المندفعة الداخلة إلى المستوعب.

و تتكون تجهيزات كسر الأمواج من صفائح عمودية على اتجاه الجريان تتوضع على مستوى السائل.

و على مستوى الجزء العائم حيث من الممكن أن تتشكل الأمواج الداخلية عن طريق القاعدة، كما يمكن أن تكون أجهزة كسر الأمواج موازية لاتجاه التدفق.

و لا بد من التخلص من الأمواج ضمن الفاصل من أجل تمكين عمل أجهزة التحكم بمستوى السائل و صفائح فصل النفط (Weir) بالشكل الأفضل.

Stilling Wells 2-2-6

حتى عندما لا تكون هناك حاجة لتجهيزات كسر الأمواج فلا بد من وجود و تركيب تجهيزات تهدئة التيار السائل في الفاصل (Stilling Well) حول أجهزة مراقبة مستوى السائل في الفاصل و أجهزة التحكم في الفواصل.

و هو عبارة عن أنبو ب حماية للتجهيزات العائمة في الفاصل من التيار و التموجات، و التي يمكن أن تولد إشارة خاطئة عن مستوى السائل.

3-2-6 صفائح الدمج (المزج Coalescing Plates)

من الممكن أن توجد أنواع متعددة من الصفائح أو الأنابيب التي يمكن أن تساعد في دمج قطرات النفط المتساقطة في الماء أو قطرات الماء المبعثرة ضمن النفط، و من الموصى به استخدام هذه الصفائح فقط في الفواصل ثلاثية الطور لزيادة فعاليتها أو عندما تكون أحجام الفواصل كافية لاستيعاب هذا النوع من النجهيزات.

4-2-6 صفائح التشتيت الأفقية (Horizontal Baffles)

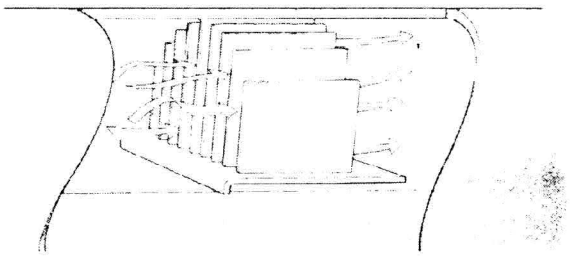
و تستخدم في الفواصل ضخمة الحجم لمنع تشكل الأمواج في الطور السائل.

Wier 5-2-6

في التجهيزات الخاصة بمحطات النفط و الغاز حيث يكون من المطلوب التحكم بمستوى معين للسائل و الحفاظ عليه ضمن حدود معينة فإنه من الممكن استخدام واحد أو اثنين من هذه التجهيزات (wiers) في فاصل واحد، الأول للحفاظ على مستوى النفط في الفاصل و الثاني من أجل مستوى الماء.

6-2-6 صفائح (Straightening Vanes):

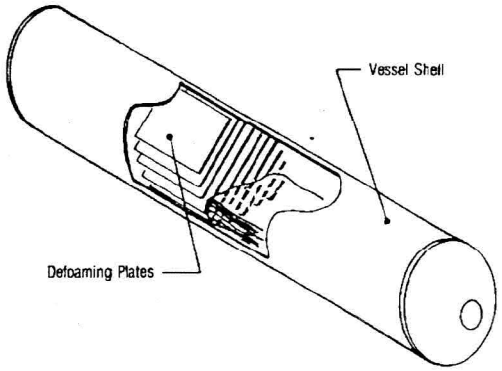
تم ذكرها من أجل جعل حركة تيار الغاز أكثرانسيابية و منعه من الاضطراب، كذلك تساعد هذه الصفائح في فصل قطرات السائل عن الغاز عند احتمال تشكل الهيدرات أو ترسب الشموع حيث تفقد أجهزة نزع الرذاذ الاعتيادية فعاليتها.



الشكل (6-3) Straitening Plates

6-2-7 صفائح مانعة لتشكل الرغوة (Defoaming Plates):

تتشكل الرغوة على السطح الفاصل بين الغاز و السائل، و من الممكن أن يتم التخلص منها من خلال إضافة المواد الكيماوية عند مدخل الفاصل، إلا أن تمرير المزيج السائل الغازي من خلال سلسلة من الصفائح المتوازية و المائلة يساعد على دمج فقاعات الغاز و بفعالية أكبر بكثير من استخدام المواد الكيماوية.



الشكل (6-4) صفائح منع تشكل الرغوة Defoaming Plates

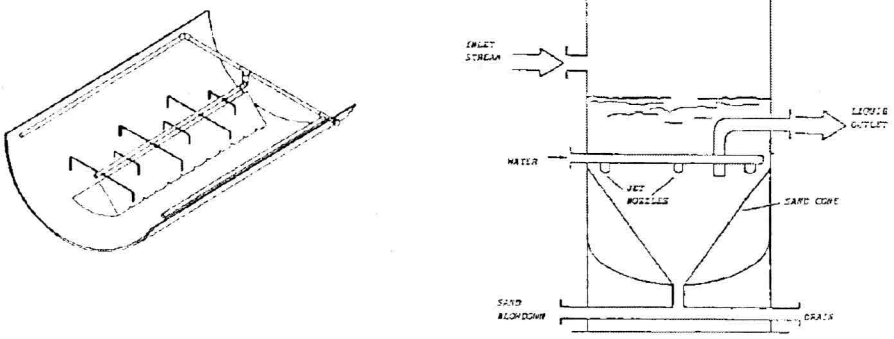
6-2-8 التجهيزات الخاصة بتصريف الرمال (Sand jets and Drains):

في الفواصل ثلاثية الطور يولى الاهتمام للرمال و الأجزاء الصلبة المتجمعة في أسفل الفاصل و التي تتراكم على حساب حجم الفاصل، و غالباً ما تتراكم هذه الرمال و المواد الصلبة معاً مشكلة كتلة صلبة متماسكة مع الزمن.

و غالباً ما يتم التخلص من هذه الرمال من خلال ضخ سائل التنظيف بضغط عالٍ، وغالباً ما يكون الماء هو المستخدم، و عبر تيار نفثي سريع يخرج عبر فتحات التخلص من الرمال (Sand Jets).

و تصمم فتحات ضخ التيار السائل (Sand Jets) لإخراج تيار بسرعة (20 ft/sec) و باتجاه مائل و بالتالي يقوم بتغطية كامل المساحة السفلية للفاصل.

و لمنع الرمال المترسبة من إعاقة التيار السائل و تكتله في الفاصل يتم تجهيز الفواصل بما يشبه أوعية (Pans , Troughs) لتغطية المخرج، و التي تكون عبارة عن أحواض بجوانب مفتوحة، كما في الشكل.



الشكل (6-5) التجهيزات الخاصة بغسيل و نزع الرمال من الفواصل

6-3 تجهيزات الخاصة بخروج الموائع من الفاصل (Outlet Configuration).

تتشابه التجهيزات الميكانيكية المستخدمة في الفواصل الأفقية و العمودية و الخاصة بخروج المائع من الفاصل، و هي تتكون عادة مما يلي:

6-3-1 ألواح التخلص من الرذاذ أو جهاز نزع الرذاذ (Mist Pad or Extractors):

تتوضع هذه التجهيزات قبل مخرج الغاز في الفواصل ، وتعمل على تجميع الرذاذ (القطيرات الناعمة جداً من السائل) التي لا يمكن فصلها بالاعتماد على القوة الجاذبية.

و تصمم هذه الشبكة المعدنية لتكون قادرة على نزع حتى (99.5%) من السائل الموجود في الطور الغازي، و تتوضع بشكل مناسب في مكانها و بثبات بحيث لا تطوى أو تمزق، و غالباً ما تكون شبكة الأسلاك هذه بسماكة (10-20cm).

و يعتبر هذا النوع من أجهزة نزع الرذاذ أكثر كفاءة من النموذج المكون من صفائح (Vane Type) و يؤمن عملية نزع أكبر لقطرات السائل في واحدة الحجم.

و يظهر الشكل (6-6) نموذجين لأجهزة نزع الرذاذ، الأول مكون من شبكة من الأسلاك، و الذي يعمل على تجمع و اتحاد قطيرات السائل ، و تعتمد كفاءة نزع الرذاذ فيه على سرعة دخول الغاز، فعندما تكون سرعة الغاز قليلة جداً سيدخل التيار الغازي محملاً بالرذاذ و يعبر شبكة الأسلاك دون أن ينزع أو يجمع قطيرات السائل، و بالعكس فعند سرعة عالية للغاز ستصطدم قطيرات السائل و تحتجز ثم تندمج مع بعضها بينما يدور الغاز حول أو يعبر بسرعة الشبكة.

أما جهاز نزع الرذاذ الآخر والمكون من مجموعة الصفائح فيعتمد في عمله على إجبار الغاز المحمل بالرذاذ على العبور بشكل خطي ضمن صفائح متوازية تعمل على تغيير اتجاه التيار المتدفق عدة مرات.

و بالتالي تتجمع و تندمج القطيرات الناعمة من السائل معاً على السطح الداخلي للصفائح ثم تتساقط إلى مكان تجميع السائل في الفاصل.

تصمم هذا النوع من أجهزة نزع الرذاذ بحيث يكون جريان التيار المتدفق خطياً، و للحصول على هبوط معين في الضغط.

كذلك تحتوي بعض فواصل الغاز على أجهزة نزع رذاذ دورانية تعتمد على نزع قطيرات السائل من خلال القوة الطاردة المركزية، و هذا النوع أكثر فعالية من النوعين الآخرين، و هو النوع الأقل عرضة للانسداد، لكنها ليست من الأنواع الشائعة، بسبب حساسيتها لأي تغير بسيط في الجريان، كذلك فهي تحتاج لهبوط كبير في الضغط من أجل تأمين قوة الطرد المركزي اللازمة لنزع الرذاذ.

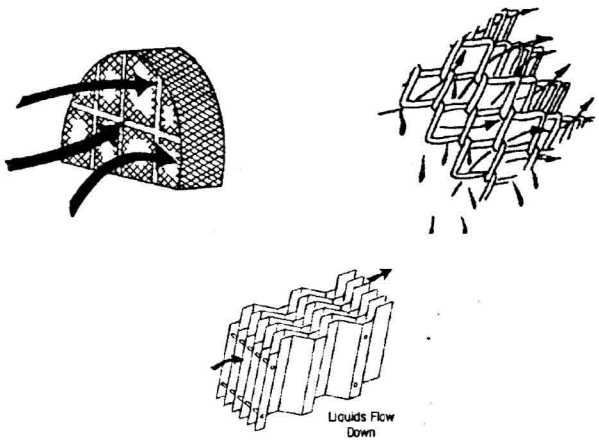
و يتعلق اختيار نوعية جهاز نزع الرذاذ بالتكاليف، و حيث أن جهاز نزع الرذاذ الاعتيادي (شبكة الأسلاك Wire Mesh) هو الأرخص إلا أنها الأكثر عرضة للانسداد عند احتواء الموائع الداخلة إلى الفاصل على البارفينات، أو هيدرات الغاز.

كذلك فهي معرضة للتلف أو تفكك الأسلاك أو تكسرها مع الزمن ، و هذا ما قد يؤثر سلباً و بشكل كبير على معدات و تجهيزات محطات الغاز كالضواغط (Compressors).

أما النموذج الصفائحي (Vane Type) هو الأغلى و لكنها الأقل عرضة للانسداد أو التلف من شبكة الأسلاك (Wire Mesh)، و بذلك لابد من الأخذ بالاعتبار كل من: خواص السائل و متطلبات نظام التشغيل و الكلفة ليتم اختيار النوع الأنسب من أجهزة نزع الرذاذ.

و لا يوجد قياس محدد لأجهزة نزع الرذاذ، و تختلف حسب المصنعين.

و لابد من التنويه أنه عندما يكون الفصل الجاذبي قادراً على نزع قطرات السائل ذات القطر الأقل من (500 micron) فإنه يكون من الممكن تركيب جهاز نزع الرذاذ (تتوفر المساحة الكافية له).



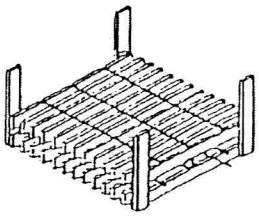
الشكل (6-6) أجهزة منع الرذاذ

6-3-2 أجهزة منع دوران تيار السائل الخارج من الفاصل (Vortex Breaker):

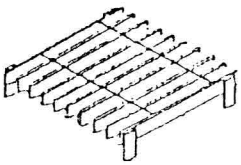
لا بد من تجهيز مخرج السائل بالتجهيزات المانعة لتشكل دوران (دوامة) في السائل، و لمن الغاز من الخروج مع السائل، كما هو موضح بالشكل (6-7).

وغالباً ما تكون عبارة عن صفائح متداخلة توضع قبل مكان خروج السائل مباشرة.

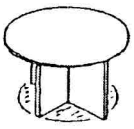
و يمكن اختيار النموذج الملائم منها تبعاً لنسبة الغاز إلى النفط (GOR: Gas Oil Ratio).



Gas Vortex Breaker



Liquid Vortex Breaker



Liquid Vortex Breaker

الشكل (6-7) تجهيزات مخرج السائل (موانع دوران السائل)

و يمكن توصيف الأماكن بحسب نسبة الغاز إلى النفط (GOR: Gas Oil Ratio):

- مناطق ذات نسبة منخفضة من الغاز إلى السائل (Low GOR):

التيار الخارج من الآبار النفطية، خزانات التجميع ، خصوصاً في تجهيزات التحلية و نزع الهيدرات و أبراج التقطير

- مناطق ذات نسبة عالية من الغاز إلى السائل (High GOR):

الآبار ذات الإنتاجية العالية من الغاز، فواصل نزع السائل من الغاز (Gas Scrubbers)، تجهيزات مداخل الضواغط (Compressor Scrubbers)، فواصل نزع السائل من الوقود (Fuel Gas Scrubbers).

محمد ود

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل السابع – الحسابات الأولية للمستوعبات (Vessel Sizing)

1-7 الحسابات الأولية للمستوعبات العامة :

على الرغم من وجود طرق متعددة لفصل السائل عن الغاز، إلا أن أكثر هذه التقنيات شيوعاً هي فصل السائل من خلال ارتطامه بشبكة من الأسلاك، و الاستخدام الواسع لهذه التقنية نتيجة الدرجة العالية من الفصل التي يتم الحصول عليها و بأقل انخفاض للضغط في هذه المستوعبات (أفقية أو عمودية).

1-1-7 اختيار المستوعبات (Selection of Vessel):

المسألة الرئيسية الواجب حلها في اختيار المستوعبات هو أولاً في اختيار نوع هذا المستوعب و تحديد فيما إذا كان أفقياً أم عمودياً، الأمر الذي يتبع مباشرة للعلاقة الحجمية بين الغاز و السائل، حيث تعتبر المستوعبات العمودية الأفضل لإزالة الرذاذ من الغاز عندما تكون كمية السائل قليلة الداخلة للفصل (أقل من 1 gpm) ، و من الممكن استخدام مثل هذه المستوعبات قبل الضواغط.

أما المستوعبات الأفقية فهي تستخدم عندما يكون معدل السائل المراد فصله أكبر من (1 gpm).

2-1-7 قياس البرميل (Sizing of Drum):

- الخطوة الأولى: يتم جساب الحجم الأعظمي لسرعة البخار (الغاز المحمل بالسائل) عبر شبكة الأسلاك و التي تمنع دخول الطور السائل، و يتم ذلك من خلال جداول، حيث يظهر من بيانات المستوعب أن (K=0.2) يعتبر كافياً.

- ملاحظة: تعتبر السرعة الصغرى الآمنة للتصميم (10% Uv)، أما السرعة العظمى فيجب أن تكون (75% Uv) من أجل اندفاع مناسب للغاز، و بالتالي يكون:

$$Uv_{max} = K.\ (\rho_L - \rho_g\ /\ \rho_g)^{1/2}$$

و حيث:

Uv_{max}: السرعة العظمى للغاز ft/sec

ρ_g ,ρ_L : كثافة الغاز و السائل على الترتيب lb/cu. Ft

K : عامل سرعة الغاز (البخار) ، و عادة يقدر بـ (0.35).

- حساب المساحة الصغرى لمقطع المستوعب، و ذلك من العلاقة:

$$Amin = Qv / Uv_{max}$$

و حيث Qv : معدل تيار المزيج الغازي النفطي الداخل cu.ft/ sec .

Amin: المساحة الصغرى لمقطع المستوعب sq-ft .

- حساب قطر المستوعب مع الأخذ بالاعتبار الحاجة لزيادة بمقدار 6 in ، و بالتالي يكون قطر المستوعب الأصغري $Dmin = (4. Amin / \pi)^{1/2}$

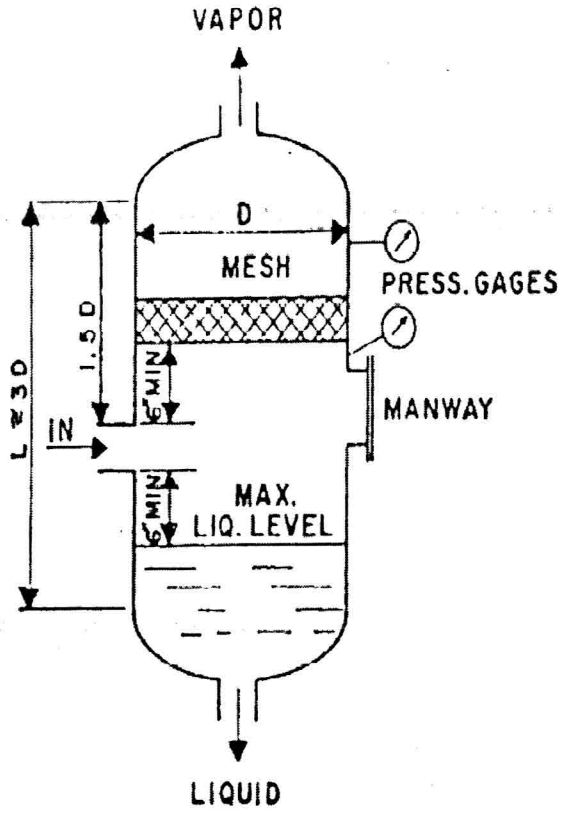
- و بالتالي يكون قطر المستوعب هو القطر الذي يلي (القطر الأصغري مضافاً إليه 6 in)

- طول المستوعب يحدد من العلاقة :

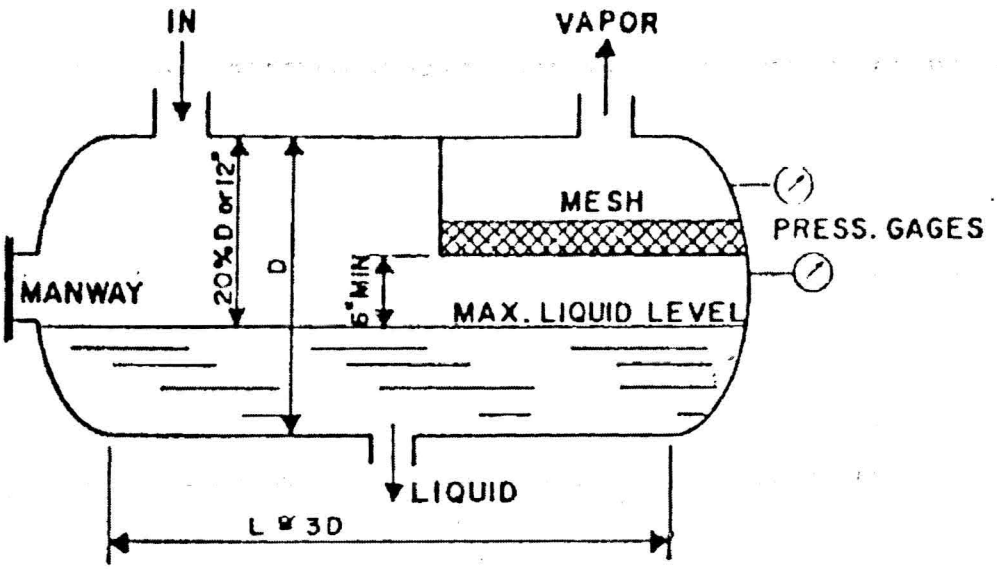
$$L \geq 3\ D \text{ or } L/D = 3$$

- يعتبر ارتفاع الفراغ الحجمي المسموح للبخار في الفواصل الأفقية مكافئاً لِـ (20%) من قطر الفاصل أو (12 in) و يتم دوماً اختيار الرقم الأكبر منهما، أما في الفواصل العمودية فيجب ألا يقل ارتفاع الفراغ الحجمي عن (1 1/2) مرة من قطر الفاصل.

و يوضح الشكلان (7-1) و (7-2) الأبعاد الهندسية التصميمية للفوال الأفقية و العمودية.



الشكل (7-1) الأبعاد الهندسية للفواصل العمودية



الشكل (7-2) الأبعاد الهندسية للفواصل الأفقية

الفصل الثامن – تشغيل الفواصل و التحكم بها

8-1 التحكم بعملية الفصل (Separation Control):

هناك نوعان أساسيان للتحكم بعمل الفواصل و هما: التحكم بضغط الفاصل، و التحكم بمستوى السائل في الفاصل.

8-1-1 التحكم بالضغط (Pressure Control):

يجب أن تتم المحافظة على قيمة الضغط في الفاصل عند قيمة ثابتة و بشكل مستقل عن معايير تشغيل المعدات المجاورة له. و هذا ما يستدعي تجهيز مخرج الغاز بصمام عدم رجوع، و بذلك لا يشكل تغير معدل الجريان الداخل إلى الفاصل أية مشكلة.

و بذلك، فالفواصل مصممة للتعامل مع الضغوط العالية، ومع هذا لا بد من وجود أجهزة إنذار عند ارتفاع الضغط عن بنسبة ما عن القيمة المتوقعة.

و يجب أن يكون الفاصل قادراً على تحمل الضغط لأعلى قيمة ممكنة للحصول على أفضل معايير تشغيلية.

الزيادة في الضغط تقلل من الحجم الحقيقي للغاز، و تقل بالتالي سرعة الغاز في الفاصل، لذا لا بد من تنظيم الضغط باستخدام صمامات تحكم بالضغط (Pressure Control Valve) والتي ستقوم بتنظيم جريان الغاز إلى خارج الفاصل. الشكل (8-1).

8-1-2 التحكم بمستوى السائل (Level Control):

8-1-2-1 **في الفواصل الأفقية** يكون لمستوى السائل في هذه الفواصل تأثيراً واضحاً و أساسياً على عملية الفصل، حيث يجب أن يكون هذا الفصل كافياً و بالتالي فالسائل المتوضع أسفل الفاصل يجب أن يكون قد استقر زمناً كافياً لتحرر فقاعات الغاز التي بقيت مبعثرة في السائل، و هذا ما يجعل مستوى السائل مرتبطاً تماماً بزمن الترقيد (residence time)، و بالتالي يجب أيضاً أن يتم ترقيد السائل لأكثر من الزمن اللازم للترقيد (residence time) ، و هذا لن يؤثر على السائل

الذي يتم خروجه خارج الفاصل، و لكن قد يؤدي لنقصان المساحة الخاصة بفصل الغاز، كما قد يؤدي أحياناً لخروج قسم من السائل من مخرج الغاز (carry-over).

8-1-2-2 **أما في الفواصل العمودية** فالتحكم بمستوى السائل لا يكون ذا تأثير على نوعية الغاز الخارجة من الفاصل لأن ارتفاع الفراغ الحجمي المخصص للغاز – عادة – يصل إلى عدة أمتار، و لا يشكل اختلاف مستوى السائل بعدة إنشات أية مشكلة (كما في الفواصل الأفقية).

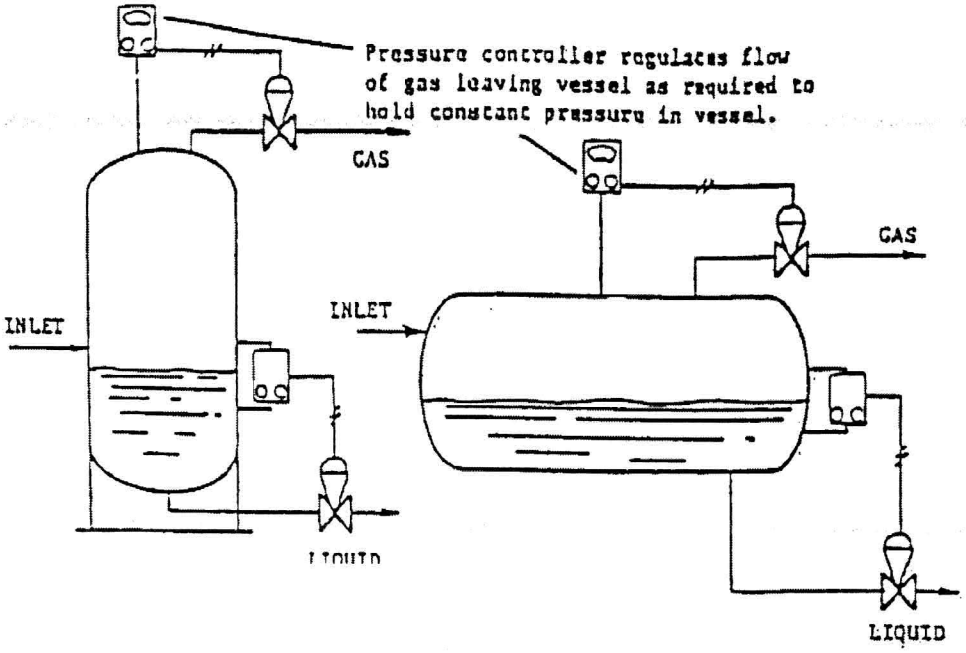
وللتوضيح عند استخدام فاصل أفقي بقطر (60 cm = 24 in)، و بفرض أن متطلبات التشغيل لهذا الفاصل أن يكون نصف حجمه ممتلئاً بالسائل، فإن الزيادة في مستوى السائل عن حد التشغيل التصميمي بمقدار (8 cm = 3 in) ستقلل من الحجم الفراغي للغاز بمقدار (30%)، أما تأثير ذلك على الفواصل العمودية يكون مهملاً.

إن النقطة التي يجب أن تتم معايرة أجهزة التحكم بمستوى السائل تتعلق بكمية الغاز و السائل الداخلين إلى الفاصل.

و يجب أن يوضع بالحساب أن الزيادة في معدل الغاز الداخل عن الحد التصميمي سيؤدي لتقليل كمية السائل، و هذا يقتضي تشغيل الفاصل بمستوى أقل للسائل لإتاحة فراغ أكبر للغاز في الفاصل، و بالعكس عندما يكون الحجم السائل الداخل إلى الفاصل أكبر لا بد عندها من تشغيل الفاصل عند مستوى أعلى للسائل للحصول على زمن ترقيد أكبر.

و قد يكون من الصعب تقدير ما إذا كان زمن ترقيد السائل كافياً لتحرر فقاعات الغاز، و عندما لا يكون الزمن كافياً سيتم ملاحظة ذلك في خزانات تجميع السائل – وخصوصاً التي تعمل عند الضغط الجوي- من خلال الغاز الذي يتم تفريغه من الخزانات.

و غالباً ما يتم توجيه الغاز المنفصل من الفواصل إلى تجهيزات أخرى من العمليات، و عند ملاحظة خروج بعض السائل من مخرج الغاز فلا بد عندها من تخفيض مستوى السائل في الفاصل لإنهاء هذه المشكلة، و التي ستؤثر سلباً أكثر بكثير من تأثير بقاء الغاز غير المنفصل في السائل، و لذلك يفضل إبقاء السائل في الفواصل الأفقية - عند مستوى منخفض و أقرب للحد السفلي من الفاصل .



الشكل (8-1) صمامات التحكم بالضغط و مستوى السائل في الفواصل العمودية و الأفقية

حيث تظهر صمامات التحكم بالضغط أعلى الفاصل للتحكم بضغط الغاز الخارج.

8-2-2 التحكم بمستوى السائل في الفواصل ثلاثية الطور:

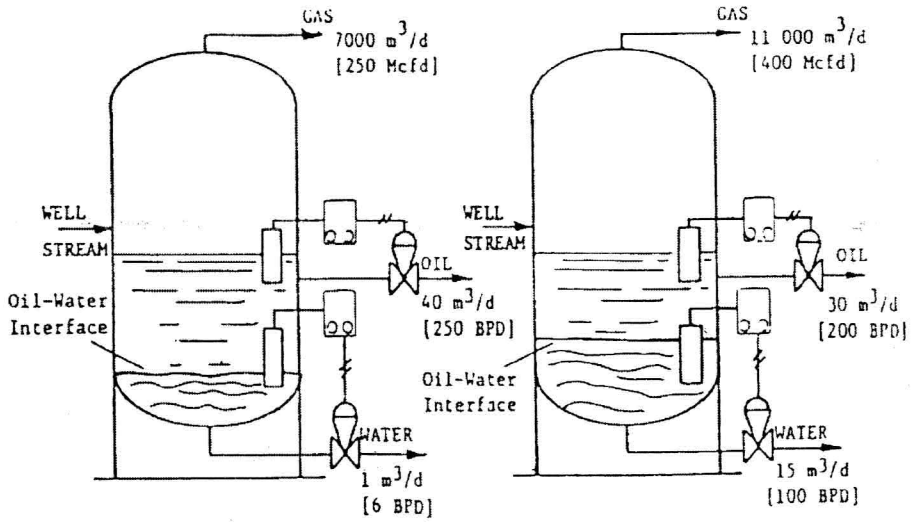
إن التحكم بمستوى السائل في الفواصل لا يعني عادة بالتحكم بمستوى الفصل بين النفط و الماء، لأن التحكم بمستوى الماء سيؤثر على زمن ترقيد السائل (Residence Time) لكل من النفط و الماء، كذلك فإن عمل هذه الفواصل يستمر باستمرار وجود الطور النفطي و السائل في الفواصل.

وللتوضيح: من الممكن أن يحتوي المائع الداخل إلى الفاصل على (7000 m3/d) من الغاز، وعلى (40m3/d) من النفط، و على (1m3/d) من الماء، أي (250 Mscf/d Gas; 250 BPD oil; 6 BPD water).

وبعد خمس سنوات من التشغيل من الممكن أن يتغير تركيب هذا النائع المنتج ليصبح (11000 m3/d) من الغاز، و (30 m3/d) من النفط، و (15 m3/d)، أي (400 Mscf/d Gas;

200 BPD oil; 100 BPD water). و بالتالي خلال المراحل الأولى من الإنتاج فالقسم المخصص لتجمع السائل في الفاصل سيكون أكثره نفط.

لذا ففي الحالة الأولى يكون تشغيل مستوى الماء يكون بالقرب من أخفض نقطة تحكم، و بعد خمس سنوات لا بد أن يكون التحكم بمستوى الماء عند نقطة أعلى للمحافظة على زمن ترقيد مناسب للفصل.



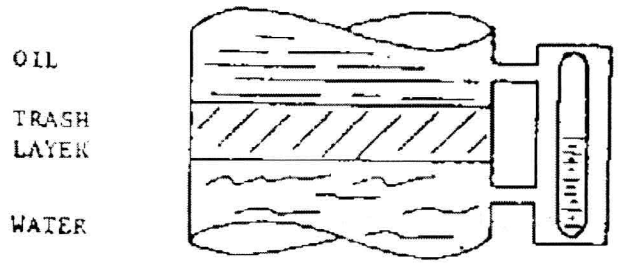
الشكل (8-2) تأثير تغير معدل الإنتاج مع الزمن على مستوى السائل

و يتم تحقيق التحكم بمستوى الماء في الفاصل من خلال أداة تحكم خاصة قادرة على الطفو في الماء بينما تبقى مغمورة دوماً في النفط، لذا فإن تصميمها يجب أن يعتمد على الاختلاف في كثافتي الماء و النفط، و بهذا لا يمكن استخدام نفس أداة التحكم بمستوى الماء للتحكم بمستوى النفط!

و تعتبر عملية تحديد سطح التقاء النفط بالماء صعبة، بسبب وجود بعض المواد المترسبة في الطور النفطي القادرة على الطفو في الماء في نفس الوقت، مثل (الترسبات القشرية scale، و بعض الرمال، و الترسبات النفطية الثقيلة بالنسبة للنفط)، و هذه المواد ستتجمع على سطح التقاء النفط بالماء، و قد تؤدي هذه المواد لتشكيل المستحلبات أو أحياناً الرغوة .

و بالتالي قد لا يكون مستوى الفصل بين الماء و النفط واضحاً تماماً أو دقيقاً، بل سيحدث اضطراب عند هذا المستوى، و الإشارة الناتجة عن سطح الالتقاء ستعطي إشارة خاطئة لجهاز التحكم.

و ليس غريباً ألا يظهر أي اضطراب في مستوى السائل على مسطرة مستوى السائل الجانبية للفاصل (Gauge Glass)، كما يظهر في الشكل (8-3).



الشكل (8-3) عدم ظهور تأثير الاضطراب في مستوى سطح تماس الماء بالنفط على مسطرة القياس.

أما عند اتصال مسطرة القياس بالمستوى الملوث فمن الممكن عندها أن تمتلئ بالمواد الملوثة و عندها لن يظهر مستوى السائل أبداً في المسطرة، و هنا يكون لابد من إخراج كامل الطبقة الملوثة خارج الفاصل.

و للابتعاد عن مشكلة التحكم بمستوى السائل في حال تشكل المستحلبات فإن التحكم بمستوى كل من النفط و الماء يتم بشكل منفصل كما هو موضح بالشكل (8-4).

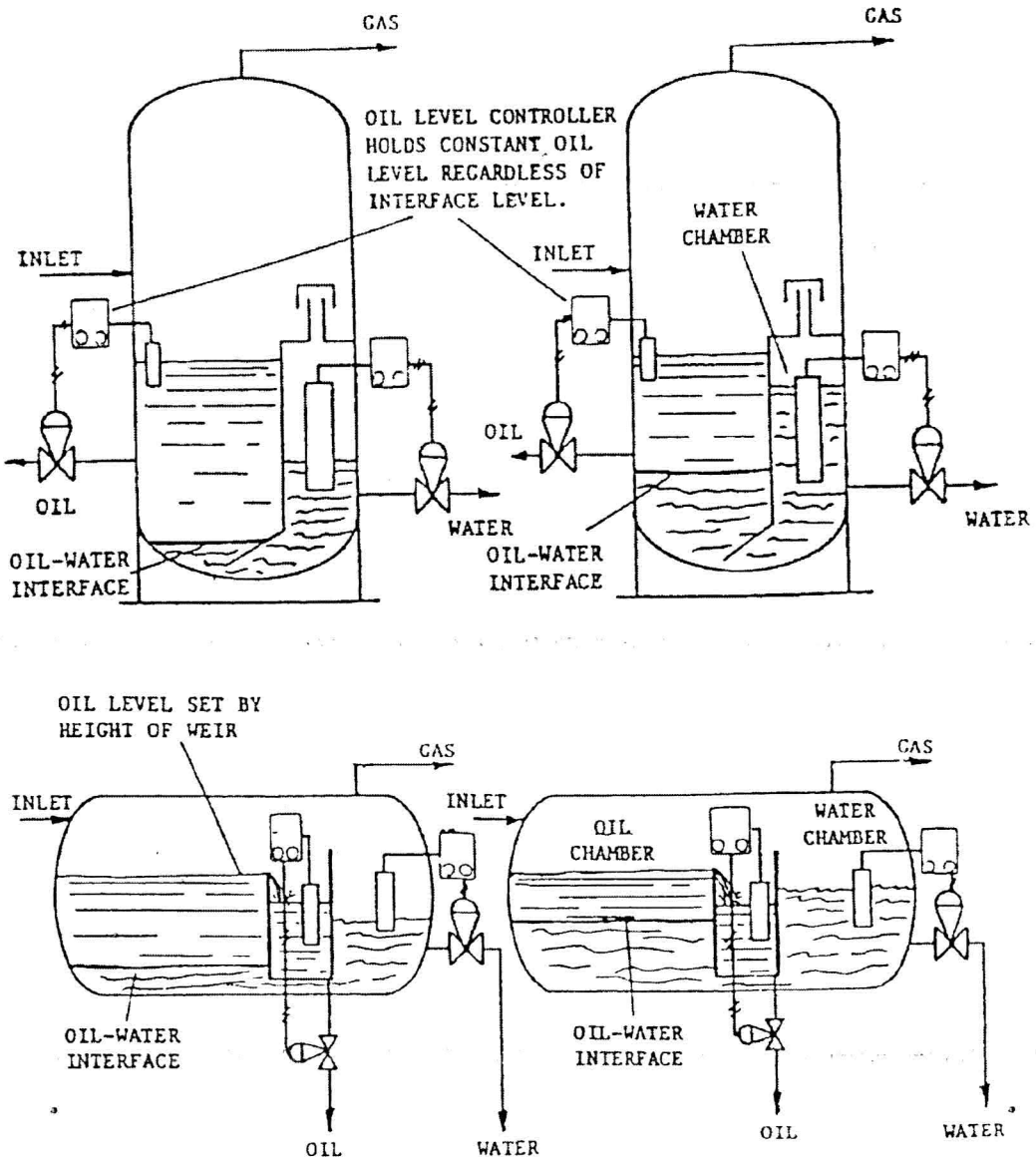
أما في الفواصل العمودية فمن الممكن أن يتم تغيير مستوى النفط عدة سنتيمترات (أو إنشات) من خلال إعادة ضبط جهاز التحكم بالمستوى، أما في الفواصل الأفقية فيتم ضبط مستوى النفط في حجرة تجميع النفط من خلال ارتفاع صفيحة (Weir) ، و يكون حجم النفط المتجمع قليلاً ، و لن يحصل أي تغير كبير في حجم حجرة النفط من خلال تغيير أداة التحكم بالمستوى.

وفي معظم الفواصل، يكون حجم السائل المتجمع الكلي ثابت تقريباً، و يعتمد حجم كل من الماء و النفط المتجمعين على موقع سطح تماس بين السائلين في الفاصل، كما يظهر في الشكل (8-4).

و يكون مستوى التماس بين الماء و النفط (و بالتالي مستوى أدوات التحكم) منخفضاً عند انخفاض مستوى و معدل الماء، و يرتفع بارتفاع و زيادة معدل الماء الداخل إلى الفاصل.

و يتأثر موضع سطح التماس في الفواصل بعاملين أساسيين:

- الاختلاف في الكثافة.
- مستوى الماء في حجرة نزع الماء.

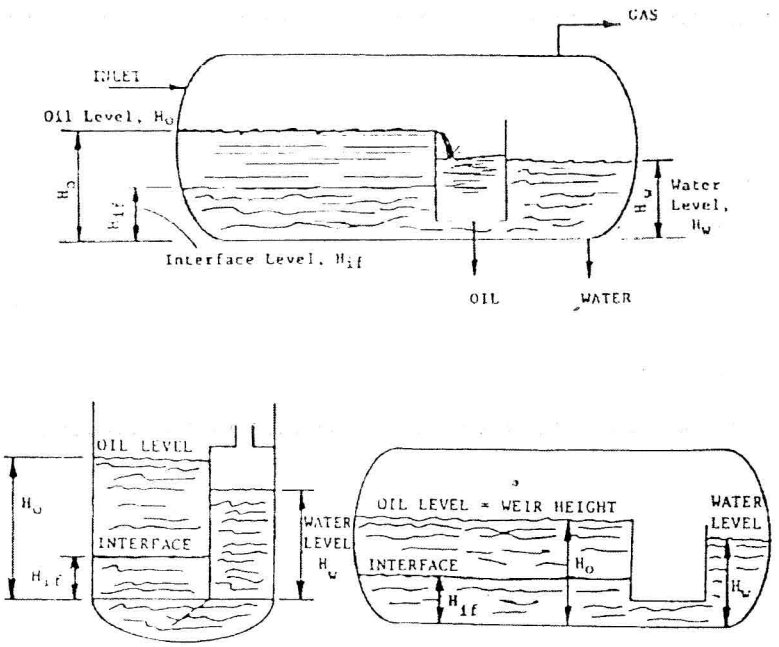


الشكل (8-4) التحكم بمستوى الماء في الفواصل العمودية و الأفقية

إن تأثير تغيير مستوى الماء في الفاصل على سطح التماس بين الماء و النفط على نفط ذي درجة كثافة 57 API يظهر في الشكل (8-5) ، حيث أن تغيير مستوى الماء بمقدار واحدة ارتفاع سيؤدي إلى تغيير في ارتفاع مستوى التقاء النفط بالماء أربع واحدات (أربعة أضعاف الارتفاع المتغير في المستوى)، و بالتالي فإن رفع مستوى الماء من (76 cm= 30 in) إلى (79 cm= 32 in) سيؤدي لزيادة حجم الماء المتجمع في قسم تجميع الماء في الفاصل (من 22%) و حتى (33%) أي أن الزيادة في حجم الماء ازدادت بمقدار النصف (50%)، و بالتالي سنحتاج لزمن لزيادة في زمن الترقيد بمقدار النصف (50%).

كذلك يوضح الشكل (8-5) تأثير التحكم بمستوى الماء على مستوى سطح التقاء النفط بالماء، و حيث يتم ضبط مستوى الماء في الفاصل للحصول على ارتفاع مناسب و مقبول لسطح التقاء النفط بالماء من خلال مخططات و جداول مرفقة.

في الفواصل الأفقية و العمودية يؤدي رفع مستوى الماء في الحجرة إلى زيادة في حجم الماء المنفصل و نقصان حجم النفط و زيادة في ارتفاع مستوى تماس الماء مع النفط، و في الفواصل العمودية فإن الزيادة في مستوى الماء بمقدار واحدة ارتفاع سيؤدي إلى زيادة في ارتفاع مستوى الماء مع النفط أربع إلى ستة واحدات، و يجب أن يكون مستوى الماء في الحجرة قليلاًعندما يكون معدل النفط المنتج عالية و نسبة الماء في الطور السائل قليلة، و بزيادة نسبة الماء يجب رفع مستوى الماء.



HEIGHT OF WATER LEVEL, H_W		HEIGHT OF INTERFACE, H_{if}		RELATIVES ETTING VOLUMES FOR 57° APL OIL	
cm	Inches	cm	Inches	OIL	WATER
67	27	0	0	100%	0%
71	28	10	4	96%	4%
74	29	20	8	88%	12%
76	30	30	12	78%	22%
79	31	41	16	67%	33%
81	32	51	20	55%	45%
84	33	61	24	42%	58%
86	34	71	28	28%	72%
89	35	81	32	14%	86%
91	36	91	36	0%	100%

الجدول 8-1 علاقة مستوى الماء بسطح تماس الماء بالنفط و النسب الحجمية للماء و النفط

للتوضيح: عندما يكون مستوى الماء في الفاصل (76cm; 30in) هذا يعني أن سطح التماس بين الماء و النفط عند (30 cm; 12in) فوق قاعدة الفاصل، و عندها تكون النسبة الحجمية للنفط (78%) من كامل حجم السائل، ونسبة الماء الحجمية (22%).

و من أجل الحصول على جدول مماثل لابد من معرفة كل من الوزن النوعي للنفط و ارتفاع النفط في الفاصل، و لا بد من توفر نفس البيانات للفواصل بأنواعها الأفقية و العمودية.

من أجل تحضير وحساب مثل هذه الجداول. لا بد من أمرين:

- تحديد مستوى الماء عندما يكون عندما يكون مقر تجميع السائل مليئاً بالنفط، و بالتالي فسطح تماس الماء مع النفط يكون عند قاع الفاصل، و هذا ما يمثل أخفض نقطة لمستوى الماء التي تمنع النفط من الدخول في مكان تصريف الماء، و تساوي إلى جداء ارتفاع النفط بالوزن النوعي له: (Ho X Oil Sp.Gr).

- و من معرفة المستوى الأصغري للماء يمكن عندها استخدام الجدول (8-2) المبين:

Metric Units			English Units		
Oil Gravity		Cm Change In Interface Level With Cm Chance In Water Level	Oil Gravity °		Inches Change Interface Level With Inches Chance In Water Level
API	Specific Gravity		API	Specific Gravity	
-	0.50	2	-	0.5	2
-	0.55	2.2	-	0.55	2.2
-	0.6	2.5	-	0.6	0.5
86	0.65	2.9	86	0.65	2.9
70	0.7	3.3	70	0.7	3.3
57	0.75	4	51	0.75	4
45	0.8	5	45	0.8	5
35	0.58	6.7	35	0.85	6.7
25	0.9	10	25	0.9	10

الجدول (8-2) تحديد المستوى الأصغري للماء، لتوقع مستوى الماء أثناء التشغيل

مثال: بفرض لدينا فاصل ثلاثي الطور، وبوجود مستوى للنفط (100 cm; 40 in)، و بفرض أن النفط الداخل ذا كثافة (45° API; 0.8 gr/cm3)، و المطلوب تحديد مستوى التقاء الماء بالتفط عند نسب مختلفة للماء في السائل الداخل في السائل الداخل لى الفاصل.

الحل:

يتم أولاً تحديد الارتفاع الأصغري لمستوى الماء

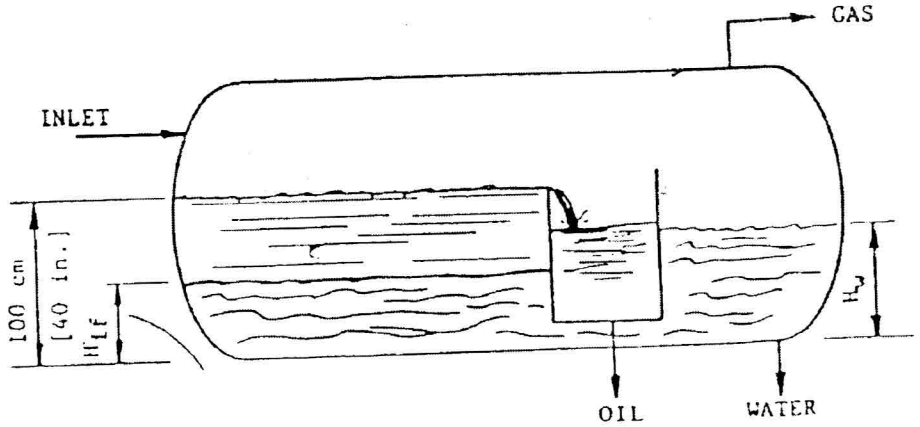
Min water level = Ho X Sp.Gr

= 100 X 0.8 = 80 cm = 32 in

فمستوى الماء في الحجرة يجب أن يكون أعلى من (80 cm= 32in)

- و بحسب الجدول السابق سيتغير سطح التماس بمقدار (خمسة أضعاف تغير مستوى الماء)، لذا يتم إنشاء الجدول من مستوى الماء (80 cm; 32 in) و التي يكون عندها سطح التماس عند الصفر.
- و بزيادة الارتفاع بمقدار واحدة ارتفاع يزيد ارتفاع سطح التماس خمس واحدات، و منه نحصل على الجدول التالي:

Metric Units		English Units	
Water Level	Interface Level	Water Level	Interface Level
Cm	Cm	Inches	Inches
80	0	32	0
82	10	33	5
84	20	34	10
86	30	35	15
88	40	36	20
90	50	37	25
92	60	38	30
94	70	39	35
96	80	40	40
98	90		
100	100		



و بالتالي عندما يصبح مستوى الماء عند (100 cm; 40 in) يكون السائل كله ماء، و لا يوجد أي مكان لتجميع النفط في الفاصل، و عندما يتجاوز مستوى الماء (100 cm; 40 in) سيتدفق عندها الماء في مكان تجمع النفط في الفاصل الأفقي.

محذوف

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل التاسع – نزع الهيدرات من نظام الإنتاج (System Dehydration)

تحتوي جميع الغازات الطبيعية المنتجة من الآبار حتى بعد خروجها من الفواصل على نسب متفاوتة و ضئيلة من المياه، و يشكل بخار الماء أحد الملوثات الأكثر شيوعاً للغاز الطبيعي غير المعالج.

و يكمن السبب الرئيسي للتخلص من بخار الماء الموجود في الغاز الطبيعي بسبب الأثر الكبير لبخار الماء المرافق للغاز بظروف (الحرارة المنخفضة و الضغط العالي) على عمليات نقل الغاز الطبيعي ضمن خطوط نقل الغاز كما يلي:

1- إمكانية تشكيل الماء السائل مع الغاز مما قد يؤدي بالنتيجة لانسداد خطوط نقل الغاز و إلحاق الضرر بمعدات ضغط الغاز.

2- يشكل الغاز الطبيعي عند احتوائه على غازي CO_2 , H_2S مادة حامضية تعتبر من الأوساط التي تؤدي إلى التآكل الشديد بوجود الماء.

3- يؤدي وجود الماء في خطوط نقل الغاز إلى حدوث تآكل ميكانيكي ناتج عن عدم انتظام المائع المتدفق مما قد يؤدي بالضرورة إلى تناقص فعالية أنابيب نقل الغاز (Gas Lines).

4- يقلل وجود الماء من القدرة على تسخين الغاز الطبيعي المضغوط.

و من أجل ذلك تصمم أنظمة نزع المياه (Dehydration System) لتحقيق فصل أكثر فعالية لبخار الماء عن الغاز الطبيعي و ذلك قبل أن يتم ضغطه في خطوط الغاز.

9-1 المحتوى المائي في الغاز الطبيعي المنتج:

يزداد انحلال الماء في الغاز الطبيعي بزيادة درجة الحرارة و نقصان الضغط، كما يقلل وجود الأملاح في الماء المحتوى المائي في الغاز.

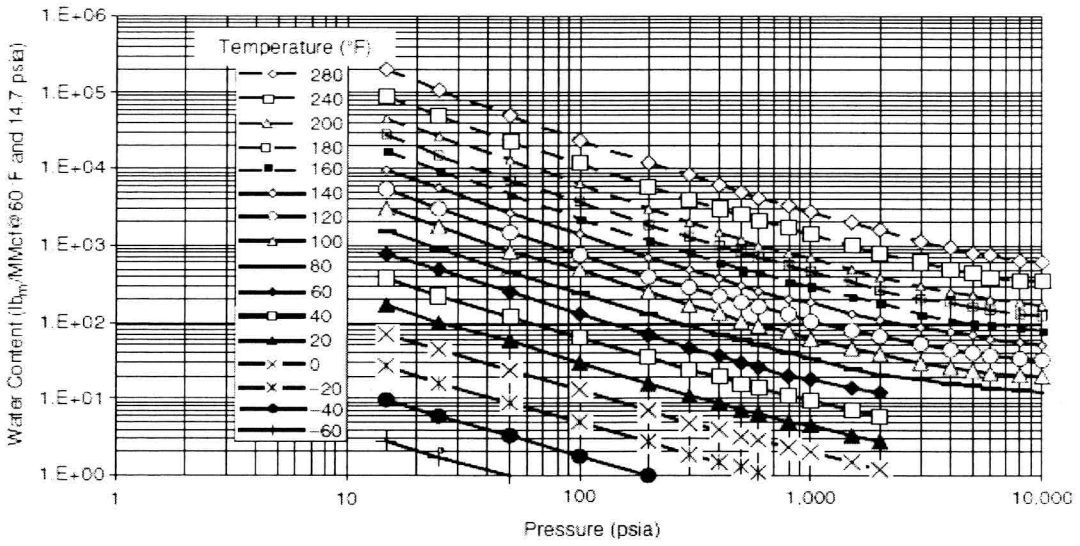
يقدر عادة المحتوى المائي في الغاز غير المعالج بحدود مئات من الليبرات في مليون قدم مكعب من الغاز(lb_m/ MMscf)، بينما تكون متطلبات و مواصفات الغاز من أجل عمليات نقل الغاز بمحتوى من الماء لا يتجاوز (6-8 lb_m/ MMscf)، و أقل من ذلك في أنابيب نقل الغاز البحرية.

و يحدد المحتوى المائي في الغاز الطبيعي - بشكل غير مباشر – بنقطة الندى (Dew Point)، و التي عندها يكون الغاز الطبيعي مشبعاً ببخار الماء عند ضغط معين، و عند نقطة الندى يكون الغاز الطبيعي (Natural Gas) بحالة توازن مع الماء السائل، و عند أية زيادة في الضغط أو نقصان في درجة الحرارة سيؤدي ذلك إلى تكثف في بخار الماء.

و إن الإختلاف في درجة حرارة (نقطة الندى) لتيار الغاز المشبع بالماء، و نفس التيار بعد إزالة الماءات (الهدرات) تدعى بانخفاض نقطة الندى (Dew Point Depression).

من الضروري أن يتم التحديد الدقيق لحد إشباع الغاز الطبيعي ببخار الماء من أجل التصميم الدقيق لمعدات و تجهيزات وحدات المعالجة، و هناك عدد من الطرق المتاحة و العلاقات التي تحدد ذلك، مثل تصحيحات McCarthy et al (1950)، و McKetta and Wehe (1958).

كذلك يمكن قانون دالتون من تحديد محتوى الغاز الطبيعي من بخار الماء عند الضغط الجوي (تقريباً)، و يظهر في الشكل (9-1) المخطط الذي أعده كل من McKetta and Wehe (1958) لتقدير محتوى الغاز الطبيعي من الماء .



الشكل (9-1) مخطط (McKetta and Wehe) لتقدير محتوى الغاز الطبيعي من الماء

مثال: من أجل تقدير محتوى الغاز الطبيعي من بخار الماء عند ضغط (3000 psia) و حرارة (150° F)، يبين الشكل أن المحتوى المائي سيكون:

$C_{w\ 140F}$= 84 lb_m/MMscf ، $C_{w\ 160F}$= 130 lb_m/MMscf، و بالتالي:

$C_{w\ 150F}$= 107 lb_m/MMscf.

9-2 طرق إزالة الهدرات:

يتم تقسيم طرق إزالة الهدرات في الصناعة النفطية إلى أربعة مجموعات أساسية وهي: التبريد المباشر و الضغط المتبوع بالتبريد و الادمصاص و الامتصاص.

و عملية نزع الهدرات في الطريقتين الأولى و الثانية لا تمكنان من الحصول على المحتوى القليل من بخار الماء في الغاز الطبيعي، بل يبقى محتوى بخار الماء في الغاز أكبر من الحد المقبول لضغط الغاز في أنابيب نقل الغاز، لذا يعتمد على كل من الادمصاص و الامتصاص في نزع الهدرات في الصناعة النفطية.

9-2-1 نزع الهدرات باستخدام التبريد (Dehydration by Cooling):

تقل قدرة الغاز الطبيعي على احتواء بخار الماء مع انخفاض الحرارة و ذلك عند ضغط ثابت، وخلال عملية التبريد يتحول بخار الماء الموجود في الطور البخاري إلى سائل، ثم تتم إزالته من النظام، حيث يخرج الغاز من خلال هذه العملية عند درجة حرارة أقل من التي دخل بها، و يبقى الغاز الذي نزع منه الهدرات عند نقطة الندى مالم ترتفع درجة حرارته أو يخفض ضغطه.

و تكون عملية إزالة الهدرات بالتبريد ناجحة و اقتصادية عندما يكون الغاز ذا درجة حرارة عالية جداً، كما يمكن استخدام إزالة الهدرات بالتبريد مع طريقة أخرى و ليس وحدها.

9-2-2 نزع الهدرات باستخدام الضغط (Dehydration by Compressing):

يمكن أن يستخدم ضغط الغاز – جزئياً – من أجل التخلص من الهدرات، و ذلك لانخفاض المحتوى المائي في الغاز مع ازدياد الضغط، كما أن بعض الماء قد يتكثف و يزال باستخدام التبريد عند مخرج الضواغط. حيث تستخدم في محطات ضغط الغاز الحديثة عمليات تبريد ميكانيكية لتبريد

الغاز الداخل إلى الضواغط، و بشكل مرافق لحقن إيتيلين الغلايكول (Ethylene Glycol) في قسم تبريد الغاز مما يؤدي لنزع الهدرات ، ثم يتم استرجاع السائل الهيدروكربوني بشكل مشابه لعمل الفواصل عند درجة حرارة منخفضة.

9-2-3 نزع الهدرات باستخدام الادمصاص (الامتزاز) (Dehydration by Adsorption)

يعرف الامتزاز (الادمصاص Adsorption) بقدرة المادة الصلبة على الاحتفاظ بالغازات أو القطرات السائلة على سطحها، و في إزالة الهدرات من خلال الادمصاص يتم تركيز و احتجاز بخار الماء الموجود في الغاز على سطح المادة المجففة الصلبة، و تعتبر السيليكات من أشهر المواد الصلبة المستخدمة في هذا المجال، ثم الألمنيوم و نوع آخر من السيليكات يعرف باسم (Molecular sieves).

وتستطيع المجففات الصلبة – عملياً – أن تزيل كل الماء الموجود في الغاز الطبيعي لما تتمتع به من قدرة عالية على التجفيف، لذا فهي تستخدم عندما يراد إزالة الهدرات بفعالية عظمى.

و يوضح الشكل (9-2) وحدة تجفيف نموذجية لإزالة الهدرات باستخدام مجففات صلبة، حيث يمرر الغاز الرطب الداخل على فلاتر من أجل التخلص من المواد الصلبة و السائل الملوثين للغاز ، ثم بعد الفلتر يتجه الغاز إلى أعمدة التجفيف، ثم عبر سطح امتزاز يحتوي على المادة الصلبة المجففة، و يؤدي توجيه الغاز للأسفل إلى تقليل اضطراب السطح الناتج عن سرعة الغاز العالية من خلال عملية الادمصاص، و في الوقت الذي يكون المجفف الأول يقوم بالتبريد، يكون المجفف الثاني قد تم تنشيطه من خلال تيار الغاز الساخن الداخل من جهاز تسخين الغازات (Gas Heater).

و من الممكن أن يتم استخدام النار مباشرة أو النفط الساخن أو البخار أو أي مصدر حراري غير مباشر للحصول على الحرارة المطلوبة.

ثم يمرر هذا الغاز الذي تم إعادة تنشيطه إلى الأعلى عبر سطح الامتزاز للتأكد من إعادة التنشيط بالكامل لأسفل السطح و التي تعتبر آخر منطقة لتجفيف الغاز.

يتم بعدها تبريد السطح الساخن من خلال إعاقة جريان الغاز أو تمريره من مجرى جانبي متجاوزاً جهاز التسخين.

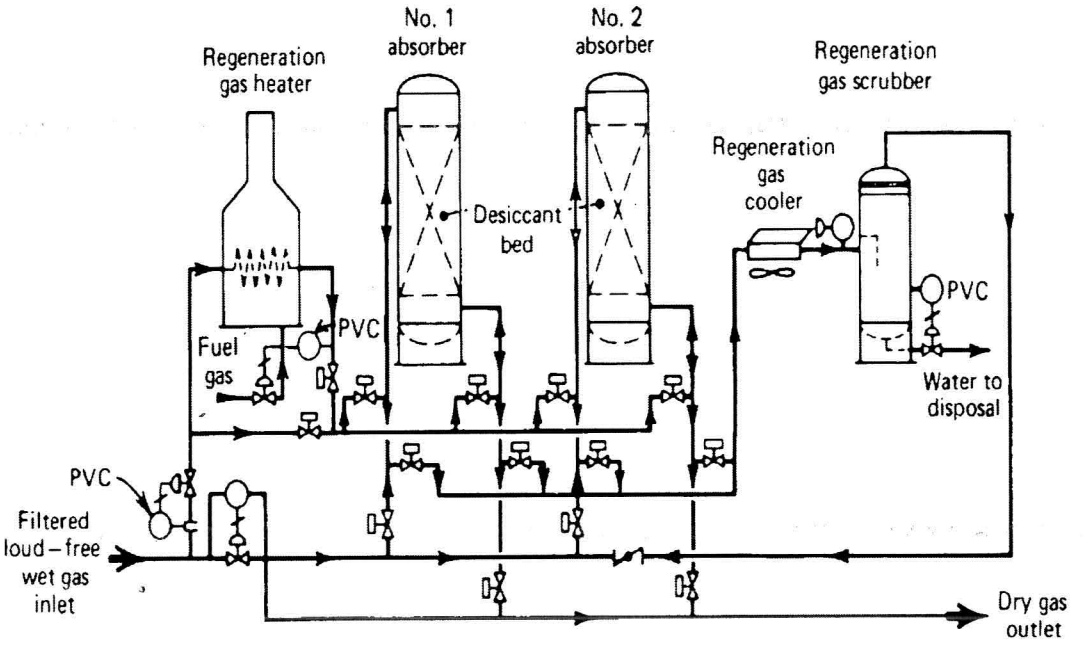
يمر بعدها الغاز البارد للأسفل عبر السطح فيتم ادمصاصه من قبل المادة الصلبة المجففة و لن يبقى في الغاز خلال مرحلة التجفيف.

أما الغاز المتبقي و المسخن الذي تم تنشيطه و الغاز المبرد فيمرران عبر الغاز المبرد من أجل تكثيف الماء المنفصل.

و من خلال صمام تحكم زمني يتم تنشيط المواد الصلبة المجففة للغاز خلال مراحل نزع الهدرات و إعادة توليد الغاز و التبريد.

و خلال عمليات التشغيل (التجفيف الطبيعية) فإن عمر المادة المجففة المستخدمة يتراوح بين سنة و أربع سنوات، و تقل فعالية المجففات الصلبة مع الزمن بسبب نقصان قدرة السطح على الامتزاز مع الزمن.

و من الممكن ظهور إخفاق (فشل) غير طبيعي و سريع للمادة المجففة و يمكن أن ينتج ذلك عن انسداد المسامات الصغيرة و القنوات الشعرية بالنفط و المركبات الأمينية و الغلايكول و موانع التآكل و مواد أخرى و التي لا يمكن إزالتها خلال عملية التدوير، كذلك فمن الممكن أن يؤدي كبريت الهيدروجين إلى تأذي المادة المجففة و يقلل فعاليتها.



الشكل (9-2) مخطط وحدة إزالة الهيدرات باستخدام الامتزاز بالمجففات الصلبة

و يمكن أن نلخص **محاسن** استخدام المجففات الصلبة بما يلي:

1. نقطة الندى منخفضة، و بشكل رئيسي للغاز الجاف حيث من الممكن إنتاج غاز بمحتوى مائي بنسبة تقل عن (1 lb/ MMcf).
2. قادر بشكل أكبر على تحمل التغيرات المفاجئة في ضغط الغاز الداخل، و خصوصاً عند الإقلاع.
3. من الممكن الإقلاع بعد أي توقف عن العمل.
4. من الممكن التكيف لاسترجاع السوائل الهيدروكربونية مع القيام بعملية نزع الهدرات.

أما **مشاكل التشغيل** المحتملة عند استخدام المجففات الصلبة فهي تتضمن:

1- تلف المجففات الصلبة مع الزمن و مع الاستخدام و بالتالي الحاجة لاستبدالها.

2- لا بد من تبريد و إعادة تنشيط أبراج نزع الهدرات من أجل التشغيل قبل أن يتم استهلاك المجففات الصلبة في البرج الآخر.

3- إن الزمن الأعظمي المسموح من أجل نزع الهدرات يتناقص بالتدريج بسبب تناقص قدرة المادة المجففة على الامتزاز مع الاستخدام.

و على الرغم من أن المواد المجففة الصلبة باتت أكثر تكيفاً للتغيرات في الأحمال و معدل تدفق التيار الغاز المتدفق، إلا أنه لابد من تجنب الاندفاع المفاجئ للضغط لأنه قد يفسد المادة الصلبة المجففة و يؤدي إلى تشققها مؤدياً إلى جريان أنبوبي للغاز و بالتالي إلى عدم فعالية في عملية نزع الهدرات.

و عند تشغيل وحدة نزع الهدرات إلى أعلى من الاستطاعة التصميمية لنزع الهدرات فيمكن لفقدان الضغط بقيم كبيرة أن يؤدي إلى تشكل دقائق ناتجة عن الاحتكاك، و التناقص الكبير في الضغط قد يؤدي إلى عدم كفاءة في نزع الهدرات.

كذلك يجب أن يتم استبدال المواد المجففة وفق جدول زمني متوافق مع عملية نزع الهدرات، كما أن تنفيذ أعمال الصيانة أمر ضروري، كما أن هناك العديد من الأعمال الضرورية الواجب إنجازها تتعلق بإعادة ضغط الغاز باتجاه عكسي عند إعادة تجديد الأبراج.

3-2-9 نزع الهدرات عن طريق الامتصاص (Dehydration by Absorbing):

يتم نزع بخار الماء من الغاز في هذه الطريقة من خلال الاتصال الرئيسي مع سائل ماص للرطوبة، و يتم هذا الاتصال عادة من خلال حزم أو صواني ضمن أبراج مخصصة، و تعتبر مادة الغلايكول (Glycol) من أكثر المواد السائلة المستخدمة لنزع الهدرات، و الأكثر اقتصادياً و الأفضل من استخدام المجففات الصلبة و خصوصاً عند احتمال الاقتراب من نقطة الندى أثناء نزع الهدرات.

و أهم مركبات الغلايكول المستخدمة في نزع الهدرات من الغاز الطبيعي: إيتيلين الغلايكول ((glycol (EG))، و ثاني إيتيلين الغلايكول ((ethylenediethylene glycol (DEG))، و ثالث إيتيلين الغلايكول ((triethylene glycol(TEG))، و رابع إيتيلين الغلايكول ((tetraethylene glycol (T4EG)).

و غالباً ما يتم استخدام نوع واحد صاف من مركبات الغلايكول في وحدة نزع الهدرات، و لكن في بعض الأحيان يكون المزيج أكثر اقتصادياً، و يعتبر ثالث إيتيلين الغلايكول الأشهر عالمياً و الأكثر اقتصادياً لأنه يحقق القيمة الأدنى لنقطة الندى و الأقل كلفة في التشغيل وللكفاءة الكبيرة له في نزع الهدرات.

و قد جرى استخدام ثالث إيتيلين الغلايكول بنجاح كبير لنزع الهدرات من الغاز الطبيعي الحلو و الحامضي (الذي يحتوي على غازات CO2, H2S) و ضمن حدود عمل واسعة، حيث من الممكن تخفيض نقطة الندى من (40-140 $^{\circ}$ F) عند ضغط غاز (25-2500 psig).

إن التخفيض الذي تم تحقيقه لنقطة الندى يعتمد على نقطة الندى التي تتبع تركيز ثالث إيتيلين الغلايكول و حرارة التماس.

و من الممكن أن تتسبب زيادة لزوجة الغلايكول بمشاكل عند انخفاض الحرارة، لذا كان لا بد من تسخين الغاز الطبيعي أثناء عملية نزع الهدرات.

كما أن الغاز ذا درجة الحرارة العالية جداً غير مرغوب به و لابد من تبريده قبل نزع الهدرات حتى حد معين كي لا يتم تبخير ثالث إيتيلين الغلايكول.

كذلك، لا بد من تنظيف الغاز الداخل من الماء و الهيدروكربونات و الشموع و الرمال و مخلفات عمليات الحفر التي يمكن بمجموعها أن تتسبب في تشكل الرغوة و غمر الوحدة بالسائل و خسارة في مادة الغلايكول و كذلك نقصان فعالية نزع الهدرات عدا عن الحاجة لإجراء أعمال صيانة إضافية لوحدة نزع الغلايكول و المادة المجففة.

كما أنه من الممكن أن يتم حقن الميتانول عند رؤوس الآبار كمادة مانعة لتشكل الهدرات، إلا أنه لا يمكن استخدامها عند وجود معالجة لاحقة في المحطات بالغلايكول بسبب الأضرار الناتجة عنها، و من هذه الأضرار الحاجة المتزايدة إلى متطلبات التسخين لنظام تجديد الغلايكول، كذلك وجود كتل من الميتانول السائل قد تتسبب في غمر المادة المجففة.

و يتم تفريغ بخار الميتانول و بخار الماء إلى الغلاف الجوي من نظام التنشيط في الحالات الخطرة، كما يمكن أن تتم استعادة تنشيط أو تفريغ و التخلص من التراكيز غير الخطرة من نظام العمل.

9-2-3-1 توصيف نظام نزع الهدرات باستخدام الغلايكول (Glycol Dehydration System):

يظهر في الشكل (9-3) عملية نزع الهدرات من خلال نظام نموذجي لنزع الهدرات باستخدام الغلايكول، و ذلك كما يلي:

1- يدخل الغاز المراد نزع الهدرات منه أولاً إلى فاصل غاز خاص بنزع السائل من الغاز (Gas Scrubber)، و غالباً ما يمرر هذا الغاز على فاصلين على التسلسل.

2- يتم بعدها إجبار الغاز الرطب على الدخول أسفل مستوعب الغلايكول مع السماح للغاز للصعود من خلال صواني، بينما يجبر الغلايكول للنزول أسفل البرج، و هنا يحدث تماس الغلايكول مع الغاز على كل صينية و يقوم عندها الغلايكول بامتصاص بخار الماء من الغاز.

3- يجري بعدها الغاز للأسفل عبر مبرد عمودي للغلايكول (و الذي يكون مشابهاً لأنابيب تبادل حراري متحدة المركز)، و يساعد الغاز الخارج الجاف في تبريد الغلايكول المتجدد المنشط قبل دخوله عمود نزع الهيدرات، و يغادر بعدها الغاز الجاف وحدة التجفيف من أسفل مبرد الغلايكول.

4- يدخل الغلايكول الجاف أعلى برج نزع الهيدرات قادماً من مبرد الغلايكول و يضخ باتجاه الصينية الأعلى، و يعبر الغلايكول عبر كل الصواني باتجاه الأسفل من خلال أنابيب شاقولية إلى الصينية الأدنى. اما الأنبوبة السفلى فتكون مغلقة لاستيعاب السائل القادم من الصواني السابقة، و توجيهه إلى مخرج عمود نزع الهدرات.

5- أما الغلايكول الرطب الذي امتص كل بخار الماء من الغاز فيقوم بمغادرة عمود نزع الهدرات من الأسفل عابراً خلال فلتر ذي ضغط عالٍ مخصص لتصفية الغلايكول، و الذي يقوم بإزالة كل المواد الصلبة غير المرغوب بها و الممكن أن تكون قد تجمعت من تيار الغاز، و دخلت بالقرب من مخرج مضخة الغلايكول .

6- و في مضخة الغلايكول، يتم ضخ نوعي الغلايكول (الغلايكول الرطب ذو الضغط العالي و الغلايكول الجاف الذي تم تنشيطه)، أما الغلايكول الرطب فيتدفق باتجاه فاصل (Flash Separator) الذي سيخلصه من الغاز الذي أذيب فيه.

7- أما الغاز المنفصل من فاصل الغاز المباشر (Flash Separator) فيغادر أعلى الفاصل إلى مستوعب للغاز أو يمكن أن يستخدم كوقود غاز من أجل المراجل الحرارية، و أي كمية زائدة من الغاز يتم التخلص منها من خلال صمام عدم رجوع (Back Pressure Valve)، و يجهز فاصل الغاز المباشر (Flash Separator) بمعدات تحكم بالمستوى و صمام تحكم (Diaphragm Motor Valve) الذي يؤدي لطرد الغلايكول الرطب عبر وشيعة تسخين في خزان تجميع للتسخين الأولي لتيار الغلايكول الرطب.

8- يغادر تيار الغلايكول وحدة المبادل الحراري في الخزان و يدخل وحدة التقطير أعلى المرجل عند نقطة تغذية وحدة التصفية (التقطير). و تغلف وحدة التقطير بالسيراميك و يجري الغلايكول نازلاً عبر عمود التصفية و يدخل المرجل، أثناء نزول الغلايكول الرطب عبر وحدة التقطير يتصل بالغلايكول المسخن الصاعد عبر العمود، و هنا يتحرر بخار الماء في المرجل و يتخلص من الغلايكول في برج نزع البخار ثم يصعد للأعلى من خلال عبر مكثف يعمل عند الضغط الجوي، يغادر بعدها بخار الماء عمود التصفية إلى الغلاف الجوي.

9- يتدفق الغلايكول عبر المرجل في مجرى رئيسي أفقي من عمود التصفية و حتى النهاية المقابلة، مما يؤدي إلى تسخين الغلايكول حتى (350-400° F) من أجل التخلص من بخار الماء لتحقيق النسبة المطلوبة (99.5%) أو أعلى. و من الممكن أن يتم تجهيز المراجل في وحدات الغلايكول في الحقول بوحدة تسخين حرارية (تسخين بالنار مباشرة) (Direct-Fired) من خلال استخدام جزء من الغاز الطبيعي المنتج كوقود للتسخين.

10- يغادر بعدها الغلايكول المركز المرجل عبر أنبوب علوي بجانب المبادل الحراري و الخزان، و في الخزان يتم تبريد الغلايكول الساخن المركز من خلال التبادل الحراري مع تيار الغلايكول الرطب الذي يعبر عبر الأنابيب الملتفة. كذلك يعمل الخزان على تجميع السائل من أجل تغذية مضخة الغلايكول، حيث يعبر الغلايكول المركز من الخزان عبر مصفاة ثم إلى مضخة الغلايكول، ثم من المضخة إلى جانب مبرد الغلايكول الموجود على مكان تماس الغلايكول بالغاز.

محاسن استخدام الغلايكول في نزع الهدرات:

- تكاليف المعدات و التجهيزات و الغلايكول تعتبر قليلة و استخدامها اقتصادي تماماً.
- انخفاض الضغط عبر أبراج الامتصاص قليل.
- تركيب المعدات و توصيلها سهل، ومن الممكن أن تجهز مسبقاً.
- لا توجد أية مشكلة في إعادة ضخ غلايكول إضافي عند الحاجة.
- استخدام وحدة الغلايكول ناجح في بعض الظروف التي فشل فيها استخدام المجففات الصلبة.

المشاكل المحتملة عند استخدام الغلايكول في نزع الهدرات:

- من الممكن أن يتلوث الغلايكول بوجود الأوساخ و الرواسب الكبريتية و أكاسيد الحديد.
- من الممكن أن يؤدي التسخين الزائد إلى يتفكك الغلايكول السائل إلى مركبين.

- من الممكن أن يؤدي وجود الرواسب إلى تجمع الحرارة على سطحها مما قد يؤدي لتناقص فعالية فصل بخار الماء.

- عند وجود الأوكسجين مع كبريت الهدروجين فمن المحتمل عندها حدوث مشاكل التآكل.

- لا بد من تركيب فاصل فعال عند مدخل وحدة الغلايكول للتخلص من احتمال وجود الماء و الهيدروكربونات الخفيفة لزيادة فعالية نزع الهدرات، كذلك يؤدي دخول الماء الغني بالشوارد المعدنية مع الغاز الداخل سيزيد من الفترة اللازمة لنزع الهدرات و كذلك تبلور الأملاح و ترسبها في المراجل.

- قد تؤدي الرغوة إلى خروج قسم من السائل مع الغاز، لذا يعتبر استخدام موانع الرغوة و بكميات قليلة ضرورياً للتخلص من هذه المشكلة.

- تكون لزوجة مركبات الغلايكول عالية عند درجات الحرارة المنخفضة، و بالتالي صعوبة ضخها، و قد تتسبب في التصلب الكامل عند الانخفاض الكبير في الحرارة، لذا ينصح في الجو البارد بتدوير قسم من الغلايكول المسخن في وخدة العمل، و لمنع تجمده في وحدات التبريد.

- عند البدء بالعمل لابد من امتلاء جميع الصواني و قبل أن يحدث تماس الغاز مع الغلايكول، و تكون المشكلة هنا في عدم ضخ و تأمين الكميات الكافية من الغلايكول أو عند تسرب الغلايكول من الفتحات في الصواني حال ضخه.

- لا بد من تجنب الاندفاع في الجريان عند ظروف الإقلاع (التشغيل و التوقف عن العمل، و إلا فقد يؤدي ذلك إلى خسارة كبيرة في الغلايكول.

ملاحظة هامة: تتشابه كثيراً دارة نزع الغازات الحامضية $H2S$, $CO2$ مع دارة نزع الهيدرات باستخدام الغلايكول و يكمن الفرق الرئيسي في المادة المستخدمة لنزع الغازات الحامضية و هي المحاليل الأمينية (أحادي و ثنائي و ثلاثي إيتانول الأمين)، مع الحاجة إلى توجيه الغازات الحامضية الناتجة عن الفصل إلى دارات معالجة خاصة.

الشكل (9-3) مخطط نموذجي لعملية نزع الهدرات باستخدام الغلايكول