

### العلاقة بين اللزوجة ونقطة الانصباب [POUR Point and Viscosity Relationship]

تعرف نقطة الانصباب بأنها أدنى درجة حرارة يمكن عندها للسائل أن يتذبذب عند الشروط الموصوفة. وهي إحدى المؤشرات التقريرية، ولكن بالمقابل يعتبر إحدى أهم المؤشرات عند تصميم وتشغيل خطوط أنابيب النقل.

وبشكل عام، وبشكل مشابه للنفوط الخام يكون لسوائل المركبات الهيدروكربونية السائلة نقاط انصباب مرتفعة، وكما هو الحال بالنسبة لللزوجة تعتمد نقاط الانصباب إلى حد كبير على التركيب الكيميائي للمزائج المعقدة مثل النفوط الخام وبعض منتجات التقطر. تتأثر درجة حرارة نقطة الانصباب لتلك المزائج على ترسب بعض المكونات مثل البرافين.

حيث يكون للنفوط الخام التي تحتوي على كميات معتبرة من البرافين أو الإسفلت [أي البيتومين أو النفوط الثقيلة] نقاط انصباب مرتفعة. وبالمقابل يكون للنفوط الخام الخفيفة والمتوسطة نقاط انصباب منخفضة.

تعتبر نقطة الانصباب واحدة من المؤشرات الخامسة عند تصميم وتشغيل خطوط أنابيب نقل النفط الثقيل أو النفط الحاوي على نسبة مرتفعة من الشموع. وذلك لأن ذلك يتطلب تصميم بعض المراقب الضرورية وخاصة في حال الخفاض درجة حرارة الوسط المنقول عبر خطوط الأنابيب تحت نقطة الانصباب.

يمكن تحديد نقطة انصباب النفط وفق البروتوكولات المنصوص عليها في [D-97 pour point test] يتطلب هذا البروتوكول تبريد عينة من السوائل الهيدروكربونية داخل حمام تبريد بغية تشكيل بلورات الشمع البرافيني. عند حوالي  $[9^{\circ}\text{C}]$  فوق نقطة الانصباب المتوقعة، وبعد ذلك ومن أجل كل  $[3^{\circ}\text{C}]$  يتم إخراج أنبوب الاختبار وتميله للتحقق من حركة السطح. ففي حال عدم جريان العينة عند تمثيل أنبوب الاختبار، يتم وضع أنبوب الاختبار بشكل أفقي والمحافظة على هذه الوضعية لمدة خمس ثوان. وفي حال عدم جريان العينة يتم إضافة  $[3^{\circ}\text{C}]$  إلى درجة الحرارة المقابلة والنتيجة هي درجة حرارة نقطة الانصباب.

ومن الملاحظ أنّ تأثير جريان عينة الاختبار عند نقطة الانصباب قد يكون أيضاً نتيجة لتأثير اللزوجة أو التاريخ الحراري السابق لعينة السائل الهيدروكربوني. وبالتالي فإنه يمكن لنقطة الانصباب أن تعطي وجهة نظر

مضللة عند التعامل مع خصائص النفط. لذلك وبناء على هذه الأسباب فإن نقطة الانصباد ليست سوى مؤشر تقريري لدرجة الحرارة التي لا يمكن للسائل عندها أن يتدفق.

يتم تحديد نقطة انصباد النفط الخام باستخدام [ASTM D5853-11]. طريقة تحديد نقطة الانصباد وفق هذا البروتوكول مصممة خصوصاً للنفوط الخام وتتوفر دليلاً عن أدنى درجة حرارة في إمكانية التعامل من أجل تطبيقات معينة. يمكن استخدام طريقة الاختبار لإكمال قياسات أخرى من سلوك جريان عينة الاختبار عند تبریدها. ومن المهم وبشكل خاص فحص تأثير الشموع على سلوك جريان النفوط الخام.

### أسباب تحديد نقطة الانصباد [Reasons for Pour Point Determination]

بمجرد انخفاض درجة حرارة السوائل الهيدروكربونية إلى مادون نقطة الانصباد المميزة لها، تبدأ هذه السوائل بإظهار سلوك غير نيوتوني وبالتالي فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار إمكانية تعديل عملية تصميم وتشغيل خطوط أنابيب النقل لتحقيق فعالية هذه العمليات والغاية المرجوة منها. لذلك فإن هناك العديد من الخيارات المتاحة لتصميم وتشغيل خطوط الأنابيب المخصصة لنقل السوائل الهيدروكربونية ذات نقاط الانصباد المرتفعة عند درجات حرارة أقل من نقطة الانصباد، ومن أكثر هذه الخيارات استخداماً وشيوعاً، يمكن أن نذكر:

- تسخين السائل الهيدروكربوني / أو تغليف خط الأنابيب للحفاظ على درجة حرارة الوسط المنقول فوق درجة حرارة نقطة الانصباد حتى وصوله إلى المكان المدف.
- حقن سوائل هيدروكربونية خفيفة [مثل كوندينسات الغاز الطبيعي] قابلة للامتزاج مع السوائل الهيدروكربونية الأثقل وبالتالي تخفيض قيمة كل من الزوجة الفعالة ونقطة الانصباد.

وتشمل الخيارات الأخرى ما يلي:

- رفع حزئي أو إزالة تلك المكونات التي تترسب أولاً الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض نقطة الانصباد.
- تشكيل مستحلبات من نوع نفط في الماء وهذا يؤدي بدوره إلى تخفيض الزوجة ونقطة الانصباد.
- ضخ الخامات النفطية غير النيوتونية على شكل خاتم مائي: حيث يتم ضخ النفط والماء في وقت واحد إلى الأنابيب بحيث يشكل الماء خاتماً مائياً على جدران الأنابيب الداخلية ويتم ذلك باستخدام أنابيب محلزنة من

## صفات الموائع النفطية

الداخل ومصممة لهذا النوع من الضخ وبحيث يدخل الماء إليها بشكل حلزوني ونتيجة فرق الكثافة بين الماء والنفط فإن السائل الأثقل [الماء] وبفعل قوى الطرد المركزي المتشكلة سوف يتوجه نحو الجدران بينما يبقى السائل الأخف وهو النفط ضمن الحلقة المائية.

• استخدام مخفضات التوتر السطحي أو محسنات الجريان [استخدام المضافات التي تعمل على تخفيض نقطة الانصباب].

• مخفضات الزوجة.

• النقل المعلق.

عموماً، وفي حال توفر وحدات ضخ بقوى ضخ كبيرة فإنه يمكن ضخ الخام الشمعي تحت انصبابه مع عدم وجود تغير مفاجئ في خصائص المائل عند نقطة الانصباب. ومع ذلك وفي حال توقف الضخ سوف تكون هناك حاجة إلى المزيد من الطاقة لإعادة إدخال خط الأنابيب مرة أخرى في العملية والمحافظة على التدفق. أما عند توقف التدفق سوف تبدأ بلورات الشمع بالتشكل مسببة بتحول الخام الشمعي إلى هلام في خط الأنابيب. وفي حال حدوث مثل هذا التبلور، يسلك الخام الشمعي كما لو كان له لزوجة فعالة أعلى بكثير [تذكروا بسلوك السائل غير النيوتوني] وبالتالي فإنه سوف يحتاج إلى قوة ضخ أعلى بكثير [أكبر بحوالي من خمس إلى عشرة مرات] مما كانت عليه عندما كانت درجة حرارة الخام فوق نقطة الانصباب.

بالنسبة لبعض المنتجات مثل وقود дизيل التي ماتزال تحتوي على بعض المكونات الشمعية قد يحدث التبلور عند انخفاض درجة الحرارة، ومع ذلك فإن مشاكل التبلور هذه هي من المشاكل شائعة الحدوث في خزانات التخزين وخزانات وقود السيارات والذي يبقى الوقود فيها ساكناً لفترات طويلة من الزمن، ولكن نادراً ما تحدث هذه المشكلة في خطوط الأنابيب التي يكون فيها الوسط المنقول دائماً بحالة حركة دائمة كما أن مروره من خلال المضخات عادة ما يضفي بعض الكميات من الحرارة. ومع ذلك تسبب ظاهرة الترسب أو التبلور في المنتجات المتدافئة في خطوط الأنابيب مشاكل تشغيلية كبيرة. لذلك فإنه من الضروري عند التصميم الصحيح لخط الأنابيب أن نأخذ بعين الاعتبار ضغوط بدء التشغيل لتأمين استمرارية تدفق الوسط المنقول خلال ظروف التبلور.

: [Vapor Pressure] 

## صفات الموائع النفطية

وهو إحدى الخصائص الفيزيائية الهامة للسوائل الهيدروكربونية الخاضعة للتقطير [Vaporization]. وهو الضغط الذي يحافظ على قيمة ثابتة فوق السائل عند التوازن عند درجة حرارة معينة. ويمكن تعريفه بأنه الضغط المطلق للبخار الذي يمارسه السائل عند درجة الحرارة  $[37.8^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{F}]$  والذي نقطة غليانه الأولية فوق  $[0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}]$ . وهو مقياس لقابلية تطاير السائل.

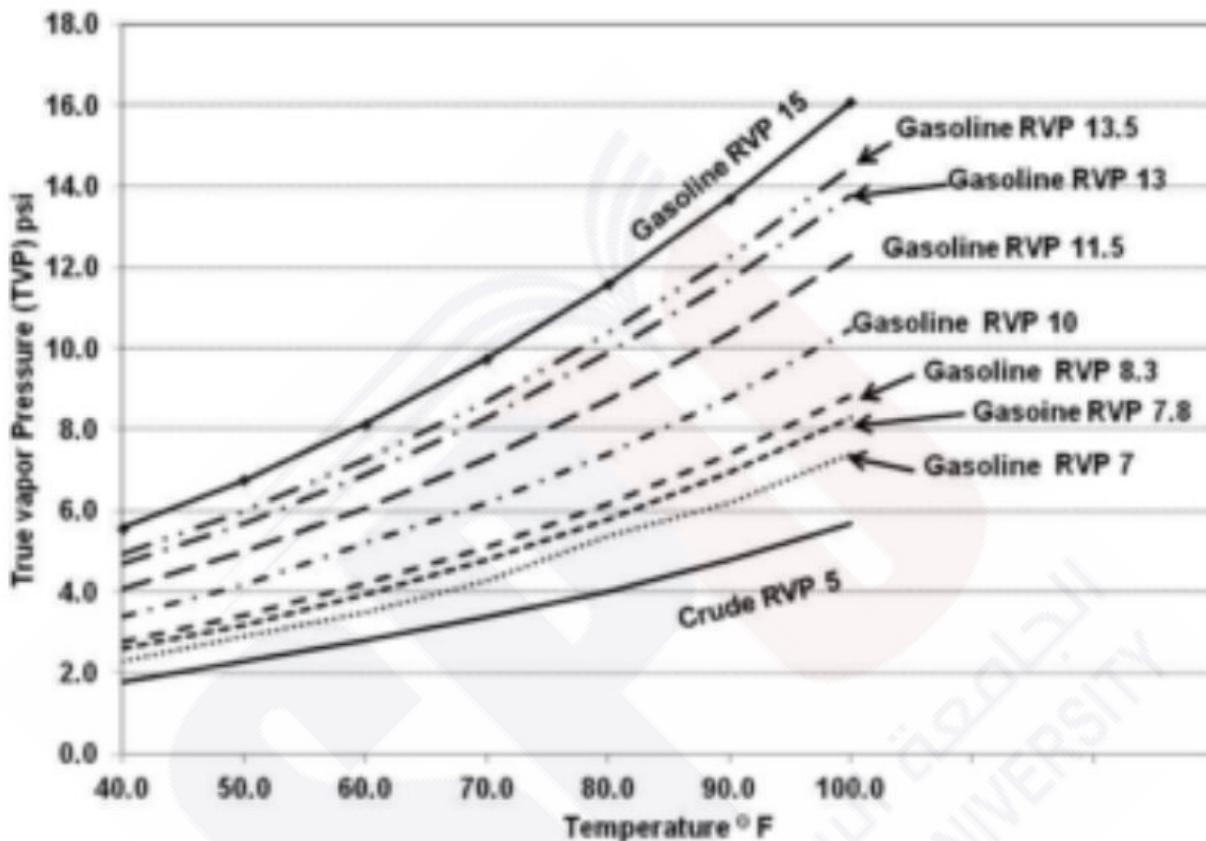
يعتبر الضغط البخاري أحد أهم المؤشرات التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم وتشغيل منظومة خطوط أنابيب نقل المنتجات البترولية وأنظمة تخزينها. وعلاوة على ذلك يعتبر ضغط بخار النفط الخام ذات أهمية بالنسبة للشركات المنتجة ولتصافي التكرير. عند عمليات التداول التجاري وعنده عمليات المعالجة الأولية. وبالمقابل تستخدم مصافي تكرير النفط مصطلح ضغط بخار ريد [Reid Vapor Pressure] موسمياً وبشكل خاص للمحافظة على موثوقية محرك البنزين [Gasoline Engine].

تطلب عملية نقل السوائل الهيدروكربونية عبر خطوط الأنابيب بأن يحافظ على ضغط التشغيل الأصغر على طول خط الأنابيب بحيث يبقى أكبر من الضغط البخاري للسوائل المقولة وذلك لتجنب شروط تشكيل الجريان الثنائي الطور. وعلاوة على ذلك فإنه في أنظمة وحدات ضخ السائل يجب الحفاظ على قيمة ضغط السحب بحيث تبقى دائماً أكبر من الضغط البخاري للسوائل المضخوطة وذلك لتجنب حدوث ظاهرة التكهف في المضخات. تحدث ظاهرة التكهف عند دخول المضخة وذلك عندما تتحفظ قيمة ضغط السحب الصافي المتوفر تحت قيمة ضغط السحب الصافي المطلوب  $(NPSH)_A$   $[(NPSH)_R]$  للمضخة.

ومن المهم الإشارة إلى أن الضغط البخاري للسوائل الهيدروكربونية يزداد بارتفاع درجة الحرارة. يوضح الجدول [2.2] والشكل [5.2] الضغط البخاري للسوائل الهيدروكربونية التي يتم نقلها عادة عبر خطوط الأنابيب والتي يتم تخزينها في خزانات التخزين.

Petroleum Liquid	Weight at $60^{\circ}\text{F}$ , MV (lb/lb-mole)	Density At $60^{\circ}\text{F}$ , (lb/gal)	True Vapor Pressure, PVA (psi)						
			$40^{\circ}\text{F}$	$50^{\circ}\text{F}$	$60^{\circ}\text{F}$	$70^{\circ}\text{F}$	$80^{\circ}\text{F}$	$90^{\circ}\text{F}$	$100^{\circ}\text{F}$
Distillate fuel oil No. 2	130	7.1	0.0031	0.0045	0.0065	0.009	0.012	0.016	0.022
Jet kerosene	130	7	0.0041	0.006	0.0085	0.011	0.017	0.021	0.029
Jet naphtha (JP-4)	80.0	6.4	0.8	1.0	1.3	1.6	1.1	2.4	2.7
Residual oil No. 6	190	7.9	0.00002	0.00003	0.00004	0.00006	0.00011	0.0001	0.00019

الجدول [2.2]، الضغط البخاري للسوائل الهيدروكربونية التي يتم نقلها عادة عبر خطوط الأنابيب والتي يتم تخزينها في خزانات التخزين.



الشكل [5.2] الضغط البخاري للسوائل الهيدروكربونية التي يتم نقلها عادة عبر خطوط الأنابيب والتي يتم تخزينها في خزانات التخزين.

### الضغط البخاري الحقيقي [True Vapor Pressure]

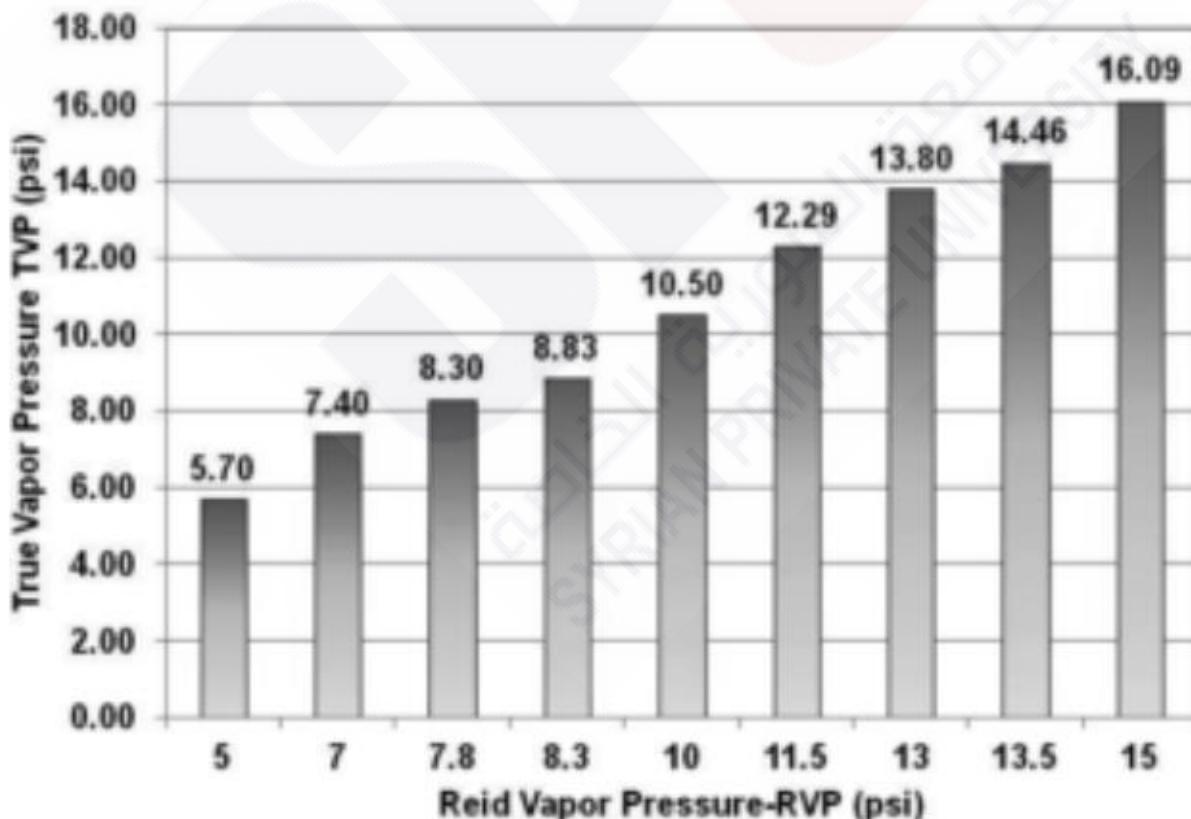
وهو مقياس شائع لقابلية تطاير الوقود البترولي الناتج عن عملية التقطر. ويمكن تعريفه كضغط التوازن الجزئي الذي تمارسه المادة العضوية المتطايرة كتابع لدرجة الحرارة والذي يمكن تحديده بموجب طريقة الاختبار الموصوفة بـ [ASTM D 2879]

تتعلق خسائر البخر في أنظمة تخزين السوائل الهيدروكربونية بالضغط البخاري الحقيقي [TVP] للسوائل الهيدروكربونية عند درجة حرارة التخزين أو عند درجة حرارة نقلها بخطوط الأنابيب. ويتم قياسه باختبار ضغط

## صفات الموائع النفطية

بخار ريد [RVP] المعروف في مواصفات الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد [ASTM D323-56]. إن إجراء اختبار [RVP] موصوف بالتفصيل في وثيقة [API] التالية [Sampling, And Testing Crude Oil] التي تظهر المنحنيات البيانية المتعلقة بـ [RVP] وخصائص الغليان [ASTM] للسوائل الهيدروكربونية [الغازولين والخامات النفطية] إلى [TVP]، وطرق تقدير [RVP] للخلائط، والعلاقة بين [RVP] وخصائص البحر. إن خطوات تعين [TVP] وأمثلة تطبيقها معطاة من قبل [Vasquez-Esparragoza et al].

يختلف ضغط بخار ريد [RVP] قليلاً عن ضغط البخار الحقيقي [TVP] للسائل وذلك نتيجة لتباخر جزء صغير من العينة بالإضافة إلى وجود الماء والهواء في الحيز المخصوص من معدات الاختبار، وعليه فإن [RVP] هو الضغط البخاري المطلق [Absolute Vapor Pressure] و[TVP] هو الضغط البخاري الجزئي [Partial]. والتحويل بين المقياسين مبين في الشكل [6.2].



الشكل [6.2]، المقارنة بين [TVP] و[RVP].

## صفات الموائع النفطية

في شروط التشغيل النظامية لخط الأنابيب من ضغط ودرجة حرارة تحافظ النفوظ الخام على طورها السائل في حين أن [NGL] و[LPG] يمكن أن تتبخر بسبب أنها تتمتع بضغط بخاري مرتفع. وبناء على ذلك يجب أن تعمل خطوط الأنابيب المخصصة لنقل مثل هذه المنتجات عند ضغوط أعلى بكثير من ضغتها البخاري لضمان التدفق أحادي الطور [Single-Phase flow] ولمنع انفصال السائل.

وبشكل عام، تتضمن معايير خطوط الأنابيب على العديد من الفصول التي تتعلق بتصميم أنظمة خطوط الأنابيب التي تقوم بنقل المنتجات ذات الضغط البخاري العالي. فعلى سبيل المثال يعرف المعيار [-CSA Z662-2011] أنظمة خطوط الأنابيب ذات الضغط البخاري العالي على أنها خطوط الأنابيب التي تقوم بنقل المركبات الهيدروكربونية أو أمزجة المركبات الهيدروكربونية التي تمتاز بضغط بخاري أكبر من [110 KPa absolute] عند درجة الحرارة [38°C] والمحدد باستخدام طريقة ريد [Reid Method]. تتضمن المنتجات ذات الضغط البخاري العالي [HVP products]: الإيثيلين والإيثان والبروبيلين والبروبان ونظامي وإيزو البوتان طالما أن التدفق في خط الأنابيب يتم عند قيمة ثابتة للإنتالبيا [Isenthalpic Process].

يتم استخدام مخططات ضغط-انتالبية [Pressure-Enthalpy Diagrams] بشكل نموذجي عند تصميم خطوط الأنابيب ذات الضغط البخاري العالي. غالباً تستخدم هذه المخططات لتحديد الضغط الأصغرى Specified Operating [minimum pressure] من أجل درجات الحرارة التشغيلية المحددة [Temperatures] بغية الحفاظ على المنتجات ذات الضغط البخاري العالي في الطور السائل. لذلك يتم استخدام هذه المخططات في تحديد قيم الضغط ودرجة الحرارة في جميع النقاط على طول خط الأنابيب، وعلاوة على ذلك يمكن تصميم صمامات التحكم والسيطرة [Control Valves]. ومن المهم الإشارة إلى أنه ليس هناك حاجة لهذه المخططات عند تصميم خطوط الأنابيب المخصصة لنقل المركبات الهيدروكربونية ذات الضغط البخاري المنخفض تحت شروط التشغيل النظامية لأنها تبقى في الطور السائل. يوضح الشكل التالي مخطط ضغط-انتالبية عند ثبات درجة الحرارة لغاز ثانئي أو كسيد الكربون الصرف.

