REPLACING GAS-ASSISTED GLYCOL PUMPS WITH ELECTRIC PUMPS

استبدال مضخات الجليكول المدعومة بالغاز بمضخات كهربائية

ملخص تنفيذي

يتم استخدام ٦٣٠٠٠ من عوازل المياه تقريبًا في قطاع إنتاج الغاز الطبيعي من أجل إزالة المياه من الغاز. تستخدم معظم أنظمة عزل المياه بالجليكول ثلاثي إيثيلين الجليكول كسائل ممتص وتعتمد على المضخات لتدوير ثلاثي إيثيلين الجليكول خلال عازل المياه. يستخدم المشغلون نوعين من مضخات التدوير: مضخات الجليكول المدعومة بالغاز والتي يشار إليها أيضًا بمضخات تبادل الطاقة، والمضخات الكهربائية.

تعد المضخات المدعومة بالغاز هي أكثر مضخات التدوير شيوعًا في المناطق النائية التي يتوفر بها مصدر الطاقة الكهربائية. تعد هذه المضخات أساسًا مضخات هوائية مدعومة بالغاز تم تصميمها خصيصًا للاستفادة من طاقة الغاز الطبيعي ذا الضغط المرتفع المحملة في ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني (الرطب) والتي تخرج من مفتاح الغاز. يعد غاز الإنتاج الرطب الإضافي ذا الضغط المرتفع ضروريا لتحقيق الاستفادة الميكانيكية، وعليه، يتم حمل الكثير من الغاز الغني بالميثان لوحدة إعادة توليد ثلاثي إيثيلين الجليكول، حيث يخرج مع المياه التي يتم غليها من ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني. يعمل التصميم الميكانيكي الخاص بهذه المضخات على وضع ثلاثي إيثيلين الجليكول الرطب وذا الضغط المرتفع أمام ثلاثي إيثيلين الجليكول الجاف وذا الضغط المنخفض بحيث لا يفصلهما إلا موانع التسرب المطاطية. تؤدي موانع التسرب التالفة إلى تلوث ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف (الجاف) مما يجعله أقل كفاءة في عزل المياه عن الغاز. ويتطلب ذلك معدلات تدوير أعلى للجليكول. تمثل معدلات انبعاث غاز الميثان المعتادة ما يقرب من ١٠٠٠ قدم مكعب لكل مليون قدم مكعب من الغاز الذي تتم معالجته.

وعلاوة على ذلك، فإن تركيب فواصل الخزان الفجائي على عوازل المياه بالجليكول يعمل أيضاً على تقليل معدلات انبعاث غاز الميثان والمركبات العضوية المتطايرة وملوثات الهواء الضارة كما يعمل على توفير المزيد من الأموال. يمكن إعادة تصنيع الغاز الذي تتم استعادته لماص الضاغط و/أو استخدامه كوقود لمعيد غليان ثلاثي إيثيلين الجليكول ومحرك الضاغط. يوضح التحليل الاقتصادي عوائد تكاليف فواصل الخزان الفجائي المركبة على وحدات عزل المياه خلال ٤ إلى ١١ شهرًا.

طرق تقليل انبعاثات غاز الميثان	حجم الغاز الطبيعي الذي يتم توفيره (ألف قدم مكعب/عام)	قيمة فوائض الغاز الطبيعي (دولار/عام)	تكاليف التطبيق (الدولار)	العائد
قم باستبدال المضخات المدعومة بالغاز في عوازل مياه الجليكول بمضخات كهربائية	٣٦٠-٣٦٠٠٠ لكل نظام من أنشطة عزل المياه [١]	٢٥٢٠-٢٥٢٠٠٠ دولار [٢]	٢٧٠٠-١٥١٠٠ دولار	في شهر واحد إلى سنوات عديدة

[١] بناء على معدل تدوير ثلاثي إيثيلين الجليكول ودرجة حرارة وضغط الغاز النادر، بموجب تقارير شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي.
[٢] بسعر الغاز ٧,٠٠ دولار لكل ألف قدم مكعب

هذه سلسلة واحدة من "ملخصات الدروس المستفادة" التي أعدتها "وكالة الحماية البيئية" (EPA) بالتعاون مع جهات صناعة الغاز الطبيعي بخصوص التطبيقات الفائقة ل"أفضل ممارسات الإدارة" (BMPs) والفرص المذكورة من جانب الشركاء (PROs) التابعة لبرنامج ستار للغاز الطبيعي Natural Gas STAR.

الدروس المستفادة

الخلفية الفنية

يستخدم معظم منتجي الغاز الطبيعي عوازل المياه من الغاز بثلاثي إيثيلين الجليكول لإزالة المياه من مجرى الغاز الطبيعي بحيث يفي بمعايير جودة خط الأنابيب. يتم تدوير ثلاثي إيثيلين الجليكول من خلال نظام عزل المياه باستخدام المضخات المدعومة بمحرك كهربائي أو مكبس تمدد الغاز أو محرك توربيني. يطلق على المضخة الأخيرة "المضخة المدعومة بالغاز" أو مضخة "تبادل الطاقة". في بعض العمليات، يمكن استخدام مزيج من المضخات الكهربائية والمضخات المدعومة بالغاز.

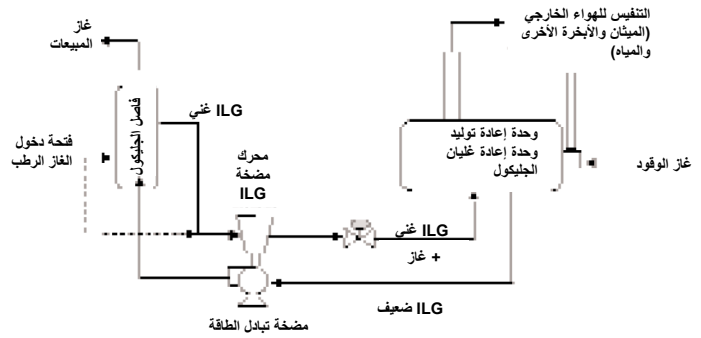
تشتمل عملية عزل المياه من الغاز على العناصر التالية:

- ★ يتم تلقيم الغاز الطبيعي في وعاء الجليكول الموصل حيث يتدفق عكس التيار خلال "ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف (ثلاثي إيثيلين الجليكول بدون مياه ممتصه) في أوعية الموصل العليا.
- ★ يمتص ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف المياه وفي ظل الضغط يمتص بعض الميثان من مجرى الغاز الطبيعي ويصبح "ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني".
- ★ يتوجه الغاز الجاف إلى خط أنابيب المبيعات.
- ★ تقوم وحدة إعادة الغليان الذي يعمل على الضغط الجوي بإعادة توليد ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني عن طريق تسخين الجليكول لإخراج المياه والميثان الممتص والملوثات الأخرى التي تخرج إلى الغلاف الجوي.
- ★ يتم إعادة ضخ ثلاثي إيثيلين الجليكول إلى ضغط الموّصل ويتم حقنه أعلى وعاء الموصل.

يعد الرسم التوضيحي (١) رسمًا بيانيًا لنظام عزل المياه بالجليكول. تعد الفتحة الجوية في وحدة إعادة الغليان/وحدة إعادة توليد الجليكول هي المصدر الرئيسي لانبعاثات الميثان. يتم تحقيق تخفيضات الميثان عن طريق تقليل كمية الغاز الرطب الذي يتم تجنبه للإضافة إلى ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني الذي يتم إعادة توليده في وحدة إعادة الغليان. هناك ثلاث طرق لتقليل محتوى الغاز في مجرى ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني:

- ★ تقليل معدل تدوير ثلاثي إيثيلين الجليكول.
- ★ تركيب فاصل خزان فجائي في حلقة عزل المياه.
- ★ استبدال المضخات المدعومة بالغاز الطبيعي بمضخات كهربائية.

الرسم التوضيحي١ : مخطط عازل المياه



المصدر: إكسون الولايات المتحدة الأمريكية

يعد استبدال المضخات المدعومة بالغاز بمضخات كهربائية هو موضوع هذا البحث الخاص بالدروس المستفادة. تتم مناقشة خيارات تقليل معدلات انبعاث غاز الميثان الأخرى في الدروس المستفادة لهيئة الحماية البيئية: ابحث عن أفضل الحلول لتدوير الجليكول وقم بتركيب فواصل الخزان الفجائي في عوازل المياه بالجليكول.

المضخات المدعومة بالغاز

تعد المضخات الأكثر شيوعًا في أنظمة عزل المياه هي مضخات الجليكول المدعومة بالغاز، ويوضح الرسم التوضيحي (٢) مثالا على مضخات معروفة ذات مكبس. لقد تم تصميم هذه المضخات الميكانيكية خصيصا لاستخدام ثلاثي إيثيلين الجليكول والغاز الطبيعي بضغط مرتفع للطاقة. وفيما يتعلق بالتصميم تعمل مضخات الجليكول المدعومة بالغاز على زيادة الانبعاثات من أنظمة عازل المياه عن طريق تمرير غاز المحرك الهوائي المحمل في ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني إلى وحدة إعادة الغليان. يتم ذكر لمحة أساسية عن تشغيل المضخة فيما يلي:

الدروس المستفادة

- ★ يتمدد الغاز الطبيعي ذا الضغط المرتفع المحمل في ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني من الموصل (إضافة إلى الغاز الطبيعي الإضافي الرطب ذو الضغط المرتفع من ضغط الموصل (٢٠٠ إلى ٨٠٠ رطل لكل بوصة مربعة) إلى الأسفل لضغط وحدة إعادة الغليان (صفر رطل لكل بوصة مربعة) مندفعًا نحو جانب المحرك من مكبس الاسطوانة الرئيسي.
- ★ يدفع الجانب الآخر من ذلك المكبس الاسطوانة المليئة بثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف خارجًا نحو الموصل بضغط مرتفع.
- ★ يتم توصيل المكبس القائد بمكبس مرآتي يعمل على الفور على طرد ثلاثي إيثيلين الجليكول ذو الضغط المنخفض لمعيد التوليد، مع استيعابه في ثلاثي إيثيلين الجليكول ذو الضغط المنخفض من وحدة إعادة التوليد.
- ★ في نهاية الحركة النظامية المتكررة، تقوم الصمامات المنزلقة بتحويل وضع المكبس الموجه، مع إعادة توجيه ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني نحو اسطوانة المحرك المضادة. تعمل صمامات الفحص على الماصة والفصل من اسطوانات ثلاثي إيثيلين الجليكول على منع التدفق الرجعي.
- ★ يتم بعد ذلك سحب المكابس في الاتجاه المعاكس. يقوم أحد المكابس بتمديد الغاز في ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني مع ضغط ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف في الموصل ويعمل المكبس الآخر على طرد ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني ذو الضغط المنخفض إلى وحدة إعادة التوليد مع ملء الجانب الآخر بثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف ذا الضغط المنخفض من وحدة إعادة التوليد.
- ★ يمر خليط ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني في جانب المحرك مع الغاز الطبيعي ذا الضغط المنخفض إلى وحدة إعادة الغليان لفصل الغاز المحمّل وغلي المياه مع ثلاثي إيثيلين الجليكول.
- ★ يخرج بخار الماء وخليط الغاز المفصول من الميثان وملوثات غاز الهيدروكربون.
- ★ في نهاية كل حركة نظامية، يتم تحويل مسارات التدفق ويدفع ثلاثي الإيثيلين الغني ذو الضغط المرتفع المكابس إلى الخلف.

يتضمن تصميم هذا النوع من المضخات ضرورة أساسية وهي إضافة مزيد من الغاز ذو الضغط المرتفع لتكملة الغاز الذي يتم امتصاصه في ثلاثي إيثيلين الجليكول من الموصل (حجمان لكل واحد) وذلك من أجل توفير الفائدة الميكانيكية على جانب المحرك. يعني ذلك أن المضخة المدعومة بالغاز تقوم بتمرير ثلاثة أضعاف من الغاز الذي تمرره المضخة ذات المحرك الكهربائي لوحدة إعادة التوليد. وعلاوة على ذلك، فإن المضخات المدعومة بالغاز تضع ثلاثي إيثيلين الجليكول الرطب ذو الضغط المرتفع مقابل ثلاثي إيثيلين الجليكول الجاف ذو الضغط المنخفض في أربعة أماكن مع الحلقات على المكبسين و"الحلقات الدائرية" على المكبس المركزي الذي يقوم بربط القضيب الذي يفصلهم. في حالة تلف أو حفر حلقات المكبس أو تلف الحلقات الدائرية، يتسرب ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني مما يؤدي إلى تلويث ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف. يؤدي ذلك التلوث إلى تقليل قدرة عازل المياه على استيعاب المياه كما يؤدي إلى تقليل فعالية النظام. وأخيرا، يضحى التلوث كافيا لمنع الغاز من الوفاء بمواصفات خط الأنابيب (بوجه عام من ٤ إلى ٧ أرطال من المياه لكل مليون قدم مكعب).

يمكن أن تؤدي نسبة قليلة تعادل ٠,٥% من تلوث مجرى ثلاثي إيثيلين الجليكول إلى مضاعفة معدل التدوير اللازم للمحافظة على نفس المستوى الفعال من معدل إزالة المياه. في بعض الحالات، يمكن أن يفرط المشغلون في تدوير ثلاثي إيثيلين الجليكول عندما يفقد عازل المياه فعاليته، مما يؤدي إلى انبعاثات أكبر.

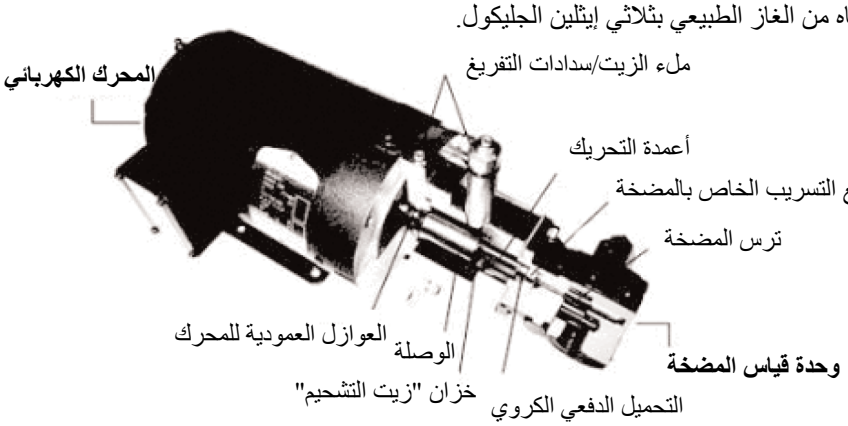
المزايا الاقتصادية والبيئية

المضخات الكهربائية

على عكس المضخات المدعومة بالغاز، تكون الانبعاثات المتعلقة بتصميم المضخات ذات المحرك الكهربائي أقل ولا يكون هناك مسار لتلوث ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف من المجرى الغني. تعمل المضخات الكهربائية فقط على تحريك مجرى ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف، وتسقط تدفقات ثلاثي إيثيلين الجليكول الغني مباشرة لوحدة إعادة التوليد، كما تشتمل هذه المضخات فقط على الميثان والهيدركربونات المذابة. يوضح الرسم التوضيحي (٢) مثالا لتركيب إحدى مضخات الجليكول الكهربائية.

الرسم التوضيحي ٢ : مضخة ترسية ذات محرك كهربائي

مضخات ترسية متخصصة ذات محرك كهربائي لعوازل المياه من الغاز الطبيعي بثلاثي إيثلين الجليكول.



المصدر شركة كيمراي

الدروس المستفادة

هذا، ويمكن أن يسفر استخدام المضخات الكهربائية بدلا عن المضخات المدعومة بالغاز عن مزايا اقتصادية وبيئية كبرى من بينها:

- **العائد المالي على الاستثمار من خلال تقليل خسائر الغاز.** يعمل استخدام مضخات الجليكول المدعومة بالغاز على تقليل ثلث معدلات انبعاث غاز الميثان أو ما يزيد على ذلك. يظل غاز الإنتاج الرطب كاملا في النظام لكي تتم إزالة المياه منه وبيعه كمنتج. في الكثير من الحالات يمكن استعادة تكلفة التطبيق في أقل من عام واحد.
- **زيادة الفعالية التشغيلية.** يمكن أن تؤدي الحلقات الدائرية التالفة في المضخات المدعومة بالغاز إلى تلوث مجرى ثلاثي إيثيلين الجليكول الضعيف في عازل المياه مما يؤدي إلى تقليل فعالية النظام وإلى الحاجة إلى زيادة معدل تدوير الجليكول وتكوين انبعاثات الميثان. يعمل تصميم المضخات الكهربائية على تقليل احتمالية حدوث التلوث وعليه فإنه يؤدي إلى زيادة الفعالية التشغيلية للنظام.
- **تقليل تكاليف الصيانة.** غالبا ما يؤدي استبدال مضخات الجليكول المدعومة بالغاز إلى تقليل تكاليف الصيانة السنوية. يجب أن يتم استبدال الحلقات الدائرية للمكبس العائم في المضخات المدعومة بالغاز عند بداية تسريبها وعادة ما يتم ذلك كل ٣ إلى ٦ أشهر. تقل الحاجة إلى ذلك الاستبدال عند استخدام المضخات الكهربائية.
- **تقليل تكاليف الالتزام الرقابي.** يمكن تقليل تكاليف الالتزام باللوائح الفيدرالية الخاصة بملوثات الهواء الخطيرة من خلال استخدام المضخات الكهربائية. تكون انبعاثات ملوثات الهواء الخطيرة، بما في ذلك المركبات العضوية المتطايرة مثل البنزين والتولوين والإيثيل بنزين والزيليين و(BTEX)أقل كثيرا في الوحدات المدعومة بالمضخات الكهربائية.

عملية اتخاذ القرار

يمكن تطبيق عملية ذات خمس خطوات من أجل تقييم استبدال مضخات الجليكول المدعومة بالغاز بالمضخات الكهربائية. تتطلب كل خطوة بيانات ميدانية لكي تعكس الحالات في الموقع الذي يتم تقييمه بدقة.

خمس خطوات لتقييم استخدام المضخات الكهربائية

١. قم بتحديد ما إذا كان هناك مصدر متاح للكهرباء أم لا.
٢. قم بتحديد الحجم المناسب للمضخة الكهربائية.
٣. قم بتقييم التكاليف الرأسمالية وتكاليف التشغيل والصيانة.
٤. قم بتقييم كمية وقيمة فوائض الغاز.
٥. قم بحساب صافي الفائدة الاقتصادية الناتجة عن الاستبدال.

الخطوة ١: قم بتحديد ما إذا كان هناك مصدر متاح للكهرباء أم لا. يمكن شراء الكهرباء اللازمة لتزويد المضخة الكهربائية بالطاقة من إحدى الشبكات المحلية أو يتم توليدها بالموقع عن طريق الإيجار أو استخدام غاز لوحة التحكم على غطاء بئر البترول والذي يمكن أن يشتعل. في حالة إتاحة مصدر الطاقة أو إمكانية الحصول عليه مع كون ذلك فعالا في تكلفته، ينبغي أن يتقدم المشغل إلى الخطوة (٢). وعند عدم إتاحة أي مصدر للكهرباء فقد تكون مضخة الجليكول المدعومة بالغاز هي الخيار الوحيد. يجب أيضًا اعتبار المضخات الهيدروليكية الكهربائية المزدوجة في الحالات التي لا يكون لدى الموقع فيها إلا طاقة ذات مرحلة واحدة. هذا، وتعد تكاليف الطاقة المشتراة مرتفعة أولا تكون هناك خدمة كهربائية كافية للمحرك الكهربائي الكبير. تستخدم المضخة المزدوجة الجليكول الرطب ذا الضغط المرتفع لتدوير المضخة الهيدروليكية الترسية الدوارة/المحرك الهيدروليكي الدوار. تتم إضافة محرك كهربائي صغير ذو مرحلة واحدة لإضافة الفائدة الميكانيكية بدلا عن الغاز الرطب الذي يتم تجنبه في المضخة المدعومة بالغاز. في أي حالة من الحالات، يمكن أن يعمل استخدام المضخة ذات الحجم المناسب والتي تتم صيانتها جيدا وتتميز بالكفاءة ومعدل التدوير الصحيح على تقليل خسائر الغاز.

الخطوة ٢: قم بتحديد الحجم الملائم للمضخة الكهربائية، هناك مجموعة متنوعة من المضخات الكهربائية التي تفي بالمتطلبات التشغيلية الخاصة بكل موقع. يمكن دعم مضخات ثلاثي إيثيلين الجليكول الكهربائية بتيار متردد ACأو تيار مباشرة DCمرحلة واحدة أو ثلاث مراحل، ٦٠ أو ٥٠ هرتز. تتاح هذه المضخات مع خيار سرعات التشغيل المتغيرة أو الثابتة وتتراوح سعات المضخة من ١٠ إلى ١٠,٠٠٠ جالون في الساعة.

الدروس المستفادة

يجب أن يتم حساب الحجم الصحيح للمضخة الخاصة بنظام عزل المياه بناء على معدل التدوير والضغط التشغيلي للنظام. يوضح الرسم التوضيحي ٣ كيف يتم حساب القدرة الحصانية اللازمة (بالقدرة الحصانية الفرملية "BHP") للمضخة الكهربائية باستخدام المعلومات النموذجية للنظام.

الرسم التوضيحي ٣: تحديد حجم المضخة

المعطيات:

Q = معدل التدوير (بالجالون في الدقيقة) = ٥ جالونات

P = الضغط (رطل لكل بوصة مربعة) = ٨٠٠ رطل لكل بوصة مربعة.

E = الكفاءة = ٠,٨٥

الحساب:

القدرة الحصانية الفرملية = (Q × P/1.714) × (1/E)

= (5 × 800/1/1.714 × (1/0.85)

القدرة الحصانية الفرملية = ٢,٧٥

في المثال الموضح في الرسم التوضيحي٣ ، قد يحتاج المشغل على الأقل إلى مضخة ذات قدرة حصانية تبلغ ٢,٧٥ حصان وعليه، فقد يقوم بتجميع المضخة حتى يصل إلى الحجم التالي المتاح (بمعنى مضخة ذات ٣,٠ قوة حصانية فرملية).

قد يرغب المشغلون في الحصول على مضخة أكبر من تلك الموضحة في المعادلة السابقة بحجم واحد. توفر المضخة الأكبر في حجمها قدرة إضافية لزيادة معدل تدوير الجليكول، عند الضرورة وذلك من أجل تزويد غاز المدخل الطبيعي بمحتوى المياه أو الوفاء بمواصفات المخرجات الأكثر صرامة هناك أيضا مضخات كهربائية ذات سرعة متغيرة. ورغم أن المضخات الأكبر أو ذات السرعة المتغيرة قد تكون تكلفة تشغيلها أقل، فإن المضخة الأكبر حجمًا توفر قياسًا إضافيًا للأمان والمرونة لتغطية حالات الطوارئ.

مؤشرات نيلسون (Nelson) للأسعار

من أجل تقدير التضخم في تكاليف تشغيل وصيانة المعدات، يتم استخدام مؤشرات نيلسون فارار للتكلفة ربع السنوية (المتاحة في العدد الأول الذي يتم إصداره بشكل ربع سنوي في *مجلة النفط والغاز*) وذلك من أجل تحديث التكاليف في الوثائق الخاصة بالدروس المستفادة.

يتم استخدام مؤشر عمليات التكرير من أجل مراجعة تكاليف التشغيل بينما يتم استخدام مؤشر الآلات: التكلفة المفصلة لتكرير النفط من أجل تحديث تكاليف المعدات.

من أجل استخدام تلك المؤشرات في المستقبل، ابحث ببساطة عن أحدث رقم لمؤشر نيلسون فارار ثم تتم قسمة هذا الرقم على رقم مؤشر نلسون فارار في فبراير/شباط ٢٠٠٦ وفي النهاية يتم ضرب الناتج في التكاليف الملائمة المذكورة في الدروس المستفادة

الرسم التوضيحي ٤: التكلفة المالية للمضخات الكهربائية

حجم محرك المضخة (قدرة حصانية فرملية	٢٥	٥٠	٧٥	١,٠	١,٥	٢,٠	٣,٠	٥,٠	٧,٥	١٠
تكلفة المضخة والمحرك (الدولار)	١٤٢٠	١٤٨٥	١٥٥٠	١٦٣٠	١٦٨٠	١٧٧٠	١٨٤٥	٣٧٩٥	٣٩٩٥	٤٢٠٥

المصدر: شركة كيمراي، تم التحديث إلى تكاليف معدات ٢٠٠٦

الخطوة ٣: قم بتقدير التكاليف المالية وتكاليف التشغيل والصيانة. تتضمن التكاليف المرتبطة بالمضخات الكهربائية التكاليف المالية لشراء المعدات وتكاليف التركيب والتشغيل المستمر والصيانة.

الدروس المستفادة

(أ) التكاليف المالية وتكاليف التركيب.

يمكن أن تتكلف المضخات الكهربائية من ١٤٢٥ إلى ١٢٩٥٣ دولار تقريبًا بناءً على القدرة الحصانية للوحدة. يقدم الرسم التوضيحي (٤) مجموعة من عينات التكاليف الرأسمالية للمضخات الكهربائية ذات الأحجام المختلفة التي يتم استخدامها أساسًا مع عوازل المياه بالجليكول. يجب أيضًا أن يضع المشغلون تكاليف التركيب في اعتبارهم عند تقييم المزايا الاقتصادية العامة للمضخات الكهربائية. قم بتقدير ١٠% من التكاليف المالية للتركيب. يمكن أن يؤدي تنسيق مواعيد الاستبدالات مع أوقات التوقف المخططة للصيانة إلى تقليل تكاليف التركيب.

(ب) تكاليف التشغيل والصيانة

تعد التكلفة التشغيلية الرئيسية للمضخة الكهربائية هي الكهرباء اللازمة لتزويد الوحدة بالطاقة. بوجه عام، تعد المتطلبات الخاصة بالكيلووات اللازمة لتشغيل المضخة معادلة للقدرة الحصانية الفرملية. على سبيل المثال، قد تحتاج المضخة ذات القدرة الحصانية الفرملية ٣,٠ إلى ٣,٠ كيلووات تقريبًا للعمل.

في عام ٢٠٠٦، تراوح معدل تكلفة الكهرباء المشتراه في القطاعات التجارية والصناعية من ٠,٠٦١ دولار إلى ٠,٠٩٤ دولار لكل كيلووات في الساعة على المستوى القومي، وكانت تكلفة الكهرباء المولدة بالموقع ٠,٠٢ دولار تقريبًا لكل كيلووات في الساعة. إذا افترضنا كون تكاليف الكهرباء ٠,٠٧٥ دولار تقريبا لكل كيلووات في الساعة، فسوف تكون التكلفة المقدرة للطاقة المشتراه للمضخة ذات القدرة الحصانية الفرملية ٣,٠ سابقة الذكر ١٩٧١ دولار في العام (٣,٠ كيلووات × ٨٧٦٠ ساعة/عام × ٠,٠٧٥ دولار/كيلووات في الساعة).

تتراوح تكاليف الصيانة العادية لمضخات الجليكول المدعومة بالغاز من ٢٧٠ دولار إلى ٥٣٠ دولار سنويا. وترتبط تكاليف الصيانة أساسًا بالاستبدالات الداخلية للحلقات الدائرية وتكاليف العمالة وعادة تكون هذه الاستبدالات ضرورية كل ثلاثة إلى ستة أشهر.

عادة ما تعمل المضخات الكهربائية بالتروس. لا تشتمل هذه المضخات على أجزاء خاصة بالمضخات الترددية ولا تعتمد على أجزاء مرنة أو شرائح أو مكابس أو صمامات فحص أو الحلقات الدائرية الداخلية التي تخضع جميعها للتلف أو التدهور أو تحتاج إلى الاستبدال. ونتيجة لذلك، تكون تكاليف الصيانة الخاصة بالمضخات الكهربائية بوجه عام، أقل من تكاليف الصيانة الخاصة بمضخات الجليكول المدعومة بالغاز. يمكن توقع التكاليف السنوية للمضخات الكهربائية بحوالي ٢٦٣ دولار في العام فيما يتعلق بالعمال والاستهلاكات (التشحيم والعوازل) والفحص.

الخطوة٤: قم بتقدير كمية وقيمة فوائض الغاز. بما أن المضخات الكهربائية لا تخرج الميثان، تعادل فوائض الانبعاثات الناتجة عن تركيب المضخة الكهربائية الانبعاثات التي تخرج من المضخة المدعومة بالغاز والتي يتم استبدالها. يمكن آنذاك ضرب كمية الانبعاثات التي يتم تجنبها في سعر الغاز في السوق وذلك من أجل تحديد الكمية الإجمالية لفوائض الغاز.

ملحوظة: إذا كانت وحدة الجليكول لعزل المياه بها فاصل خزان فجائي وتمت الاستفادة من جميع الغاز الذي يتم استرداده، فقد لا تمثل فوائض الغاز ذاتها مبررًا كافيًا لتركيب المضخة الكهربائية.

الدروس المستفادة

الرسم التوضيحي٥: تقدير معدلات انبعاث غاز الميثان من عوازل المياه بالجليكول [١]

الخطوة١: حساب عامل الانبعاثات

المعطيات:

EF = عامل الانبعاث (الغاز الطبيعي المنبعث بالقدم المكعب القياسي/الغاز الذي تتم معالجته بالمليون قدم مكعب).

PGU = استخدام غاز المضخة (الغاز الطبيعي المنبعث بالقدم المكعب القياسي/جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول)[٢]

G = معدل الجليكول إلى المياه (جالونات من ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل من المياه التي تتم إزالتها)[٣]

WR = معدل المياه التي يتم إزالتها (رطل من المياه التي تتم إزالتها/قدم مكعب من الغاز التي تتم معالجته).

OC = معدل التدوير المفرط.

الحساب:

$$EF = PGU \times G \times WR \times OC$$

الخطوة١: حساب عامل الانبعاثات

المعطيات:

EF = معدل إجمالي الانبعاثات

PGU = عامل النشاط (مليون قدم مكعب من الغاز الذي تتم معالجته سنويًا).

الحساب:

$$TE = EF \times AF$$

[١] يتم تقديم طرق الحساب والقيم القياسية في *الدروس المستفادة لهيئة الحماية البيئية: "قم بتحسين تدوير الجليكول وتركيب فواصل الخزان الفجائي في عوازل المياه بالجليكول"*.

[٢] قاعدة صناعية قائمة على التربة: ٣ أقدام مكعبة/جالون للمضخة المدعومة بالغاز. ١ قدم مكعب/جالون للمضخة الكهربائية، يكون الفرق ٢ قدم مكعب/جالون.

[٣] قاعدة قائمة على التجربة مقبولة صناعيا: ٣ جالونات من ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل مياه

(أ) تقدير معدلات انبعاث غاز الميثان من المضخة المدعومة بالغاز.

يعد تقدير معدلات الانبعاث عملية ذات خطوتين تتكون من حساب عامل الانبعاثات للخصائص التشغيلية للوحدة (الضغط ودرجة الحرارة ومواصفات الرطوبة) ومن ثم، يتم ضرب عامل انبعاثات الوحدة في عامل النشاط (كمية الغاز الذي تتم معالجته سنويًا) يوضح الرسم التوضيحي (٥) المعادلات الخاصة بتقييم معدلات انبعاث غاز الميثان المحتملة من المضخة المدعومة بالغاز وبناء عليه، فوائض الميثان المحتملة من استبدال المضخة المدعومة بالغاز بمضخة كهربائية.

غالبًا ما يعرف المشغلون الميدانيون أو يستطيعون حساب استخدام غاز المضخة أو نسبة الجليكول إلى الماء. ومن أجل تحديد كمية المياه التي تحتاج إلى الإزالة، انظر الملحق (أ) الذي يقدم مجموعة من المنحنيات المشتقة من التجارب. باستخدام درجة حرارة مدخل الغاز وضغط النظام يمكن تحديد محتوى المياه المشبع عن طريق قراءة القيمة المماثلة حيث يقطع منحنى الرطل لكل بوصة مربعة درجة الحرارة. قم بالطرح من ٤ أرطال/مليون قدم مكعب إلى ٧ أرطال/مليون قدم مكعب من قيمة محتوى المياه لتحديد كمية المياه التي ستتم إزالتها. يعتمد حد محتوى المياه من ٤ أرطال/مليون قدم مكعب إلى ٧ أرطال/مليون قدم مكعب على المواصفات النموذجية لخط الأنابيب لمحتوى المياه في مجرى الغاز.

من أجل تقدير معدل التدوير الزائد، استخدم معدل ٢،١: ١ (OC= ٢،١)، في حالة كون التدوير الزائد مهمًا. تعتمد هذه المعدلات على متوسط النسب التي يتم قياسها من ١٠ وحدات ميدانية والتي أبلغ عنها معهد أبحاث الغاز.

في الصفحات التالية، يتم ذكر مثالين لتحديد كمية إزالة المياه، وعامل الانبعاث وإجمالي الانبعاثات في الصفحات التالية. يوضح كل مثال مجموعة من الفوائض التي تعتمد على افتراضين داخليين مختلفين. يقدم المثال الأول مجرى الغاز ذا الضغط المرتفع، ويقدم المثال الثاني مجرى الضغط المنخفض.

الدروس المستفادة

المثال ١: مجرى الغاز ذا الضغط المرتفع

يتضمن هذا النظام الخاص بعزل المياه الذي يقدمه هذا المثال ضغط مدخل يعادل ٨٠٠ رطل لكل بوصة مربعة، ودرجة حرارة تبلغ ٩٤ درجة فهرنهايت ونسبة الجليكول إلى المياه ٣,٠ جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول لكل رطل من المياه تتم استعادته. بناء على الملحق (أ) يتم تقدير محتوى المياه المشبعة لمجرى الغاز عن طريق قراءة القيمة المشابهة حيث يقطع منحنى الـ ٨٠٠ رطل لكل بوصة مربعة خط الـ ٩٥ درجة فهرنهايت. في هذا المثال، يكون محتوى المياه حوالي ٦٠ رطل لكل مليون قدم مكعب. وبخصم ٧ أرطال/مليون قدم مكعب بناء على متطلبات خط الأنابيب. يؤدي ذلك إلى الحاجة إلى إزالة ٥٣ رطلاً من المياه من مجرى الغاز لامتصاصها من قبل ثلاثي إيثيلين الجليكول. يعادل استخدام غاز المضخة ٢ قدم مكعب من الغاز الطبيعي لكل جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول.

عند تطبيق هذه البيانات على معادلة عامل الانبعاثات، يسفر ذلك عن نطاق من ٣١٨ إلى ٦٦٨ قدم مكعب من الغاز الذي يتم إخراجه لكل مليون قدم مكعب من الغاز الذي تتم معالجته. وبافتراض قيام عازل المياه بمعالجة ١٠ مليون قدم مكعب من الغاز الرطب يوميا، فقد يكون الحجم الإضافي للغاز الذي يتم استعادته ١١٦٠ إلى ٢٤٤٠ ألف قدم مكعب في العام. يلخص الرسم التوضيحي (٦) هذا المثال.

الرسم التوضيحي (٦) المثال الأول: معدلات انبعاث غاز الميثان المقدرة من عازل المياه بالجليكول مع غاز المدخل ذا الضغط المرتفع (٨٠٠ رطل لكل بوصة مربعة)

حيث:

EF = عامل الانبعاث (الغاز الطبيعي المنبعث بالقدم المكعب القياسي/الغاز الذي تتم معالجته بالمليون قدم مكعب).
PGU = استخدام غاز المضخة (الغاز الطبيعي المنبعث بالقدم المكعب القياسي/جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول) (٢)
G = معدل الجليكول إلى المياه (جالونات من ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل من المياه التي تتم إزالتها)(٣)
WR = معدل المياه التي يتم إزالتها (رطل من المياه التي تتم إزالتها/قدم مكعب من الغاز التي تتم معالجته).
OC = معدل التدوير المفرط.
TE = إجمالي الانبعاثات
AF = عامل النشاط (مليون قدم مكعب من الغاز الذي تتم معالجته سنويا).

المعطيات:

PGU = ٢ قدم مكعب قياسي غاز طبيعي خارج/جالون ثلاثي إيثيلين الجليكول.
G = ٣,٠ جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل من المياه التي يتم عزلها
WR = ٥٣ رطلاً من المياه التي يتم عزلها/مليون قدم مكعب من الغاز الذي تتم معالجته
OC = ١:١ إلى ١:٢,١
AF = ١٠ مليون قدم مكعب من الغاز الذي يتم معالجته.

الحساب:

PGU × G × WR × OC = EF
= ٢ × ٣,٠ × ٥٣ × (النطاق: ١ إلى ٢,١)
= ٣١٨ إلى ٦٦٨ قدم مكعب قياسي/مليون قدم مكعب

EF × AF = TE
= (٣١٨ إلى ٦٦٨) × ١٠
= (٣١٨٠ إلى ٦٦٨٠) قدم مكعب قياسي في الدقيقة × ٣٦٥ يوم/عام ÷ ١٠٠٠ قدم مكعب قياسي/ألف قدم مكعب
= ١١٦٠ إلى ٢٤٤٠ ألف قدم مكعب/عام.

المثال ٢: مجرى الغاز ذا الضغط المنخفض

يستخدم هذا النظام ضغط مدخل ٣٠٠ رطل لكل بوصة مربعة ودرجة حرارة ٩٤ درجة فهرنهايت ونسبة جليكول إلى المياه ٣,٠ جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول لكل رطل من المياه تتم استعادته. ومرة أخرى وبالإشارة إلى منحنيات صناعات سميث (الملحق أ)، يكون محتوى المياه حوالي ١٣٠ رطلاً لكل مليون قدم مكعب. وعليه يجب إزالة ١٢٣ رطلاً من المياه من مجرى الغاز الطبيعي ويجب أن يستوعب ثلاثي إيثيلين الجليكول هذه الكمية من أجل الوفاء بمعايير خط الأنابيب. في هذا المثال، يكون حجم المضخة ٣,٠ قدرة حصانية فرملية ويكون استخدام غاز المضخة ٢,٨ قدم مكعب من الغاز الطبيعي الذي يتم إخراجه لكل جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول. باستخدام المعادلة، يتم تقدير عامل انبعاثات ١,٠٣ إلى ٢,١٧ ألف قدم مكعب/مليون قدم مكعب. وبافتراض كون عازل المياه يقوم بمعالجة ١٠ مليون قدم مكعب من الغاز يوميا، فقد يبلغ الحجم الإضافي للغاز الذي يتم استرجاعه من ٣٧٦٠ إلى ٧٩٢١ ألف قدم مكعب في العام. يلخص الرسم التوضيحي ٧ هذا المثال.

الرسم التوضيحي٧: المثال ٢: معدلات انبعاث غاز الميثان المقدرة من عازل المياه بالجليكول مع غاز المدخل ذا الضغط المنخفض (٣٠٠ رطل لكل بوصة مربعة)

حيث:

EF = عامل الانبعاث (الغاز الطبيعي المنبعث بالقدم المكعب القياسي/الغاز الذي تتم معالجته بالمليون قدم مكعب).
PGU = استخدام غاز المضخة (الغاز الطبيعي المنبعث بالقدم المكعب القياسي/جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول) (٢)
G = معدل الجليكول إلى المياه (جالونات من ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل من المياه التي تتم إزالتها)(٣)
WR = معدل المياه التي يتم إزالتها (رطل من المياه التي تتم إزالتها/قدم مكعب من الغاز التي تتم معالجته).
OC = معدل التدوير المفرط.
TE = إجمالي الانبعاثات
AF = عامل النشاط (مليون قدم مكعب من الغاز الذي تتم معالجته سنويا).

المعطيات:

PGU = ٢,٨ قدم مكعب قياسي غاز طبيعي خارج/جالون ثلاثي إيثيلين الجليكول.
G = ٣,٠ جالون من ثلاثي إيثيلين الجليكول/رطل من المياه التي يتم عزلها
WR = ١٢٣ رطلاً من المياه التي يتم عزلها/مليون قدم مكعب من الغاز الذي تتم معالجته
OC = ١:١ إلى ١:٢,١
AF = ١٠ مليون قدم مكعب من الغاز الذي يتم معالجته.

الحساب:

PGU × G × WR × OC = EF
= ٢,٨ × ٣,٠ × ١٢٣ × (النطاق: ١ إلى ٢,١)
= ١٠٣٠ إلى ٢١٧٠ قدم مكعب قياسي/مليون قدم مكعب

EF × AF = TE
= (١٠٣٠ إلى ٢١٧٠) × ١٠
= (١٠٣٠٠ إلى ٢١٧٠٠) قدم مكعب قياسي في الدقيقة × ٣٦٥ يوم/عام ÷ ١٠٠٠ قدم مكعب قياسي/ألف قدم مكعب
= ٣٦٧٠ إلى ٧٩٢١ ألف قدم مكعب/عام.

محتوى الميثان في الغاز الطبيعي

يحتوي الغاز الطبيعي غير المرتبط الموجود في قطاع الإنتاج على ما يقرب من ٧٨,٨% من الميثان. يمكن تقريب التخفيضات في معدلات انبعاث غاز الميثان عن طريق مقارنة محتوى الميثان في الغاز الطبيعي الذي يتم إنتاجه مع فوائض الغاز الطبيعي التي يتم حسابها في هذه الوثيقة.

(ب) حساب قيمة فوائض الغاز

من أجل تحديد القيمة الإجمالية لفوائض الميثان، قم ببساطة بضرب إجمالي تخفيضات الميثان في سعر الغاز. وبافتراض قيمة ٧,٠٠ دولارات لكل ألف قدم مكعب، تسفر كل من الضغوط المرتفعة والمنخفضة في الأمثلة السابقة عن فوائض سنوية كبيرة. وسوف تتراوح المبيعات المتزايدة للغاز من نظام الضغط المرتفع من ٨١٢٠ دولار إلى ١٧٠٨٠ دولار في العام أما النظام ذا الضغط المنخفض فسوف يسفر عن فوائض تبلغ ٢٦٣٢٠ إلى ٥٥٤٤٧ دولار في العام.

الخطوة ٥: قم بحساب صافي الفائدة الاقتصادية للاستبدال. من أجل تقدير الفائدة الاقتصادية الصافية لاستبدال المضخة المدعومة بالغاز بالمضخة الكهربائية، قم بمقارنة قيمة فائض الغاز بالتكلفة الأولية للمضخة الكهربائية إضافة إلى تكاليف الكهرباء والتشغيل والصيانة.

كقاعدة عامة، إذا تجاوزت تكلفة الكهرباء قيمة الميثان الذي يتم استرجاعه وتكاليف التشغيل والصيانة المتجنبة، لا يمكن تبرير استبدال مضخة الجليكول المدعومة بالغاز على أساس التكلفة فقط. ولكن حتى في مثل هذه الحالات، يمكن أن تجعل بعض العوامل الأخرى المضخات خيارًا جذابًا في بعض المواقع مثل معدلات التلوث المتقاطع والمزايا البيئية (مثل تقليل انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة وملوثات الهواء الضارة).

الدروس المستفادة

يستخدم الرسم التوضيحي التالي المثال الخاص بالضغط المنخفض من الخطوة ٤ من أجل توضيح الفوائض المحتملة المتاحة للمشغلين الذين يقومون بشراء الكهرباء.

الرسم التوضيحي٨: الفائدة الاقتصادية من استبدال مضخة الجليكول المدعومة بالغاز بالمضخة الكهربائية- مثال غاز المدخل ذا الضغط المنخفض

حجم الغاز الذي يتم ادخاره في العام	قيمة الغاز الذي يتم ادخاره في العام [١]	تكلفة المضخة ذات القدرة الحصانية الفرملية ٣,٠ [٢]	تكلفة الكهرباء في العام	صيانة المضخة الكهربائية	صيانة المضخة المدعومة بالغاز	العائد شهور
٣٧٦٠ ٧٩٢١	٢٦٣٢٠ دولار - ٥٥٤٤٧ دولار	٢٤٠٠ دولار	١٩٧١ دولار	٢٦٣ دولار	٥٣٠ دولار	٢-١

[١] قيمة الغاز ٧,٠٠ دولار لكل ألف قدم مكعب

[٢] بما في ذلك التكلفة المالية وتكلفة التركيب التي يفترض أن تمثل ٣٠% من التكلفة الرأسمالية في هذا المثال.

إنه لمن الضروري ملاحظة أن المضخة ذات الحجم الأكبر تحتاج إلى استثمار مقدم أكبر وقد يسفر ذلك عن تكاليف كهرباء أعلى في فترات عائد أطول. وعليه فيجب حساب حجم المضخة اللازم بشكل صحيح وتدوير ثلاثي إيثيلين الجليكول بالمعدل الأمثل.

وإضافة إلى ذلك، وكجزء من دراسة المزايا الاقتصادية العامة للاستبدالات، يجب أن يفكر المشغلون في توقيت أي استبدالات. تكون المضخات القديمة المدعومة بالغاز الطبيعي في نهاية عمر تشغيلها من المرشحات الجيدة للاستبدال بمضخات كهربائية، وقد لا تكون المضخات المدعومة بالغاز الطبيعي في نهاية عمر استخدامها لكنها تحتاج إلى مزيد من الصيانة نتيجة لزيادة التلوث وحينئذ تكون من المرشحات الجيدة للاستبدال أيضا.

الفوائض التي أبلغ عنها الشركاء

أعلن أحد شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي عن استعادة متوسط ١٥٠٠٠ ألف قدم مكعب/العام من الميثان عن طريق استبدال مضخات الجليكول المدعومة بالغاز بمضخات كهربائية. وعند كون كل ألف قدم مكعب يعادل ٧,٠٠ دولار، يمثل ذلك متوسط ١٠٥٠٠٠ دولار في مبيعات المنتج الإضافية.

عند تقييم الخيارات الخاصة بمضخات الجليكول وعوازل المياه، قد يؤثر سعر الغاز على عملية اتخاذ القرار. يوضح الملحق ٩ تحليلاً اقتصاديًا لتركيب المضخة الكهربائية على عازل المياه بالجليكول ذا الضغط المنخفض بأسعار مختلفة للغاز الطبيعي.

الرسم التوضيحي ٩: تأثير سعر الغاز على التحليل الاقتصادي

	٣ دولارات/ألف قدم مكعب	٣ دولارات/ألف قدم مكعب	٣ دولارات/ألف قدم مكعب	٣ دولارات/ألف قدم مكعب	٣ دولارات/ألف قدم مكعب
قيمة فائض الغاز	١١٢٨٠ دولار	١٨٨٠٠ دولار	٢٦٣٢٠ دولار	٣٠٠٨٠ دولار	٣٧٦٠٠ دولار
فترة العائد (الشهور)	٣	٢	٢	٢	١
معدل العائد الداخلي	%٤١٥	%٧٢٩	%١٠٤٢	%١١٩٩	%١٥١٢
صافي القيمة الحالية (I = ١٠%)	٣٥٣٨٤ دولار	٦٣٨٩١ دولار	٩٢٣٩٧ دولار	١٠٦٦٥١ دولار	١٣٥١٥٧ دولار

الدروس المستفادة

الدروس المستفادة

يمكن أن يسفر تركيب المضخات الكهربائية لاستبدال مضخات الجليكول المدعومة بالغاز عن ميزات تشغيلية وبيئية واقتصادية. تقدم شركاء ستار (STAR) للغاز الطبيعي الدروس المستفادة التالية:

- غالبًا ما يكون استبدال مضخات الجليكول بالغاز الطبيعي بالمضخات الكهربائي فعال التكلفة وعند إتاحة مصدر الكهرباء.
- تتواجد المضخات الكهربائية بقدرات وكفاءات متنوعة. يتم تشجيع المشغلون على العمل على مختلف مصنعي المضخات من أجل التوصل إلى أكثر الأنواع ملائمة.
- عند تحديد حجم المضخة الكهربائية، قد يرغب المشغلون في الحصول على مضخة ذات حجم أكبر من الحجم العادي. سوف يسمح ذلك بسعة تدوير إضافية قد تكون ذات فائدة إذا زاد محتوى المياه كلما كبر الحقل أو "نضج".
- تمثل مضخات الجليكول سواء المدعومة بالغاز أو الكهربائية عنصرًا واحدًا من عناصر نظام عزل المياه. يجب أن يفكر المشغلون في عملية عزل المياه ككل بما في ذلك تركيب الجليكول ومعدلات التدوير ودرجة حرارة الموصل وتركيب غاز المدخل ومتطلبات نقطة الندى ودرجات حرارة وحدة إعادة الغليان.
- يجب أن يستعرض الشركاء الذين يقومون باستبدال المضخات المدعومة بالغاز الطبيعي بمضخات كهربائية الفرص الأخرى لتقليل انبعاثات الميثان من أنظمة عزل المياه. انظر الدروس المستفادة لهيئة الحماية البيئية: قم بتحسين تدوير الجليكول وتركيب فواصل الخزان الفجائي في عوازل المياه بالجليكول.
- قد لا تكون عوازل المياه بالجليكول ذات فواصل الخزان الفجائي مرشحات جيدة لاستبدال المضخة المدعومة بالغاز نتيجة لاسترداد الغاز الزائد واستخدامه أو إعادة تصنيعه.
- يتم ذكر تخفيض معدلات انبعاث غاز الميثان الناتجة عن استبدال مضخات الجليكول المدعومة بالغاز بمضخات كهربائية في التقارير السنوية التي يتم تقديمها كجزء من برنامج ستار (STAR) للغاز الطبيعي.

الدروس المستفادة

المراجع

معهد البترول الأمريكي. مواصفات وحدات عزل المياه بالجليكول (مواصفات ١٢ "جي دي يو" GDU).

معهد البترول الأمريكي. عزل المياه بالجليكول. مجموعة التدريب على الفوائد/١٩٧٩.

بالارد، دون. كيف تحسن عزل المياه بالجليكول. شركة كوستال للمواد الكيميائية.

كولي، جيه إم هلافينكا، وإيه أشوورث. تحليلا لانبعاثات بي تي إي إكس (BTEX) من مرافق تحلية الأمين وعزل المياه ١٩٨٠ إجراءات مؤتمر لورانس ريد لتهيئة الغاز، نورمان. أوكيه.

جاريت، ريتشارد. الاختيار- نظرة على تكنولوجيا مضخات الجليكول التقليدية والبديلة.

معهد أبحاث الغاز. كتيب المرجع الفني جي آر آي- جي إل واي سي إيه إل سي (GRI -GLYCALC)، طبعة . TM 3.0 (GRI-96/0091)

معهد أبحاث الغاز وهيئة الحماية البيئية الأمريكية. انبعاثات الغاز من مضخات الجليكول المدعومة بالغاز، يناير/كانون ثان ١٩٩٦.

الاتصال الشخصي: شركة هانوفر للضواغط.

الاتصال الشخصي: شركة كيمراي- شركة راديان الدولية ذ.م.م "انبعاثات الميثان من صناعة الغاز الطبيعي ١٠كجم ١٥: مضخات الجليكول المدعومة بالغاز" مسودة التقرير النهائي. معهد أبحاث الغاز هيئة الحماية البيئية، إبريل/نيسان ١٩٩٦.

الاتصال الشخصي: شركة روتور- تك

تانيهيل سي سي، إل إشترهوف ودي ليبين. "تحدد متغيرات الإنتاج تكاليف عزل المياه من الجليكول".

مراسل صحفي عن النفط والغاز الأمريكي، مارس/آذار ١٩٩٤.

الاتصال: ينغلي، كيفين. برنامج ستار "STAR" للغاز الطبيعي التابع لهيئة الحماية البيئية الأمريكية.

هيئة الحماية البيئية الأمريكية. معايير الانبعاثات القومية لملوثات الهواء الضارة لفئات المصدر: إنتاج النفط والغاز الطبيعي ونقل الغاز الطبيعي ومعلومات عن خلفية التخزين للمعايير المقترحة. (EPA-453/R-94-079a، إبريل/نيسان ١٩٩٧).

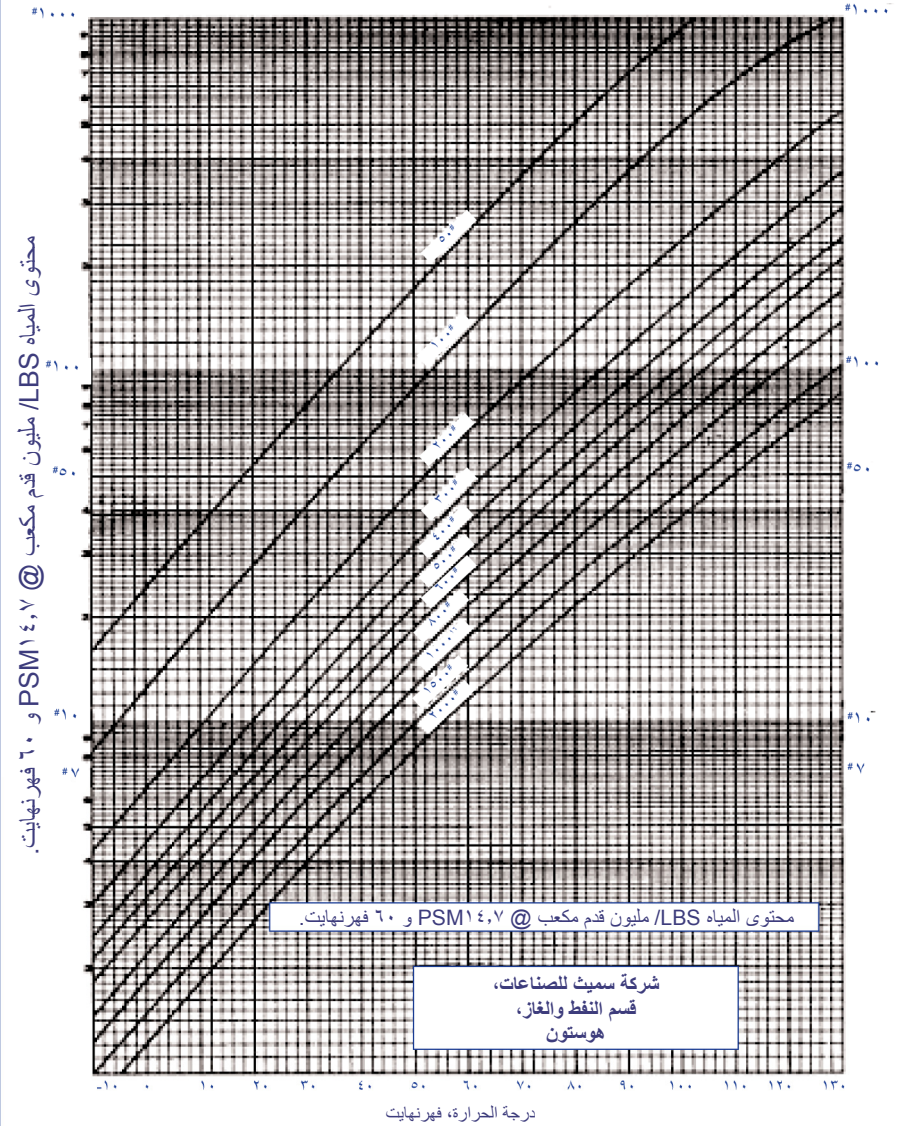
هيئة الحماية البيئية الأمريكية، الدروس المستفادة: تقليل معدلات تدوير الجليكول في عوازل المياه (B-EPA430-97-014، مايو/أيار ١٩٩٧).

هيئة الحماية البيئية الأمريكية، الدروس المستفادة: تركيب فواصل الخزان الفجائي (B-EPA430-97-008، أكتوبر/تشرين أول ١٩٩٧).

هيئة الحماية البيئية الأمريكية، الدروس المستفادة: طرق تقدير انبعاثات الميثان من أنظمة الغاز الطبيعي والنفط. برنامج تحسين موجودات الانبعاثات عدد ٣، فصل ٣، أكتوبر/تشرين أول ١٩٩٩.

الملحق (أ)

الرسم التوضيحي٣: المضخة الكهربائية



المصدر شركة كيمراي

الدروس المستفادة

1EPA
United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA xxx
xxx 2006

1EPA
الولايات المتحدة
وكالة الحماية البيئية
الهواء والإشعاع (٦٢٠٢ جيه)
١٢٠٠ طريق بنسلفانيا، إن دبليو
واشنطون، دي سي ٢٠٤٦٠

EPA xxx
٢٠٠٦ xxx