A-PDF Watermark DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

آب بند بدون نشتی جهت کمپرسورهای رفت و آمدی

ترجمه و تحقیق: مهدی چوبینی

کمپرسورهای رفت‌وآمدی بخشی ضروری در چرخه تأمین هیدروکربن می‌باشند. استحکام، انعطاف‌پذیری و توانایی آنها در اینکه به‌طور مستقیم از موتورهای محرک توسط گاز طبیعی به حرکت درآیند، آنها را در تولید گاز، تزریق دوباره گاز و خطوط انتقال با ارزش می‌سازد.

در پالایشگاه‌ها، کمپرسورهای رفت‌وآمدی با راندمان انرژی بالا و توانایی تولید فشارهای تا 3000psi و بالاتر، وسیله‌ای ایمن و اقتصادی جهت فشرده سازی هیدروژن و مخلوط‌های گاز غنی از هیدروژن می‌باشند.

در مقایسه با توربو کمپرسورها، کمپرسورهای رفت‌وآمدی ذاتاً به لطف ساختار عظیم و سرعت کارکرد پایین (عموماً چند صد دور در دقیقه) طول عمر زیادی دارند. و مجهز شدن آنها به ولوها و تجهیزات آب‌بندی و سیستم‌های کنترل ظرفیت جدید به خوبی کمپرسورهای رفت‌وآمدی را با راندمان بسیار بهینه حفظ کرده است.

با تأکیدات امروزی بر حداقل‌سازی آلودگی اتمسفر، به‌هرحال جنبه‌ای از کمپرسورهای رفت‌وآمدی وجود دارد که باید توسط کاربران به‌طور جدی مورد ملاحظه قرار گیرد و آن آب‌بندی میله پیستون[1] می باشد (شکل ۱). به کمک مواد جدید و تکنیک های طراحی به کمک کامپیوتر، عملکرد خوب پکینگ های میله پیستون همانند نوع BCD شرکت Hoerbiger می‌تواند نشتی صفر گاز را هنگامی که پکینگ‌ها نو است حاصل کند. اما به‌هرحال در طول زمان ساییدگی اجتناب‌ناپذیر است و با سایش آن، نشتی به‌وجود آمده که می‌تواند بار مالی و زیست محیطی داشته باشد.

با پیشرفت‌های اخیر در شرکت Hoerbiger، هم‌اکنون برای اولین بار حذف کامل نشتی گاز از این پکینگ‌ها ممکن شده است. سیستم آب‌بندی جدید **Xperseal** توسط روغن پر فشار، مانع نشتی گاز کمپرس شده می‌گردد و واقعاً آب‌بندی بدون نشتی را برای مدت طول عمر کمپرسور امکان‌پذیر ساخته است. این سیستم آب‌بندی از نظر خرابی، ایمن[2] بوده و می‌توان به آسانی کمپرسورهای موجود را به آن تجهیز نمود و همچنین به روغن مازاد بر مقدار مورد استفاده در کمپرسورهای معمولی جهت روغن‌کاری پکینگ نیاز ندارد.

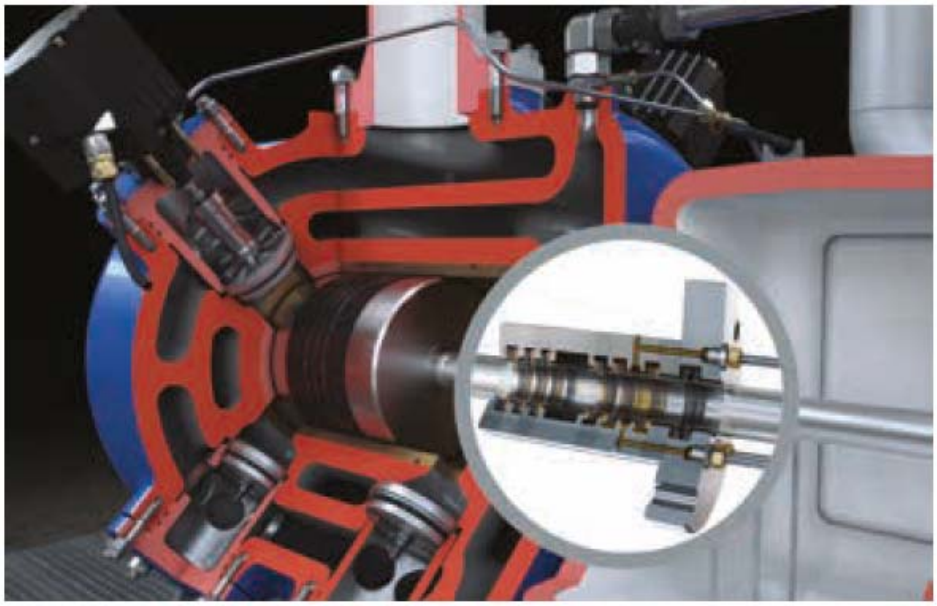
سیستم جدید آب‌بندی به‌طور موفقیت‌آمیز در سه واحد ارسال گاز طبیعی تست شده و در هر مورد

---

[1] piston rod
[2] Failsafe

http://www.mohandes-iran.com

Xperseal قادر به حذف نشتی گاز بوده است و مقدار روغن به‌کار رفته بیشتر از مقدار مورد نیاز در پکینگ‌های میله پیستون نوع معمولی نبوده است.



شکل ۱- پکینگ‌های معمولی که از مواد جامد ساخته شده‌اند همواره دارای مقداری نشتی می‌باشند.

- **پکینگ‌های معمولی عاقبت به نشتی می‌افتند:**

آب‌بندهای معمولی میله پیستون با عملکرد بالا از موادی مانند (PTFE)[1] گرافیت، برنز و الاستومرها ساخته شده‌اند. این مواد عملکرد خیلی خوبی دارند، ولی اجزای با صلبیت کمتر یا بیشتر از آنها هرگز نمی‌توانند به‌طور کامل خود را با سطح میله پیستون وفق دهد. تا زمانی که تماس لغزشی به صورتی است که مقداری سایش در طول زمان اجتناب‌ناپذیر است، نتیجه آن نشتی گاز می‌باشد.

هر پکینگ نوع روغن‌کاری شده معمولی در کمپرسور با سایز متوسط در بهترین حالت ۳۰۰lit/hr نشتی گاز دارد. لذا اغلب مجموع اتلاف در محدوده ۵۰۰-۱۵۰۰lit/hr در هر کمپرسور می‌باشد.

بیش از شش مرتبه در سال سایش و آسیب‌دیدگی پکینگ می‌تواند نرخ میزان نشتی را بسیار بالاتر ببرد و قیمت‌های بالاتر گاز طبیعی یا گازهای دیگر می‌تواند وضعیت اقتصادی را به شرایطی تغییر دهد که جلوگیری از نشتی بسیار ارزشمند است.

فاکتورهای دیگری که می‌تواند ضرر اقتصادی ناشی از نشتی‌های گاز را افزایش دهد؛ مثلاً هنگامی که

[1] PolyTetraFluoroEthylene

http://www.mohandes-iran.com

کمپرسور در حالت ساکن (استندبای) است، ماندن کمپرسور در حالت تحت فشار غیر متداول است. تحت این شرایط آب‌بندها، نرخ نشتی خیلی بالایی خواهند داشت. لذا راه‌حل معمول اضافه کردن آب‌بند استاتیک ویژه‌ای با هوای تحت فشار می‌باشد. این راه‌حل‌ها در عین حال که مؤثر هستند (اما خیلی قابل اعتماد در نظر گرفته نمی-شوند) و بر قیمت و پیچیدگی کل کمپرسور می‌افزایند.

همچنین ایمنی یک عامل افزایش دهنده هزینه ناشی از نشتی گاز می‌باشد، جهت جلوگیری از انتشار گازهای سمی و قابل احتراق، از جمله گاز طبیعی که شامل مقادیر چشم‌گیر بنزن می باشد. به‌عنوان مثال محفظه‌های پکینگ اغلب توسط نیتروژن (ازت) جهت پاک‌سازی پر می‌شوند. این باعث افزایش هزینه‌های کارکرد و اتلاف سرمایه می‌شود. خصوصاً زمانی که قطعه فاصله بین سیلندر و محفظه میل لنگ نیز پاک‌سازی شده است، کمپرسورهای فاقد قطعه فاصله[1] (API 618 , 6.12.1.3 Type B) ممکن است لازم باشد محفظه میل لنگ توسط ازت تحت فشار باشد تا مانع نشتی گاز قابل اشتعال شود که با روغن محفظه میل لنگ حل شده و دوباره باعث افزایش هزینه می‌شود.

نهایتاً به خوبی قابل بحث است که هزینه واقعی نشتی گاز طبیعی بسیار بیشتر از ارزش بازاری گاز هدر رفته است. به دلیل پتانسیل گاز متان در گرمایش شدید جهانی، ارزش متان باتوجه به هزینه‌های اجتماعی که کربن به بار می‌آورد، ۶-۱۸ برابر ارزش بازاری آن می‌باشد.

سازمان‌هایی که به‌طور جدی آثار کربن‌های رهاسازی شده‌شان را لمس می‌کنند و یا با مالیات کربن رهاسازی شده مواجه می‌شوند، به‌طور جدی درک می‌کنند که این چند برابر شدن هزینه‌ها رفع نشتی گاز را توجیه اقتصادی می‌کند.

- **یک راه‌حل جهت آب‌بندی بدون نشتی:**

در مواردی که هزینه‌های بالای گاز و یا عمر کوتاه پکینگ، مصرف کننده را به نرخ پایین نشتی ترغیب می-کند، Xperseal یک جایگزین بدون نشتی واقعی ارائه می‌کند. روش کار بدین گونه است که اطراف میله پیستون با روغن تحت فشار به جای رینگ‌های پکینگ احاطه می‌شود.

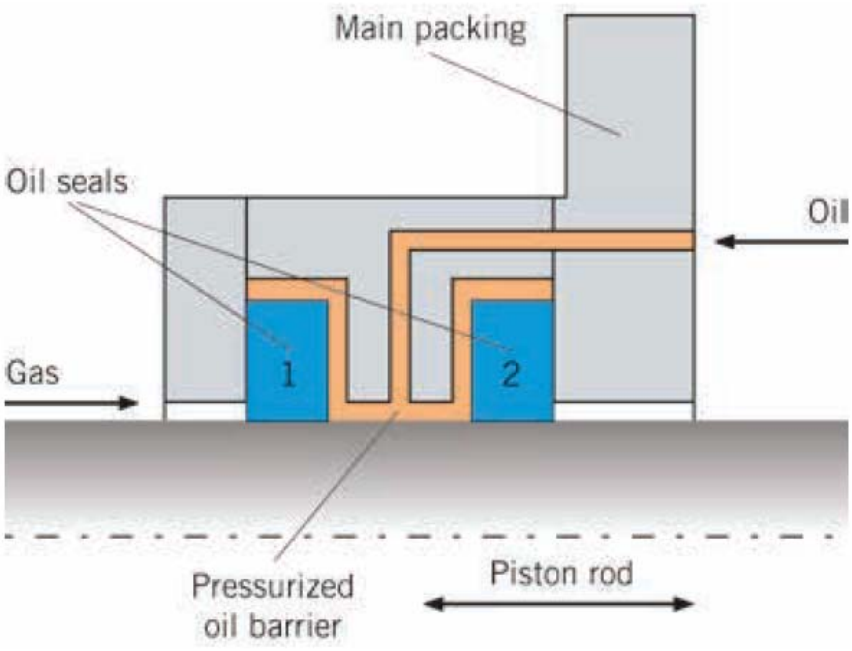
از آن‌جا که روغن به خوبی با سطح میله پیستون مطابقت می‌یابد، تا زمانی که فشار روغن بیشتر از فشار گاز داخل سیلندر است، امکان نشتی به بیرون وجود ندارد. این سیستم حتی زمانی که کمپرسور استندبای است

[1] Distance piece

http://www.mohandes-iran.com

کارآیی دارد، لذا کمپرسوری که باید زمان در سرویس نبودن تحت فشار باشد، جهت زمان استاتیک به‌عنوان پشتیبان سیستم Xperseal نیاز به سیل اضافی ندارد.

روغن برگشتی توسط دو رینگ آب‌بندی با طراحی خاص در جای خود نگه داشته شده است (۱ و ۲ در شکل ۲).



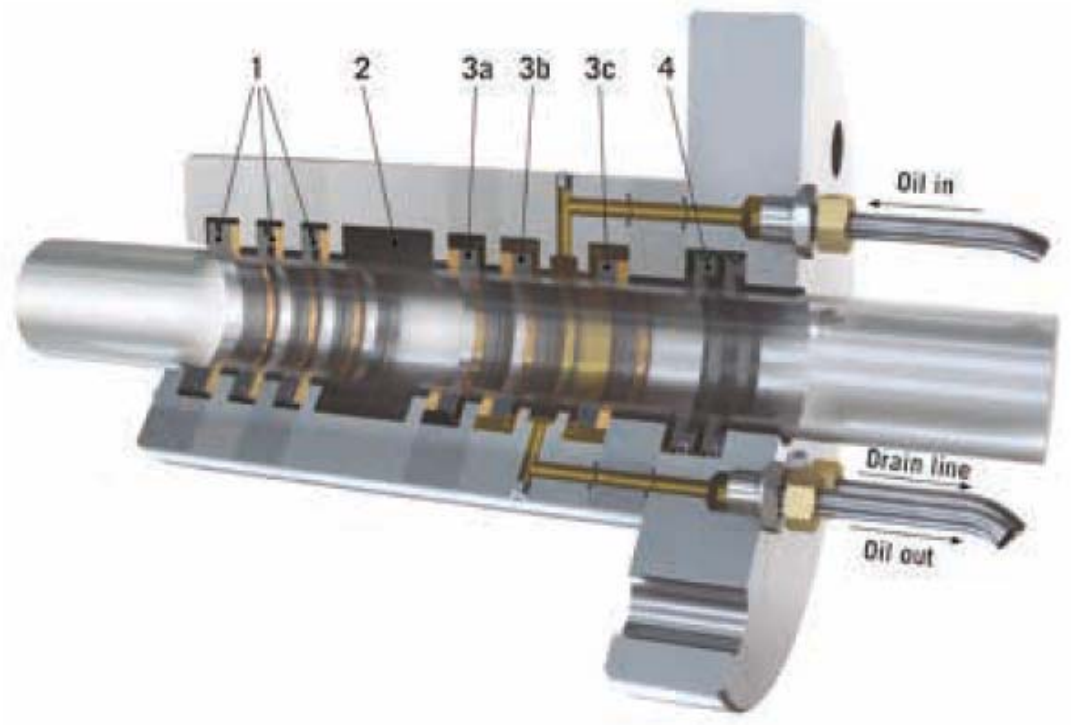
شکل ۲- طراحی پکینگ جدید جهت جلوگیری از نشتی، روغن تحت فشار را به کار می‌گیرد. روغن در گردش توسط دو عدد رینگ آب‌بندی نگهداری می‌شود.

برخلاف رینگ‌های آب‌بندی در محفظه پکینگ معمولی، اصول کار به آسانی مشخص می‌شود. در حقیقت مقایسه کارکرد سیل‌های روغنی با سیل‌های گازی استاندارد بسیار چالش برانگیز است. این رینگ‌ها تقریباً بدون اصطکاک عمل می‌کنند. زیرا آنها همواره روی فیلمی از روغن حرکت می‌کنند.

به علاوه رینگ‌های سیل روغنی (شکل ۳: 3a، 3b، 3c)، Xperseal دارای ۲ یا ۳ رینگ پکینگ تکی معمولی (۱) یک حجم حائل[1] (۲) و یک رینگ جاروب‌کن (۴) می‌باشد. تمام رینگ‌ها، به همراه میله پیستون قادر به جابجایی به صورت عرضی می‌باشند. هرگونه نشتی روغن که از رینگ‌های آب‌بندی روغن عبور کند در سمت محفظه میل لنگ (3c) توسط رینگ جاروب کن از روی میله پیستون زدوده و جمع‌آوری شده و توسط مسیر تخلیه به مخزن بازمی‌گردد.

[1] Buffer volume

http://www.mohandes-iran.com



شکل ۳- مقطع عرضی پکینگ جدید بدون نشتی، سیلندر در سمت چپ و محفظه میل‌لنگ در سمت راست قرار دارد.

حجم حائل (۲) فشار گاز را که در برابر آن روغن عمل می‌کند، می‌کاهد. فشار روغن را کمی بالاتر از فشار ورودی سیلندر تنظیم می‌کنیم. لذا فشار و بار روی رینگ‌های روغنی آب‌بندی کاهش می‌یابد.

بدون حائل فشار روغن باید بالاتر از فشار خروجی سیلندر تنظیم شود. لذا فشار و نرخ سایش بیشتر خواهد بود. فشار در حجم حائل به کمک رینگ‌های پکینگ معمولی (۱) در فشار ورودی باقی می‌ماند.

هرگونه نشتی که از این رینگ‌ها عبور کند، طی کورس فشردگی (کمپرس) در سیلندر باعث افزایش فشار در حائل می‌شود، اما باتوجه به اینکه رینگ‌ها تکی[1] می‌باشد، فوراً فشار طی کورس مکش کاهش می‌یابد. در عمل، حتی رینگ‌های ساییده شده قادرند فشار در حجم حائل را در فشار مکش حفظ کنند.

- **پمپ باعث کاهش هدر رفتن روغن می‌شود:**

تا اینجای کار خوب است اما از آن‌جا که رینگ‌های آب‌بندی جهت نگهداری روغن در محل خود مورد نیازند، روغن همواره از رینگ‌های آب‌بندی نشتی خواهد داشت، درست مانند گاز که از یک محفظه پکینگ معمولی نشتی می‌کند. به‌هرحال، دو تفاوت مهم از حالت معمولی وجود دارد:

[1] single acting

http://www.mohandes-iran.com

اول اینکه، ویسکوزیته بسیار بالاتر روغن در مقایسه با گاز باعث می‌شود که نرخ نشتی بسیار آهسته‌تر باشد. دوم اینکه تقریباً تمام روغنی که از پکینگ‌ها نشتی می‌کند دوباره با حرکت میله پیستون به داخل پمپ می‌شود.

تصور یک آب‌بند که روغن را پمپ می‌کند برخلاف درک و حس به‌نظر می‌رسد اما در حقیقت این یک خصوصیت شناخته شده آب‌بندهای هیدرولیکی است. تفاوت در این‌جاست که این اصل هرگز در آب‌بندی‌های کمپرسورها به کار گرفته نشده است.

یک مقیاس از سختی مسئله آب‌بندی، حاصل از اختلاف فشار و سرعت متوسط میله پیستون است که به‌عنوان مجموع بار[1] شناخته می‌شود. در مورد آب‌بند نو این بسیار بیشتر از یک نوع سیل هیدرولیکی می‌باشد. دلیل دیگر این است که آب‌بند کمپرسور باید در محدوده بیشتری از حرکت میله پیستون در جهت عمود بر محور حرکت اصلی تطبیق یابد.

مطرح کردن یک آب‌بند روغنی که به‌طور مؤثر پمپ خواهد کرد، نیازمند فهم جریان ویسکوز، هیدرودینامیک و الاستیسیته می‌باشد. لبه سیل[2] مورد طراحی واقع شده است، لذا حرکت میله پیستون فیلم روغنی را داخل یک شکاف[3] باریک هل می‌دهد. با افزایش سرعت روغن، فشار هیدرودینامیک زیاد می‌شود. اگر این فشار به میزان کافی زیاد باشد، روغن را به داخل محفظه پکینگ برمی‌گرداند. از آن‌جا که شکل لبه آب‌بند تحت فشار تغییر شکل می‌یابد، محاسبه طراحی یک فرایند مکرر می‌باشد.

با تکرار فرآیند طراحی، مهندسین Hoerbiger موفق به بهبود رینگ‌های آب‌بندی شدند به طوری که قادر به برگشت ۹۹٪ نشتی روغن به داخل محفظه پکینگ طی کورس پیستون می‌باشد. نتیجه اینکه روغن هدر رفته خالص بیشتر از نوع پکینگ روغن‌کاری شده معمولی نمی‌باشد.

معمولاً ۱/۵-۰/۵ lit/day به ازای هر پکینگ و چون که رینگ‌های آب‌بندی همواره روی یک فیلم روغن حرکت می‌کنند، تقریباً سایش آنها صفر می‌باشد.

بنابراین هسته سیستم جدید سه هدف اولیه طراحی را فراهم می‌کند. مصرف روغن بیشتر از نوع پکینگ‌های معمولی نمی‌باشد، عملکرد پایدار و مداوم در محدوده وسیعی از شرایط کارکرد و سیکل‌های روشن و خاموش بسیار، و حداقل ۸۰۰۰ ساعت فاصله بین هر وقفه کارکرد.

---

[1] Load collective
[2] Lip
[3] gap

http://www.mohandes-iran.com

شکل ۴- واحد مرکزی تأمین کننده روغن، ترکیبی از یک پمپ روغن و کولر روغن بوده و وظیفه کنترل و مانیتورینگ و ایمنی را نیز بر عهده دارد.

- **تضمین کردن یک سیستم ایمن:**

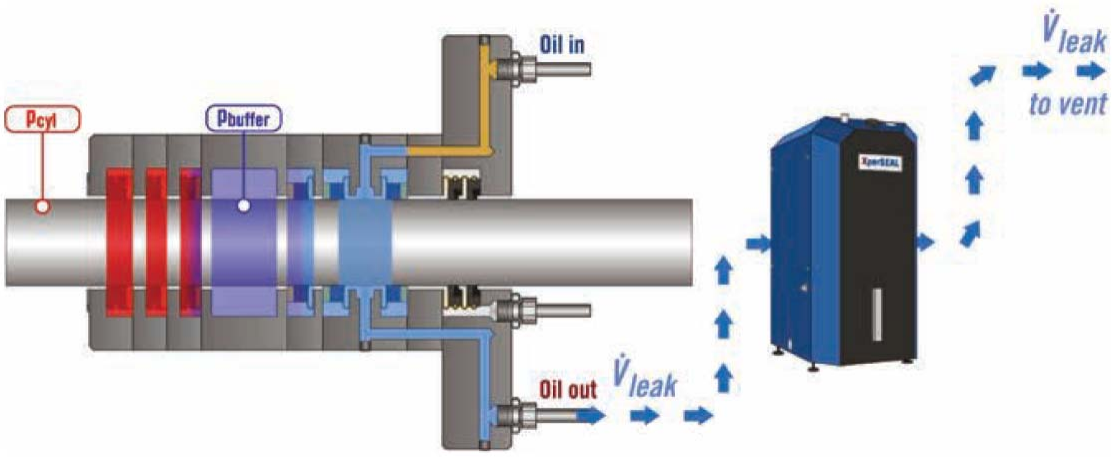
روغن تحت فشار برای محفظه پکینگ از یک تأمین کننده (مخزن) روغن که جهت این سیستم طراحی شده، می‌آید. که این مخزن جهت کار به صورت ضد انفجاری (محیط مستعد انفجار) تأیید شده است (شکل ۴).

این مخزن، روغن را با نرخ جریان و فشار مشخص به گردش درمی‌آورد. از طریق کانال‌هایی در barrier (شکل ۲) روغن، حرارت ناشی از اصطکاک آزاد شده از رینگ‌های آب‌بندی را با خود منتقل می‌کند. در مسیر برگشت، روغن توسط مبدل حرارتی خنک می‌شود لذا نیاز به خنک کننده پکینگ اضافی (جداگانه) نمی‌باشد. بسته به اندازه و سرعت میله پیستون و فشار گاز، یک واحد مخزن یا تأمین کننده روغن (Oil unit) می‌تواند ۶ محفظه پکینگ را تأمین کند.

مخزن روغن همواره دما، فشار و سطح روغن را به‌صورت دائمی بررسی می‌کند. در مواقعی که اتلاف روغن و یا افت فشار و سطح سیال زیاد باشد، سیستم به صورت خودکار به مود ایمن[1] تغییر می‌یابد (شکل ۵ مسیر پایین)

[1] failsafe mode

http://www.mohandes-iran.com



شکل ۵- عملکرد عادی (بالا) و مود ایمن (پایین). در مود ایمن سیستم به صورت یک سیستم پکینگ معمولی که نشتی را ونت می‌کند، عمل می‌نماید.

در مود ایمن سیستم به صورت پکینگ‌های معمولی که فشار بالاتر را به بیرون ونت می‌کند، عمل می‌نماید، بدون نیاز به منبع تأمین نیرو (توان). رینگ‌های پکینگ معمولی (۱ در شکل ۳) وظیفه آب‌بندی گاز را به عهده دارند و مسیر تأمین روغن به‌عنوان مسیر ونت (تهویه) عمل می‌کند. حجم حائل در فشار اتمسفر (ونت) می‌باشد، و رینگ آب‌بندی روغن در پایین دست (3c در شکل ۳) به‌عنوان آب‌بند ونت عمل می‌کند.

کاربرد حجم حائل جهت کاهش فشار روغن دارای این پتانسیل است که به‌عنوان مانع عمل کند. اگر کمپرسور تحت فشار باقی بماند، زمانی که آن در حالت ساکن و استندبای است، تحت این شرایط، یک شیر مسیر تخلیه می‌تواند اجازه دهد که فشار حائل تا فشار خروجی سیلندر افزایش یابد که بالاتر از فشار روغن است. لذا مخزن تأمین روغن به صورت موقت زمانی که کمپرسور در حالت استندبای است فشار روغن را افزایش می‌دهد.

چون که محفظه پکینگ از مواد منحصر به فرد ساخته شده است، سیستم به آسانی قابل بهبود و تعمیر بوده و می‌توان آن را برای هر اندازه کمپرسوری طراحی کرد.

جمع بندی:

اساسی‌ترین چالش در ایجاد سیستم آب‌بندی جدید انتخاب مشخصات برای آب‌بند اصلی بود، که با سیستم پمپاژ مؤثر آمیخته شده و بنابراین اتلاف روغن کم با قابلیت اطمینان بالا دارد. مهندسین Hoerbiger از طریق برنامه‌ریزی گسترده از محدوده آزمایشگاهی و تست روی کمپرسور آزمایشگاهی در داخل شرکت تا کارکرد در دنیای واقعی در سایت‌های شرکت‌های مصرف کننده به این مهم دست یافتند.

http://www.mohandes-iran.com

هزاران ساعت کارکرد داخل سایت مؤید کارکرد مناسب طرح حاضر می‌باشد. این آزمایش‌ها در واحد جمع‌آوری، واحد تصفیه گاز طبیعی، کمپرسور گاز ایستگاه سوخت‌رسانی ناوگان اتوبوس‌های شهری و کمپرسور بزرگ خنک‌سازی گاز پروپان انجام شده است.

در کارکرد سیستم‌های طراحی شده بدین صورت، نشتی گاز صفر بوده است. همچنین طراحی ایمنی نیز به صورت گسترده تحت شرایط عملیاتی بوده است. بزرگ‌ترین چالش نگه داشتن مصرف روغن در سطح قابل قبول بوده است. بعد از چندین طراحی مکرر، مشخصه سیل حاضر، حفظ مصرف روغن در میزان و یا زیر اندازه قبلی‌اش در هر سه واحد شرح داده شده، می‌باشد.

در مجموع، این رویکرد جدید برای آب‌بندی میله پیستون کمپرسور به ما اطمینان می‌دهد:

- کاملاً بدون نشتی گاز
- بدون افزایش در مصرف روغن، و معمولاً کاهش مصرف
- بدون تهویه (پرج) گاز مگر تحت شرایط خرابی
- بدون نیاز به سیستم جداگانه خنک‌سازی پکینگ
- بدون نیاز به سیستم آب‌بندی استاتیک اضافی در مواقعی که کمپرسور در حالت استندبای، تحت فشار باقی می‌ماند.
- قابلیت مانیتورینگ دائمی و پیوسته.

پکینگ جدید بدون نشتی، مورد نیاز و مناسب همه کمپرسورهای رفت‌وآمدی نخواهد بود. اما مطمئناً، در مواردی که نشتی پایین گاز به سختی حاصل می‌شود یا جایی که ایمنی یا محدودیت‌های زیست محیطی به‌صورت محدوده‌های سخت‌گیرانه‌ای تنظیم شده جهت رسیدن به نرخ نشتی قابل قبول بسیار جذاب می‌باشد.

مرجع:

Christian Hold, Hoerbiger Ventilwerke GmbH & co. KG, Austria; SEAL IT UP; *HYDROCARBON ENGINEERING* pp 63-70 (June 2015)

http://www.mohandes-iran.com