



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-037

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

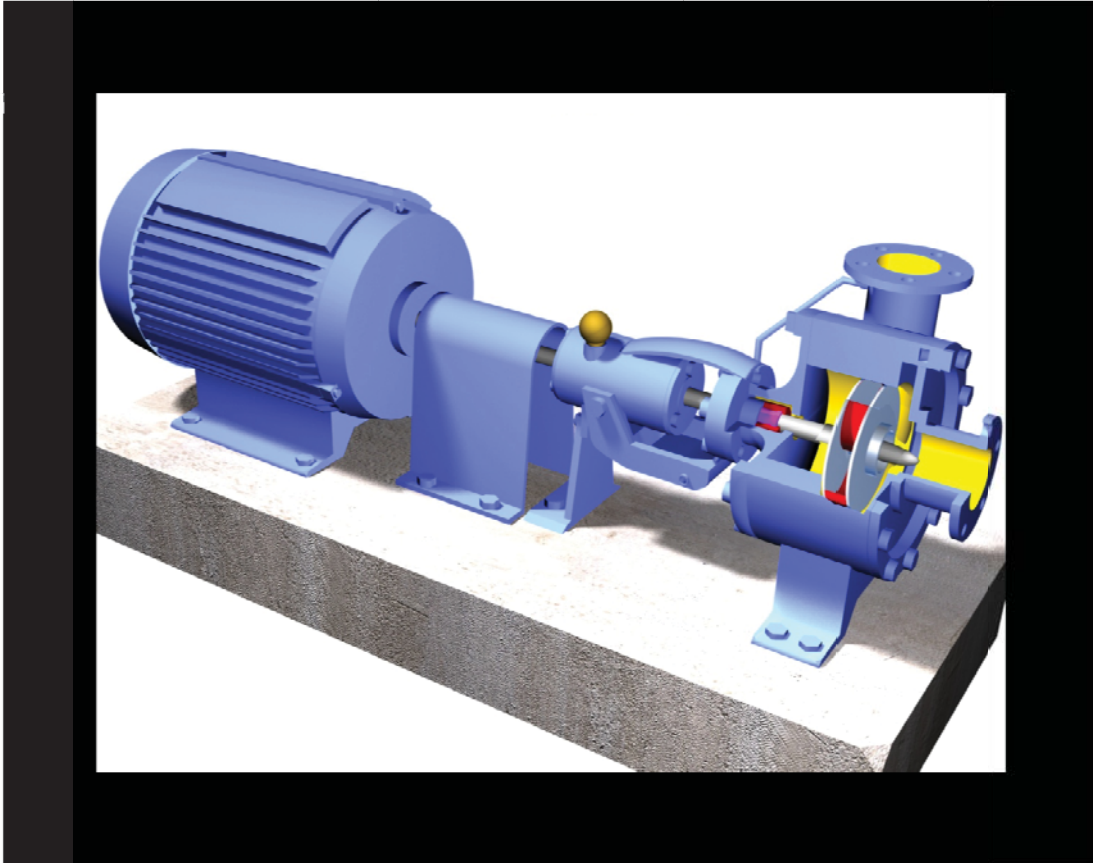
شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.

مقدمه‌ای بر پمپ‌های سانتریفیوژ



Introduction to Centrifugal Pump

پمپ یا تلمبه وسیله‌ای مکانیکی برای انتقال مایعات است که با افزایش فشار جریان آن، امکان جابجایی مایعات را به ارتفاعی بالاتر (با افزایش هد^۱) یا حتی پایین‌تر (معمولاً حوضچه یا مخزن) فراهم می‌آورد. به‌طور کلی پمپ به دستگاهی گفته می‌شود که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی اخذ و به سیالی که از آن عبور می‌کند، انتقال دهد. در نتیجه انرژی سیال پس از خروج از این پمپ افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر پمپ دستگاهی است که انرژی مکانیکی را به انرژی هیدرولیکی تبدیل می‌کند و نتیجه آن افزایش انرژی پتانسیل (فشار سیال عبوری از پمپ) و یا انرژی جنبشی (سرعت سیال) و انتقال سیال می‌باشد. در پمپ‌ها تغییرات انرژی سیال همواره به صورت تغییر فشار سیال مشاهده می‌گردد. از پمپ‌ها برای انتقال سیال به یک ارتفاع معین و یا جابه‌جایی آن در یک سیستم لوله‌کشی و یا هیدرولیک استفاده می‌شود. به عبارت کلی‌تر از پمپ برای انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر استفاده می‌کنند.

۱. تاریخچه

نیاز انسان به آب و جابجایی آن از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر سبب شد که انسان به فکر ساخت دستگاهی که این مشکل را برطرف کند بیافتد. اولین نمونه از پمپ‌ها که نیروی محرک آن‌ها توسط انسان یا حیوانات تامین می‌شد، توسط مصریان باستان در ۱۷ قرن پیش از میلاد مسیح ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفت. آن‌ها توانسته بودند آب را با پمپ‌های رفت و برگشتی از عمق ۹۱.۵ متری زمین بیرون بکشند. در یونان باستان نیز پمپ‌های رفت و برگشتی با طرح ساده ۴ قرن قبل از میلاد ساخته شده بود. تاریخ مشخصی در مورد ابداع پمپ‌های سانتریفیوژ^۲ وجود ندارد، اما گفته می‌شود که نقاشی‌های لئوناردو داوینچی در قرن پانزدهم میلادی نشان می‌دهد که چگونه در آن زمان با اعمال نیروی گریزازمرکز به آب درون یک لوله خمیده، آب را تا مقدار معینی بالا می‌برده است. اولین پمپ‌های سانتریفیوژ در اواخر قرن هفدهم و اوایل قرن هجدهم توسط مهندسين فرانسوی و ایتالیایی ساخته شده و کاربرد عملی یافتند (۱۷۳۲). در نیمه‌های قرن نوزدهم عیب اصلی پمپ‌های رفت و برگشتی که عبارت از مقدار دبی پایین می‌باشد، موجب این شد که پمپ‌های سانتریفیوژ با استقبال بیشتری روبرو شده و جایگاه وسیع‌تری در صنعت پیدا کنند.

¹ Head

² Centrifugal

۲. اساس مکش پمپ ها

هوا در سطح زمین دارای فشاری معادل ۱۴/۶ پوند بر اینچ مربع و یا یک کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد. لوله طویلی را در نظر بگیرید که یک انتهای آن بسته شده است، اگر این لوله را پر از آب کرده و آن را بطور وارونه در تشت حاوی آب قرار دهیم، سطح آب در درون لوله رفته رفته پایین می آید و این عمل تا زمانی که فشار هوای خارج (اتمسفر) و فشار حاصل از ستون آب به درون لوله به یک اندازه برسند، ادامه خواهد یافت. به تجربه دیده شده است که تعادل مذکور هنگامی حاصل می گردد که ارتفاع آب درون لوله برابر با ۳۲ فوت (۱۰ متر) باشد. بنابراین ستونی از آب به ارتفاع ۱۰ متر، دارای فشاری معادل یک کیلوگرم بر سانتی متر مربع است. حال چنانچه لوله ای طویل را در یک انتها مسدود نموده و انتهای دیگر آن را به ظرف حاوی آب وارد سازیم و هوای درون لوله را تخلیه کنیم، خواهیم دید که آب لوله با فشار اتمسفر (یک کیلوگرم بر سانتی متر مربع) به طرف بالا حرکت می کند. اگر بتوان تمام هوای درون لوله را تخلیه نمود، سطح آب درون لوله تا ارتفاع ۳۲ فوت بالا می رود. انجام این کار، یعنی تخلیه کامل هوا و صعود سطح آب به ارتفاع ۱۰ متری که امکان پذیر نیست، چرا که حدوداً در ارتفاع ۶ تا ۶/۷ متر عمل بالا رفتن متوقف می گردد و سطح آب به صورت ساکن، باقی می ماند. علت این امر وجود وزن ستون آب است که در عمل تعادل فشار هوای بیرون و درون لوله مداخله نموده و این عمل را سرعت می بخشد.

اولین کار پمپ عبارت است از تخلیه هوا از درون لوله مکش. این عمل باعث می شود که فشار اتمسفر بتواند به مایعات فشار وارد نموده و آن ها را به قسمت چرخنده پمپ و یا پیستون هدایت نماید. کار دوم پمپ عبارت است از دادن انرژی به مواد سیال و هدایت آن ها از محفظه پمپ (محل قرار گرفتن قسمت چرخنده) به مقصد نهائی.

۳. طبقه بندی پمپ ها

دسته بندی های مختلفی از پمپ ها بر حسب مورد کاربرد، جنس مواد تشکیل دهنده آن ها، مایعی که پمپ می کند، حتی وضعیت نصب می شود و غیره به عمل آمده است. همانند پمپ های شیمیایی، پمپ های پلاستیکی، پمپ های عمودی یا افقی، تغذیه بویلرها^۳، پمپ های همه کاره، چاه عمیق پالایشگاه، پمپ های خلاء، پمپ های فاضلابی و غیره. در یکی از تقسیم بندی های جامع و رایج، پمپ ها را بر مبنای نحوه انتقال انرژی به سیال به گروه های زیر تقسیم بندی می کنند:

³ Boilers

۱- پمپ‌های روتودینامیکی^۴

۲- پمپ‌های جابه‌جایی مثبت^۵

۳- پمپ‌های دیگر

سه دسته فوق را از جهات گوناگون می‌توان با هم مقایسه کرد:

- حداکثر انرژی (فشار) ایجاد شده توسط پمپ‌های روتودینامیکی محدود بوده (به همد معروف است) که با بستن شیر خروجی به طور کامل (شدت جریان صفر) به وجود می‌آید، در حالی که حداکثر فشار پمپ‌های جابه‌جایی با توجه به فشار سیستم تعیین می‌شود. یعنی پمپ تا جایی که مورد نیاز سیستم باشد فشار خود را به آن حد می‌رساند.
- در پمپ‌های روتودینامیکی انرژی افزوده شده ابتدا به سرعت تبدیل شده و سپس در حلزونی و سر انجام در دیفیوزر به فشار تبدیل می‌شود در حالی که در پمپ‌های جابه‌جایی مثبت، انرژی مورد نظر مستقیماً به فشار تبدیل می‌شود.
- در پمپ‌های روتودینامیکی انرژی بطور پیوسته و بدون انقطاع به مایع افزوده می‌شود در صورتی که در پمپ‌های جابه‌جایی مثبت، انرژی در پریودهای معینی به مایع تزریق می‌شود.
- اصولاً پمپ‌های جابه‌جایی مثبت برای مقادیر جریان اندک در فشارهای بالا و مایعات لزج به کار می‌روند و پمپ‌های روتودینامیک برای فشارهای متوسط و جریان‌های زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳.۱. پمپ‌های روتودینامیکی (سانتریفیوژ)

ساختمان این نوع پمپ‌ها به صورتی است که بر روی محور دوار (در مرکز پمپ) پره‌هایی قرار داده شده که با دوران خود مایعات و مواد سیال را به اطراف پرتاب می‌نمایند. جداره این پمپ به صورت حلزونی ساخته شده و مایع که دارای سرعت نیز می‌باشد از قسمت حلزونی به طرف مدخل خروجی پمپ رانده می‌شود. سیالی که در اطراف پره‌ها موجود است در اثر حرکت دورانی محور به اطراف پرتاب شده و در نتیجه در اطراف محور خلاء ایجاد می‌شود و بدین ترتیب سیال از مجرای ورودی به داخل محفظه حلزونی شکل پمپ مکیده شده و از مجرای خروجی به خارج منتقل می‌گردد.

⁴ Roto-dynamic

⁵ Positive Displacement

راندمان پمپ به موقعیت قرار گرفتن پره‌های پمپ، فاصله آن از محفظه حلزونی شکل و سرعت حرکت محور بستگی دارد. زاویه قرار گرفتن پره‌های پمپ نیز در بالا بردن راندمان پمپ مؤثر است. مثلاً چنانچه وضعیت پره‌های پمپ نسبت به مرکز به صورت عمودی باشد راندمان پمپ کمتر از زمانی است که پره‌ها بطور مایل بوده و در جهت حرکت مایع به صورت منحنی قرار گرفته باشند. به علت اینکه سیال در اثر حرکت دورانی محور به اطراف پرتاب شده و در مرکز پمپ خلاء ایجاد می‌شود، دهانه لوله ورودی در پمپ‌های سانتریفیوژ در مرکز قرار دارد تا با استفاده از خلاء ایجاد شده در این محل انتقال سیال سریع‌تر و بهتر انجام گیرد. پمپ‌های گریز از مرکز دارای دو امتیاز برجسته می‌باشند: اولاً جریان مایع در آن‌ها یکنواخت است. ثانیاً اگر لوله خروجی پمپ مسدود یا تنگ شود، فشار زیادی که برای ساختمان پمپ مضر باشد تولید نکرده و بار آن به اندازه‌ای نمی‌رسد که موتور محرک پمپ را از کار بیندازد. برای بکار انداختن پمپ باید همیشه محفظه آن را از مایع مورد پمپاژ پر نموده و هوای محبوس در محفظه را خالی نمود. این عمل را آب‌گیری می‌نامند. هرگاه پمپ در سطحی پایین‌تر از مخزن حاوی مایع مورد استفاده واقع شود، لزومی به آب‌گیری نخواهد بود. به این علت که محفظه پمپ همواره پر از مایع بوده و در نتیجه محفظه خالی از هواست. ساختمان پمپ-های گریز از مرکز در ابتدا بسیار ساده بوده و فقط شامل پره، پوسته و محور بودند و لیکن به علت نیاز روزافزون به این پمپ‌ها، به سرعت تکامل یافته و ساختمان آن‌ها پیچیده‌تر شد و قطعات دیگر به آن‌ها افزوده شدند از قبیل رنگ‌های سایشی، نوارهای آب-بندی، پره‌های ثابت برای هدایت بهتر آب در خروج از پره متحرک و ورود به محفظه حلزونی و غیره. لازم به ذکر است که پره پمپ‌های سانتریفیوژ به سه دسته تقسیم می‌گردند: باز، نیمه باز و بسته.

۳.۱.۱. خصوصیات برجسته پمپ‌های سانتریفیوژ

- آرام و یکنواخت بودن جریان تخلیه مایع در آن‌ها
- متنوع بودن این پمپ‌ها با خصوصیات زیاد و گوناگون
- رضایت‌بخش بودن راندمان
- تناسب برای کار کردن با موتورهای برقی و موتورهای احتراقی
- پایین بودن هزینه نگهداری
- دامنه کاربرد آن‌ها در پروژه‌های کشاورزی، صنعتی و آبرسانی فوق‌العاده بالاست، زیرا از نظر دبی و ارتفاع تولیدی وسعت زیادی را پوشش می‌دهد.

- فضای کمتری را متناسب با قدرت تولیدی اشغال می‌کنند.

۳.۱.۲. طبقه‌بندی پمپ‌های سانتریفیوژ

پمپ‌های سانتریفیوژ به شیوه‌های متفاوتی می‌توانند طبقه‌بندی شوند. یکی از این طبقه‌بندی‌ها، طبقه‌بندی پمپ‌های سانتریفیوژ بر اساس موقعیت قرارگیری محور شفت پمپ است. طبقه‌بندی‌های دیگر بر اساس تعداد طبقات پمپ، محل قرارگیری فلنج مکش، نوع یاتاقان‌های پایه، انواع تکیه‌گاه و پایه قرارگیری پمپ و غیره می‌باشد.

۳.۱.۲.۱. پمپ‌های سانتریفیوژ بر اساس موقعیت قرارگیری محور شفت پمپ

- پمپ‌های سانتریفیوژ عمودی

عملکرد این پمپ به این صورت است که در آن سیال موازی محور وارد پروانه پمپ شده و عمود بر آن خارج می‌گردد. این پمپ‌ها معمولاً برای ایجاد فشارهای بالا در دبی‌های کم به کار می‌روند.



شکل ۱- پمپ‌های عمودی OH3 و VS4/SL ساخت شرکت آریا سپهرکیهان

• پمپ‌های سانتریفیوژ افقی

سیال موازی محور وارد پمپ می‌گردد و به طور موازی نسبت به محور خارج می‌گردد. در این پمپ قسمت اعظم فشار مایع را نیروی پرتاب پره‌های پروانه تامین می‌کند. این پمپ برای تولید دبی‌های زیاد با ارتفاع کم کاربرد دارد.



شکل ۲- پمپ‌های افقی OH1 و OH2 ساخت شرکت آریا سپهرکیهان

۳.۱.۳ کاربرد پمپ‌های سانتریفیوژ

دامنه کاربرد پمپ‌های سانتریفیوژ بسیار وسیع بوده، و در صنایع شیمیایی، کاغذسازی، صنایع غذایی و لبنیات، فلزات مذاب، آب- وفاضلاب، دفع موادزائد، نفت و پتروشیمی و دیگر مواد به‌کار می‌روند. از نظر ظرفیت و هد، توانایی این پمپ‌ها برای ظرفیت‌های بالا و متوسط می‌باشد. البته دو کمیت هد و ظرفیت، مستقل از هم نیستند و به شکل، اندازه و سرعت پروانه بستگی دارند.

۳.۲ پمپ‌های جابه‌جایی مثبت

پمپ‌های جابه‌جایی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۳.۲.۱ پمپ‌های رفت‌وبرگشتی^۶

این نوع پمپ‌ها وسایلی هستند که انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به صورت دوره‌ای می‌باشد. نیروی محرکه این نوع پمپ‌ها نیز غالباً توسط موتورهای الکتریکی تامین می‌گردد. در این نوع پمپ‌ها حرکت چرخشی میل‌لنگ تبدیل به حرکت رفت‌وبرگشتی پیستونی در یک سیلندر می‌شود. با عقب رفتن پیستون در سیلندر ایجاد مکش شده و در نتیجه مایع از طریق یک شیر ورودی داخل سیلندر می‌گردد. با حرکت پیستون به طرف جلو دریچه ورودی بسته و مایع از طریق شیر خروجی به خارج هدایت می‌گردد. شیرهای

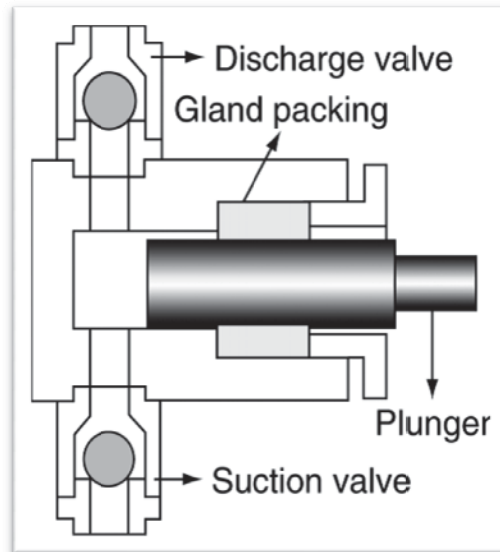
^۶ Reciprocating pumps

ورودی و خروجی یکطرفه بوده و طوری ساخته شده‌اند که در مراحل رفت و آمد پیستون، از ورود مایع داخل سیلندر به قسمت کم‌فشار و بالعکس ممانعت شود. اگر به‌جای پیستون، پلانجری در داخل سیلندر رفت‌وآمد کند در این حالت به آن پمپ پلانجری^۷ می‌گویند. در ضمن چنانچه پلانجر دیافراگمی را حرکت دهد پمپ از نوع دیافراگمی است. فرق میان پیستون و پلانجر در این است که طول سر پیستون کوتاه‌تر از مسافتی است که پیستون درون سیلندر طی می‌نماید، در حالی که طول پلانجر بیشتر از طول مسافت طی‌شده توسط آن در داخل سیلندر می‌باشد. از طرفی در پمپ‌های پیستونی از حلقه یا رینگ جهت آب‌بندی پیستون و سیلندر استفاده شده است که روی بدنه پیستون قرار گرفته و همراه آن حرکت می‌کند، در حالی که در پمپ‌های پلانجری این رینگ روی سیلندر قرار دارد و ثابت است. این پمپ‌ها معمولاً دارای ظرفیت کمی هستند ولی فشار خروجی سیال را می‌توانند تا مقدار زیادی افزایش دهند. بنابراین از این پمپ‌ها در جاهایی که نیاز به جابه‌جا کردن سیالی با حجم کم ولی فشار بالا باشد استفاده می‌کنند. در ضمن باید به این نکته نیز توجه داشت که جریان سیال در این پمپ‌ها به صورت غیریکنواخت می‌باشد. نکته بسیار مهم در مورد این پمپ‌ها آن است که هرگز نباید آن‌ها را درحالی‌که شیر خروجی پمپ (تخلیه پمپ) بسته است روشن نمود. یکی از خصوصیات اصلی این پمپ‌ها این است، در زمانی که پمپ مشغول کار می‌باشد بایستی محلی برای تخلیه مایع مکیده شده موجود باشد. این نکته‌ای مهم و قابل توجه است و چنانچه مسئول بهره‌برداری از پمپ بخواهد اقدام به بستن مجرای خروجی آن نماید، باید کاملاً مطمئن گردد که مجرای خروجی دیگری برای تخلیه مایع وجود دارد. در غیر این صورت بر روی قطعات پمپ فشار وارد شده و ممکن است که منجر به سوختن الکتروموتور، از کار افتادن پمپ، سوختن فیوز و ترکیدن محفظه و لوله‌ها و سایر معایب دیگر شود. پمپ‌های رفت‌وبرگشتی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

• پمپ‌های پیستونی (پلانجری)

این نوع پمپ‌ها در طرح‌ها و اندازه‌های مختلف ساخته شده و کاربردهای بسیاری دارند و بر حسب احتیاج می‌توان این پمپ‌ها را به طریقی ساخت که فشار زیاد بوجود آورند و یا این‌که فقط عمل انتقال مایعات را بدون ایجاد فشار انجام دهند.

⁷ Plunger pumps

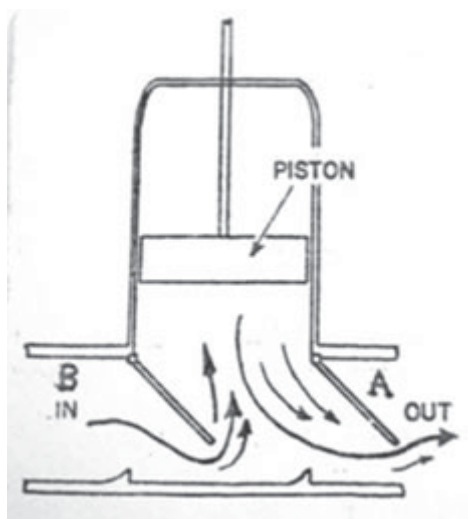


شکل ۳- پمپ پیستونی

• طرز کار پمپ پیستونی

این پمپ تشکیل شده است از سیلندر، پیستون، شیر ورودی و شیر خروجی. سطح پیستون به وسیله دسته‌ای بر روی چرخ دواری قرار گرفته و در جهت بالا و پایین حرکت می‌نماید. هنگام حرکت پیستون به طرف بالا دریچه A در اثر مکش و برگشت جریان از مجرای خروجی بسته شده و در اثر مکش دریچه B باز و مایع به درون محفظه پمپ مکیده می‌شود. هنگامی که پیستون به طرف پایین حرکت می‌نماید دریچه B بسته شده و دریچه A باز می‌گردد و سیال محبوس در محفظه و تحت فشار پیستون به مجرای خروجی انتقال می‌یابد. تکرار این عمل سبب انتقال سیال از یک محل به محل دیگر می‌گردد. سیلندر باید به نحوی آب‌بندی شده باشد که مایع نتواند به خارج نشت نماید. هر حرکت رفت پیستون را یک ضربه و مسافتی را که پیستون طی می‌کند طول ضربه می‌نامند. چون در پمپ‌های رفت و برگشتی جابه‌جا شدن مایع به طور متناوب انجام می‌گیرد لذا حرکت مایع در لوله خروجی به صورت حرکت ضربانی خواهد بود. چون حرکت ضربانی به لوله خروجی و حتی دستگاه‌های دیگری که در سر راه هستند، ضرباتی وارد می‌نماید، باید تدبیری بکار برد که شدت ضربه ناشی از متناوب بودن جریان را کم کند. یکی از راه‌های کم کردن شدت ضربه، بکار بردن مخزن پر از هوا در سر راه خروجی پمپ‌های رفت و برگشتی است. مطابق شکل در حرکت رفت پیستون و یا خروج مایع از پمپ، مقداری از مایع که تحت فشار است هوای مخزن را فشرده و به مخزن وارد می‌شود. در حرکت برگشت پیستون فشار مایع پایین می‌آید و هوای فشرده داخل مخزن، مقدار مایعی را که در حرکت رفت وارد مخزن شده بود به خارج می‌فرستد. در نتیجه مایع وارد لوله خروجی می‌شود و بدین وسیله از شدت ضربه ناشی از حرکت ضرباتی کاسته می‌شود. مسئله مهم در بکار بردن مخزن هوا این است که امکان دارد هوای موجود در مخزن به مرور جذب آب شده و از میزان آن کاسته شود. اگر این عمل هم‌چنان ادامه یابد بدون این‌که هوای از دست رفته تأمین شود مخزن پر از آب شده و کار خود را انجام نخواهد داد. برای تأمین هوا بهتر است که در قسمت بالای مخزن یک شیر یک‌طرفه کار گذاشت. یکی دیگر از راه‌های کم کردن شدت ضربه، بکار بردن پمپ‌های دوزبره‌ای است. پمپ‌های دوزبره‌ای را به دلیل کم کردن شدت ضربه و ظرفیت بیشتر و تقریباً

یکنواخت کردن جریان در خروجی بیشتر از پمپ‌های یک‌ضربه‌ای بکار می‌برند. برای انتقال مایعات و مواد سیال از عمق‌های زیاد معمولاً شیر یک‌طرفه‌ای در مدخل مجرای ورودی پمپ قرار می‌دهند که این شیر مایع را در مجرای ورودی محبوس نموده، و با ریختن مقدار کمی آب در محفظه پمپ، در شروع عمل پمپاژ سهولت داده می‌شود. چون امکان دارد که در مایعات مواد زائدی وجود داشته باشد، برای ممانعت از ورود این مواد در مدخل مجرای ورودی پمپ محفظه‌ای مشبک که معمولاً از توری ساخته شده، قرار می‌دهند و چون لازم است هر چند مدت یک‌بار این صافی‌ها را بازرسی نمود و در صورت کثیف‌بودن تمیز نمایند این توری به طریقی نصب می‌گردد که بتوان به سهولت به آن دسترسی حاصل نمود. در پمپ‌های بزرگ معمولاً این صافی‌ها قابل‌تعویض می‌باشند.

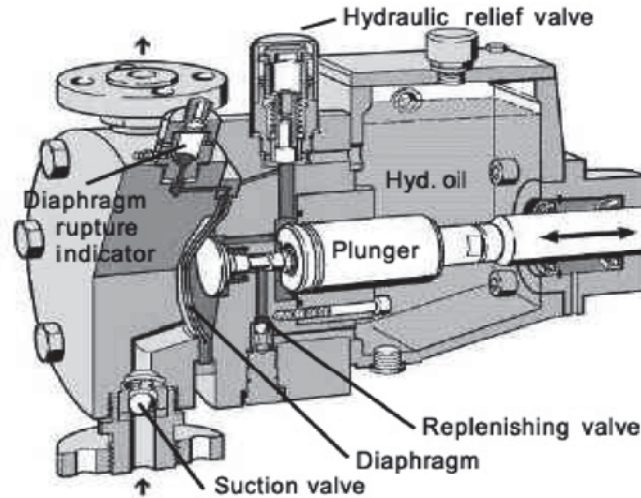


شکل ۴- مکانیزم عملکرد پمپ پیستونی

• پمپ‌های دیافراگمی^۸

این پمپ‌ها به طور ذاتی از نوع پمپ‌های پیستونی به شمار می‌روند. این پمپ‌ها معمولاً برای پمپاژ مایعات خطرناک طراحی می‌شوند.

⁸ Diaphragm pumps



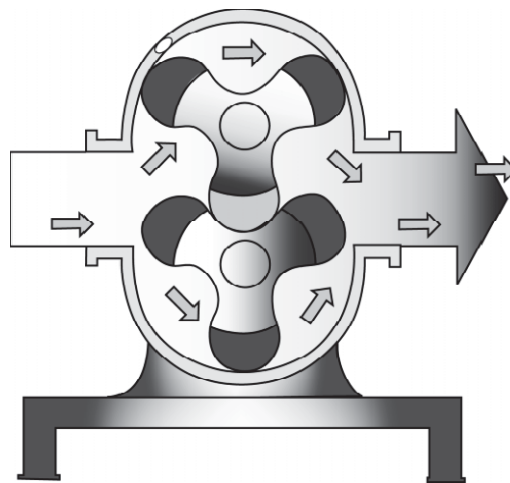
شکل ۵- نمایی از یک پمپ دیافراگمی

۳.۲.۲. پمپ‌های دوار^۹

پمپ‌های دوار به شش دسته تقسیم می‌شوند:

- پمپ‌های لب^{۱۰}

عملکرد این پمپ‌ها شبیه به پمپ‌های دنده‌ای خارجی است. مکانیزم عملکرد این پمپ در شکل زیر مشاهده می‌شود.



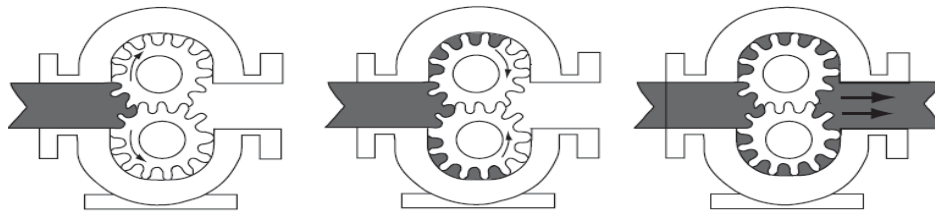
شکل ۶- نمایی از یک لب پمپ

⁹ Rotary Pumps

¹⁰ Lobe pumps

• پمپ‌های دنده‌ای^{۱۱}

این پمپ‌ها نیز همانند پمپ‌های رفت و برگشتی از گروه پمپ‌های انتقال‌دهنده با حجم ثابت هستند، با این تفاوت که طرح و ساختمان آن‌ها ساده‌تر و احتیاج به شیر یک‌طرفه مکش ندارند و جریان خروجی آن‌ها یکنواخت است. این پمپ‌ها در اندازه‌های مختلف و با دنده‌های متفاوت ساخته می‌شوند، چون دنده‌ها ممکن است دارای دو یا چنددنده باشند. چرخ‌دنده بوسیله محور دوار به حرکت درآمده و پس از مکش مایع آن را تحت فشار گذاشته و به طرف خروجی می‌راند. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، مایع به وسیله دنده‌هایی که آزاد هستند از ورودی به طرف خروجی برده می‌شود. دنده‌هایی که به ترتیب آزاد می‌شوند خلاء جزئی در مکش ایجاد کرده و مایع سریع‌تر وارد دنده‌های آزاد می‌گردد، چون در این نوع پمپ‌ها دنده‌ها خیلی به هم نزدیک هستند. اگر در جایگذاری آن‌ها دقت کافی نشود تماس دنده‌ها با یکدیگر باعث خرابی آن‌ها خواهد شد. این نکته مهمی است که در مورد پمپ‌های دنده‌ای بایستی رعایت نمود، و هنگامی که لازم است پمپ تحت تعمیر قرار گیرد باید دقت کافی نمود که برای تعویض واشرها و سایر مصالح این فواصل بطور ثابت و معین باقی بمانند. باید توجه داشت که این دنده‌ها همواره روغن کاری شده که خشک عمل ننمایند و اگر مایع پمپ‌شونده خاصیت روغن کاری داشته باشد، عمر پمپ زیاد می‌شود. این پمپ‌ها برای ظرفیت‌هایی نسبتاً کم با فشار متوسط موارد استفاده زیادی دارند. این پمپ‌ها به دو دسته پمپ‌های دنده‌ای خارجی و داخلی تقسیم می‌شوند که در شکل‌های زیر تفاوت عملکردی آن‌ها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۷- پمپ دنده‌ای خارجی

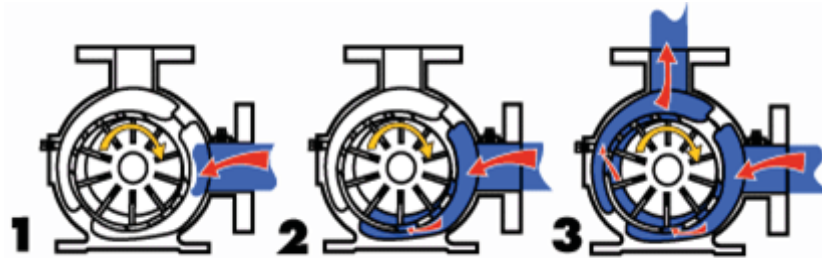


شکل ۸- پمپ دنده‌ای داخلی

• پمپ‌های تیغه‌ای^{۱۲}

¹¹ Gear pumps

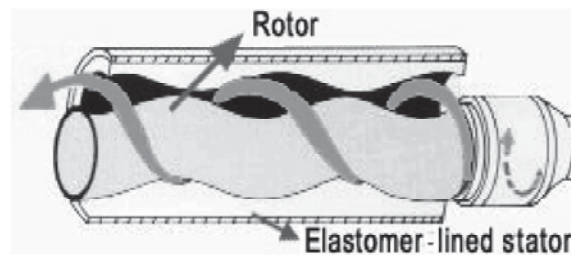
نوع دیگر پمپ‌های انتقال‌دهنده با حجم ثابت که از نظر اصول کارکرد با پمپ‌های چرخ‌دنده‌ای شباهت زیادی دارند پمپ‌های تیغه‌ای می‌باشند. حرکت این پمپ‌ها دورانی بوده و نیروی محرکه‌شان از الکتروموتورها تأمین می‌گردد. تیغه‌ها که دارای حرکت خارج از مرکز می‌باشند می‌توانند در داخل شیارهایی حرکت رفت و برگشتی داشته باشند. با توجه به شکل تیغه وقتی که به بالا می‌رسد کاملاً داخل شیار جای گرفته و همین که از آن نقطه دور می‌گردد در اثر فشار فنر داخل شیار بیرون آمده و سیال را از قسمت ورودی به طرف قسمت خروجی با خود می‌برد. تیغه‌ها در اثر نیروی فشار فنری که در پشت آنهاست همواره با جداره پمپ در تماس‌اند.



شکل ۹ - پمپ تیغه‌ای

• پمپ‌های محفظه پیش‌رونده^{۱۳}

این پمپ شامل یک قسمت متحرک است که یک روتور فلزی چرخشی در خط الاستیک استاتور می‌چرخد. برای درک بهتر مکانیزم این پمپ‌ها به شکل زیر دقت کنید.



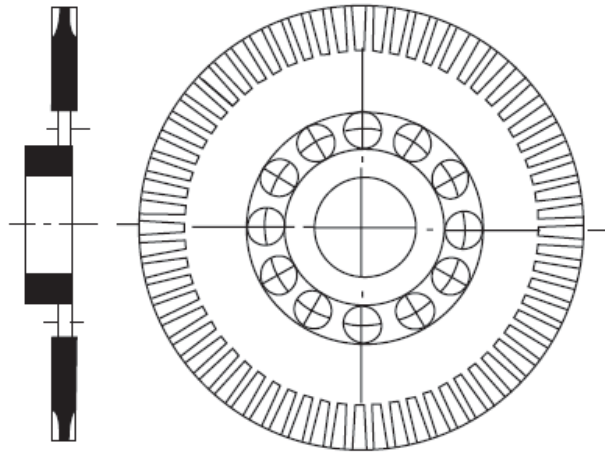
شکل ۱۰ - پمپ محفظه پیش‌رونده

• پمپ‌های جانبی^{۱۴}

¹² Vane pumps

¹³ Progressive cavity pumps

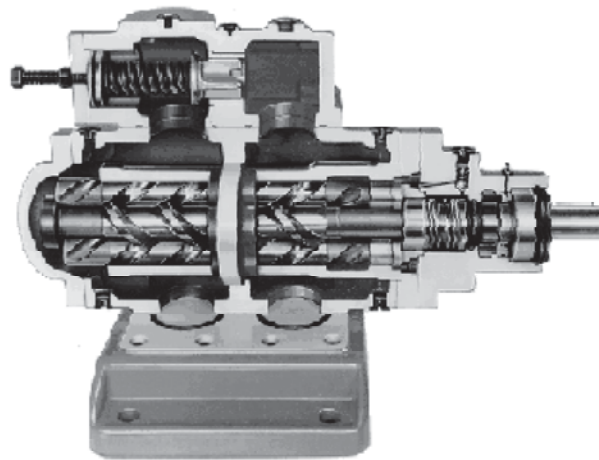
در این پمپها پروانه دارای تعداد زیادی تیغه‌های شعاعی در هر دو طرف است. پروانه در یک پوسته دایروی هم‌مرکز می‌چرخد. واکنش بین تیغه‌ها و پوسته سبب ایجاد یک گردابه می‌شود که همین موضوع سبب انتقال انرژی مکانیکی به سیال می‌شود.



شکل ۱۱- پروانه یک پمپ جانبی

• پمپ‌های پیچی^{۱۵}

این پمپها برای انتقال سیالات با لزجت بالا مناسب می‌باشند. در شکل زیر یک نمونه از این پمپها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲- یک نمونه از پمپ‌های پیچی

۳.۳. پمپ‌های دیگر

¹⁴ Peripheral pumps

¹⁵ Screw pumps

از نمونه این پمپ‌ها می‌توان به پمپ‌های ایژکتور^{۱۶} اشاره کرد.

• پمپ ایژکتور

ایژکتورها دستگاهی هستند که گازها و بخارات را از یک فضای خالی خارج کرده و آنها را برای تخلیه کردن در فشاری بالاتر متراکم می‌نمایند. ایژکتورها دارای قیمت‌هایی کمتر و هزینه نگهداری کمی نسبت به پمپ‌ها می‌باشند. معمولاً ایژکتورها دارای یک شیپوره همگرا- واگرای درونی می‌باشند. ممنتوم یا انرژی سیال خروجی از شیپوره دارای سرعتی بالا می‌باشد. اما به میزان جزئی این سرعت به گازهای در حال تخلیه هم وارد می‌شود. پس در این صورت سرعت مخلوط ما کمتر از سرعت سیال وارد شده می‌باشد. ولی در هر صورت سرعت آن بیشتر از سرعت صوت می‌باشد. پس شیپوره بزرگ‌تر به‌عنوان یک دیفیوزر همگرا- واگرا است که در آن فشار افزایش یافته و سرعت صوت کاهش می‌یابد. ایژکتور دارای ساختمانی شیپوری است. مسلم است که فشار خروجی ایژکتور از ورودی آن بیشتر است و دلیل برگشتن گاز از خروجی ایژکتور به ورودی آن سرعت زیاد مخلوط آب و گازها در خرطومی ایژکتور است.

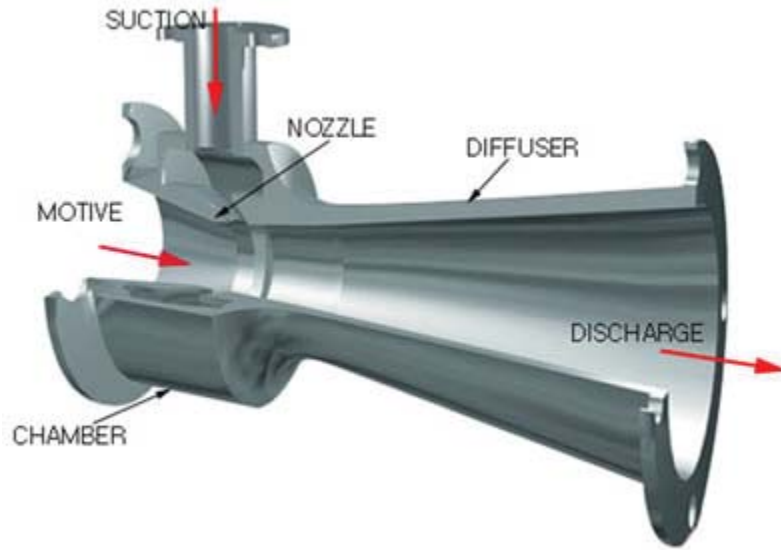
• موارد کاربرد ایژکتورها

می‌دانیم که نقطه جوش تابع مستقیمی از فشار محیط است. به عبارت صحیح‌تر، فشار و نقطه جوش رابطه مستقیمی با هم دارند. لذا کاهش فشار محیط، کاهش نقطه جوش را به همراه دارد. با توجه به این عبارت اهمیت ایژکتور به عنوان تقریباً تنها وسیله تولید خلاء در صنایع نفت و پتروشیمی مشخص می‌شود. از موارد استفاده ایژکتور می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

- همان‌گونه که می‌دانیم هیدروکربن‌ها در درجه حرارت‌های بالا ممکن است شکسته شوند و یا با ذرات دیگر ترکیب شوند، بنابراین برای این تصفیه و تفکیک نفت خام در پالایشگاه‌ها از برج‌های خلاء استفاده می‌شود. به دلیل این‌که در این‌گونه برج‌ها درجه حرارت پایین آمده و قادر خواهیم بود بدون ازدیاد درجه حرارت، به میزان بسیار زیادی مواد را تفکیک و تصفیه کنیم.
- تخلیه یک‌طرفه مایعات از دیگر استفاده‌های ایژکتورهاست که در این حالت ایژکتور همانند یک تلمبه عمل می‌نماید که در صنعت به جت پمپ^{۱۷} معروف است.

¹⁶ Ejector pumps

¹⁷ Jet pumps



شکل ۱۳- نمونه‌ای از یک اژکتور

• قطعات اصلی اژکتورها

اژکتورها از لحاظ دسته و تقسیم بندی انواع متفاوتی ندارند و همواره یک اژکتور می‌تواند از قطعات اصلی زیر تشکیل شده باشد:

- سرپوش بازدید افشاننده
- صافی بخار
- سرپوش افشاننده
- ورودی بخار آب
- سرپوش ورودی
- ورودی
- افشاننده
- مبدل فشار به سرعت یا خرطومی
- خروجی

۴. اجزا اصلی و ساختمان مکانیکی پمپ‌های سانتریفیوژ

هر پمپ سانتریفیوژ دارای سه بخش اصلی زیر است که هر کدام از آن‌ها از اجزای مختلفی تشکیل شده است:

- نیروی محرک
- محفظه آب‌بندی
- پوسته

۴.۱. نیروی محرک

در پمپ‌های دوار معمولاً از سه نوع محرک الکترومغناطیسی (الکتروموتور)، دیزلی و توربینی استفاده می‌شود. محرک الکترومغناطیسی یک ژنراتور بوده که انرژی الکتریکی را به حرکت دورانی تبدیل می‌کند. محرک توربینی به کمک انرژی بخار آب محور پمپ را می‌چرخاند. محرک دیزلی نیز موتوری است که با سوخت فسیلی (معمولاً گازوئیل) کار می‌کند. خروجی محرک به کمک کوپلینگ به محور پمپ متصل شده و این محور وارد محفظه آب‌بندی می‌شود.

۴.۲. محفظه آب‌بندی

در این محفظه دو یاتاقان (ساقمه‌ای) قرار داشته که درون روغن غوطه‌ور می‌باشند و حکم تکیه‌گاه‌های محور را دارند. انتهای محور به یک پروانه که درون پوسته جا دارد متصل شده است.

۴.۳. پوسته

دارای قسمت‌های متعددی می‌باشد که قسمت عمده آن را پروانه و شفت تشکیل می‌دهد.

۴.۳.۱. پروانه

پروانه نیز به عنوان بخشی اساسی، قسمت متحرک پمپ است که مایع ورودی به چشم را به علت داشتن حرکت دورانی به خارج می‌راند. پروانه‌ها با انواع مختلف یک مکشه، دومکشه، باز، نیمه‌باز و بسته وجود دارند. اصولاً پروانه‌های دومکشه دارای نیروی محوری کمتر اما هزینه ساخت گران‌تر می‌باشند. همچنین پروانه‌های باز و نیمه‌باز از نظر هزینه ساخت ارزان‌تر می‌باشند. مشخصه‌های مایع و وجود ذرات جامد، روان بودن و غیرروان بودن مایع و پارامترهایی از این قبیل در نوع استفاده از پروانه‌ها موثر می‌باشند. پروانه‌های باز در پمپ‌های محوری و پروانه‌های بسته در پمپ‌های شعاعی بکار می‌روند که از نوع باز برای مایعات حاوی ذرات جامد و الیاف‌دار و از نوع بسته برای مایعات تمیز و بدون ذرات استفاده می‌کنند. نوعی از پروانه‌های باز نیز برای مخلوط مایع و جامد بکار می‌روند. بنابراین ساده‌ترین نوع پروانه، پروانه باز بوده که برای انتقال مایعات حاوی ناخالصی جامد شناور بکار می‌رود. پروانه نیمه‌باز نیز برای مایعات رسوب‌زا بکار برده می‌شود. کاربرد پروانه بسته نیز در ظرفیت‌های بالا و به دو دسته یک‌مکشه و دومکشه تقسیم می‌شود. لازم است که اشاره کنیم هرچه اندازه ذرات شناور بیشتر باشد، تعداد پره‌ها کمتر خواهند بود. وضع قرار گرفتن پروانه در پوسته باید به نحوی باشد که فاصله بین آن و پوسته حداقل ممکن باشد. این فاصله باعث می‌شود که مایع بین پوسته و پروانه، از یک طرف آن را روغن‌کاری کند و از طرف دیگر مانع سایش پوسته و پروانه شود. به‌همین دلیل نباید این نوع پمپ را بدون مایع

راهاندازی کرد. پمپ‌های گریز از مرکز توانایی ایجاد فشار بالا را ندارند لذا برای رسیدن به فشار بالا از چند پروانه استفاده می‌شود. این پمپ برای حجم زیاد و فشار پایین بهترین راندمان را دارد. می‌توان جریان خروجی را بدون این که در داخل فشار زیاد شود و بدون هیچ خطری متوقف کرد. همچنین این پمپ‌ها جریان خروجی یکنواختی دارند. اگر این نوع پمپ با خروجی بسته کار کند، درجه حرارت مایع درون پوسته افزایش یافته و با تولید بخار در قسمت داخلی دچار ارتعاش می‌شود که در این وضع می‌گویند پمپ هوا گرفته و باید هواگیری شود.

۴.۳.۲. رینگ‌های سایشی

تنها نقطه‌ای که پوسته و پروانه به عنوان اجزای دورانی و ثابت با هم در تماس قرار می‌گیرند محل رینگ‌های سایشی است. ممکن است که پمپ به دلایل مختلف دچار ارتعاش شود. این ارتعاش باعث ساییده شدن پروانه و پوسته می‌گردد. در بعضی مواقع باعث گیرپاژ پمپ می‌شود. برای جلوگیری از این وضع از یک رینگ سایشی استفاده می‌شود که هم در پروانه و هم در پوسته قرار می‌گیرد. با کمی لقی و نشت مایع از مابین این دو رینگ حرکت دورانی پروانه بدون ارتعاش و مشکلات مکانیکی صورت می‌گیرد. لقی مابین دو رینگ پوسته و پروانه، موجب عبور لایه‌ای از مایع پمپاژ شده می‌شود که به عنوان مستهلک کننده ارتعاش عمل می‌کند. اما نشت زیاد مایع نیز باعث افت کارایی پمپ و هدر رفتن توان محرکه می‌گردد. ارتعاش زیاد، فشار زیاد و کار مداوم باعث سائیده شدن رینگ‌ها شده که باید به موقع تعویض شوند.

۴.۳.۳. شفت

نقش اساسی شفت انتقال گشتاور وارده به‌هنگام راهاندازی و عملکرد و همچنین به عنوان نشیمن‌گاه و تکیه‌گاهی برای دیگر قطعات دوار است. حداکثر خیز شفت در شرایط دورانی می‌باید از حداقل لقی ما بین قطعات دوار و ثابت کمتر باشد. بارهای اعمالی به شفت عبارت است از گشتاور، وزن قطعات، نیروی هیدرولیکی شعاعی. همچنین شفت‌ها می‌بایست تحمل بارهای ضربه‌ای ناشی از پیچش و عدم پیچش و تنش‌های حرارتی به‌هنگام سرد و گرم شدن را داشته باشند. شفت صلب، شفتی است که سرعت (دور) عملکرد نرمال آن پایین‌تر از دور بحرانی نخست آن قرار گیرد. اگر دور عملکرد آن بالاتر از اولین دور بحرانی قرار گیرد آن را شفت انعطاف‌پذیر گویند.

معمولا دور عملکرد را ۲۰ درصد کمتر و ۲۵ تا ۴۰ درصد بالاتر از دور بحرانی نگه می‌دارند. هنگام راهاندازی و خاموش کردن دستگاه باید خیلی سریع از دور بحرانی عبور کرد.

۴.۳.۴. یاتاقان‌ها

وظیفه یاتاقان‌ها در پمپ، نگه‌داشتن شفت و روتور در مرکز اجزاء ثابت و تحمل بارهای شعاعی و محوری است. تحمل کننده بارهای شعاعی را یاتاقان‌های شعاعی و تحمل کننده بارهای محوری را یاتاقان‌های محوری می‌نامند. البته یاتاقان‌های محوری در عین حال بارهای شعاعی را نیز تحمل می‌کنند. یاتاقان‌های ما بین کوپلینگ و پمپ را به طرف داخل و یاتاقان‌های سمت دیگر را به سمت

خارج گویند. در پمپ‌های آویخته از یک سر شفت آن یاتاقانی که به پروانه نزدیک‌تر باشد را داخلی و دورتری را خارجی گویند. یاتاقان‌های محوری را در سمت خارج نصب می‌کنند

۴.۳.۵. کوپلینگ‌ها

کوپلینگ‌ها برای انتقال دور و گشتاور از الکتروموتور به پمپ به کار می‌روند. وظیفه دیگر کوپلینگ از بین بردن ناهم‌محوری، انتقال بارهای محوری مابین دو سیستم و تنظیم شفت‌ها در مقابل سائیدگی می‌باشد. کوپلینگ‌ها بر دو نوعند:

- کوپلینگ صلب، در مواقعی که دقت هم‌محوری باید بالا باشد از این نوع کوپلینگ استفاده می‌کنند. هم‌چنین در مواقعی که لازم باشد که یکی از روتورها توسط شفت دیگر نگه‌داشته شود، این کار را به‌وسیله کوپلینگ صلب انجام می‌دهند. در این نوع کوپلینگ‌ها اگر دقت هم‌محوری کم باشد باعث ایجاد مشکلات مکانیکی می‌گردد. انواع متداول کوپلینگ صلب عبارتند از: فلنجی با پیچ‌های مناسب (رایج در پمپ‌های عمودی)، کلمپی چاک‌دار، در امتداد محور.
- کوپلینگ انعطاف‌پذیر، این کوپلینگ‌ها علاوه بر این که وظیفه انتقال قدرت از موتور به پمپ (شفت) را دارند عمل از بین بردن ناهم‌محوری بین دو شفت محرک و متحرک را نیز انجام می‌دهند. کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر به غیر از مدل چرخ دنده‌ای، برای دورها و قدرت‌های پایین استفاده می‌شوند.

۴.۳.۶. غلاف‌ها

جهت جلوگیری از فرسایش، خوردگی و سائیدگی در محل کاسه‌نمدها و یاتاقان‌های داخلی و دیگر قسمت‌ها از غلاف‌های مناسب استفاده می‌شود.

۵. شرح قوانین حاکم بر پمپ‌های سانتریفیوژ

پمپ‌های گریز از مرکز، ماشین‌هایی هستند که با استفاده از نیروی گریز از مرکز (عکس‌العمل سیال در برابر نیروی مرکز گرا) سیالات را جابه‌جا می‌کنند. در ادامه به موارد مهم در موضوع سیالات اشاره می‌کنیم. نیروی وزن باعث می‌شود که اگر سیال در یک ارتفاع باشد به ارتفاع پایین‌تر جریان یابد. انرژی پتانسیل، انرژی است که در سیال ذخیره می‌شود و مایع دارای فشار بالاتر انرژی پتانسیل بیشتری دارد، بنابراین سیال از سطوح با فشار بالا به سطوح با فشار پایین جریان می‌یابد. در صورتی که فشار دو مخزن برابر باشد یا اینکه اختلاف ارتفاع نداشته باشند سیال میان آن‌ها جریان نمی‌یابد. بنابراین در این حالت‌ها نیاز به استفاده از پمپ داریم. هم‌چنین می‌توان از پمپ به منظور افزایش مقدار سیال جابه‌جا شده (دبی) استفاده کرد. پس می‌توان نتیجه گرفت یک پمپ با افزایش انرژی سیال آن‌را جابه‌جا می‌کند. در پمپ‌های سانتریفیوژ این عمل توسط پروانه انجام می‌شود، که با چرخاندن سیال انرژی آن را می‌افزاید. سیال با عبور از ورودی پمپ وارد چشم (مرکز) پروانه می‌گردد و با دوران پروانه از لبه آن خارج می‌گردد. هرچه سرعت پروانه بیشتر باشد سیال سریع‌تر جابه‌جا می‌شود. هنگامی که سیال وارد پوسته (محفظه) می‌شود سرعت آن کاهش می‌یابد. چون سرعت سیال کاهش می‌یابد فشار آن افزایش یافته و از طرف دیگر چون سیال با فشار زیاد در لبه و دور از

چشمی خارج می‌گردد باعث ایجاد یک ناحیه کم فشار در چشمی شده که در اثر آن جریان سیال به درون چشمی امکان پذیر می‌گردد. وقتی سیال به بیرون پمپاژ می‌شود سرعت آن افزایش می‌یابد. این افزایش سرعت در خروجی به شکل فشار بسیار زیاد و بخشی از آن در محفظه به صورت فشار نمایان می‌شود. پروانه که به عنوان پیشران می‌باشد توسط یک منبع محرک بیرونی چرخانده می‌شود. این نیروی محرک به شکل‌های مختلف الکتروموتور، توربین و موتور با سوخت فسیلی می‌باشد.

نیروی محرک توسط یک شفت به پروانه منتقل می‌گردد. محلی که شفت از محفظه پمپ خارج می‌شود، دچار نشتی می‌گردد. برای رفع این مشکل از آب‌بند مکانیکی یا پکینگ استفاده می‌شود. در جایی که آب‌بند قرار می‌گیرد ممکن است که شفت به شدت دچار ساییدگی گردد به همین دلیل باید از مواد قابل انعطاف استفاده کرد. سیال از ناحیه خروجی با فشار بالا به پشت ناحیه مکش نشتی پیدا می‌کند. به همین جهت فضای بین آن‌ها را به رینگ‌های سایشی مجهز می‌کنند. رینگ سایشی بدنه ثابت، اما رینگ سایشی پروانه همراه آن دوران می‌کند. بستن مناسب رینگ‌های سایشی مقدار نشتی را به اندازه زیادی کاهش می‌دهد. البته مقداری نشتی برای روان کاری لازم است، سیال نشت کرده سبب روان کاری و خنک‌سازی رینگ‌های سایشی می‌شود و همچنین از سایش رینگ‌ها در مقابل هم جلوگیری می‌کند. با ضعیف شدن رینگ‌ها فضای میان آن‌ها زیاد شده و نشتی بیشتر می‌شود. در این صورت باید رینگ‌ها تعویض شوند. همچنین رینگ‌های سایشی به وسیله سیال پمپاژ شده روان کاری می‌شود و اگر روان کاری مناسب نباشد حلقه‌ها با هم تماس داشته، ساییده می‌شوند، گرم شده و سیستم گیرپاژ می‌کند. به همین علت نباید یک پمپ گریز از مرکز را تا زمانی که از سیال پرنشده راه‌اندازی کرد.

منابع

- [1]. Paresh Girdhar, Practical Centrifugal Pumps (Design, Operation and Maintenance), Elsevier, 2005
- [2]. Val s. Lobanoff, Centrifugal Pumps design and application, second edition, Gulf publishing company, 1992