



Mechanic AB Co. LTD.

ضربت قوچی و سیستمهای حفاظتی

مؤلف: مهندس علی وکیلی تهامی



وکیلی تهامی، علی ۱۳۳۶-
ضربت قوچی آب و سیستمهای حفاظتی / علی وکیلی تهامی؛ [به سفارش
شرکت مکانیک آب (Mechanic AB)]. - تبریز: آیدین، ۱۳۸۲.
۷۲ ص.
ISBN 964-5592-22-4 ریال ۱۰۰۰۰
فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
کتابنامه.
۱. ضربه قوچ. الف عنوان
۴ ض ۸ و / ۱۷۴ TC ۶۲۰/۱۰۶۴
کتابخانه ملی ایران ۱۲۰۳۷-۸۲ م

نام کتاب: ضربت قوچی آب و سیستمهای حفاظتی
تألیف: علی وکیلی تهامی
امور گرافیک: علیرضا سلطانی
ناشر: انتشارات آیدین
نوبت چاپ: اول ۱۳۸۲
تیراژ: ۲۰۰۰ نسخه / ۷۲ صفحه در قطع وزیری
شابک: ۹۶۴-۵۵۹۲-۲۲-۴
قیمت: ۱۰۰۰۰ ریال
حق چاپ محفوظ



فهرست مطالب

۴	پیشگفتار
۵	فصل اول: اصول اولیه
۹	فصل دوم: علت های بوجود آمدن ضربت قوچی آب
۹	۱-۲: بسته شدن سریع شیرهای قطع و وصل
۱۰	۲-۲: شیرهای یکطرفه نا مناسب
۱۱	۳-۲: از کار افتادن ناگهانی پمپ
۱۱	۴-۲: پر کردن غیر اصولی خط لوله
۱۲	۵-۲: راه اندازی پمپ های توربینی
۱۴	فصل سوم: اصول پیشگیری، کاهش و مقابله با ضربت قوچی
۱۴	۱-۳: شرایط قابل کنترل
۱۴	۱-۱-۳: تجهیزات لازم برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی سرعت
۱۴	۱-۱-۱-۳: استفاده از شیرهای یکطرفه با سرعت بسته شدن زیاد
۲۱	۲-۱-۱-۳: استفاده از شیرهای کنترل پمپ در خروجی پمپها
۲۲	۳-۱-۱-۳: استفاده از شیرهای قطع و وصل مجهز به محرکهای الکتریکی (Electric Actuators) در خروجی پمپها
۲۳	۴-۱-۱-۳: استفاده از سیستمهای الکتریکی دور متغییر در ایستگاه های پمپاژ
۲۳	۲-۳: شرایط خارج از کنترل
۲۳	۱-۲-۳: شرایطی که احتمال گسیختگی ستون آب وجود ندارد
۲۴	۱-۱-۲-۳: روش های مقابله با افزایش فشار
۲۸	۲-۲-۳: شرایطی که احتمال گسیختگی ستون آب وجود دارد
۲۸	۱-۲-۲-۳: چرخ لنکر Flyweel
۳۵	۲-۲-۲-۳: لوله پمپ کنار گذر Pump Bypass
۳۶	۳-۲-۲-۳: شیرهای هوای دو روزه
۳۸	۴-۲-۲-۳: دودکش خط لوله
۳۹	۵-۲-۲-۳: تانک ضربه گیر یکطرفه
۴۰	۶-۲-۲-۳: تانک ضربه گیر تحت فشار Air Chamber
۴۶	فصل چهارم: روشهای محاسبه ضربت قوچی
۴۶	۱-۴: روش بار ماکیان
۵۰	منابع و ماخذ
۵۱	تولیدات شرکت مکانیک آب
۵۲	خدمات شرکت مکانیک آب



پیشگفتار

ضربت قوچی آب در خطوط لوله را شاید بتوان پیچیده ترین و در عین حال جذابترین پدیده در نظر افرادی که با سیستمهای پمپاژ و انتقال آب سر و کار دارند به حساب آورد هدف از این مقاله ارائه بحث های تئوریک در این رابطه نیست بلکه توضیح ساده این پدیده و ارائه راه کارهای مقابله با آن است.

در این مقاله عمدتاً به سیستم های پمپاژ آب خواهیم پرداخت و راه حل های مسائلی را که ضربت قوچی به علت خاموش یا روشن شدن پمپ ها و یا عملکرد نادرست شیرآلات به وجود می آورد مورد تجزیه و تحلیل عملی قرار خواهیم داد و نیز به اهمیت استفاده از چرخ لنگر، تانک ضربه گیر تحت فشار، تانک ضربه گیر یکطرفه، دودکش های خط لوله (Stand Pipes)، شیرهای یکطرفه ای که قابلیت بسته شدن سریع را دارند، شیرهای کنترل پمپ، شیرهای اطمینان، شیرهای هوا، سوپاپها، درپوشهای اطمینان (Ruptur Disk) و سایر تجهیزاتی که می توانند هزینه مقابله با پدیده ضربت قوچی را کاهش دهند خواهیم پرداخت و نقاط قوت و ضعف و محدوده عملی کار با هر یک و یا ترکیبی از آنها را مطرح خواهیم کرد.

برای یک طراح شاید تانک ضربه گیر تحت فشار مطمئن ترین روش مقابله با ضربت قوچی باشد و نیز در عین حال ممکن است مستقیم ترین راه حل این مشکل باشد ولی در عمل برای مجری طرح و بهره بردار شاید این روش گرانترین و مشکلترین راه حل باشد. از یک طرف طراحی سیستم های با سرعت جریان کم (موردی که در ایران بسیار رایج است) باعث افزایش قطر لوله ها شده و سبب می شود که سالانه هزاران تن لوله اضافی در خاک مدفون بشود و اجرای پروژه ها با هزینه های سرسام آوری انجام یابد و از طرف دیگر اهمیت ندادن به مسائل ضربت قوچی (به خصوص در خطوط لوله با طول کم و یا ارتفاع استاتیک کم) مشکلات زیادی پیش می آورد که بهره برداری از سیستم ها را بسیار مشکل، پر هزینه و یا حتی غیر ممکن می کند چون در اغلب این موارد در نظر گرفته نمی شود که پدیده ضربت قوچی صرفاً ناشی از تغییرات ناگهانی سرعت آب در خط لوله است و به وجود آمدن آن ارتباطی به ارتفاع استاتیک و یا طول خط لوله ندارد. لذا آشنایی هر چه بیشتر کلیه دست اندرکاران سیستم های پمپاژ و انتقال آب با اصول اولیه این پدیده و روش های مقابله با آن کاملاً ضروری است.



فصل اول: اصول اولیه

پدیده ضربت قوچی آب از تغییر ناگهانی سرعت جریان آب در خط لوله بوجود می آید. بعد از خاموش شدن ناگهانی پمپ، یک موج فشار از طرف پمپ به طرف انتهای خط لوله با سرعتی معادل سرعت صوت در خط لوله به حرکت در می آید (حدوداً ۱۰۰۰ متر در ثانیه). این موج فشار با حرکت به انتهای خط لوله فشار را کاهش می دهد (Down Surge) و از انتهای مسیر با فشار اولیه سیستم منعکس می شود تا به شیر یکطرفه پمپ برسد و پس از برخورد با شیر یکطرفه بصورت موج فشار مثبت (Up Surge) منعکس می شود و این سیکل تناوب چندین بار تکرار می شود ولی با هر تکرار شدن به علت اصطکاک خط لوله و سایر عوامل کاهنده، مقداری از آن کاسته می شود تا به حالت ساکن برسد. در سال ۱۹۰۰ میلادی دانشمند روسی بنام ژوکوفسکی فرمولی برای محاسبه حد اکثر تغییرات فشار ناشی از تغییرات ناگهانی سرعت ارائه کرد که به فرمول سنت پترزبورگ نیز مشهور است. طبق این فرمول حداکثر تغییر فشار ناشی از ضربت قوچی عبارتست از:

$$\Delta H = \frac{a \times \Delta V}{g}$$

حداکثر تغییر فشار ناشی از ضربت قوچی :

سرعت انتشار موج فشار بر حسب (m/sec) :

تغییرات سرعت آب بر حسب (m/sec) :

بسته به نوع لوله مورد استفاده، سرعت انتشار موج بین ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ متر در ثانیه متفاوت است ولی در لوله های پلاستیکی این سرعت ممکن است بسیار کمتر باشد. چنانکه این فرمول نشان می دهد طول خط لوله، ارتفاع استاتیک، و پروفیل طولی خط لوله هیچ تاثیری در بوجود آمدن و یا مقدار کاهش و یا افزایش فشار ناشی از ضربت قوچی آب ندارند، ولی این فاکتورها در تعیین نوع، ابعاد، و حجم تجهیزات مقابله با ضربت قوچی تاثیر دارند. بطور مثال، هر چه طول خط لوله بیشتر باشد و یا هر چه پروفیل طولی خط لوله مغشوش تر باشد ابعاد چرخ لنگر و یا حجم تانک ضربه گیر تحت فشار بزرگتر می شود و یا هر چه ارتفاع استاتیک سیستم بیشتر باشد ضخامت جداره تانک ضربه گیر تحت فشار و یا ارتفاع دودکش (Stand Pipe) و یا فشار کار شیرهای اطمینان بیشتر می شود، این موارد بصورت کامل تر در صفحات بعدی توضیح داده خواهد شد.

$$T_r = \frac{2L}{a}$$

زمان انعکاس موج فشار

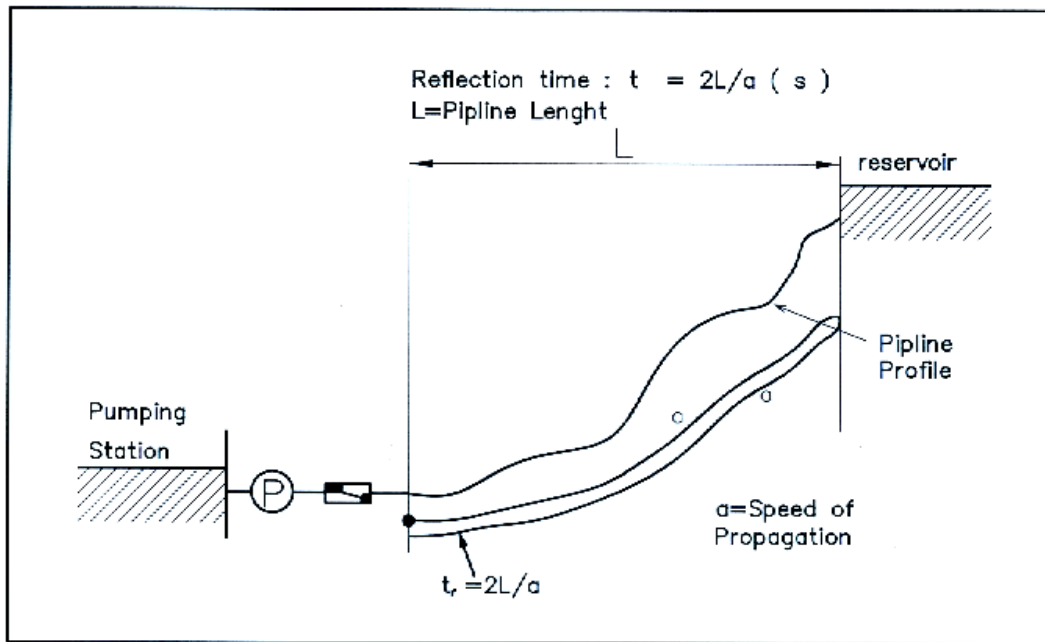
L: طول خط لوله

a: سرعت انتشار موج فشار در خط لوله

به طوریکه در شکل (۱-۱) نشان داده شده است مخزن واقع در انتهای خط لوله محل انعکاس موج محسوب می شود و زمان انعکاس عبارت است زمانی که موج فشار لازم دارد تا به نقطه شروع خود بازگردد.

در مثال زیر عکس العمل موج فشار ضربت قوچی در شرایط از کار افتادن ناگهانی پمپ مورد بررسی قرار می گیرد. البته در این مثال از ممان اینرسی کلیه قطعات در حال حرکت (مانند پمپ، موتور، کوپلینگ و...) صرف نظر شده است و نیز در نظر گرفته شده است که سرعت جریان آب V بطور ناگهانی به صفر می رسد.

در شرایط کاری عادی سیستم فشار ثابت H و سرعت جریان آب V در طول خط لوله به طول L وجود دارد.



شکل (۱-۱): پروفیل طولی خط لوله و زمان انعکاس موج فشار

زمان $T=0$: در این زمان پمپ بطور ناگهانی از کار می افتد و سرعت V به صفر می رسد طبق فرمول ژوکوفسکی افت فشاری معادل ΔH بوجود می آید.

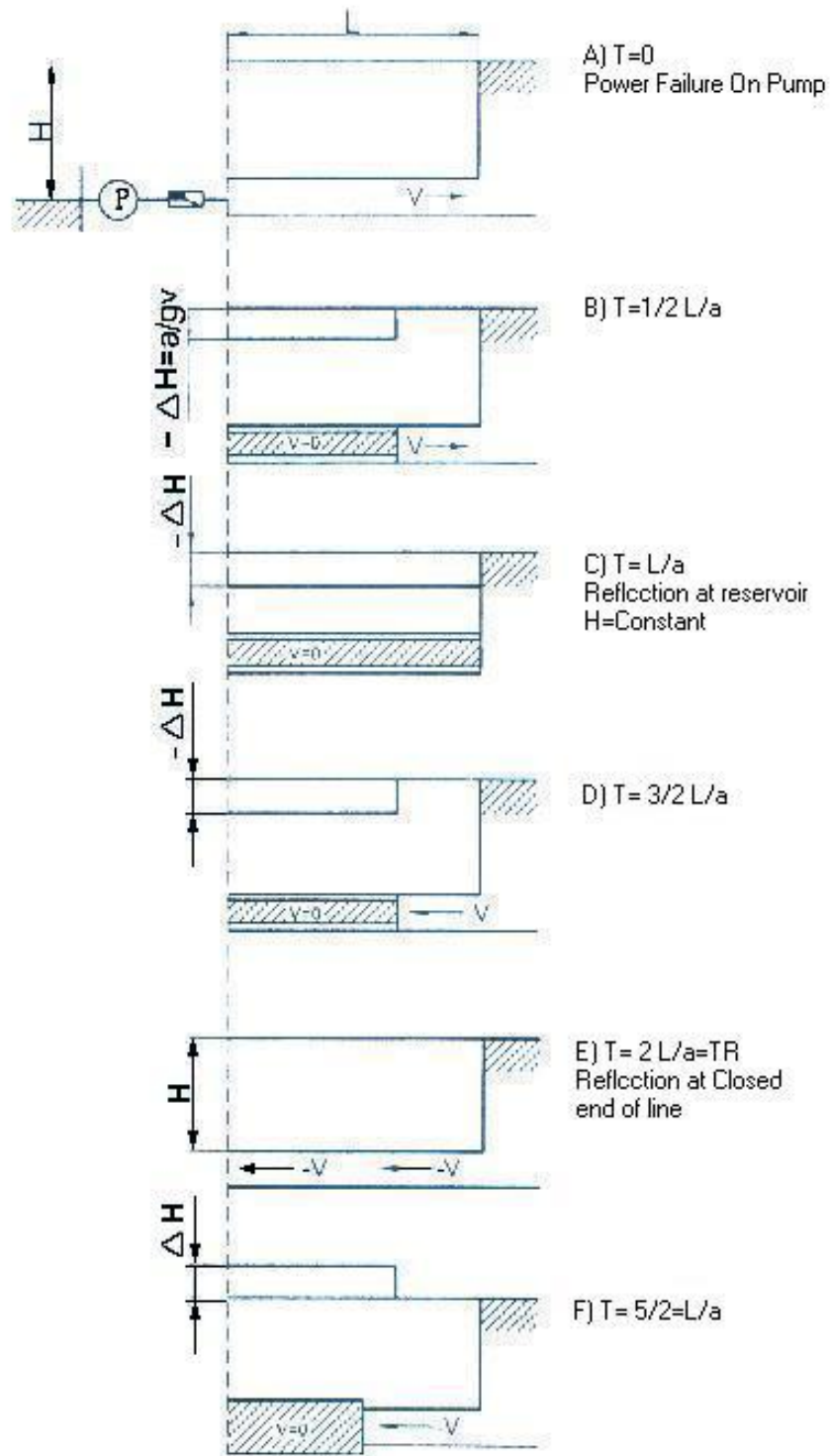
زمان $T = \frac{L}{2a}$: در این زمان موج فشار ضربت قوچی به نصف راه رسیده است در جلوی این موج فشار، آب با سرعت V در جریان است در حالیکه سرعت در عقب موج فشار به صفر رسیده است و فشار به مقدار ΔH کاهش یافته است.

زمان $T = \frac{L}{a}$: در این زمان موج فشار ضربت قوچی به مخزن انتهایی رسیده است. در تمامی خط لوله سرعت آب به صفر رسیده و فشار معادل ΔH کاهش یافته است در مخزن انتهایی کاهش فشار نمی تواند باقی بماند و با فشار H منعکس می شود این موج فشار به طرف پمپ حرکت می کند.

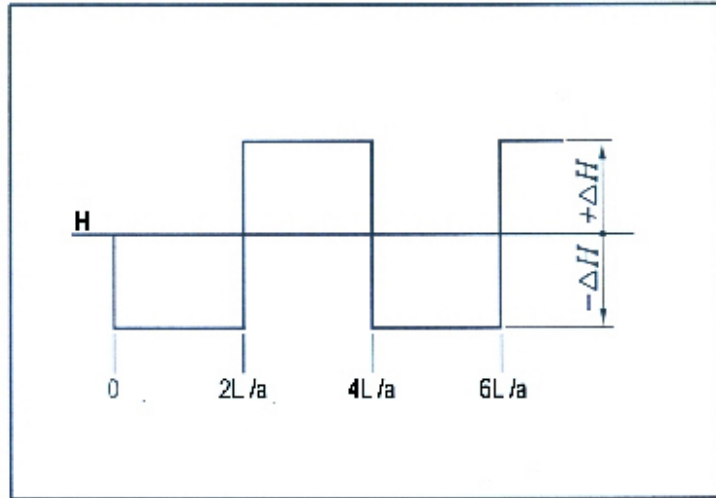
زمان $T = \frac{3L}{2a}$: در این زمان موج فشار در نصف راه برگشت از مخزن انتهایی است بطوریکه در شکل نشان داده شده است در این محل در پشت موج فشار، فشار H و سرعت آب $-V$ وجود دارد ولی در جلوی موج فشار، سرعت $V=0$ و فشار $-\Delta H$ است.

زمان $T = \frac{2L}{a} = T_r$: در این زمان موج فشار ضربت قوچی به شیر یکطرفه روی پمپ می رسد. تمامی خط لوله در این حالت تحت فشار اولیه H قرار دارد، اما سرعت جریان آب $-V$ بطرف پمپ است. در این حالت موج فشار از شیر یکطرفه به صورت موج فشار مثبت انتشار می یابد و این سیکل که در بالا ذکر شد مجدداً تکرار می شود ولی این مرتبه با فشار مثبت.

زمان: $T = \frac{4L}{a} = 2T_r$ بعد از این زمان یک سیکل کامل به پایان رسیده است و سیکل جدید شروع می شود شکل (۱-۲).



شکل (۲-۱): تغییرات فشار در خط لوله پمپاژ به هنگام وقوع ضربت قوچی در طی یک سیکل کامل



شکل (۳-۱): منحنی فشار نسبت به زمان در شروع خط لوله پمپاژ



فصل دوم: علت های بوجود آمدن ضربت قوچی آب

- چنانکه گفته شد تغییر سرعت باعث ایجاد موج فشار در خطوط لوله می شود و این تغییر سرعت در ایستگاههای پمپاژ به دلایل زیر ممکن است اتفاق بیافتد.
- روشن کردن یک یا چند پمپ
 - خاموش کردن یک یا چند پمپ
 - تغییر تنظیم شیرها و یا بسته شدن ناگهانی شیرها
 - تغییر سرعت دورانی پمپ یا پمپها (در سیستم های دور متغیر)
 - پر کردن غیر اصولی خط لوله
 - استفاده از شیرهای یکطرفه نامناسب
 - از کار افتادن ناگهانی یک یا چند پمپ

به غیر از مورد آخر با اتخاذ تدابیری مانند انتخاب شیرهای یکطرفه مناسب، بستن و یا باز کردن شیرها در خروجی پمپها به صورت کاملاً آرام می توان تغییرات فشار را به حداقل ممکن رساند. یکی از دلایلی که موکداً توصیه می شود که قبل از روشن کردن یک پمپ، شیر خروجی بسته بوده و بعد از استارت زدن آرام آرام باز شود و نیز قبل از خاموش کردن پمپ اول شیر خروجی آرام آرام بسته شود و سپس پمپ خاموش شود، همین موضوع است. ولی در شرایط قطع ناگهانی برق این تدابیر قابل اجرا نخواهد بود و پدیده ضربت قوچی با شدت زیاد بوقوع خواهد پیوست و در این شرایط سیستم های حفاظتی که توضیح آن داده خواهد شد می توانند تاثیر تخریبی آن را تا حد قابل قبول کاهش دهند.

در زیر به توضیح بیشتری در این موارد می پردازیم:

۲-۱- بسته شدن سریع شیرهای قطع و وصل

بسته شدن سریع شیر قطع و وصل در خط لوله باعث ایجاد موج فشار در خط لوله می شود این موج فشار در بالا دست شیر باعث شروع ضربت قوچی با فاز فشار مثبت و در پائین دست شیر باعث شروع ضربت قوچی با فشار منفی می شود.

شکل (۲-۱) تاثیر بسته شدن ناگهانی شیر قطع و وصل در خط لوله را نشان می دهد.

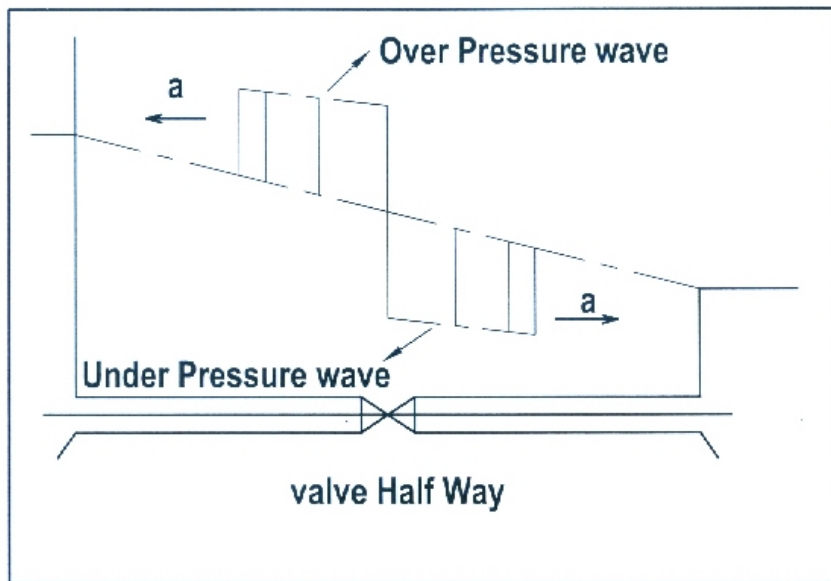
بطوریکه در شکل (۲-۲) نشان داده شده است بسته شدن ناگهانی شیر باعث ایجاد موج فشار مثبت در بالادست و موج فشار منفی در پائین دست شیر قطع و وصل می شود.

این موج فشار منفی در پائین دست شیر باعث گسیخته شدن ستون آب در خط لوله شده است. به این نوع گسیختگی که اغلب به علت بسته شدن بسیار سریع شیرهای قطع و وصل و یا شکسته شدن و افتادن ناگهانی دیسک شیرهای کشویی اتفاق می افتد گسیختگی متراکم (**Concentrated Cavitation**) گفته می شود. این نوع گسیختگی در نقاط مرتفع خط لوله نیز ایجاد می شود. خصوصیت اصلی این نوع گسیختگی آنست که همه و یا بیشتر مقطع خط لوله را بخار آب و یا هوا اشغال می کند.

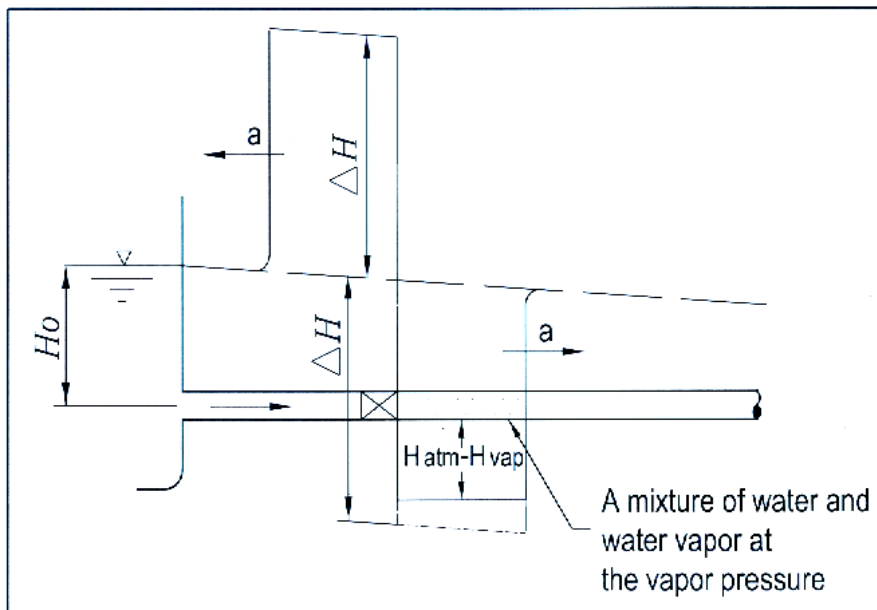


۲-۲- شیرهای یکطرفه نامناسب

شیرهای یکطرفه ای که نتوانند سریع (قبل از معکوس شدن جریان در خط لوله) بسته شوند $T = \frac{2L}{a}$ باعث تشدید شدن ضربت قوچی و نیز بوجود آمدن پدیده کوبیده شدن دیسک شیرهای یکطرفه بنام (Slamming effect) می شوند که صدا و ضربه بسیار شدیدی ایجاد می کنند، این موضوع در قسمت شیرآلات بیشتر توضیح داده خواهد شد.



شکل (۲-۱): تاثیر بسته شدن ناگهانی شیر فلکه در خطوط لوله ثقی



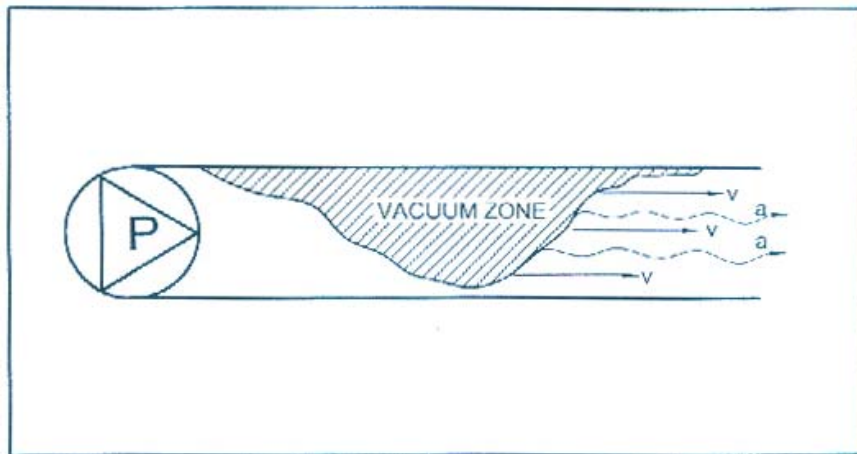
شکل (۲-۲): بسته شدن ناگهانی شیر و ایجاد موج فشار در بالا دست و پایین دست آن



۲-۳- از کار افتادن ناگهانی پمپ

در سیستم پمپاژ و خط لوله مربوطه بطوریکه در شکل (۲-۳) نشان داده شده است نوعی از گسیخته شدن آب بنام گسیختگی ممتد (Extended Cavitation) اتفاق می افتد.

همان طور که توضیح داده شد بعد از قطع ناگهانی برق در ایستگاه پمپاژ در فاز اول فشار منفی ایجاد شده و با سرعت صوت در خط لوله به انتهای مسیر حرکت می کند اگر این فشار منفی به حدی باشد که در طول خط لوله منحنی کاهش فشار، منحنی پروفیل طولی خط لوله را قطع بکند (بطوریکه در شکل (۲-۴) نشان داده شده است)، در این حالت ستون آب داخل خط لوله به علت تبخیر شدن از هم گسیخته می شود و شرایطی را پیش می آورد که بسیار حادثر از شرایط عادی است و افزایش فشار ناشی از آن، از مقادیر قابل محاسبه با فرمول ژوکوفسکی بسیار بیشتر می شود. برای توضیح بیشتر مثالی ذکر می شود. افزایش فشار ناشی از خاموش شدن پمپ در خط لوله ای که سرعت آب در آن ۲ m/s است، به شرط اینکه ستون آب از هم گسیخته نشود مطابق فرمول ژوکوفسکی ۲۰۰ متر ستون آب خواهد بود.



شکل (۲-۳): گسیختگی ممتد به هنگام از کار افتادن ناگهانی پمپ

$$\Delta H = \frac{a \times \Delta V}{g} = \frac{1000}{9.81} \times 2 = 200m$$

ولی اگر ستون آب بطور مثال $H = 10m$ از هم گسیخته بشود در آن حالت تغییرات سرعت به عوض ۲ متر در ثانیه برابر خواهد بود با:

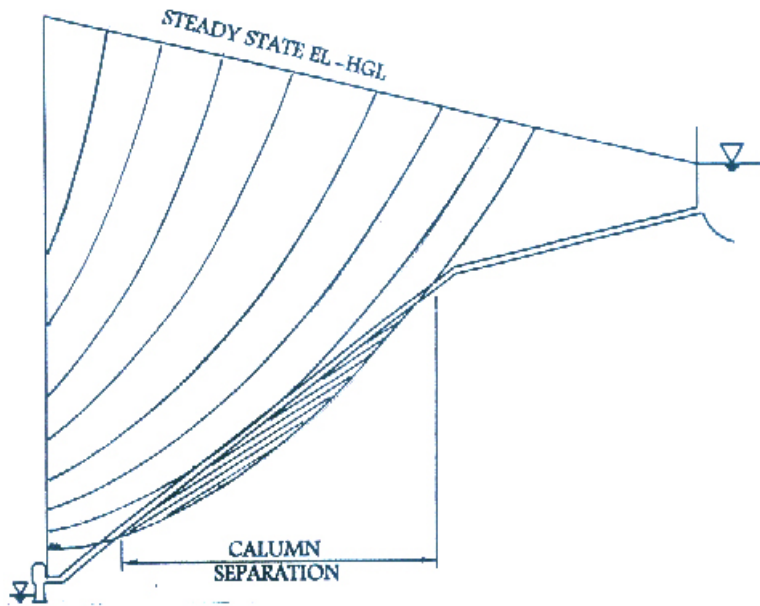
$$\Delta V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 10} = \sqrt{196} = 14m/sec$$

یعنی در این حالت افزایش فشار برابر با ۱۴۲۷ متر ستون آب (۱۴۲/۷ بار) خواهد بود.

$$\Delta H = \frac{a \times \Delta V}{g} = \frac{1000}{9.81} \times 14 = 1427$$

۲-۴- پر کردن غیر اصولی خط لوله

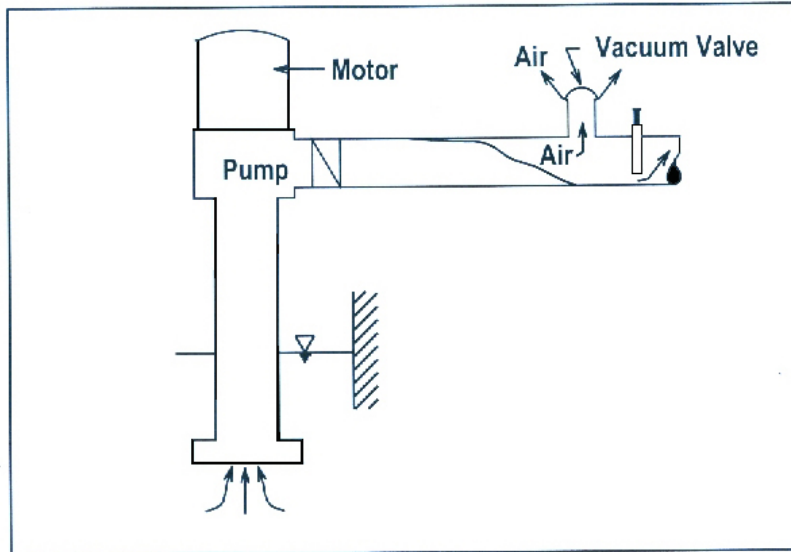
در هنگام پر کردن خطوط لوله چون مقاومت کمی در مقابل پمپ وجود دارد مقدار آبدهی پمپ بسیار زیاد است. در این حالت اگر شیر نیم بسته در خط لوله باشد و یا جسم خارجی (به علت تمیز نکردن کامل خط لوله قبل از پر کردن) وجود داشته باشد در این حالت بطوریکه در شکل (۲-۵) نشان داده شده است، هوای موجود در لوله با سرعت زیاد از شیر هوا تخلیه می شود، این امر باعث افزایش سرعت آب پشت توده هوا می شود و به محض اینکه آخرین حباب هوا از شیر هوا تخلیه شد سرعت آب بطور ناگهانی کاهش می یابد (چون آب نمی تواند به سهولت و سرعت هوا از شیر خارج شود) و این تغییر سرعت ایجاد ضربت قوچی می کند.



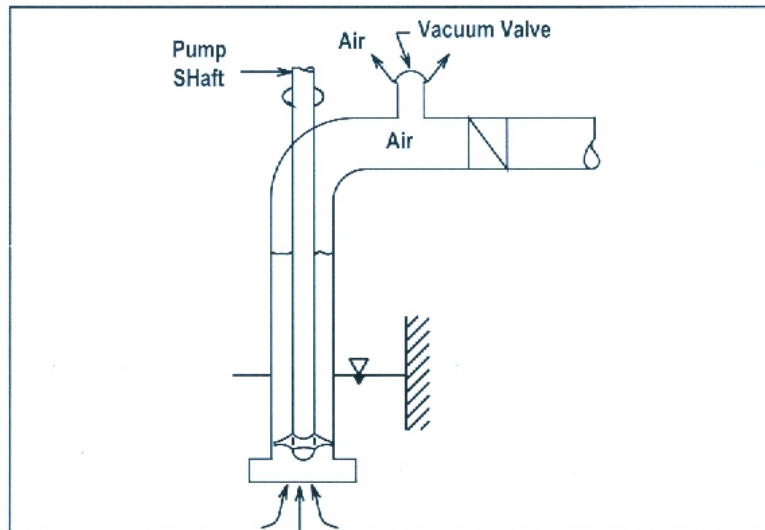
شکل (۲-۴): گسیختگی ستون آب (در قسمتهایی از شکل که هاشور زده شده است امکان گسیختگی ستون آب وجود دارد)

۲-۵- راه اندازی پمپهای توربینی

در پمپ های توربینی بطوریکه در شکل (۲-۶) نشان داده شده است شیر یکطرفه، روی پمپ نمی تواند واقع بشود و بعد از زانوی خروجی و در ابتدای خط لوله نصب می شود و قبل از آن نیز معمولاً یک شیر هوا نصب می کنند در این حالت نیز به مجرد خارج شدن آخرین حباب هوا (مانند حالت قبل) تغییرات سرعت زیادی بوجود می آید که باعث ایجاد ضربه قوچ می شود و اگر در این موارد از شیر هوا استفاده نکنیم هوای موجود بین پمپ و شیر یکطرفه آنقدر فشرده می شود تا فشار آن بیشتر از فشار استاتیک بعد از شیر یکطرفه بشود و در این حالت شیر یکطرفه را با صدا و ضربه بسیاری شدیدی باز می شود و توده هوای بسیار بزرگی به داخل خط لوله فرستاده می شود که خود مسائل بسیار زیادی را پیش می آورد در این موارد استفاده از شیرهای کنترل پمپ مخصوص پمپ های توربینی (شفاف و غلاف) بجای شیرهای هوا توصیه می شود. در رابطه با نحوه کار این نوع شیرها به کتابچه آموزش و کار برد شیرهای کنترل اتوماتیک از انتشارات شرکت مکانیک آب مراجعه فرمائید.



شکل (۲-۵): کاهش ناگهانی سرعت آب بعد از خروج کامل هوا از شیر و وقوع ضربت قوچی



شکل (۲-۶): روش نصب پمپ توربینی و ملحقات آن



فصل سوم: اصول پیشگیری ، کاهش و مقابله با ضربت قوچی

این اصول را به دو دسته می توان تقسیم کرد:

شرایط قابل کنترل: و آن شرایطی است که قطع ناگهانی برق وجود ندارد و روشن و خاموش کردن پمپها و باز بسته کردن شیرها را می توان کنترل کرد.

شرایط خارج از کنترل: و آن شرایطی است که قطع ناگهانی برق وجود دارد و تغییرات سرعت جریان آب خارج از اختیار ما است.

۳-۱-۱- شرایط قابل کنترل

درست است که بیشترین خطرات در شرایط خارج از کنترل بوجود می آید ولی چنانکه تمهیدات لازم اتخاذ نشود شرایط قابل کنترل نیز مانند شرایط خارج از کنترل می تواند خطرناک باشد. بطور مثال خاموش کردن عمدی و ناگهانی یک پمپ هیچ فرقی با خاموش شدن ناگهانی پمپ به علت قطع برق ندارد با این تفاوت که خاموش شدن ناگهانی پمپها به علت قطع برق ممکن است هر از چند گاهی یک بار و بصورت اتفاقی پیش می آید ولی خاموش کردن و روشن کردن پمپ ها موردی است که ممکن است هر روز و یا هر چند ساعت بارها نیاز باشد. لذا استفاده از وسایل لازم برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی سرعت آب کاملاً ضروری و شرط اول بوده و استفاده کردن از شیرهای یکطرفه با سرعت بسته شدن زیاد کاملاً ضروری است.

۳-۱-۱-۱- تجهیزات لازم برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی سرعت

۳-۱-۱-۱-۱- استفاده از شیرهای یکطرفه با سرعت بسته شدن زیاد

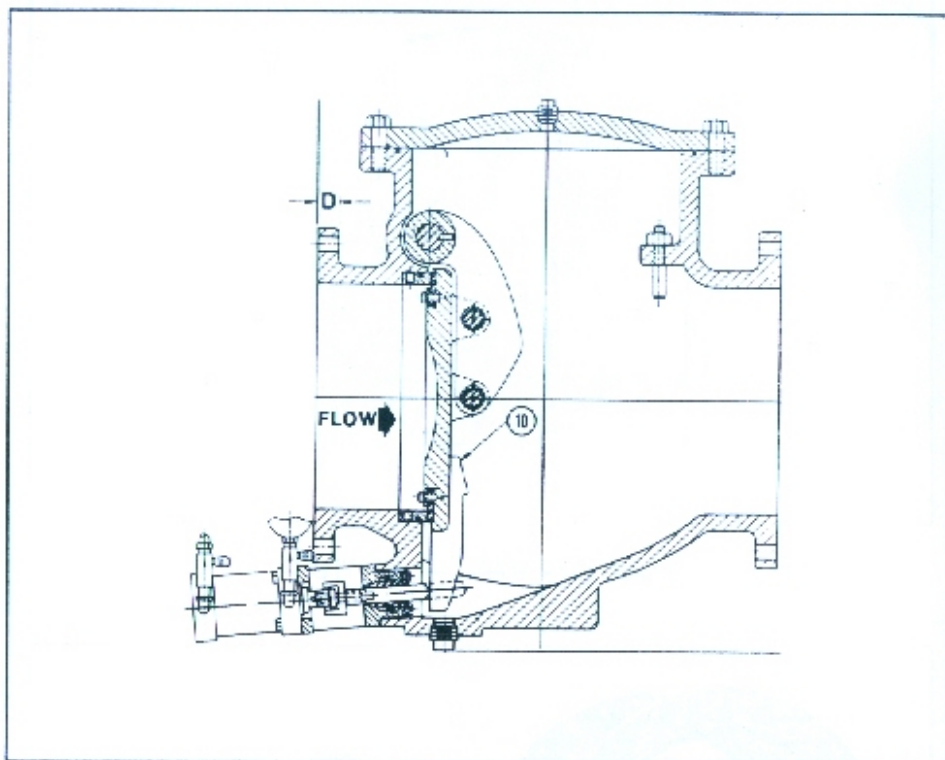
شیرهای یکطرفه شاید از نظر سهولت مکانیزم عملکرد از سایر شیرها ساده تر باشند ولی باید در نظر گرفته شود که انتخاب نوع نادرست این شیرها بزرگترین مشکلات را در سیستم های پمپاژ بوجود می آورد. اصولاً در انتخاب شیرهای یکطرفه در سیستم های پمپاژ به هیچ عنوان نباید قیمت شیر را ملاک انتخاب قرار داد. (موضوعی که متأسفانه بسیار رایج است). در شیرهای یکطرفه ای که نمی توانند سریعاً بسته شوند پدیده ای بنام کوبیده شدن دیسک شیر یکطرفه به نشیمن آبنندی کننده Slamming effect بوجود می آید که با ضربه و صدای بسیار شدیدی همراه است که اکثراً باعث شکسته شدن شیر یکطرفه و آسیب دیدن سایر تجهیزات می شود و خود باعث تشدید ضربت قوچی می شود. باید در نظر گرفت که پدیده Slamming effect جزو اجتناب ناپذیر از ضربت قوچی نیست و با انتخاب نوع صحیح شیر یکطرفه می توان از آن جلوگیری کرد ولی این پدیده در صورت بوجود آمدن، ضربت قوچی را تشدید می کند. برای جلوگیری از این پدیده دو راه وجود دارد:

الف - استفاده از شیرهای یکطرفه ترمزدار که بسته شدن دیسک شیر یکطرفه را آهسته می کند و از کوبیده شدن دیسک شیر جلوگیری می کند، این روش در سیستم های پمپاژ معمولاً قابل استفاده نیست چون آهسته بسته شدن شیر باعث می شود



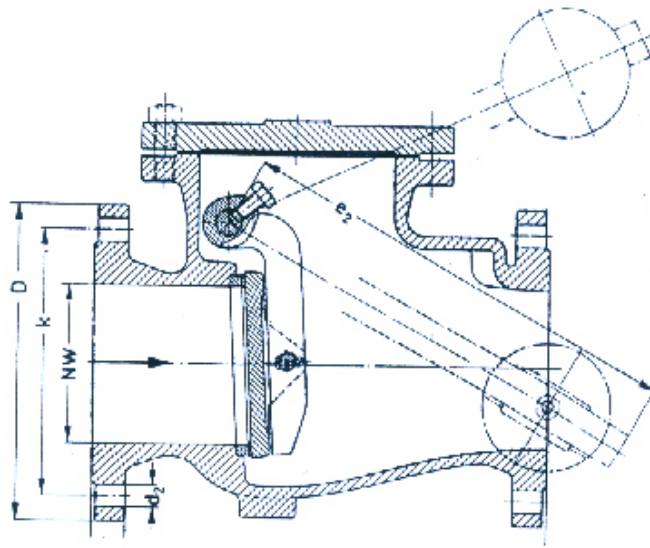
که جریان معکوس از پمپ عبور بکند و پمپ به صورت توربین عمل کند که کار بسیار خطرناکی است و ضمناً عبور جریان معکوس از شیر یکطرفه نیروهای بسیار زیادی به سیستم ترمز وارد می کند که می تواند باعث تخریب ترمز شیر بشود.

ب - استفاده از شیرهای یکطرفه ای که سریع بسته می شوند. برای بستن سریع شیرهای یکطرفه باید نیرویی به غیر از آنچه که جریان آب وارد می کند، به دیسک شیر در جهت بسته شدن وارد کرد. در شیرهای یکطرفه لولایی و شیرهای یکطرفه مدل پروانه ای می توان با اضافه کردن اهرم و وزنه به محور شیر در خارج از بدنه شیر این کار را انجام داد ولی این کار نیز نمی تواند شیرهای یکطرفه را به مقداری که نیاز است سریع ببندد، یا می توان از شیرهای یکطرفه فنردار سوپاپی استفاده کرد که نتایج بسیار بهتری نسبت به انواع قبلی دارند.

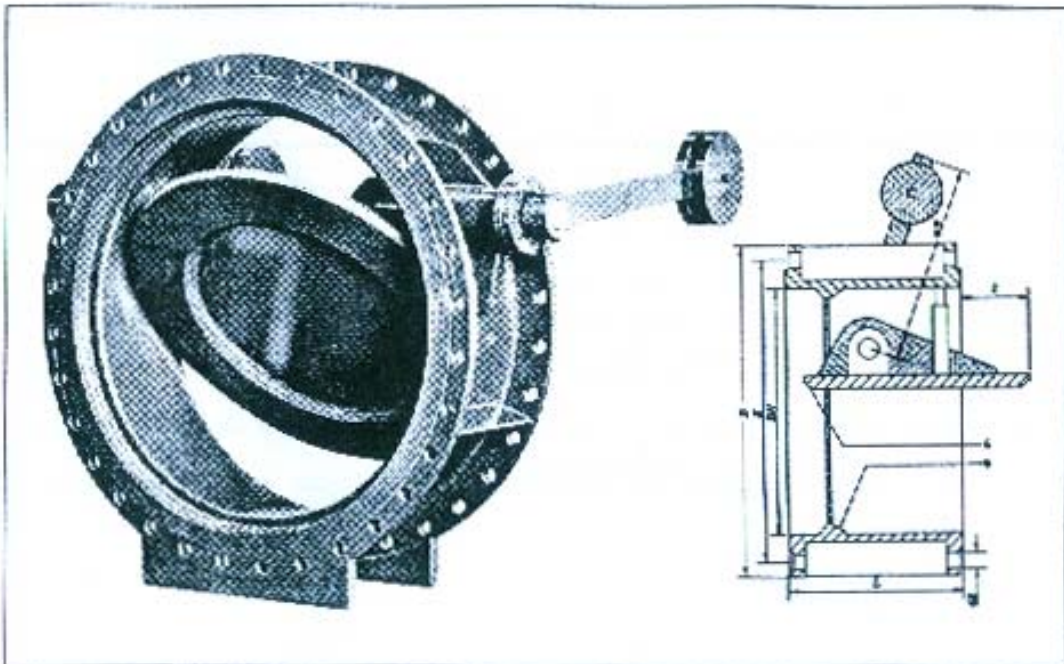


شکل (۳-۱): شیر یکطرفه ترمزدار

ذیلاً از نظر محاسباتی ثابت خواهیم کرد که شیرهای یکطرفه سوپاپی فنردار زمان بسته شدنی معادل $\frac{3}{8}$ تا $\frac{5}{8}$ برابر سریعتر از شیرهای یکطرفه مدل پروانه ای و لولایی دارند و می توانند قبل از انعکاس موج فشار از انتهای سیستم بسته شوند و از ایجاد شدن پدیده Slamming effect جلوگیری کنند.



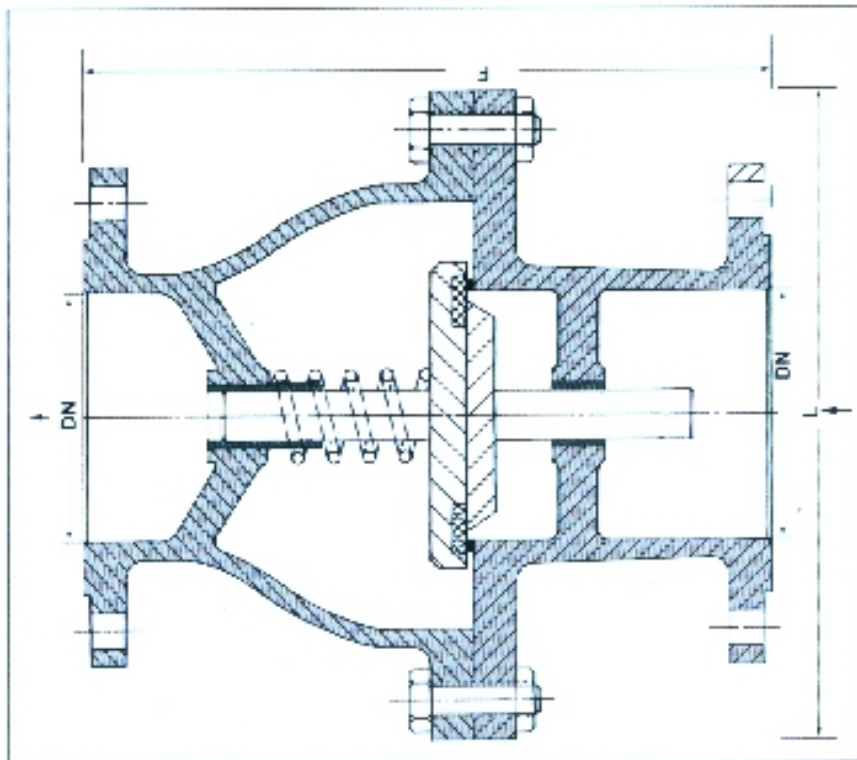
شکل (۲-۳): شیر یکطرفه لولایی اهرم دار



شکل (۳-۳): شیر یکطرفه مدل پروانه ای اهرم دار



شکل (۳-۴): شیر یکطرفه دو سر فلنج سوپایی فنر دار شیپوری



شکل (۳-۵): شیر یکطرفه دو سر فلنج سوپایی فنر دار



مقایسه زمان بسته شدن انواع شیرهای یکطرفه

شیر یکطرفه به قطر نامی DN را در نظر بگیرید قطر دریچه را نیز D فرض کنید.

در یک شیر یکطرفه لولایی با توجه به شکل (۳-۶) ملاحظه می شود که دریچه شیر یک مسیر دایره ای را می پیماید که شعاع این دایره دوران برابر با قطر دریچه شیر است در نتیجه محیط دایره دوران (p) برابر می شود با $(\pi \cdot 2D)$ حال اگر فرض کنیم که دریچه این شیر به اندازه ۷۲ درجه دوران کند در نتیجه کورس حرکتی دریچه شیر به روش زیر حساب می شود:

$$\text{کورس حرکتی دریچه شیر لولایی} = \frac{P}{5} = \frac{\pi \times 2D}{5} = 1.25D$$

(لازم به ذکر است که زاویه چرخش هر چه بیشتر باشد، کورس حرکتی دریچه شیر نیز بیشتر خواهد بود.)

در یک شیر اهرم وزنه ای مدل پروانه ای با توجه به شکل (۳-۷) شعاع دایره دوران دریچه شیر برابر است با:

$$\text{شعاع دایره دوران} = \frac{D}{2} + \frac{D}{4} = \frac{3D}{4}$$

و در صورت چرخش ۷۲ درجه ای دریچه، کورس حرکتی آن به قرار زیر محاسبه خواهد شد:

$$\text{محیط دایره دوران} = \pi \times 2 \times \frac{3D}{4} = \frac{3\pi D}{2}$$

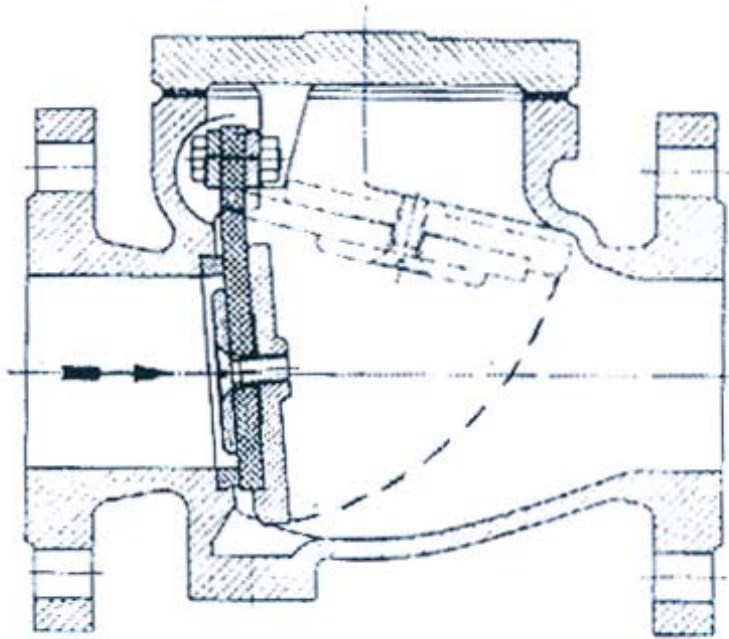
$$\frac{1}{5} \times \text{محیط دایره دوران} = \text{کورس حرکتی دریچه ی شیر یکطرفه اهرم وزنه ای مدل پروانه ای}$$

$$= \frac{\frac{3\pi D}{2}}{5} = \frac{3\pi D}{10} = 0.94D$$

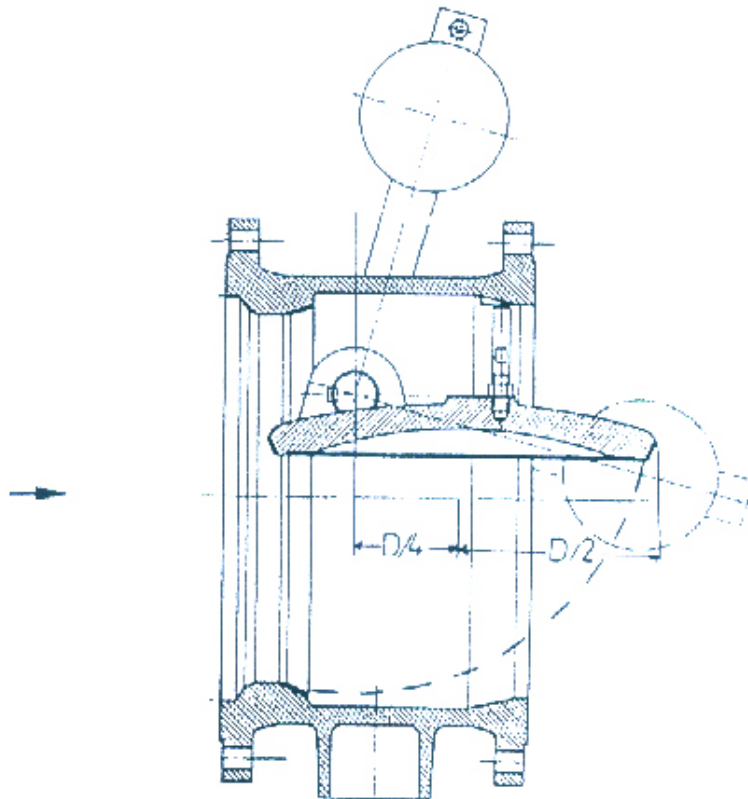
در یک شیر یک طرفه سوپاپی دو سر فلنج که قطر مقطع عبور آب برابر DN است، سطح مقطع عبور آب برابر است با:

$$\frac{\pi \times (DN)^2}{4}$$

حال در نظر بگیرید که دریچه به اندازه $\frac{DN}{4}$ حرکت کند. (در اینجا به خاطر ساده شدن محاسبات DN را برابر D قطر دریچه شیرهای لولایی و اهرم وزنه ای مدل پروانه ای در نظر گرفته ایم.)



شکل (۳-۶): شیر یکطرفه اهرم لولایی (به قطر دریچه D)



شکل (۳-۷): شیر یکطرفه اهرم وزنه ای مدل پروانه ای (به قطر دریچه D)

در این صورت مقطع عبور آب، محیط جانبی استوانه ای به ارتفاع $H = \frac{D}{4}$ و قطر D است.
بنابراین سطح مقطع عبور سیال برابر است با:



$$\pi \times D \times H = \pi \times D \times \frac{D}{4} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

در نتیجه اگر دریچه شیر یکطرفه سوپاپی به اندازه $D/4$ حرکت کند، همان سطح مقطع را بدست می دهد.

بررسی نتایج:

کورس حرکتی دریچه ی شیر یکطرفه سوپاپی = $D/4$

کورس حرکتی دریچه ی شیر یکطرفه لولایی = $1.25 D$

کورس حرکتی دریچه ی شیر یکطرفه اهرم وزنه ای مدل پروانه ای = $0.94 D$

در نتیجه شیر یکطرفه سوپاپی ۵ برابر سریعتر از شیر یکطرفه لولایی و $3/8$ برابر سریعتر از شیر یکطرفه ای اهرم وزنه ای مدل پروانه ای می بندد.

از آنچه در رابطه با شیرهای یکطرفه گفته شد نتیجه گرفته می شود که:

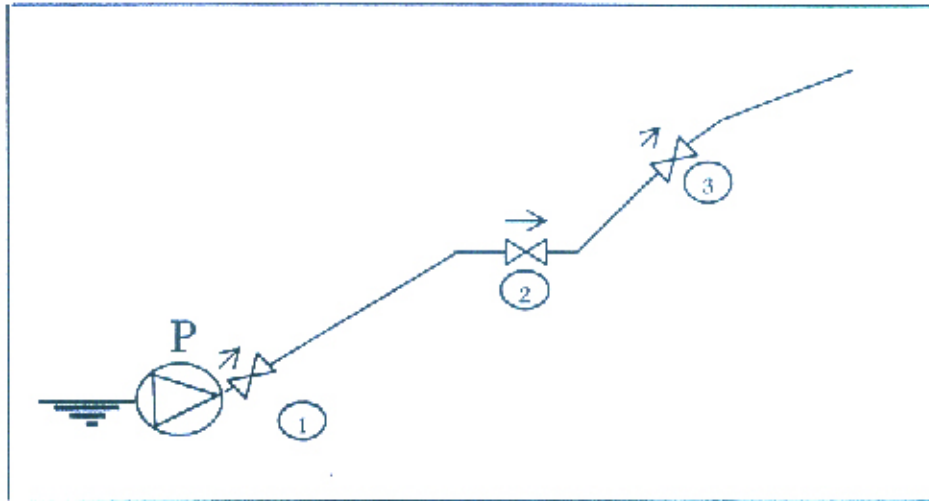
- استفاده از شیرهای یکطرفه لولایی در سیستم های پمپاژ نادرست است.
- شیرهای یکطرفه ی لولایی اهرم وزنه ای و یا مدل پروانه ای اهرم وزنه ای گر چه بسیار بهتر از لولایی هستند ولی در اکثر موارد نمی توانند به قدر کافی سریع بسته بشوند.
- شیرهای یکطرفه سوپاپی فنردار به علت قابلیت بسته شدن سریعتر به مقدار $3/8$ تا ۵ برابر، کارایی بهتری نسبت به انواع قبلی دارند. برای نیل به این اهداف شرکت مکانیک آب شیرهای یکطرفه سوپاپی فنردار خود را با ویژگی های خاصی طراحی و تولید می کند که به قرار زیر هستند:

خصوصیات فنی شیرهای یکطرفه سوپاپی فنردار شرکت مکانیک آب:

- این شیرها بدنه فولادی دارند و در مقابل ضربات سنگین ناشی از ضربت قوچی مقاومت مکانیکی فوق العاده ای دارند.
- این شیرها به صورت دو سر فلنج ساخته می شوند و مقاطع عبور آب در این شیرها بزرگتر از خط لوله هم اندازه است و افت فشار اندکی دارند.
- محور این شیرها در دو طرف یاتاقان بندی شده اند و در نتیجه نصب عمودی، افقی و یا تحت زاویه در کار این شیرها هیچ گونه تأثیر منفی ندارد.
- نشیمن آبیندی کننده، فنر، و محور این شیر از جنس استنلس استیل است و در مقابل زنگ زدگی مقاوم است.
- سیستم آبیندی کننده در این شیرهای یکطرفه طوری طراحی شده است که از وارد شدن نیروی بیش از حد به لاستیک آبیندی جلوگیری می کند و سیستم آبیندی عمر طولانی دارد.
- به علت دو تکه بودن بدنه این شیرها، سرویس و تعویض قطعات بسیار آسان و سریع انجام می یابد.

نصب دو یا چند شیر یکطرفه بطور سری

اگر چند شیر یکطرفه در یک خط لوله پمپاژ بطور سری بسته شود در این حالت چنانچه از ایستگاه پمپاژ به انتهای مسیر، حرکت بکنیم شیری که به انتهای مسیر نزدیکتر است باید از شیر ما قبل خود سریعتر بسته شود و در غیر این صورت پدیده ای بنام Hydraulic Press ما بین دو شیر یکطرفه بوجود می آید که فشارهای بسیار زیادی تولید می کند.



شکل (۳-۸): نصب چند شیر یکطرفه بصورت سری

(برای جلوگیری از بوجود آمدن پدیده Hydraulic Press اول می بایستی شیر یکطرفه شماره ۳، سپس شماره ۲ و در آخر شماره ۱ بسته بشوند.) شکل (۳-۸).

در ایستگاههای پمپاژی که مجهز به سوپاپ مکش در ورودی پمپ هستند نیز این مسئله وجود دارد. چون سوپاپ نیز نوعی شیر یکطرفه است که به علت کورس حرکت کمتر خیلی سریع بسته می شود و چنانچه از شیرهای یکطرفه با زمان بسته شدن آهسته استفاده شود پدیده مذکور مابین سوپاپ و شیر یکطرفه واقع در خروجی پمپ نیز بوجود می آید که منجر به آسیب دیدن سوپاپ مکش و پمپ که اغلب از جنس چدن خاکستری است می شود. این مورد نیز یکی از دلایلی است که استفاده از شیرهای یکطرفه سوپاپی دو سر فلنج را اجتناب ناپذیر می کند. استفاده از شیرهای یکطرفه سوپاپی در سایر سیستم های ضربت قوچی مانند تانکهای ضربه گیر تحت فشار و غیره نیز کاملاً ضروری است که در قسمت های مربوطه به این موضوع اشاره خواهیم کرد.

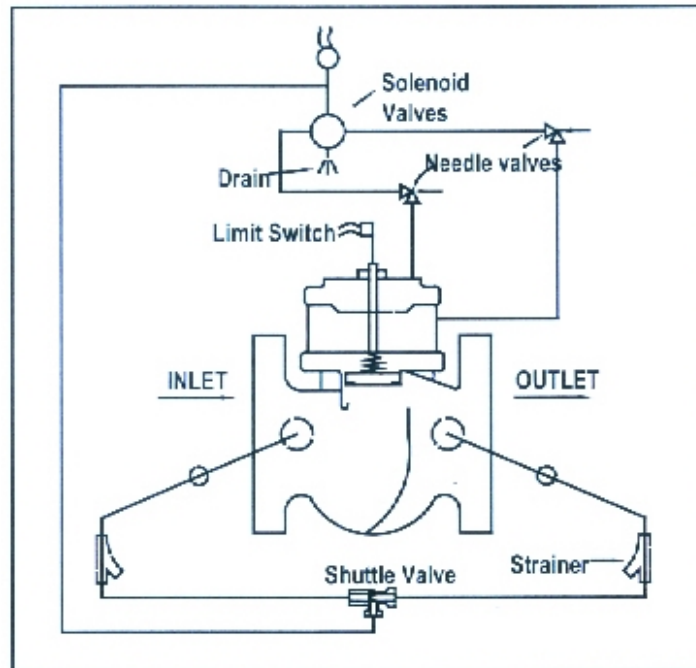
۳-۱-۱-۲- استفاده از شیرهای کنترل پمپ در خروجی پمپ ها

موارد کاربرد:

اصولاً پمپ های سانتریفیوژ می بایستی در مقابل شیر خروجی بسته استارت زده شوند و پس از رسیدن فشار پمپ به فشار دبی صفر (Shut - off Head) شیر خروجی به آرامی باز شود تا اولاً راه اندازی پمپ آسانتر صورت گیرد و ثانیاً از ایجاد ضربت قوچی جلوگیری به عمل آید. همچنین در هنگام خاموش کردن پمپ نیز می بایستی اول شیر خروجی پمپ به آرامی بسته شده و سپس پمپ خاموش شود تا ضربت قوچی تا حداقل ممکن کاهش یابد. برای این کار یا باید با صرف هزینه های هنگفت از شیرهای قطع و وصل معمولی مانند شیر پروانه ای و یا شیر کشویی مجهز به محرک الکتریکی با سیستم فرمان مناسب برای باز و بسته کردن به موقع شیر استفاده شود و یا به راحتی از شیرهای کنترل پمپ ساخت شرکت مکانیک آب با ضربت اطمینان بالا، عمر طولانی تر، ایمنی بسیار بیشتر و هزینه کمتر استفاده کرد شکل (۳-۹). از آنجایی که بدنه این نوع شیرها از نوع Globe است در نتیجه عمر طولانی تر نسبت به سایر شیرها دارند. همچنین بجای سیستم الکتریکی ۳۸۰ ولت سه فاز می توان از برق D.C در انواع ولتاژهای مختلف استفاده کرد که ایمنی بیشتری نیز به همراه دارند.



(برای توضیح بیشتر شیرهای کنترل پمپ به کتابچه آموزش و کار برد شیرهای کنترل اتوماتیک شرکت مکانیک آب مراجعه شود.)



شکل (۳-۹): شیر کنترل پمپ پیلوت دار

۳-۱-۱-۳- استفاده از شیرهای قطع و وصل مجهز به محرکهای الکتریکی (Electric)

Actuators در خروجی پمپها

این شیرها تا حدودی می توانند کار شیر کنترل پمپ را انجام دهند ولی نقاط ضعفی نسبت به شیرهای کنترل پمپ دارند که عبارتند از:

الف - در موقع استفاده از این شیرها حتماً باید از شیر یکطرفه نیز استفاده کرد زیرا چنانچه قطع برق بوجود آید این شیرها در هر حالتی که باشند در همان حالت باقی می مانند و نمی توانند بصورت اتوماتیک بسته شوند.

ب - در این شیرها از برق ۳۸۰ ولت سه فاز استفاده می شود و ضریب ایمنی پائین تری نسبت به شیرهای کنترل پمپ که در آنها می توان از برق ۲۴ ولت تک فاز DC استفاده کرد، دارند.

ج - ضمناً چنانچه از شیرهای کشویی یا پروانه ای مجهز به محرک الکتریکی استفاده بشود در موقع بسته و یا باز شدن شیر به علت داشتن خصوصیات کنترلی ضعیف تر نسبت به شیرهای کنترل پمپ، عمل کنترل دبی خروجی فقط در ۱۰ تا ۳۰ درصد کورس حرکت شیر انجام می یابد و این موضوع نوسانات فشار بیشتری را ایجاد می کند (البته استفاده از شیرهای گلوب و یا سوزنی Needle Valves این مشکل را دارد).

د - در اکثر شیرهای مجهز به محرک الکتریکی که در خروجی پمپ ها نصب می شوند قیمت محرک الکتریکی و ملحقات الکتریکی مربوط معمولاً ۳ تا ۶ برابر قیمت خود شیر است. در صورتیکه در شیرهای کنترل پمپ این نسبت معکوس است یعنی تجهیزات الکتریکی (شیرهای سولنوئیدی) شیرهای کنترل پمپ ۱/۳ تا ۱/۶ قیمت خود شیر را دارند، بنابراین هزینه نگهداری و



تعویض سیستم های الکتریکی شیرهای کنترل پمپ بسیار کمتر از شیرهای قطع و وصل مجهز به محرکهای الکتریکی است. البته استفاده از شیرهای پروانه ای (بخصوص نوع ویفری) مجهز به محرک الکتریکی، که وزن و حجم کمتری نسبت به شیرهای کنترل پمپ دارند، ممکن است در شرایطی با صرف نظر کردن از سایر مزایای شیرهای کنترل پمپ توجیه پذیر باشند.

۳-۱-۱-۴- استفاده از سیستم های الکتریکی دور متغیر در ایستگاههای پمپاژ

استفاده از سیستم های الکتریکی دور متغیر در ایستگاههای پمپاژ مزایای بسیار زیادی برای سیستم های پمپاژ دارد، در این سیستم ها پمپ با دور کم راه اندازی می شود و نسبت به دبی یا فشار مورد نظر دور موتور بصورت تدریجی افزایش می یابد و چنانچه دبی یا فشار کمتری لازم باشد بصورت تدریجی دور موتور کاهش پیدا می کند. این سیستم ها راندمان بسیار بهتری نسبت به سیستم های معمولی دارند و نیاز به روشن و خاموش کردن مداوم پمپها برای تنظیم دبی مورد نیاز نیست، این عمل با افزایش و یا کاهش تدریجی دور موتور ها صورت می گیرد و لذا مشکلات روشن و خاموش کردن پمپها و تغییرات ناگهانی سرعت آب که ایجاد ضربت قوچی زیاد می کند وجود ندارد ولی باید در نظر گرفت که این روش به علت هزینه زیاد و پیچیده تر بودن مکانیزم های الکتریکی متأسفانه هنوز در کشور رایج نشده است و ما نیز فعلاً به جزئیات آن وارد نمی شویم.

۳-۲- شرایط خارج از کنترل

آنچه در بخش قبلی یعنی شرایط قابل کنترل گفته شد مربوط به تدابیری بود که اغلب در ایستگاههای پمپاژ می بایستی اتخاذ شود ولی در شرایط خارج از کنترل تمهیدات لازم برای مقابله با پدیده ضربت قوچی ممکن است در ایستگاههای پمپاژ و یا در طول خط لوله و یا در هر دو لازم باشند. شرایط خارج از کنترل به دو بخش تقسیم می شوند:

الف - شرایطی که در آن احتمال گسیختگی ستون آب وجود ندارد و فقط افزایش فشار (فشار مثبت) ایجاد مشکل می کند.

ب - شرایطی که احتمال گسیختگی ستون آب وجود دارد و باید هم با مشکل کاهش فشار (فشار منفی) بیش از اندازه و هم با مشکل افزایش فشار (فشار مثبت) مقابله کرد.

۳-۲-۱- شرایطی که احتمال گسیختگی ستون آب وجود ندارد

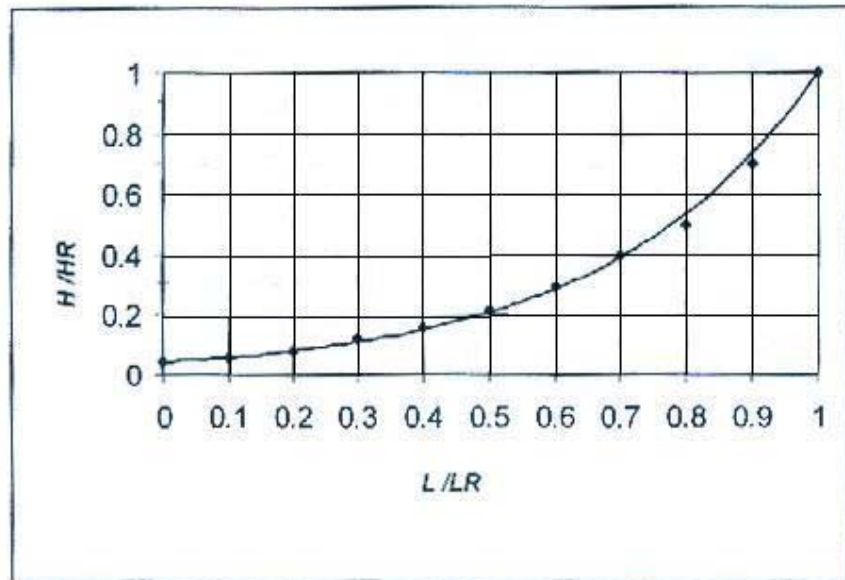
این شرایط معمولاً در سیستم هایی که پروفیل طولی بسیار ملایم دارند، وجود دارد. منحنی زیر بطور تقریبی شرایطی را که معمولاً در آن مشکل گسیختگی ستون آب وجود ندارد نشان می دهد. البته این منحنی تجربی و تقریبی است و به هیچ عنوان لزوم محاسبات دقیق ضربت قوچی را منتفی نمی کند.

در این منحنی طول خط لوله به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم می شود و ارتفاع هر نقطه نسبت به ارتفاع استاتیک کلی (۱۰/۱۰) محاسبه و در آن ترسیم می شود. اگر منحنی حاصل از پروفیل طولی خط لوله در زیر این منحنی قرار گیرد، در آن شرایط احتمال گسیختگی ستون آب بسیار کم است و اگر در بالای آن قرار گیرد ممکن است مسئله گسیختگی ستون آب وجود داشته باشد. در این سیستم ها معمولاً اینرسی موتور و پمپ برای جلوگیری از گسیختگی ستون آب کافی است.



۳-۲-۱-۱- روش های مقابله با افزایش فشار

اقتصادی ترین راه مقابله با مشکل افزایش فشار استفاده از شیرهای اطمینان (Surge Relief Valves) و یا ترکیب شیرهای اطمینان با شیرهای یکطرفه سوپاپی دو سر فلنج فنردار و یا ترکیب شیرهای اطمینان با چرخ لنگر Flywheel است.



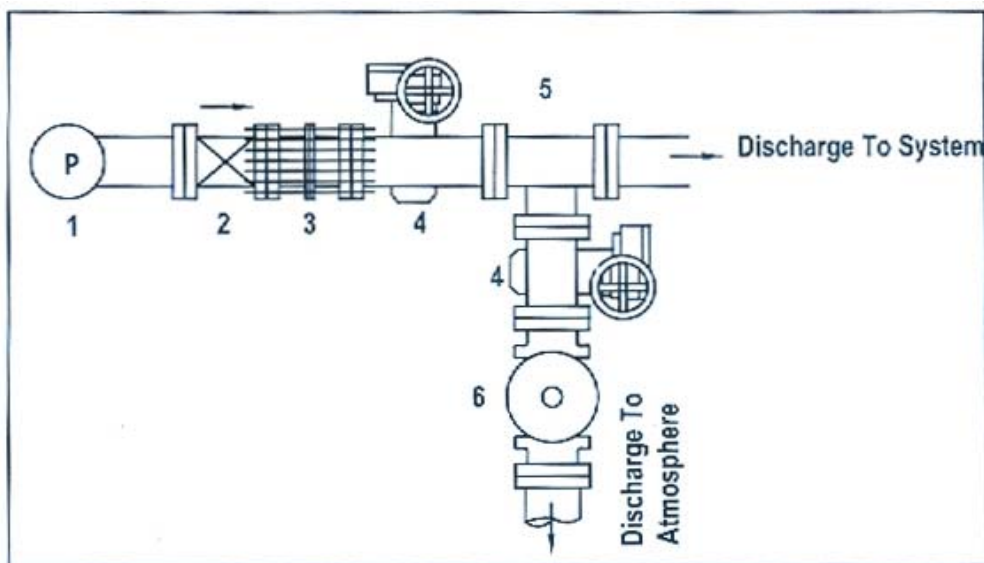
شکل (۳-۱۰): منحنی H/HR نسبت به L/LR

با در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی، فشار طراحی خطوط لوله معمولاً $1/5$ برابر فشار دینامیکی یا استاتیکی (هر کدام بیشتر باشد) انتخاب می شود و در سیستم های پمپاژ نباید اجازه داد که فشار مثبت از این مقدار بیشتر شود. بنابراین اگر فشار قابل تحمل توسط خط لوله به مقداری باشد که نیازی به حفاظت خط لوله در مقابل افزایش فشار نباشد در آن صورت استفاده از شیرهای اطمینان در ایستگاه پمپاژ برای حفاظت تجهیزات داخل ایستگاه کافی خواهد بود. البته باید در نظر گرفت که خصوصیات کاری شیرهای اطمینان در این رابطه بسیار با اهمیت است بدین معنی که شیرهای اطمینان باید سریعاً با حداکثر کورس حرکت خود باز شده و به آرامی بسته شوند تا در مرحله اول بتوانند به مقدار کافی آب را برای جلوگیری از افزایش فشار از سیستم خارج کنند و در مرحله دوم به آرامی بسته شوند تا خود باعث تشدید ضربت قوچی نشوند. شیرهای اطمینان به دو نوع فنردار و پیلوت دار تقسیم می شوند که نوع پیلوت دار (Pilot Operated) شیرهای اطمینان خصوصیات بسیار بهتری نسبت به نوع فنردار دارند و می توانند شرایط فوق الذکر را ایجاد کنند شکل (۳-۱۱) شیر اطمینان پیلوت دار ساخت شرکت مکانیک آب، و شکل (۳-۱۲) روش نصب این شیر را نشان می دهد.

برای محافظت ایستگاه پمپاژ و خط لوله بهتر است از ترکیب شیرهای یکطرفه سوپاپی دو سر فلنج و شیرهای اطمینان در چند نقطه از خط لوله استفاده کرد. در این حالت شیر یکطرفه سریعاً بسته شده و فشار اضافی توسط شیر اطمینان تخلیه می شود و در نتیجه هم خط لوله و هم ایستگاه پمپاژ در مقابل افزایش فشار غیر مجاز محافظت می شوند.



شکل (۳-۱۱): شیر اطمینان پیلوت دار (ساخت شرکت مکانیک آب)

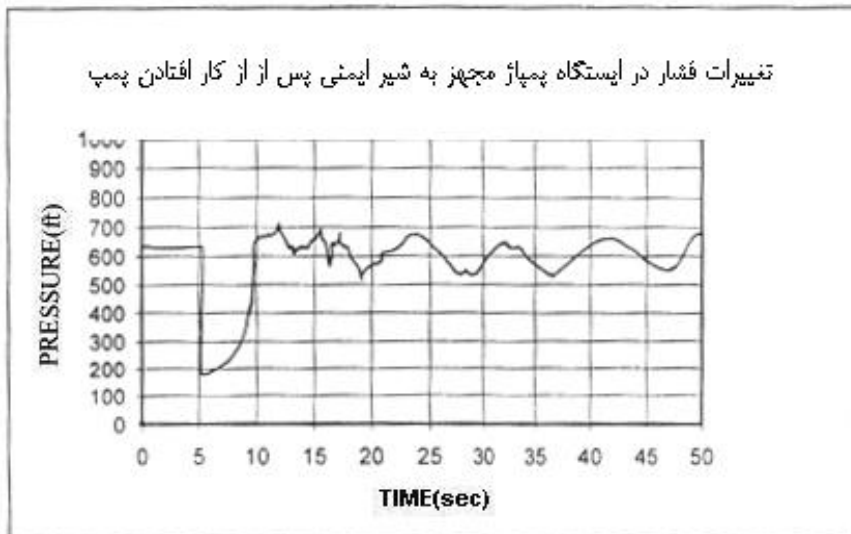
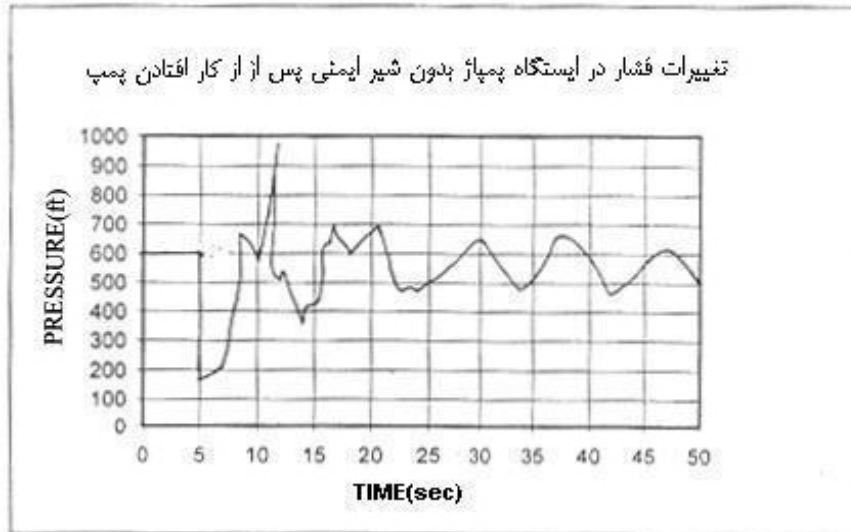


شکل (۳-۱۲): روش نصب شیر اطمینان پیلوت دار (ساخت شرکت مکانیک آب)

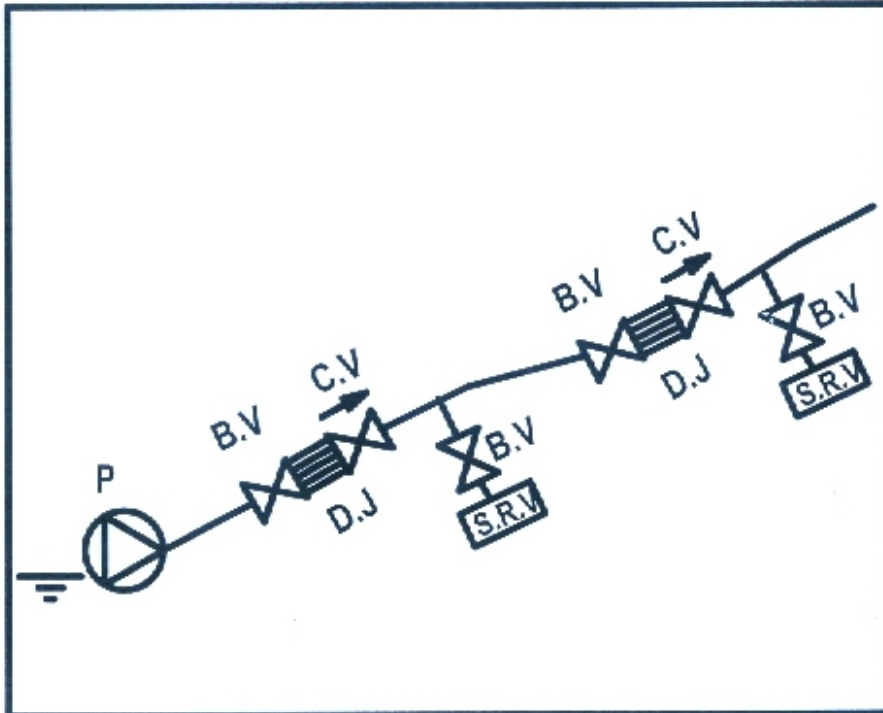
۱. پمپ
۲. شیر یکطرفه
۳. اتصال قابل پیاده کردن
۴. شیر پروانه ای
۵. سه راه
۶. شیر اطمینان



شکل (۳-۱۳) تاثیر نصب و عدم نصب شیر اطمینان در ایستگاه پمپاژ را نشان می دهد، بطوریکه دیده می شود در هر دو حالت فشار منفی به یک مقدار ایجاد می شود ولی در سیستمی که شیر اطمینان نصب شده فشار مثبت بسیار کمتر ایجاد شده است.



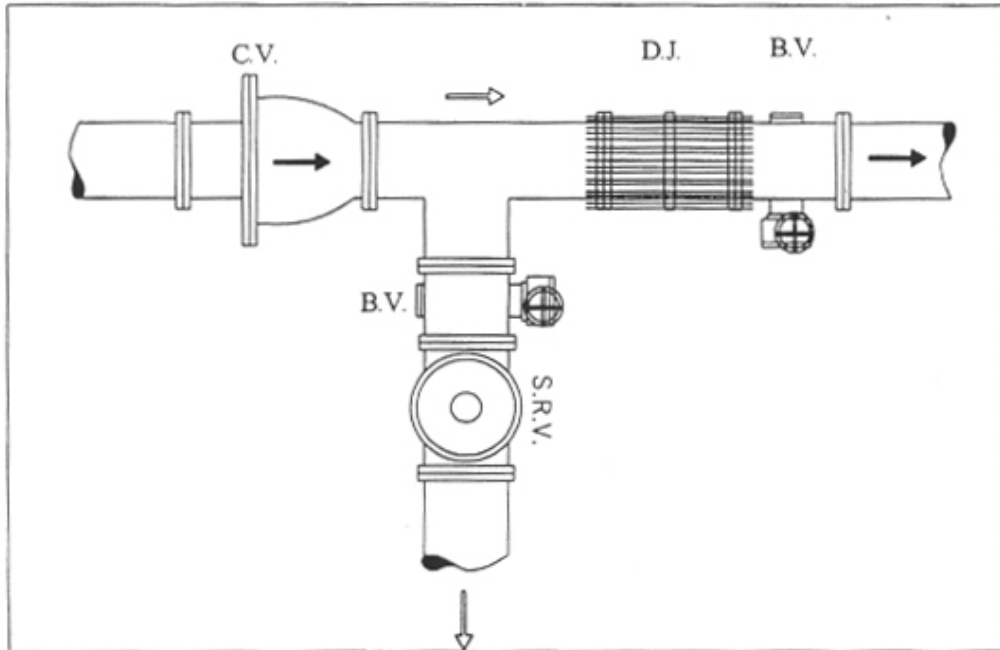
شکل(۳-۱۳): تاثیر نصب و عدم نصب شیر اطمینان در ایستگاه پمپاژ



شکل (۳-۱۴): روش نصب ترکیب شیر اطمینان و شیر یکطرفه سوپاپی دو سر فلنج در خط لوله

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| SRV=Surge relief Valves | = شیر اطمینان |
| B.V =Butterfly Valve | = شیر پروانه ای |
| C.V =Check Valve | = شیر یکطرفه سوپاپی |
| D.J = Dismantling Joint | = اتصال قابل پیاده کردن |

با توجه به صرفه جوییهای بسیار زیاد و شرایط مناسبی که نصب چرخ لنگر بر روی الکتروپمپ ها ایجاد می کند، یکی از روشهای بسیار مطمئن برای جلوگیری از افزایش فشار در خطوط لوله و ایستگاههای پمپاژ استفاده از ترکیب چرخ لنگر، شیر یکطرفه سوپاپی فنردار و شیر اطمینان پیلوت دار است چون چرخ لنگر تغییرات ناگهانی سرعت آب را کم می کند، به همان نسبت تغییرات فشار ناشی از ضربت قوچی را نیز کاهش می دهد. در رابطه با چرخ لنگر در قسمت بعدی توضیحات کامل تری داده خواهد شد.



شکل (۳-۱۵): جزئیات نصب ترکیب شیر اطمینان و شیر یکطرفه سویابی دو سر فلنج فنردار

۳-۲-۲- شرایطی که احتمال گسیختگی ستون آب وجود دارد

در این شرایط کار زیادی از شیرآلات بر نمی آید چون مقابله با پدیده ضربت قوچی در شرایطی که احتمال گسیختگی ستون آب وجود دارد می بایستی درست از زمان شروع موج فشار منفی (زمان قطع ناگهانی برق) شروع شود و این کار صرفاً با ذخیره سازی انرژی در سیستم و استفاده کردن از آن در زمان قطع جریان برق برای جلوگیری از تغییرات شدید سرعت آب است. انرژی را می توان به دو صورت انرژی سینتیک (مانند چرخ لنگر)، و انرژی پتانسیل (مانند تانک ضربه گیر تحت فشار، تانک ضربه گیر یکطرفه ، دودکش و غیره) ذخیره کرد که در زیر به توضیح بیشتر این تجهیزات خواهیم پرداخت.

۳-۲-۲-۱- چرخ لنگر Flywheel:

برای خطوط لوله ای که طول کمتر از ۲ کیلومتر دارند یکی از بهترین روش های مقابله با ضربت قوچی نصب چرخ لنگر بین پمپ و الکترو موتور است. مکانیزم عملکرد چرخ لنگر چنین است که بعد از قطع جریان برق از کاهش سریع دور موتور جلوگیری می کند و در نتیجه فشار منفی کمتری در اثر ضربت قوچی ایجاد می شود و چون فشار منفی کمتری ایجاد می شود به همان نسبت افزایش فشار نیز کمتر خواهد شد. نصب چرخ لنگر ممان اینرسی الکتروپمپ را افزایش می دهد و چون هیچگونه قطعه مکانیکی پیچیده ای ندارد لذا می توان گفت که چرخ لنگر هزینه بسیار کمتری نسبت به سایر تجهیزات داشته و تقریباً هیچگونه مشکل نگهداری ندارد جداول زیر ممان اینرسی الکترو موتورها و پمپهای رایج در کشور را نشان می دهد.



(در جداول داده شده $J = \frac{1}{4}GD^2$ می باشد.)

Grundausführung, Schutzart IP 44, 50Hz, 380 v					1500U/min (4 polig)						
KW	PS	Frame	KL	Net Weight (Kg)	J (Kg m ²)	RPM (u/min)	% η	Cos φ	I (A)	T (N.M)	
0.06	1/12	56	13	2.5	0.00016	1300	54	0.73	0.23	0.44	
0.09	1/8			2.8	0.00019	1315	57	0.71	0.34	0.66	
0.12	1/6	63	13	3.5	0.0003	1315	56	0.75	0.44	0.88	
0.18	1/4			4.1	0.0004	1320	60	0.75	0.61	1.3	
0.25	1/3	71	13	4.8	0.0006	1345	64	0.76	0.78	1.8	
0.37	1/2			6	0.0008	1375	66	0.76	1.12	2.5	
0.55	3/4	80	16	8	0.0015	1400	71	0.80	1.47	3.7	
0.75	1			9.4	0.0018	1400	74	0.80	1.95	5.1	
1.1	1.5	90 S	16	12	0.0028	1400	74	0.81	2.8	7.5	
1.5	2	90 L	16	15.6	0.0035	1410	76	0.81	3.7	10	
2.2	3	100 L	16	22	0.0048	1410	78	0.83	5.2	15	
3	4			24	0.0058	1410	79	0.83	7.0	20	
4	5.5	112 M	16	42	0.011	1435	83	0.83	8.8	27	
5.5	7.5	132 S	16	50	0.023	1450	84	0.85	11.7	36	
7.5	10	132 M	16	66	0.028	1450	86	0.85	15.6	49	
11	15	160 M	16	92	0.05	1460	88	0.86	22	72	
15	20	160 L	16	110	0.07	1460	89	0.88	29	98	
18.5	25	180 M	16	170	0.11	1460	89.5	0.82	38	121	
22	30	180 L	16	190	0.13	1460	90.5	0.83	45	144	
30	40	200 L	16	250	0.21	1470	91.5	0.83	60	195	
37	50	225 S	16	300	0.33	1470	92	0.85	72	245	
45	60	225 M	16	325	0.40	1470	93	0.85	87	294	
55	75	250 M	16	455	0.65	1475	93	0.87	104	355	
75	100	280 S	16	610	1.3	1480	94	0.86	142	484	
90	125	280 M	16	680	1.5	1480	94	0.86	168	581	
110	150	315 S	16	840	2.5	1485	94.5	0.86	205	708	
132	180	315 M	16	950	2.9	1485	95	0.87	245	850	
160	220	315 M	16	1060	3.2	1485	95.5	0.87	295	1050	
200	270	355/1	13	1410	6.4	1485	95	0.89	360	1300	
250	340	355/2	13	1630	7.5	1485	95.5	0.89	440	1640	
315	430	400/1	13	2020	13	1490	95.5	0.89	560	2060	
400	545	400/2	13	2380	16	1490	96	0.89	715	2610	

جدول (۳-۱): مشخصات الکترو موتورهای مختلف در 1500 U / min مرجع: SIEMENS



Grundausführung, Schutzart IP 44, 50Hz, 380 v					1500U/min (4 polig)					
KW	PS	Frame	KL	Net Weight (Kg)	J (Kg m ²)	RPM (u/min)	% η	Cos φ	I (A)	T (N.M)
0.09	1/8	56	16	2.5	0.00009	2700	60	0.76	0.3	0.32
0.12	1/6			2.8	0.00011	2720	64	0.78	0.37	0.42
0.18	1/4	63	16	3.5	0.00016	2740	64	0.81	0.53	0.62
0.25	1/3			4.1	0.00020	2765	66	0.81	0.71	0.86
0.37	1/2	71	16	5.0	0.00035	2765	66	0.79	1.10	1.3
0.55	3/4			6.6	0.00045	2800	71	0.81	1.45	1.9
0.75	1	80	16	8.2	0.00085	2850	74	0.84	1.83	2.5
1.1	1.5			9.9	0.0011	2850	77	0.85	2.55	3.7
1.5	2	90 S	16	12.6	0.0015	2855	78	0.85	3.4	5.0
2.2	3	90 L	16	15.7	0.0020	2860	82	0.85	4.8	7.4
3	4	100 L	16	21	0.0038	2895	83	0.86	6.4	9.8
4	5.5	112 M	16	38	0.0055	2895	85	0.88	8.1	13
5.5	7.5	132 S	16	54	0.014	2925	85	0.88	11.2	18
7.5	10			61	0.019	2930	87	0.88	14.9	25
11	15	160 M	16	89	0.033	2940	87	0.86	22.5	35
15	20			100	0.040	2940	88	0.86	30	49
18.5	25	160 L	16	119	0.050	2940	89	0.88	36	60
22	30	180 M	13	165	0.075	2930	90	0.87	42.5	72
30	40	200 L	10	235	0.13	2950	91	0.88	57	97
22	30	180 M	13	165	0.075	2930	90	0.87	42.5	72
30	40	200 L	10	235	0.13	2950	91	0.88	57	97
37	50			260	0.15	2950	92	0.88	69	117
45	60	225 M	10	320	0.25	2960	92.5	0.89	83	147
55	75	250 M	10	430	0.48	2965	91	0.89	104	176
75	100	280 S	10	570	0.70	2970	91.5	0.89	140	245
90	125	280 M	10	620	0.80	2970	92	0.89	166	294
110	150	315 S	7	790	1.5	2975	92.5	0.90	200	353
132	180	315 M	7	870	1.7	2975	93	0.90	240	421
160	220	315 M	7	1040	2.2	2975	93.5	0.90	290	529
220	300	355/1	7	1360	3.7	2980	94	0.90	395	725
270	365	355/2	7	1590	4.4	2980	94	0.90	485	882
300	410	400/1	7	2030	7.8	2980	95.5	0.92	520	980
375	510	400/2	7	2400	9.2	2980	96	0.92	640	1230

ادامه جدول (۱-۳): مشخصات الکترو موتورهای مختلف در 3000 U / min مرجع: SIEMENS



<i>PumpType</i> <i>ETANORM</i>	Mass Moment Of Inertia (Kg m ²)	<i>PumpType</i> <i>ETANORM</i>	Mass Moment Of Inertia (Kg m ²)	<i>PumpType</i> <i>ETANORM</i>	Mass Moment Of Inertia (Kg m ²)	<i>PumpType</i> <i>ETANORM</i>	Mass Moment Of Inertia (Kg m ²)
32-125	0.016	65-125	0.017	125-200	0.128	250-300	1.100
32-160	0.023	65-160	0.040	125-250	0.256	250-330	1.680
32-200	0.055	65-200	0.073	125-315	0.508	250-400	2.990
32-250	0.134	65-250	0.162	125-400	1.133	250-500	5.380
40-125	0.012	65-315	0.314	125-500	2.700	300-340	1.860
40-160	0.023	80-160	0.045	150-200	0.206	300-350	2.190
40-200	0.054	80-200	0.073	150-250	0.322	300-400	3.740
40-250	0.129	80-250	0.182	150-315	0.640	300-500	6.660
40-315	0.295	80-315	0.405	150-400	1.407	-----	-----
50-125	0.016	80-400	1.030	150-500	3.400	-----	-----
50-160	0.031	100-160	0.067	200-250	0.580	-----	-----
50-200	0.067	100-200	0.105	200-260	0.630	-----	-----
50-250	0.142	100-250	0.276	200-330	0.980	-----	-----
50-315	0.305	100-315	0.486	200-400	2.060	-----	-----
-----	-----	100-400	1.053	200-500	4.280	-----	-----

جدول (۳-۲): ممان اینرسی پمپهای سانتریفوژ سری ETANORM

<i>PumpType</i> <i>ETANORM</i>	GD^2 (Kgm ²)	<i>PumpType</i> <i>ETANORM</i>	GD^2 (Kgm ²)
100-50	1.24400	250-29	0.89580
125-33	0.44720	250-33	1.12780
125-40	0.94390	250-40	2.26480
125-50	1.37980	250-42	-----
150-26	0.25090	250-50	3.54480
150-33	0.58290	300-35	1.65380
200-33	0.84780	150-40	1.33980
200-40	1.67580	150-50	3.02880
200-50	3.16480	-----	-----

جدول (۳-۳): ممان اینرسی پمپهای سری ETA



<i>PumpType</i> <i>WKL</i>	80	100	125	150
Stage NO.	$J(Kgm^2)$	$J(Kgm^2)$	$J(Kgm^2)$	$J(Kgm^2)$
1	0.0227	0.0512	0.1052	0.2540
2	0.0402	0.0937	0.1937	0.4820
3	0.0580	0.1362	0.2830	0.7100
4	0.0762	0.1790	0.3737	0.9380
5	0.0937	0.2217	0.4632	1.1660
6	0.1112	0.2645	0.5535	-----
7	0.1287	0.3072	-----	-----
8	0.1465	0.3497	-----	-----
9	0.1642	0.3924	-----	-----
10	0.1817	-----	-----	-----
11	0.1994	-----	-----	-----
12	0.2170	-----	-----	-----
13	0.2347	-----	-----	-----

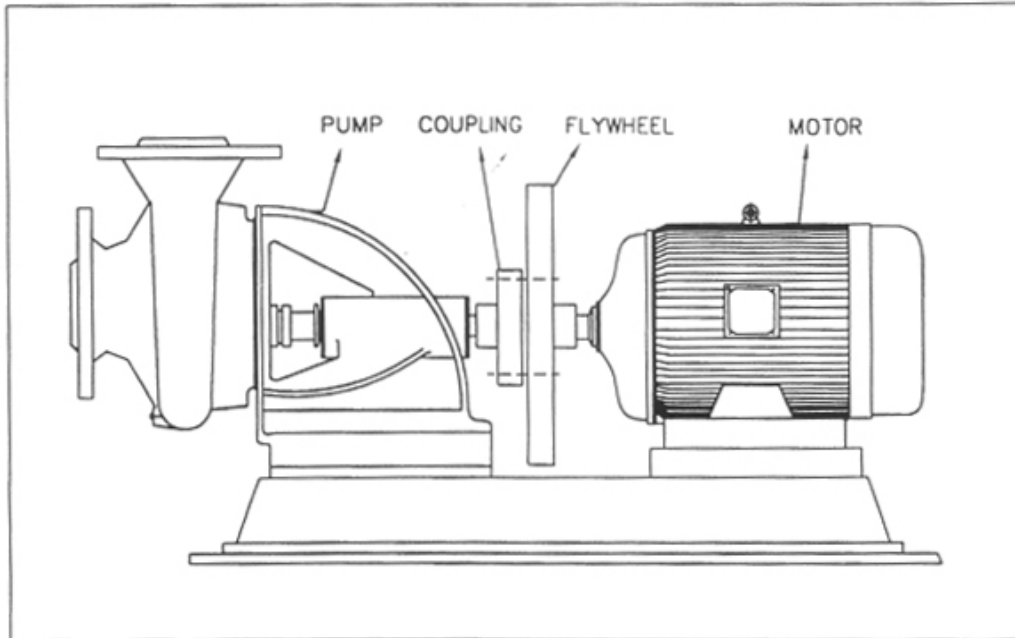
جدول (۳-۴): ممان اینرسی پمپهای فشار قوی چند طبقه

Volo Engines Type	Mass Moment of Inertia (Kgm^2)
TD100G	2.55
TD121G	2.74
TD100G PP	2.55
TD120H	2.74
TID121 KP	2.74
TID121 LP	2.80

جدول (۳-۵): ممان اینرسی موتورهای دیزل ولو



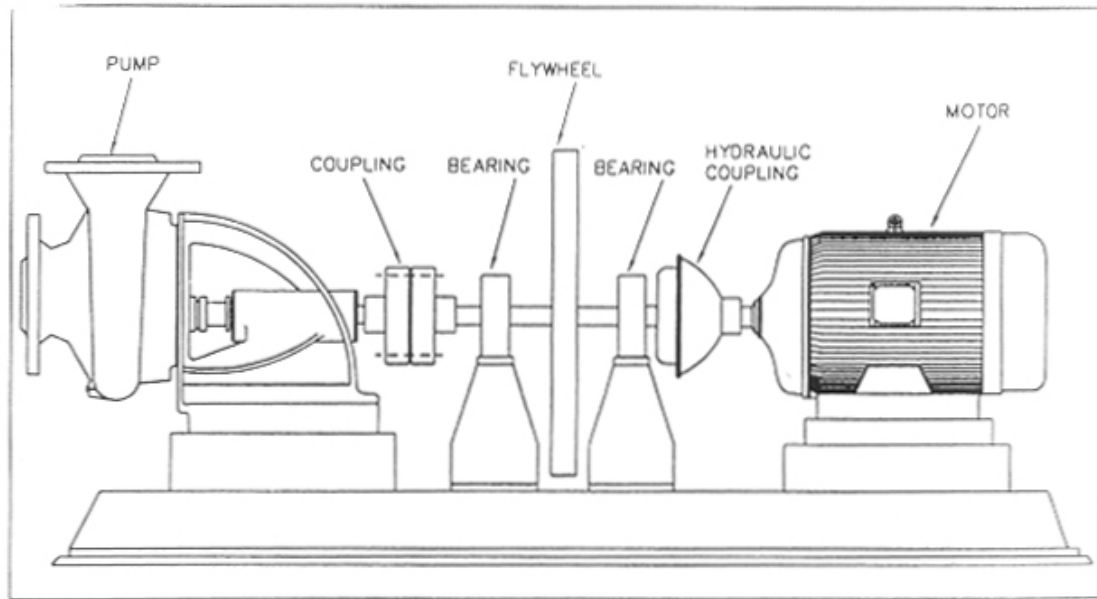
بطور کلی چرخ لنگرهایی که ممان اینرسی آنها تا ۲ برابر ممان اینرسی الکترو پمپ است را می توان مستقیماً و بدون نیاز به یاتاقان بندی مجزا بر روی محور الکترو موتور نصب کرد (شکل ۳-۱۶).



شکل(۳-۱۶): روش نصب مستقیم چرخ لنگر روی الکترو موتور

برای چرخ لنگرهای بزرگتر باید طبق شکل (۳-۱۷) شاسی مخصوص ساخته شود و برای جلوگیری از اعمال نیروهای غیر مجاز به بلبرینگ های محوره های الکترو پمپ باید چرخ لنگر را بطور مجزا یاتاقان بندی کرد که این عمل کار چندان پر هزینه و مشکلی نیست و ضمناً اگر مشکل راه اندازی چرخ لنگر در موقع استارت زدن الکترو موتور نیز وجود داشته باشد با استفاده از کوپلینگ های هیدرولیکی یا استارترهای مخصوص می توان این مشکل را نیز بر طرف کرد. شکل (۳-۱۷) روش نصب چرخ لنگر با یاتاقان بندی مجزا و کوپلینگ هیدرولیکی را روی شاسی مخصوص نشان می دهد. مکانیزم عملکرد کوپلینگ های هیدرولیکی طوری است که با استفاده از آن الکتروموتور به راحتی در مدت زمان لازم به دور نامی خود می رسد ولی چرخ لنگر و پمپ در زمان بیشتر و آهسته آهسته به دور نامی می رسند.

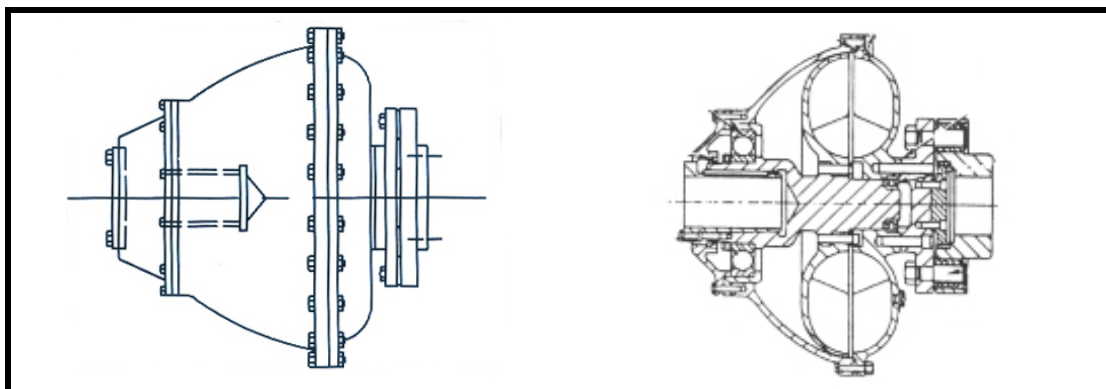
شکل (۳-۱۸) تأثیر نصب چرخ لنگر بر روی پمپ های یک ایستگاه پمپاژ در اسپانیا را نشان می دهد، قدرت هر الکتروموتور ۳۱۵ کیلو وات و وزن هر چرخ لنگر ۲۹۰ کیلوگرم و قطر آن ۹۲ سانتی متر است. بطوریکه در شکل نشان داده شده است بدون نصب چرخ لنگر صرفاً با استفاده از ممان اینرسی الکترو پمپ ها تقریباً در تمامی طول خط مسئله گسیختگی ستون آب وجود داشت ولی بعد از آن بطور کلی مشکل حل شده است.



شکل (۳-۱۷): روش نصب چرخ لنگر با یاتاقان بندی مجزا و کوپلینگ هیدرولیکی روی شاسی مخصوص

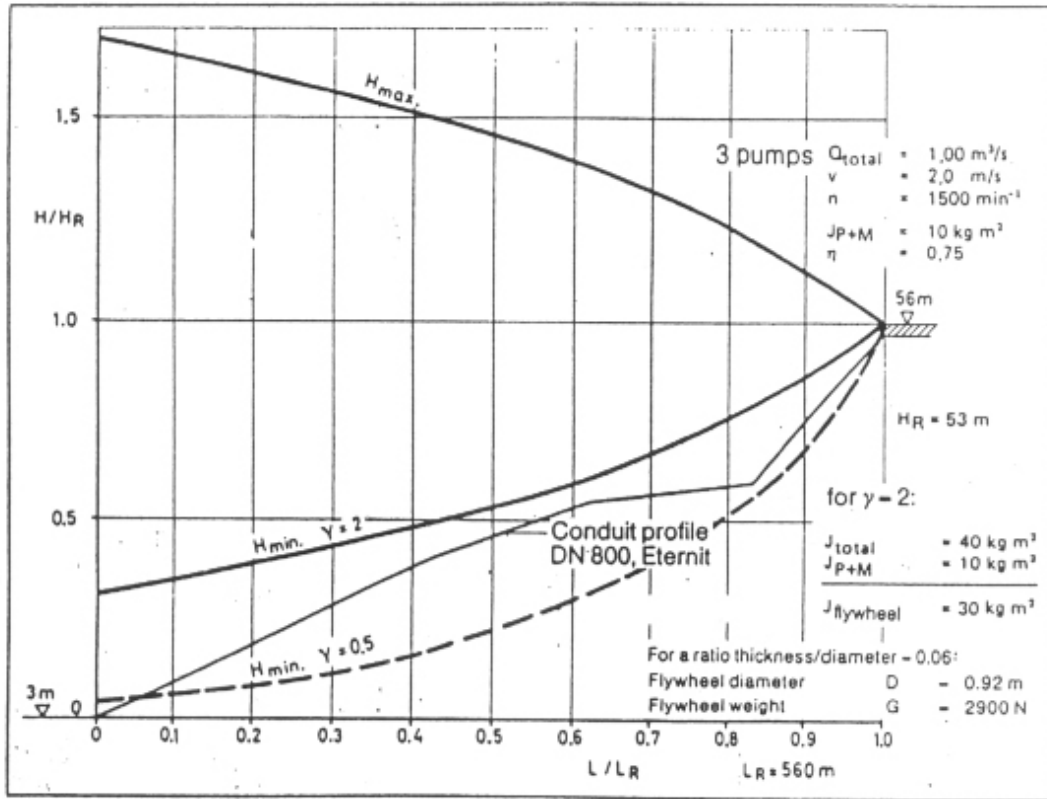
در یکی از ایستگاههای پمپاژ که با مشکل ضربت قوچی مواجه بود قبل از نصب چرخ لنگرها مانومتر نصب شده در ایستگاه پمپاژ در حالت کار عادی سیستم فشار ۷ بار و در فاز فشار منفی ۲ بار و در فاز فشار مثبت ۱۷ بار را نشان می داد ولی بعد از انجام محاسبات توسط شرکت مکانیک آب و نصب مستقیم فلاپویل هایی با حداقل وزن و قطر لازم بر روی محور الکتروموتور فشار منفی به ۵ و فشار مثبت به ۱۲ بار کاهش پیدا کرد در این رابطه می بایستی متذکر شد که چون الکتروپمپها قبلاً شاسی شده بودند نصب چرخ لنگرهای بزرگتر به علت محدودیت فضای موجود مقدور نبود تا نتایج بهتری بدست آید ولی با این حال مشکل ضربت قوچی در ایستگاه پمپاژ مذکور بر طرف شد.

بنابر آنچه که گفته شد بهترین، کم هزینه ترین و راحت ترین وسیله برای مقابله با مسئله ضربت قوچی در ایستگاههای پمپاژ با طول خط لوله کمتر از ۲ کیلومتر استفاده از چرخ لنگر است و به هیچ عنوان نباید این مسئله نادیده گرفته شود. در ایستگاه های پمپاژ با طول بیشتر از ۲ کیلومتر نیز که در آنها مشکل ضربت قوچی معمولاً با استفاده از تانکهای ضربه گیر حل می شود استفاده از ترکیب چرخ لنگر و تانک ضربه گیر می تواند ابعاد تانکهای ضربه گیر را کاهش داده و سیستم ها را ارزانتر بکند استفاده از چرخ لنگر تأثیر بسیار خوبی در جلوگیری از پدیده ی کوبیده شدن شیرهای یکطرفه Slamming (Effect) نیز دارد.





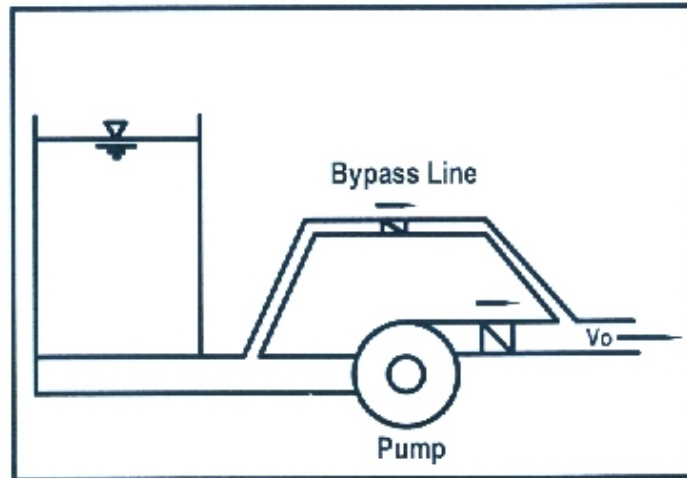
شکل (۳-۱۸): کوبلینگ هیدرو لیکی



شکل (۳-۱۹): منحنی تاثیر چرخ لنگر بر روی پمپ

۳-۲-۲-۲-۲-۳ Pump Bypass لوله کنارگذر پمپ

بطوریکه در شکل (۳-۲۰) دیده می شود لوله کنارگذر پمپ، خط رانش پمپ را به لوله مکش وصل می کند و در این فاصله یک شیر یکطرفه که جهت باز شدن آن از جهت مکش به رانش است نصب می شود. در حالت عادی فشار پمپ، این شیر یکطرفه را بسته نگه می دارد و به محض ایجاد شدن فشار منفی شیر یکطرفه باز شده و فشار موجود در طرف مکش پمپ مانع از کاهش فشار غیر مجاز در خط لوله رانش می شود. این روش کاربرد بسیار محدودی دارد چون در پمپهای مجهز به سوپاپ (وقتی که سطح آب در طرف مکش پائین تر از پمپ است) این سیستم نمی تواند عمل بکند، لوله کنار گذر پمپ در ایستگاههای پمپاژی که سطح آب در طرف مکش به پمپ سوار است و ارتفاع استاتیک خیلی کم دارد می تواند عمل بکند و در سیستم های پمپاژ با ارتفاع زیادتر فقط محدوده بسیار اندکی از ابتدای خط لوله را می تواند پوشش دهد ضمناً این روش در مقابل افزایش فشار نمی تواند موثر باشد.

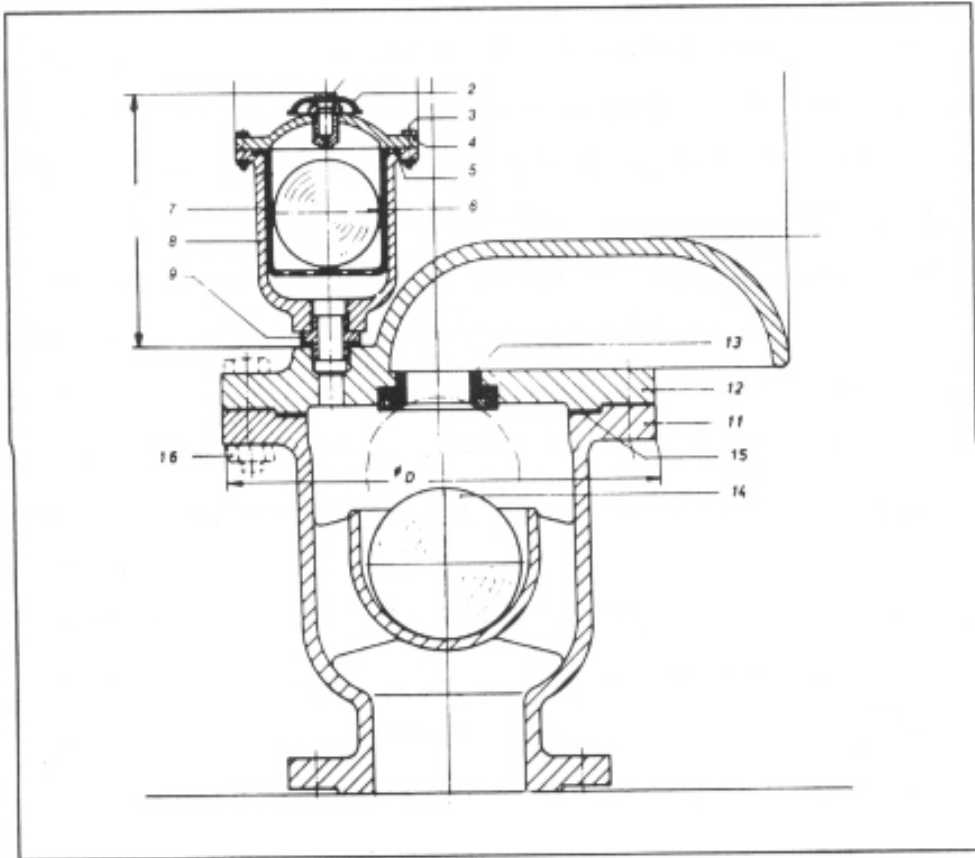


شکل (۳-۲۰): لوله کنار گذر پمپ

۳-۲-۲-۳- شیرهای هوای دو روزنه

بطوریکه در شکل (۳-۲۱) دیده می شود این شیرها دارای یک روزنه بزرگ و یک روزنه کوچک هستند کار روزنه بزرگ این است که با افت فشار در خط لوله، باز شده و هوا را به داخل خط لوله وارد کند و سپس با افزایش فشار، روزنه بزرگ بسته شده و هوای جمع شده در داخل خط لوله از طریق روزنه کوچک از خط لوله خارج می شود معمولاً تولید کنندگان شیر هوا این روش را برای جلوگیری از مسئله ناشی از افت فشار بیش از حد در نقاطی از خط لوله که احتمال گسیختگی ستون آب وجود دارد توصیه می کنند (چون با وارد شدن هوا تحت فشار جو به داخل خط لوله از کاهش فشار در آن مقطع جلوگیری می شود) ولی این مسئله مشکلات بسیار زیادی در خط لوله ایجاد می کند چون در شیرهای هوای دو روزنه، هوا با حجم زیاد در مدت زمان اندک از روزنه بزرگ وارد خط لوله می شود ولی تخلیه آن از طریق روزنه کوچک که مقطع عبور هوا در آنها فقط چند میلیمتر مربع است زمان طولانی نیاز دارد.

برای مثال در یک شیر هوای دو روزنه به قطر ۱۵۰ میلیمتر مقطع ورود هوا به داخل خط لوله از طریق روزنه بزرگ حدود ۱۲۰۰۰ میلیمتر مربع و مقطع خروج هوا از خط لوله از طریق روزنه کوچک حدود ۷ میلیمتر مربع است و این اختلاف مقاطع ورود و خروج هوا باعث می شود که مدت زمان طولانی نیاز باشد که سیستم مجدداً به حالت اولیه خود باز گردد و کارکرد سیستم در این مدت زمان مختل می شود و ضمناً اگر اشکالی در شیر هوا باشد و هوا نتواند از سیستم خارج شود (مشکلی که اغلب بوجود می آید) به مقدار مسائل ناشی از وجود هوا در سیستم اضافه می شود. با توجه به آنچه که توضیح داده شد استفاده از شیرهای هوا برای مقابله با مشکلات فشار منفی پدیده ضربت قوچی توصیه نمی شود.



شکل (۳-۲۱): شیر هوای دو روزه



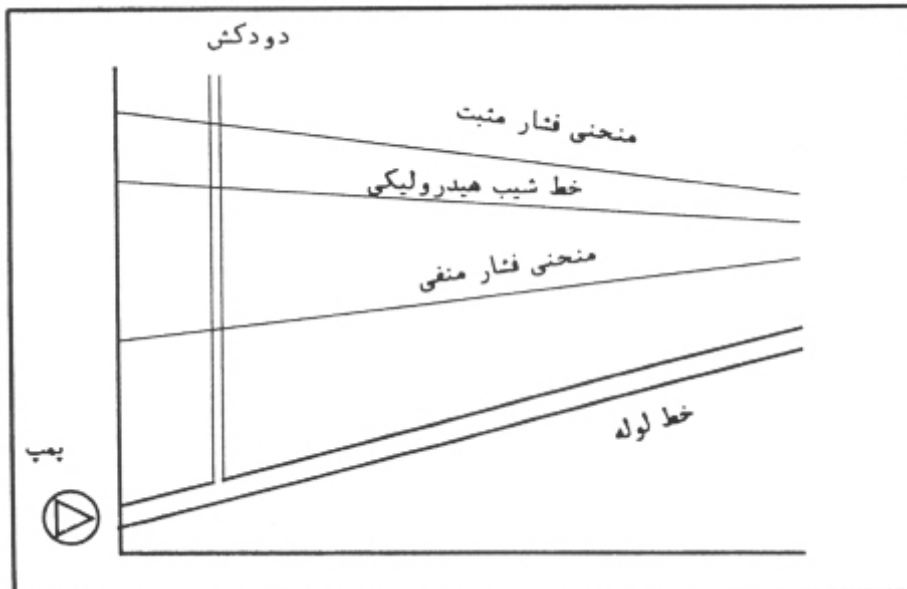
۳-۲-۲-۴- دودکش خط لوله Stand pipe

شکل (۳-۲۲) دودکش خط لوله را نشان می دهد. در زمان از کار افتادن پمپ، این وسیله در فاز فشار منفی، آب را از داخل خود به خط لوله می فرستد تا از کاهش سریع سرعت آب جلوگیری بکند و در فاز فشار مثبت آب از خط لوله داخل آن می شود تا فشار به مقدار غیر مجاز افزایش پیدا نکند.

در سیستم های پمپاژ با ارتفاع استاتیک کم دودکش خط لوله Stand pipe وسیله ای بسیار مناسب با ضریب اطمینان بسیار زیاد برای مقابله با ضربت قوچی است. البته در مناطقی از دنیا مانند ونزوئلا خط لوله ای با دودکش به ارتفاع ۸۲ متر نیز وجود دارد که از نظر مهندسی محاسب مقرون بصره ترین و مطمئن ترین وسیله تشخیص داده شده است. در خطوط لوله پمپاژی که رقوم زمین در ابتدای خط لوله ارتفاع زیادی دارد و سپس مسافت طولانی را با ارتفاع کم طی می کند استفاده از ترکیب تانک ضربه گیر تحت فشار در ابتدای خط لوله برای حفاظت قسمت های با تغییر ارتفاع زیاد و دودکش خط لوله برای حفاظت قسمت های با تغییرات ارتفاع کم، می تواند ابعاد تانک ضربه گیر تحت فشار را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. شکل (۳-۵) یک نمونه از این سیستم را نشان می دهد.

دودکش خط لوله یکی از ساده ترین و مطمئن ترین وسایل مقابله با ضربت قوچی است و از نظر نگهداری نیز می توان گفت کمترین مشکل را ایجاد می کند و از نظر کارکرد نیز به کوچکترین تغییرات فشار حساس است و بدون هیچگونه تأخیر زمانی وارد عمل می شود ولی استفاده از این وسیله محدودیت هایی را نیز دارد که عبارتند:

- مشکل یخ زدگی در نقاط سردسیر که عملاً استفاده از آن را برای مصارف کشاورزی و خطوط لوله ای که در فصل سرما از آن بهره برداری نمی شود، محدود می کند.
- مشکل سرریز کردن آب از دودکش در شرایطی که افزایش ارتفاع دودکش خط لوله به مقدار زیاد، اقتصادی نباشد و مبانی طراحی به روی سرریز شدن آب در شرایط فشار مثبت استوار باشد.



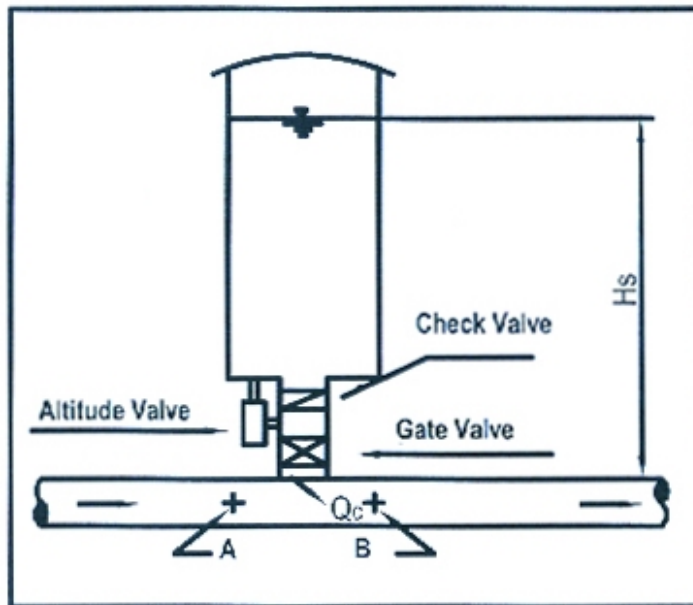
شکل (۳-۲۲): دودکش خط لوله



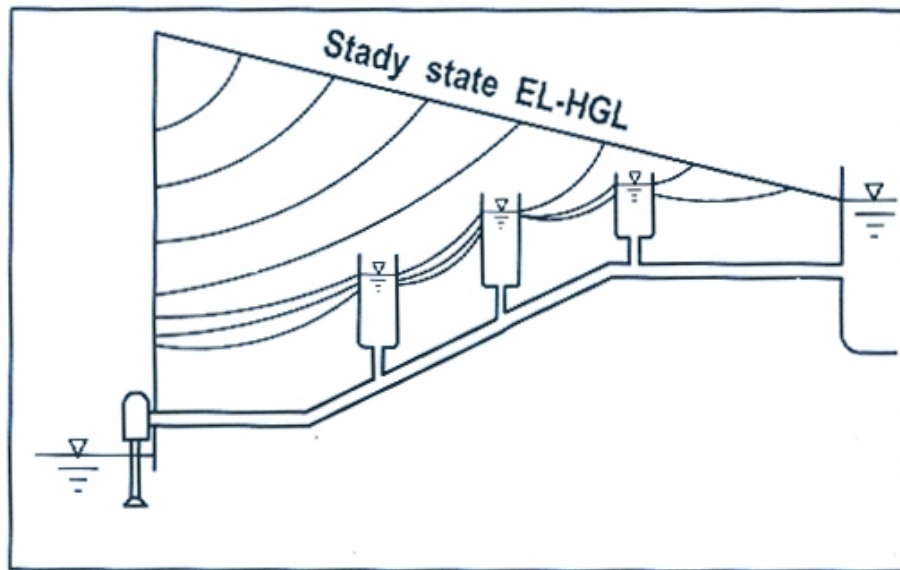
۳-۲-۲-۵- تانک ضربه گیر یکطرفه

این تانکها طوری ساخته می شوند که آب فقط بتواند از آنها وارد خط لوله شود ولی از خط لوله نتواند داخل تانک جریان پیدا بکند و این کار با نصب یک شیر یکطرفه بین خط لوله و تانک ضربه گیر یکطرفه امکان پذیر می شود. این وسیله فقط در فاز فشار منفی عمل می کند بدین ترتیب که با کاهش فشار خط لوله شیر یکطرفه باز شده و آب داخل تانک ضربه گیر یکطرفه وارد خط لوله می شود تا از افت فشار غیر مجاز جلوگیری کند و در فاز فشار مثبت شیر یکطرفه بسته می شود تا آب پر فشار داخل خط لوله وارد تانک نشود. مقدار آبی که از تانک داخل خط لوله جریان پیدا می کند توسط یک شیر فلوتر مجدداً تأمین می شود تا سطح آب داخل تانک همیشه در ارتفاع مورد نظر باقی بماند. چنانکه گفته شد تانک ضربه گیر یکطرفه فقط از بوجود آمدن فشار منفی غیر مجاز جلوگیری می کند و در مقابل افزایش فشار در فاز فشار مثبت کاری از آن ساخته نیست و افزایش فشار باید با استفاده از تجهیزات دیگری مانند شیرهای اطمینان کنترل شود شکل (۳-۲۳) یک تانک ضربه گیر یکطرفه را نشان می دهد. از این وسیله در سیستم های با فشار استاتیک زیاد نیز می توان استفاده کرد. شکل (۳-۲۴) تأثیر تعدادی تانک ضربه گیر یکطرفه را بر روی منحنی فشار منفی در یک خط لوله پمپاژ با ارتفاع استاتیک نسبتاً زیاد نشان می دهد.

تانکهای ضربه گیر یکطرفه فقط نقاطی از خط لوله را که پس از آنها قرار دارند حفاظت می کنند.



شکل (۳-۲۳): تانک ضربه گیر یکطرفه



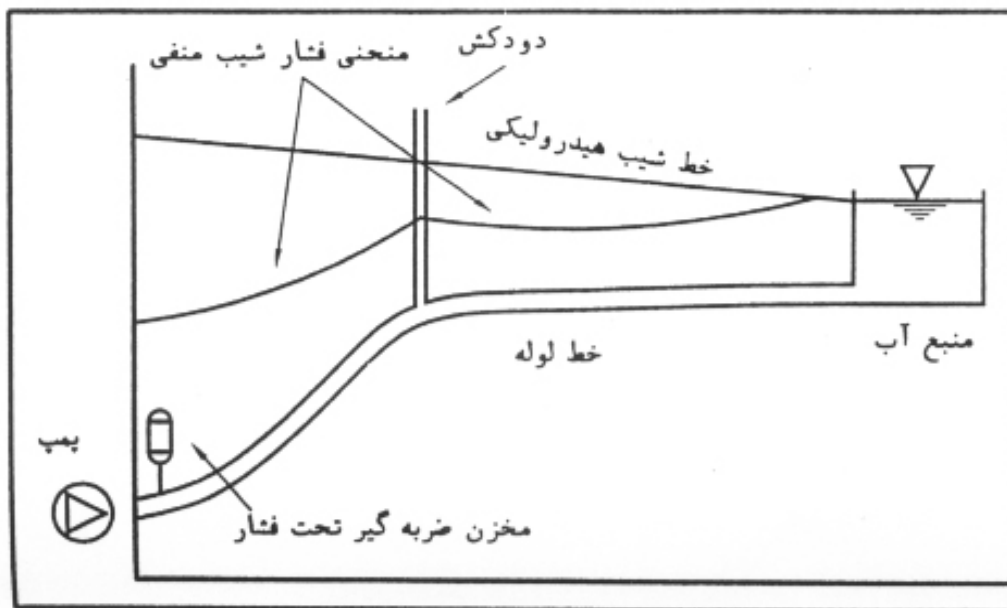
شکل (۳-۲۴): منحنی تأثیر تانک ضربه گیر یکطرفه بر روی منحنی فشار منفی

۳-۲-۲-۶- تانک ضربه گیر تحت فشار Air Chamber

در میان تجهیزات مقابله با ضربت قوچی تانک ضربه گیر تحت فشار بیشترین و ایده آل ترین امکانات را در مقابل پدیده ضربت قوچی فراهم می کند. این وسیله هم در فاز فشار منفی و هم در فاز فشار مثبت عمل می کند بدین معنی که هم از گسیختگی ستون آب جلوگیری می کند و هم افزایش فشار را جذب می کند البته این سیستم محدودیتهایی دارد که به آنها اشاره خواهد شد. ضمناً هزینه های طراحی، نصب و نگهداری این سیستم در مقابله با سایر سیستم ها بسیار زیادتر است و نیاز به اپراتورهای مجرب (که در اغلب مناطق در دسترس نیستند) از مشکلات استفاده از این سیستم است، شکل (۳-۲۶) و (۳-۲۷) دو نوع تانک ضربه گیر تحت فشار را نشان می دهد این سیستم شامل یک تانک است که تقریباً نصف آن آب و نصف آن هوای فشرده است وقتی فشار کاهش می یابد، هوا منبسط شده و آب را به داخل خط لوله می فرستد و در فاز فشار مثبت آب از داخل خط لوله به مخزن جریان پیدا می کند و هوایی را که منبسط شده است مجدداً فشرده می کند و به این ترتیب هم از کاهش و هم از افزایش غیر مجاز فشار در خط لوله جلوگیری می کند. هوای متراکم در بالای مخزن در طول زمان در آب حل می شود و از فشار آن کاسته می شود و کمپرسور کوچک نصب شده در این سیستم مقدار هوای حل شده را جبران می کند تا نسبت حجم هوا به حجم آب در داخل تانک ثابت بماند. نسبت هوا به آب در داخل تانک ضربه گیر تحت فشار را صرفاً محاسبات مربوطه می تواند مشخص کند تانکهای ضربه گیر تحت فشار به دو طریق به خط لوله وصل می شوند:

- اتصال مستقیم (شکل ۳-۲۶)

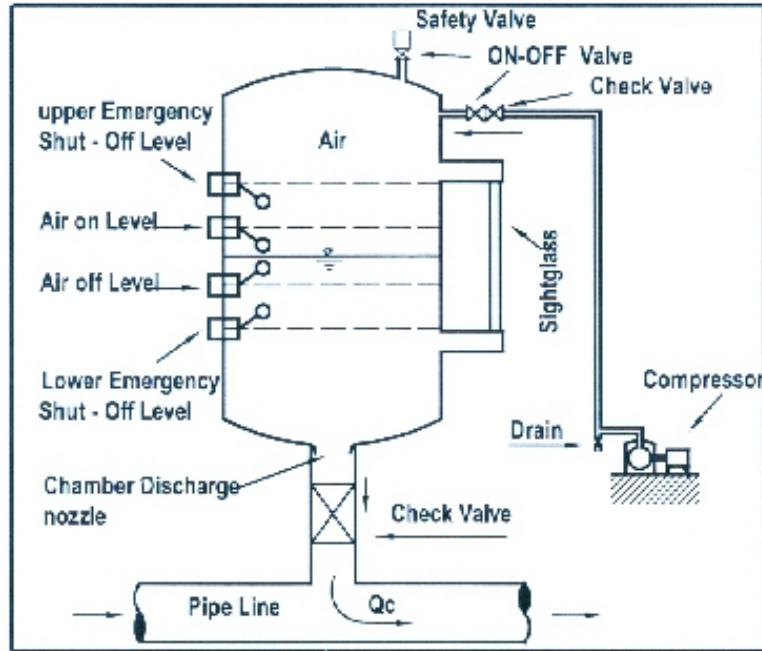
- اتصال با سیستم کنار گذر (شکل ۳-۲۷)



شکل (۳-۲۵): دودکش و مخزن تحت فشار در خط لوله

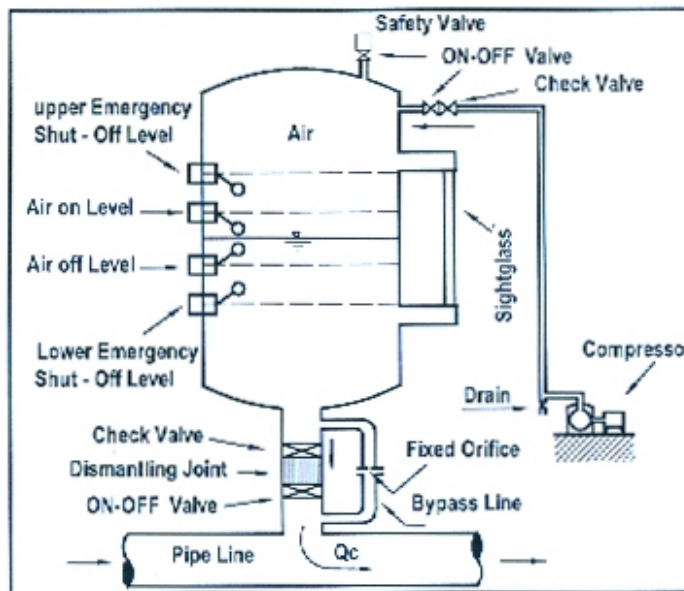
تعیین حجم کلی این تانکها و نسبت هوا به آب در داخل تانک و نوع اتصال تانک به خط لوله را صرفاً محاسبات دقیق مشخص می کند. محل نصب تانکها به خاطر مسایل کنترلی و نگهداری معمولاً می بایستی در داخل ایستگاه پمپاژ و یا در نزدیکی آن باشد تا اپراتور بتواند کنترل کافی روی سیستم داشته باشد. در سیستم هایی که احتمال یخ زدگی وجود ندارد می توان تانکها را در خارج ایستگاه پمپاژ نصب کرد در مناطقی که احتمال یخ زدگی وجود دارد حتی برای تانکهایی که در داخل ایستگاه پمپاژ نصب می شوند، اتخاذ تدابیری از قبیل نصب هیترهای برقی برای محافظت از یخ زدگی توصیه می شود.

هم در تانکهای ضربه گیر تحت فشار با اتصال مستقیم و هم در تانکهای ضربه گیر تحت فشار با اتصال کنارگذر اندازه و مسیر ورود آب از تانک به خط لوله باید طوری باشد که حداقل افت را ایجاد نکند و بالعکس مسیر ورود آب از داخل خط لوله به تانک ضربه گیر باید طوری محاسبه و طراحی شود که افت فشار بسیار زیادی ایجاد نکند تا خاصیت **Damping Effect** داشته باشد و از افزایش فشار بیش از حد جلوگیری کند. در سیستم های با اتصال مستقیم بطوریکه در شکل (۳-۲۶) دیده می شود مسیر ورود آب از داخل خط لوله به داخل تانک با استفاده از نازل مخصوص، این شرایط را بوجود می آورد در سیستم هایی با اتصال کنار گذر اولاً اندازه لوله کنارگذر کوچک انتخاب می شود و ثانیاً با نصب اوریفیس در این خط کنارگذر می توان افت فشار بیشتری را بوجود آورد در تانکهای ضربه گیر تحت فشار کوچک به جای لوله کنار گذر می توان از شیرهای یکطرفه ای که در دیسک آن سوراخ و یا سوراخهایی ایجاد شده، استفاده کرد تا در موقع تخلیه آب از تانک به خط لوله شیر یکطرفه باز شده و آب به راحتی وارد خط لوله شود ولی در موقع برگشت شیر یکطرفه بسته شده و آب از سوراخ موجود در دیسک به داخل تانک وارد شود.



شکل (۳-۲۶): تانک ضربه گیر تحت فشار با اتصال مستقیم

در لوله کنار گذر تانکها بجای اوریفیس ثابت می توان از شیرهای گلوب مخصوص کنترل دبی (Glob valve) نیز استفاده کرد تا با تنظیم دقیق در شرایط کار واقعی خطاهای محاسباتی نیز بر طرف شوند و افت فشار ایده آل بدست آید.

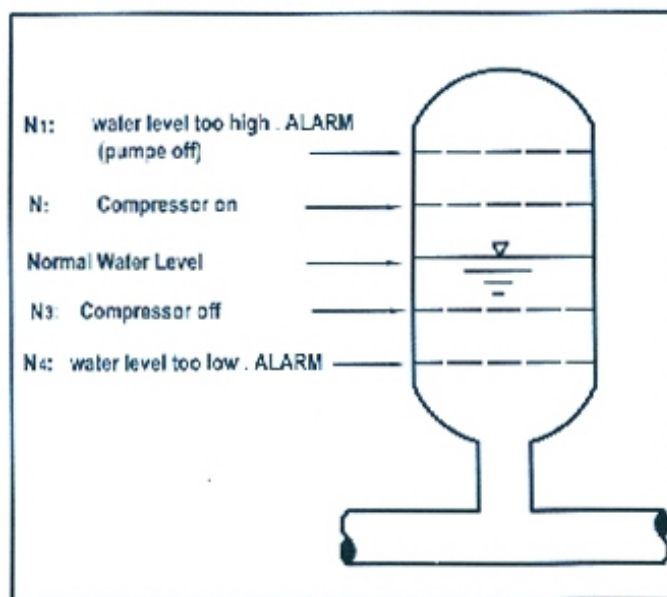


شکل (۳-۲۷): تانک ضربه گیر تحت فشار با اتصال کنار گذر



کنترل نسبت حجم هوا به آب در داخل تانکهای ضربه گیر تحت فشار

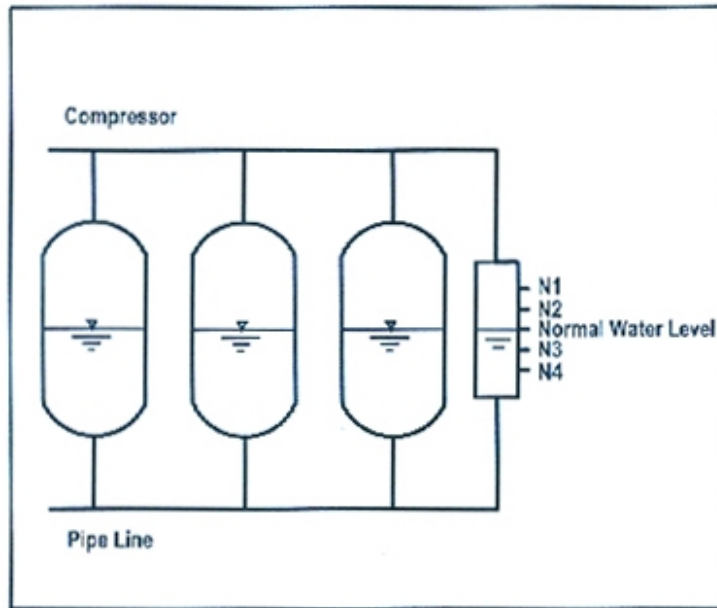
بعد از انجام محاسبات دقیق و تعیین نسبت حجم هوا به آب، تانکهای ضربه گیر تحت فشار بهتر است مجهز به سیستم کنترلی باشند تا به طریقی که در شکل (۳-۲۸) نشان داده شده است نسبت آب و هوا را در ۴ نقطه کنترل کنند. چنانکه حجم تانک بسیار زیاد باشد باید از چند تانک به صورت موازی استفاده کرد و در آن صورت توصیه می شود که عمل کنترل توسط یک محفظه جداگانه که بصورت موازی با تانکهای تعبیه می شود، انجام یابد شکل (۳-۲۹). در سیستم های پیچیده که نیاز به دقت عمل بیشتری باشد به جای سیستم فوق الذکر می توان از یک کامپیوتر کوچک طوری به سیستم فرمان داد که در آن حاصلضرب فشار در حجم عدد ثابتی که مورد نظر است باشد.



شکل (۳-۲۸): سیستم کنترل نسبت حجم هوا به آب

$P.V = \text{Constant}$ و در مورد تانکهایی که در معرض تغییرات درجه حرارت زیاد روزانه قرار دارند می توان سیستم را طوری

تعریف کرد که $\frac{P.V}{T} = \text{Constant}$ باشد.



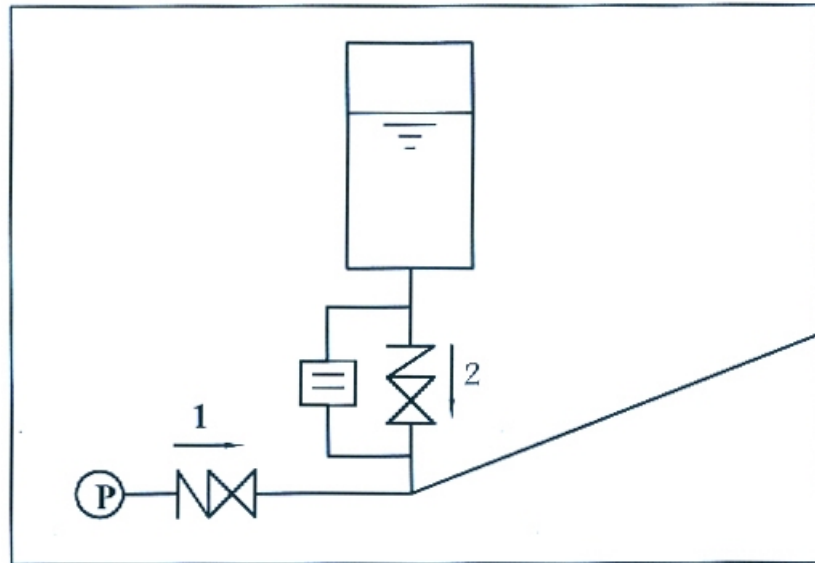
شکل (۳-۲۹): محفظه کنترل در تانک های ضربه گیر تحت فشار موازی

انتخاب کمپرسور

فشار کمپرسور بر اساس فشار دینامیکی سیستم پمپاژ انتخاب می شود و حجم هوادهی آن طوری انتخاب می شود که بتواند کل حجم هوای مورد نیاز تانک در حالت استاتیک را در مدت ۴ تا ۲۴ ساعت تأمین کند (در تانکهای کوچک ۴ ساعت و در تانکهای بزرگتر تا ۲۴ ساعت) چون این کمپرسور پس از راه اندازی اولیه، فقط مقدار اندکی از هوا را که در آب حل می شود تأمین می کند و لذا انتخاب کمپرسورهای بزرگ برای این سیستم ها غیر ضروری است. در سیستم های آب مشروب نوع کمپرسور باید طوری باشد که روغن را با هوا مخلوط نکند. (Oil free compressor)

نوع شیرهای یکطرفه در تانکهای ضربه گیر تحت فشار (Air Chamber)

شیرهای یکطرفه در سیستم های حفاظتی که در آنها از تانکهای ضربه گیر تحت فشار استفاده می شود نقش و اهمیت خاصی دارند چون انتخاب نادرست این شیرها باعث بوجود آمدن پدیده Slamming effect می شود. در تانکهای ضربه گیر تحت فشار مجهز به سیستم کنار گذر بطوریکه در شکل (۳-۳۰) دیده می شود یک شیر یکطرفه بر روی خروجی تانک نصب است و یک شیر یکطرفه نیز در ورودی تانک قرار دارد.



شکل (۳-۳۰): نوع شیر های قابل استفاده در تانکهای ضربه گیر تحت فشار

در موقع قطع جریان برق تانک ضربه گیر سریعاً از خود عکس العمل نشان می دهد و آب را به داخل خط لوله می فرستد در این حالت اگر شیر یکطرفه روی پمپ نتواند سریع بسته شود پدیده Slamming effect در این شیر یکطرفه، (شیر یکطرفه شماره ۱) بوجود می آید و اگر در روی پمپ از شیر یکطرفه ترمز دار استفاده شود این عمل باعث عبور جریان معکوس از پمپ می شود و نیز مقدار زیادی از حجم آب تانک ضربه گیر از طریق پمپ به هدر می رود و از کارایی تانک ضربه گیر تحت فشار کاسته می شود و در فاز فشار مثبت اگر شیر یکطرفه واقع بر روی تانک (شیر یکطرفه شماره ۲) نتواند سریع بسته شود مقدار زیادی از آب که بایستی از خط لوله کنار گذر وارد تانک می شد، از مسیر شیر یکطرفه شماره ۲ وارد تانک می شود و کار تانک ضربه گیر تحت فشار مختل می شود بنابراین استفاده از شیرهای یکطرفه سوپاپی دو سر فلنج فنردار که قابلیت بسته شدن بسیار سریع دارند در این سیستم های حفاظتی نیز توصیه می شود.

طراحی مکانیکی تانکهای ضربه گیر

محاسبات مربوط به انتخاب ضخامت جداره و عدسی های تانکهای ضربه گیر تحت فشار خارج از محدوده در نظر گرفته شده در این مقاله است ولی در مواردی مشاهده می شود که فشار طراحی تانک های ضربه گیر تحت فشار بر مبنای حداکثر فشار ایجاد شده در شرایطی که تانک ضربه گیر از کار افتاده باشد انتخاب می شود، این موضوع باعث افزایش ضخامت جداره تانک ها شده و قیمت آنها را بسیار گران می کند در این موارد می توان از شیرهای اطمینان و یا درپوشهای اطمینان Rupture Disk که تحت فشار اضافی شکسته می شوند و ضریب اطمینان بسیار بالایی دارند استفاده کرد در مورد محاسبات مربوط به ضخامت جداره تانک های ضربه گیر مقداری ضخامت اضافی بنام ضریب پوسیدگی باید در نظر گرفت و به ضخامت حاصل از محاسبات اضافه کرد تا در طول زمان مشکلی از این بابت بوجود نیاید. این مقدار برای آب قابل شرب معادل ۳ میلی متر به ازای ۱۵ سال کار در نظر گرفته می شود.

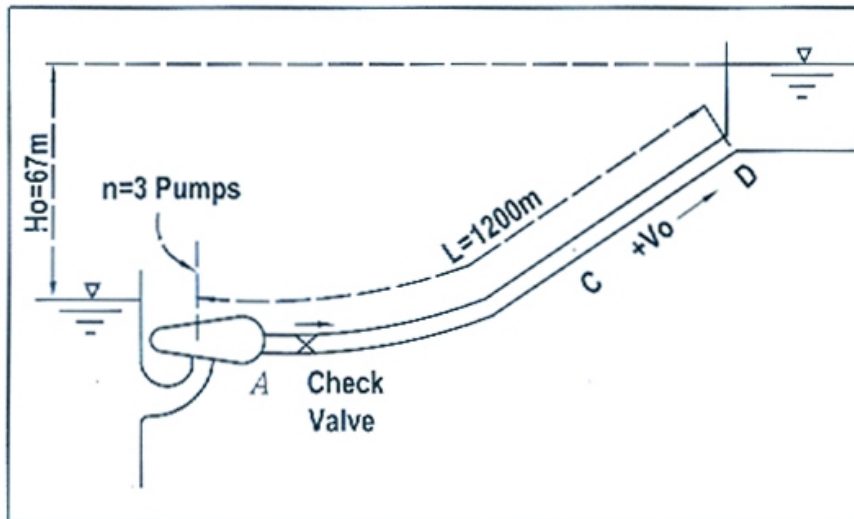


فصل چهارم: روش محاسبه ضربه قوچی

به غیر از محاسبات کامپیوتری که خارج از بحث این مقاله است و در راستای برآوردهای اولیه از مشکلاتی که ممکن است ضربه قوچی در سیستم های پمپاژ بوجود بیاورد، روشی که توسط پارماکیان (John Parmakian) برای محاسبه تقریبی حداقل و حداکثر فشار در ابتدا و نقطه میانی خط لوله در سیستم های پمپاژ ارائه شده است توضیح داده می شود شکل (۱-۴).

۴-۱- روش پارماکیان

در این بخش سیستمی مورد بحث قرار خواهد گرفت که دارای یک یا چند پمپ مجهز به شیر یکطرفه در خروجی پمپها است و با استفاده از روش پارماکیان طی یک مثال حداقل و حداکثر فشار در ابتدا و نقطه میانی خط لوله پمپاژ محاسبه خواهد شد.



شکل (۱-۴): پروفیل خط لوله



مشخصات سیستم :

$$n = 3$$

$$Q_o = 0.95 \text{m}^3/\text{sec}$$

$$DN = 800 \text{mm}$$

$$4.76 \text{mm}$$

$$V_o = 1.9 \text{m}/\text{sec}$$

$$H_o = 67 \text{m}$$

$$H_m = 33.5 \text{m}$$

$$N_o = 1760 \text{RPM}$$

$$P = 300 \text{kW}$$

$$J = 8.15 \text{kgm}^2$$

$$WR^2 = 2J = 16.3 \text{kgm}^2$$

$$\mu = 0.85$$

$$L = 1200 \text{m}$$

$$a = 915 \text{m}/\text{sec}$$

- تعداد پمپ های در حال کار ۳ دستگاه

- دبی کل سیستم

- قطر لوله

- جنس خط لوله فولادی با ضخامت

- سرعت آب در خط لوله

- ارتفاع دینامیکی سیستم

- ارتفاع دینامیکی در نقطه میانی خط لوله

- دور موتورها

- قدرت موتورها

- ممان اینرسی هر الکترو پمپ

- خاصیت چرخ لنگر ی در هر الکترو پمپ

- راندمان الکترو پمپ ها

- طول خط لوله

- سرعت انتشار موج در خط لوله

$$2\rho = \frac{aV_o}{gH_o} = \frac{915 \times 1.9}{9.81 \times 67} = 2.65$$

$$K = \frac{447000H_oQ_o}{nWR^2\eta N_o}$$

$$= \frac{447000 \times 67 \times 0.95}{316.3 \times 0.85 \times 1760^2} = 0.22$$

$$\frac{2KL}{a} = \frac{2(0.22 \times 1200)}{915} = 0.58$$



با استفاده از منحنی شماره ۱ و ۲ پارماکین شکلهای (۲-۴) و (۳-۴)، به ترتیب جوابهای زیر بدست می آیند.

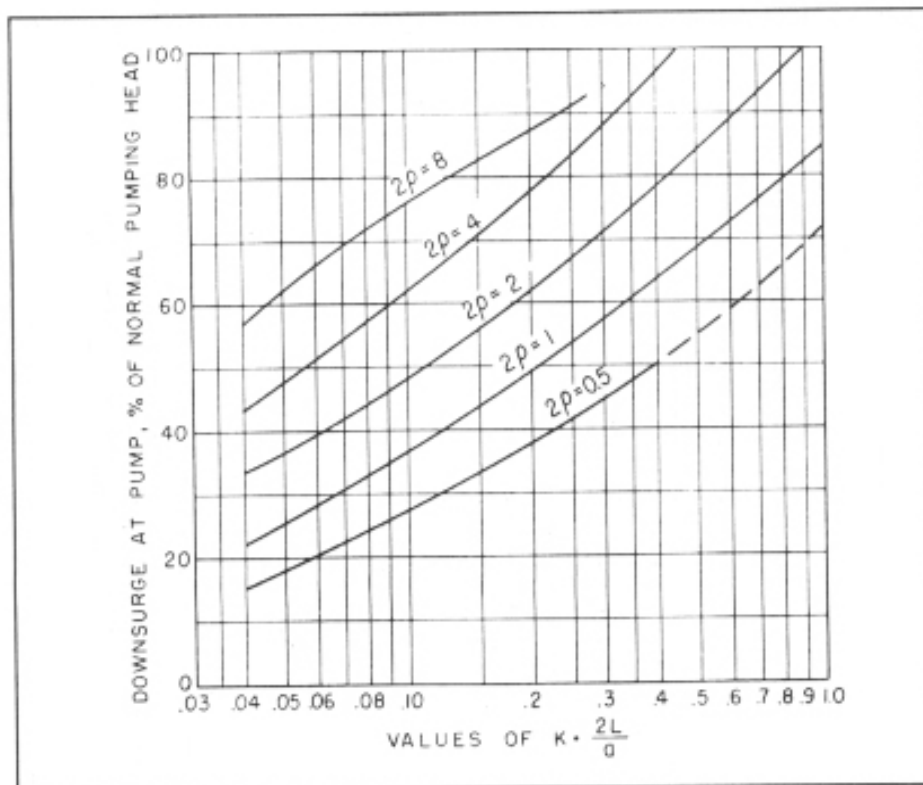
$$67 - (67 \times 0.93) = 4.7m$$

$$33.5 - (67 \times 0.64) = -9.4m$$

$$67 + (67 \times 0.93) = 129m$$

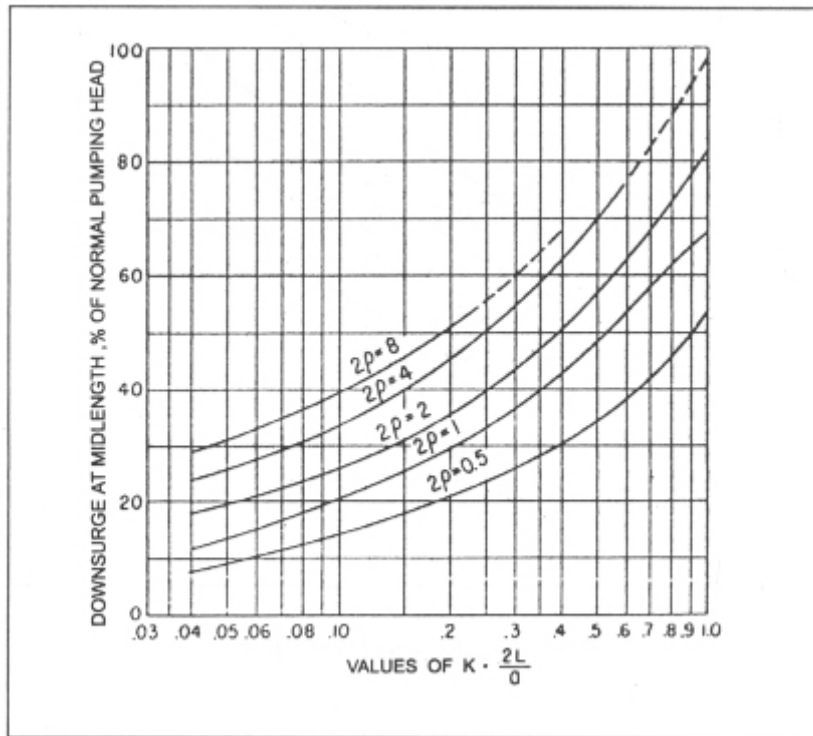
$$33.5 + (67 \times 0.64) = 76.4m$$

- حداقل فشار در ابتدای خط لوله
- حداقل فشار در نقطه ی میانی خط لوله
- حداکثر فشار در ابتدای خط لوله
- حداکثر فشار در نقطه ی میانی خط لوله



شکل (۲-۴): منحنی اول پارماکین

منحنی های پارماکین شامل محاسبه سیستم های بدون شیر یکطرفه نیز می شود که در آن حالت حداکثر سرعت معکوس پمپ، زمان معکوس شدن جریان در پمپ، زمانی که سرعت پمپ به صفر می رسد و زمانی که سرعت معکوس به حداکثر می رسد را نیز توسط آنها می توان بدست آورد که به دلیل غیر معمول بودن آنها در سیستم های عادی پمپاژ و برای جلوگیری از حجیم شدن مطالب به آنها پرداخته نشده است. در مورد سیستم های پمپاژی که مجهز به شیر یکطرفه در خروجی پمپ هستند محاسباتی که در بالا ذکر شد مورد استفاده قرار می گیرد و فقط از دو منحنی فشار حداقل استفاده می شود و اگر شیر یکطرفه درست در زمان معکوس شدن جریان بسته شود مقادیر حداکثر چنانکه در بالا ذکر شد برابر با مقدار کاهش فشار خواهد بود ولی اگر از شیر یکطرفه هایی که سرعت بسته شدن آنها سریع است استفاده شود (مانند شیرهای یکطرفه سوپاپی دوسر فلنج فندار) در این حالت فشارهای حداکثر کمتر از مقادیر فوق خواهند بود و برعکس اگر شیر یکطرفه به هر علتی نتواند سریع بسته شود و بسته شدن آن بعد از معکوس شدن جریان اتفاق بیافتد در آن صورت مقادیر حداکثر فشار بسیار بیشتر از مقادیر محاسبه شده در فوق خواهد بود.



شکل (۳-۴): منحنی دوم پارماکیان

از محاسبات فوق الذکر معلوم می شود که احتمال گسیختگی ستون آب در منطقه میانی خط لوله وجود دارد برای ملموس تر شدن تاثیر چرخ لنگر در مقابله با پدیده ضربت قوچی این بار همین سیستم را با اضافه کردن چرخ لنگر بر روی پمپ و افزایش ممان اینرسی پمپها به میزان ۵۰ درصد محاسبه می کنیم:

$$2p = \frac{aV_0}{gH_0} = \frac{915 \times 1.9}{9.81 \times 67} = 2.65$$

$$= \frac{447000 \times 67 \times 0.95}{3(WR^2 \times 1.5) \times 0.85 \times 1760^2} = 0.11$$

$$\frac{2KL}{a} = \frac{2 \times 0.11 \times 1200}{915} = 0.29$$

$$67 - (67 \times 0.75) = 16.75m$$

$$33.5 - (67 \times 0.47) = 2m$$

$$67 + (67 \times 0.75) = 117.25m$$

$$33.5 + (67 \times 0.47) = 65m$$

- حداقل فشار در ابتدای خط لوله

- حداقل فشار در نقطه میانی خط لوله

- حداکثر فشار در ابتدای خط لوله

- حداکثر فشار در نقطه میانی خط لوله

چنانکه محاسبات نشان می دهد با افزایش ممان اینرسی الکتروپمپها به میزان ۵۰ درصد (با اضافه کردن چرخ لنگر بر روی آنها) اولاً مشکل گسیختگی ستون آب در نقطه میانی خط لوله برطرف شده است و ثانیاً حداکثر فشار ایجاد شده در ابتدای خط لوله به مقدار ۱۱۷,۲۵ متر کاهش داشته است، البته در صورت استفاده از شیرهای یکطرفه با بسته شدن زیاد مقدار این کاهش بیشتر نیز خواهد شد.



منابع:

1. Karassik, Krutzsch , Fraser , Messina
Pump Hand book. Mc Graw Hill book co. New York
2. Streeter , v. , And E.B.wylie ,
Hydraulic Transients , Mc Graw Hill book co. New York
3. Parmakian , J. Water – Hammer Analysis , Dover Publications ,INC. New York
4. Sulzer Pump Hand book
- .5. K.S.B. centrifugal Pump Lexicon
- .6. Pressure vessel Hand book
7. دکتر حمید نشان ، ضربت قوچی آب ، انتشارات شرکت صنایع پمپ سازی ایران.



توليدات شرکت مکانیک آب

۱. شیر پروانه ای دو سر فلنج فولادی از سایز ۱۵۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۲. شیرهای فشار شکن پیلوت دار فولادی، چدنی و داکتیل از سایز ۶۵ تا ۸۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۳. شیرهای اطمینان پیلوت دار از سایز ۶۵ تا ۶۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۴. شیرهای ثابت نگهدارنده فشار از سایز ۶۵ تا ۸۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۵. شیرهای کنترل دبی پیلوت دار از سایز ۶۵ تا ۶۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۲۵ بار.
۶. شیرهای کنترل سطح آب در مخازن (فلوتر) از سایز ۶۵ تا ۶۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۲۵ بار.
۷. شیرهای کنترل پمپ از سایز ۸۰ تا ۴۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۸. شیرهای یکطرفه دو سر فلنج فولادی سوپاپی ضد ضربت قوچی از سایز ۸۰ تا ۷۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۹. شیرهای یکطرفه دو سر فلنج فولادی مدل پروانه ای اهرم وزنه ای از سایز ۱۵۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۱۰. شیر فلکه های گلوب (GLOBE VALVES) مخصوص کنترل دبی و فشار از سایز ۸۰ تا ۶۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۱۱. صافی های فولادی خط لوله و صافی های یکسر فلنج از سایز ۸۰ تا ۱۲۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار، با توری استنلس استیل.
۱۲. سوپاپ مکش پمپ ها با سطوح آببندی کننده، محورها و توری استنلس استیل تا سایز ۷۰۰ میلیمتر.
۱۳. اتصالات قابل پیاده کردن فولادی از سایز ۸۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۴۰ بار.
۱۴. اتصالات قابل انبساط فولادی با سطوح لغزنده از جنس استنلس استیل و سایز ۱۵۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۲۵ بار.
۱۵. شیرهای حفاظت شکستگی خط لوله با سیستم فرمان تماماً مکانیکی از سایز ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۲۵ بار.
۱۶. شیرهای سوزنی (NEEDLE VALVES)، هالوجت و هاول بانگر فولادی از سایز ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۲۵ بار.
۱۷. شیرهای مستهلک کننده انرژی (VERTICAL SLEEVE VALVES) از سایز ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیمتر و فشار کار تا ۲۵ بار.



خدمات شرکت مکانیک آب

۱. محاسبات ضربت قوچی در خطوط لوله.
۲. طراحی، ساخت، حمل، نصب و راه اندازی تجهیزات مقابله با ضربت قوچی شامل:
 - الف. فلاپویل ها.
 - ب. کوپلینگ های هیدرولیکی.
 - ج. تانکهای ضربه گیر یکطرفه.
 - د. تانک ضربه گیر تحت فشار.
 - ه. تجهیزات کنترل تانکهای تحت فشار و یکطرفه.
 - ی. شیرهای اطمینان و یکطرفه مخصوص ضربت قوچی.
۳. نصب و راه اندازی ایستگاههای پمپاژ به روش کارخانه ای
توضیح: در این روش اول نقشه های اجرایی بسیار دقیق از طرف شرکت تهیه شده و سپس کلیه تجهیزات مانند: کلکتورها، لوله های مکش، رانش، شیرآلات، اتصالات و فلنج ها در کارخانه و با استفاده از تجهیزات کارخانه ای ساخته شده مونتاژ و کنترل می شود و پس از مونتاژ و بسته بندی به محل ایستگاه پمپاژ حمل و نصب می شوند به ترتیبی که حداقل عملیات مکانیکی مانند برشکاری و جوشکاری در پای کار انجام می یابد مزیت این روش اجرای بسیار دقیق، سریع و با کیفیت ایستگاههای پمپاژ است.