



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-069

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.

مقایسه ی استانداردهای مختلف در رابطه با ارتعاشات پمپ

۱- مقدمه

متاسفانه یا خوشبختانه، تنوع استانداردهای کاربردی در زمینه ی ارتعاشات در صنعت پمپ سازی بیشتر از سایر زمینه هاست. به نظر می رسد که این استانداردها در مورد شیوه های تعیین حدود ارتعاشی و مقدار آن با هم تناقض دارند. هدف از این مقاله، ارائه ی نقاط تعیین کننده ی هر استاندارد و مشخص کردن پاسخ این سوال است که « برای تعیین حدود ارتعاشی یک پمپ، در کجا باید از کدام استاندارد استفاده کرد؟»

شایان ذکر است که در این مقاله تمامی شرایط و ملاحظات استانداردهای مورد نظر، بررسی نشده است بلکه تنها از محتویات این استانداردها جمع بندی صورت گرفته است.

۲- جمع بندی استانداردها

۱-۲- ISO 9908- خصوصیات فنی پمپ های سانتریفیوژ- کلاس ۳

این استاندارد شامل احتیاجات پمپ های سانتریفیوژ یک مرحله ای، چند مرحله ای، افقی یا عمودی می شود. احتیاجات کلاس ۳ با تسامح بیشتری نسبت به استاندارد ISO 5199 تعیین شده است.

• شرایط:

- ❖ شدت ارتعاش به مقادیر اندازه گیری شده در تاسیسات تست منسوب می شود.
- ❖ بین پمپ ها بنا بر ارتفاع خط محور آنها (بالتر از ۲۲۵ میلیمتر یا پایین تر از آن) و سرعت آنها (تا ۱۸۰۰ دور در دقیقه یا از ۱۸۰۰ تا ۴۵۰۰ دور در دقیقه) تفاوت قائل می شود.
- ❖ مقادیر در Bearing housing، به صورت شعاعی در یک نقطه عملکردی در سرعت ($\pm 5\%$) و شدت جریانی ($\pm 5\%$) که پمپ بدون کابیناسیون کار می کند، اندازه گیری می شود.
- ❖ هنگامی که در پمپ هایی با لاین شفت عمودی از کوپلینگ های صلب استفاده می شود، قرائت کننده ها در فلنج بالایی و هنگامی که از کوپلینگ های انعطاف پذیر استفاده می شود، نزدیک بیرینگ بالایی پمپ قرار دارند.
- ❖ حد بالای سرعت چه برای بیرینگ های غلتشی و چه برای بوش ها $7.1 \frac{mm}{s}$ است.

برای دستیابی به حدهای ارتعاشی این استاندارد به جدول ۱ مراجعه شود.

جدول ۱- حد های شدت ارتعاش برای پمپ های افقی با چند پره

سرعت دورانی n	بیشینه ی سرعت ارتعاشی برای ارتفاع محور h_1 در مقیاس rms شفتی با (mm/s)	
	$h_1 \leq 225mm$	$h_1 > 225mm$
min^{-1}		
$n \leq 1800$	2.8	4.5
$1800 < n \leq 4500$	4.5	7.1

توضیحاتی در باره ی مقدار h_1 :

- ❖ تعیین مقدار آن بر اساس ISO2372 است.

❖ برای پمپ های افقی، h_1 فاصله ی بین baseplate در تماس با پمپ و محور شفت پمپ است.

کاربرد این استاندارد

این استاندارد برای تمامی پمپ های سانتریفیوژ light duty (پمپ هایی که هد و دبی پایینی دارند) مناسب است ولی بیشتر برای پمپ های مکش از انتها مطابق استاندارد EN733 کاربرد دارد.

۲-۲- ISO 5199- خصوصیات فنی پمپ های سانتریفیوژ- کلاس ۲

این استاندارد شامل خصوصیات پمپ های سانتریفیوژ یک مرحله ای، چند مرحله ای، افقی و عمودی کلاس ۲ با هر کاربرد، نحوه نصب و نوع موتوری می باشد. پمپ های مورد استفاده در صنایع شیمیایی بیشترین سهم را در این استاندارد دارند.

• شرایط:

- ❖ تمامی اجزای دوار اصلی باید بالانس شده باشند.
- ❖ حدود ارتعاش باید با بالانس کردن اجزا با درجه ی G6.3 با توجه به استاندارد ISO1940-1 تعیین شوند.
- ❖ شدت ارتعاش به مقادیر اندازه گیری شده در تاسیسات تست منسوب می شود.
- ❖ بین پمپ ها بر حسب ۴ فاکتور تمایز قائل می شود:

۱- ارتفاع محور بالا و پایین ۲۲۵ میلیمتر

۲- صلب افقی

۳- انعطاف پذیر افقی

۴- تمامی پمپ های عمودی

برای دستیابی به حدهای ارتعاشی این استاندارد به جدول ۲ مراجعه شود.

جدول ۲- حد های شدت ارتعاش

	سرعت در مقیاس rms (mm/s)		
	عمودی	افقی انعطاف پذیر	افقی صلب
$\frac{C}{L} \leq 225mm$	7.1	5.5	3
$\frac{C}{L} > 225mm$	7.1	7.1	4.5

برای تعریف C/L به استاندارد مراجعه شود.

کاربرد این استاندارد

این استاندارد برای تمامی پمپ های سانتریفیوژ medium duty مناسب است ولی برای پمپ های مکش از انتها طبق استاندارد ISO 2858 کاربرد بیشتری دارد. از این پمپ ها در صنایع شیمیایی استفاده می شود و سیال آن خورنده، سمی و دما بالا است.

۲-۳ - ISO 9908 - خصوصیات فنی پمپ های سانتریفیوژ - کلاس ۱

این استاندارد شامل (سختگیرانه ترین) احتیاجات پمپ های سانتریفیوژ کلاس ۱ در صنایع مختلف است ولی شامل پمپهای صنایع نفت و پتروشیمی و گاز طبیعی نمی شود.

- شرایط:
- ❖ تمامی اجزای دوار اصلی باید بالانس شده باشند.
- ❖ حدود ارتعاش باید با بالانس کردن اجزا با درجه ی G6.3 با توجه به استاندارد ISO1940-1 تعیین شوند.
- ❖ شدت ارتعاش به مقادیر اندازه گیری شده در تاسیسات تست منسوب می شود.
- ❖ عملکرد ارتعاشی پمپ و موتور به خوبی عملکرد یک فوندانسیون دائمی روی جایگاه تست است.
- ❖ بین پمپ ها بنا بر ارتفاع خط محور آنها (بالتر از ۲۲۵ میلیمتر یا پایین تر از آن) و سرعت آنها (تا ۱۸۰۰ دور در دقیقه یا از ۱۸۰۰ تا ۴۵۰۰ دور در دقیقه) تفاوت قائل می شود.
- ❖ مقادیر در Bearing housing، به صورت شعاعی در یک نقطه عملکردی در سرعت ($\pm 5\%$) و شدت جریان ($\pm 5\%$) که پمپ بدون کاویتاسیون کار می کند، اندازه گیری می شود.
- ❖ هنگامی که در پمپ هایی با لاین شفت عمودی از کوپلینگ های صلب استفاده می شود، Reading ها در فلنج بالایی و هنگامی که از کوپلینگ های انعطاف پذیر استفاده می شود، نزدیک بیرینگ بالایی پمپ قرار دارند.
- ❖ حد بالای سرعت چه برای بیرینگ های غلتشی و چه برای بوش ها $7.1 \frac{mm}{s}$ است.

برای دستیابی به حدهای ارتعاشی این استاندارد به جدول ۳ مراجعه شود.

جدول ۳- حد های شدت ارتعاش برای پمپ های افقی با چند پره (بر اساس ISO 2372)

سرعت دورانی N	بیشینه ی سرعت ارتعاشی برای ارتفاع محور h_1 در مقیاس rms شفتی با (mm/s)	
	$h_1 \leq 225mm$	$h_1 > 225mm$
min^{-1}		
$n \leq 1800$	2.8	4.5
$1800 < n \leq 4500$	4.5	7.1

کاربرد این استاندارد

این استاندارد برای پمپ های سانتریفیوژ heavy duty با وظایف سخت مثلا کار در فشار و دمای بالا مناسب است ولی همانطور که پیش تر اشاره شد در صنایع نفت و پتروشیمی و گاز کاربرد ندارد.

۲-۴ - ISO 10816-3 - ارتعاشات مکانیکی - ارزیابی ارتعاشات ماشین با اندازه گیری ارتعاش

قطعات غیر دوار

(بخش سوم - ماشین های صنعتی با قدرت نامی بالاتر از ۱۵ کیلو وات و سرعت نامی بین ۱۲۰ و ۱۵۰۰ دور در دقیقه اندازه گیری شده در محل کارکرد طبیعی)

کاربرد این استاندارد

این قسمت از استاندارد ISO 108116 دیگر در صنعت پمپ کاربردی ندارد. اکنون به جای این استاندارد از بخش هفتم آن استفاده می شود.

۲-۵ - ISO 10816-7 - ارتعاشات مکانیکی - ارزیابی ارتعاشات ماشین با اندازه گیری ارتعاش

قطعات غیر دوار

(بخش هفتم - پمپ های روتودینامیکی برای کاربردهای صنعتی - اندازه گیری از روی شفت دوار)

این استاندارد ماشین های صنعتی با قدرت نامی بالاتر از ۱۵ کیلو وات را شامل می شود. اندازه گیری ارتعاشات اجزای دوار و غیر دوار در این استاندارد بیان شده و راهنمایی برای شدت ارتعاش در محل کارکرد طبیعی و تاسیسات تولیدی ها، در دامنه های عملکردی «ترجیح داده شده» و «مجاز» ارائه شده است.

تفاوت بخش هفتم با بخش سوم در این است که برخلاف بخش سوم، در بخش هفتم تفاوتی بین نصب صلب یا انعطاف پذیر وجود ندارد.

پمپ ها به دو دسته تقسیم می شوند:

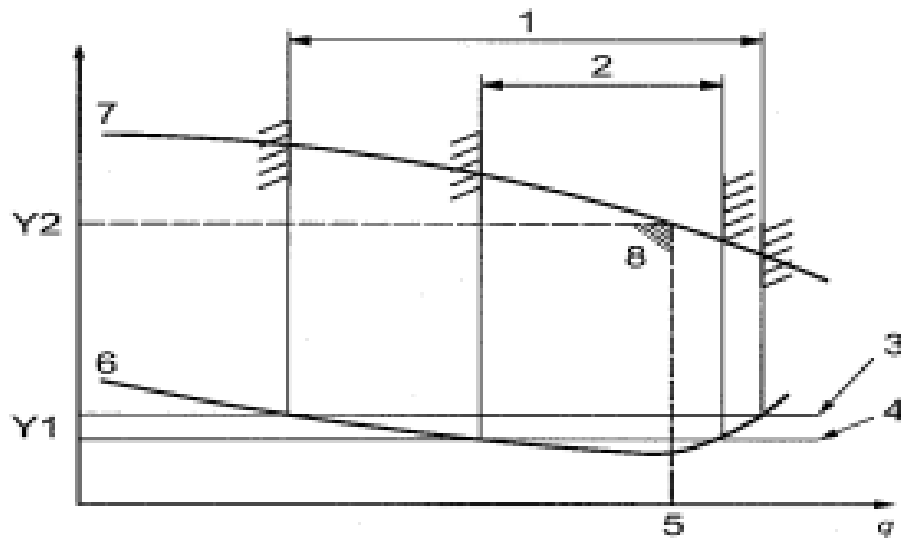
دسته ی اول : پمپ های نیازمند به پایداری (اطمینان پذیری)، در دسترس بودن و نکات امنیتی بالا (مثلا پمپ هایی برای سیالات سمی و زیان آور، کاربردهای مهم، نفت و گاز، نیروگاه های هسته ای و...)

دسته ی دوم : پمپ هایی برای کاربرد عام (مثلا پمپ های معلق عمودی (VS) با سرعتی بیش از ۶۰۰ دور در دقیقه)

استاندارد برای ارتعاش اجزای غیر دوار پمپ های روتودینامیکی با توان بالای ۱ کیلو وات و تعداد پره های پروانه بیشتر از ۳، نواحی ای را جهت تعیین حدود ارتعاشی مشخص می کند.

نواحی عبارتند از:

- ناحیه A: ارتعاشات ماشین های تازه به کار گرفته شده
- ناحیه B: مناسب برای عملکردهای طولانی مدت یا نامحدود
- ناحیه C: نامناسب برای عملکردهای طولانی مدت یا نامحدود
- ناحیه D: ارتعاشات با شدت ارتعاشی بالای منجر به خسارت



شکل ۱- نواحی ارتعاشی

در شکل ۱ این نواحی نشان داده شده اند. نقاط مشخص شده در شکل نشانگر حدود نواحی اند که در زیر معرفی می شوند:

۱	ناحیه عملکرد مجاز
۲	ناحیه عملکرد ترجیح داده شده
۳	حد ارتعاش ناحیه عملکرد مجاز
۴	حد ارتعاش ناحیه عملکرد ترجیح داده شده
۵	شدت جریان در نقطه ی بهترین عملکرد
۶	منحنی مشخصه ارتعاش
۷	منحنی هد - دبی
۸	نقطه بهترین راندمان BEP
X	جریان
Y ₁	ارتعاش
Y ₂	هد

نقاط ناحیه عملکرد مجاز (AOR) و ناحیه عملکرد ترجیح داده شده (POR) باید توسط تولید کننده ی پمپ مشخص شود. معمولاً حدود POR ۷۰ تا ۱۲۰ درصد نقطه بهترین عملکرد (BEP) است. ارتعاشاتی خارج از ناحیه ی AOR باعث خسارت می شود. در نتیجه می توان از این ارتعاشات به صورت کوتاه مدت به عنوان تلورانس ارتعاشی استفاده کرد ولی به صورت دائم یا بلند مدت قابل استفاده نیستند.

شایان ذکر است که اگر هنگامی که پمپ کار نمی کند ارتعاشات زمین بیشتر از ۲۵٪ مقدار ارتعاش اندازه گیری شده در هنگام عملکرد پمپ باشد، نیاز به اصلاح کننده ای برای کاهش ارتعاشات زمین وجود دارد.

جدول ۴ حدود ارتعاشات اندازه گیری شده در اجزای غیردوار را نشان می دهد.

کاربرد این استاندارد

این استاندارد آخرین نسخه از استانداردهای مشابه است که بیشترین مورد استفاده را در کارخانجات دارد. این استاندارد برای بیشتر پمپ های پروانه دار چند پره مناسب است.

این استاندارد دسته بندی ۱ و ۲ را معرفی می کند و پمپ هایی با سیال سمی را در دسته ی ۱ قرار می دهد که با استاندارد ISO5199 در تناقض است. بیشتر تولید کنندگان توصیه می کنند که پمپ های شیمیایی تولید شده مطابق با استاندارد ISO2858 که کاملاً نکات فنی استاندارد ISO5199 را برآورده می کنند، باید محدودیت های ارتعاشی بیان شده در استاندارد ISO10816-7 را نیز بر آورده کنند.

طبق استاندارد، پمپ های عمودی کلا در دسته ی دوم قرار می گیرند. این دسته بندی کلی باعث شده است که این استاندارد برای پمپ های عمودی چندان مناسب نباشد. به همین دلیل برای پمپ های عمودی از استاندارد ISO51999 استفاده می شود.

جدول ۴- حدود ارتعاشات اندازه گیری شده در اجزای غیردوار

حد سرعت	ارتعاشی	در مقیاس rms (mm/s)	
		دسته اول	دسته دوم
> 200KW	≤ 200KW	> 200KW	≤ 200KW
4.2	3.2	3.5	2.5
6.1	5.1	5	4
9.5	8.5	7.6	6.6
>9.5	>8.5	>7.6	>6.6
7.6	6.4	6.3	5
11.9	10.6	9.5	8.3
4.2	3.2	3.5	2.5
5.2	4.2	4.4	3.4
5.2	4.2	4.3	3.3
6.1	5.1	5	4

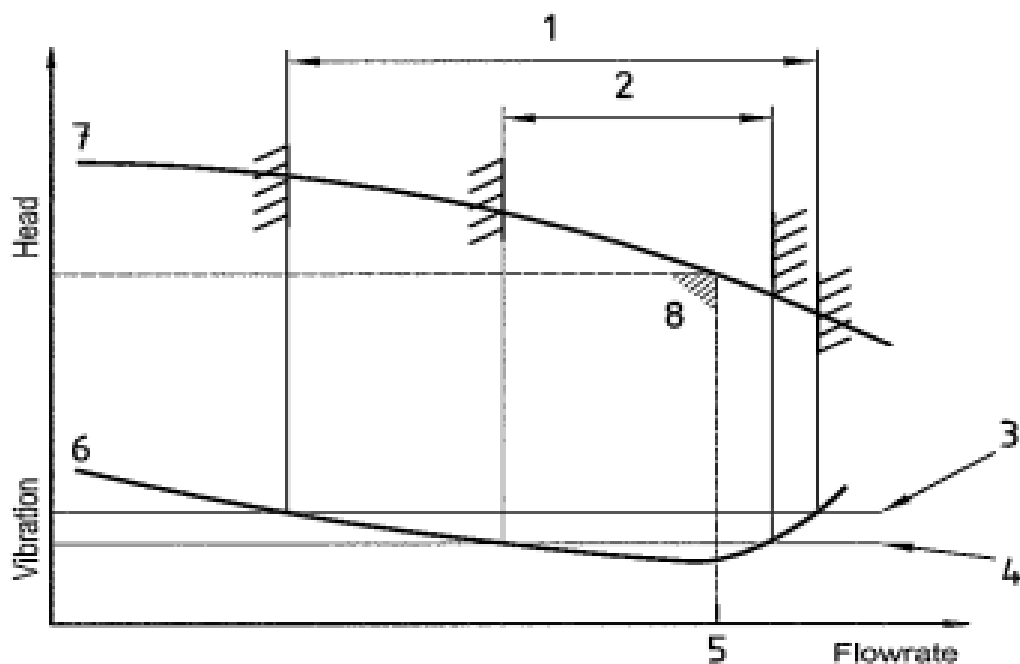
^{۴۸} مقادیر توصیه شده. اندازه ی ارتعاشات باید ۱۰ ثانیه قبل از آژیر یا آزاد شدن تریپ بالای این مقادیر باشد تا از آژیرها یا تریپ های غلط جلوگیری کند.

۲-۶- ISO13709:2009 پمپ های سانتریفیوژ برای صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی (API

(610

در این استاندارد حدود ارتعاشات حین تست های عملکرد با توجه به رابطه ی بین شدت جریان و ارتعاشات تعیین می شود و در نتیجه دامنه ی مجاز عملکرد و دامنه ی ترجیح داده شده ی عملکرد معرفی می شوند. ناحیه ی مجاز عملکرد باید تعیین شود. اگر ناحیه ی مجاز عملکرد توسط فاکتوری غیر از ارتعاشات محدود شده است، آن فاکتور نیز باید مشخص شود. شکل ۲ رابطه ی بین شدت جریان و ارتعاشات را نشان می دهد که در آن:

- ۱ ناحیه ی مجاز عملکردی جریان
- ۲ ناحیه ی ترجیح داده شده ی عملکردی جریان
- ۳ حد ماکزیمم ارتعاشات مجاز در حد شدت جریان
- ۴ حد ارتعاشات مبنا
- ۵ نقطه بهترین عملکرد، شدت جریان
- ۶ ارتعاشات بر حسب منحنی شدت جریان نوعی که نشاندهنده ی ماکزیمم ارتعاشات مجاز است
- ۷ منحنی هد-شدت جریان
- ۸ نقطه بهترین راندمان BEP



شکل ۲- رابطه ی بین شدت جریان و ارتعاشات

در این استاندارد موارد زیر تعیین شده است:

- ۱- حدود ارتعاشات برای پمپ های OH و BB که توانی تا ۳۰۰ کیلووات در هر مرحله دارند و سرعت آنها تا ۳۶۰۰ دور در دقیقه است، با هر نوع بیرینگ (اندازه گیری شده از bearing housing):

سرعت (mm/s RMS)	POR	AOR
مجموع	۳	۳/۹
فرکانس های گسسته	۲	۲/۶

۲- حدود ارتعاشات برای پمپ های OH و BB با ژورنال بیرینگ هیدرودینامیکی (اندازه گیری شده از شفت پمپ) :

اندازه (میکرومتر مضاعف)	حد بالا
مجموع	۵۰
فرکانس های گسسته	۱۶/۵۰

ضوابط بالا افزایش مجاز در ارتعاشات ۳۰٪ جریان را بیرون از ناحیه ی ترجیح داده شده (ولی داخل ناحیه ی مجاز) نشان می دهد.

۳- حدود ارتعاشات پمپ های VS با هر بیرینگ (اندازه گیری شده از بیرینگ کف گرد):

سرعت (mm/s RMS)	POR	AOR
مجموع	۵	۶/۵
فرکانس های گسسته	۳/۴	۴/۴

۴- حدود ارتعاشات برای پمپ های VS با ژورنال بیرینگ هیدرودینامیکی (اندازه گیری شده از شفت پمپ) :

اندازه (میکرومتر مضاعف)	حد بالا
مجموع	۱۰۰
فرکانس های گسسته	۷۵

ضوابط بالا افزایش مجاز در ارتعاشات ۳۰٪ جریان را بیرون از ناحیه ی ترجیح داده شده (ولی داخل ناحیه ی مجاز) نشان می دهد.

۵- حدود ارتعاشات برای پمپ های افقی با توان جذبی بیش از ۳۰۰ کیلو وات در هر مرحله یا کارکرد در دور بیش از ۳۶۰۰ دور در دقیقه

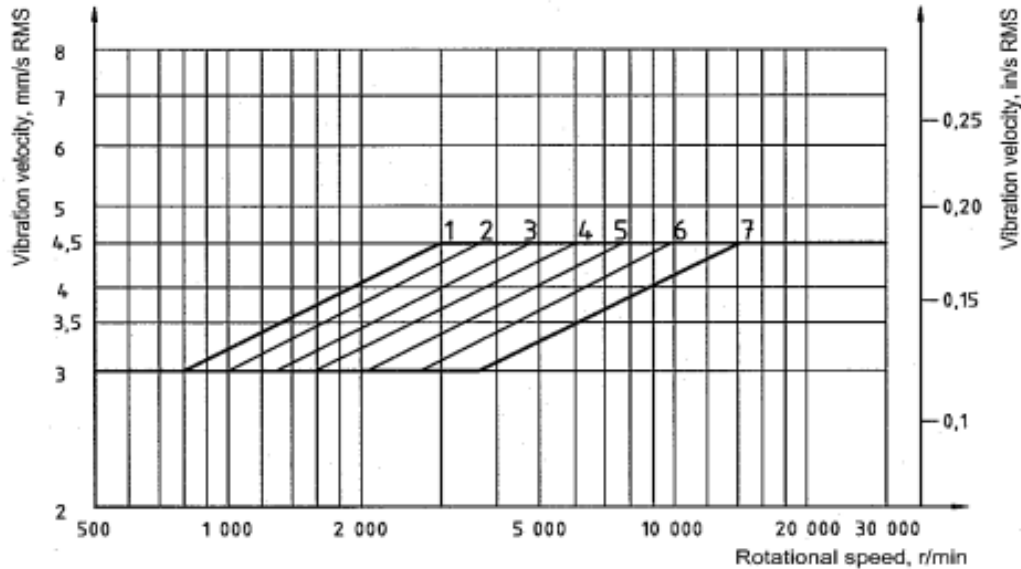
در شکل ۳ حدود ارتعاشات برای چنین پمپ هایی نشان داده شده است.

برای تمام پمپ ها و انواع بیرینگ:

- در هر سرعتی بزرگتر از ماکزیمم سرعت پیوستگی (تا سرعت تریپ که شامل خود آن هم می شود) ارتعاشات نباید از ۱۵۰٪ ماکزیمم ماکزیمم های سرعت پیوستگی تجاوز کند.
- پمپ های سرعت متغیر می توانند خارج از محدوده ی سرعت مشخص شده ی خود، بدون اینکه از حدود ارتعاشاتی تجاوز کنند کار کنند.

کاربرد این استاندارد

این استاندارد کاربرد بسیار زیادی در صنایع نفت و پتروشیمی و گاز دارد. این استاندارد معمولاً برای پمپ‌هایی به کار می‌رود که از احتیاجات استانداردهای دیگر مانند استانداردهای ISO 2858 یا ANSI B73.1 پیروی نمی‌کنند. برای استفاده از این استاندارد باید هزینه‌های اضافه شده‌ی ناشی از آن را نیز در نظر گرفت.



شکل ۴- حدود ارتعاشات برای پمپ‌های افقی با توان جذبی بیش از ۳۰۰ کیلووات در هر مرحله یا کارکرد در دور بیش از ۳۶۰۰ دور در دقیقه

در شکل ۴:

$P \geq \frac{3000KW}{stage}$	۱
$P = \frac{2000KW}{stage}$	۲
$P = \frac{1500KW}{stage}$	۳
$P = \frac{1000KW}{stage}$	۴
$P = \frac{700KW}{stage}$	۵
$P = \frac{500KW}{stage}$	۶
$P \leq \frac{300KW}{stage}$	۷

مراجع و منابع

: the European Association of Pump Manufacturers official website www.europump.org

وبسایت رسمی اتحادیه‌ی تولیدکنندگان پمپ اروپا