یازدهمین کنفرانس بین المللی اکوستیک و ارتعاشات
ISAV 2021
۱۶ و ۱۸۵ آذر ماه ۱۴۰۰

کارگاه آموزشی:

استانداردهای پایش و ارزیابی ارتعاشات

علی اکبر وکیلی
شرکت مهندسی تواتر سپاهان

ISAV2021-W13

چکیده

- تعریف استاندارد
- تعیین استانداردهای مرتبط
- استانداردهای حدود ارتعاشی
- استانداردهای پایش وضعیت
- استاندارد ارتعاشی پمپ ها
- استاندارد ارتعاشی توربین های بخار
- استاندارد ارتعاشی توربین های گازی
- استاندارد ارتعاشی کمپرسورهای رفت و برگشتی
- استاندارد ارتعاشی الکتروموتورها
- استاندارد ارتعاشی فن ها
- استانداردهای بالانس

مقدمه

- پیشرفت تکنیک های جدید نگهداری ماشین های کارخانجات فرآیندی نهایتا به استفاده از روشهای پایش وضعیت رهنمون شده است. در این میان پایش وضعیت ارتعاشات بعنوان معمول ترین و البته مهم ترین تکنیک پایش وضعیت ماشین های کارخانجات فرآیندی شناخته شده و در حال گسترش روز افزون در صنایع کشور است. در این میان با توجه به تنوع ماشین آلات و فرآیندها یکی از چالش های مهم، انجام پایش وضعیت ارتعاشات به روش کارآمد و داشتن معیارهای قابل قبول برای ارزیابی ارتعاشات اندازه گیری شده در ماشین هاست.
- خوشبختانه استانداردهای متنوعی برای این منظور منتشر شده و شناسایی آنها یک اصل مهم برای کارشناسان این تکنولوژی است تا بتوانند به نتایج ارزشمندی که پایش وضعیت ارائه می کند دسترسی پیدا کنند.
- علاوه براین پذیرش یک ماشین در فرآیند تحویل گیری یا ارزیابی مجدد بعد از تعمیرات نیاز به معیارهای منطقی و قابل قبول بین المللی دارد و استاندارد می تواند معیار مناسبی برای این منظور باشد.

استاندارد چیست

ایجاد یک زمینه مشترک و قابل قبول برای هر دو طرف مشتری و تامین کننده تجهیزات و ماشین آلات براساس نظرات متخصصین جهانی برای:

- تهیه و تحویل گیری
- بهره برداری
- نگهداری

API American Petroleum Institute

ANSI American National Standards Institute

CERTIFIED MIL-STD 810H

VDI DIN

ISO IEC International Electrotechnical Commission BSi British Standards EN EUROPEAN STANDARDS CE

Australian STANDARD GB 国家标准 JIS JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD IPS استانداردهای نفت ایران

موسسات استاندارد در زمینه ارتعاشات (اسناد دسترس)

اگر چه موسسات متعددی وجود دارند که در زمینه ارتعاشات اسناد بسیاری منتشر کرده اند اما قدیمی ترین آنها VDI و امروزه اصلی ترین آنها ISO و برخی کمیته های مرتبط با آن است. البته استانداردهای API در قالب ارائه استانداردهای ماشین های دوار در رابطه با حدود ارتعاشی آنها نیز اظهار نظر های سودمندی کرده است.

VDI

ISO

IEC International Electrotechnical Commission

API American Petroleum Institute

EUROPEAN STANDARDS

BSI British Standards

استانداردهای ارتعاشی بسیار مفصل هستند و البته بخشی از آنها به تعریف حدود ارتعاشی و پایش وضعیت می پردازد که عمدتا توسط ISO تعریف شده است.

استانداردهای انجمن مهندسین آلمان VDI

Verein Deutscher Ingenieure انجمن مهندسین آلمان د رسال ۱۸۵۶ تاسیس شد. این انجمن در زمینه ارزیابی دامنه های ارتعاشی اولین اسناد را منتشر ساخته است.

نام	شرح
VDI 2056	Evaluation of mechanical vibrations of rotating machinery (withdrawn); replacement: ISO 10816
VDI 2057-1	Human exposure to mechanical vibrations Part 1: Whole-body vibration
VDI 2057-2	Part 2: Hand-arm vibration
VDI 2057-3	Part 3: Assessment (withdrawn)
VDI 2057-4.1	Part 4.1: Measurements and assessment for workshop places in buildings

استانداردهای انجمن مهندسین آلمان VDI

نام	شرح
VDI 2057-4.2	Part 4.1: Measurements and assessment for workshop places in buildings
VDI 2057-4.3	Part 4.3: Measurements and assessment for ships and floating vessels (withdrawn); replacement: ISO 6954
VDI 2059-1	Shaft vibrations of turbosets; principles for measurement and evaluation
VDI 2059-3	Shaft vibrations of industrial turbosets; measurement and evaluation
VDI 2059-4	Shaft vibrations of gas turbosets; measurement and evaluation
VDI 2059-5	Shaft vibrations of gas turbosets; measurement and evaluation

استانداردهای انجمن مهندسین آلمان VDI

نام	شرح
VDI 2062	Shock and vibration isolation Part 1: Conceptions and principles Part 2: Isolation elements, materials and component parts of isolation
VDI 2063	Measurement and evaluation of mechanical vibrations of reciprocating piston engines and piston compressors (withdrawn); replacement: VDI 3838
VDI 2064	Active vibration isolation
VDI 2149	Transmission dynamics; elastic mechanisms
VDI 3832	Measurement of structure-borne sound of rolling element bearings in machines and plants for evaluation of state condition

استانداردهای انجمن مهندسین آلمان VDI

نام	شرح
VDI 3834	Part 1: Measurement and evaluation of the mechanical vibrations of wind energy plants and their components – Wind energy plants with gears
VDI 3836	Measurement and evaluation of mechanical vibration of screw-type compressors and Root blowers
VDI 3838	Measurement and evaluation of mechanical vibration of reciprocating piston engines and piston compressors with power ratings above 100 kW – Addition to ISO 10816-6

استانداردهای انجمن مهندسین آلمان VDI

نام	شرح
VDI 3839-1	Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines Part 1: General principals
VDI 3839-2	Part 2: Vibration patterns for excitation arising from unbalance, incorrect assembly, bearing faults and damage to rotating components
VDI 3839-4	Part 4: Typical vibration patterns with fans (draft)
VDI 3839-5	Part 5: Typical vibration patterns with electrical machines
VDI 3839-8	Part 8: Typical vibration patterns with reciprocating machines
VDI 3840	Vibration analysis for machine sets
VDI 3841	Vibration monitoring of rotating machinery – necessary measurement

جمع بندی VDI

استاندارد VDI در حوزه لرزش و ارزیابی پایش وضعیت بعنوان سردمدار این استانداردها شناخته می شود.
اگر چه تا کنون استاندارد های متعددی در زمینه پایش و ارزیابی لرزش توسط این انجمن منتشر شده اما اکثر قریب به اتفاق آنها توسط استاندارد های ISO باز خوانی شده و با استانداردهای مفصل تری جایگزین شده است.
از این رو مراجعه به استانداره های ISO برای حوزه پایش و ارزیابی ارتعاشات کافی به نظر می رسد.

استانداردهای موسسه بین المللی استاندارد سازی

International Organization for Standardization موسسه بین المللی استاندارد سازی ISO یک موسسه مستقل غیر دولتی با ۱۶۵ عضو از استانداردهای ملی است. این موسسه از طریق اعضای خود و گردآوری کارشناسان و اشتراک دانش، استانداردهای بین المللی داوطلبانه، مبتنی بر اجماع و بازار را توسعه داده و راه حل هایی برای چالش های جهانی ارائه می دهد.

وظیفه کمیته TC 108 استانداردسازی در زمینه ارتعاشات مکانیکی و شوک و اثرات ارتعاش و شوک بر انسان، ماشین آلات، وسایل نقلیه (هوا، دریا، زمین و راه آهن) و سازه های ثابت و پایش وضعیت ماشین آلات و سازه ها با استفاده از رویکردهای چند تخصصی است.

حوزه های خاص مورد علاقه فعلی کمیته TC 108

- تعریف اصطلاحات و نامگذاری در زمینه ارتعاشات مکانیکی، شوک مکانیکی و پایش وضعیت؛
- اندازه گیری، آنالیز و ارزیابی ارتعاش و شوک از جمله:
  - روش های پردازش سیگنال،
  - روش های تجزیه و تحلیل دینامیک سازه،
  - روش های کالیبراسیون مبدل و مولد ارتعاش و غیره؛
- روش های کنترل فعال و غیرفعال لرزش و شوک، از جمله. بالانس ماشین آلات، جداسازی و میرایی؛
- ارزیابی اثرات ارتعاش و شوک بر انسان، ماشین آلات، وسایل نقلیه (هوا، دریا، زمین و راه آهن)، سازه های ثابت و تجهیزات حساس؛
- ابزار اندازه گیری لرزش و شوک، از جمله: مبدل‌ها، محرک های لرزش، بهسازی سیگنال، تجهیزات آنالیز سیگنال و سیستم‌های دریافت سیگنال.
- روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری، جمع‌آوری داده‌ها، پردازش، ارائه، تجزیه و تحلیل، تشخیص و پیش بینی اثرات و عیوب، با استفاده از تمام متغیرهای اندازه‌گیری مورد نیاز برای پایش وضعیت ماشین‌ها؛
- آموزش و صدور گواهینامه پرسنل در زمینه های مربوطه.

ساختار کمیته TC 108

- دو زیر کمیته اصلی SC 2 و SC 5 بیشترین ارتباط را با پایش وضعیت و ارزیابی دارند.

REFERENCE	TITLE	TYPE
ISO/TC 108/SC 2	Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures	Sub committee
ISO/TC 108/SC 4	Human exposure to mechanical vibration and shock	Sub committee
ISO/TC 108/SC 5	Condition monitoring and diagnostics of machine systems	Sub committee
ISO/TC 108/SC 6	Vibration and shock generating systems	Sub committee
ISO/TC 108/WG 28	Vibration materials	Working group
ISO/TC 108/WG 33	Human response to vibration - Measuring instrumentation	Working group
ISO/TC 108/WG 34	Calibration of vibration and shock transducers	Working group

https://www.iso.org/committee/51402.html

ساختار زیر کمیته TC 108 / SC 2

ISO/TC 108

ISO/TC 108/SC 2

Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures

56	11	22	17
PUBLISHED ISO STANDARDS under the direct responsibility of ISO/TC 108/SC 2	ISO STANDARDS UNDER DEVELOPMENT under the direct responsibility of ISO/TC 108/SC 2	PARTICIPATING MEMBERS	OBSERVING MEMBERS

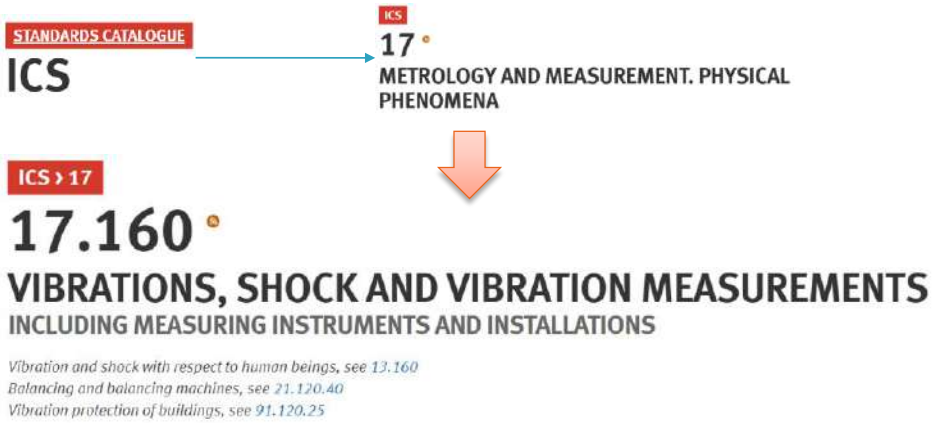
- گروه های کاری مرتبط با این زیر کمته عبارتند از:

REFERENCE	TITLE	TYPE
ISO/TC 108/SC 2/WG 1	Rotordynamics and vibration of machines	Working group
ISO/TC 108/SC 2/WG 7	Vibration of machines with active magnetic bearings	Working group
ISO/TC 108/SC 2/WG 8	Ground-borne noise and vibration from rail systems	Working group
ISO/TC 108/SC 2/WG 10	Basic techniques for vibration diagnostics	Working group
ISO/TC 108/SC 2/WG 31	Balancing	Working group

https://www.iso.org/committee/51472.html

کاتالوگ استاندارد ISO: ICS

- کلیه ۲۴۱۰۴ استاندارد منتشر شده توسط ایزو در کاتالوگ استاندارد ICS قرار داده شده است. دسته بندی مرتبط با پایش و ارزیابی لرزش ماشین ها را میتوان در دسته بندی زیر جستجو کرد:

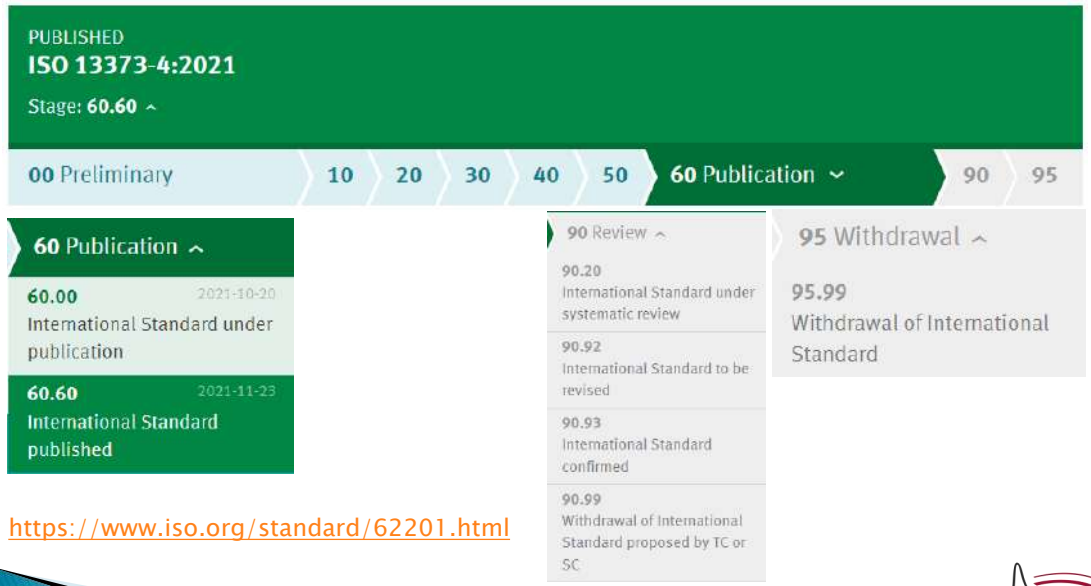


ساختار عمر استاندارد ISO

- در سازمان ایزو عمر یک استاندارد بصورت مراحل زیر تعریف شده است:

ساختار عمر استاندارد ISO

- ادامه:



https://www.iso.org/standard/62201.html

استاندارد های ایزو مرتبط با پایش لرزش(۱)

ایزو استانداردهای مفصلی در رابطه به چگونگی پایش وضعیت و از جمله پایش لرزش ماشین های دوار منتشر کرده و همچنان در حال توسعه استانداردهای بیشتری است. برای درک بهتر و دسته بندی این استاندارد شناخت فرآیند کلی پایش وضعیت سودمند خواهد بود.

فرآیند کامل پایش وضعیت ماشین از پنج مرحله مجزا تشکیل شده است:

- آشکار سازی اشکالات (انحراف از شرایط عادی)؛
- تشخیص عیوب و علل آنها.
- پیش بینی پیشرفت خرابی های آینده؛
- توصیه اقدامات اصلاحی؛
- معاینات پس از مرگ!

استاندارد های ایزو مرتبط با پایش لرزش(۲)

بطور کلی در پایش وضعیت چند مرحله قابل تریف است که برای هر کدام استاندارد های متعددی ارائه شده است:

ر	مرحله پایش	استاندارد	عنوان استاندارد
۱	مشخصات اندازه گیری لرزش	ISO 2954	Requirements for instruments for measuring vibration severity تعیین الزامات ضروری ابزار اندازه گیری شدت ارتعاش: فرکانس و rms
۲	کالیبراسیون پیک آپ ها	ISO 5347	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups Part 0 to 22 ارائه روشها ی مختلف برای کالیبره کردن سنسورهای شوک و لرزش
۳	نصب شتاب سنج	ISO 5348	Mechanical mounting of accelerometers مشخصات انواع نصب شتاب سنج وتاثیر آنها بر پاسخ فرکانسی
۴	ویژگی های پیک آپ	ISO 8042	Characteristics to be specified for seismic pick-ups تعیین قواعد برای بیان خواص مهم پیک آپ های الکترومکانیکی شوک و لرزش و خروجی‌های الکتریکی آن‌ها و..

استاندارد های ایزو مرتبط با پایش لرزش(۳)

ر	مرحله پایش	استاندارد	عنوان استاندارد
۵	کالیبراسیون سنسورهای شوک و لرزش	ISO 16063 1:4	Methods for the calibration of vibration and shock transducers
۶	پردازش سیگنال	ISO 18431 1:4	Mechanical vibration and shock — Signal processing
۷	انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش	ISO 19201	Mechanical vibration — Methodology for selecting appropriate machinery vibration standards
۸	تعاریف پایش وضعیت	ISO 13372	Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary
۹	راهنمای عمومی پایش	ISO 17359	Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines
۱۰	فرآیند پایش لرزش	ISO 13373 1 : 10	Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring
۱۱	ارزیابی ارتعاش	ISO 10816 ISO 7919 ISO 20816	Measurement and evaluation of machine vibration

استاندارد های ایزو مرتبط با پایش لرزش(۴)

ر	مرحله پایش	استاندارد	عنوان استاندارد
۱۲	گزارشات پایش وضعیت	ISO 13374 1: 4	Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation
۱۳	فرآیند تشخیص عیب در پایش وضعیت	ISO 13379 1:2	Condition monitoring and diagnostics of machines — Data interpretation and diagnostics techniques
۱۴	پیش بینی عیوب در پایش وضیت	ISO 13381	Condition monitoring and diagnostics of machines — Prognostics
۱۵	پایش فرآیند	ISO 18129	Condition monitoring and diagnostics of machines — Approaches for performance diagnosis
۱۶	آنالیز جریان	ISO 20958	Condition monitoring and diagnostics of machine systems — Electrical signature analysis of three-phase induction motors
۱۷	ارزیابی پرسنل پایش وضعیت ارتعاشی	ISO 18436-2	Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics

سایر استاندارد های ایزو مرتبط با پایش

ر	موضوع	استاندارد	عنوان استاندارد
۱	اندازه گیری لرزش بلبرینگ ها	ISO 15242 1:4	Rolling bearings — Measuring methods for vibration
۲	انواع خرابی بلبرینگ ها	ISO 15243	Rolling bearings — Damage and failures — Terms, characteristics and causes
۳	پایش سازه ها	ISO 16587	Mechanical vibration and shock — Performance parameters for condition monitoring of structures
۴	اندازه گیری لرزش تکیه گاه پایه های ماشین	ISO 18312 1:2	Mechanical vibration and shock — Measurement of vibration power flow from machines into connected support structures
۵	ترموگرافی	ISO/DIS 18434-	Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography
۶	آکوستیک امیشن	22096	Condition monitoring and diagnostics of machines — Acoustic emission
۷	آلتراسونیک	ISO 29821	Condition monitoring and diagnostics of machines — Ultrasound

استاندارد های ایزو مرتبط با تعیین حدود ارتعاشی (۱)

STANDARD AND/OR PROJECT (6)	STAGE	TC
ISO 10816-3:2009 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ	90.92	ISO/TC 108/SC 2
ISO 10816-3:2009/AMD 1:2017 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ — Amendment 1	60.60	ISO/TC 108/SC 2
ISO 10816-6:1995 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW	90.93	ISO/TC 108/SC 2
ISO 10816-6:1995/AMD 1:2015 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW — Amendment 1	60.60	ISO/TC 108/SC 2
ISO 10816-7:2009 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts	90.93	ISO/TC 108/SC 2
ISO 10816-21:2015 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 21: Horizontal axis wind turbines with gearbox	90.93	ISO/TC 108/SC 2

استاندارد های ایزو مرتبط با تعیین حدود ارتعاشی (۲)

STANDARD AND/OR PROJECT (2)	STAGE	TC
ISO 7919-3:2009 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 3: Coupled industrial machines	90.92	ISO/TC 108/SC 2
ISO 7919-3:2009/AMD 1:2017 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 3: Coupled industrial machines — Amendment 1	60.60	ISO/TC 108/SC 2

- استاندارد اولیه ISO برای ارزیابی دامنه ارتعاش:
  - اندازه گیری های روی بدنه ISO 10816
  - اندازه گیری های شافت: ISO 7919

ISO 20816

استاندارد های ایزو مرتبط با تعیین حدود ارتعاشی(۳)

STANDARD AND/OR PROJECT (7)	STAGE	TC
ISO 20816-1:2016 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 1: General guidelines	90.93	ISO/TC 108/SC 2
ISO 20816-2:2017 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 2: Land-based gas turbines, steam turbines and generators in excess of 40 MW, with fluid-film bearings and rated speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min	60.60	ISO/TC 108/SC 2
ISO/DIS 20816-3 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 3: Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 min-1 and 30 000 min-1	40.60	ISO/TC 108/SC 2
ISO 20816-4:2018 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 4: Gas turbines in excess of 3 MW, with fluid-film bearings	60.60	ISO/TC 108/SC 2
ISO 20816-5:2018 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants	60.60	ISO/TC 108/SC 2
ISO 20816-8:2018 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 8: Reciprocating compressor systems	60.60	ISO/TC 108/SC 2
ISO 20816-9:2020 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration — Part 9: Gear units	60.60	ISO/TC 108/SC 2

سایر استاندارد های ایزو مرتبط با تعیین حدود ارتعاشی(۱)

STANDARD AND/OR PROJECT (6)	STAGE	TC
ISO 2372:1974 WITHDRAWN Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s — Basis for specifying evaluation standards	95.99	ISO/TC 108/SC 2
ISO 8528-9:2017 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets — Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations	60.60	ISO/TC 70
ISO 8579-2:1993 WITHDRAWN Acceptance code for gears — Part 2: Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing	95.99	ISO/TC 60
ISO 13372:2012 Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary	90.93	ISO/TC 108/SC 5
ISO 14694:2003/AMD 1:2010 Industrial fans — Specifications for balance quality and vibration levels — Amendment 1	60.60	ISO/TC 117
ISO 14695:2003 Industrial fans — Method of measurement of fan vibration	90.93	ISO/TC 117

سایر استاندارد های ایزو مرتبط با تعیین حدود ارتعاشی(۲)

STANDARD AND/OR PROJECT (7)	STAGE	TC
ISO 14839-2:2004 Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 2: Evaluation of vibration	90.93	ISO/TC 108/SC 2
ISO 15242-1:2015 Rolling bearings — Measuring methods for vibration — Part 1: Fundamentals	90.93	ISO/TC 4
ISO 20283-5:2016 Mechanical vibration — Measurement of vibration on ships — Part 5: Guidelines for measurement, evaluation and reporting of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships	90.93	ISO/TC 108/SC 2
ISO 22266-1:2009 Mechanical vibration — Torsional vibration of rotating machinery — Part 1: Land-based steam and gas turbine generator sets in excess of 50 MW	90.92	ISO/TC 108/SC 2

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

TECHNICAL REPORT

PD ISO/TR 19201:2013

ISO/TR 19201

First edition
2013-06-01

Mechanical vibration — Methodology for selecting appropriate machinery vibration standards

Vibrations mécaniques — Méthodologie pour la sélection des normes appropriées relatives aux vibrations des machines

هدف این گزارش فنی ایجاد راهنمایی برای انتخاب اندازه گیری های بدنی یا اندازه گیری های شافت برای ماشین ها است.
در صورتی که تجربه قبلی وجود نداشته باشد می توان از تحلیل هایی که در این گزارش آورده شده استفاده نمود و مشخص نمود که از کدام یا هردو روش اندازه گیری استفاده شود.
البته در ماشین های خاص ممکن است انتخاب دیگری سوای این پیشنهاد تعیین شده باشد و سازنده آن ماشین آنرا ترجیح داده است.
برای جزئیات بیشتر باید به استاندارد های مرتبط مراجعه نمود. در اینجا فقط کلیات ارائه شده است.

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

در ارزیابی لرزش، ماشین ها را می توان به چهار دسته زیر تقسیم بندی نمود

- ماشین های رفت و برگشتی که هر دو اجزاء دوار و رفت و برگشتی دارند.
  - مانند دیزل ها و بعضی کمپرسورها و پمپ ها
  - ارتعاش معمولا روی بدنه ماشین در باند فرکانسی پایین 2~1000Hz اندازه گیری می شود.
- ماشین های دوار با روتورهای صلب
  - مانند الکتروموتورها، پمپ های تک مرحله ای و پمپ های دور پایین
  - ارتعاش معمولا روی بدنه ماشین در محل یاتاقان ها یا پایه یاتاقان اندازه گیری می شود.
- ماشین های دوار با روتورهای انعطاف پذیر
  - مانند توربین های گازی و بخار بزرگ، پمپ ها و کمپرسورهای چند مرحله ای.
  - در این ماشین ها ممکن است ارتعاش بدنه به تنهایی نتواند نشان دهنده لرزش روتور نیز باشد.
  - لازم است ارتعاش شافت مستقیما اندازه گیری شود.
- ماشین های دوار با روتورهای با رفتار شبه انعطاف پذیر
  - مانند برخی توربین های بخار، کمپرسورهای جریان محوری و فن ها.
  - این ماشین ها نوع خاصی از روتورهای انعطاف پذیر را دارند که لرزش شافت را می توانند روی بدنه ماشین نیز نشان دهند.

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

دسته بندی شدت لرزش ماشین

- حرکت ارتعاشی (جابجایی، سرعت و شتاب) بر اساس استاندارد انتخابی، محدده فرکانسی و فاکتورهای دیگر بعنوان شدت ارتعاش یک ماشین قابل انتخاب است.
- معمول ترین انتخاب سرعت لرزشی در محدوده 10~1000 Hz است.
- در فرکانس های پایین انتخاب جابجایی بعنوان شدت لرزش ترجیح داده می شود.
- در فرکانس های بالا انتخاب شتاب بعنوان شدت لرزش ترجیح داده می شود.

- برای یک ارتعاش تک هارمونیک استفاده از rms و Peak تفاوتی ندارد.
- در ماشین هایی که در محدوده سرعت 600~12000 rpm کار می کنند پارامتر rms که روی بدنه ماشین روی یاتاقان اندازه گیری شده نزدیک ترین مقدار به شدت لرزش را ارائه می دهد.

امروزه:

بیشترین دامنه ارتعاشی که روی بدنه ماشین اندازه گیری می شود سوای اینکه جابجایی، سرعت یا شتاب باشد بعنوان شدت لرزش تعیین می شود.

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

فرآیند و تجهیزات اندازه گیری در استانداردهای زیر شرح داده شده است:

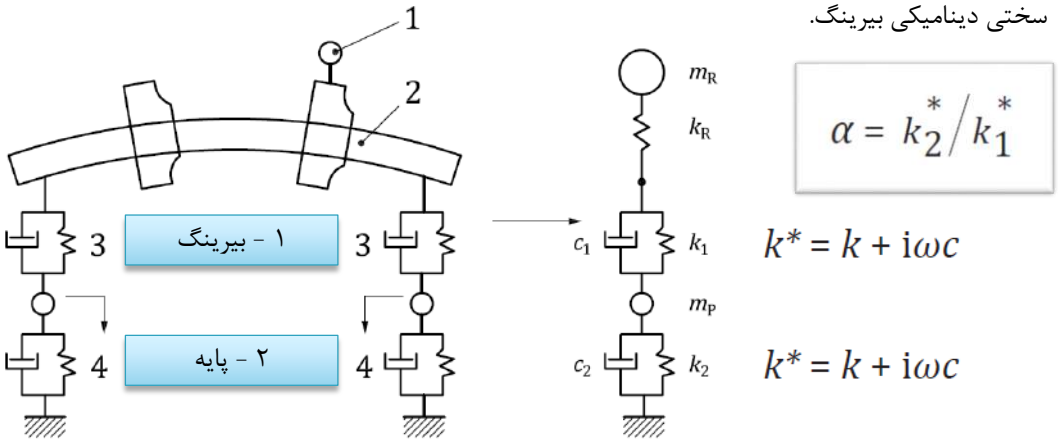
- ISO 2954:
  - مشخصات تجهیزات اندازه گیری لرزش بدنه.
- ISO 5348:
  - توصیه هایی برای نصب شتاب سنج به بدنه که عمدتا برای پیک آپ سرعت هم قابل استفاده است.
- ISO 10817-1:
  - حسگر (مبدل)
  - بهسازی سیگنال
  - روشهای نصب و کالیبراسیون تجهیزات اندازه گیری شافت.

پارامتر های اندازه گیری در استانداردها:
ارتعاشی شافت نسبت به بدنه، ارتعاش مطلق شافت و ارتعاش مطلق بدنه

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

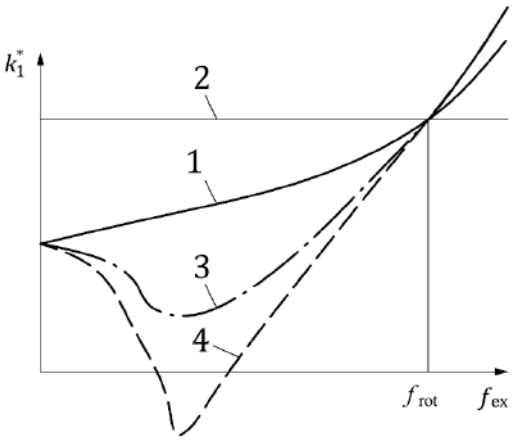
روشی تحلیلی برای انتخاب نوع اندازه گیری شافت یا بدنه

- استاندارد ۱۹۲۰۱ روشی تحلیلی مبتنی بر رفتار دینامیکی یک ماشین ارائه کرده است. در این تحلیل از نسبت سختی دینامیکی α استفاده شده است که عبارت است از نسبت سختی دینامیکی پایه (Pedestal) به سختی دینامیکی بیرینگ.



انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

رفتار سختی دینامیکی بیرینگ های مختلف

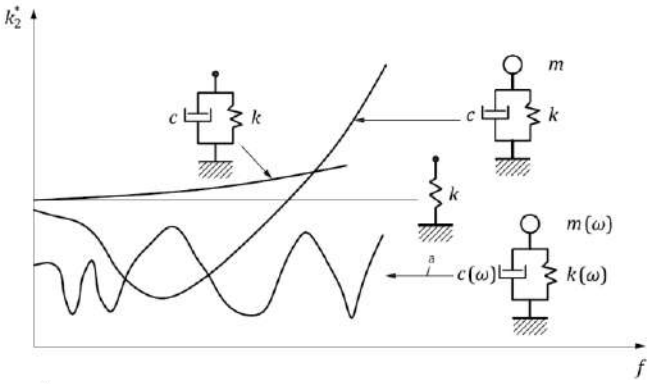


1 tilting pad bearing
2 rolling element bearing
3 stable sleeve bearing
4 unstable sleeve bearing

- بلبرینگ:
  سختی بالا وابسته به بار وتقریبا مستقل از سرعت چرخشی و فرکانس تحریک با میرایی کم.
- بیرینگ تیلتیگ پد:
  مشخصه ساده ای وابسته به بار و سرعت دارد. تابعی از فرکانس تحریک است. پایدار است و ضرفیت میرایی خوبی دارد.
- بیرینگ ژرنال:
  - مشخصه پیچیده خاصی دارد. وابستگی به بار و سرعت آن شبیه به بیرینگ تیلتینگ پد است. در محدوده سرعت چرخشی خاص همچون ناحیه ناپایداری این پیچیدگی بیشترین مقدار را دارد. اگر تحریک نصف سرعت چرخشی باشد سختی دینامیکی بسیار پایین می آید.

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

رفتار سختی دینامیکی پایه



k_2^* dynamic stiffness of pedestal (logarithmic representation of the modulus)

f frequency ($\omega = 2\pi f$)

a Frequency-dependent characteristics.

- ساده ترین مدل، مدل سختی و میرایی است.
- عمومی ترین پایه ها رفتار مدل جرم، سختی و میرایی را دارند.
- پایه های با سختی پیچیده، مشخصه های بسیار پیچیده وابسته به فرکانس دارند که باعث می شوند فرکانس های طبیعی و شکل مودهای متعددی بوجود آید.

- در فرکانس های طبیعی پایه، لرزش بالایی مشاهده می شود، در صورتی که ممکن است ارتعاش نسبی شافت پایین باشد.

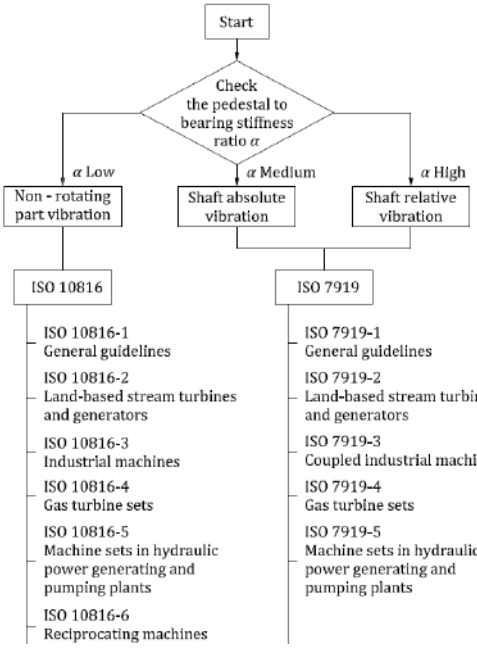
انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

نمونه ای از سختی دینامیکی یاتاقان و پایه برای ماشین های مختلف

Table C.1 — Examples of dynamic stiffness values for pedestals and bearings

Machine type	Pedestal stiffness N/mm	Bearing stiffness N/mm	Pedestal to bearing stiffness ratio, α
High-pressure steam turbine	3,4E+06	4,7E+05	7,4
Low-pressure steam turbine	5,1E+06	1,7E+06	3
	3,2E+06	1,8E+06	1,8
Generator 100 MW	2,5E+06	4,2E+06	0,6
Gas turbine generator	8,3E+04	2,5E+05	0,3
Large gas turbine	1,4E+05	4,3E+05	0,3
	2,0E+05	8,9E+04	2,3

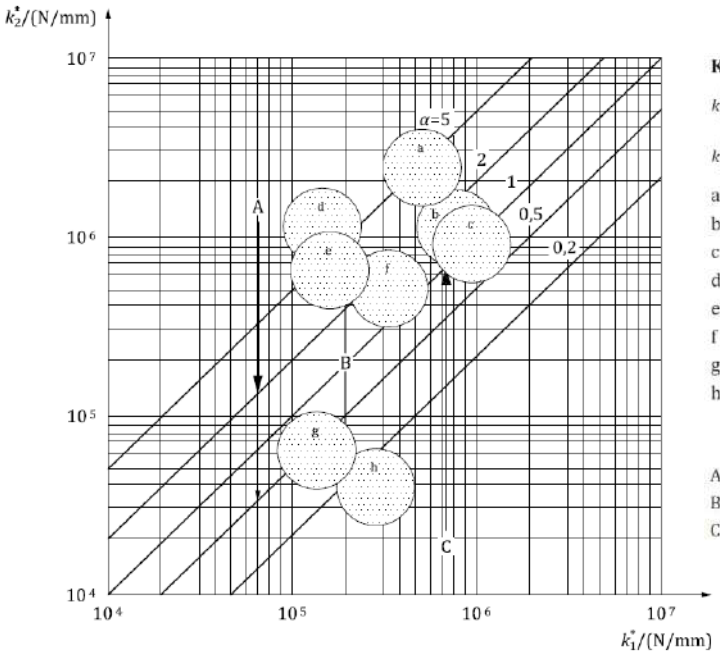
انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201



انتخاب روش اندازه گیری بعد از تعیین α

Machine	Pedestal to bearing stiffness ratio, α
High-pressure turbine	4
Low-pressure turbine	2
Large generator	1,5
High-pressure centrifugal compressor	5
Large fan	0,67
Small fan and pump	0,33
Vertical pump	0,10
Large gas turbine	1,0

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201



Key

k_2^*	dynamic stiffness of pedestal (modulus)
k_1^*	dynamic stiffness of bearing (modulus)
a	high-pressure turbine
b	large generator
c	low-pressure turbine
d	high-pressure centrifugal compressor
e	moderate-pressure centrifugal compressor
f	large fan
g	small fan and pump
h	vertical pump
A	range for shaft relative vibration measurements
B	range for shaft absolute vibration measurements
C	range for pedestal vibration measurements

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

Table E.1 — International machinery vibration standards shown by application area

International Standard	Title	Vibration application area					
		Overview, procedure	Casing vibration	Shaft vibration	Rotating machines	Reciprocating machines	Training
ISO 2954:2012	*Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity*		√				
ISO 3046-5:2001	*Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 5: Torsional vibrations*					√	
ISO 7919-1:1996	*Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation criteria — Part 1: General guidelines*	√		√	√		
ISO 7919-2:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min*			√	√		
ISO 7919-3:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 3: Coupled industrial machines*			√	√		
ISO 7919-4:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 4: Gas turbine sets with fluid-film bearings*			√	√		
ISO 7919-5:2005	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on rotating shafts — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants*			√	√		
ISO 8528-9:1995	*Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets — Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations*		√			√	
ISO 10816-1:1995 + Amd.1:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines*	√	√		√		
ISO 10816-2:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with normal operating speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min*		√		√		
ISO 10816-3:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*		√		√		

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

Table E.1 *(continued)*

International Standard	Title	Vibration application area					
		Overview, procedure	Casing vibration	Shaft vibration	Rotating machines	Reciprocating machines	Training
ISO 10816-4:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 4: Gas turbine sets with fluid-film bearings*		√		√		
ISO 10816-5:2000	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants*		√		√		
ISO 10816-6:1995	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW*		√			√	
ISO 10816-7:2009	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts*		√	√	√		
ISO 10816-8:—[a]	*Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 8: Reciprocating compressor systems*		√			√	
ISO 10817-1:1998	*Rotating shaft vibration measuring systems — Part 1: Relative and absolute sensing of radial vibration*			√			
ISO 13373-1:2002	*Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures*	√	√	√	√		
ISO 13373-2:2005	*Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data*	√					
ISO 13373-3:—[b]	*Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 3: Guidelines for vibration diagnosis*	√					
ISO 14694:2003	*Industrial fans — Specifications for balance quality and vibration levels*		√		√		
ISO 14695:2003	*Industrial fans — Method of measurement of fan vibration*		√		√		
ISO 14839-1:2002	*Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 1: Vocabulary*				√		
ISO 14839-2:2004	*Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 2: Evaluation of vibration*				√		

انتخاب استاندارد مناسب ارزیابی لرزش ISO/TR 19201

Table E.1 *(continued)*

International Standard	Title	Vibration application area					
		Overview, procedure	Casing vibration	Shaft vibration	Rotating machines	Reciprocating machines	Training
ISO 14839-3:2006	*Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 3: Evaluation of stability margin*				√		
ISO 14839-4:2012	*Mechanical vibration — Vibration of rotating machinery equipped with active magnetic bearings — Part 4: Technical guidelines*				√		
ISO 18436-2:—[c]	*Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 2: Vibration condition monitoring and diagnostics*						√
ISO 20283-4:2012	*Mechanical vibration — Measurement of vibration on ships — Part 4: Measurement and evaluation of vibration of the ship propulsion machinery*				√	√	
ISO 22266-1:2009	*Mechanical vibration — Torsional vibration of rotating machinery — Part 1: Land-based steam and gas turbine generator sets in excess of 50 MW*				√		
IEC 60034-14:2003 + Amd.1:2007	*Rotating electrical machines — Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher — Measurement, evaluation and limits of vibration severity*		√	√	√		

[a] To be published.

[b] Planned.

[c] To be published. (Revision of ISO 18436-2:2003)

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

INTERNATIONAL STANDARD

BS ISO 20816-1:2016
ISO 20816-1

First edition
2016-11-15

Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration —

Part 1:
General guidelines

Vibrations mécaniques — Mesurage et évaluation des vibrations de machines —

Partie 1: Lignes directrices générales

- جایگزینی برای استانداردهای قبلی ISO 10816 و ISO 7919.
- برای اینکه ماشین ها بتوانند حداقل ۲ تا ۳ سال کار مداوم بدون توقف و ایمن داشته باشند لازم است دامنه های لرزشی محدود تری داشته باشند.
- این استاندارد هر دو لرزش شافت و بدنه را در نظر می گیرد. زیرا ممکن است در برخی ماشین ها اندازه گیری های لرزش بدنی نتواند به تنهایی وضعیت ماشین را نشان دهد.
- لرزش سنجی می تواند برای پایش وضعیت روتین، تست های پذیرش، تست های آزمایشی، و همچنین اندازه گیری های عیب یابی مورد استفاده قرار گیرد. از این رو برای جلوگیری از گستردگی بیش از حد، این استاندارد تنها برای اندازه گیری های پایش وضعیت عملیاتی و تست های پذیرش طراحی شده است.
- در این استاندارد هر سه پارامتر جابجایی، سرعت و شتاب در نظر گرفته شده است.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

اهداف

- راهنمای لرزش سنجی اجزا چرخشی، غیر چرخشی و غیر رفت و برگشتی
- اندازه گیری لرزش شعاعی نسبی و مطلق شافت بدون در نظر گرفتن لرش محوری شافت.
- معیار ارزیابی مطلق و نسبی برای هر دو هدف پایش وضعیت و تست پذیرش.
- مقادیر حدود لرزش در قسمت های بعدی این استاندارد برای ماشین های مختلف ارائه شده است.
- لرزش سنجی تحت شرایط کار نرمال ماشین مد نظر این استاندارد است.
- لرزش مورد نظر این استاندارد لرزش خود ماشین است نه لرزشی که از جای دیگری به ماشین منتقل شده است.
- لرزش پیچشی مد نظر این استاندارد نیست. برای این موارد به ISO 3046-5 ، ISO 22255-1 یا VDI 2039 مراجعه شود.

مراجع الزامی

ISO 2954, *Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity*

ISO 5348, *Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers*

ISO 10817-1, *Rotating shaft vibration measuring systems — Part 1: Relative and absolute sensing of radial vibration*

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

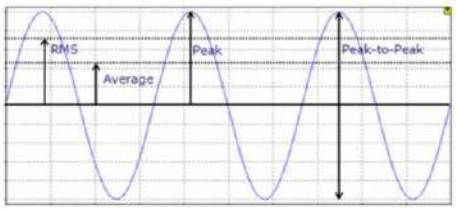
۴- اندازه گیری ها

- لرزش بدنی و شافت یا هردو. لرزش های حفاظتی باید بر اساس توصیه سازنده انتخاب شود.
- محدوده فرکانسی باید باند وسیع باشد. به نوع ماشین بستگی دارد. ماشین های بلبرینگی محدوده وسیع تری نسبت به ماشین های ژرنال بیرینگی دارند. بنابراین باید به بخش مربوطه از این استاندارد مراجعه شود. در گذشته از محدوده فرکانسی 10~1000 Hz برای تست های پذیرش استفاده می شده اما برای کاربردهای پایش وضعیت ممکن است به محدوده وسیع تری نیاز باشد. به ISO 13373 مراجعه شود. حتی برای تست پذیرش جعبه دنده ها و ماشین های بلبرینگی نیز بهتر است از محدوده وسیع تری استفاده شود.
- انواع اندازه گیری
  - اندازه گیری لرزش روی بدنه با نصب شتاب سنج یا پیک آپ سرعت روی محل یاتاقان ها
  - اندازه گیری نسبی شافت با نصب سنسورهای پروکسی روی یاتاقان و در مقابل شافت.
  - اندازه گیری مطلق شافت
    - به روش سنسور سوار بر شافت که از پیک آپ سرعت یا شتاب سنج استفاده می کند.
    - با نصب سنسور بدنی و نسبی شافت در یک نقطه و جمع لرزش آنها با یکدیگر. به زاویه نصب توجه شود.

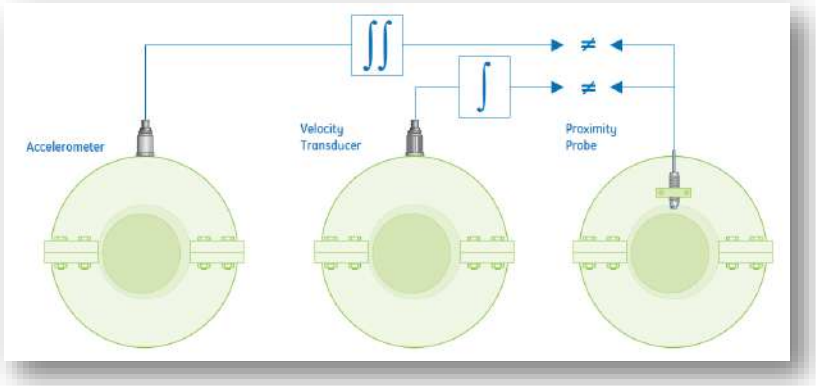
استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)



- پارامتر اندازه گیری
  - جابجایی لرزشی - میکرومتر (میکرون) p-p µm
  - سرعت لرزشی - میلیمتر بر ثانیه rms mm/s
  - شتاب لرزشی - متر بر مجذور ثانیه rms m/s^2



استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)

- اندازه گیری های بدنه

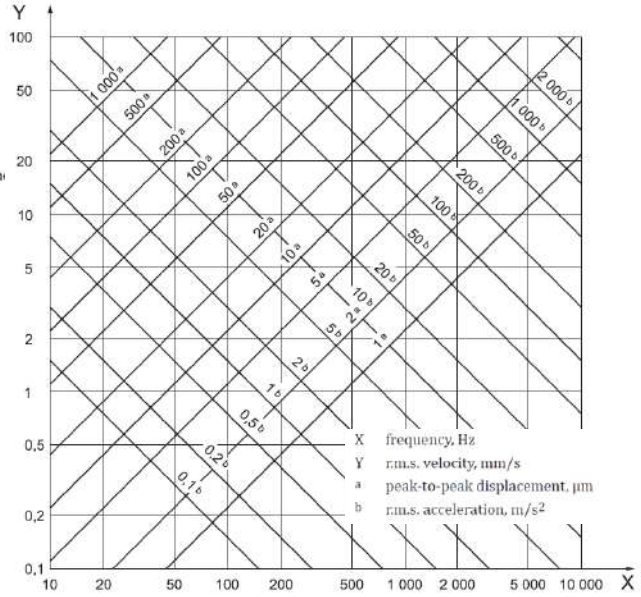
$$v_{\mathrm{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,\mathrm{d}t}$$

$v(t)$ is the time-dependent vibration velocity;

T is the sampling time which is longer than the period of any of the nents of which $v(t)$ is composed.

$$v_{\mathrm{rms}} = 10^{-3}\sqrt{\frac{1}{2}\left[(s_1 f_1)^2 + (s_2 f_2)^2 + \ldots + (s_n f_n)^2\right]}$$
$$= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \ldots + v_n^2}$$
$$= \frac{10^3}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{a_1}{f_1}\right)^2 + \left(\frac{a_2}{f_2}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{a_n}{f_n}\right)^2}$$

$$s_i = \frac{10^3\sqrt{2}\,v_i}{\pi f_i} \approx \frac{450\,v_i}{f_i}$$



استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)

- اندازه گیری های شافت

$$S_{(p-p)max} = \sqrt{S^2_{A(p-p)} + S^2_{B(p-p)}}$$

maximum error of approximately 40 %.

$$S_{(p-p)max} = S_{A(p-p)} \text{ or } S_{B(p-p)}$$

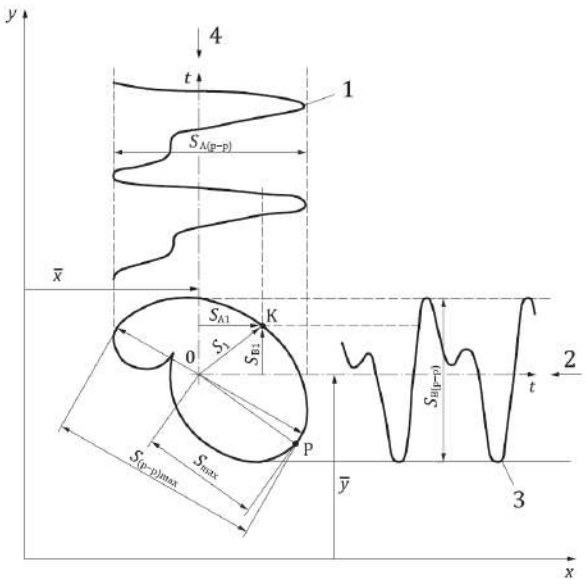
whichever is greater.

maximum error of approximately 30 %.

$$S_{max} = \left[S_1(t)\right]_{max} = \left[\sqrt{S^2_{A1}(t) + S^2_{B1}(t)}\right]_{max}$$

$$S_{(p-p)max} = 2\,S_{max}$$

over-estimates



استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)

- دامنه لرزش
  - سنسورهای بدنی: عموما از سرعت rms برای ارزیابی دامنه لرزش استفاده می شود زیرا مرتبط با انرژی لرزشی است. در مواردی نیز ممکن است نیاز به اندازه گیری جابجایی یا شتاب باشد و در این صورت لازم است معیارهایی برای ارزیابی این دو پارامتر نیز وجود داشته باشد.
  - سنسور های پروکسی از جابجایی p-p استفاده می کنند.
- شدت لرزش

معمولا بیشترین دامنه لرزش باند وسیع که در یک ماشین تحت شرایط کاری و روی فونداسیون خودش اندازه گیری می شود تحت عنوان شدت لرزش تعیین می شود.
در اغلب ماشین ها همین یک اندازه گیری وضعیت کل ماشین را تعیین می کند. ممکن است در بعضی ماشین ها نیاز باشد نقطه به نقطه در رابطه با ندازه گیری شدت لرزش تصمیم گیری شود.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)

- موقعیت اندازه گیری های بدنی
  - بیرینگ، بدنه بیرینگ یا سازه های دیگری که بتواند به نحو موثری نسبت به انتقال نیروهای دینامیکی اجزاء دوار به بدنه عکس العمل داشته باشد و بتواند تعیین کننده ارتعاش کل ماشین باشد.
  - برای ارزیابی لرزش در هر نقطه باید در سه جهت متعامد اندازه گیری انجام شود.
  - در تست های پذیرش اندازه گیری های کامل در سه جهت انجام می شود مانند نقاط و جهت هایی که در تصاویر نمونه زیر نمایش داده شده است.
  - اما در پایش وضعیت معمولا یک یا دو اندازه گیری شعاعی (معمولا افقی و یا عمودی) در هر نقطه انجام می شود. اندازه گیری محوری را نیز می توان به آن افزود اما فقط در سمت تراست قابل ارزیابی است.

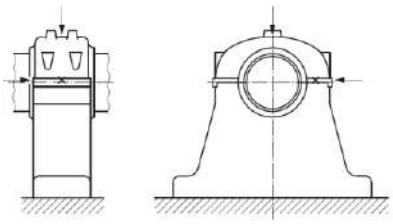


Figure 1 — Measuring points for pedestal bearings

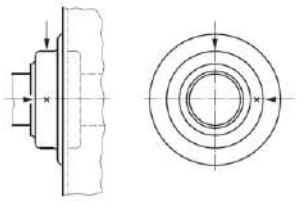


Figure 2 — Measuring points for housing-type bearings

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)

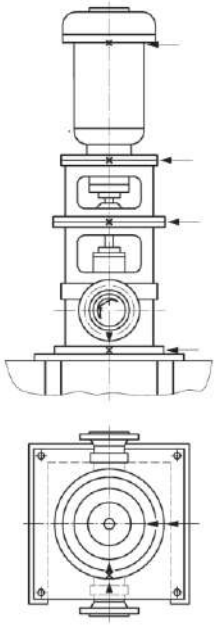


Figure 5 — Measuring points for vertical machine sets

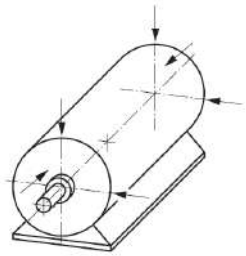


Figure 3 — Measuring points for small electrical machines

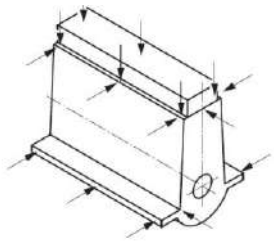


Figure 4 — Measuring points for reciprocating engines close to the bearing locations

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه) موقعیت اندازه گیری های نسبی شافت

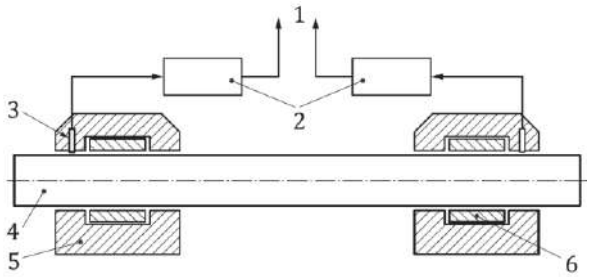
- پیشنهاد می شود نزدیک ترین نقطه به بیرینگ نصب شود.
- دو سنسور در یک نیمه یاتاقان و عمود بر محور شافت (حداکثر ۵ درجه خطا) و با اختلاف 90±5 زاویه نصب شوند.
- می توان یک سنسور نصب کرد به شرطی که اطلاعات لازم را فراهم سازد.
- پیشنهاد می شود از اندازه گیری های اصلاحی برای تعیین میزان خطای خارج از مرکزی غیر لرزشی استفاده شود. خطاها می تواند ناشی از ناهمگنی متالوژیکی شافت، مغناطیس باقیمانده در شافت و خارج از مرکزی مکانیکی باشد. شایان ذکر است روتورهای با شافت غیر ایزوتروپیک مثلا ژنراتورهای دو قطبی اثر جاذبه می تواند باعث خطای خارج از مرکزی شود.
- معمولا در یاتاقان محل هایی برای نصب این سنسورها ماشین کاری شده است. در غیر اینصورت می توان از نصب براکت هایی مجاور یاتاقان استفاده کرد. در اینصورت براکت ها نباید رزنانس داشته باشد.
- حرکت محوری شافت در اثر انبساط نباید باعث شود عواملی مانند جای کلید یا رزوه وارد ناحیه نصب سنسور شود.
- اگر شافت آبکاری شده باشد کالیبراسیون حساسیت سنسور ممکن است متفاوت باشد.
- جمع خارج از مرکزی مکانیکی و الکتریکی نباید از ۲۵ درصد مقدار جابجایی مجاز بیشتر شود. حداکثر ۶ میکرون.
- برای ماشین هایی که قبلا سنسور نصب شده باشد و نتوان شرایط مذکور را لحاظ کرد باید معیار دیگری برای خارج از مرکزی مجاز انتخاب کرد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

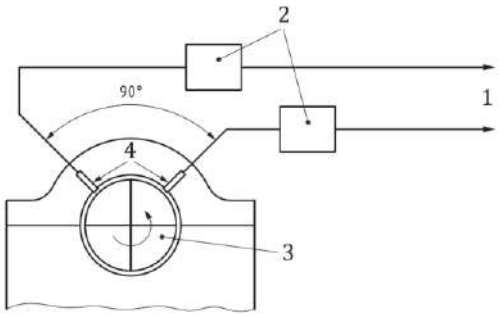
۴- اندازه گیری ها (ادامه)

موقعیت اندازه گیری های نسبی شافت



Key

1 to signal processing
2 signal conditioning units
3 non-contacting transducers
4 shaft
5 bearing housings
6 bearings



Key

1 to signal processing
2 signal conditioning units
3 shaft
4 non-contacting transducers

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه) موقعیت اندازه گیری های مطلق شافت

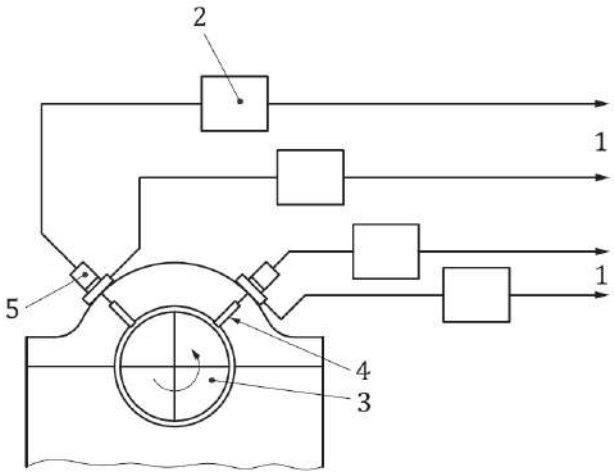
- برای اندازه گیری لرزش مطلق شافت می توان از ترکیب دو سنسور بدنی یاتاقان و نسبی شافت استفاد کرد. در این صورت لرزش مطلق شافت به روش زیر بدست خواهد آمد:
  - انتگرال گیری از سنسور شتاب سنج و یا پیک آپ سرعت برای بدست آوردن جابجایی و
  - جمع برداری دو سیگنال بدست آمده از دو سنسور
- بسیار مهم است که موقعیت زاویه هر دو سنسور بدنی و پروکسی یکسان باشد.
- سنسور بدنی باید محکم در مجاور سنسور پروکسی نصب شده باشد تا هر دو سنسور تحت تاثیر یکسانی از لرزش مطلق بدنه در جهت اندازه گیری قرار گیرند.
- دو سنسور بدنی و پروکسی باید کاملا موازی باشند.
- شرایط نصب مناسب سنسورهای بدنی در ISO 5348 شرح داده شده است.

- در گذشته لرزش مطلق شافت با استفاده از مکانیزم های سوار بر شافت واستفاده از سنسورهای بدنی انجام می گرفت.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه) موقعیت اندازه گیری های مطلق شافت



Key

1 to signal processing
2 signal conditioning units
3 shaft
4 non-contacting transducers
5 seismic transducers

Figure 8 — Mounting of non-contacting and seismic probes for the measurement of shaft absolute vibration

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)

سازه تکیه گاه ماشین در اندازه گیری های پذیرش

- معیارهای پذیرش باید مورد توافق سازنده و خریدار قرار گیرد.
- در صورتی که تست در محل انجام شود، نصب ماشین باید در موقعیت نصب کامل فونداسیون اصلی و اتصالات کامل صورت پذیرد. در صورت استفاده از فونداسیون یا شاسی جداگانه برای تست، این فونداسیون و شاسی باید دارای خصوصیات دینامیکی مشابهی با فونداسیون وشاسی اصلی داشته باشد.
- به دلایل اقتصادی یا موارد دیگر برخی ماشین ها هستند که تست پذیرش آنها روی میز تستی که مشخصه های متفاوتی نسبت به فونداسیون اصلی ماشین دارد انجام می شود. در این صورت باید توجه داشت فرکانس های طبیعی مجموعه منطبق با سرعت کاری ماشین یا هارمونیک های اصلی آن نباشد. معمولا وقتی ارتعاش در پایه ماشین یا میز کمتر از ۵۰ درصد ارتعاش محل بیرینگ (در همان جهت) باشد مشکلی وجود ندارد. در غیر اینصورت تست باید در محل نصب ماشین صورت پذیرد.
- در تست بعضی ماشین ها (مثلا ماشین های الکتریکی کوچک) از یک میز معلق استفاده می شود در این صورت فرکانس طبیعی مودهای صلب باید زیر ۵۰ درصد پایین ترین فرکانس نیروهای تحریک باشد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۴- اندازه گیری ها (ادامه)

- **شرایط کاری ماشین**

اندازه گیری های شافت باید تحت شرایط پایدار کاری ماشین انجام گیرد. سرعت، بار، حرارت، فرآیند

- **انتقال لرزش از مکان های دیگر**

در صورت رسیدن دامنه لرزش به مقادیر حدی، لازم است لرزش ماشین هنگام توقف نیز اندازه گیری شود تا از عدم انتقال ارتعاش از محیط مجاور اطمینان حاصل شود. اگر لرزش در این حالت به یک سوم لرزش حدود تعیین شده برسد باید اقداماتی جهت اصلاح شرایط انتقال لرزش انجام گیرد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۵- تجهیزات اندازه گیری

- تجهیزات اندازه گیری باید با شرایط محیط اندازه گیری از جمله حرارت و رطوبت سازگار باشد.
- مشخصات تجهیزات اندازه گیری شدت لرزش در ISO 2954 تعریف شده است.
- مشخصات تجهیزات اندازه گیری لرزش نسبی شافت در ISO 10817-1 تعریف شده است.
- نوع نصب سنسورهای شتاب سنج می تواند تاثیر قابل توجهی در اندازه گیری ها داشته باشد. شرایط نصب شتاب سنج در ISO 5348 تشریح شده است. برای سنسورهای پیک آپ سرعت نیز می توان از همان قواعد استفاده کرد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی

- معیارهای ارزیابی هر ماشین به فاکتور های متعددی وابسته است بنابراین باید هر ماشین را با معیارهای ارائه شده برای همان ماشن ارزیابی نمود و از کاربرد معیار یک ماشین خاص برای سایر ماشین ها اجتناب کرد. مثلا معیار یک کمپرسور پرسرعت در پتروشیمی با معیار یک توربوژنراتور بزرگ متفاوت است.
- در این بخش از استاندارد ۲۰۸۱۶ فقط اصول اندازه گیری های غیر چرخشی و نسبی شافت ارائه خواهد شد و برای تعیین مقادیر حدود هر کدام باید به بخش مربوطه این استاندارد مراجعه نمود.
- در صورتی که برای یک ماشین از هر دو اندازه گیری استفاده شود آن اندازه گیری که محدود کننده تر است باید ملاک عمل قرار گیرد.
- معیارهایی که در اینجا ارائه می شود فقط به لرزش های ناشی از تحریک اجزاء دوار مربوط می شود و عواملی همچون لرزش های الکترومغناطیسی ناشی از هارمونیک دوم برق یا لرزش های انتقالی از استاتور ژنراتور به بیرینگ ها را شامل نمی شود.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه)

ارزیابی های مبتنی بر اندازه گیری های شافت

- لرزش شافت بر اساس دو فاکتور اصلی مورد قضاوت قرار می گیرد:
  a) لرزش مطلق شافت
  b) لرزش شافت نسبت به المان های سازه ای.

۱ - معیار ارزیابی بر اساس تغییر لرزش شافت

a) هنگامی که لرزش محل نصب سنسور پروکسی کم باشد (کمتر از ۲۰ درصد لرزش نسبی شافت) می توان از هر کدام لرزش های نسبی یا مطلق شافت استفاده کرد.

b) هنگامی که ۲۰ درصد یا بالاتر باشد باید لرزش مطلق شافت را اندازه گیری کرد و اگر این لرزش بیش از لرزش نسبی شافت باشد باید لرزش مطلق بعنوان لرزش شافت مورد استفاده قرار گیرد.

۲ - معیار ارزیابی بر اساس بار دینامیکی وارد بر یاتاقان

باید از اندازه گیری نسبی شافت استفاده کرد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) ارزیابی های مبتنی بر اندازه گیری های شافت

۳ - معیار ارزیابی بر اساس بار دینامیکی وارد بر یاتاقان
باید از اندازه گیری نسبی شافت استفاده کرد.

۴ - معیار ارزیابی بر اساس کلرنس بین روتور و استاتور

a) هنگامی که لرزش محل نصب سنسور پروکسی کم باشد (کمتر از ۲۰ درصد لرزش نسبی شافت) باید از اندازه گیری نسبی بعنوان میزان جذب کلرنس استفاده کرد.

b) هنگامی که ۲۰ درصد یا بالاتر باشد همچنان می توان از اندازه گیری نسبی بعنوان میزان جذب کلرنس استفاده نمود مگر اینکه لرزش بدنه بیانگر لرزش کل استاتور نباشد. در این صورت به اندازه گیری های خاصی نیاز پیدا خواهد شد.

a) لرزش شافت مرتبط با یک محدوده ارزیابی خاص به اندازه و جرم بدنه لرزشی، ویژگی‌های سیستم نصب و خروجی و کاربرد ماشین بستگی دارد. بنابراین لازم است که اهداف و شرایط مختلف مربوطه به هنگام تعیین دامنه های مختلف ارتعاش شافت برای یک کلاس خاص از ماشین آلات در نظر گرفته شود. جاییکه مناسب باشد، باید به مشخصات محصول اشاره کرد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) عوامل تاثیر گذار بر معیارها

فاکتورهای بسیاری تاثیر گذار است از جمله:

a) هدف از اندازه گیری (مثلا کنترل کلرنس ها هنگام کار ماشین در حالت کلی متفاوت است از هدف جلوگیری از اعمال بار دینامیکی بیش از حد به بیرینگ)
b) نوع اندازه گیری (لرزش قطعات غیر چرخشی، لرزش نسبی یا مطلق شافت)
c) پارامتر های اندازه گیری
d) موقعیتی که اندازه گیری انجام شده
e) سرعت چرخشی شافت
f) نوع یاتاقان، کلرنس و قطر
g) نوع کار ماشین، خروجی و اندازه آن.
h) سختی بیرینگ، پایه و فونداسیون
i) جرم و سختی روتور

بنابراین امکان تعریف یک معیار واحد برای همه ماشین ها وجود ندارد. استفاده از معیارهای مختلفی که برگرفته از تجربه عملیاتی است، برای ماشین‌های مختلف ضروری است، اما در بهترین حالت، این معیارها را فقط می‌توان به عنوان یک راهنما در نظر گرفت و طبیعتا مواردی وجود خواهد داشت که ماشین‌هایی باشند که به طور ایمن و رضایت‌بخش خارج از این توصیه‌های کلی کار کنند یا برعکس ماشین هایی هستند که مقادیر لرزش آنها به خوبی در محدوده های مجاز قرار دارد ولی قادر به کار نیستند!

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) انواع معیار ارزیابی

دو معیار اصلی وجود دارد:

a) در نظر گرفتن دامنه ارتعاش باند وسیع.

b) در نظر گرفتن تغییر دامنه لرزش افزایش یا کاهش.

۱- معیارها اول: دامنه ارتعاش در سرعت کاری و تحت شرایط کار نرمال

لرزش اجزاء غیر چرخشی

در این معیار حدود دامنه های لرزش مطلق با در نظر گرفتن میزان بار دینامیکی مجاز بر بیرینگ ها و میزان مجاز انتقال لرزش به سازه تکیه گاه و فونداسیون تعیین می شود.

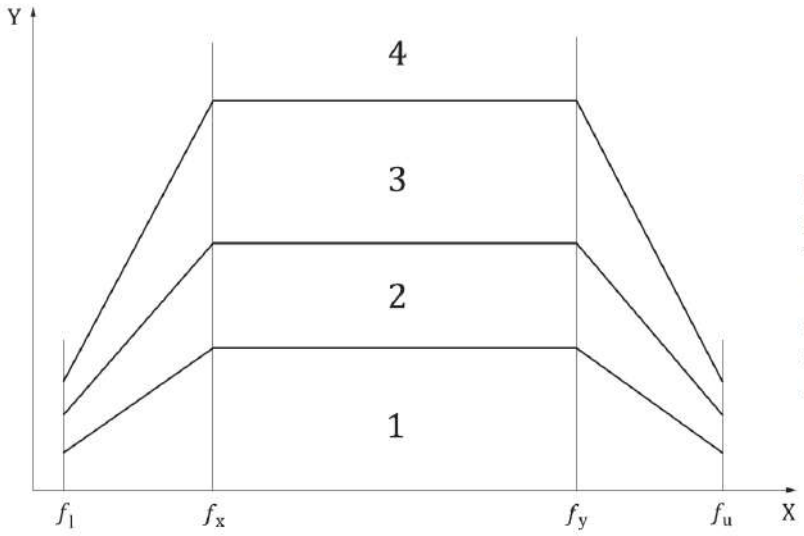
حداکثر لرزش هر بیرینگ یا پایه در مقابل چهار ناحیه ارزیابی که براساس تجربیات جهانی تعیین شده است مورد قضاوت قرار می گیرد. این مقدار حداکثر تحت عنوان شدت ارتعاش تعریف می شود.

سرعت لرزشی rms برای این نوع اندازه گیری که نماینده وضعیت ماشین است مورد استفاده قرار می گیرد. اما در ماشین های سرعت پایین این معیار سرعت ثابت می تواند منجر به دامنه های شدید شود و بر عکس در ماشین های پر سرعت باعث ایجاد شتاب های شدید شود. بنابراین ناحیه استفاده از سرعت بین دو فرکانس fx و fy تعریف شده است.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) انواع معیار ارزیابی



Key

X frequency
Y r.m.s. vibration velocity
1 zone A
2 zone B
3 zone C
4 zone D

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) انواع معیار ارزیابی

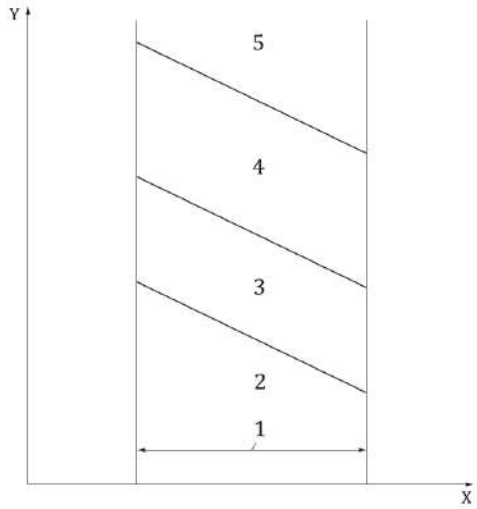
لرزش شافت دوار

در این معیار حدود دامنه های لرزش شافت با در نظر گرفتن میزان بار دینامیکی مجاز بر بیرینگ ها، رعایت حاشیه مجاز کلرانس شعاعی اجزاء ثابت و دوار و میزان مجاز انتقال لرزش به سازه تکیه گاه و فونداسیون تعیین می شود.
حداکثر لرزش هر بیرینگ یا پایه در مقابل چهار ناحیه ارزیابی که براساس تجربیات جهانی تعیین شده است مورد قضاوت قرار می گیرد.
در تصویر زیر دامنه p–p جابجایی لرزش شافت برای محدوده های سرعت کاری ترسیم شده است. بطور کلی این قاعده پذیرفته شده است که با افزایش سرعت چرخشی محدوده های لرزشی کاهش یابد اما نرخ این تغییرات و مقادیر آن برای ماشین های مختلف متفاوت است.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) انواع معیار ارزیابی



Key

X	shaft rotational speed
Y	peak-to-peak shaft vibration
1	relevant speed range
2	zone A
3	zone B
4	zone C
5	zone D

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) ناحیه های ارزیابی

- **ناحیه A**

ماشین های نو معمولا در این ناحیه قرار می گیرند.

- **ناحیه B**

ماشین های این ناحیه مجاز به ادامه کار طولانی مدت هستند.

- **ناحیه C**

ماشین های این ناحیه نمی توانند بطور طولانی مدت ادامه به کار دهند. معمولا ماشین می تواند تا رسیدن به فرصت تعمیراتی مناسب مدت محدودی به کار ادامه دهد.

- **ناحیه D**

دامنه لرزش این ناحیه به حدی است که می تواند به ماشین آسیب برساند.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) ناحیه های ارزیابی

- مقادیر عددی این حدود در سایر بخش های استاندارد ISO 20816 برای ماشین های مختلف ارائه شده است.
- برای برخی ماشین های خاص ممکن است مقادیری غیر از این حدود پیشنهادی در نظر گرفت اما باید دلیل این کار بیان شود و اطمینان حاصل شود کارکرد ماشین بیش از حدود تعریف شده به ماشین آسیبی نمی رساند.

- در صورتی که ماشینی وجود داشته باشد که در هیچ کدام از دسته بندی های ارائه شده نگنجد می توان به معیار ارائه شده در جدول C.1 مراجعه کرد.
- این جدول یک مقادیر کلی را ارئه می دهد که میتواند مبنایی برای بحث بین سازنده و خریدار باشد و از روی آن مقادیر مورد نظر را تعیین کنند.
- معیار کلی این جدول:
  - ماشین های کوچک (الکتروموتور های زیر 15 KW) در پایین تر حد (سمت چپ جدول) قرار می گیرد.
  - ماشین های بزرگ (مولد های بزرگ با انعطاف پذیری تکیه گاهی در جهت اندازه گیری) در حد بالای جدول قرار می گیرد.
- در انتخاب مقادیر باید موقعیت اندازه گیری و انعطاف پذیر بودن تکیه گاه ماشین در نظر گرفته شود.
- توجه کنید که این مقادیر فقط برای ماشین های خاص و با توافق سازنده و خریدار انتخاب شود.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

ناحیه های ارزیابی

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه)

Table C.1 — Range of typical values for the zone A/B, B/C and C/D boundaries for non-rotating parts

	Range of typical zone boundary values for non-rotating parts r.m.s. vibration velocity mm/s			
0,28				0,28
0,45				0,45
0,71				0,71
1,12	Zone boundary A/B 0,71 to 4,5			1,12
1,8				1,8
2,8		Zone boundary B/C 1,8 to 9,3		2,8
4,5				4,5
7,1			Zone boundary C/D 4,5 to 14,7	7,1
9,3				9,3
11,2				11,2
14,7				14,7
18				18
28				28
45				45

NOTE 1 This table only applies to machines for which specific International Standards have not been developed and for which there is no suitable experience available.

NOTE 2 Small machines (e.g. electric motors with power up to 15 kW) tend to lie at the lower end of the range and large machines (e.g. prime movers with flexible supports in the direction of measurement) tend to lie at the upper end of the range.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

ناحیه های ارزیابی

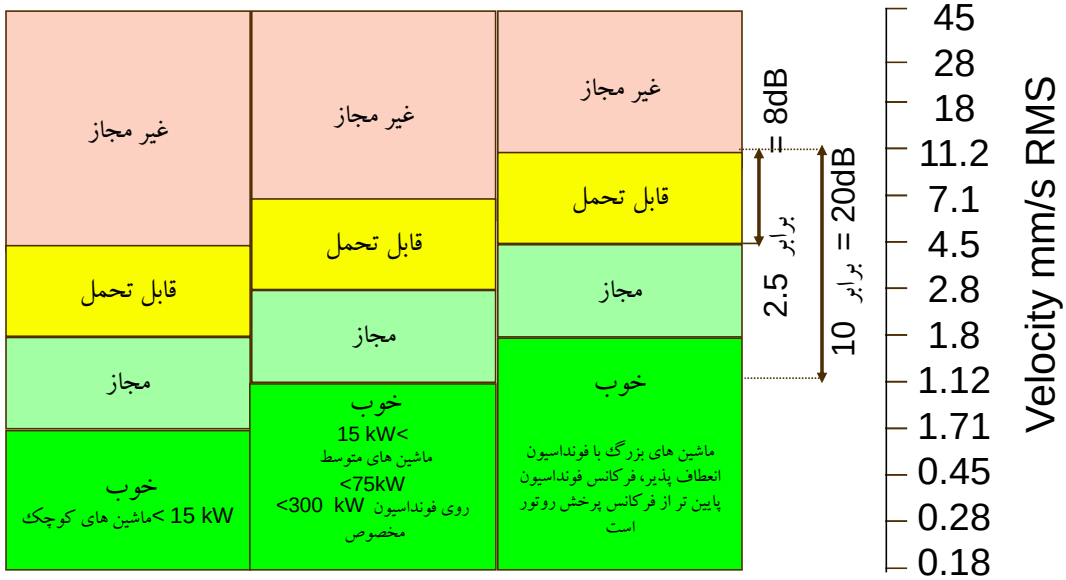
۶- معیارهای ارزیابی (ادامه)

$$v_{rms} = v_A \, Z_{bound} \, (f_z / f_x)^k \, (f_y / f_w)^m$$

v_{rms}	is the allowable r.m.s. velocity, in millimetres per second;
v_A	is the constant r.m.s. velocity, in millimetres per second, which applies between f_x and f_y for zone A;
Z_{bound}	is the factor which defines the zone boundaries (e.g. the limit of zone A could be obtained by setting $Z_{bound} = 1$, the limit of zone B by setting $Z_{bound} = 2{,}56$ and the limit of zone C by setting $Z_{bound} = 6{,}4$); this factor can be a function of the machine speed or any other relevant machine operating quantity (e.g. load, pressure, flow);
f_x and f_y	are the defined frequencies, in hertz, between which it is assumed that a constant-velocity criterion applies (see 6.3.2.1);
$f_w = f_y$	for $f \leq f_y$;
$f_w = f$	for $f > f_y$;
$f_z = f$	for $f < f_x$;
$f_z = f_x$	for $f \geq f_x$;
f	is the frequency, in hertz, for which v_{rms} is defined;
k and m	are the defined constants for a given machine type.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

ISO2372 (BS 4675 , VDI 2056)



استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه)

Acceptance criteria

معیار پذیرش

- معیار پذیرش باید بر اساس توافق بین سازنده و خریدار انجام گیرد.
- مقادیر ارائه شده برای حدود در این استاندارد می تواند مبنایی برای بحث بین آنها باشد.
- برای تست پذیرش باید شرایط کاری ماشین مانند سرعت، بار، حرارت، فشار و .. صورت گیرد و باید از قبل به دقت تعریف شده و مورد توافق قرار گرفته باشد.
- بعد از تعویض قطعات اصلی ماشین و انجام تعمیرات قبل از در سرویس قرار گرفتن ماشین باید تست پذیرش مجددا صورت پذیرد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) انواع معیار ارزیابی

۲- معیارها دوم: تغییر در دامنه لرزش

- در این معیار تغییرات دامنه لرزش نسبت به مقادیر مرجع قبلی ارزیابی می شود.
- اگر تغییر افزایشی یا کاهشی مهمی اتفاق افتد لازم است اقداماتی اصلاحی صورت گیرد حتی اگر این تغییرات به ناحیه C در معیار اول هم نرسیده باشد.
- تغییرات ناگهانی نشان دهنده این است که یک خرابی ناگهانی اتفاق افتاده و تغییرات تدریجی در طول زمان نشان دهنده یک خرابی قریب الوقوع یا توسعه یک شرایط غیر عادی است.
- این معیار تغییرات دامنه ارتعاشات را در یک شرایط کاری پایدار در نظر دارد.
- اندازه گیری های دوره ای در این معیار باید در همان نقطه و جهت قبلی، و تقریبا همان شرایط کاری ماشین قبلی انجام پذیرد.
- تغییرات مهم نسبت به لرزش های نرمال باید مورد تحقیق و بررسی بیشتری قرار گیرد تا از بروز شرایط خطرناک جلوگیری شود.
- برای هر ماشین معیار مربوطه در بخش های بعدی این استاندارد ارائه شده است.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) حدود عملیاتی ALARMS and TRIPS

هشدار ALARM:

- حدی است که وقتی دامنه لرزش به آن حد برسد تا تغییرات مهمی در آن حد اتفاق بیافتد به اقدامات اصلاحی ماشین نیاز پیدا می شود. به عبارتی وقتی وضعیت هشدار ALARM اعلام شود ماشین می تواند موقتا به کار ادامه دهد تا تحقیقات بیشتر برای عیب یابی و پیدا کردن راه حل های مورد نیاز و تعیین زمان اجرای عملیات اقدامات اصلاحی صورت پذیرد.

توقف TRIP:

در صورت رسیدن دامنه لرزش به این حد ادامه به کار ماشین می تواند باعث بروز خسارت به ماشین شود. در این حالت یا باید به سرعت تغییراتی صورت پذیرد تا دامنه لرزش کاهش پیدا کند و یا ماشین متوقف گردد.

ممکن است در نقاط مختلف ماشین و جهت های اندازه گیری متفاوت، حساسیت ماشین به بعضی موارد همچون بار وارد بر یاتاقان، کلرنس سیل ها و انعطاف پذیری تکیه گاه ها متفاوت باشد. بنابراین ممکن است حدود عملیاتی متفاوتی برای نقاط و جهت های مختلف تعیین شود.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه)

ALARMS and TRIPS

تعیین حد هشدار ALARM

حد هشدار برای ماشین های مختلف متفاوت است. این حد بر اساس تجربه، برای نقاط و جهت های مختلف نسبت به دامنه لرزش اولیه BaseLine قابل تعریف است.

ماشین های نو:

از آنجایی که برای ماشین های نو مقدار اولیه مشخص نیست حد اولیه هشدار باید بر اساس تجربه ماشین های مشابه یا نسبت به مقادیر بدست آمده در تست پذیرش تعیین شود. بعد از مدتی که ماشین به حالت کاری پایدار رسید می توان با بدست آوردن مقدار اولیه را بدست آورد.

بعد از تعمیرات:

اگر بعد از انجام تعمیرات دامنه اولیه پایدار ماشین BaseLIne تغییرکرد لازم است مجددا حد هشدار مطابق با آن تنظیم شود.

نقاط و جهات مختلف اندازه گیری می توانند حد هشدار های متفاوتی داشته باشند.

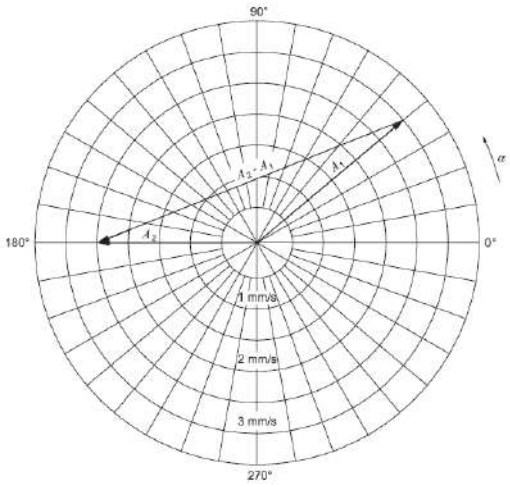
تعیین حد توقف TRIP

حد توقف به سلامت ماشین و اینکه تا چه میزان می تواند در مقابل نیروهای دینامیکی غیر معمول دوام بیاورد بستگی دارد. بنابراین این حد برای تمامی ماشین های از یک نوع یکسان است و ربطی به دامنه اولیه و حد هشدار ندارد.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) سایر عوامل



Initial steady-state vector	$\lvert A_1 \rvert = 3$ mm/s, $\alpha = 40°$
Steady-state vector after change	$\lvert A_2 \rvert = 2{,}5$ mm/s, $\alpha = 180°$
Change in vibration magnitude	$\lvert A_2 \rvert - \lvert A_1 \rvert = -0.5$ mm/s
Vector of change	$\lvert A_2 - A_1 \rvert = 5{,}2$ mm/s

فرکانس و فاز

امروزه طیف فرکانسی که شامل کلیه فرکانس های تحریک است نیز در اندازه گیری ها مورد استفاده قرار میگیرد و تغییرات آن نیز تحت پایش قرار دارد. اندازه گیری فاز نیز که در قالب اندازه گیری های برداری و پایش تغییرات آن است نیز برای برخی عیب یابی ها مورد استفاده است. در پایش تغییرات برداری، تغییرات فاز نیز بسیار اهمیت دارد.

حساسیت ارتعاشی ماشین

ممکن است یک ماشین تحت یک شرایط کاری پایدار وضعیت مطلوبی داشته باشد اما تحت شرایط کاری پایدار دیگر وضعیت متفاوتی نشان دهد. در این صورت توصیه می شود سازنده و خریدار برای لزوم انجام تست ها و ارزیابی های تئوریک به توافق برسند.

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) سایر عوامل

تکنیک های بیرینگ های المان غلطکی

در کنار اندازه گیری های باند وسیع امروزه پیشرفت های روز افزونی در تولید تجهیزات و روشهای جایگزین ارزیابی سلامت بیرینگ های المان غلطکی صورت گرفته است که البته خارج از اهداف این استاندارد است.

اندازه گیری باند وسیع شتاب

اگه چه مفید است اما ممکن است بعلت خطاهای وارد شدن عوامل فرکانس بالای دیگری همچون فرکانس درگیری دندانه ها، اثرات تقویت رزنانسی بیرینگ یا محفظه بیرینگ و .. تکنیک موفقی برای پایش بلبرینگ ها نباشد. به همین دلیل تجهیزات دیگر و فرآیند های آنالیز دیگری ابداع شده تا اثرات این خطا ها را کم کند. VDI 3832 تکنیک صوت انتقالی از سازه ها شرح داده و در ISO 15242 می توان روشهای اندازه گیری لرزش بلبرینگ ها پیدا کرد.

تکنیک های آنالیز داده های خام

- پارامتر مقدار پیک شتاب،
- پارامتر فاکتور قله (نسبت پیک به rms)
- پارامتر حاصلضرب پیک در rms

استاندارد اندازه گیری و ارزیابی لرزش ماشین ISO 20816

بخش اول - راهنمای عمومی ISO 20816-1

۶- معیارهای ارزیابی (ادامه) سایر عوامل

آنالیز های فرکانسی

استفاده از طیف فرکانسی شتاب علاوه بر اینکه مشخص می کند ایراد مربوط به بیرینگ است، عامل خرابی را نیز تعیین می کند. برای بهبود این تکنیک در جاهایی که نویز لرزش پس زمینه بالاست، از تکنیک های پردازشی همچون coherent ، معدل گیری، adaptive noise cancellation و یا تفاضل طیفی استفاده می شود. استفاده از تکنیک Envelope که از فیلتر های بالا گذر یا میان گذر استفاده می کند نوع دیگری از این دست است.

روش دیگر شناسایی ساید باندهای فرکانس های خرابی بیرینگ بجای تعیین خود فرکانس های بیرینگ است. Cepstrum روشی است برای تعیین دسته ساید باندها.

تکنیک Shock Pulse

تجهیزات بسیاری براین اساس که خرابی های بلبرینگ پالس های کوچکی تولید می کنند تولید شده اند. دستگاه این پالس ها را در فرکانس های بالا شناسایی کرده و با یک تکنیک اختصاصی به یک عدد که نشاندهنده وضعیت بلبرینگ است تبدیل و نمایش می دهد.

سایر روشها

آنالیز نویز آکوستیک، ترموگرافی، آنالیز ذرات فرسایشی

استانداردهای پایش و ارزیابی ارتعاشات

بخش ۲
ماشین های مختلف

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 20816-2

First edition
2017-07

Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration —

Part 2:
Land-based gas turbines, steam turbines and generators in excess of 40 MW, with fluid-film bearings and rated speeds of 1 500 r/min, 1 800 r/min, 3 000 r/min and 3 600 r/min

برای توربوژنراتورهای گازی و بخار بالای 40 MW

- لرزش بدنی و شافت.
- ارزیابی لرزش بدنی شعاعی یاتاقان های اصلی و پایه
- ارزیابی لرزش بدنی محوری یاتاقان تراست.
- ارزیابی لرزش شافت در یاتاقان های اصلی.

شرایط:

- شرایط کاری پایدار
- شرایط ناپایدار شامل راه اندازی، توقف، بارگذاری و تغییر بار
- تغییرات لرزش حین کار در شرایط نرمال

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

دقت شود این موارد بر تجهیزات اندازه گیری تاثیر منفی نداشته باشد:

a) temperature variations;

b) electromagnetic fields;

c) airborne and structure-borne noise, e.g. from neighbouring machines;

d) transducer power source variations;

e) combustion vibration;

f) cable impedance;

g) transducer cable length;

h) transducer orientation;

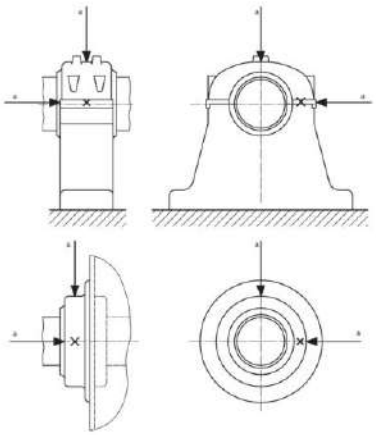
i) structural characteristics of the transducer attachment.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

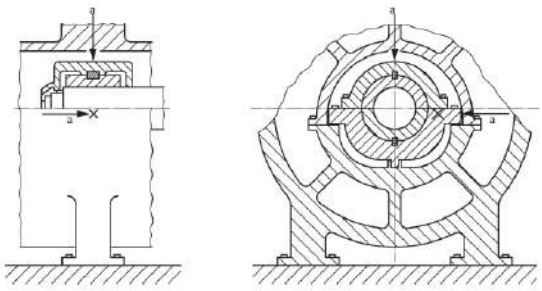
ISO 20816-2:2017(E)

اندازه گیری اجزاء غیر دوار

- اندازه گیری باند وسیع 10~500(min) Hz
- اگر فرکانس هایی مانند سرعت بحرانی اول زیر 10 Hz وجود دارد باید آن را نیز پوشش داد.



bearing pedestals and bearing caps



gas turbine bearing

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

Table A.1 — Values for bearing housing or pedestal r.m.s. vibration velocity at zone boundaries

		Bearing housing or pedestal r.m.s. vibration velocity at zone boundaries mm/s		
	Shaft rotational speed r/min	Zone boundary		
		A/B	B/C	C/D
Steam turbine and generator	1 500 or 1 800	2,8	5,3	8,5
	3 000 or 3 600	3,8	7,5	11,8
Gas turbine	3 000 or 3 600	4,5	9,3	14,7
NOTE Since it is not common practice to run gas turbines at 1 500 r/min or 1 800 r/min, no values are given.				

تست پذیرش:

بطور تجربی دامنه قابل قبول در تست پذیرش باید در ناحیه A یا B قرار گیرد اما نباید از حد 1.25xA/B بیشتر شود. بعد از هر اورهال باید مجددا تست پذیرش را برای ماشین تکرار کرد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

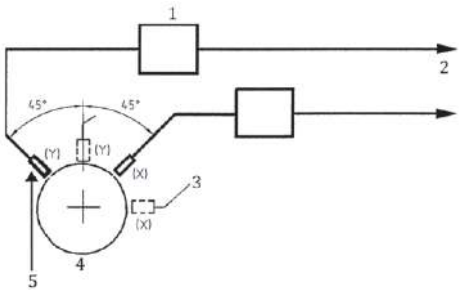
ISO 20816-2:2017(E)

اندازه گیری لرزش شافت

- ارتعاش مطلق که با استفاده از مکانیزم های سوار بر شافت انجام میگرفته منسوخ شده است.
- امروزه عمدتا از سنسورهای پروکسی برای اندازه گیری لرزش نسبی شافت استفاده می شود.
- در صورت نیاز به اندازه گیری لرزش مطلق شافت باید یک سنسور بدنی مجاور آن نصب نمود.
- این استاندارد برای هر دو نوع لرزش نسبی و مطلق شافت قابل استفاده است.
- محدوده فرکانسی اندازه گیری 1~ 125 Hz or 3X هر کدام بیشتر بود. البته تجهیزات امروزی تا 6X هم اندازه گیری می کنند.
- سنسورها معمولا بصورت ±45 نسبت به محور عمودی و روی کپ بالایی یاتاقان نصب می شود ولی می توان از یک سنسور در جهتی که ماکزیمم مقدار را اندازه گیری می کند استفاده کرد اما به اوربیت دسترسی نخواهد داشت.
- معمولا در این ماشین ها لرزش محوری شافت اندازه گیری نمی شود.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

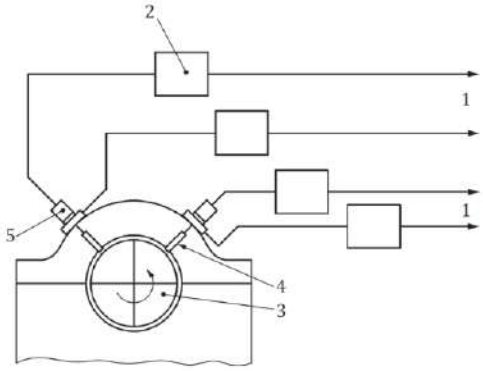
ISO 20816-2:2017(E)



Key

1 signal conditioning units
2 to signal processing
3 optional transducer orientations
4 shaft
5 non-contacting transducers

relative motion of the shaft



Key

1 to signal processing
2 signal conditioning units
3 shaft
4 non-contacting transducers
5 seismic transducers

absolute-motion of the shaft

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

Table B.1 — Values for shaft relative vibration peak-to-peak displacement at zone boundaries

		Shaft *relative* vibration peak-to-peak displacement at zone boundaries μm		
	Shaft rotational speed r/min	Zone boundary		
		A/B	B/C	C/D
Steam turbine and generator	1 500	100	200	320
	1 800	95	185	290
	3 000	90	165	240
	3 600	80	150	220
Gas turbine	3 000	90	165	240
	3 600	80	150	220
NOTE Since it is not common practice to run gas turbines at 1 500 r/min or 1 800 r/min, no values are given.				

Smax:

برای بدست آوردن Smax باید دو سنسور متعامد نصب باشد و تجهیزات اندازه گیری قابلیت محاسبه آنرا داشته باشد. مقادیر حدود Smax از تقسیم مقادیر جدول فوق به عدد 1.85 بدست می آید. نحوه محاسبه این پارامتر در ISO 20816-1 بیان شده است.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

Table B.2 — Values for shaft absolute vibration peak-to-peak displacement at zone boundaries

		Shaft *absolute* vibration peak-to-peak displacement at zone boundaries µm		
	Shaft rotational speed r/min	Zone boundary		
		A/B	B/C	C/D
Steam turbine, generator	1 500	120	240	385
	1 800	110	220	350
	3 000	100	200	300
	3 600	90	180	270

تست پذیرش:

بطور تجربی دامنه قابل قبول در تست پذیرش باید در ناحیه A یا B قرار گیرد اما نباید از حد 1.25xA/B بیشتر شود. بعد از هر اورهال باید مجددا تست پذیرش را برای ماشین تکرار کرد. این تست باید تحت شرایط نرمال کاری ماشین انجام پذیرد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

انحراف از مقادیر پیشنهادی

برای ماشین ها یا شرایط خاص بعنوان مثال در شرایط زیر می توان مقادیر حدودی دیگری تعیین نمود:

a) لرزش ماشین متاثر از نوع تکیه گاه هایش باشد. مثلا اگر تکیه گاه های خیلی محکمی استفاده شود، لرزش نسبی بالاتری انتظار می رود. بر عکس اگر تکیه گاه انعطاف بیشتری داشته باشد آنگاه لرزش نسبی شافت کمتر و لرزش مطلق شافت بیشتر خواهد بود. دراین صورت با تکیه بر تاریخچه رفتار قابل قبول قبلی ماشین میتوان حدود دیگری پذیرفت.

b) وقتی نسبت وزن سازه مرتبط با بیرینگ (جرم پایه و بدنه) به وزن روتور زیاد باشد (مثلا 10:1) ممکن است لرزش بدنی یاتاقان کمتر باشد. در اینجا نیز می توان بر اساس سوابق قابل قبول ماشین حدود را تغییر داد.

c) با توجه داشت که لرزش نسبی شافت نباید به حد کلرنس بین شافت و یاتاقان برسد. بنابراین اگر قطر شافت کوچکتر انتخاب شده باشد کلرنس نیز کمتر می شود و در این صورت باید حد لرزش نسبی نیز کمتر شود. میزان این کاهش به نوع بیرینگ (استوانه ای، بیضوی، تیلتینگ پد و ..) و رابطه بین جهت اندازه گیری و جهت حداقل کلرنس بستگی خواهد داشت. بنابراین نمی توان به یک قاعده کلی دست پیدا کرد.

d) بیرینگ هایی که بار کمتری می پذیرند مانند بیرینگ اکسایتریا کلاچ یا حساسیت بیشتری به الاینمنت دارند می توانند مقادیر حدی دیگری داشته باشند.

e) اگر اندازه گیری های شافت دور از بیرینگ باشد می توان حدود دیگری اختیار کرد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

سایر نکات محدوده های پیشنهادی

- در برخی ماشین های سنگین 1500/1800 rpm مخصوصا آنهایی که از یک یاتاقان بین روتورها استفاده کرده اند می توان از محدوده های دیگری برای لرزش بدنی استفاده کرد تا از عدم افزایش لرزش هنگام عبور از سرعت بحرانی اول هنگام راه اندازی و توقف اطمینان حاصل شود.
- در این استاندارد تفاوتی بین فونداسیون های صلب و انعطاف پذیر قائل نشده اما در آینده اصلاح خواهد شد.
- در یک مجموعه می توان برای نقاط مختلف اندازه گیری از حدود متفاوت استفاده کرد.
- هنگام استفاده از حدود بزرگ باید مراقب بود که کارکرد ماشین با این لرزش زیاد قابلیت اطمینان ماشین را به خطر نیاندازد. لازم است بصورت فنی این مورد با بررسی مواردی همچون جزئیات فنی ماشین و یا تجارب قبلی ماشین های مشابه و فونداسیون های مشابه انجام پذیرد.
- لرزش بدنی عموما با پارامتر سرعت rms اندازه گیری می شود، اما ممکن است سیستم اندازه گیری برخی ماشین ها برحسب Peak باشد. در این صورت اگر لرزش اندازه گیری شده یک فرکانس غالب داشته باشد می توان از رابطه زیر این دو مقدار را به همدیگر ارتباط داد اما برای سیگنال هایی که هارمونیک های متعدد دارند این رابطه صادق نخواهد بود:

$$\text{Peak} = \sqrt{2}\ \text{rms}$$

دقت شود مقادیر ارائه شده تنها برای ارتعاشات بین شافت و یاتاقان باشد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

خطای خارج از مرکزی مکانیکی و الکتریکی:

می توان با استفاده از اندازه گیری دور پایین Slow Roll قبل از راه اندازی ماشین این خطا ها را اندازه گیری نمود. تجهیزات اندازه گیری امروزی این امکان را فراهم کرده اند. در این صورت موارد زیر در اندازه گیری دور پایین مد نظر قرار گیرد:

- مشخصه فرکانس پایین اندازه گیری برای این نوع اندازه گیری تنظیم شده باشد.
- کمانش اولیه شافت، حرکت های تصادفی شافت در فضای کلرنس یاتاقان در دور پایین و حرکت های محوری می تواند باعث خطا در این اندازه گیری شود.

بنابراین دقت شود اگر این خطا ها وارد باشد اندازه گیری نهایی که با کسر این مقادیر از اندازه گیری شافت بدست می آید می تواند به خطاهای بزرگی منجر شود.

کلرنس شافت و یاتاقان

دقت شود مقادیر ارائه شده نباید بیش از مقدار کلرنس بین شافت و یاتاقان باشد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

معیار های ارزیابی

اندازه گیری ها باید تحت شرایط پایدار کاری ماشین با تغییرات اندک ناشی از تغییر بار صورت گیرد و این لرزش باید فقط مربوط به همین ماشین باشد.

۱- معیار مقدار لرزش

دامنه های مجاز بر اساس بار مجاز وارد بر یاتاقان، رعایت کلرنس بین اجزار ثابت ودوار و انتقال لرزش مجاز به فونداسیون تعیین شده است. بر این اساس وضعیت ماشین قابل تعریف بصورت A/B/C/D است.

حدود هشدار و توقف

$$ALARM = (BaseLine + 0.25\ B/C) < 1.25\ B/C$$

$$TRIP = (C\sim D\ Range) < 1.25\ C/D$$

- حد هشدار برای نقاط مختلف میتواند متفاوت باشد و بعد از هر اورهال باید بعد از تعیین BL بروز شود.
- حد هشدار برای همه ماشین های از یک نوع برابر است و بسته به حد تحمل تنش ماشین تعیین می شود.
- معمولا برای توقف از بیش از دو سیگنال TRIP همراه با Delay برای جلوگیری از خطا استفاده می شود.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

مثال برای تعیین حد هشدار و توقف

توربوژنراتور گازی 3000 rpm

با توافق بین سازنده و خریدار روی مرز B/C به مقدار 7.5 mm/s rms برای هشدار (ماشین نو) و 11.8 برای توقف تعیین شد.

بعد از مدتی در سرویس بودن ماشین، حدود ارتعاشی پایدار برای یاتاقان ها بدست آمد. حد توقف همان 11.8 باقی ماند اما حد هشدار با استفاده از رابطه تعریف شده بصورت زیر برای یاتاقان های مختلف محاسبه شد:

یاتاقان اول: $BL = 4, \quad Alarm = 4+0.25x7.5 = 5.9 < 735$

یاتاقان دوم: $BL = 5.8, \quad ALARM = (5.8+0.25x7.5=7.7>7.5) = 7.5$

دامنه لرزش هنگام شرایط ناپایدار (گذرا)

مقادیر ارائه شده حدود برای ماشین هایی است که در حالت نرمال و پایدار کار می کنند. هنگامی که تغییراتی اتفاق افتد مانند تغییر بار، تا ماشین دوباره به تعادل حرارتی برسد تغییراتی در دامنه لرزش اتفاق می افتد و یا هنگام راه اندازی و توقف دامنه ارتعاش تغییراتی را تجربه می کند. ممکن است این افزایش لرزش به حدود تعیین شده برای حد هشدار و توقف برسد بنابراین برای جلوگیری از آن معمولا از ضریب حد توقف TRIP Multiplyer استفاده می شود. این ضریب حد توقف را موقتا با اندازه ضریب مشخصی افزایش می دهد تا ماشین فرصت کند به حالت پایدار برسد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

عوامل تغییرات در دامنه لرزش

- تغییرات حرارتی مثلا ناشی از تغییر درجه حرارت و یا تغییر جریان روتور حین بارگذاری یا تغییر بار)
- اثر خلا در کندانسور
- تغییرات سرعت حین راه اندازی و توقف
- در کلاچ های سنکرون ساز تغییرات نرمال انبساط محوری و زاویه درگیری کلاچ باعث لرزش لحظه ای می شود.

تغییرات لرزش هنگام کار در سرعت نامی

در چنین شرایطی، معمولاً دامنه ارتعاش باید قابل قبول در نظر گرفته شود، مشروط بر اینکه از مرز منطقه C/D تجاوز نکند. محدودیت های TRIP و ALARM باید بر این اساس تنظیم شوند

تغییرات لزش هنگام راه اندازی و توقف و بیش سرعت

معمولا این نوع ماشین ها یک فرآیند خاص ارزیابی قبل از راه اندازی دارند تا از عدم مواردی همچون کمانش شافت اطیمنان حاصل شود و همچنین فرصت مورد نیاز جهت انبساط تدریجی شافت و بدنه فراهم شود.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

تغییرات لرزش هنگام راه اندازی و توقف و بیش سرعت (ادامه)

- برای رفع کمانش از فرآیند بارینگ barring با استفاده از ترنینگ گیر و یا چرخش آرام LowSpeed قبل از راه اندازی استفاده شود.
- اندازه گیری لرزش Slow Rool میتواند جابجایی ناشی از کمانش را نشان دهد. زیرا در این حالت فیلم روغن تشکیل شده و اثرات رزنانس و نیروهای گریز از مرکز وجود ندارد. در این حالت می توان علاوه بر اثرات کمانش، از وجود مشکلاتی مانند ناهمراستایی نیز آگاهی پیدا کرد. (Crank Effect)
- توصیه می شود هنگام راه اندازی بردار لرزش قبل از فرکانس طبیعی اندازه گیری و با مقادیر معمول قبلی مقایسه شود. اگر مقدار تغییر عمده ای داشت، قبل از ادامه، سرعت کاهش یا نگهداری شود تا دامنه لرزش پایدار شود یا به مقدار قبلی باز گردد و یا بررسی های بیشتری انجام شود و یا پارامترهای فرآیندی چک شود.
- هنگام راه اندازی ممکن است نیاز باشد در یک سرعت مشخص ماشین نگهداری شود تا انبساط ها یکنواخت شود و یا پرجینگ توربین گازی انجام شود. این سرعت باید به اندازه کافی از سرعت بحرانی به دور باشد.
- ماشین هایی که برای بیس لود Base Load استفاده می شوند می توانند حد بالاتری برای دامنه لرزش نسبت به ماشین هایی که بصورتی شیف استفاده می شوند داشته باشند.
- میرایی و نرخ افزایش سرعت می تواند بر میزان لرزش هنگام عبور از سرعت بحرانی تاثیر گذار باشد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

تغییرات لرزش هنگام راه اندازی و توقف و بیش سرعت (ادامه)

- حد ALARM گذرا باید بر مبنای مقدار لرزش اندازه گیری شده حالت گذراهای قبلی قابل قبول هر ماشین تعیین شود. در این صورت مقدار لرزش حالت نرمال باضافه ۲۵ درصد مرز C/D تعیین می شود. برای ماشین های نو بدون تجربه قبلی از جدول زیر استفاده شود.

Table 1 — ALARM limit during run up, run down or overspeed

Speed range (in relation to rated speed)	Vibration of non-rotating parts (see Table A.1)	Shaft relative and shaft absolute vibration (see Tables B.1 and B.2)
<20 %	n/a (see Note)	1,5 × C/D boundary
20 % to 90 %	1,0 × C/D boundary	1,5 × C/D boundary
>90 %	1,0 × C/D boundary	1,0 × C/D boundary

NOTE The ratio of vibration displacement to velocity is inversely proportional to frequency; hence, for measurements made on non-rotating parts, there are drawbacks in using a constant velocity criterion at speeds below 20 % of rated speed (see Annex D).

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

تغییرات لرزش هنگام راه اندازی و توقف و بیش سرعت (ادامه)

- استفاده از ضریب حد توقف TRIP Multiplier

اگر سیستم کنترل ماشین خودکار باشد، سیگنال TRIP بصورت خودکار ماشین را متوقف می کند. در این حالت برای جلوگیری از توقف ماشین هنگام راه اندازی، ویژگی ضریب حد توقف، بصورت موقت این حدود را افزایش می دهد.

معمولا این سیستم فقط هنگام سرعت گیری و یا توقف عمل می کند و اگر سرعت قبل از رسیدن به سرعت نامی ثابت نگه داشته شود عمل نخواهد کرد. ممکن است برای بارگذاری اولیه نیز از این ویژگی استفاده شود یا هنگام تغییرات بار ناگهانی بصورت زمان دار تا زمانی که انبساط ها به حالت پایدار برسد.

مقادیر این ضریب براساس تجربه های کاری نرمال قبلی برای هر ماشین قابل تعیین است.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

معیار دوم: تغییر دامنه ارتعاش هنگام کار نرمال ماشین و در سرعت نامی

- افزایش یا کاهش مهم در دامنه اگر اتفاق افتد باید عکس العمل نشان داد حتی اگر دامنه لرزش به حد C در معیار اول نرسیده باشد. این تغییرات می تواند ناگهانی یا تدریجی در طول زمان باشد که نشان دهنده این است که خرابی اتفاق افتاده یا هشداری باشد که خرابی یا یک وضعیت غیر نرمال در حال وقوع است.
- معیار دوم براساس تغییرات در حالت پایدار ماشین است و تغییرات اندک بار را شامل می شود ولی تغییرات ناگهانی بار را شامل نمی شود. تغییرات ناشی از رفتار نرمال کلاچ های سنکرون شامل نمی شود.

- اگر مقدار لرزش به مقدار $0.25xB/C$ تغییر کند باید دلیل آن مورد بررسی قرار گیرد.
- اگر نرخ تغییرات بالا باشد نیز نیاز به عکس العمل است حتی اگر این تغییر در حد مقدار فوق نباشد.
- پایش تغییرات طیف فرکانسی و بردار لرزش به مراتب بهتر از پایش تغییرات دامنه ارتعاش کل است. ممکن است دامنه ارتعاش کل تغییرات مهمی نشان ندهد اما مولفه های طیف فرکانسی و یا بردار لرزش قابل توجه باشد. اما این کار نیاز به تجهیزات پیشرفته تر پایش آنلاین دارد.

توربوژنراتورهای گازی و بخار بزرگ

ISO 20816-2:2017(E)

معیار مکمل

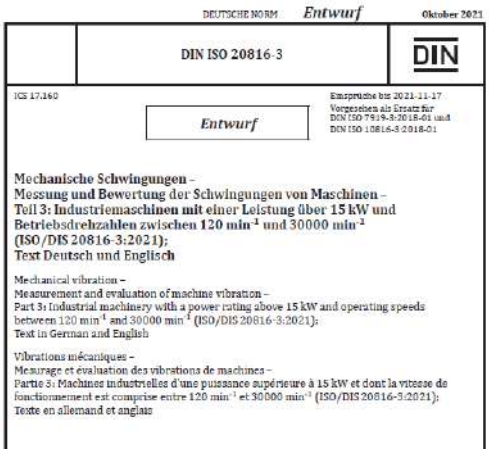
- اگر ارزیابی لرزش شافت و ارزیابی لرزش بدنه به دو قضاوت متفاوت منجر شد باید آنرا که سختگیرانه تر است را انتخاب نمود. بطور کلی نمی توان اندازه گیری های شافت را به اندازه گیری های بدنه بطور مستقیم ارتباط داد.

ارزیابی بر اساس بردار لرزش

برای ارزیابی مانیتورینگ ماشین و برای تست های پذیرش ارزیابی هایی که در این استاندارد ارائه شده کفایت می کند اما برای پایش وضعیت بهتر است از اندازه گیری های برداری و طیف های فرکانسی استفاده شود تا اطلاعات کامل تری برای عیب یابی فراهم شود. اما اینها در محدوده نظر این استاندارد قرار ندارند و برای آن باید به استانداردهای ISO 13373 مراجعه شود.

ماشین های صنعتی بالای 15 Kw

E DIN ISO 20816-3:2021-10



DEUTSCHE NORM *Entwurf* Oktober 2021

DIN ISO 20816-3

DIN

ICS 17.160

Entwurf

Einsprüche bis 2021-11-17
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 7919-3:2018-01 und
DIN ISO 10816-3:2018-01

Mechanische Schwingungen –
Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen –
Teil 3: Industriemaschinen mit einer Leistung über 15 kW und Betriebsdrehzahlen zwischen 120 min^{-1} und 30000 min^{-1}
(ISO/DIS 20816-3:2021);
Text Deutsch und Englisch

Mechanical vibration –
Measurement and evaluation of machine vibration –
Part 3: Industrial machinery with a power rating above 15 kW and operating speeds between 120 min^{-1} and 30000 min^{-1} (ISO/DIS 20816-3:2021);
Text in German and English

Vibrations mécaniques –
Mesurage et évaluation des vibrations de machines –
Partie 3: Machines industrielles d'une puissance supérieure à 15 kW et dont la vitesse de fonctionnement est comprise entre 120 min^{-1} et 30000 min^{-1} (ISO/DIS 20816-3:2021);
Texte en allemand et anglais

استاندارد عمومی برای ماشین های بیش از 15 KW با سرعت 120~ 30000 rpm

- لرزش بدنی و شافت.
- ارزیابی لرزش بدنی شعاعی یاتاقان های اصلی و پایه

- توربوژنراتور های بخار زیر 40 MW و یا سرعت های غیر از 3000, 1500 rpm
- کمپرسورهای دوار
- توربین های گازی زیر 3 MW
- توربوفن، الکتروموتور، غلطک و نورد، نوار نقاله، کوپلینگ دور متغیر، بلور و فن

ماشین های صنعتی بالای 15 Kw

E DIN ISO 20816-3:2021-10

گروه اول ماشین های بزرگ بالای 300 KW

Table A.1 — Classification of vibration severity zones for machines of Group 1: Large machines with rated power above 300 kW; electrical machines with shaft height H ≥ 315 mm. (See 5.2)

Support class	Zone boundary	r.m.s. displacement µm	r.m.s. velocity mm/s
Rigid	A/B	29	2,3
	B/C	57	4,5
	C/D	90	7,1
Flexible	A/B	45	3,5
	B/C	90	7,1
	C/D	140	11,0

ماشین های صنعتی بالای 15 Kw

E DIN ISO 20816-3:2021-10

گروه دوم ماشین های متوسط زیر 300 KW

Table A.2 — Classification of vibration severity zones for machines of Group 2: Medium-sized machines with a rated power above 15 kW up to and including 300 kW; electrical machines with shaft height 160 mm ≤ H < 315 mm. (See 5.2)

Support class	Zone boundary	r.m.s. displacement μm	r.m.s. velocity mm/s
Rigid	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
Flexible	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

ماشین های صنعتی بالای 15 Kw

E DIN ISO 20816-3:2021-10

حد لرزش نسبی شافت تحت شرایط پایدار ماشین

Zone A/B boundary limit:

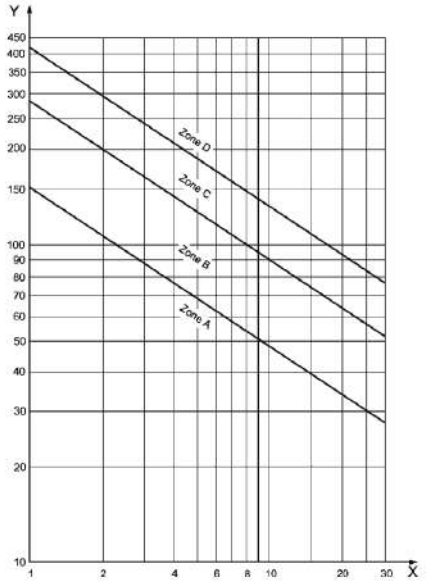
$$S_{(p-p)} = 4800/\sqrt{n} \quad \text{¼m}$$

Zone B/C boundary limit:

$$S_{(p-p)} = 9000/\sqrt{n} \quad \text{¼m}$$

Zone C/D boundary limit is:

$$S_{(p-p)} = 13200/\sqrt{n} \quad \text{¼m}$$



Key

X maximum operating speed of the shaft × 1 000 (min^{-1})

Y peak-to-peak shaft vibration displacement, relative to bearing (µm)

توربین های گازی بالای 3 Mw با یاتاقان ژرنال

ISO 20816-4:2018(E)

Table A.1 — Values for bearing housing or pedestal RMS vibration velocity at zone boundaries

Zone boundary	RMS vibration velocity at zone boundaries mm/s
A/B	4,5
B/C	9,3
C/D	14,7

Zone boundary A/B

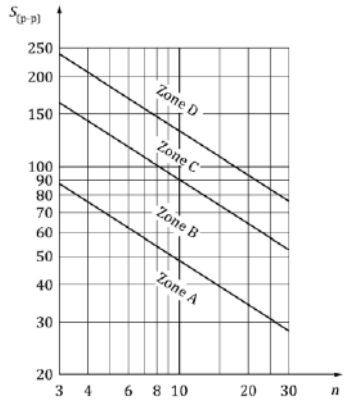
$$S_{(p-p)} = \frac{4\,800}{\sqrt{n}}$$

Zone boundary B/C

$$S_{(p-p)} = \frac{9\,000}{\sqrt{n}}$$

Zone boundary C/D

$$S_{(p-p)} = \frac{13\,200}{\sqrt{n}}$$



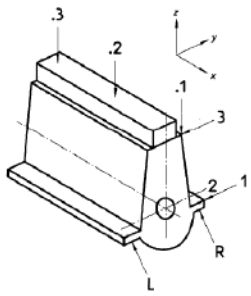
ماشین های رفت و برگشتی بالای 100 KW

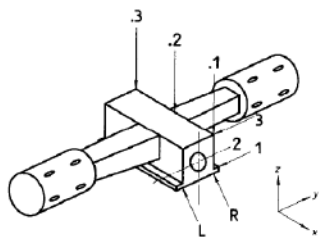
ISO 10816-6:1995(E)

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 10816-6

First edition
1995-12-15





NOTE — See figure 1 for key.

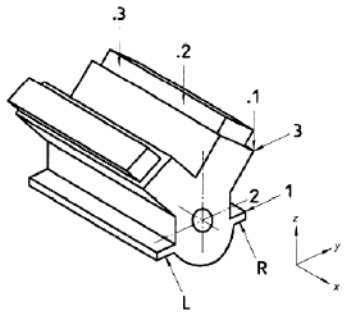
Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts —

Part 6:

Reciprocating machines with power ratings above 100 kW

Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes —

Partie 6: Machines alternatives de puissance nominale supérieure à 100 kW



ماشین های رفت و برگشتی بالای 100 KW

ISO 10816-6:1995(E)

Table 1 — Vibration severity grades
(2 Hz to 1 000 Hz)

Vibration severity grade	Limiting values of overall vibration measured on the machine structure		
	Displacement	Velocity	Acceleration
	μm (r.m.s.)	mm/s (r.m.s.)	m/s^2 (r.m.s.)
1,1	⩽ 17,8	⩽ 1,12	⩽ 1,76
1,8	⩽ 28,3	⩽ 1,78	⩽ 2,79
2,8	⩽ 44,8	⩽ 2,82	⩽ 4,42
4,5	⩽ 71,0	⩽ 4,46	⩽ 7,01
7,1	⩽ 113	⩽ 7,07	⩽ 11,1
11	⩽ 178	⩽ 11,2	⩽ 17,6
18	⩽ 283	⩽ 17,8	⩽ 27,9
28	⩽ 448	⩽ 28,2	⩽ 44,2
45	⩽ 710	⩽ 44,6	⩽ 70,1
71	⩽ 1125	⩽ 70,7	⩽ 111
112	⩽ 1784	⩽ 112	⩽ 176
180	> 1784	> 112	> 176

NOTE — The values were derived from constant displacement in the range 2 Hz to 10 Hz, constant velocity from 10 Hz to 250 Hz and constant acceleration from 250 Hz to 1 000 Hz.

Table 2 — Example of vibration values

Position	Measured vibration values		
	Displacement	Velocity	Acceleration
	μm (r.m.s.)	mm/s (r.m.s.)	m/s^2 (r.m.s.)
R3.1x	100 [grade 7,1]	15 [grade 18]	9 [grade 7,1]
R3.1y	150 [grade 11]	16 [grade 18]	8 [grade 7,1]
R3.1z	250 [grade 18]	22 [grade 28]	10 [grade 7,1]

ماشین های رفت و برگشتی بالای 100 KW

ISO 10816-6:199

Table A.1 — Vibration classification numbers and guide values for reciprocating machines

Vibration severity grade	Maximum values of overall vibration measured on the machine structure			Machine vibration classification number						
	Displacement μm (r.m.s.)	Velocity mm/s (r.m.s.)	Acceleration m/s² (r.m.s.)	1	2	3	4	5	6	7
				Evaluation zones						
1,1	17,8	1,12	1,76	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
1,8	28,3	1,78	2,79							
2,8	44,8	2,82	4,42							
4,5	71,0	4,46	7,01							
7,1	113	7,07	11,1	C	C	C	C	C	C	C
11	178	11,2	17,6							
18	283	17,8	27,9							
28	448	28,2	44,2							
45	710	44,6	70,1	D	D	D	D	D	D	D
71	1125	70,7	111							
112	1784	112	176							
180										

Key to zones

A: The vibration of newly commissioned machines would normally fall within this zone.

B: Machines with vibration within this zone are normally considered acceptable for long-term operation.

C: Machines with vibration within this zone are normally considered unsatisfactory for long-term continuous operation. Generally, the machine may be operated for a limited period in this condition until a suitable opportunity arises for remedial action.

D: Vibration values within this zone are normally considered to be of sufficient severity to cause damage to the machine.

NOTE — Vibration values for reciprocating machines may tend to be more constant over the life of the machine than for rotating machines. Therefore zones A and B are combined in this table. In future, when more experience is accumulated, guide values to differentiate between zones A and B may be provided.

ماشین های رفت و برگشتی بالای 100 KW

ISO 10816-6:1995(E)

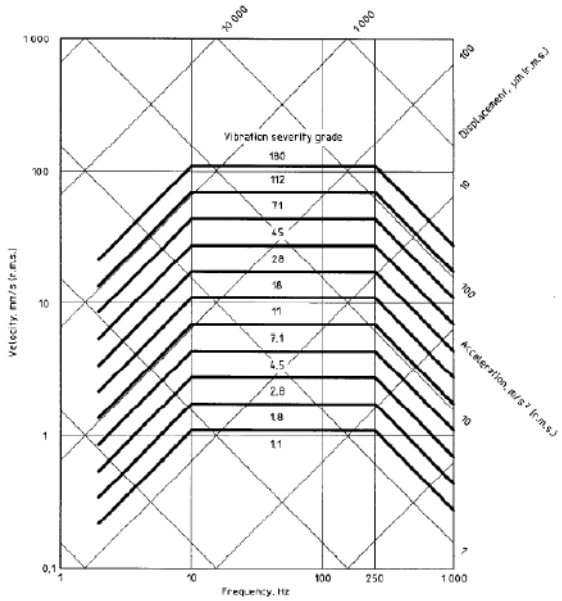


Figure C.1 — Vibration severity grade nomograph

پمپ های روتوردینامیکی صنعتی

ISO 10816-7:2009(E)

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 10816-7

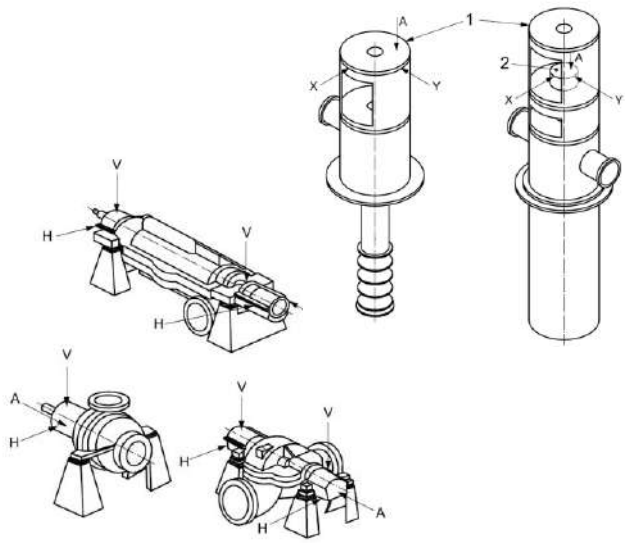
First edition
2009-02-01

Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts —

Part 7:
Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts

Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes —

Partie 7: Pompes rotodynamiques pour applications industrielles, y compris mesurages sur les arbres tournants



پمپ های روتوردینامیکی صنعتی

ISO 10816-7:2009(E)

Category I: Pumps required to have a high level of reliability, availability or safety reasons (e.g. pumps for toxic and/or hazardous liquids; for critical application, oil and gas, special chemical, nuclear or power plant application);
b) **Category II**: Pumps for general or less critical application (e.g. pumps for non hazardous liquids).

Table A.1 — Zone limits for vibration of non-rotating parts of rotodynamic pumps with power above 1 kW, applicable for impellers with number of blades $z_i \geq 3$

Zone	Description (see 5.2 for details of zone definitions)		Vibration velocity limit r.m.s. value mm/s			
			Category [a] I		Category [a] II	
			⩽ 200 kW	> 200 kW	⩽ 200 kW	> 200 kW
A	Newly commissioned machines in preferred operating range		2,5	3,5	3,2	4,2
B	Unrestricted long-term operation in allowable operating range		4,0	5,0	5,1	6,1
C	Limited operation		6,6	7,6	8,5	9,5
D	Risk of damage		> 6,6	> 7,6	> 8,5	> 9,5
Maximum ALARM limit (= 1,25 times the upper limit of zone B) [b]			5,0	6,3	6,4	7,6
Maximum TRIP limit (= 1,25 times the upper limit of zone C) [b]			8,3	9,5	10,6	11,9
In situ acceptance test		Preferred operating range	2,5	3,5	3,2	4,2
		Allowable operating range	3,4	4,4	4,2	5,2
Factory acceptance test		Preferred operating range	3,3	4,3	4,2	5,2
		Allowable operating range	4,0	5,0	5,1	6,1
For all acceptance tests in the preferred operating range (see 3.4), each of the filtered values [c] for rotational frequency (f_n) and blade-passing frequency ($f_n \cdot z_i$) should be			⩽ 2	⩽ 2	⩽ 3	⩽ 3

[a] For definition, see 5.1.

[b] Recommended values. The vibration magnitudes should be above these limits for about 10 s before an ALARM or TRIP is released to avoid false alarms and trips.

[c] For acceptance tests in the allowable but outside the preferred operating range, the filtered values for rotational frequency (f_n) and blade-passing frequency ($f_n \cdot z_i$) may be expected to be higher (1,3 times) than the values for the preferred operating range.

پمپ های روتوردینامیکی صنعتی

ISO 10816-7:2009(E)

Table A.2 — Additional criteria for vibration limits on non-rotating parts of rotodynamic pumps with running speed below 600 r/min, valid for filtered displacement values (0,5 times, 1 times and 2 times the running speed)

Zone	Description (see 5.2 for details of zone definitions)	Vibration displacement limit peak-to-peak value μm
A	Newly commissioned machines in preferred operating range	50
B	Unrestricted long-term operation in allowable operating range	80
C	Limited operation	130
D	Risk of damage	> 130
Maximum ALARM [a]		100
Maximum TRIP [a]		160
In situ acceptance test	Preferred operating range	50
	Allowable operating range	65
Factory acceptance test	Preferred operating range	65
	Allowable operating range	80
[a] Recommended values. The vibration magnitudes should be above these limits for about 10 s before an ALARM or TRIP is released to avoid false alarms and trips.		
NOTE The limits are applicable for each discrete frequency mentioned.		

پمپ های روتوردینامیکی صنعتی

ISO 10816-7:2009(E)

Table B.1 — Recommended values for maximum relative displacement of the shaft as a function of the nominal diametrical clearance for rotodynamic pumps with hydrodynamic bearings

Zone	Description (see 5.2 for details of zone definitions)		Limit for peak-to-peak shaft vibration displacement in relation to the diametrical clearance of oil lubricated hydrodynamic bearing [a]
A	Newly commissioned machines in preferred operating range		0,33 × bearing clearance in new state
B	Unrestricted long-term operation in allowable operating range		0,5 × bearing clearance in new state
C	Limited operation		0,7 × bearing clearance in new state
D	Risk of damage		> 0,7 × bearing clearance in new state
Maximum ALARM [b]			0,6 × bearing clearance in new state
Maximum TRIP [b]			0,9 × bearing clearance in new state
In situ acceptance test		Preferred operating range	0,33 × bearing clearance in new state
		Allowable operating range	0,5 × bearing clearance in new state
Factory acceptance test		Preferred operating range	0,33 × bearing clearance in new state
		Allowable operating range	0,5 × bearing clearance in new state

[a] The pump manufacturer shall specify the nominal value of the hydrodynamic bearing clearance.

[b] Recommended values. The vibration magnitudes should be above these limits for about 10 s before an ALARM or TRIP is released to avoid false alarms and trips.

کمپرسورهای رفت و برگشتی

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 20816-8

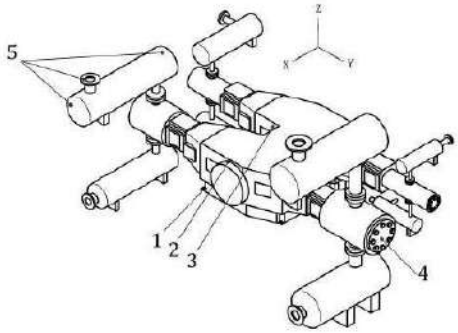
First edition
2018-08

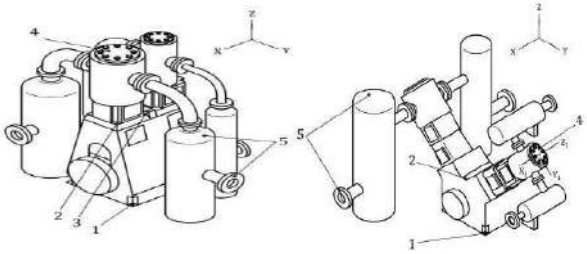
Mechanical vibration — Measurement and evaluation of machine vibration —

Part 8:
Reciprocating compressor systems

Vibrations mécaniques — Mesurage et évaluation des vibrations machines —

Partie 8: Systèmes de compresseurs alternatifs





کمپرسورهای رفت و برگشتی

Table 2 — Summary of overall constant vibration displacement values for different compressor system parts

Compressor system part	RMS vibration displacement values for horizontal compressors mm			RMS vibration displacement values for vertical compressors mm		
	Evaluation zone boundary			Evaluation zone boundary		
	A/B	B/C	C/D	A/B	B/C	C/D
Foundation	0,032	0,048	0,072	0,032	0,048	0,072
Frame (top)	0,084	0,127	0,191	0,084	0,127	0,191
Cylinder (lateral)	0,139	0,207	0,310	0,170	0,255	0,382
Cylinder (rod)	0,170	0,255	0,382	0,139	0,207	0,310
Dampers	0,202	0,302	0,454	0,202	0,302	0,454
Mainline piping	0,202	0,302	0,454	0,202	0,302	0,454
Small bore connection	See Table E.2					

کمپرسورهای رفت و برگشتی

Table 3 — Summary of overall constant vibration velocity values for different compressor system parts

Compressor system part	RMS vibration velocity values for horizontal compressors mm/s			RMS vibration velocity values for vertical compressors mm/s		
	Evaluation zone boundary			Evaluation zone boundary		
	A/B	B/C	C/D	A/B	B/C	C/D
Foundation	2,0	3,0	4,5	2,0	3,0	4,5
Frame (top)	5,3	8,0	12,0	5,3	8,0	12,0
Cylinder (lateral)	8,7	13,0	19,5	10,7	16,0	24,0
Cylinder (rod)	10,7	16,0	24,0	8,7	13,0	19,5
Dampers	12,7	19,0	28,5	12,7	19,0	28,5
Mainline piping	12,7	19,0	28,5	12,7	19,0	28,5
Small bore connection	See Table E.3					
NOTE For mainline piping vibration values above evaluation zone boundary C/D, see Table 1, Note 3.						

کمپرسورهای رفت و برگشتی

Table 4 — Summary of overall constant vibration acceleration values for different compressor system parts

Compressor system part	RMS vibration acceleration values for horizontal compressors m/s²			RMS vibration acceleration values for vertical compressors m/s²		
	Evaluation zone boundary			Evaluation zone boundary		
	A/B	B/C	C/D	A/B	B/C	C/D
Foundation	2,5	3,8	5,7	2,5	3,8	5,7
Frame (top)	6,7	10,1	15,1	6,7	10,1	15,1
Cylinder (lateral)	10,9	16,3	24,5	13,5	20,1	30,2
Cylinder (rod)	13,5	20,1	30,2	10,9	16,3	24,5
Dampers	16,0	23,9	35,8	16,0	23,9	35,8
Mainline piping	16,0	23,9	35,8	16,0	23,9	35,8
Small bore connection	See Table E.4					