

معیارها و روش‌های ارزیابی نتایج در برنامه تحلیل روغن موتورهای دیزل

محمد رضا رستگار^۱

شرکت مهندسان مشاور و خدمات صنعتی پذیرش نوین
rastegar@engineer.com

چکیده

معیار و روش ارزیابی نتایج آزمایشات همواره یکی از چالشهای اصلی در برنامه‌های تحلیل روغن بوده است. سازندگان تجهیزات، سازندگان روغن و آزمایشگاههای تحلیل روغن معیارها و روشهایی برای ارزیابی وضعیت روغن ارائه می‌دهند. هر یک از این معیارها مبتنی بر دیدگاههایی است که آگاهی از آنها در زمان استفاده ضروری است. در این مقاله سعی شده است روشهای مختلف ارزیابی نتایج و محدودیتهای و ویژگیهای آنها بیان و راهنمایی‌هایی برای بهره‌گیری بهتر از این معیارها و ارزیابی دقیقتر نتایج ارائه شود. همچنین راهنمایی‌هایی برای تلفیق و تطبیق روشها برای دستیابی به نتایج بهتر نیز بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل روغن - پایش روغن - فرسایش

۱- مقدمه

نخستین پرسشی که در هر برنامه تحلیل روغن مطرح می‌شود معیار و نحوه تحلیل و ارزیابی نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها می‌باشد. نگرشها و رویه‌های مختلفی برای ارزیابی نتایج وجود دارد که در این مقاله سعی شده است این رویه‌ها و نگرشها معرفی و بررسی شوند.

به طور کلی معیارها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول معیارهای عملکردی هستند و دسته دوم معیارهای قابلیت اطمینان یا معیارهای پیش‌بینانه و پیش‌گویانه هستند. در معیارهای دسته اول محدوده‌هایی برای خواص روغن تعیین می‌شود که در صورتیکه خواص روغن در آن محدوده‌ها باشد روغن برای کارکرد مورد نظر قابل استفاده است.

در این دسته معیارها برای عواملی همچون ویسکوزیته، عدی بازی، مواد نامحلول و آلاینده‌های موجود در روغن تعیین می‌شود و روغن در صورتی باید استفاده شود یا استفاده از آن ادامه یابد که با این معیارها همخوانی داشته باشد.

دسته دوم معیارها برای عواملی تعیین می‌شوند که بررسی آنها می‌تواند منجر به ارزیابی وضعیت دستگاه و پیش‌بینی وضعیت آینده آن شود. مثال بارز این عوامل عناصر فرسایشی است. البته بدیهی است که اگر تغییر خواص روغن و یا افزایش آلاینده‌ها در مدت زمانی کمتر از آنچه انتظار می‌رود اتفاق بیفتد نشان از وجود عیب در دستگاه می‌باشد. بنابراین این معیارها برای عوامل دسته اول نیز قابل تعریف می‌باشند.

به طور کلی در ارزیابی کمیتهای دو عامل مورد توجه قرار می‌گیرد: یکی مقدار مطلق کمیت و دیگری تغییرات آن. در برنامه‌های تحلیل روغن نیز در برخی نگرشها مقدار مطلق کمیتهای و در برخی دیگر تغییرات و در بعضی از روشها نیز هر دو به طور همزمان مورد توجه قرار می‌گیرند. اما نکته‌ای که در کلیه تحلیلهای باید مورد توجه قرار بگیرد این است که شرایط روغن تحت تاثیر عوامل زیادی همچون:

۱- کارشناس ارشد نت

الف- شرایط کارکرد، بارگذاری و بهره برداری

ب- مشخصات عمومی دستگاه مانند سازنده، ساختار و ...

ج- مشخصات خاص دستگاه مانند عمر، لقی‌ها، رواداریها و ...

می‌باشد، در نتیجه استفاده از این روشها به عنوان یک راه حل کلی و بدون در نظر گرفتن سایر شرایط همواره نمی‌تواند نتایج مطلوبی داشته باشد[۱]. به عبارت دیگر فرسایش و سایر پارامترها مانند آلودگی سوخت و آب با تغییر شرایط کاری و بارگذاری، تغییر نوع موتور، مدل موتور، عمر و .. تغییر خواهد کرد و در ارزیابی نتایج این موارد باید مد نظر باشد.

اهمیت توجه به این موارد به حدی است که برخی از سازندگان معتبر موتورها بر این باورند که امکان ارزیابی درست و قابل اطمینان از نتایج آزمایشات اندازه‌گیری فلزات فرسایشی وجود ندارد[۲].

همچنین باید توجه داشت که ارزیابی موفق نتایج در یک برنامه تحلیل روغن بدون رعایت پیش نیازهای زیر امکان پذیر نمی‌باشد:

- انجام نمونه‌گیری منظم و پیوسته
- روش صحیح نمونه‌گیری
- انتخاب آزمایشات مناسب و انجام صحیح آنها
- داشتن اطلاعات کافی در مورد دستگاهی که مورد بررسی قرار گرفته است
- داشتن اطلاعات کافی در مورد روغن مورد استفاده
- آگاهی و دانش کافی در مورد آزمایشات انجام شده و محدودیت‌های آنها
- داشتن اطلاعات و پسخورندهای مناسب و مفید از بهره‌بردار

۲- تعیین حدود ثابت (Fixed limits)

در این نگرش محدوده‌های ثابتی برای کمیته‌ها تعریف می‌شود که معمولاً شامل سه محدوده عادی (normal)، غیرعادی (abnormal) و بحرانی (critical) می‌باشد. این کمیت می‌تواند مقدار مطلق فرسایش یا آلاینده‌گی باشد و یا نرخ فرسایش یا آلاینده‌گی برحسب ساعت کارکرد باشد. برای تعیین وضعیت دستگاه‌ها مقادیر به دست آمده از آزمایش با حدهای تعیین شده مقایسه شده و شرایط دستگاه ارزیابی می‌شود. متداولترین روش تعیین این حدود تحلیل آماری می‌باشد. روش‌های مرسوم آماری استفاده از تابع نرمال و درصد تجمعی می‌باشد. بر پایه تابع توزیع نرمال و در اختیار داشتن نمونه‌های کافی (نمونه‌هایی که در زمانی که از سالم بودن دستگاه اطمینان وجود داشته است و شرایط کارکرد عادی بوده است گرفته شده‌اند) مقدار متوسط به علاوه انحراف معیار مرز محدوده عادی و غیرعادی (حد هشدار) و مقدار متوسط به علاوه دو برابر انحراف معیار مرز بین محدوده غیر عادی و بحرانی (حد بحران) تعیین می‌شود. بنابراین مقادیر کمتر از مقدار متوسط به علاوه انحراف معیار، عادی و مقادیر بیش از مقدار متوسط به علاوه دو برابر انحراف معیار، بحرانی محسوب می‌شوند و مقادیر بین این دو حد غیر عادی هستند[۳و۴].

در روش استفاده از درصد تجمعی مقداری که ۸۵ درصد از نمونه‌ها کمتر از آن هستند سطح هشدار و مقداری که ۹۵ درصد از نمونه‌ها کمتر از آن هستند سطح بحران تعیین می‌شود[۵].

داشتن تعداد مناسب از نمونه‌های قابل استفاده یعنی نمونه‌هایی که در زمانی که از سلامت ماشین و کارکرد مناسب آن اطمینان وجود داشته است گرفته شده‌اند شرط لازم برای انجام موفق این روش می‌باشد.

۳- تحلیل گروهی (Family analysis)

در این نگرش نتایج به دست آمده از آزمایشات مجموعه‌ای از دستگاه‌های مشابه (یک مدل) که در شرایط یکسانی کار می‌کنند مقایسه می‌شود. در این روش نیز نتایج به دست آمده تحلیل آماری شده و محدوده‌ها همانند محدوده‌های تعریف شده در تعیین حدود ثابت تعیین می‌شوند [۳].

مشکلات اصلی این روش همانند مشکلات روش قبلی می‌باشد و با توجه به اینکه نتایج دستگاه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند تاثیر لقی‌ها و رواداریها قابل توجه‌تر می‌شود. از طرفی چون می‌توان بانک اطلاعاتی بزرگی با در نظر گرفتن شرایط کاری مختلف ایجاد نمود تاثیر شرایط کاری می‌تواند کمتر شود و زمان کمتری برای بدست آوردن داده‌های موردنیاز برای تعیین حدود لازم است.

۴- روند گرایی (Trending analysis)

در این نگرش تغییرات کمیتها با زمان برای یک دستگاه خاص بررسی می‌شود و با ارزیابی این تغییرات وضعیت حال و آینده دستگاه تعیین می‌شود. در صورتیکه شرایط و فواصل نمونه برداری ثابت باشد با آگاهی از شرایط کارکرد دستگاه و دنبال کردن تغییرات پارامترها می‌توان نتایج مطلوبی به دست آورد. در ارزیابی نتایج نرخ تغییرات و مقدار تغییرات باید همزمان مورد توجه قرار بگیرد. هر گونه تغییرات غیرعادی در نرخ یا مقدار تغییرات باید به عنوان هشدار مورد توجه قرار بگیرد. مهمترین مزیت این روش عدم وابستگی آن به شرایط عمومی و خاص دستگاه می‌باشد و فقط به شرایط کاری و بارگذاری دستگاه وابسته است و براحتی برای هر دستگاهی قابل اجراست [۳ و ۶].

با توجه به اینکه فقط با داشتن نتایج چهار آزمایش پشت سرهم در این روش می‌توان شرایط آتی دستگاه را پیش بینی کرد این روش رایج‌ترین روش مورد استفاده در برنامه‌های تحلیل روغن می‌باشد. حتی اگر این روش تنها روش مورد استفاده نباشد همواره توصیه می‌شود در کنار سایر روشها بکار گرفته شود چرا که در بسیاری از شرایط تغییرات یک کمیت مهمتر از مقدار مطلق آن می‌باشد.

در این روش معمولاً نتایج هر آزمایش در کنار نتایج سه آزمایش ما قبل تحلیل می‌شود. بدین ترتیب که روند تغییرات در در نتایج آزمایش آخر و دو آزمایش ما قبل با روند تغییرات در نتایج سه آزمایش ما قبل مقایسه شده و در صورت افزایش محسوس در نرخ تغییرات شرایط دستگاه نامطلوب و غیرعادی ارزیابی می‌شود. توجه به نکات زیر در هنگام ارزیابی و تحلیل نتایج می‌تواند منجر به تحلیل‌های قابل اطمینان‌تری شود.

- خطای اندازه‌گیری تجهیزات اندازه‌گیری
- صعودی بودن روند تغییرات در شرایط غیرعادی
- در صورتیکه فرسایش عادی در محدوده ۵۰ ppm تا ۱۰۰ ppm باشد ۵۰ درصد افزایش می‌تواند سطح هشدار مناسبی باشد ولی برای مقادیر بیشتر فرسایش این درصد باید کمتر و برای مقادیر کمتر این درصد باید بیشتر در نظر گرفته شود [۷]. همچنین مقادیر داده شده در جدول زیر می‌تواند به عنوان راهنما برای تعیین سطح هشدار مورد استفاده قرار گیرد [۸].

جدول ۱- راهنمای سطح هشدار برای افزایش فلزات فرسایشی [۸]

عنصر	سرب	آهن	قلع	نیکل	سیلیکون	سدیم	منیزیم	مس	کروم
مقدار افزایش	۱۰	۳۰	۱۰	۱۰	۴۰	۸۰	۳۰	۵۰	۱۰

۵- ترکیب روشها

برای پیاده سازی یک برنامه تحلیل روغن کارآمد توصیه می شود هر سه روش فوق هم زمان بکار گرفته شوند و در صورت استفاده هم زمان از هر سه روش نتایج قابل اطمینان تری از ارزیابی ها به دست خواهد آمد [۳].

توصیه می شود در ارزیابی فلزات فرسایشی پارامتر بی بعد زیر به جای مقدار مطلق فرسایش ارزیابی شود [۱]:

مقدار فرسایش - متوسط فرسایش نرمال

متوسط فرسایش مدل یا نوع

در این رابطه مقدار فرسایش، نتیجه به دست آمده از آخرین آزمایش و متوسط فرسایش، میانگین مقادیر به دست آمده از آزمایشات قبلی انجام شده روی همان دستگاه می باشد و متوسط فرسایش مدل یا نوع میانگین به دست آمده از متوسط فرسایش به دست آمده از آزمایشات انجام شده بر روی کلیه دستگاه های موجود از همان نوع یا مدل می باشد.

ارزیابی مقدار و تغییرات این پارامتر در واقع نوعی ترکیب هم زمان سه روش فوق می باشد. در کنار این روشها همواره توصیه های سازنده نیز باید به عنوان راهنما مورد توجه قرار گیرد.

۶- معیارهای تعیین شده از طرف سازنده

بسیاری از سازندگان معیارها و راهنمایی هایی برای ارزیابی وضعیت روغن استفاده شده ارائه می دهند. این معیارها عمدتاً حد مجاز آلاینده ها برای آسیب نزدن به دستگاه می باشد. با توجه به اینکه این معیارها نیز بر مبنای روشهای آماری بدست می آیند کلیه محدودیتهایی که در روشهای قبل وجود دارد در این معیارها نیز وجود دارد. علاوه بر این با توجه به اینکه این معیارها معمولاً برای یک مدل از دستگاهها ارائه می شود باید احتیاط بیشتری در استفاده از آنها به خرج داد چرا که اثرات شرایط خاص دستگاه مانند رواداریها و لقی ها در این معیارها بیشتر است [۵].

همچنین سازندگان روغن نیز معمولاً حدهای مجازی برای مقدار آلاینده های موجود در روغن تعیین می کنند بدیهی است که رعایت این حدود برای عملکرد صحیح دستگاه ضروری است ولی برای تحلیل و ارزیابی صحیح از وضعیت روغن فقط باید به عنوان یک راهنما استفاده شوند [۵].

۷- معیارهای موردی

با توجه به اهداف تعریف شده برای برنامه تحلیل روغن و شرایط کارکرد هر دستگاه معمولاً نیاز به تعریف معیارهای خاص و موردی میباشد. مثالهای زیر میتوانند این موضوع را روشنتر بیان کنند.

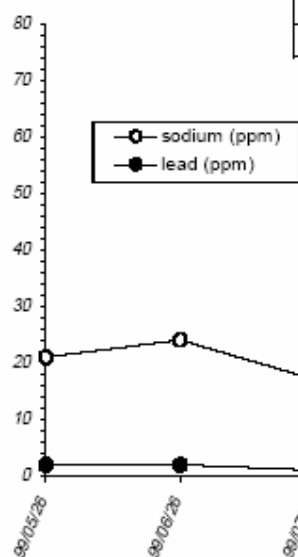
مثال اول:

نتایج بدست آمده از آنالیز عنصری نمونه های روغن گرفته شده از موتور یک لوکوموتیو برای دو عنصر قلع و سدیم در شکل شماره (۱) نشان داده شده است. عنصر سدیم معیاری برای ارزیابی مقدار نشت آب و عنصر قلع معیاری برای ارزیابی خوردگی یاتاقان می باشد. بررسی نتایج نشان می دهد که با افزایش مقدار سدیم از ۲۵ ppm مقدار قلع به شدت افزایش می یابد که نشان دهنده افزایش شدید خوردگی یاتاقان با افزایش مقدار آب می باشد. در این مورد اگرچه مقدار مجاز سدیم از طرف سازنده ۲۰۰ ppm اعلام شده بود برای جلوگیری از خوردگی یاتاقانها ۲۵ ppm تعیین شد [۵].

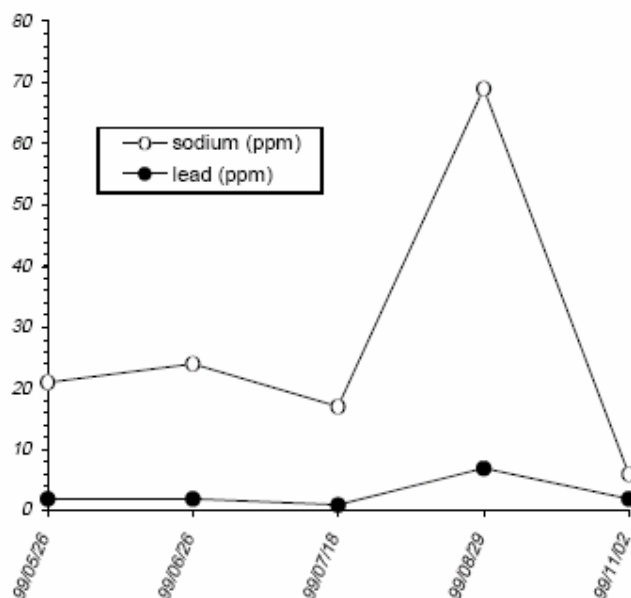
مثال دوم:

همانند مثال قبل نتایج بدست آمده از آنالیز عنصری نمونه های روغن گرفته شده از استرن تیوب یک شناور برای دو عنصر قلع و سدیم در شکل شماره (۲) نشان داده شده است. باز هم بررسی نتایج نشان می دهد که با افزایش مقدار سدیم از ۲۰ ppm مقدار قلع به شدت افزایش می یابد که نشان دهنده افزایش شدید خوردگی یاتاقان با افزایش مقدار آب می باشد در حالیکه در مقادیر سدیم کمتر خوردگی یاتاقانها بسیار ناچیز می باشد. در این مورد نیز مقدار مجاز سدیم برای جلوگیری از خوردگی یاتاقانها ۲۰ ppm تعیین شد [۵].

date	sodium/ppm	lead/ppm
99/05/26	21	2
99/06/26	24	2
99/07/18	17	1
99/08/29	69	7
99/11/02	6	2



شکل شماره (۱) - نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه روغن‌های گرفته شده از موتور لوکوموتیو [۵]

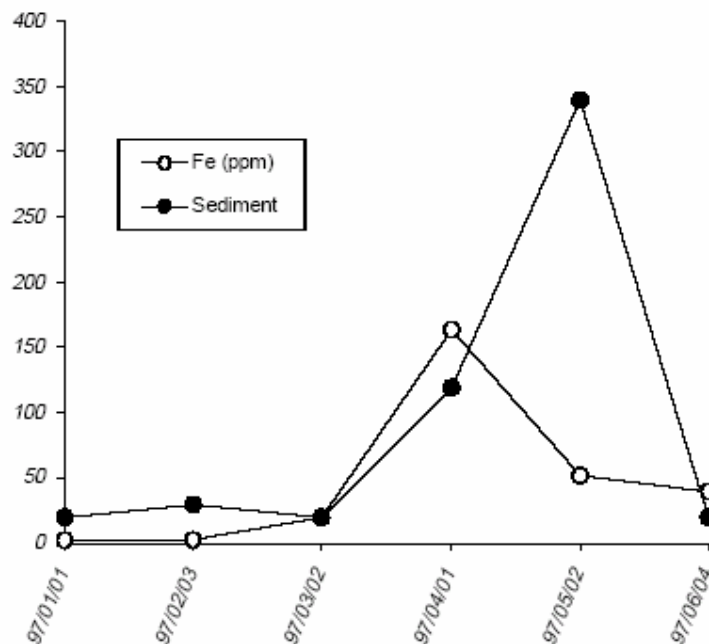


شکل شماره (۲) - نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه روغن‌های گرفته شده از استرن تیوب [۵]

۸- لزوم آشنایی با روشهای آزمایش

یکی از موارد کلیدی که در ارزیابی‌ها باید مورد توجه قرار بگیرد روش آزمایش مورد استفاده می‌باشد. هر یک از روشهای موجود آزمایش و اندازه گیری دارای محدودیتهایی می‌باشند که عدم توجه به آنها منجر به نتایج اشتباه خواهد شد. به عنوان مثال روش اسپکتروگرافی که رایج‌ترین روش برای اندازه‌گیری فلزات فرسایشی است در اندازه ذرات دارای محدودیت می‌باشد و با توجه به روش تحریک استفاده شده فقط ذرات کمتر از ۵ یا ۱۰ میکرون را شمارش می‌کند. به عبارت دیگر در هر دو روش تحریک در صورتیکه ابعاد از حد مشخصی بزرگتر باشند قابل تشخیص نمی‌باشند که عدم توجه به این نکته منجر به ارزیابی غلطی از نتایج خواهد شد. برای جبران ضعف اسپکتروگرافی باید روشهای دیگر مانند فروگرافی و شمارش ذرات در کنار آن برای ارزیابی ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرون استفاده شود. مثال زیر این موضوع را بهتر نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه‌های روغن گرفته شده از یک موتور که با سوخت گاز طبیعی کار می‌کند در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایش اسپکتروگرافی نشان می‌دهد که مقدار آهن در ماه آوریل به شدت افزایش یافته که نشانه وجود فرسایش شدید می‌باشد. ولی در ماه بعد به مقدار طبیعی برگشته است و ظاهراً مشکل خودبخود حل شده است. اما در واقع با افزایش شدت فرسایش ابعاد ذرات بزرگتر از محدوده قابل تشخیص با روش اسپکتروگرافی شده‌اند [۵]. بنابراین عدم توجه به روش آزمایش می‌تواند منجر به نتایج کاملاً اشتباهی شود.



شکل شماره (۳) - نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه روغن‌های گرفته شده در ماههای مختلف [۵]

۹- تصحیح معیارها بوسیله تجربه‌های عملی

از مقاسیه پیش بینی‌های حاصل از آزمایش و شرایط واقعی دقت ارزیابی‌ها و تفسیرهای آزمایشگاه تعیین می‌شود. معیارها باید بوسیله تجربه عملی اصلاح شود. بخشی از این تجربه از بازخوردهای بهره‌بردار که می‌تواند موارد زیر را شامل می‌شود بدست می‌آید:

- شرایط غیر عادی دستگاه و روانکار از نظر بهره‌بردار
- نتایج و کشفیات هر بازدیدی که بعنوان توصیه برنامه تحلیل روغن انجام شده

- شرایط غیر عادی روانکار و دستگاه که قبلاً با تحلیل روغن نشان داده نشده بود
- اطلاعات حاکی از تغییر در عملکرد دستگاه و شرایط محیطی عملکرد
- نتایجی که از سرویس و نگهداری حاصل شده

۱۰- نتیجه گیری

برای اینکه بتوان ارزیابی و تحلیل درستی از نتایج آزمایشات روغن بدست آورد رعایت موارد زیر توصیه می‌شود:

- نمونه گیری منظم و پیوسته
 - انجام نمونه گیری به روش صحیح
 - توجه به شرایط کارکرد و بارگذاری دستگاه
 - ایجاد بانک اطلاعاتی جامع و ثبت اطلاعات مفید و مورد نیاز
 - مدنظر داشتن توصیه‌ها و راهنمایی‌های سازندگان تجهیزات و تولید کنندگان روغن
 - ارزیابی همزمان مقدار مطلق کمیته‌ها و تغییرات آنها
 - آشنایی با آزمایشهای انجام شده و محدودیتهای آنها
 - ارزیابی همه جانبه و در صورت لزوم تعیین معیارهای موردی براساس اهداف تعریف شده
 - و آموزش و ارتقای دانش همه افرادی که با برنامه ارتباط دارند.
- مهمترین عامل در موفقیت برنامه تحلیل روغن داشتن تعداد کافی نمونه روغن قابل استفاده و نتایج آزمایش قابل استناد می‌باشد و ساده‌ترین و موثرترین راه برای تحلیل نتایج دنبال کردن روند تغییرات و درنظر گرفتن توصیه‌های سازندگان و توجه به محدودیتهای آزمایشات می‌باشد.

مراجع

- [1] V. Macian, B. Tormos, P. Olmeda, L. Montoro, Analytical approach to wear rate determination for internal combustion engine condition monitoring based on oil analysis, Tribology International 36 (2003) 771-776
- [2] MTU, Publication A001061/28E 03-07, Lubricant, Laboratory analysis
- [3] Darrin Clark, A new approach to assessing wear problems using oil analysis, Practicing oil analysis magazine, September 2004
- [4] Jonathan Sowers, Use statistical analysis to create wear debris alarm limits, Practicing oil analysis magazine, November 2001
- [5] Mark Barnes, Advanced strategies for selecting oil analysis alarms and limits, Practicing oil analysis conference, 2000
- [6] Mark Barnes, Elemental analysis, Practicing oil analysis magazine, January 2002
- [7] Jack Poley, Reciprocating engine oil analysis, Practicing oil analysis conference, 2000
- [8] Lloyd's Register, Machinery planned maintenance and condition monitoring, May 2004