

ЛИТЕРАТУРА

1. Таукелев Р.Н., Жусупов К.А. Особенности рабочего процесса и перспективы освоения новых экскавационно-транспортных машин с инерционным ротором. Сборник научных трудов «Транспорт Евразии-2004», Алматы, с.120-121
2. Таукелев Р.Н. Выбор основных параметров и перспективы создания экскавационных машин с инерционным ротором нижней разгрузки, автореферат на соискание уч. степени д.т.н., - М: МИСИ, 1992, с.45
3. Щадов М.И., Владимиров В.М. и др. Экскавационно-транспортные машины непрерывного действия: Справочник механика открытых работ. М: Недра, 1990, с.161

УДК 621.89+629.5.03

Мухамбетов Газиз Мансурович – к.т.н., доцент (Актау, Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова)
Якубова Даметкен Курмангалиевна – преподаватель (Актау, Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова)

**ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ РЕДУКТОРОВ
РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ**

Наличие широко развитой базы методов и средств диагностирования недостаточно для решения проблемы перехода на эксплуатацию оборудования "по состоянию" в целом для судостроительной отрасли [1]. Необходим промежуточный этап: создание и внедрение в отрасли единой распределенной системы диагностического обслуживания оборудования. Эта система призвана обеспечивать максимально возможные для конкретных условий эксплуатации экономичность и надежность работы оборудования путем своевременной и ориентированной выдачи рекомендаций по устранению выявленных неисправностей и принятию мер по их оперативной реализации при минимальных сроках возможного отклонения режима работы оборудования от рабочего.

Существует большое число приборов, реализующих различные методы технической диагностики. К сожалению, в преобладающем большинстве они либо не имеют необходимого для практического использования методического обеспечения, либо последнее не адаптировано к конкретному объекту в условиях рыбопромысловых флотов. Отсюда до последнего времени нет полной ясности об области целесообразного применения каждого метода для решения практических задач диагностики, с одной стороны, и каждого прибора, реализующего единый метод безразборного контроля - с другой.

В этих условиях в качестве первоочередных задач были поставлены задачи не создания новых приборов, а определение наиболее эффективных методов и приборов (из числа используемых) для задач технической диагностики главных редукторов рыбопромысловых судов, разработка и адаптация к конкретным условиям методик использования наиболее эффективных приборов технической диагностики.

В институте морских технологий Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова проводятся научные исследования по повышению эффективности технического обслуживания и ремонта эксплуатирующихся рыболовных судов. Одним из направлений является разработка технологий безразборной технической диагностики редукторов рыбопромысловых судов с использованием вибрационного канала информации и анализа продуктов износа в масле по методу рентгеновского флуоресцентного анализа.

Измерение вибраций на опорных валах дизель-редукторных агрегатов осуществлялось с помощью измерительного канала фирмы " Briel & Kjaer " (Дания), состоящего из пьезоэлектрического акселерометра 4370, виброметра 2511, и перестраиваемого третьоктавного фильтра 1621.

Виброизмерительная аппаратура обеспечивала возможность контроля эффективных значений уровней вибрации в третьоктавных полосах частотой (23%) в частотном диапазоне от 10 Гц до 5 кГц при общем частотном диапазоне регистрируемой вибрации от 5 Гц до 12,5 кГц. Для реализации метода диагностики зарождающихся дефектов подшипников качения использовались анализаторы сигналов в частотном диапазоне до 1 кГц с разрешающей способностью не хуже 5 Гц.

При определении содержания металлов в пробах масла использовался рентгеновский флуоресцентный метод контроля на базе модернизированного анализатора "Барс-3".

По результатам исследований разработана методика безразборной диагностики редукторов рыбопромысловых судов.

Безразборная диагностика редукторов производится перед ремонтом, после ремонта и в процессе эксплуатации в целях повышения эксплуатационной надёжности и снижения ремонтных затрат главных энергетических устройств (ГЭУ) рыбопромысловых судов, имеющих в своём составе редукторы.

Безразборная диагностика проводится с использованием контроля и анализа сигналов вибрации редуктора и анализа содержания металлов в маслах специально обученным персоналом с использованием прошедшей государственную поверку аппаратуры.

Режим и объем контроля

В качестве основного режима контроля вибрации, используется режим швартовных испытаний:

Частота вращения дизеля - номинальная

Мощность на валогенераторах при нулевом развороте лопастей винта (ВУШ = 0):

переменного тока - $N_{вг} \geq 80\% N_{ном}$

постоянного тока - без нагрузки

Допустимым отклонением от указанных режимов являются швартовные испытания при номинальной нагрузке дизеля у плавпричала (ВУШ).

При двух главных двигателях (ГД) для увеличения базы сравнения результатов контроля рекомендуется режим побортной работы дизелей.

В соответствии с п. 9.2.5 Части 7 «Правил классификации и постройки морских судов» [2] контроль вибрации редукторов производится на всех подшипниковых узлах валов редуктора. В каждой точке контроль проводится в трёх направлениях: вертикальном, горизонтально-траверзном и горизонтально-продольном. Ввиду того, что доступ к подшипникам редуктора в горизонтально-траверзном направлении ограничен, допускаются измерения только в вертикальном и горизонтально-продольном направлении, что, как показывает опыт, не приводит к снижению достоверности диагностических заключений.

Контрольные пробы по продуктам износа в маслах (металлам: железу, меди, хрому) отбираются специалистами в порту или судовым экипажем в море. Место отбора - манометровый кран перед масляным фильтром редуктора. Перед отбором контрольной пробы необходимо слить через манометровый кран не менее 0,5 литра масла для спуска масла в манометровой трубке. Отбор производится с работающего редуктора или сразу после его остановки.

Требования к применяемой аппаратуре.

Виброизмерительная аппаратура должна обеспечивать возможность контроля эффективных значений уровней вибрации в третьоктавных полосах частотой (23%) в частотном диапазоне от 10 Гц до 5 кГц при общем частотном диапазоне регистрируемой вибрации от 5 Гц до 12,5 кГц. Высокочастотная (> 5 кГц) компонента вибрации необходима для реализации метода диагностики зарождающихся дефектов подшипников качения.

Для реализации метода диагностики зарождающихся дефектов подшипников качения могут использоваться анализаторы сигналов в частотном диапазоне до 1 кГц с разрешающей способностью не хуже 5 Гц. Так как метод не связан с абсолютными измерениями уровня и основан на оценке относительного параметра превышения уровня над широкополосным фоном, возможно использование аналогов виртуальных анализаторов на базе ПЭВМ, не подлежащих процедуре поверки. Примером приборной реализации анализа вибрации может быть измерительный канал фирмы " Bruel & Kjear " (Дания), состоящий из пьезоэлектрического акселерометра 4370, виброметра 2511, и перестраиваемого третьоктавного фильтра 1621.

При определении содержания металлов в пробах масла следует использовать рентгеновский флуоресцентный метод контроля на базе модернизированного анализатора "Барс-3" и "Методики определения содержания продуктов износа в работающих маслах судовых двигателей и механизмов рентгеноспектральным методом с применением анализатора "Барс-3".

Критерии оценки технического состояния редуктора

Основным критерием оценки технического состояния редукторов по параметрам вибрации является соответствие полученного максимального по точкам контроля уровня среднего квадратичного (эффективного) значения виброускорения в третьоктавных полосах частот, выраженного в дБ относительно $3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ с нормой вибрации редуктора так же выраженной в виде третьоктавного спектра. Такой метод оценки технического состояния объекта диагностики по параметрам вибрации соответствует требованиям п. 9.2.4 Части 7 [2].

Частотный диапазон нормирования вибрации от 25 Гц до 5 кГц определяется задачами диагностики и включает в себя, как частотный диапазон проявления дефектов зацепления (100 Гц...3 кГц), так и диапазон проявления развитых (50...500 Гц) и зарождающихся (4...5 кГц) дефектов подшипников.

Статистически обоснованные местные нормы вибрации редукторов разработаны с учётом рекомендаций по местному нормированию шума и вибрации машин в промышленности МКШС-71 и не превышают требований п. 9.3.2 Части 7 [2]. По мере накопления данных по результатам контроля нормы могут дополняться и уточняться в установленном порядке.

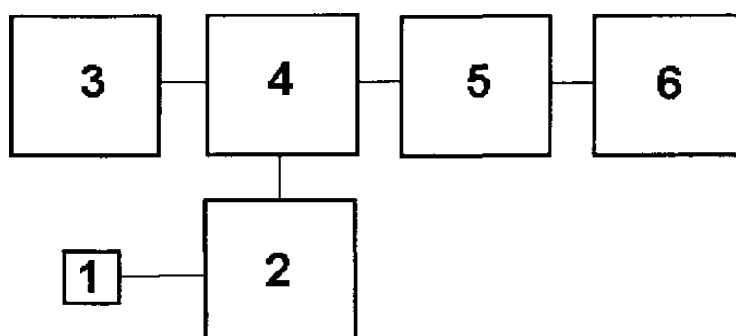
Основные типы превышений вибрации дизель-редукторных агрегатов (ДРА) над нормой и вероятные их причины приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные типы превышения вибрации ДРА над нормой и их вероятные причины

Полоса превышения	Характер превышения	Причины превышения	Рекомендации
Частота вращения и удвоенная частота вращения валогенераторов	Продольная, реже радиальная вибрация валов привода валогенераторов	Расцентровка валогенераторов с редуктором	Контроль центровки агрегатов

100...200 Гц	Продольная вибрация со стороны дизеля	Недостаточная точность регулировки дизеля	Контроль параметров рабочего процесса, регулировка дизеля
Область зубцовых частот 500 Гц...2 кГц	Уменьшается уровень на зубцовых частотах, растёт широкополосная вибрация по всем точкам и направлениям	Дефекты зацепления, питтинг, поломка зуба. Люфт в управляемых муфтах	Ревизия зацепления. Контроль зазоров и подшипников управляемых муфт
4,5 кГц	Подшипники качения	Зарождающиеся дефекты подшипников качения	Уточненная диагностика по методу огибающей

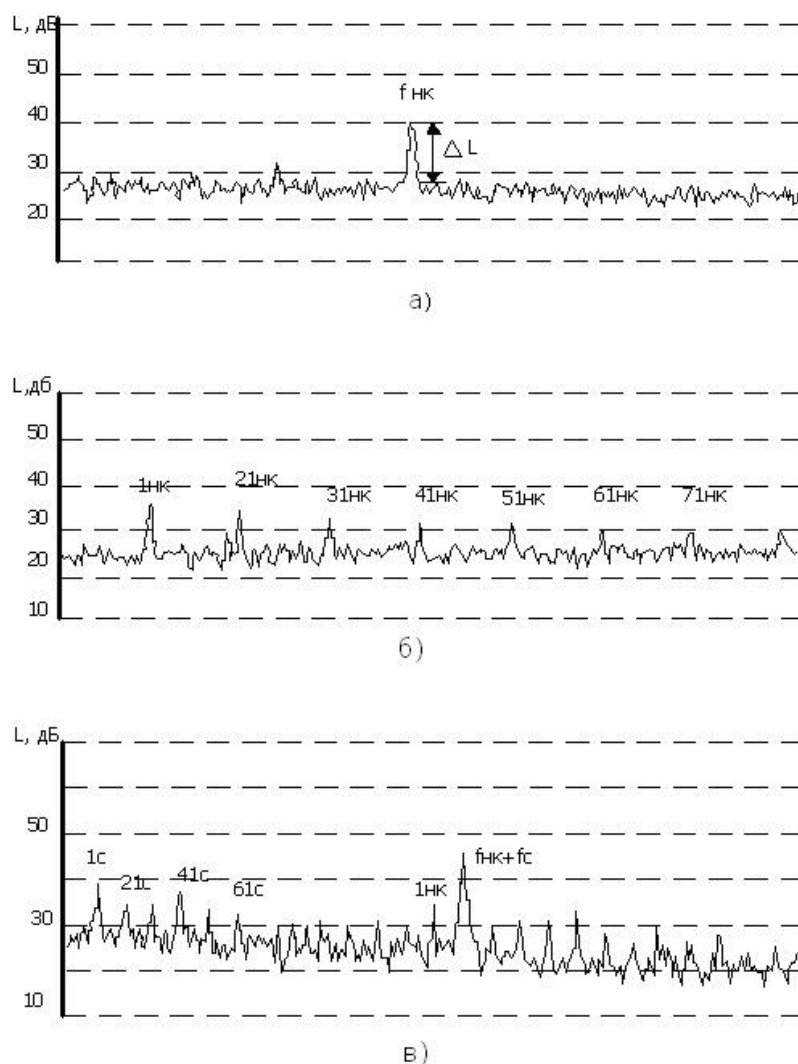
Соответствие фактических уровней вибрации редуктора норме не означает заведомого отсутствия зарождающихся дефектов подшипников качения агрегата, во многом определяющих его остаточный ресурс, поэтому во всех случаях, связанных с диагностикой для ремонта по техническому состоянию, дополнительно проводится спектральный анализ огибающей высокочастотной компоненты вибрации в соответствии с блок-схемой, приведенной на рисунке 1.



1 - датчик вибрации; 2 - измерительный усилитель; 3 - измерительный магнитофон с аналоговым выходом; 4 - третьоктавный полосовой фильтр 10 кГц; 5 - детектор огибающей; 6 - узкополосный анализатор спектра.

Рисунок 1 – Каналы получения спектра огибающей высокочастотной компоненты вибрации: прямой (1-6) и косвенный канал (3-6)

В качестве критерия диагностики зарождающихся дефектов подшипников качения является наличие в спектре огибающей высокочастотной компоненты вибрации дискретных составляющих на характерных подшипниковых частотах вращения сепаратора подшипника f_s , частоте перекатывания тел качения по наружному $f_{НК}$ и внутреннему $f_{БК}$ кольцу. Подшипник считается дефектным, если в спектре огибающей уровень дискретных составляющих, кратных основным подшипниковым частотам, на 6 дБ и более превышает уровень случайного фона (рисунок 2).



а) бездефектный подшипник; б) некритический локальный дефект на наружном кольце; в) критический дефект, процесс разрушения сепаратора.

Рисунок 2 – Примеры спектров огибающей высокочастотной компоненты вибрации

Рекомендуемые формулы расчёта основных подшипниковых частот:

- частота вращения сепаратора

$$f_c = (0.42 \dots 0.44) f_p \quad (1)$$

- частоты перекатывания тел качения по кольцам:

$$\text{наружному} \quad f_{нк} = z f_c, \quad (2)$$

$$\text{внутреннему} \quad f_{вк} = z (f_p - f_c), \quad (3)$$

где f_c - частота вращения сепаратора подшипника;

f_p - частота вращения внутреннего кольца;

z - число тел качения.

Критерии оценки технического состояния по продуктам износа в маслах.

Считается удовлетворительным рабочее состояние редуктора при следующих показателях содержания металлов в масле (опытные данные [3]):

- железа менее 15 ppm
- меди менее 10 ppm
- хрома менее 3 ppm;

При превышении концентраций производится повторный отбор и анализ через 1...1,5 месяца. При увеличении концентрации металлов на 30%, указанных выше значений, производится контрольный узкополосный анализ вибрации с последующим заключением о необходимости вскрытия, ремонта. Основные нормы по продуктам износа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные нормы по продуктам износа

Продукты износа	Удовлетворительное состояние, ppm	Износ несколько повышен, ppm	Износ существенно повышен, ppm
Железо	менее 15	15-20	более 20
Медь	менее 10	10-12	более 12
Хром	менее 3	3-5	более 5
Рекомендации		Повторный отбор проб и анализ через 1...1,5 месяца	Проведение узкополосного виброанализа

Периодичность и сроки проведения контрольных замеров.

Виброакустический анализ проводится не реже, чем через каждые 12 месяцев нахождения судна в эксплуатации. Проведение виброакустического узкополосного анализа приурочивается к межремонтному техническому обслуживанию или к ежегодному освидетельствованию. При увеличении концентрации металлов производится контрольный анализ вибрации согласно данной методике.

Анализ по продуктам износа в масле проводится после ремонта редуктора (с заменой подшипников и подъёмом валов редуктора). Производится оценка динамики в процессе обкатки редуктора. Отбор проб на режиме обкатки редуктора следует производить через 5...7 часов. Количество отобранных проб должно быть не менее трех.

В эксплуатационный период контрольный отбор проб масла для анализа по продуктам износа производится не реже 1 раза в 3 месяца и 2 раза в год физико-химический анализ по оценке показателей качества масла редуктора и сравнении их с браковочными показателями.

Постановка редуктора на хранение.

Процедура консервации на период ремонта судна, связанного с классификацией, и принятия решения о продлении срока эксплуатации редуктора без ремонта, обеспечивает сохранность циркуляционного масла редуктора, что дает существенный дополнительный экономический эффект.

Перед постановкой судна в ремонт производится оценка качества циркуляционного масла в редукторе по показателям согласно инструкции по эксплуатации данного типа редуктора.

Непосредственно перед проведением демонтажных работ, связанных с разборкой системы смазки редуктора, произвести следующие работы:

- Установить заглушку на трубопроводе слива масла из редуктора в циркуляционную масляную цистерну редуктора;
- Заполнить редуктор рабочим маслом из циркуляционной масляной цистерны редуктора, используя штатную систему подачи масла в редуктор.

Профилактические работы и контроль качества масла редуктора.

При проведении ремонта судна, в период хранения редуктора, следует один раз в полугодие производить контроль качества масла по показателям щелочного числа и содержания воды в масле.

С периодичностью не менее двух раз в месяц требуется производить проворачивание редуктора с использованием штатного вал о поворотного устройства и с обязательным прокачиванием масла в редукторе. В случае, если использовать валоповоротное устройство не представляется возможным, проворачивание осуществляется талевкой за фланец приводного вала генератора переменного (или постоянного) тока редуктора. При проворачивании редуктора число оборотов ведущего вала должно быть не менее двух.

Вывод. Одним из эффективных путей решения проблемы повышения надежности редукторов эксплуатирующихся рыбопромысловых судов является измерение вибраций на опорных валах дизель-редукторных агрегатов в третьоктавных полосах частотой (23%) в частотном диапазоне проявления дефектов зацепления (100 Гц...3 кГц), проявления развитых (50...500 Гц) и зарождающихся (4...5 кГц) дефектов подшипников качения в редукторах. Дополнительный анализ по продуктам износа в масле (металлам: железу, меди, хрому) существенно повышает надежность диагностики.

Приведенная выше технология безразборной технической диагностики обеспечивает практическую реализацию решения проблемы повышения надежности редукторов эксплуатирующихся рыбопромысловых судов путем своевременной и ориентированной выдачи рекомендаций по устранению выявленных неисправностей и принятию мер по их оперативной реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987. - 288с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Т.2. / Под ред. Шелкова Г.В, - С.-Петербург: Российский Морской Регистр Судоходства, 1999.-505с.
3. Прыгунов А.И. Анализ продуктов износа в масле главных редукторов судов. // Восьмая научно-техническая конференция МГТУ: Сб. тез. докл.: Мурманск, 1997. с.5-7.

УДК 622.647.001.5

Омаров Казбек Алтынсарович – д.т.н., профессор

(Алматы, КазНТУ им. К.И.Сатпаева)

Бейсенова Айнаш Сергазовна – д.т.н., профессор (КУ «Алатау»)

Сыздыкбаева Жанна Сарыбаевна – соискатель (КУ «Алатау»)

АНАЛИЗ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ КАНАТОВ МНОГОКОНТУРНОГО КАНАТНО-ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ПО ПОДДЕРЖИВАЮЩИМ РОЛИКООПОРАМ

Анализ процесса движения тяговых канатов по поддерживающим роlikоопорам, скорости распространения упругой волны вдоль канатов с учетом силы трения является актуальной задачей.

Уравнение движения тяговых канатов по поддерживающим роlikоопорам имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(a^2 \frac{\partial y}{\partial z} \right) - \ddot{y} = \frac{g}{g_0} (\beta - \beta_0) f_{\text{тр}} \cdot \cos \alpha \dots \quad (1)$$

Перемещение $Y(Z,t)$ в начальный момент равно нулю для всех точек нити. Для установления характера движения нити (каната) при наличии трения необходимо принять,