

УДК 629.562 : 621.83.061.1

## **Опыт применения безразборной диагностики для определения технического состояния редукторов TKG2-03 СТМ типа "Атлантик-333"**

**К.О. Сергеев, А.С. Жуков**

*Судомеханический факультет МА МГТУ, кафедра судовых энергетических установок*

**Аннотация.** В статье представлены результаты применения безразборной диагностики для определения технического состояния редукторов TKG2-03, рассматриваются типичные дефекты, делаются выводы о надежности этих редукторов и эффективности применения методик диагностики для судов рыбопромыслового флота.

**Abstract.** In this paper results of undismantled diagnostics application for determination of reducing gears of TKG2-03 type technical condition have been considered; typical defects have been observed; conclusion about reducing gears' reliability and efficiency of diagnostic methods' application for fishing fleet vessels have been made.

**Ключевые слова:** редуктор, надежность, "Атлантик-333", анализ, статистика  
**Key words:** reducing gear, reliability, "Atlantic-333", analysis, statistics

### **1. Введение**

Одним из способов повышения эффективности технического обслуживания, ремонта и увеличения эксплуатационной надёжности и долговечности механизмов является широкое внедрение средств технического диагностирования. Особое значение использование средств технической диагностики приобретает в условиях старения основных фондов флота рыбной промышленности. Существенного снижения затрат на обеспечение работоспособности флотов можно добиться переходом на обслуживание и ремонт оборудования не по сроку наработки, а по фактическому состоянию. Такой переход невозможен без эффективного контроля состояния оборудования с обнаружением всех потенциально опасных дефектов на стадии зарождения и долгосрочным прогнозом их развития.

Диагностирование позволяет выявить скрытые дефекты, неисправности и предупреждать отказы, определять необходимый объём плановых ремонтных работ, прогнозировать ресурс исправной работы механизма и т.п. Всё это обеспечивает значительную экономию затрат на сменно-запасные части и материалы для планово-предупредительных ремонтных работ, увеличивает срок службы и надёжность механизма.

СТМ "Атлантик-333" является одним из распространенных типов добывающего и перерабатывающего судна. В настоящее время рыбопромысловые компании переоборудуют суда этого типа, устанавливая вместо двигателей 8VD 26/20 двигатели "Вяртсиля" 6L20 и МАК М20, и даже переводят последние на работу на тяжелом топливе.

ООО "ДиаМАНТ" совместно с кафедрой СЭУ МГТУ проводит диагностику судовых редукторов судов типа "Атлантик-333" с 1991 года. Методика основана на совместном использовании двух критериев: анализе параметров виброакустического сигнала зацепления зубчатых передач и анализе масла на продукты износа. 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 порогового уровня с нормой вибрации редуктора, так же выраженной в виде третьоктавного спектра.

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 (документ 150-04.688 ИТ) разработаны с учётом рекомендаций по местному нормированию шума и вибрации машин в промышленности МКШС-71 и не превышают требований Части 7 Правил Российского регистра морского судоходства (РМРС) (Прыгунов, Панкратов, 1996).

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 качестве критерия диагностики зарождающихся дефектов подшипников качения является наличие в спектре огибающей высокочастотной компоненты вибрации дискретных составляющих на характерных подшипниковых частотах вращения сепаратора подшипника ( $f_c$ , частоте перекачивания тел качения по наружному  $f_{нк}$  и внутреннему  $f_{вк}$  кольцу).

Критерии оценки технического состояния по продуктам износа в маслах приняты следующими: считается удовлетворительным рабочее состояние редуктора при показателях содержания металлов в масле (опытные данные) железа менее 15 г/т; меди – менее 10 г/т; хрома – менее 3 г/т. При увеличении концентрации металлов на 30 % указанных выше значений, производится контрольный узкополосный анализ вибрации с последующим заключением о необходимости вскрытия, ремонта.

## 2. Состав СЭУ

В состав гребной установки судов типа "Атлантик-333" входит дизель-редукторный агрегат с отбором мощности на валогенераторы. В качестве приводных двигателей служат два дизеля типа 8VD26/20AL-2 мощностью  $2 \times 882$  кВт при частоте вращения 1000 об/мин. Двигатели имеют разное исполнение (левой и правой модели), однако сторона вращения у обоих двигателей одинакова – левая.

Понижающий редуктор типа TKG2-0350 передает вращающий момент от приводных двигателей на четырехлопастной винт регулируемого шага с понижением частоты вращения до 203 об/мин, а также на валогенераторы переменного и постоянного тока с прямым передаточным отношением.

Для обеспечения различных режимов работы ДРА имеет ряд муфт сцепления. Главные двигатели соединяются с редуктором упругими разобщительными пневматическими муфтами типа КАЕ 180, редуктор с гребным валопроводом – разобщительной пневматической муфтой типа КУС-350. Отбор мощности от редуктора на валогенератор постоянного тока осуществляется через упругую муфту типа 3SBEV-4566 и зубчатую разобщительную муфту.

Приводные валы редуктора уложены в подшипники качения, причем в качестве опорных предусмотрены роликовые радиальные сферические подшипники 2222 АМВ, а для компенсации осевых усилий кормовой подшипниковый узел имеет два шариковых радиально-упорных подшипника Q 228MB WT. Промежуточные валы уложены в опорно-упорные подшипники скольжения, полый вал в

подшипники скольжения, осевое усилие воспринимается сегментными упорными подшипниками (Анцевич и др., 1983). Из приведенного описания видно, что подшипниковые узлы редуктора имеют сложную конструкцию и соответственно требуют определенного опыта для их дефектации и замены при ремонте. Кинематическая схема редуктора приведена на рис. 1, а технические данные – в таблице.

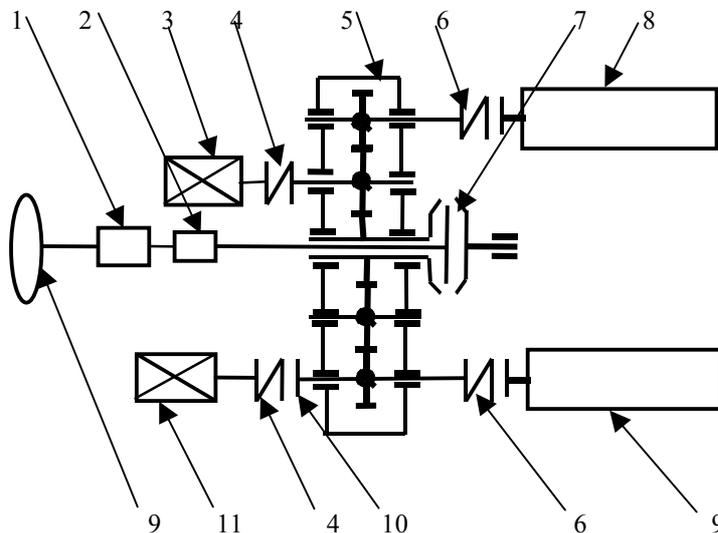


Рис. 1. Кинематическая схема ДРА МТС типа "Атлантик-333":  
1 – МИШ; 2 – упорный подшипник; 3 – валогенератор переменного тока; 4 – упругая муфта; 5 – редуктор;  
6 – упругая разобщительная муфта; 7 – разобщительная муфта;  
8 – ГД (левый); 9 – ГД (правый); 10 – разобщительная муфта;  
11 – валогенератор постоянного тока

## 3. Результаты диагностики

За указанный период была проведена диагностика тридцати редукторов. Диагностика проводилась, как правило, перед очередным освидетельствованием судна. Результаты диагностики приведены на рис. 2.

Кроме редукторов, на которых проводились работы по диагностике, за указанный период два редуктора получили аварийные повреждения: скол

зубьев шестерен, подплавление нижнего и верхнего вкладышей носового подшипников промежуточного вала. Это было вызвано кратковременным прекращением подачи смазки из-за неисправности в системе смазки редуктора в результате ошибочных действий персонала. В приведенной ниже статистике они не фигурируют.

Таблица. Технические данные редуктора ТKG-0350

Тип редуктора	Двухступенчатый горизонтальный, цилиндрический, с косыми зубьями
Марка редуктора	TKG-0350
Номинальная мощность на входном фланце, кВт	2 × 882
Номинальное число оборотов ведущего вала, об/мин	203
Номинальное число оборотов на выходе для привода гребного винта, об/мин	203
Номинальное число оборотов на выходе для привода генератора переменного тока, об/мин	1000
Номинальное число оборотов на выходе для привода генератора постоянного тока, об/мин	1000
Передаточное число на:	
– гребной винт	-1:1
– генератор переменного тока	-1: 6,52
– генератор постоянного тока	-1: 6,52
Давление масла на входе в редуктор, МПа	0,12-0,15
Давление масла во вкладышах подшипников скольжения, МПа	0,12-0,15
Температура смазочного масла, °С:	
– на входе	-20
– на выходе	-50
– максимальная на выходе	-70
– максимальная во вкладышах	-80
Температура окружающей среды, 0 °С	+8...+45
Марка масла	МЮВ <sub>2</sub> по ТУ 38-1-01-278-72
Моторесурс редуктора до капитального ремонта, ч	100 000
Моторесурс подшипников скольжения, ч	40 000

Двадцать два редуктора дефектов не имели. Значения виброскорости на редукторе в частотном диапазоне (1,2-160 Гц) не превышали норму Регистра для ГТЗА (Категория "А"), а значения виброускорения – среднестатистическую норму по 150-04.688 ИТ. Содержание продуктов износа в масле (металлов) редуктора ГД соответствовало удовлетворительному состоянию деталей системы, что свидетельствовало об отсутствии интенсивных износов деталей редуктора. Развитые дефекты подшипников редуктора отсутствовали.

В семи случаях были обнаружены развитые дефекты подшипников качения. Дефекты приводили к увеличению высокочастотной компоненты в третьоктавном спектре вибрации (не всегда с превышением среднестатистической нормы по 150-04.688 ИТ) и выявлялись при анализе огибающей.

Восемь редукторов, из числа прошедших диагностику, имели превышение среднестатистической нормы по 150-04.688 ИТ в области низких частот (до 60 Гц), а также в полосе 1,0 кГц.

Один редуктор из этих восьми имел дефект подшипника качения и повышенные зазоры в подшипниках скольжения, виброактивность редуктора превышала среднестатистическую норму в области низких частот (до 20 Гц) и в области 80-315 Гц. При дополнительном анализе сигналов вибрации с применением цифровой фильтрации обнаружено, что на подшипниках промежуточного вала редуктора правого борта в продольном направлении выявлена модуляция частотой вращения, вызывающая резонанс подшипникового узла вследствие повышенного зазора. Еще у двух редукторов зазоры были увеличены, но не превышали предельных допусков.

Два редуктора из этой группы имели заедание зубьев шестерен валов и незначительный питтинг по причине изменения геометрии зацепления из-за перекоса ведущего или промежуточного валов. Дефект обнаруживался по результатам спектрального анализа масла, отобранного из системы смазки главного редуктора, превышению статистической нормы в области низких частот (до 60 Гц) и в полосе 1,0 кГц.

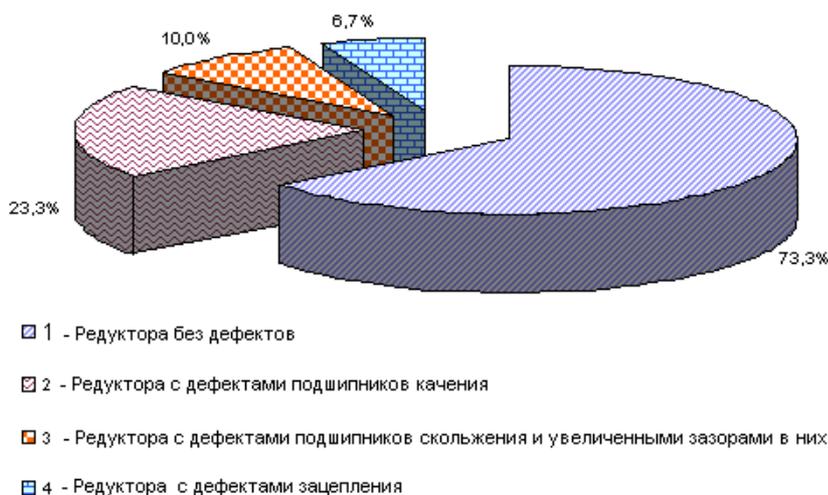


Рис. 2. Результаты диагностики редукторов

Следует так же отметить, что у остальных редукторов, имеющих превышение статистической нормы по уровню вибрации (но у которых не было превышения по содержанию продуктов износа), после детальной ревизии не было обнаружено дефектов зацепления и подшипников скольжения.

У некоторой части редукторов были обнаружены зарождающиеся дефекты, в этом случае редуктор из эксплуатации не выводился, развитие дефекта отслеживалось при эксплуатации путем

замеров при ежегодных освидетельствованиях, и при достижении предельного состояния (или при проведении других ремонтов и выводе судна из эксплуатации) производилась замена дефектного узла.

#### 4. Выводы

Таким образом, проведенный анализ результатов диагностики редукторов за значительный период времени показывает как достаточную надежность редукторов ТКГ2-0350, так и эффективность методов безразборной диагностики. В подтверждение вышесказанного большинство продиагностированных редукторов были допущены к дальнейшей эксплуатации, а некоторые не вскрывались для ревизии в течение времени между двумя очередными освидетельствованиями.

Кроме того, методы диагностики позволяют определить техническое состояние агрегата без разборки, что не только экономит время, сокращает затраты, но и увеличивает ресурс за счет исключения попадания в подшипниковые узлы загрязнений или последующей приработки деталей после сборки.

Своевременно проведенная диагностика позволяет планировать расход запасных частей и предупреждает внезапные отказы.

#### Литература

- Анцевич А.В., Анцевич А.В., Егоров П.К., Зуев А.В., Пимошенко А.П., Серебров А.Н. Двигательные агрегаты рыбопромысловых судов. Мурманск, Мурманское книжное издательство, с.155, 1983.
- Прыгунов А.И., Панкратов А.А. Применение методов технической диагностики для оценки технического состояния главных редукторов рыбопромысловых судов. Проблемы активации научно-техн. деятельности в эксклавному регионе России: Материалы II областной научно-практ. конференции, посвященной 50-летию Калининградской области. Калининград, БГАРФ, с.26, 1996.