

Наиболее рационально использование динамической стабилизации в сочетании с применением метода контроля остаточных напряжений, основанного на использовании свойств магнитной проницаемости с измерением градиента поля от остаточной намагниченности.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Антонюк В.Е. Динамическая стабилизация геометрических параметров деталей знакопеременным нагружением. – Мн.: УП «Технопринт». –2004. – 184 с.
2. Сандомирский С.Г. Применение полюсного намагничивания в магнитном структурном анализе (обзор) // Дефектоскопия. – 2006. № 9. – С.36 - 64.
3. Антонюк В.Е., Сандомирский С.Г., Сидоренко А.Г., Соломина. А.В. Анализ влияния технологии изготовления фрикционных дисков на однородность их магнитных свойств// материалы международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении-2015» 1-2 октября 2015, Минск. – С. 363-364.
4. Антонюк В.Е., Сандомирский С.Г., Jaroszewicz J./ Исследование возможностей оценки остаточных напряжений по градиенту поля остаточной намагниченности// труды XI международной научно-технической конференции «Энергия в науке и технике» Белосток-Клеосин, 20-21 июня 2013.

УДК 621.833.24

### **ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗУБЧАТЫХ ПАР ПЛАНЕТАРНЫХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ**

*Ишин Н.Н.<sup>1</sup>, Гоман А.М.<sup>1</sup>, Скороходов А.С.<sup>1</sup>, Натурьева М.К.<sup>1</sup>,  
Драган А.В.<sup>2</sup>*

1 – Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

2 – Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь

**Аннотация.** Производство коробок передач, а также бортовых и колесных редукторов, содержащих планетарные ряды, имеет в настоящее время большое значение в свете быстрого развития производства гибридных и электрических транспортных средств, ветрогенераторов и т.д. Однако вопросы производственного и послеремонтного контроля, а также диагностики планетарных механизмов, сегодня еще недостаточно проработаны. В докладе приведен пример использования для диагностики планетарной коробки передач метода синхронного усреднения виброакустического сигнала, позволяющего оценивать состояние ее отдельных элементов.

**Состояние вопроса.** В процессе производства и эксплуатации коробок передач и редукторов в них могут появляться и накапливаться неисправности, приводящие к несоответствию техническим требованиям. Перед использованием таких редукторов по назначению необходимо знать о наличии неисправностей, которые могут являться причиной нарушения нормальной работы приводного механизма.

Анализ публикаций, посвященных оценке технического состояния приводных механизмов на основе зубчатых передач, показывает, что среди современ-

ных методов безразборного контроля приводных механизмов одними из наиболее перспективных являются виброакустические.

В то же время изучение возможности применения известных заводских методик для проведения оценки качества изготовления и диагностики коробок передач показывает, что проводимая на отечественных предприятиях оценка уровня шума коробок передач в октавных-третьоктавных полосах представляется правомочной с точки зрения оценки общего уровня излучаемого шума, но она не позволяет произвести диагностику и оценить состояние отдельных зубчатых пар, особенно в случае контроля планетарных рядов.

**Постановка задачи.** Изучением вопросов вибродиагностики и вибромониторинга планетарных механизмов на сегодняшний день занимаются многие фирмы, связанные с производством и эксплуатацией механических приводов. Наиболее актуален данный вопрос там, где надежность планетарного редуктора связана либо с вопросами безопасности (летательные аппараты, морские суда), либо со значительными затратами на ремонт уникальной техники (шахтное оборудование, турбоагрегаты, карьерная техника). При этом для контроля состояния приводов используются практически все методы виброакустической диагностики: обработка временных сигналограмм, анализ спектров, применение взаимокорреляционного метода и т.д. Одним из наиболее широко применяемых является метод синхронного накопления (рисунок 1).

К сожалению, большинство отечественных методик вибрационной диагностики планетарных редукторов (например, [2]) разработано достаточно давно, и не использует последних достижений в области выделения и распознавания сигналов от отдельных зубчатых колес. Изготавливаемые в единичных экземплярах диагностические комплексы для оценки качества изготовления и мониторинга технического состояния механических приводов [3] хотя и позволяют проводить контроль планетарных редукторов [4], также нуждаются в дальнейшем развитии методического и программного обеспечения.

**Результаты исследований.** Конструктивные особенности планетарной передачи накладывают свой отпечаток не только на вид движения ее зубчатых колес, но и на характер возбуждения колебаний, способы представления и анализа информации [2].

В схеме планетарного механизма угловая скорость изменяется в соответствии со следующим уравнением кинематики:

$$i_{ab}^h = \frac{\omega_a - \omega_h}{\omega_b - \omega_h},$$

где  $i_{ab}^h = -z_b/z_a$  — передаточное отношение от центрального колеса с внешними зубьями  $a$  к центральному колесу с внутренними зубьями  $b$  в движении относительно водила  $h$ .

Следовательно, применяя метод синхронного усреднения для механизмов планетарного типа, следует период усреднения для каждого из валов редуктора принимать равным не обороту соответствующего вала, а полному циклу пересопрежения всех зубьев размещенного на нем зубчатого колеса. Еще более ус-

ложняется задача при попытке выделения сигнала вибрации для каждого из сателлитов.

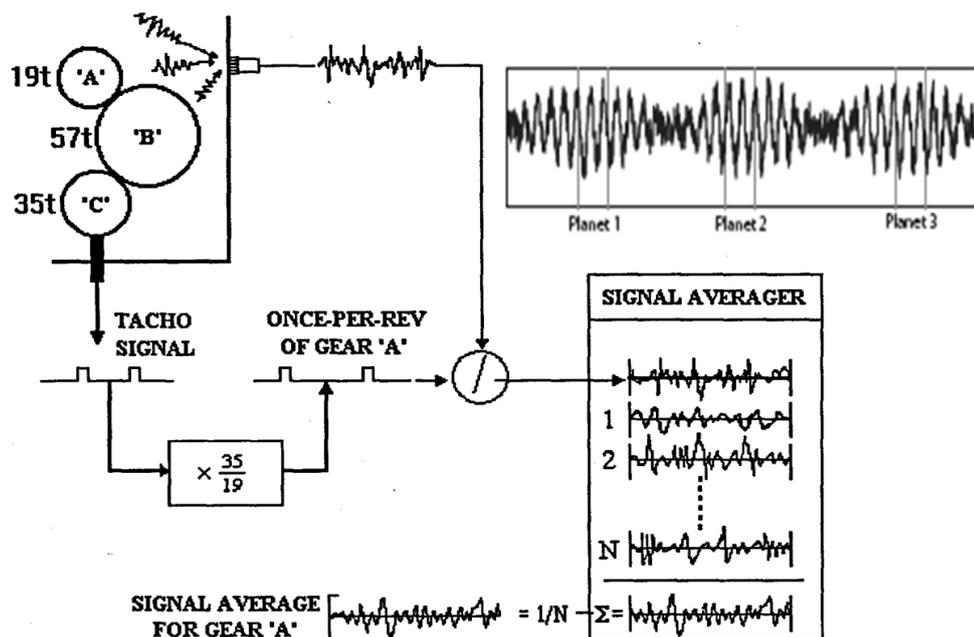


Рисунок 1 – Применение метода синхронного накопления при вибродиагностике планетарного редуктора вертолета Black Hawk [1]

Проведенные на стенде ОИМ НАН Беларуси с использованием разработанного в БрГТУ диагностического комплекса исследования шума и вибрации коробки передач, содержащей планетарный демультипликатор, показали, что выделение периодической компоненты исследуемого процесса методом синхронного накопления дает достаточно хорошие результаты. Однако, при этом диагностируемая система должна быть оснащена датчиками угла поворота на входном и, желательно, на выходном валах (рисунок 2).

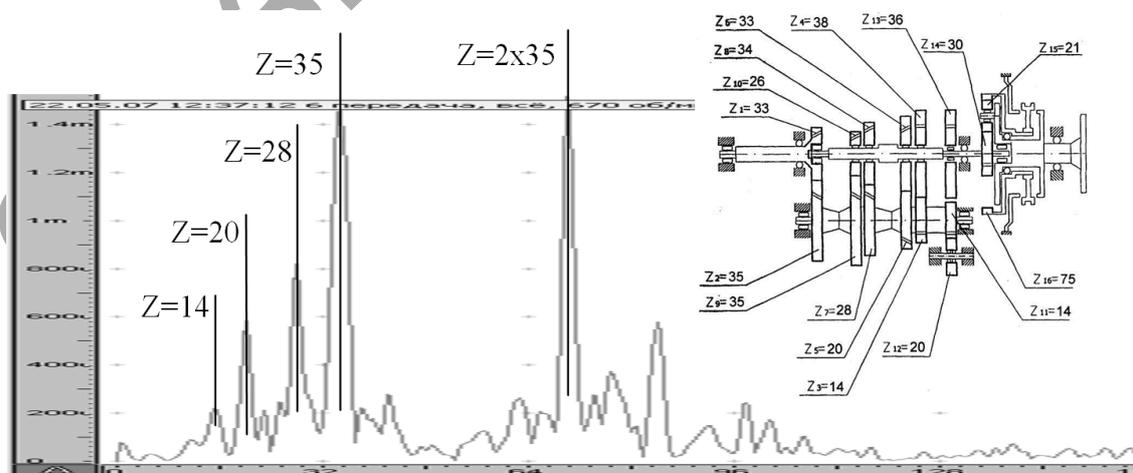


Рисунок 2 – Гармонические составляющие шестерен промежуточного вала на спектре шума рядом – планетарной коробки передач

**Заключение.** Спецификой диагностики планетарных коробок передач во многих случаях является невозможность использования штатных средств контроля, вызванная особенностями кинематики данных приводов. Большие проблемы при диагностировании дефектов зубозацепления в планетарных редукторах вызывает также отсутствие методик нормирования по допустимым уровням как всего виброакустического сигнала, так и отдельных его составляющих.

Кроме того, при распространении вибрационного сигнала к месту замера на корпусе объекта происходит его изменение вследствие демпфирования колебаний, их наложения и т.д. В меньшей степени эта проблема актуальна для угловых колебаний валов, что следует шире использовать при создании аппаратуры и методик для контроля сложных многоступенчатых механизмов.

Существует еще одна актуальная на сегодняшний день, но совершенно не затронутая в отечественной технической литературе задача. Она касается развития методик диагностики планетарных коробок передач на основе алгоритма синхронного усреднения в плане выделения и анализа гармонических составляющих для каждого из сателлитов планетарного ряда, а также их подшипников.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Blunt, D.M. A Portable Transmission Vibration Analysis System for the S-70A-9 Black Hawk Helicopter / D.M.Blunt, B.Rebbechi, B.D.Forrester, K.W.Vaughan / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dspace.dsto.defence.gov.au/dspace/handle/1947/4161> – Дата доступа 22.10.2008.

2. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

3. Драган, А.В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем / А.В. Драган, И.П. Стецко, Д.А. Ромашко, Н.В. Левкович // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2006. - №4. – С. 17-26.

4. Ишин, Н.Н. Опыт использования метода синхронного накопления для вибродиагностики трансмиссионных систем автотракторной техники / Н.Н. Ишин, А.С. Скороходов, В.С. Александрова, Л.М. Антюшеня, И.И. Новик, А.В. Драган // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады Международной научно-практической конференции, Минск, 12-13 июня 2008 г. в 2 ч. Ч.1. – Минск. –2008. – С. 355 – 361.

УДК 621.998.77

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОКАЛИНЫ СТАЛИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО КОМПОНЕНТА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СМЕСЕЙ**

*Савюк И.В., Рудь В.Д., Самчук Л.М., Повстная Ю.С.*

Луцкий национальный технический университет

Луцк, Украина

При непрерывном разливке стали, нагревании и обработке металла давлением (горячей прокатки, штамповке, ковке) образуется окалина - слой, состоящий из оксидов железа FeO (вюстит), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит). В процессе обжима окалина отслаивается от металла и совместно с водой и маслами поступает в отстойники. Химический состав окалины в основном зависит от усло-