

Рисунок 2 – Вид сбоку центрифуги

Предлагаемая универсальная ЦТФ позволит для мясожировых предприятий малой мощности обрабатывать все виды с/п, и заменит на мясожировых предприятиях малой мощности от 2-х до 5-ти ЦТФ, что обеспечит экономический эффект.

Подана заявка на полезную модель и получено решение Национального центра интеллектуальной собственности о выдаче патента. Машиностроительное предприятие ООО «ФИНА» (г. Брест) заинтересовано в серийном производстве данной ЦТФ.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководство по эксплуатации и обслуживания центрифуги для обработки шерстных субпродуктов модели D45 компании «Ollarie & Conti» (Италия) 2010 года выпуска.
2. Руководство по эксплуатации и обслуживания автоматической линии для обработки слизистых субпродуктов модели «P35 + R30 inline» компании «Ollarie & Conti» (Италия) 2010 года выпуска.

УДК 621.452.33

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНАЦИОННЫХ ЧАСТОТ В СПЕКТРЕ ВИБРОСИГНАЛА ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Омель Д.В., Драган А.В.

Брестский государственный технический университет
Брест, Республика Беларусь

Дефекты зубчатых колес и зацеплений приводят к появлению дополнительных вынуждающих сил различной природы. Это могут быть и силы, вызванные отклонением формы зубьев от расчетной в зоне механического контакта, и ударные воздействия, определяемые изменением скоростей в зоне зацепления, параметрические силы из-за периодического изменения жесткости зацепления и силы трения между контактирующими поверхностями. Эксплуатационные

дефекты и погрешности контактирующих поверхностей зубьев являются дополнительными возмущающими факторами, которые приводят к изменению свойств виброакустического сигнала [9, 2, 3].

Вибрацию зубчатой пары можно описать наличием характерных дискретных составляющих спектра и их соотношений, изменяющихся с развитием деградиционных процессов в передаче. Появление и развитие дефектов контактирующих поверхностей отражается как на частотах пересопряжения зубьев $f_z = zf_0$ (зубцовых частотах) и их гармониках mf_z , так и на модуляционных (комбинированных) частотах $mf_z \pm kf_0$ в окрестности зубцовых гармоник, где m и $k=1, 2, \dots$, f_0 – частота вращения колеса (оборотная частота).

В работах [8, 7] при исследовании виброактивности дефектных зубчатых пар большое внимание уделяется модуляции выходного вибросигнала. Отмечается, что именно в боковых полосах зубцовых и кратных им гармоник содержится основная диагностическая информация.

Кроме дискретных компонентов в спектре колебаний непременно присутствует шумовая составляющая, обусловленная причинами, вызывающими колебания на собственных частотах механической системы. Фрагмент спектра в окрестности зубцовой частоты при отсутствии и наличии дефекта показан на рисунке 1.

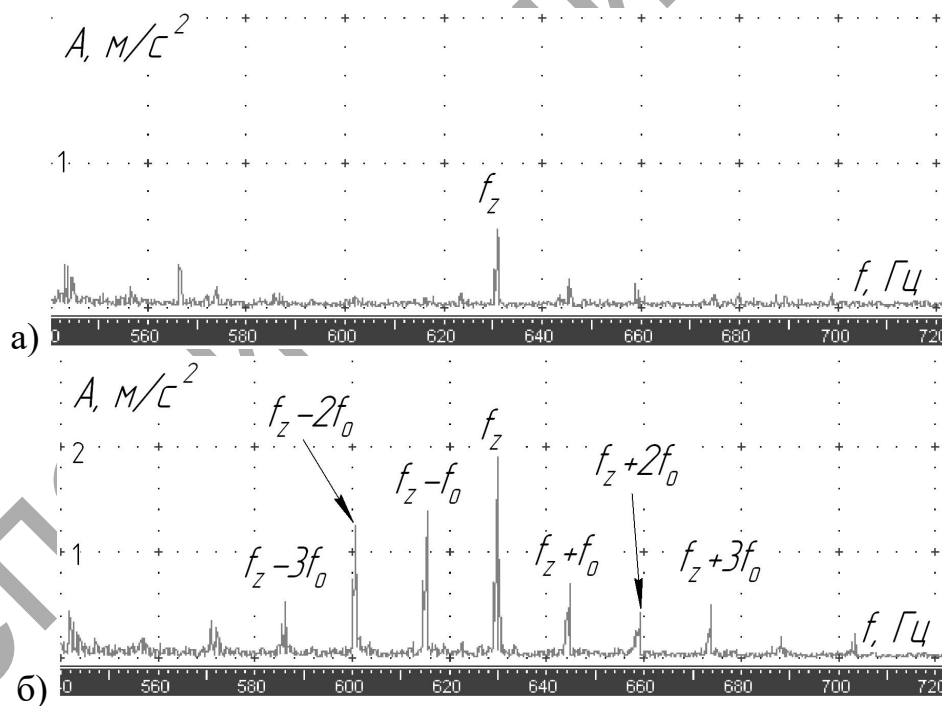


Рисунок 1 – Спектр сигнала в окрестности зубцовой частоты f_z : а – при отсутствии дефекта зубчатого колеса, б – при наличии дефекта

На начальном этапе развития дефектов зубозацепления зубцовые и комбинированные гармоники, являющиеся синхронными компонентами, содержат в себе практически всю мощность вибросигнала. По мере своего развития дефект становится более нестационарным, распределенным по частоте, возникают многие процессы, приводящие к размытию мощности вибросигнала на спектре

в промежутках между зубцовой и боковыми гармониками. Поэтому рост амплитуд гармонического ряда зубцовых частот, как и рост общего уровня вибраций при развитии дефектов, наблюдается лишь до определенного времени, после чего уровни вибраций на зубцовых и комбинированных частотах начинают падать, а глубина модуляции процесса в зоне гармоник зубцовой частоты продолжает нарастать [8, 1].

В работах по исследованию модуляций вибросигналов, генерируемых зубчатыми передачами, однозначно эмпирически доказано появление семейств гармоник $mf_z \pm kf_o$, однако не до конца раскрыт механизм их формирования. Возникают вопросы: почему появляются гармоники с частотами mf_z , кратными зубцовой и боковыми полосами kf_o в окрестности каждой из них; чем обусловлено количество боковых полос, что влияет на несимметричность верхних и нижних боковых полос. Для ответа на эти вопросы в проведенных исследованиях рассмотрено явление модуляции и механизмы формирования модулированного сигнала применительно к зубчатым передачам.

Сложный колебательный процесс можно описать выражением:

$$a(t) = A(t) \cos(\omega(t)t + \varphi(t)) = A(t) \cos \psi(t) \quad (1)$$

где A – амплитуда;

ω – частота;

φ – начальная фаза;

$\psi(t)$ – полная фаза высокочастотного колебания.

Как видно, все параметры колебания могут изменяться во времени. В зависимости от того, какой из этих трех параметров периодически изменяется, различают амплитудную (АМ), частотную (ЧМ) и фазовую модуляцию (ФМ), а также их сочетания. Выражение под знаком косинуса можно рассматривать как угловую функцию времени [4] и ввести понятие угловой модуляции (УМ), подразделяемой на частотную и фазовую.

Для анализа механизма формирования спектра вибросигнала, например изображенного на рисунке 1б, рассмотрены математические модели возникновения модулированного сигнала.

Амплитудная модуляция. Амплитудно-модулированный сигнал $a(t)$ (рисунок 2) предполагает изменение только амплитуды. Получено, что он описывается выражением следующего вида:

$$a(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{MA_0}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0 + \gamma] + \frac{MA_0}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0 - \gamma] \quad (2)$$

где Ω и γ – частота и начальная фаза модулирующего сигнала;

$M = \Delta A_m / A_0$ – коэффициент модуляции;

ΔA_m – амплитуда изменения огибающей.

Первое слагаемое в правой части представляет собой исходный немодулированный сигнал. Второе и третье слагаемые появились в процессе модуляции, имеют частоты $\omega_0 + \Omega$ и $\omega_0 - \Omega$, называемые боковыми и расположены симметрично относительно несущей. Согласно выражения (2) амплитуда боковых час-

тот зависит от коэффициента модуляции, а следовательно, и от соотношения амплитуд несущего и модулирующего сигнала.

Данный вид модуляции объясняет появление в спектре вибросигналов боковых частот, однако возникновение кратных зубцовых гармоник mf_z не является следствием амплитудной модуляции сигнала.

Угловая модуляция. Данный вид модуляции характерен для случая, когда мгновенная частота модулированного сигнала определяется выражением:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t, \quad (3)$$

где $\Delta\omega$ – девиация частоты.

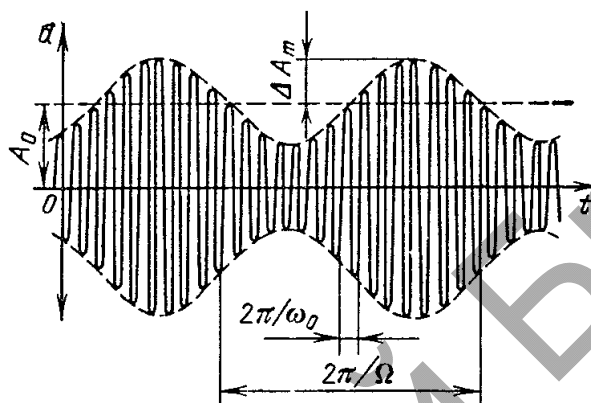


Рисунок 2 – Колебание, модулированное по амплитуде гармонической функцией [4]

Полная фаза высокочастотного колебания с учетом выражения (5) в таком случае будет иметь интегральный вид:

$$\psi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \varphi_0 = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t + \varphi_0 \quad (4)$$

Преобразование данных зависимостей с учетом (3), (4) и (1) позволило получить выражение модулированного сигнала в следующем виде:

$$a(t) = A_0 \cos \left[\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t + \varphi_0 \right], \quad (5)$$

где величина $m = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$ - индекс угловой модуляции.

Таким образом, при угловой модуляции (частотной или фазовой) спектр сигнала состоит из бесконечного числа боковых частот, расположенных попарно симметрично относительно несущей частоты ω_0 и отличающихся на $n\Omega$. Временное представление частотно-модулированного сигнала приведено на рисунке 4, а его спектр представлен на рисунке 5.

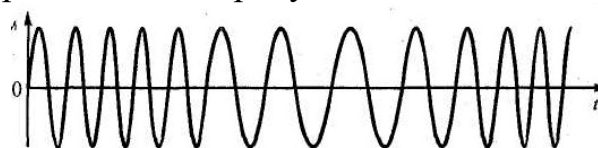


Рисунок 4 – Частотно-модулированный сигнал

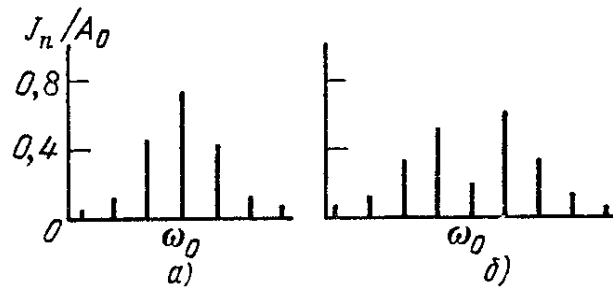


Рисунок 5 – Спектры сигналов с частотной модуляцией: а) $m=1$, б) $m=2$

Амплитуды боковых полос зависят от величины индекса угловой модуляции m . При малых значениях $m \ll 1$ спектр модулированного сигнала имеет одну пару боковых частот, как при АМ. При $0,5 < m < 1$ начинает проявляться вторая пара боковых частот. При $1 < m < 2$ уже следует учитывать третью и четвертую пары боковых частот и т.д.

Механизм формирования спектра сигнала с угловой модуляцией объясняет появление некоторого количества боковых полос вокруг несущей частоты. Количество боковых полос прямо пропорционально девиации несущей частоты $\Delta\omega$. Угловая модуляция по-прежнему не объясняет появление в вибросигнале гармоник mf_z .

Частотно-импульсная модуляция. Механизм формирования спектра колебаний при частотно-импульсной модуляции исследовался исходя из того, что несущим сигналом является периодическая последовательность импульсов с частотой ω_0 , которую можно записать выражением [6, 5]

$$A(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} v\left(t - \frac{n}{\omega_0}\right) \quad (6)$$

где $v(t)$ – форма импульса.

В ходе математических преобразований получено следующее выражение импульсно-модулированного сигнала:

$$a(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left\{ \begin{array}{l} J_{0n}(nm) \cos n\omega_0 t + \\ + J_{1n}(nm) [\cos(n\omega_0 + \Omega)t - \cos(n\omega_0 - \Omega)t] + \\ + J_{2n}(nm) [\cos(n\omega_0 + 2\Omega)t + \cos(n\omega_0 - 2\Omega)t] + \\ + J_{3n}(nm) [\cos(n\omega_0 + 3\Omega)t - \cos(n\omega_0 - 3\Omega)t] + \\ + \dots \end{array} \right\} \quad (7)$$

Из данного выражения видны составляющие спектра импульсно-модулированного сигнала $n\omega_0 \pm k\Omega$ ($k=1, 2, 3\dots$), которые представлены на рисунке 6. Количество боковых полос около каждой гармоники кратной несущей частоте зависит от индекса угловой модуляции m . Несимметричность боковых полос объясняется помехами и искажениями при прохождении сигнала по каналам передачи. В спектре зашумленного сигнала боковые полосы высокого порядка имеют малую амплитуду и оказываются «погруженными» в шум.

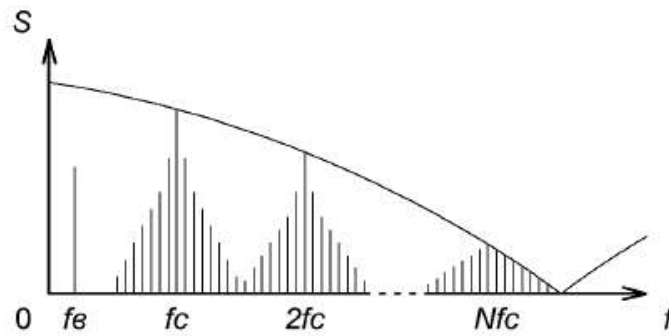


Рисунок 6 – Спектр сигнала с частотно-импульсной модуляцией

Вибрационный сигнал, генерируемый при работе исправной зубчатой передачи, представляет собой последовательность ударных импульсов, следующих с частотой пересопряжения зубьев и возбуждающих быстро затухающие гармонические колебания. Причем каждая пара зубьев возбуждает импульсы, отличные от предыдущего вследствие наличия технологических погрешностей изготовления колес, погрешностей сборки зубчатой передачи, упругих деформаций валов, а также зубьев находящихся в зацеплении. Такие погрешности приводят к колебанию амплитуды импульсов, а также отклонению периода их следования вследствие кинематических погрешностей. Данные явления повторяются при каждом обороте валов, то есть связаны с частотой их вращения. Поэтому признаки модуляции в спектре можно наблюдать и при отсутствии эксплуатационных повреждений зубьев. Амплитуды комбинационных гармоник $mf_z \pm kf_o$ будут незначительны в силу малой энергии удара, боковые частоты будут слабо различимы на фоне шумовой составляющей вибрации. Лишь зубцовые и кратные им гармоники mf_z легко идентифицируются в спектре вибрации исправной передачи. По мере появления и развития износа рабочей поверхности зуба и усиления ударного взаимодействия возрастает энергия, рассеиваемая в зоне контакта, следовательно, растут амплитуды характерных гармоник и модуляционные эффекты.

Рассмотрев приведенные выше виды модуляции, можно сделать вывод, что модуляции, исследуемые в вибродиагностике, можно относить как к частотно-импульсным, так и к амплитудным и частотным. В спектре виброакустического сигнала зубчатой передачи с частотно-импульсной модуляцией можно наблюдать семейство гармоник $mf_z \pm kf_o$. Различные виды модуляций, обусловленные дефектами и погрешностями зубчатых колес, могут возникать одновременно и приводят к увеличению амплитуд боковых полос, их несимметричности и определяются состоянием зубчатых передач. Количественные показатели их оценки являются информативными критериями, отражающими состояние зубчатых передач, и способны дополнить существующие положения вибродиагностики механических приводов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учеб. пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 159 с.
2. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / Генкин М.Д., Соколова А.Г. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

3. Герике Б.Л. Мониторинг и диагностика технического состояния машинных агрегатов: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч.2: Диагностика технического состояния на основе анализа вибрационных процессов. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет, 1999. – 230 с.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
5. Давыдов И.Г. Алгоритм оценки частоты повторения ударных импульсов на основе периодического вейвлет-преобразования / И.Г. Давыдов, С.Ю. Васюкевич, А.В. Цурко, И.М. Сеглюк. – Доклады БГУИР, №6(84), 2014. – с. 22-27.
6. Зюко А.Г. Теория электрической связи : учебник для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; под ред. Д.Д. Кловского. – М. : Радио и связь, 1999. – 432 с.
7. Неразрушающий контроль: Справочник : в 7 т.; под общ. ред. В.В. Клюева. Т.7: ч 2 кн. Кн. 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии / Кн. 2 : Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. – М. :Машиностроение, 2005. – 829 с.
8. Русов В.А. Спектральная вибродиагностика. – М.: Вибро-Центр, 1996. – 175 с.
9. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – М.: Наука, 1996. – 276 с.

УДК 621.762.53

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА АЛЮМИНИЙ-УГЛЕРОДНОЕ НАНОВОЛОКНО С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ И РЕГУЛИРУЕМОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

Возняковский А.А.¹, Кольцова Т.С.², Кидалов С.В.¹, Овчинников Е.В.³

1) ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, РФ

2) СПбГПУ, Санкт-Петербург, РФ

3) Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, РБ

Алюминий широко применяется в современном материаловедении в качестве конструкционного материала. Главными достоинствами алюминия являются его низкий удельный вес, дешевизна. Главным же недостатком алюминия является его низкая прочность. Также алюминий обладает высокой ($237 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$) теплопроводностью, которая может быть, как достоинством (теплоотвод), так и недостатком (теплоизолятор) в зависимости от сферы применения. Для повышения прочностных свойств и снижения теплопроводности алюминия предлагается технология композиционных материалов с применением углеродных нановолокон (УНВ) в качестве добавки.

В качестве исходного материала был взят порошок алюминия марки ПА-4. Создание композиционного материала происходило путем выращивания УНВ на поверхности частиц порошка алюминия через никелевый катализатор. Подобный подход позволил добиться равномерного распределения УНВ по всему объему матрицы, что крайне важно для достижения высоких практических свойств. Были получена серия образцов с 1, 1,5 и 2 масс. % УНВ. Результаты СЭМ исследования материала с 1 масс. % УНВ представлены на рисунке 1. Подробно методика описана в работе [1].