

УДК 620.169.2

ВЫДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА  
МЕТОДОМ СИНХРОННОГО УСРЕДНЕНИЯ

Н. Н. ИШИН, А. М. ГОМАН, А. С. СКОРОХОДОВ, М. К. НАТУРЬЕВА  
ГНУ «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Среди основных вопросов, решаемых в процессе вибродиагностики редукторных систем, немаловажной является задача выделения из общего сигнала составляющих, непосредственно несущих информацию о техническом состоянии зубчатых передач. Вызвано это тем, что вибрации, регистрируемые на корпусе зубчатого привода, содержат информацию обо всех динамических процессах, сопровождающих работу различных элементов машины, и, как правило, некоторую дополнительную шумоподобную составляющую. Одним из методов диагностики, ориентированных на выделение информативных составляющих и позволяющих одновременно улучшать отношение сигнал/помеха, является алгоритм синхронного накопления [1, 2].

**Постановка задачи**

Суть метода синхронного накопления заключается в суммировании реализаций сигнала на периоде детерминированной составляющей процесса. При этом считается, что амплитуда детерминированной составляющей  $A$  растет пропорционально числу слагаемых суммирования  $k$ , а ее энергия растет пропорционально  $k^2$ , в то время как дисперсия суммы случайных (непериодических) компонент равна  $k\sigma^2$ . Отсюда, отношение сигнал/помеха на выходе синхронного накопителя равно  $k(A^2/\sigma^2)$ , что более чем в  $k$  раз превышает то же отношение на входе устройства [2].

Однако при диагностике зубчатых передач часто приходится иметь дело с записями сигналов незначительной длительности ( $k=10\dots 20$ ). К тому же ряд публикаций приводит другие данные о соотношении сигнал/помеха. Например, есть данные, что отношение на выходе синхронного накопителя в  $k$  раз превышает тоже отношение на входе устройства [3]. Или, что скорость стремления помехи к нулю равна квадратному корню из числа реализаций [1, 4]. Некоторые публикации иллюстрируют указанное соотношение в графическом виде, не давая теоретического обоснования [5].

Таким образом, целью данной работы является проверка эффективности метода синхронного усреднения с точки зрения улучшения соотношения сигнал/помеха при незначительном числе накапливаемых реализаций.

**Виртуальное моделирование процесса синхронного усреднения**

Для моделирования были взяты три синхронные составляющие (на единичном периоде) с единичной амплитудой (рис. 1, а), три асинхронные состав-

ляющие с единичной амплитудой (рис. 1, б) и сгенерирована случайная шумоподобная составляющая в диапазоне амплитуд  $\pm 2$  (рис. 1, в). Результирующий сигнал приведен на рис. 1, г.

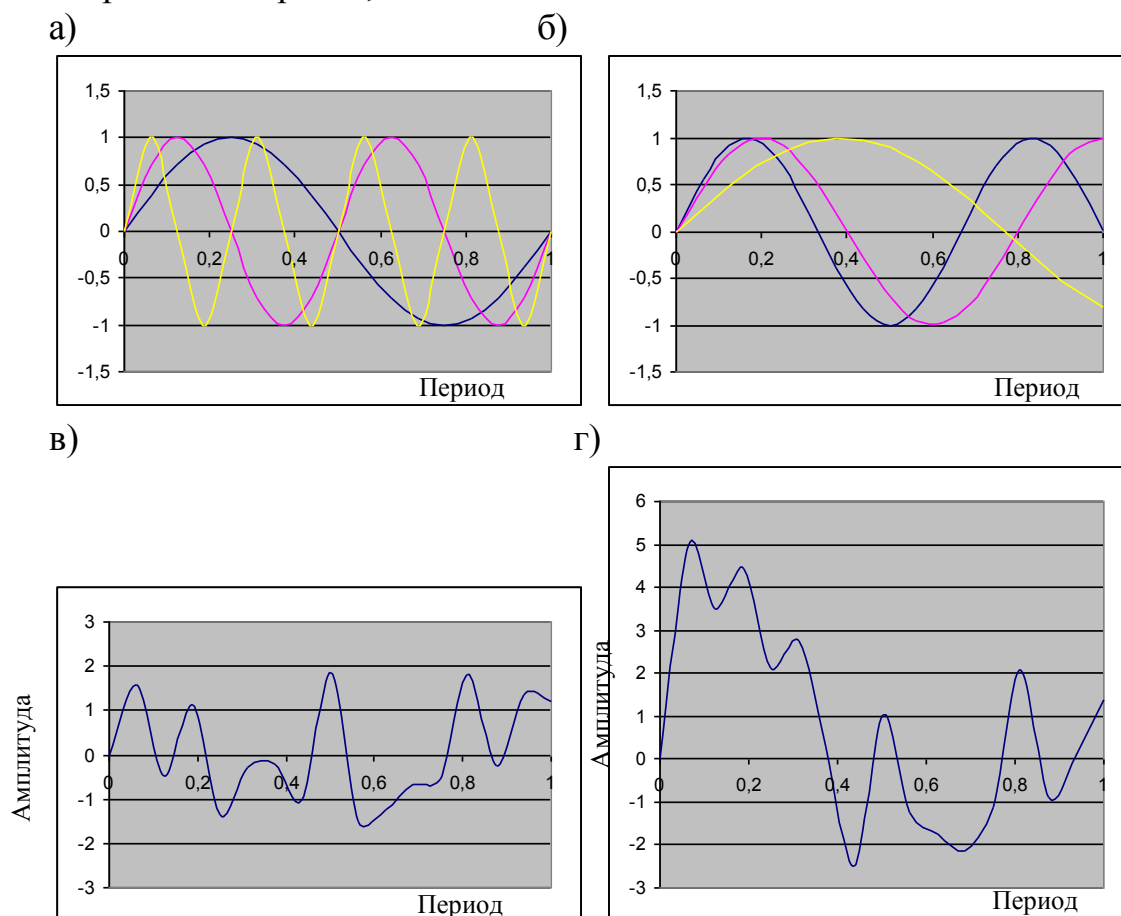


Рис. 1. Моделирование смешанного сигнала: а – синхронные составляющие; б – асинхронные составляющие; в – случайные составляющие; г – суммарный сигнал

Затем результирующий сигнал был обработан с применением метода синхронного накопления. Как видно из рис. 2, а, обработанный методом синхронного усреднения сигнал практически совпадает с исходным полезным сигналом (сумма синхронных составляющих). Амплитуды синхронных гармонических составляющих обработанного сигнала, полученные после применения алгоритма быстрого преобразования Фурье, близки к единичным (рис. 2, б). В тоже время амплитуды несинхронных составляющих сигнала (суммы асинхронных и случайных составляющих) близки к нулю.

Для оценки соотношения сигнал/помеха были вычислены средние квадратические значения (СКЗ) синхронной и несинхронной составляющих при различном числе накопленных реализаций для усреднения (табл. 1). При этом анализ соотношения сигнал/помеха показывает, что в первом приближении его можно принять равным квадратному корню из числа накопленных для усреднения реализаций сигнала.

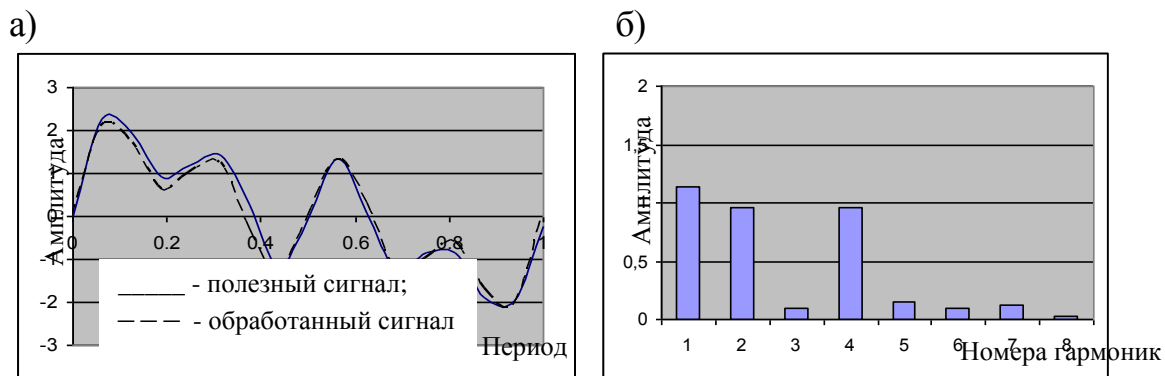


Рис. 2. Результаты моделирования синхронного усреднения: а – сигнал; б – гармонический спектр

Табл. 1. Оценка соотношения сигнал/помеха

СКЗ составляющих их отношение	Количество накопленных реализаций для усреднения				
	5	10	15	20	25
Синхронная	1,225	1,225	1,225	1,225	1,225
Несинхронная	0,596	0,433	0,314	0,253	0,214
Синхрон/Несинхр	2,055	2,827	3,902	4,839	5,723

Применение метода синхронного усреднения при обработке сильно зашумленных сигналов дает хорошие результаты в условиях ограниченной длительности записанного сигнала, значительно улучшая соотношение сигнал/помеха путем отсеивания несинхронных и шумоподобных составляющих. При этом погрешность выделяемых информативных компонент для данного примера не превышает 13 % (т. е. не более  $100/\sqrt{k}$ , %). Данные свойства указанного алгоритма позволяют эффективно применять его при вибродиагностике механизмов циклического действия, в частности – зубчатых передач.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009.** Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации. – Изд-во стандартов, 2010. – 25 с.
2. Вибрации в технике : справочник в 6 т. / под ред. В. Н. Челомей. – М. : Машиностроение, 1978–1981. – Т. 5. Измерения и испытания / под ред. М. Д. Генкина. – 1981. – 496 с.
3. **Ширман, А.** Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Ширман, А. Соловьев. – М., 1996. – 276 с.
4. **James, I. Taylor.** The vibration analysis handbook / I. James Taylor. – Vibration Consultants, 1994 – 360 p.
5. **Чагаев, В. Н.** Автоматизированные системы мониторинга технического состояния и работоспособности оборудования / В. Н. Чагаев // Сервисное обслуживание в ЦБП: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конференции. Санкт-Петербург, 19–20 нояб. 2009 г. / под ред. проф. А. Н. Иванова. – СПб., 2009. – С. 36–41.