

- для интенсификации процессов в металлургии и нефтегазодобывающей промышленности;
- для бурения скважин.

В перечисленных приложениях следует использовать микросопла, чтобы работать на достаточно приемлемых давлениях, получаемых промышленными компрессорами.

Расчетами обосновано и экспериментально подтверждено, что оптимальными параметрами являются: давление в камере сопла 6-9 атмосфер; число Маха на срезе сопла 1,6-2,2.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Воронцов А.Г., Донецкий национальный технический университет

Измерительные каналы (ИК) систем высокочастотной вибродиагностики (ВВД) функционируют в условиях действия интенсивных шумов и помех. Это сказывается на качестве диагностики и в ряде случаев, как, например, при диагностике тихоходных роторных машин, может существенно снизить достоверность выносимых диагнозов. Объективная оценка свойств ИК в составе системы ВВД требует определения его метрологических характеристик с учетом влияния вышеуказанных факторов. Существующие методики метрологической аттестации каналов информационно – измерительных систем (ИИС), предназначенных для определения параметров вибросигналов, не учитывают влияние вибрации от посторонних источников на результат измерений [1]. Известные рекомендации [2] по учету влияния внешних воздействий на метрологические характеристики и показатели каналов могут быть распространены на измерительные каналы систем ВВД, однако получаемые при этом результаты определяются не только свойствами каналов, но и условиями, в которых осуществлялась их метрологическая аттестация. Поэтому они не могут быть использованы для оценки свойств собственно каналов.

Данная работа связана с решением вышеуказанных вопросов и направлена на разработку методики метрологической аттестации измерительного канала системы ВВД с учетом действия собственных шумов, а так же помех, проникающих в канал с входа совместно с информативным сигналом.

Предшествующими исследованиями установлено, что основными факторами предопределяющими способность ИК системы ВВД сохранять свои метрологические характеристики в условиях действия помех являются линейность передаточных характеристик и фильтрующие свойства его звеньев [3,4]. Известно так же, что наиболее интенсивные помехи в каналах систем ВВД обусловлены низкочастотными вибрациями диагностируемого оборудования (см., например, [5] и др.). Взаимодействие компонент смеси информативных сигналов и помех в широкополосной части ИК до фильтра основной селекции, может быть причиной возникновения комбинационных составляющих и гармоник, попадающих в полосу прозрачности фильтра и существенно искажающих результаты измерений параметров вибрации [3,4]. Причем, причинами возникновения комбинационных составляющих могут быть как взаимодействия отдельных компонент помех друг с другом, взаимодействия помех и информативных сигналов, так и взаимодействие нескольких информативных сигналов, попадающих в полосу прозрачности фильтра, если уровни этих сигналов достаточно велики. С другой стороны, весьма важным качеством ИК, определяющим достоверность диагнозов, выносимых по результатам виброизмерений, является его способность выделять слабые информативные сигналы на фоне собственных шумов. Таким образом, для решения задач ВВД ИК должен обладать способностью выделять без искажений информативные сигналы как предельно малого, так и значительного уровня в условиях действия собственных шумов и внешних помех. Показателями, количественно описывающими указанное свойство канала является его динамический диапазон. За нижнюю границу диапазона принимается минимальный уровень информативного гармонического сигнала на входе ИК, при котором обеспечивается его измерение с заданными показателями погрешности и достоверности. Верхняя граница динамического диапазона определяется минимальным уровнем помех, порождающих гар-

монические и/или комбинационные компоненты в пределах информативной полосы частот, уровень которых соответствует уровню информативных компонент при определении нижней границы динамического диапазона.

Для определения верхней границы динамического диапазона должны быть измерены:

- относительный уровень помех, обусловленных гармоническими искажениями 2 - го, 3 - го и более высоких порядков, продукты которых попадают в информативную полосу частот;
- относительный уровень помех, обусловленных интермодуляционными искажениями 2 - го порядка;
- относительный уровень помех, обусловленных интермодуляционными искажениями 3 - го порядка

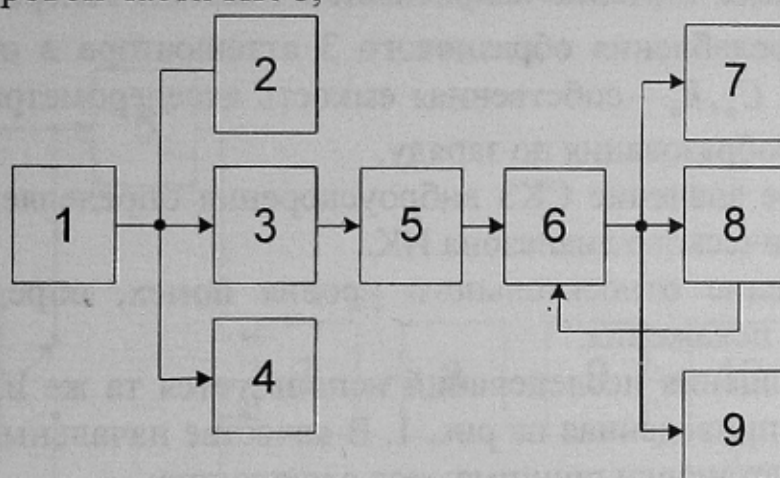
Таким образом, в состав методики метрологической аттестации ИК систем ВВД, кроме общепринятого для ИИС виброизмерений определения коэффициента преобразования [1], должны быть включены измерения показателей, позволяющие оценить динамический диапазон ИК. С учетом вышеизложенного, разработана и апробирована методика метрологической аттестации ИК систем ВВД, содержание экспериментальных исследований которой раскрываются ниже.

Экспериментальные исследования производятся в два этапа. Задачами первого этапа является определение коэффициента преобразования ИК и измерительного преобразователя – пьезоэлектрического акселерометра. Поверка усилителя ИК и акселерометра осуществляется в соответствии с методикой [1]. На основе полученных данных определяются параметры эквивалентной схемы модели акселерометра [6], необходимые для выполнения второго этапа исследований, в ходе которого определяются границы динамического диапазона ИК.

1. Определение минимального уровня информативных сигналов (нижней границы динамического диапазона).

Для выполнения исследований используется измерительная установка, структурная схема которой приведена на рис. 1. В качестве начальных настроек оборудования установки принимаются следующие:

- частота генерируемого генератором 1 гармонического сигнала выбирается в средней области информативной полосы частот;
- затухание, вносимое образцовым аттенюатором 3, устанавливается максимальным;
- коэффициент преобразования масштабного усилителя, входящего в состав аналоговой части ИК 6, устанавливается таким, при котором собственные шумы ИК четко отображаются на отсчетном устройстве и индикаторе спектроанализатора цифровой части ИК 8;



1 – генератор гармонических сигналов; 2 – образцовый вольтметр переменного напряжения; 3 – образцовый аттенюатор; 4 – частотомер; 5 – резистивно-емкостная модель пьезоэлектрического акселерометра; 6 – аналоговая часть поверяемого ИК; 7 – электронный осциллограф; 8 – цифровая часть поверяемого ИК, включая отсчетные устройства и средства индикации штатного спектроанализатора; 9 – контрольный анализатор спектра.

Рисунок 1 – Структурная схема установки для измерения минимального уровня информативных сигналов и помех, определяющих гармонические искажения

- количество усреднений спектров устанавливается таким же, как и при использовании ИК по прямому назначению в составе системы ВВД.

После установки начальных настроек, регулировкой выходного напряжения генератора 1, устанавливается такой уровень сигнала на входе ИК, при котором обеспечивается необходимое превышение информативной гармонической компоненты над собственными шумами ИК, регистрируемое по индикаторному и отсчетному устройству.

вам штатного спектроаналізатора. Достигнутое значение выходного напряжения генератора 1, измеренное образцовым вольтметром 2, пересчитывается к входу ИК через известный коэффициент затухания аттенюатора 3. СКЗ виброускорения, обеспечивающее заданное соотношение сигнал-шум определяется по формуле

$$a_m = \frac{C_a}{k_a} \cdot E_a,$$

где $E_a = U_z \cdot k_0$ - напряжение на входе модели акселерометра 5; U_z - действующее значение напряжение на выходе генератора 1; k_0 - коэффициент ослабления образцового 3 аттенюатора в относительных единицах; C_a, k_a - собственная емкость акселерометра и его коэффициент преобразования по заряду.

Найденное значение СКЗ виброускорения определяет нижнюю границу динамического диапазона ИК.

2. Измерение относительного уровня помех, определяющего гармонические искажения.

Для выполнения исследований используется та же измерительная установка, приведенная на рис. 1. В качестве начальных настроек оборудования установки принимаются следующие:

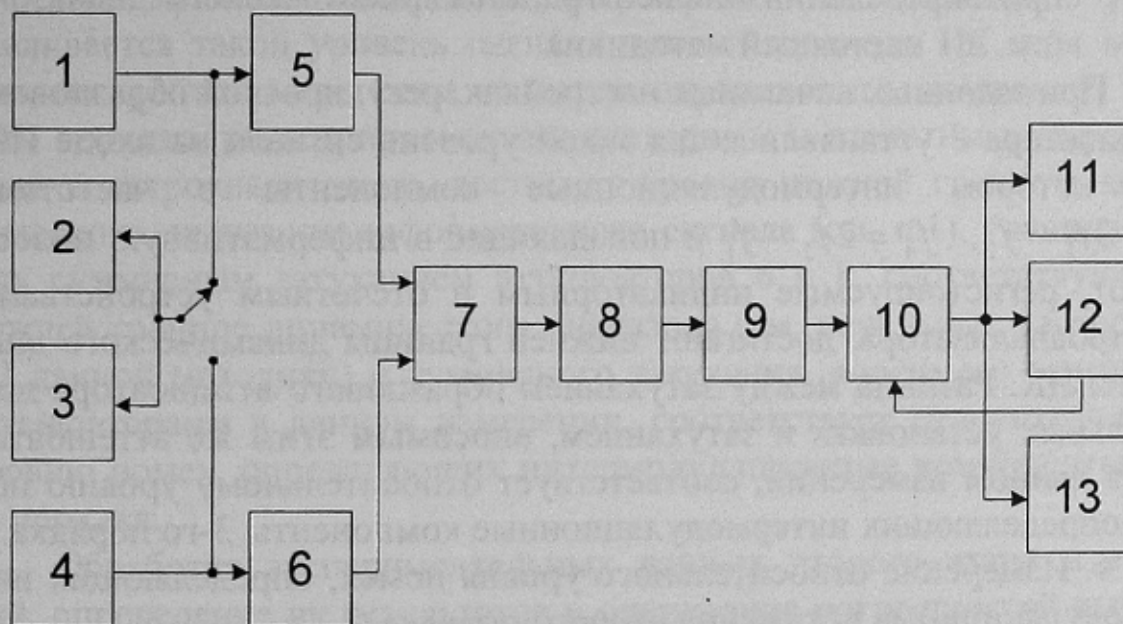
- коэффициент преобразования масштабного усилителя ИК и количество усреднений спектров устанавливается в соответствии с начальными настройками п.1 данной методики;
- частота гармонического сигнала, генерируемого генератором 1, устанавливается в области, где сосредоточены помехи, влияние которых на работу ИК оценивается;
- напряжение гармонического сигнала, генерируемого генератором 1, должно соответствовать значению, ранее полученному при определении нижней границы динамического диапазона (см. п. 1).

При заданных начальных настройках, регулировкой затухания образцового аттенюатора 3, устанавливается такой уровень сигнала на входе ИК, при котором уровень его гармоник в информативной полосе частот, определяемый по отсчетному устройству ИК достигнет значения информативного сигнала, полученного при определении нижней границы динамического диапазона (см. п. 1).

Относительный уровень помех, определяющих гармонические искажения, находится как разница между значением затухания образцового аттенюатора, полученного при измерении нижней границы динамического диапазона и значением затухания этого же аттенюатора, полученным в результате данного измерения.

3. Измерение относительного уровня помех, определяющих интермодуляционные искажения третьего порядка.

Для выполнения исследований используется измерительная установка, структурная схема которой приведена на рис. 2. В качестве начальных настроек оборудования установки принимаются следующие:



1, 4 – генератор гармонических сигналов; 2 – частотомер; 3 – образцовый вольтметр переменного напряжения; 5, 6 – аттенюаторы развязки генераторов; 7 – резистивный сумматор гармонических сигналов; 8 – образцовый аттенюатор; 9 – резистивно-емкостная модель пьезоэлектрического акселерометра; 10 – аналоговая часть поверяемого ИК; 11 – электронный осциллограф; 12 – цифровая часть поверяемого ИК, включая отсчетные устройства и средства индикации штатного спектроанализатора; 13 – контрольный спектроанализатор.

Рисунок 2 – Структурная схема установки для измерения уровня помех, определяющих интермодуляционные искажения

- коэффициент преобразования масштабного усилителя ИК и количество усреднений спектров устанавливается в соответствии с начальными настройками п.1 данной методики;

- частоты генераторов 1 и 4, соответственно f_1 и f_2 , устанавливаются в средней области информативной полосы частот. Разнос между частотами генераторов должен составлять не более $1/3$ ширины информативной полосы;
- затухание образцового генератора устанавливается максимальным;
- за счет регулировки выходного напряжения генераторов 1 и 4 уровень сигнала на входе ИК задается таким, что бы на индикаторном и отсчетном устройствах спектроанализатора ИК были получены те же уровни информативных сигналов, что и при определении нижней границы динамического диапазона (см. п.1 настоящей методики).

При заданных начальных настройках, регулировкой образцового аттенюатора 8 устанавливается такой уровень сигнала на входе ИК, при котором интермодуляционные компоненты с частотами $f_3 = 2f_1 - f_2$, $f_4 = 2f_2 - f_1$ и попадающие в информативную полосу частот, регистрируемые индикаторным и отсчетным устройствами спектроанализатора, достигают нижней границы динамического диапазона ИК. Разница между затуханием образцового аттенюатора при начальных установках и затуханием, вносимым этим же аттенюатором в данном измерении, соответствует относительному уровню помех, определяющих интермодуляционные компоненты 3-го порядка.

4. Измерение относительного уровня помех, определяющих интермодуляционные искажения второго порядка.

Для выполнения исследований используется измерительная установка, приведенная на рис. 2, с той лишь разницей, что один из аттенюаторов развязки, например 5, заменяется перестраиваемым образцовым аттенюатором с максимальным затуханием, не меньшим, чем затухание аттенюатора развязки. В качестве начальных настроек оборудования установки выбираются следующие:

- коэффициент преобразования масштабного усилителя ИК и количество усреднений спектров устанавливается в соответствии с начальными настройками п.1 данной методики;
- частота гармонического сигнала, генерируемого генератором 1 выбирается равной частоте помехи, определяющей интермодуляционную компоненту 2-го порядка;

- частота генератора 2 выбирается в пределах информативной полосы частот так, что, по крайней мере, одна из частот интермодуляционных компонент $f_5 = f_1 + f_2$ или $f_6 = f_1 - f_2$ оказалась бы в пределах информативной полосы частот;
- затухание образцового аттенюатора 8 и уровни выходных напряжений генераторов 1 и 4 устанавливаются теми же, что и полученные в ходе измерения уровня помех, согласно п.3, данной методики;
- затухание образцового аттенюатора 5 устанавливается равным затуханию аттенюатора развязки 6.

При заданных настройках, регулировкой аттенюатора 5 устанавливается такой уровень сигнала помехи на входе ИК, при котором, по крайней мере, одна из интермодуляционных компонент второго порядка, регистрируемая индикаторным и отсчетным устройствами спектроанализатора, достигнет уровня нижней границы динамического диапазона информативного сигнала (см. п.1). Разница между суммарным затуханием аттенюаторов 6 и 8, соответствующих нижней границе динамического диапазона (см. начальные настройки п.3 данной методики) и суммарного затухания, вносимого этими же аттенюаторами в данном измерении, соответствует относительному уровню помех, определяющих интермодуляционные компоненты 2 – го порядка.

Обработка экспериментальных данных второго этапа измерений, определение их результатов и оценивание погрешностей выполняется в соответствии с рекомендациями [7].

Разработанная методика была использована при метрологической аттестации ИК системы ВВД, реализованного с использованием высокочастотного акселерометра АП – 16 (частота собственного резонанса $f_p = 50$ кГц, коэффициент преобразованию по заряду $S_q = 0,8$ пКл/г), стандартного усилителя заряда УЗ – 2, оцифровывающей вставной платы 16 – ти разрядного АЦП, персонального компьютера Pentium – 3, на основе которого программными средствами реализован спектроанализатор и устройство управления ИК. Количество усреднений спектров принято 20. После обработки экс-

периментальных данных получены следующие результаты измерений:

- нижняя граница динамического диапазона ИК – $5,55 \cdot 10^{-4}$ g;
- относительный уровень помех, определяющих гармонические искажения – 91дБ;
- относительный уровень помех, определяющих интермодуляционные искажения 2 – го порядка – 79дБ;
- относительный уровень помех, определяющих интермодуляционные искажения 3 – го порядка – 79 дБ.

Выводы

1. Разработана методика метрологической аттестации измерительных каналов систем высокочастотной вибродиагностики, позволяющая определять динамический диапазон информативных сигналов и помех, в котором метрологические характеристики канала не хуже заданных.

2. Произведена апробация методики и получены результаты оценки динамического диапазона измерительного канала системы высокочастотной вибродиагностики, реализованного на основе стандартных аппаратных средств.

Список источников

1. International standard ISO 5347-3(E):1993. Methods for calibration of vibration and shock pick – ups. – Part 3: Secondary vibration calibration. – 7p.

2. МИ 2002 – 89. Рекомендация. ГСИ. Системы информационно – измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. М. Изд – во стандартов., 1991, - 35 с.

3. Воронцов А.Г. Исследование влияния нелинейности фильтра основной селекции измерительного канала системы вибродиагностики на погрешность измерения виброускорения - Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 25, Серія - Обчислювальна техніка та автоматизація. Донецьк, ДонДТУ, 2001.- С.197-202.

4. Воронцов А.Г. Исследование влияния нелинейности фильтра основной селекции на уровень помех в измерительном канале системы вибродиагностики. // Вестник Восточноукраинского национального университета. – 2002. - № 1, С 260 – 267.

5. Brown P.J. Condition monitoring of rolling element bearings. // Noise Contr. Vibr. and Insul. – 1977. – Vol. 8, №2. – P. 41 – 44.

6. Серридж М., Лихт Т.Р. Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и преусилителям. Изд – во «Ларсен и сын», Глоструп, Дания. 1987, 187 с.

7. МИ 2083 – 90. Рекомендация. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. М.: Изд – во стандартов, 1991, - 5 с.