# Введение

Испытания ударным молотком применяются для измерения амплитудно-частотных и передаточных характеристик объектов. Ударный молоток создает импульс, который передается материалу, и затем измеряется отклик в виде звука или вибрации.

По этим данным можно судить о прочности и целостности материала.  
Метод испытаний ударным молотком широко применяется в строительстве, машиностроении, авиационной и автомобильной промышленности, а также в лабораторных условиях для научных исследований и контроля качества продукции.

Преимуществом метода испытаний с помощью ударного молотка является возможность проведения испытаний в полевых условиях и скорость подготовки испытания, поскольку не требует длительной процедуры препарирования объекта испытаний множеством датчиков и развертыванием системы возбуждения объекта модальным вибростендом.

# Назначение программы

Данная программа предназначена для анализа вибраций, связанных с лопатками турбин и других вращающихся механизмов. Она позволяет проводить тесты, анализировать частотные характеристики (FRF), работать с профилями и параметрами, а также формировать отчёты.

# Описание метода

Для получения передаточных характеристик в различных точках исследуемого объекта

На объект испытаний устанавливается датчик, в точке в которой отсутствуют резонансы. В дальнейшем сигнал с датчика используется в качестве опорного.

В качестве портативной системы измерения можно использовать MIC-224, MIC-200 или MIC-355. С помощью модального молотка выполняется серия ударов в каждой исследуемой точке с целью построения передаточной характеристики относительно опорного датчика. ПО позволяет отфильтровать «неудачные» удары, участвующие в расчете передаточной характеристики.



Рисунок 1 Стуктурная схема системы измерений

# Описание ПО

Алгоритм измерения передаточной характеристики состоит из этапов:

1. Настройка компонента;
2. Выполнение серии ударов;
3. Отбраковка ударов и сохранение передаточной характеристики в БД;
4. Сравнение передаточной характеристики удара с БД;

# Настройка

Окна обработки ударов и настройки показаны на Рисунок 2 и Рисунок 3. Назначение элементов окон представлены в таблице:

Таблица 1 Назначение элементов окна построения передаточных характеристик

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование** | **Назначение** |
| 1 | График отображения удара | Синим цветом отображается осциллограмма импульса удара, зеленым – отклик. Оранжевым цветом отображается весовая функция (2). |
| 2 | Управление весовым окном | При включении опции «весовое окно», отображается функция весового окна (оранжевым цветом), длительность и крутизну которой можно регулировать интерактивно, перетаскивая маркеры старта и стопа. При этом интерактивно обновляется расчет спектральных характеристик (FRF/ Когерентность) |
| 3 | Выбор спектральных функций | Кнопка 1 удаляет выбраный удар из обработки (кнопка 6 убирает из обработки без удаления);  Отображение спектра/ передаточной (в зависимости от элемента 5) характеристики. Толстой линией отображается усредненная по серии ударов передаточная характеристика.  Желтым цветом отображается функция когерентности. Когерентность в измеряемом диапазоне ниже 0,7 обычно говорит о низкой корреляции воздействия и отклика и может служить основанием для отбраковки удара.  Кнопка 3 вызывает построение отчета по лопатке;  Кнопка 4 вызывает построение отчета по турбине;  Элемент 7 – переключает отображаемый и обрабатываемый удар;  Элемент 8 включает/ выключает оконную функция для фильтрации исходного сигнала; |
| 4 | Окно отображения частотных характеристик | На графике отображается выбраная частотная характеристика по указанным в п.8 каналам. По двойному клику в области окна производится возврат к преднастроенному масштабу. При перемещении курсора в окне 8 отображаются параметры сигналов - x, y значения частотной характеристики в точке на которую установлен курсор. Если курсор находится в области преднастроенного частотного тона (отображается серым цветом (5 на рисунке 2)), в 8.3 отображается результат вычисления коэффициента демпфирования (), где f1 и f2 значение частоты с амплитудой на уровне 0,5 от уровня амплитуды экстремума, F – частота которой соответствует экстремум. |
| 5 | Частотная полоса | Серым цветом показана заданная в настройках частотная полоса, зеленым – флаг с характеристиками полосы (главная частота F, значения сигналов в точке F) |
| 6 | Триггерный порог | Отображается красной пунктирной линией. Может перемещаться с помощью мыши. Позволяет указать уровень который должен пересечь сигнал, чтобы зафиксировать экстремум. |
| 7 | Выбор лопатки | Выбор обрабатываемой лопатки с помощью SpinBtn;  В окно Статус показывается состояние лопатки: Годен/ не годен/ не испытан;  Демпфирование – частота, индекс точки и значение демпфирования в полосе; |
| 8 | Выбор активного сигнала | Выбрать сигнал можно кликом по сигналу, если необходимо отобразить сигналы по нескольким каналам, то необходимо установить галочки напротив каналов; |

Таблица 2 Назначение элементов окна настройки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование** | **Назначение** |
| 1 | Список доступных сигналов | Список сигналов для обработки. При перемещении сигнала с помощью Drag&Drop в список обработок (3) изначально добавляется Тахо сигнал (воздействие). Сигналы отклика добавляются к Тахо сигналу в качестве дочерних элементов. |
| 2 | Фильтр по имени | При наборе строки в списке сигналов (1) остаются элементы в имени которых содержится подстрока. |
| 3 | Список обработок | Для добавления новых сигналов необходимо перетащить сигналы из списка доступных сигналов (1) с помощью D&Drop. Выбранные элементы можно удалять клавишей del. |
| 4 | Имя Тахо сигнала | При выборе элемента в дереве обработок (3) в элементе отображается имя корневого элемента. |
| 5 | Настройка детектора удара | 1 Амплитуда сигнала. Уровень при превышении которого срабатывает детектор удара. Интервала обработки определяется правилом: максимальное значение амплитуды после срабатывания триггера принимается за T0, далее производится отступ влево от T0 на время «Отступ слева» (2) и от него производится отступ вправо равный длительности интервала (3)  4 – открыть диалог настройки базы данных испытания; |
| 6 | Кнопка «Обновить» | Переносит настройки из диалогов в выбранные элементы обработки |
| 7 | Настройки расчета спектра | 7.1 Размер блока FFT – коли-во точек кратное степени 2;  7.2 Смещение блока при расчете. Используется при усреднении (включена опция Welch (7.6)). Например, если смещение в 2 раза меньше порции FFT, это значит что обработка ведется с 5-и процентным перекрытием и удастся посчитать больше порций FFT. Количество блоков с длиной «Размер блока» (7.1), с учетом «Смещения блока» (7.2) укладывающихся в «Длительность» (5.3) удара;  7.3 Разрешение спектра – справочное поле определяется по формуле «Частота дискретизации»/«Размер блока»;  7.4 Размер блока автоматически высчитывается исходя из частоты дискретизации и размера блока;  7.5 Оценка – тип характеристики при расчете FRF  7.6 Усреднение при расчете FRF. Число блоков высчитывается автоматически по размеру блока, длительности удара, смещению порции.  7.7 Число ударов – количество импульсов которое участвует в усреднении передаточной характеристики;  7.8 Дополнять нулями; |
| 8 | Отображение результатов расчета | 8.1 Логарифмические оси для отображения спектральных характеристик;  8.2 Масштаб осей. Переход к масштабу по умолчанию по dblClick.  8.3 Критерий отбраковки ударов;  8.4 Сохранять T0 для ударов. При нажатии кнопки сохранить замер mera файл может содержать астрономическое время. Если опция отключена время не сохраняется, для удобства сравнения ударных импульсов в WinПОС. |
|  |  |  |



Рисунок 2 Вид компонента для измерения передаточной характеристики



Рисунок 3 Диалог настройки компонента анализа ударов

# База данных испытаний

База данных испытаний реализована в виде структуры каталогов, расположена по пути C:\Mera files\BladeMdb\

Каждому объекту базы данных сопоставляется каталог с именем совпадающим с именем объекта и файл описатель в формате xml.

В корневом каталоге хранится описатель базы данных bladeMdb.xml. Файл содержит настройки типов турбин, ступеней и соответствующих лопаток;

В каталогах турбин, ступеней и лопаток содержатся свойства и результаты испытаний конкретных образцов испытаний и отчеты в формате .xlsx.

При построении отчета по турбине используется шаблон расположенный в каталоге C:\Mera files\BladeMdb\Templates\Report\_tmpl.xlsx. Пример шаблона показан на Рисунок 4.

При построении отчета выполняется поиск областей в которых должна располагаться информация (настройки объектов, тонов, результаты обработки лопаток);



Рисунок 4 Шаблон протокола по турбине;



# *Рисунок 5 Настройка база данных испытаний*

# Алгоритм работы:

Произвести настройку компонента:

1. Добавить компонент обработки ударов; 
2. Нажать правой кнопкой на компоненте и зайти в настройку.
3. Добавить в список обработок канал к которому подключен ударный молоток в корневой узел (3.1);
4. Настроить амплитуду детектирования, длительность удара, отступ слева (Рисунок 4);



Рисунок 6 Длительность удара

1. Настроить амплитуду детектирования, длительность удара, отступ слева (Рисунок 4);
2. Настроить параметры вычисления спектра: размер блока, смещение блока, число ударов;

Произвести серию ударов. При обнаружении удара обновляется счетчик «Удар №», отображается осциллограмма и спектр удара. При ударе молотком часто возникает повторный удар (отскок молотка от испытываемого объекта). Паразитный удар и отклик можно зафильтровать с помощью оконной функции (перетащить мышкой элементы в окне с временной реализацией). При этом для удара используется прямоугольное окно, а для отклика экспоненциальное.

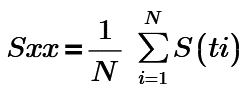
При поиске экстремумов применяется алгоритм:

1. Производится вычисление экстремумов по активному сигналу. Активный сигнал задается в окне 8;
2. При поиске экстремума производится сравнение сигнала FRF с уровнем, заданным с помощью Триггера (элемент 6 на рис.2); Если произошло превышение уровня включается поиск максимума в полосе f1..f2, где f1 и f2 точки пересечения FRF и триггера;
3. Список найденных экстремумов сравнивается с экстремумами в частотных полосах заданных в БДИ для выбранного типа лопатки; При сравнении экстремумы сопоставляются по номеру, т.е. первый найденный экстремум по частоте должен попасть в первую частотную полосу. Если частота хотя бы одного экстремума не совпала с настроенными тонами, лопатка бракуется;
4. Для найденных тонов вычисляется демпфирование;

Расчет демпфирования осуществляется по формуле: ), где f1 и f2 значение частоты с амплитудой на уровне 0,5 от уровня амплитуды экстремума, F – частота которой соответствует экстремум.

Расчет когерентности по серии ударов: ,

Sxy – кроссспектр, Sxx и Syy – автоспектр от исходных сигналов. Значение спектра для каждого сигнала это вектора вида (R; i\*Im). Sxx и Syy могут быть найдены как модули соответствующих векторов



После расчета Sxx и Syy в моменты t1 и t2 требуется произвести усреднение Sxx и Syy

Для расчета числителя формулы когерентности Sxy необходимо посчитать комплексное произведение s1 и s2 в моменты времени t1 и t2.

Cxy=Sx\*(Sy’)=(RxRy+i1i2; IxRy-IyRx), где (Sy) комплексно сопряженный вектор с Sy

После расчета Cxy в моменты времени t1 и t2, Сxy усредняется в векторной форме, после чего вычисляется модуль modCxy.

Таким образом если фаза между сигналами сохраняется когеренция стремится к 1, т.к. в знаменателе усреднение сигналов Sxx и Syy идет без учета фазы.