

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ В ВИБРАЦИОННОМ ПРИБОРЕ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

И.А. Чумаков

В настоящее время в системах охранной сигнализации все большее применение находит так называемый режим раннего обнаружения несанкционированного воздействия, позволяющий реагировать не только на разрушение блокируемой конструкции, но и уже на попытку проникновения, что делает его наиболее эффективным при охране малых и удаленных объектов. Для реализации этого режима необходимы охранные приборы (извещатели) нового типа, так как существующие имеют существенные ограничения на использование их в качестве упрещающих.

Так, например, одни из наиболее часто используемых - пьезоэлектрические вибрационные извещатели типа «Шорох», «Грань» и др. Данные приборы предназначены для охраны достаточно крупных объектов и могут не зарегистрировать слабое воздействие. Реже используются различного типа емкостные датчики, но они предъявляют существенные требования к объекту контроля (наличие проводимости, отсутствие утечки на землю, максимальная емкость).

Дополнительно на охранные извещатели накладываются довольно жесткие ограничения по энергопотреблению, диапазону рабочих температур, стоимости.

Как показывает статистика, большое количество краж совершается путем взлома запорных механизмов дверей. При этом, как правило, воздействия при взломе достаточно слабые (открывание отмычкой, высверливание и т.д.). В связи с вышесказанным, возникает задача создания прибора, способного обнаруживать несанкционированные воздействия на запорные механизмы двери при высокой устойчивости к посторонним помехам, даже большой интенсивности.

Наиболее эффективно выделять попытку проникновения путем регистрации шумов и вибраций, возникающих при несанкционированном воздействии, но, вместе с тем, такой подход требует достаточно сложного анализа состава сигнала первичного преобразователя для обеспечения достаточной помехоустойчивости при сохранении чувствительности прибора. А в связи с огромным количеством вариантов конструкций

дверей, их материалов и размеров, множеством типов замков и местом их крепления достаточно сложно решить задачу создания универсального прибора, эффективного в большинстве практических случаев.

Для приближенного определения характера сигнала первичного преобразователя была рассмотрена математическая модель двери. Дверное полотно было представлено однородной прямоугольной пластиной, шарнирно опертой по краям, что для подавляющего большинства практических случаев является верным.

Как известно из [1-3] свободные поперечные колебания пластинки при упругих деформациях описываются дифференциальным уравнением в частных производных вида:

$$\left(\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + \frac{2\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4}\right) + \frac{\gamma \cdot h}{D} \cdot \frac{\partial \omega^2}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где $D = \frac{Eh^3}{12 \cdot (1 - \sigma^2)}$ - цилиндрическая

жесткость на изгиб, γ - удельный вес материала на единицу объема, E - модуль упругости, σ - коэффициент Пуассона, h - толщина пластинки.

Для однородных пластин постоянной толщины, шарнирно опертых по краям, решение уравнения (1) записывается в виде ряда:

$$\omega(x, y, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} A_{ij} \cdot \sin\left(\frac{i \cdot \pi}{a} \cdot x\right) \cdot \sin\left(\frac{j \cdot \pi}{b} \cdot y\right) \cdot \sin(p_{ij} \cdot t + v_{ij}) \quad (2)$$

где a, b - геометрические размеры пластинки.

$$\text{Уравнение } p_{ij} = \pi^2 \cdot \left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\gamma \cdot h}}$$

будет являться уравнением собственных частот пластинки. Постоянные A_{ij} и v_{ij} находятся из начальных условий известными методами.

Исследование математической модели проводилось с целью изучения реакции системы на ударные воздействия, а также для определения влияния различных факторов на интенсивность и состав сигнала первичного преобразователя.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ В ВИБРАЦИОННОМ ПРИБОРЕ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Для исследования влияния материала двери и его геометрических размеров на собственные частоты системы, был произведен соответствующий расчет. В зависимости от материала варьировались плотность γ в диапазоне от 500 кг/м^3 (дерево) до 7800 кг/м^3 (железо), модуль упругости E от 11 ГПа до 206 ГПа и коэффициент Пуассона ν от 0,25 до 0,3. Расчет проводился для размеров полотна от $0,7 \times 2$ до 3×3 м, с толщиной материала от 1 до 5 мм для железа и от 10 до 25 мм для дерева. Результаты исследования приведены на рисунке 1.

Наибольшее влияние на собственную частоту колебаний оказывают геометрические размеры дверного полотна. Так, изменение ширины пластинки от одного до трех метров вызывает уменьшение основной собственной частоты более чем в десять раз (кривая 1). Зависимость частоты от толщины материала носит линейный характер (кривая 2). Увеличение плотности материала двери вызывает уменьшение собственных частот (кривая 3). В заданном диапазоне изменения плотности материала основная собственная частота пластинки изменилась менее чем в три раза. Изменение модуля упругости слабо влияет на собственные частоты пластинки (кривая 4). Для заданного диапазона изменения модуля упругости изменение частоты не превысило 50 %.

Для крайних сочетаний условий основная собственная частота дверного полотна лежит в диапазоне 0,3 - 90 Гц для металла и 14 – 370 Гц для дерева.

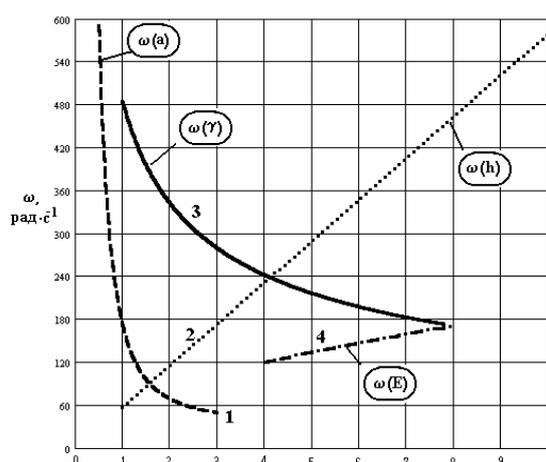


Рисунок 1 – Зависимость основной собственной частоты дверного полотна от вариаций его геометрических размеров и свойств (ось ординат представлена в нормированных значениях)

Как показало исследование математической модели, интенсивность ударного воздействия не оказывает влияния на частотный состав сигнала. Изменение координат точки воздействия значительно меняет спектральный состав сигнала. Так, при ударном воздействии, приложенном к центру пластины, в спектре сигнала преобладают низкочастотные составляющие. Смещение точки воздействия к краю увеличивает число высокочастотных гармоник. Так, при воздействии на центр пластины, ($x=0,5; y=0,5$) в спектре колебаний выражены только первая и третья гармоники (рисунок 2а). При воздействии в угол полотна ($x=0,1; y=0,1$) проявляются более высокие гармоники (рисунок 2б). При любом воздействии в сигнале обязательно присутствует основная частота колебаний полотна.

Изменение координаты положения первичного преобразователя влияет на чувствительность, что естественно следует из (2). Так, при снятии сигнала в центре полотна, амплитуда сигнала максимальна. При смещении преобразователя к краю амплитуда сигнала падает, но становятся более выраженными высшие гармоники колебаний.

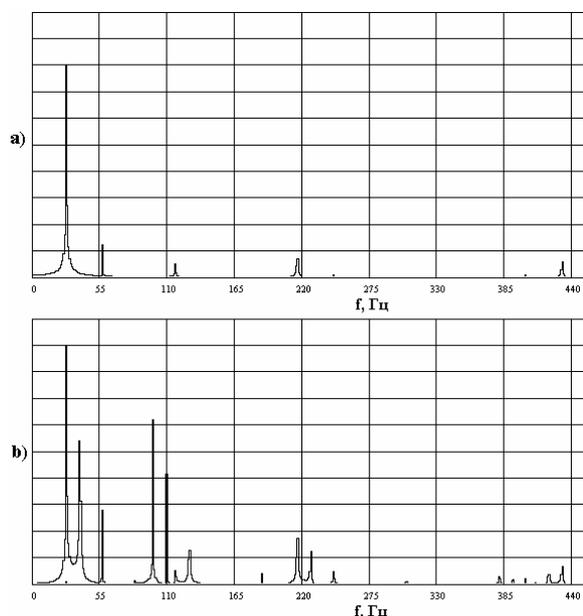


Рисунок 2 – Спектральный состав колебаний при различных координатах точки воздействия

Собственные частоты корпуса и отдельных механизмов замка очень велики (сотни кГц), и сигнал первичного преобразователя при воздействии на замок обусловлен упругими колебаниями отдельных

частей механизмов в зазорах. Ввиду огромного многообразия конструкций запорных устройств характер этих колебаний был определен эмпирическим путем.

Для исследования структурных и частотных параметров сигналов был использован аппаратно-программный комплекс на базе ПК. С помощью АЦП, входящего в состав звуковой платы Creative SB-128, сигнал преобразовывался в числовой массив и далее обрабатывался в пакете MathCAD. Исследования проводились для замков сувальдного и накладного типа, как наиболее распространенных, для деревянных и металлических дверей.

В качестве возмущающих были использованы следующие воздействия: перпендикулярный упругий удар по полотну двери резиновым шаром 0,5 кг со скоростью 1м/с., сверление, штатное открывание замка ключом, акустическое воздействие источником интенсивностью 100 дБ в звуковом диапазоне частот на расстоянии 0,5 м. В качестве первичного преобразователя был использован пьезоэлектрический элемент.

Результаты исследования показали следующее. При ударном воздействии на дверное полотно спектральный состав колебаний хорошо сходится с полученными ранее значениями на основе анализа математической модели. Наличие в конструкции двери элементов, повышающих ее жесткость, вызывает небольшое увеличение значений собственных частот двери. Общая длительность затухания сигнала составляет от 90 до 400 мс. Корпус замка и дверное полотно имеют хорошую акустическую связь, в связи с чем, при воздействии на дверь вибрации практически без искажений передаются на первичный преобразователь, установленный на корпусе замка. Отличие сигнала при таком размещении первичного преобразователя от сигнала, снятого непосредственно с дверного полотна, заключается в присутствии высокочастотных составляющих в диапазоне 7-12 кГц, вызванных откликом механизмов замка, причем ВЧ составляющие появляются с небольшим запозданием относительно НЧ сигнала. Величина запаздывания зависит от типа замка и находится в интервале 1-6 мс. Также снятие вибраций с корпуса замка вызывает некоторое снижение амплитуды сигнала, не превышающее 20 дБ.

Даже слабое воздействие на замок вызывает на выходе первичного

преобразователя сигнал значительной амплитуды. Частоты сигнала находятся в диапазоне 1400-2100 Гц. Длительность сигнала при штатном открывании значительно зависит от типа замка и скорости поворота ключа и лежит в интервале от 500 мс до 2 секунд.

При инструментальном воздействии частотные всплески находятся в диапазоне 1400-2100 Гц и 6-14 кГц. При увеличении интенсивности воздействия в спектре сигнала появляются более низкие частоты, обусловленные откликом дверного полотна.

Внешние акустические шумы, даже большой интенсивности, слабо воспринимаются первичным преобразователем и легко выделяются из остальных воздействий.

Ударные и вибрационные помехи, вызванные воздействием на связанные конструкции (стены, перекрытия) дают сигнал, схожий с ударным воздействием на дверное полотно, но имеющий несколько меньшую амплитуду.

Таким образом, для задачи различения воздействий на дверное полотно и непосредственно на замок, а также внешних помех можно использовать следующие информационные характеристики сигналов: амплитуда сигналов; наличие в спектре сигнала частотных составляющих в полосах 0-400 Гц, 1,4-2,1 кГц, 6-14 кГц; очередность следования частотных выбросов в спектре сигнала; длительность сигнала. Комплексный анализ всех характеристик позволяет однозначно определить тип воздействия и обеспечивает высокую чувствительность и помехозащищенность при обнаружении несанкционированных воздействий.

Полученные данные являются истинными для большинства практических случаев, что позволяет использовать их для создания универсального охранного извещателя, не требующего дополнительных настроек под конкретные характеристики объекта контроля.

На основе результатов данных исследований был построен прибор охранной сигнализации, регистрирующий попытки открывания замка, а также попытки разрушения дверного полотна. При этом прибор не реагирует на помехи в виде легкого стука, внешних шумов и вибраций. Данный прибор уже более двух лет успешно работает в составе одной из экспериментальных систем охранной сигнализации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ В ВИБРАЦИОННОМ ПРИБОРЕ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1968.
2. Рабинович И.М. Расчет сооружений на импульсивные воздействия. – М.: Наука, 1970.
3. Вибрации в технике: справочник в шести томах. Т. 1. Колебания линейных систем / К.В. Фролов, В.В. Болотин и др. – М.: Энергоатомиздат, 1999.