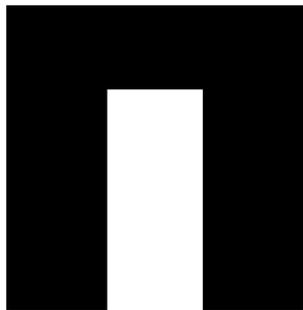


Метод устранения систематической составляющей неопределенности экспериментальных данных

В статье говорится о применении численного метода устранения систематической составляющей неопределенности при проведении экспериментальных работ по определению толщины материала микроволновым методом



А.В. Дудаков
аспирант ФГАОУ ДПО АСМС,
Москва, reidalfa@rambler.ru

ри проведении любых измерений полученные значения характеризуются некоторым уровнем неопределенности, обусловленной несовершенством измерительного инструмента и алгоритмов обработки данных. В общем случае неопределенность состоит из случайной и систематической составляющих [1]. Случайная составляющая неопределенности вызвана случайными отклонениями параметров, влияющих на проведение измерения. Она может быть устранена усреднением результатов большого количества измерений, проведенных в одинаковых условиях. Систематическая составляющая неопределенности является следствием физических явлений и процессов, влияние которых от эксперимента к эксперименту не меняется. Эта составляющая — следствие как недостаточно качественной подготовки эксперимента, так и влияния неустранимых внешних воздействий.

В зависимости от особенностей проведения эксперимента систематическая неопределенность может достигать значительной величины. При этом общая неопределенность не может быть уменьшена ниже значения систематической составляющей. Для устранения указанной составляющей неопределенности необходимо либо устранить первопричину ее возникновения, либо механизм возникновения данной составляющей должен быть учтен аналитически, что возможно только для простых физических процессов.

При невозможности прямого устранения систематической составляющей неопределенности в некоторой степени может быть устранена численно. При этом необходимо иметь возможность опытным путем определить влияние параметров эксперимента на величину неопределенности.

Описание эксперимента

Микроволновый метод [2] определения толщины слоя материала основан на взаимодействии электромагнитного поля с границей раздела материалов с различными физическими свойствами. Граница, отделяющая поверхность материала от пустоты или воздуха, способна частично отражать электромагнитные волны. Действие метода основано на принципе радиолокации. Схема работы микроволновой системы измерения представлена на рис. 1.

СВЧ-генератор создает электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль волновода. Ферритовый вентиль представляет собой электромагнитный обратный клапан, который обеспечивает одностороннее прохождение электромагнитного излучения и исключает влияние отраженного излучения на работу генератора. Датчик полных сопротивлений — устройство, определяющее комплекс параметров электромагнитного поля. Согласующий элемент создает физическую структуру, обеспечивающую наименьшие потери для прохождения электромагнитной волны в прямом и обратном направлениях (согласование магистрального волновода и зоны измерения). Эксперимент проводился на установке закрытого типа. Зона измерений представляла собой участок волноводного тракта, в котором размещался исследуемый образец материала.

Электромагнитное излучение, созданное генератором, проходит вдоль всего волноводного тракта до свободной поверхности образца, частично отражается от нее и возвращается назад. Отраженная волна движется по волноводу в обратном направлении и, складываясь с падающей волной, создает внутри волновода результирующую

Ключевые слова

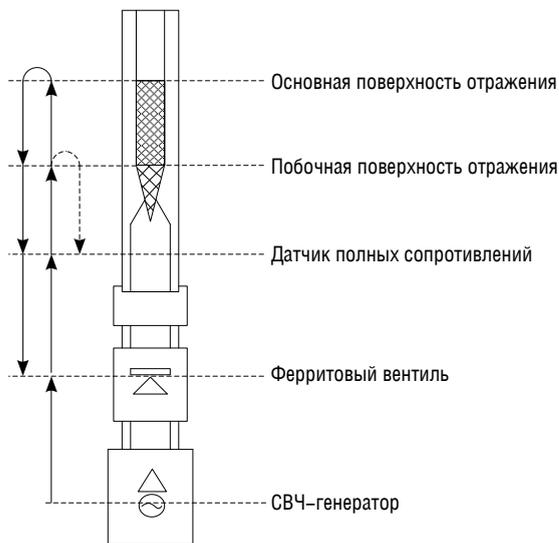
неопределенность, случайная составляющая неопределенности, систематическая составляющая неопределенности

щую волну. Параметры стоячей волны напрямую зависят от расстояния, пройденного волной в исследуемом материале. Таким образом, параметры, измеряемые датчиком, напрямую связаны с физической длиной образца исследуемого материала.

Данная схема применяется при исследовании процесса горения твердых топлив, для определения одной из основных характеристик топлива — зависимости линейной скорости горения от величины атмосферного давления. При этом величина давления определяется датчиком давления, а скорость рассчитывается путем численного дифференцирования измеряемого положения границы раздела фаз по времени. При проведении эксперимента в каждый момент времени фиксируется измеренная длина.

При проведении экспериментальных работ выявлено наличие систематической составляющей неопределенности, причем величина отклонения измеренного значения от действительного зависит от физической длины образца и от физических свойств исследуемого материала. Для подтверждения гармонического характера распределения неопределенности была проведена серия экспериментов на гидроустановке, образцом переменной длины в которой служит столб жидкости. Гидравлическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 2.

В результате проведенных работ было выявлено характерное распределение относительной неопределенности измерения толщины столба жидкости, а также распределение относительной погрешности скорости ее перемещения по физической длине образца. Высота столба жидкости выставлялась с помощью соединенного с поршнем микрометрического винта. По вертикальной оси графика отложены номера точек, соответствующие истинному положению поверхности жидкости (точность установки истинного положения 0,4%). На рис. 3, 4 представлены распределения неопределенностей определения высоты образца и скорости перемещения поверхности, построенные посред-



ством усреднения трех экспериментов для каждой жидкости.

Таким образом, установлено, что неопределенность измерения зависит как от диэлектрических свойств исследуемого материала, так и от самой измеряемой величины. По мнению автора, причиной этого является недостаточно качественное согласование волновода, в результате которого возникают паразитные переотражения, искажающие параметры стоячей волны. Из-за невозможности измерения параметров поля во всех точках волновода устранить систематическую составляющую физически не представляется возможным.

Рис. 1. Принципиальная схема метода измерения

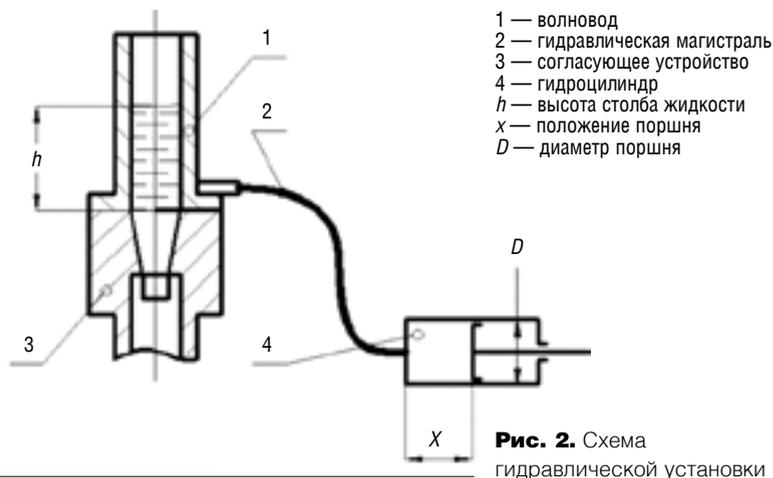


Рис. 2. Схема гидравлической установки