

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЛАЖНОСТИ

О. М. ПЛЯЦ, к.т.н. (БАТУ)

Методика экспериментальных исследований.

Перспективность конструкторской разработки устройства контроля влажности зависит от того, насколько удачно выбран метод определения влажности.

Выбирая тот или иной метод определения влажности конкретных сред, следует учитывать ряд факторов, характеризующих связь состав-свойство, чувствительность метода, т.е. приращение измеряемой величины (косвенного параметра) при изменении влажности среды, линейность полученной зависимости в пределах необходимого диапазона определения влажности, зависимость от внешних факторов, сопутствующих контролю (температуры, толщины слоя, уплотнения среды и др.).

Анализ акустических свойств влажных сыпучих сред, а также результаты теоретических и предварительных экспериментальных исследований показали, что на амплитуду акустической волны, наряду с влажностью среды, оказывает влияние ряд других факторов [1].

Экспериментальные исследования амплитудного измерительного преобразователя влажности предусматривали количественную оценку влияния этих факторов на амплитуду акустической волны. Задача решалась методами планирования многофакторного активного эксперимента. Для этого применена экспериментальная измерительная установка, содержащая генератор сигналов типа ГЗ-11А, селективный микровольтметр В6-9, электронный милливольтметр В7-16А и формирователь образцов контролируемой среды с первичным измерительным преобразователем.

В качестве электроакустических преобразователей применены пьезоэлементы типа ЦТС-19. Исследуемой средой являлась травяная мука, приготовленная на сушилке типа АВМ.

Образцы травяной муки определенной влажности помещались в формирователь и обрабатывались в соответствии с программой. Амплитуда и частота зондирующего сигнала устанавливались с помощью генератора сигналов. Измерение амплитуды акустической волны на приемном пьезоэлементе (функции отклика) осуществлялось селективным микровольтметром. Амплитуда зондирующего сигнала контро-

лировалась электронным милливольтметром. Число повторных опытов равно трем. Оно определялось из условия доверительной вероятности 0,7 и допустимой ошибки, выраженной в долях среднеквадратического отклонения, равной 1 [2]. Очередность проведения экспериментов определена из таблицы случайных чисел [3, 4].

Выбор и обоснование математической модели сыпучей среды. В соответствии с ранжированием выбраны 12 независимых факторов, влияние которых следует ожидать на амплитуду волны акустического первичного преобразователя. Исследуем эти факторы с обоснованием интервалов их варьирования.

Как показали результаты предварительных исследований, зависимость амплитуды акустической волны от влажности травяной муки в общем случае носит нелинейный характер. Однако в диапазоне изменения влажности от 7 до 13% эту зависимость в первом приближении можно считать линейной.

Графики изменений амплитуды акустической волны от температуры и плотности травяной муки близки к линейным в рассматриваемом диапазоне их варьирования.

Зависимость амплитуды акустической волны от частоты акустических колебаний в общем случае нелинейная. Однако в узком диапазоне изменения частоты акустических колебаний может быть получена линейная зависимость.

Анализ априорной информации и предварительных исследований показывает, что контролируемая сыпучая среда может быть представлена в виде линейной математической модели. Линейное уравнение (функция отклика), связывающее амплитуду волны с влияющими факторами, имеет вид :

$$Y = Y_0 + \sum V_i X_i \quad (1)$$

Для его реализации необходимо ограничить диапазон варьирования следующих факторов, выявленных в ходе ранжирования: влажности среды, частоты зондирующего сигнала и акустической базы.

Разработанный акустический измерительный преобразователь предназначен для контроля влажности травяной муки, льносемян и др. сыпучих сред на выходе из сушилок (АВМ, противоточной карусельной сушилки типа СКМ и др.). Влажность гото-

вой продукции при этом может колебаться от 5 до 16%. В целях уменьшения погрешности при линейной аппроксимации зависимости амплитуды акустической волны от влажности выберем диапазон ее изменения 7..13%.

При увеличении частоты акустических колебаний поглощение акустической энергии в среде возрастает, а амплитуда акустической волны уменьшается. Учитывая целевое назначение акустического измерительного преобразователя, а также для обеспечения линейной модели, диапазон изменения частоты акустических колебаний приняли 20...30 кГц.

Изменения температуры готовых продуктов на выходе сушилок не превышают 24...30°C. Поэтому для оценки влияния температуры среды на амплитуду акустической волны выберем диапазон ее изменения 20...30°C.

Химический состав растений изменять практически невозможно. Поэтому для оценки его влияния в травяную муку вносились добавки солей в количестве от 0 до 5% на 1 кг продукта.

Объемная плотность травяной муки в условиях производства не достигает больших значений, хотя и не остается неизменной. Изменения плотности травяной муки в сушилках кормовых материалов не превышают 30 кг/м³. Различие плотности травяной муки, приготовленной из разных трав, не превышает 20 кг/м³. В связи с этим диапазон ее изменения выберем в пределах 250...330 кг/м³.

На амплитуду акустической волны оказывает влияние изменение амплитуды зондирующего сигнала. При ее увеличении амплитуда сигнала на приемном преобразователе возрастает линейно. Для учета этого фактора измерения проводили для значений амплитуды зондирующего сигнала от 10 до 20 В.

На амплитуду акустической волны оказывает влияние изменение акустической базы. При ее изменении изменяется амплитуда на приемном электроакустическом преобразователе. В целях реализации линейной модели примем изменение акустической базы в пределах от 0,11 до 0,065 м.

Материал защитной диафрагмы, предохраняющей рабочую поверхность пьезоэлемента от износа, также оказывает влияние на амплитуду волны акустического измерительного преобразователя. Для учета этого фактора исследования проведены для двух материалов: текстолита и органического стекла. За верхний уровень принята диафрагма из органического стекла (Ор), за нижний - из текстолита (Т).

Для учета влияния на амплитуду волны толщины материала защитной диафрагмы, измерения проведены для ее значений от 0,001 до 0,007 м.

При одностороннем положении вибраторов интерес представляет влияние на амплитуду волны толщины слоя контролируемой среды. Для учета влияния указанного фактора измерения проведены для толщины слоя в пределах от 0,15 до 0,18 м.

Влияние исходного сырья, из которого приготовлена травяная мука, оценивали по двум ее видам: травяной муке на основе гороха с викой и тимофеевки.

Учет влияния распределения влаги в контролируемой среде проводили измерением амплитуды спустя 1 час после увлажнения и после выдержки в течение 3 часов. Причем, за нижний уровень приняли образцы муки с выдержкой в течение часа, а за верхний - в течение 3 часов.

Поскольку амплитуда акустической волны и факторы являются размерными величинами, а также в целях упрощения записи условий эксперимента и обработки экспериментальных данных, проведено их кодирование по формуле :

$$X_i = \frac{\tilde{X}_i - \tilde{X}_{i0}}{I_i}, \quad (2)$$

где X_i - кодированное значение фактора; \tilde{X}_i - натуральное значение фактора; \tilde{X}_{i0} - натуральное значение основного (базового) уровня (среднее значение); I_i - интервал варьирования; i - номер фактора.

С учетом кодирования факторов уравнение (1) примет вид :

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i \quad (3)$$

Обратный переход от кодированных уравнений (3) к натуральным (1) осуществляется с помощью выражения (2).

Для определения коэффициентов линейного уравнения (3) пользовались 1/256 репликой от 2₁₂ полнофакторного эксперимента. Указанный план позволяет сократить количество опытов с 4096 при полнофакторном эксперименте до 16 при всех возможных сочетаниях факторов.

Результаты исследования линейной модели сыпучей среды. Статистическая оценка результатов эксперимента проведена на ЭВМ. Гипотеза об однородности дисперсии подтверждается, экспериментальное значение критерия Кохрена (отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий) $G = 0,31$ меньше табличного $G_{кр} = 0,33$ для степеней свободы $f_1=2, f_2 = 16$. Дисперсия воспроизводимости равна 0,0136, дисперсия оценок коэффициентов регрессии - 0,00085. Значение критерия Стьюдента при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы 32 составило 2,042.

Уравнение регрессии амплитуды акустической волны относительно значимых коэффициентов имеет вид :

$$Y = 1,006 + 0,823 \cdot x_1 + 0,37 \cdot x_2 - 0,249 \cdot x_3 + 0,309 \cdot x_4 - 0,165 \cdot x_5 - 0,357 \cdot x_8 - 0,127 \cdot x_9 + 0,296 \cdot x_{10} \quad (4)$$

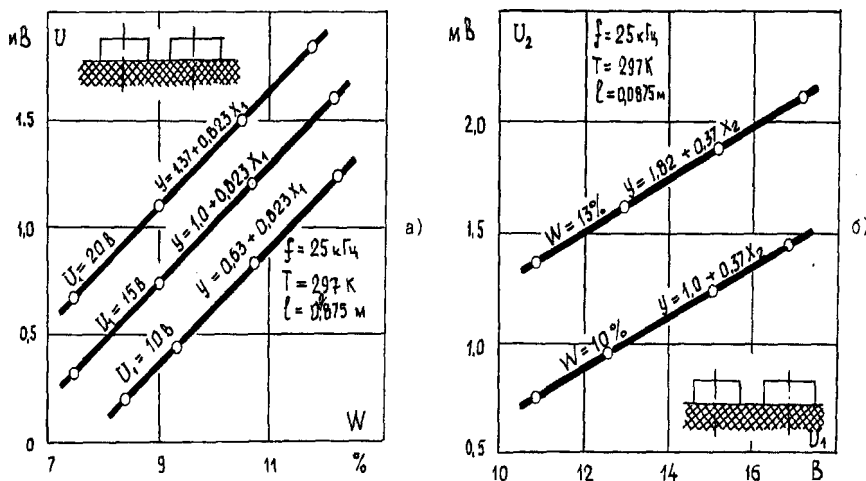


Рис.1. Графики зависимости амплитуды волны от влажности травяной муки (а) и амплитуды зондирующего сигнала (б).

пературы и толщины слоя травяной муки, а также амплитуды зондирующего сигнала амплитуда акустической волны возрастает. И, наоборот, увеличение частоты акустических колебаний, акустической базы и толщины защитной диафрагмы ведет к уменьшению амплитуды акустической волны.

На амплитуду акустической волны малое влияние оказывают: изменения степени уплотнения, распределение влаги, вид сырья и химические добавки. Влияние изменений гранулометрического состава контролируемой среды, выраженное в процентах влажности, составляет 0,12% на 0,001м [5].

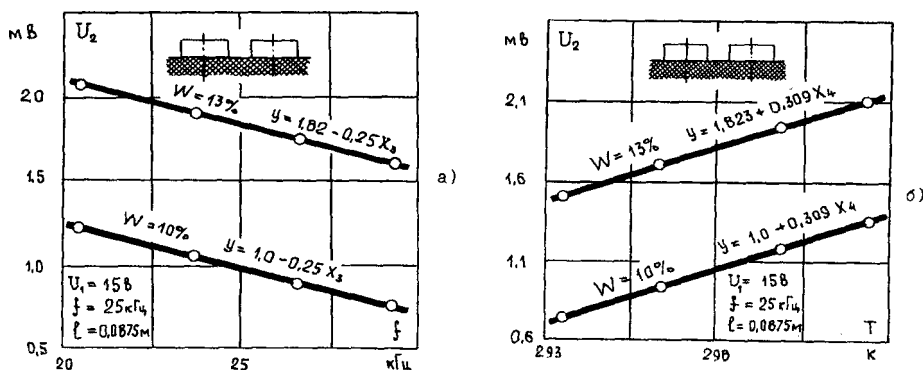


Рис.2. Графики зависимости амплитуды волны от частоты зондирующего сигнала (а) и температуры травяной муки (б).

Полученное уравнение регрессии адекватно. Дисперсия адекватности равна 0,0212. Расчетное значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05 $F=1.6$ меньше табличного $F_{кр} = 2,4$.

Графики зависимости амплитуды акустической волны от влажности травяной муки показаны на рис. 1. Как видно из графиков, увеличение влажности приводит к увеличению амплитуды акустической волны. Увеличение амплитуды зондирующего сигнала в широком диапазоне ведет к возрастанию амплитуды акустической волны. При увеличении частоты акустических колебаний амплитуда акустической волны уменьшается (рис.2,а). Увеличение темпе-

ратуры травяной муки ведет к увеличению амплитуды акустической волны (рис.2,б).

Анализ уравнения регрессии (4) показывает, что увеличение толщины слоя диафрагмы приводит к резкому уменьшению амплитуды акустической волны, а увеличение толщины слоя травяной муки - к возрастанию амплитуды.

На амплитуду акустической волны оказывают влияние изменения влажности, амплитуды и частоты зондирующего сигнала, температуры контролируемой среды, акустической базы, толщины слоя среды, материала и толщины защитной диафрагмы. При увеличении влажности, тем-

Литература

1. Ученые записки: Сб. науч. тр./ МОПИ, вып.8, Сост. В.Ф. Яковлев. - Москва, 1965. - С.44-46.
2. Руководящий технический материал по основам планирования эксперимента в сельскохозяйственных машинах: РТМ 23.2.36-73. - 114с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - Москва: Наука, 1976. - 278с.
4. Бродский В.З. Введение в факторное планирование эксперимента. - Москва: Наука, 1976. - С.14-20.
5. Пляц О.М. Оценка влияния факторов на косвенный параметр акустического амплитудного метода измерения влажности // Автоматизация процессов сельхоз. производства, приборы контроля и средства автоматизации: Тез. докл. науч. конф., Минск, 28-30 сентября 1982/ Бел. ин-т мех. с.х. - Минск, 1982. - с. 115-117.