

Выводы

При электродной обработке проводящих кормовых материалов электрический ток, даже если его рассматривать чисто как энергоноситель, создает положительный технологический эффект, выраженный в объемном вводе энергии, высокой интенсивности и равномерности нагрева.

Из-за определенной неоднородности электрических свойств компонентов дисперсной системы, электрический ток оказывает, помимо объемного нагрева, также и избирательное термическое действие, повышая температуру отдельных субстанций материала. Этими факторами, а также электрофизическим и электрохимическим действиями тока, можно объяснить снижение конечной температуры обработки, а также более значительный угнетающий или стимулирующий жизнедеятельность биологических объектов эффект в сопоставимых опытах при электрической обработке по сравнению с косвенным нагревом [1,2].

Полученные математические модели процесса нагрева корма справедливы в пределах принятых допущений, в которых можно считать температурную характеристику проводимости линейной, а удельную теплоемкость и коэффициент теплопередачи не зависящими от температуры. В диапазоне высоких температур более интенсивно происходят деструктивные преобразования органических веществ и изменяются формы связи влаги, что влечет за собой соответствующее изменение электрофизических свойств. При этом процесс может переходить в режим более быст-

рого возрастания или уменьшения скорости нагрева. Эти явления значительно усложняют приэлектродные процессы, обеспечение требуемых режимов обработки и управление.

Значит, термическое действие электрического тока на обрабатываемый материал носит комплексный характер, имеет свои специфические технологические особенности и проявления в дисперсных органических системах, представляет важное научное и практическое значение при обработке кормов и других биологических объектов. Полученные математические модели температурного поля, кинетики электрического нагрева термолабильных кормовых материалов найдут свое применение при анализе термических процессов, расчете и создании электротехнологических установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корко, В.С. Разработка электрогидротермического способа обработки фуражного зерна: дис. ... канд. техн. наук / В.С. Корко. – М.: ВИЭСХ, 1984. – 216 с.
2. Заяц, Е.М. Основы электротехнологических методов обработки влажных кормов / Е.М. Заяц. – Мн.: Ураджай, 1997. – 216 с.
3. Прищепов, М.А. Основы термозависимого резистивного электронагрева в технологических процессах сельскохозяйственного производства / М.А. Прищепов. – Мн.: БелНИИагроэнерго, 1999. – 295 с.
4. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.

УДК 621.315.592:772. В 99

ПОСТУПИЛА РЕДАКЦИЮ 30.01.2008

ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ ДИФРАКЦИОННОГО ТИПА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.В. Галушко, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ); В.Н. Ильин, докт. техн. наук (Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ)

Аннотация

Разработан новый принцип построения измерительных преобразователей, основанный на представлении измерительного диапазона дискретными моделями пространственного распределения интенсивности монохроматического излучения в виде дифракционных экстремумов. Разработана и реализована на ПЭВМ математическая модель, позволяющая моделировать и отображать дифракционные экстремумы с дискретностью 1 мкм.

Введение

При создании новых прецизионных приборов, включающих маломощные лазерные источники излучения и оптические схемы, основанные на принципах интерференции и дифракции света, на первый план выходит развитие методов нормирования аналоговых сигналов и обработки цифровых измерительных данных. Определяющей в этом случае является степень идентифи-

кации геометрических параметров объекта или его положения в измерительной зоне и оптического отклика, или параметров фотоэлектрического импульса.

В современных технологиях по-прежнему актуальна задача, связанная с определением положения технологического объекта в пространстве и величины его перемещения вдоль заданных координат. Из большого числа известных методов измерения [1, 2] наиболее широкое распространение получили опти-

ко-электронные методы, основанные на интерференции света, муаровом эффекте или оптической триангуляции [3, 4]. Первые два связаны с необходимостью размещения на объекте специального оптического элемента, возвращающего излучение на приемную часть, или модулирующего его.

В случае триангуляционного принципа – в измерительное звено входит поверхность объекта, дающая в зависимости от класса чистоты (или степени шероховатости) три вида отражения пучка, – зеркальное (отражение без рассеивания), диффузное отражение по Ламберту и диффузное отражение по Гауссу. По применению триангуляционного принципа существует принципиальное ограничение, связанное с отражающей способностью поверхности объекта, т.е. чем выше класс чистоты поверхности, тем сложнее осуществить этот принцип.

Основная часть

Авторами разработан новый принцип определения положения объекта, основанный на получении от объекта дифракционных энергетических спектров, сформированных в ближней зоне, их считывании и обработке. Возможность построения дифракционных преобразователей перемещения подтверждена проведенным компьютерным моделированием пространственного распределения интенсивности излучения от ограничивающих диафрагм в ближней зоне.

Пространственное распределение интенсивности при дифракции света является стационарным. В любой точке наблюдения P_i (рис.1) и в соответствии с принципом Гюйгенса – Френеля комплексная амплитуда вектора напряжённости электрического поля $\vec{E}(P)$ гармонической электромагнитной волны может быть вычислена по формуле [5]:

$$\vec{E}(P) = \int_S [(\exp(ikR))/R] \tilde{K} \vec{E}(S) dS, \quad (1)$$

где: $\vec{E}(S)$ – распределение комплексных амплитуд вектора напряжённости электрического поля источника излучения на произвольной замкнутой поверхности S , охватывающей источник; $(\exp(ikR))/R$ – комплексная амплитуда вторичных источников сферических волн на поверхности S ;

$R = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}$ – расстояние от точки P вторичного источника с координатами (x_0, y_0, z_0) , расположенного на поверхности S , до точки наблюдения P_i с координатами (x_i, y_i, z_i) ; $\tilde{K}(S, P)$ – медленно меняющаяся функция в зависимости от положения точек P и P_i , учитывающая на-

правленность вторичных излучателей. Эту функцию приближённо можно считать равной единице, за исключением случая, когда точка наблюдения P_i расположена внутри S , тогда она полагается равной нулю.

Положение экрана, находящегося в поперечном сечении пространственного распределения дифрак-

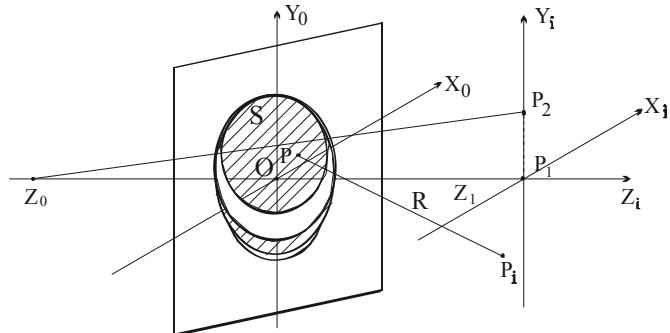


Рисунок 1. К расчету амплитуд дифракционного распределения при открытии различного числа зон Френеля.

ционной картины, можно определить методом корреляции изображения дифракционной картины на экране и проекцией пространственного распределения дифракционного поля в том же сечении, полученном в результате решения (1).

Анализ дифракции Френеля в общем случае или применительно к прохождению света через сколь угодно сложные неоднородные структуры представляет собой непростую задачу. Ограничимся решением задачи дифракции на круглом отверстии на основе зонной теории Френеля.

Вид дифракционной картины определяется тем, какое число зон Френеля открывает диафрагма, а амплитуда в точке наблюдения P_i , расположенной на оси Z на расстоянии Z_i (рис. 1), равна [6, 7]:

$$A = A_1 / 2 \pm A_2 / 2 \pm \dots \pm A_n / 2. \quad (2)$$

Знак “+” ставится, если n -номер нечетной зоны, и знак “-”, если n -номер четной зоны. Зона Френеля считается открытой, если $r_n < D/2$, где r_n – радиус n -ой зоны, D – диаметр отверстия. Радиус n -ой зоны вычисляется по формуле:

$$r_n = \sqrt{\frac{z_1 z_0}{z_1 + z_0} n \lambda}, \quad (3)$$

где z_0 – определяет положение источника; z_1 – положение экрана; n – номер зоны; λ – длина волны зондирующего излучения.

Если точка наблюдения находится не на оси Z , как показано на рис. 1, то одни зоны частично закрываются, а другие частично открываются. Поэтому их вклад в значение амплитуды в точке наблюдения будет зависеть от площади видимой части зоны. Амплитуда в точке наблюдения P_2 равна:

$$A = k_1 A_1 / 2 \pm k_2 A_2 / 2 \pm \dots \pm k_n A_n / 2, \quad (4)$$

где k_i – весовой коэффициент i -той зоны Френеля, $A_1 = A_2 = \dots = A_n = 1$. Весовые коэффициенты получаем из соотношения:

$$k_i = S'_i / S_i, \quad (5)$$

где $S_i = \pi r_i \lambda Z_1 / (Z_1 + Z_0)$ – площадь i -той зоны Френеля, S'_i – площадь видимой части i -той зоны Френеля. Таким образом, если зона открыта полностью, то её весовой коэффициент равен 1.

Программа для моделирования дифракционных спектров написана на языке C++. Интерфейс пользователя, в соответствии с рис.2, состоит из панелей управления и отображения. Панель управления позволяет

Кнопка «Моделирование» позволяет генерировать дискретные модели для заданных параметров оптической схемы. При выбранном значении «Дельта» кнопка «Старт» запускает автоматический процесс генерации дифракционных спектров. Для сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными используется кнопка «Прочитать».

Результат моделирования визуализируется на панели отображения, где представлен вид дифракции в заданной плоскости поперечного сечения пучка и графическое представление амплитуд в относительных единицах. Координаты по оси X приведены к шагу и номеру пикселей фотодиодной линейки.

Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными по методике, изложенной в [7].

На рис.2 показаны: смоделированная дифракционная картина и спектр распределения амплитуд от отверстия диаметром $D = 0,9$ мм, при освещении монохроматическим излучением с длиной волны $\lambda = 633$ нм на расстоянии $Z = 25,2$ мм по оси поперечного сечения пучка (сплошная линия) и пространственный спектр распределения амплитуд, полученный в ходе эксперимента (пунктирная линия) при тех же условиях.

Для получения экспериментальных данных нами разработана модель преобразователя перемещений, которая позволяет не только генерировать дифракционные изображения, но и, используя программу моделирования, определять величину смещения подвижного объекта вдоль лазерного пучка. При построении модели мы исходили из того, что, если на движущемся объекте сформировать дифрагирующий элемент и освещать его когерентным коллимированным пучком света так, чтобы дифракционный свет возвращался в обратном направлении, то, анализируя дифракционные картины, формируемые в процессе перемещения объекта, можно определить его положение в пространстве и степень линейного перемещения.

Собственно дифрагирующий элемент может включать в себя систему оптических элементов (зеркал, призм), изменяющих направление падающего лазерного пучка на обратное, и пластину толщиной $d < 100\lambda$ с круглым отверстием диаметром $500 \dots 900$ мкм.

Макет, реализующий предложенную модель (рис.3), включает оптико-электронный модуль 1 (ОЭМ) и дифрагирующий элемент 4 (ДЭ), установленный на подвижном объекте 10. В свою очередь ОЭМ включает: источник излучения 2 – лазер; 3 – коллиматор; 5 – воспроизводящий объектив; 6 – ПЗС линейку; 7 – микропроцессор; 8 – разъем. ДЭ включает: входное 9 и вы-

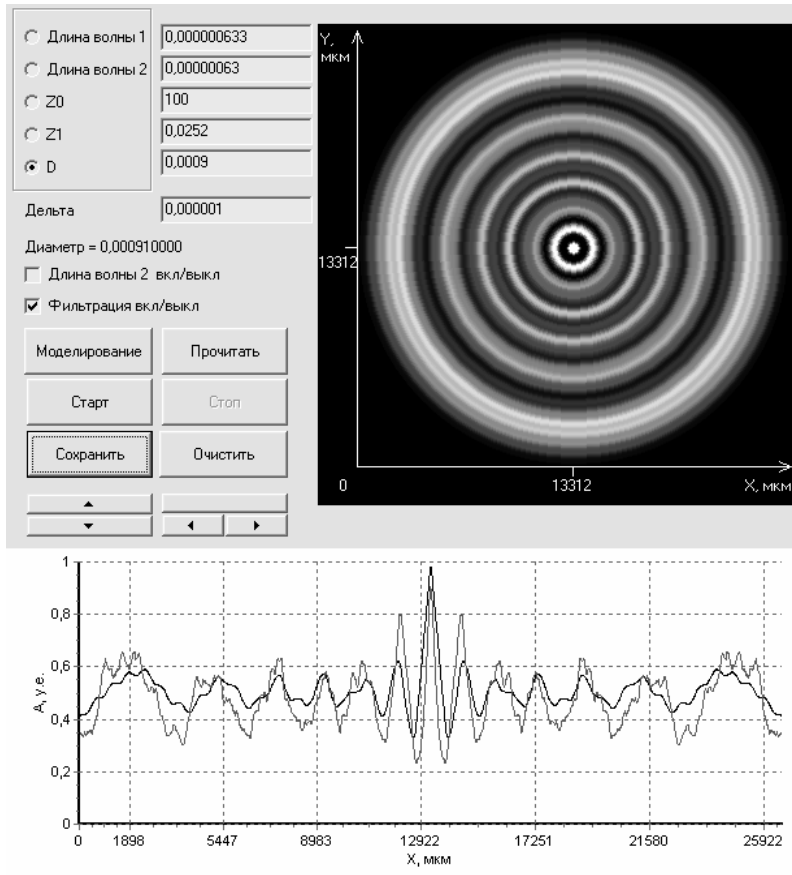


Рисунок 2. Интерфейс пользователя.

устанавливать значения следующих параметров: двух длин волн зондирующего излучения; расстояние Z_0 от источника до объекта; расстояние Z_1 от объекта до плоскости считывания, в качестве которой может быть фокальная плоскость объектива; диаметр D диафрагмы, формирующей дифракционные спектры; шаг (интервал) дельта (δ) изменения моделируемого параметра. Кроме этого, путем установки или снятия флажков осуществляется включение (вкл/выкл) второй длины волны и программы фильтрации экспериментальных данных.

ходное 13 окна, прямоугольные призмы 10 и 11, круглую диафрагму 12, подвижный столик – 14.

В данном исполнении источник излучения и воспроизводящий объектив размещены по одну сторону от объекта. В качестве источника излучения может быть использован полупроводниковый лазер мощностью до 5 мВт со встроенным коллиматором. В качестве воспроизводящего может быть применен объектив, передний фокус которого согласован с измерительным диапазоном, а задний с положением и размерами ПЗС линейки или матрицы. Базовая плоскость в данном случае определяет физические границы размещения источника излучения и объектива, а также технологическое расстояние до начала измерительной зоны.

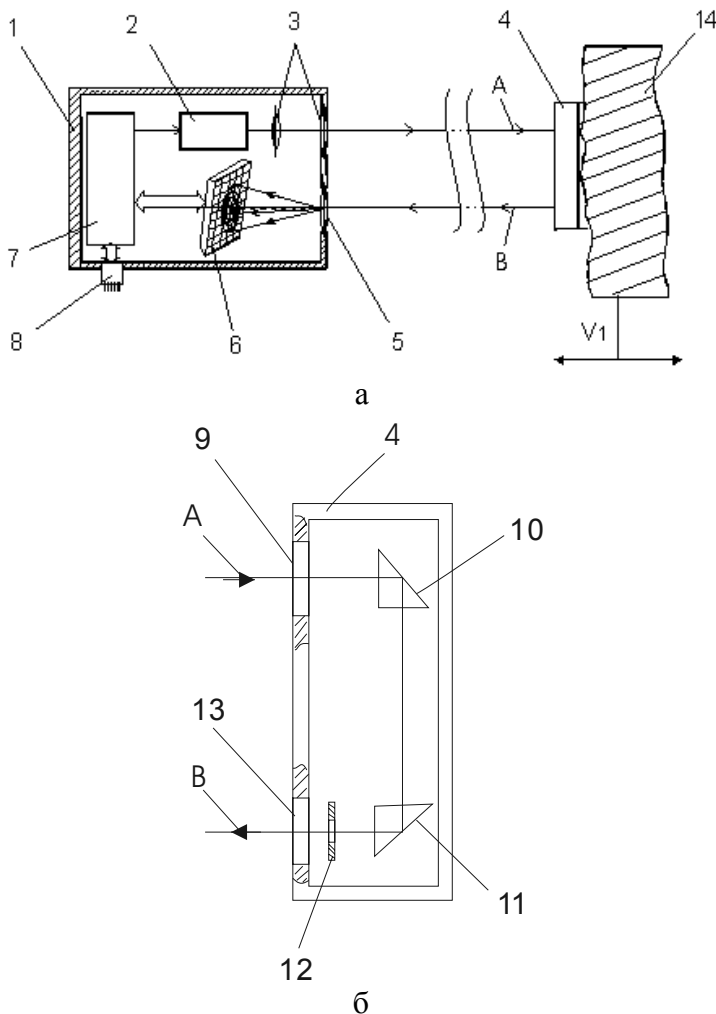


Рисунок 3. Макет устройства для формирования и регистрации дифракции Френеля вдоль распространения измерительного пучка: а - оптическая схема устройства; б - пример исполнения дифрагирующего элемента.

Амплитудные спектры экстремумов получались путем фотоэлектрического среза поперечного сечения зондирующего пучка, прошедшего дифрагирующий элемент. Излучение лазера 2 формируется в па-

раллельный пучок коллиматором 3 и направляется на дифрагирующий элемент 4, в котором лазерный пучок освещает диафрагму 12 с круглым отверстием диаметром, например, 900 мкм. Формирующиеся дифракционные картины ДК посредством объектива 5 передаются на ПЗС линейку 6, которая посредством микропроцессора 7 и стандартного разъема 8 связана с внешним компьютером (не показан).

Оптико-электронный модуль 1 закрепляется стационарно, а дифрагирующий элемент 4 крепится на подвижном столике 14, имеющем микрометрическую подачу вдоль пучка. Семейство дифракционных картин формировалось за счет дискретного перемещения столика 14.

В общем случае объектом может служить, например, подвижная каретка координатной измерительной машины, станины, опоры, т.е. любое устройство, перемещение или положение которого необходимо измерить и на поверхность которого можно закрепить дифрагирующий элемент.

На рис.2 экспериментальный и смоделированный спектры наложены друг на друга. Видно, что степень корреляции достаточно высокая: полностью совпадает количество дифракционных экстремумов в картине, а также их пространственное положение и квазипериодическая последовательность.

Следовательно, процесс определения положения объекта, когда круглая диафрагма (дифрагирующий элемент) жестко связана с ним, заключается в определении расстояния Z_1 от диафрагмы до фокальной плоскости анализирующего объектива.

Выводы

Таким образом, приведенные в статье данные являются результатом дальнейших исследований по применению дифракции монохроматического излучения в ближней зоне (дифракция Френеля) для построения измерительных преобразователей дифракционного типа. Разработана математическая модель, позволяющая получать и отображать дифракционные экстремумы с дискретностью 1мкм. Проведен сравнительный анализ экспериментальных и модельных данных, показавший высокую корреляцию процессов. Ввиду того, что дифракционная картина строго индивидуальна в каждой точке измерительного пространства, существует принципиальная возможность определения положения объекта при его выводе в нужную точку и последующего позиционирования.

Реализация данной модели не требует больших вычислительных затрат, что позволяет применять её в установках контроля параметров дифракционных распределений технических объектов (диаметров отверстий, диафрагм, положения подвижных деталей и др.) в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, В.К. Оптико-электронные средства размерного контроля технологических микро-объектов/ В.К. Александров, Ю. Н. Биенко, В.Н. Ильин. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 240 с.
2. Способ измерения диаметра отверстий: пат. 6564 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 B 11/12/ В.Н. Ильин; заявитель ГНУ «Институт электроники НАН Беларуси». – № а 20011062; заявл. 12.12. 2001; опубл. 30. 09. 2004// Бюл. «Изобретения. Полезные модели», №3, 2004. – С. 172.
3. Ильин, В.Н. Оптико-электронные измерительные преобразователи/ В.Н. Ильин, Е.В. Галушко. – Мн.: ИПП Минэкономики РБ, 1996. – 222 с.

4. Ильин, В.Н. Датчик для измерения линейных перемещений методом оптической триангуляции/ В.Н. Ильин, Д.А. Михаевич, В.Н. Фатыхов// Материалы XIV науч.-техн. конф. «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления». – М.: МГИЭМ, 2002. – С. 316-317.
5. Ландсберг, Г.С. Оптика/ Г.С. Ландсберг. – М.: Наука, 1976. – 928 с.
6. Нагибина, Н.М. Интерференция и дифракция света/ Н.М. Нагибина. – М.: Энергия, 1974. – 196 с.
7. Ильин, В.Н. Метод измерения ограничивающих диафрагм по дифракции света в ближней зоне/ В.Н. Ильин, С.А. Мальшева, А.А. Ковалева// Оптоэлектронные и информационные технологии: сб. науч. трудов. – Мн.: УП «АРТИ-ФЕКС», 2003. – С. 146-171.

УДК 621.313.33-62.753.8

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 20.02.2008

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАЩИТА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

**В.В. Гурин, канд. техн. наук, доцент, Е.В. Лавцевич, аспирантка,
П.А. Равинский, аспирант (УО БГАТУ)**

Аннотация

Приведена методика и результаты экспериментального исследования нагревания асинхронного двигателя в различных аварийных режимах. Выявлены особенности использования термоэлектрических датчиков для использования в температурной защите.

Приведены результаты разработки быстродействующей температурной защиты асинхронного электродвигателя с использованием термоэлектрических датчиков.

Введение

Универсальной защитой электродвигателей, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве, является температурная защита, реагирующая на все аварийные режимы (кроме увлажнения обмоток). Она основана на контроле теплового состояния по температуре обмоток или других частей электродвигателя. Контроль температуры чаще всего производится с помощью первичных преобразователей температуры (термодатчиков). К ним предъявляются следующие требования:

- малая (до 3 с) величина постоянной времени нагревания;
- малые размеры (до 3 мм);
- диапазон рабочих температур от -40°C до $+150^{\circ}\text{C}$ (кратковременно до $+240^{\circ}\text{C}$);
- малая погрешность измерения;
- срок службы не менее 20 000 ч.

Проведенный нами анализ 10 разных видов известных термодатчиков по указанным выше требованиям показал, что в настоящее время наиболее перспективными для температурных защит являются датчики термоэлектрические, терморезистивные металлические пленочные и инфракрасные термометры.

В настоящее время известны температурные защиты с позисторными термодатчиками. В нашей республике получили распространение устройства встроенной температурной защиты (УВТЗ). Первая серия этих устройств поступила в хозяйства в семидесятые годы прошлого столетия. Эксплуатация УВТЗ выявила их следующие недостатки [1]:

- для подключения УВТЗ необходимы дополнительные монтажные работы, связанные с прокладкой двух проводов от датчиков к устройству защиты;
- запаздывание срабатывания УВТЗ в стопорном аварийном режиме в связи большой постоянной времени нагревания позисторов (20...30 с);
- в проводах подключения термодатчиков наводится паразитная ЭДС, что приводит к ложным срабатываниям защиты [2].

Для устранения этого недостатка разработано устройство защиты, встраиваемое в коробку выводов двигателя (УВТЗ-1В) [3]. В этом случае протягиваются 2 проводника от встроенного устройства до электромагнитного пускателя. Другие недостатки УВТЗ остались не устраненными.

Нами исследованы термоэлектрические датчики для температурной защиты и разработаны устройства защиты, лишенные этих недостатков.