

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОДЛОЖКОДЕРЖАТЕЛЯ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ

МОРОЗОВ Сергей Михайлович, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)

КУЗЬМИН Константин Анатольевич, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)

СОКОРЕВА Евгения Викторовна, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Разработана структурная схема системы автоматического управления движением подложкодержателя вдоль оси X. Проведено исследование подложкодержателя при его движении вдоль одной оси X. В пакете прикладных программ VisSim-32 представлена передаточная функция объекта и проведено моделирование описанного эксперимента.

Введение. Внедрение нанотехнологий – одно из самых перспективных и приоритетных направлений современного состояния науки, техники и технологий [1]. Одним из важнейших составляющих этого направления является создание наноструктурированных покрытий и наноструктурированных приповерхностных слоев деталей, которые в значительной степени определяют работоспособность отдельных агрегатов изделий, в том числе лопаток газотурбинных двигателей, лопаток энергоустановок, элементов погружных насосов нефтедобывающих систем, лопаток компрессоров нефтеперекачивающих станций, сопел ракетных двигателей, деталей машин.

Ионная имплантация представляет собой процесс внедрения в мишень ионизованных атомов с энергией, достаточной для проникновения в ее приповерхностные области, когда приповерхностные слои модифицируются на глубину 10–100 нм, она практически не изменяет размер деталей и ее можно выполнять после их чистой обработки [3].

Метод ионной имплантации [1], основанный на использовании специальных источников ионов, реализуется в источнике, где создается ионизированная плазма, и которая с помощью ионно-оптических систем вытягивает ионы и ускоряет до энергии 5–500 КэВ (рис. 1). Однородность имплантации по площади обеспечивается сканированием ионного пучка или смещением детали.

Ионы, полученные в ионном источнике 1, пройдя через вытягивающий электрод 2, фокусирующую линзу 3, секционную ускорительную трубку 4, пластины коррекции ионного пучка 5 и диафрагму 6 и получившие энергию, сепарируются в электромагнитном поле сепаратора 7 и с помощью пластин сканирования 8 бомбардируют пластины мишени, установленные в подложкодержателе [7].

Методом, обеспечивающим равномерное покрытие и одинаковую толщину имплантированного вещества, может стать метод перемещения подложкодержателя вдоль координатной осей X и Y.

Структурная схема системы автоматического управления (САУ) перемещением подложкодержателя вдоль координатной оси X приведена на рис. 2. Управление движением по оси Y производится аналогично.

Управляющий компьютер в этой системе по заданной программе обрабатывает представленную в цифровой форме информацию и выдает на выходе сигнал в цифровой форме. Программа может быть написана таким образом, что качество системы в целом будет равно или очень близко к заданному [4]. Компьютер принимает и обрабатывает несколько входных сигналов, поэтому цифровая система управления многомерная.

Компьютер получает и обрабатывает сигнал в цифровом (численном) дискретном виде, а не в виде непрерывной переменной. В цифровой системе управления обязательно присутствует компьютер, входной и выходной сигналы которого представлены в виде числового кода [6]. Преобразование непрерывного сигнала в цифровую форму осуществляет аналого-цифровой преоб-

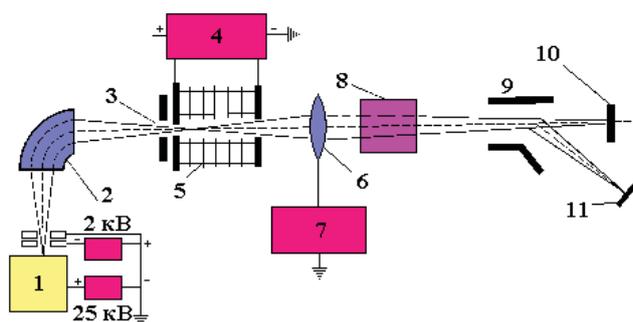


Рис. 1. Ионизированная плазма





разователь (АЦП). Выходной сигнал компьютера (цифровой) преобразуется в непрерывную форму с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). В результате любой непрерывный сигнал $x(t)$ будет представлять собой последовательность дискретных значений $x(k\Delta t)$, где $k = 0, 1, 2, \dots$ – целые числа.

Данные, получаемые о переменных системы только в дискретный момент времени и обозначаемые как $x(k\Delta t)$, называются квантованными данными или дискретным сигналом [9].

Система управления имеет два контура, т.е. является каскадной. Здесь реализованы два регулятора: ведущий и ведомый. Фотоэлектрический датчик перемещения содержится во внешнем контуре обратной связи по положению, а датчик частоты вращения вала электродвигателя во внутреннем контуре [2]. Так как система управления цифровая – обратные связи отрицательные, единичные.

Методика исследований. Объектом управления является позиционирование подложкодержателя по координатным осям в плоскости XY и позиционирование по вертикали – ось Z. Эти движения независимы. Поэтому проведем исследование объекта при его движении вдоль одной оси X.

Результаты исследований. Электродвигатель, портал и подложкодержатель представляют собой единое целое. Передаточная функция портала неизвестна. Для нахождения передаточной функции объекта используем экспериментально-аналитический метод [9]. Для этого можно сделать ряд предположений.

Предположение 1.

Масса портала мала. В механической передаче винт-гайка возникает существенный вращательный момент сопротивления при преобразовании вращательного движения в поступательное.

Предположим, что передаточная функция портала имеет вид

$$W_{II}(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1}, \quad (1)$$

т.е. портал опишем инерционным звеном первого порядка без транспортного запаздывания. Считаем что люфт в передаче винт-гайка устранен.



Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления движением подложкодержателя вдоль оси X

Так как шаг винта равен 1 мм, в выражении (1) коэффициент передачи k равен 1. В таком случае, входным сигналом для системы винт–портал–подложкодержатель является частота вращения вала электродвигателя, мин^{-1} , выходным сигналом – скорость поступательного перемещения портала вдоль оси X, мм/с. Для описания поступательного перемещения (позиционирования) необходимо добавить интегрирующее звено. Окончательно передаточная функция портала имеет следующий вид:

$$W_{II}(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s}. \quad (2)$$

Предположение 2.

Ранее получена передаточная функция серводвигателя

$$W(s) = \frac{2}{0.01 \cdot s^2 + 0.25 \cdot s + 1}.$$

Постоянная 0,25 на порядок превосходит значение 0,01. Упростим это выражение, отбросив в знаменателе квадратичный член. Тогда передаточная функция двигателя принимает вид:

$$W_1(s) = \frac{2}{0.25 \cdot s + 1}, \quad (3)$$

В таком случае, объект управления – портал с электродвигателем описывается передаточной функцией [5]:

$$W(s) = W_1(s) \cdot W_n(s) = \frac{2}{0.25 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{T \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s}, \quad (4)$$

где постоянную T необходимо определить экспериментально.

При входном напряжении на двигателе 25 В в установившемся режиме портал перемещается со скоростью 50 мм/с. Результаты проведенных измерений представлены в таблице.

Вторая и третья строки в таблице представляют зависимость координат X, Y фиксированной точки портала от времени.

По результатам эксперимента методом сканирования было определено значение постоянной $T = 0,2$ с в выражении (4). В пакете прикладных программ VisSim-32 представлена передаточная функция объекта и проведено моделирование описанного эксперимента (рис. 3).

Отсюда видно, что экспериментальные точки с высокой степенью точности «ложатся» на график теоретической зависимости. Таким обра-

Экспериментальные данные

| t, c | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|---|----|-----|-----|-----|-----|
| X, мм | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| Y, мм | 0 | 28 | 77 | 127 | 177 | 227 |

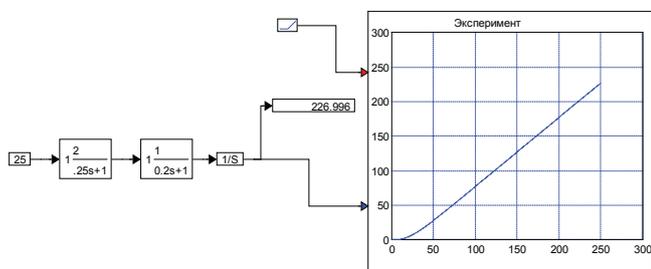


Рис. 3. Математическая модель объекта управления

зом, можно сделать вывод, что сделанные ранее предположения (первое и второе) верны, а передаточная функция ОУ системы двигатель-портал имеет вид:

$$W(s) = \frac{2}{0.25 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{0.2 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s}$$

Заключение. Предложенная структурная схема движением портала вдоль оси X, математическая модель системы автоматического управления движением подложкодержателя при ионной имплантации и полученная передаточная функция объекта управления, реализуемая в ней, позволят обеспечить равномерное покрытие инструмента в процессе ионной имплантации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун Я. Физика и технология ионных источников. – М.: Мир, 2018. – 429 с.
2. Габович М.Д. Физика и техника плазменных источников ионов. – М.: Атомиздат, 2016. – 290 с.
3. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы. – М.: Металлургия, 2019. – 216 с.
4. Кузьмин К.А., Морозов С.М. Определение оптимальных режимов работы свч-установки для сушки и обжига строительного кирпича // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3. – С. 75.
5. Москалев В.А., Сергеев Г.И., Шестаков В.Г. Измерение параметров пучков заряженных частиц. – М.: Атомиздат, 2017. – 160 с.
6. Патент РФ №2045103. «Дуоплазматрон» / Тур-

чин В.И., Кондратьев Б.К. – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2045103C1_19950927.

7. Разработка исходных концепций метрологического обеспечения измерительных и расчетных операций при автоматизации измерений / С.М. Морозов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 87–89.

8. Morozov S., Kuzmin K., Makarov G. Neural network principle of implementation of digital filters // MATEC Web of Conferences (см. в книгах). 2018. No. 193. P. 102.

9. Morozov S., Kuzmin K., Pogodin D., Kochetkova L., Rogozhina A. Modeling of the management of the microwave grain drying process // E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. С. 02142.

Морозов Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Естественно-научные технические дисциплины и информационные технологии», Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет). Россия.

Кузьмин Константин Анатольевич, канд. пед. наук, доцент кафедры «Естественно-научные технические дисциплины и информационные технологии», Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет). Россия.

215100, Смоленская обл., г. Вязьма, ул. Ленина, 77. Тел.: (48131)6-18-66.

Сокорева Евгения Викторовна, преподаватель кафедры «Проектирование зданий и сооружений», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26. Тел.: (495) 781-80-07.

Ключевые слова: нанотехнологии; наноструктурированные покрытия; ионная имплантация; метод ионной имплантации; система автоматического управления; квантованные данные; дискретный сигнал.

MATHEMATICAL MODEL OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE MOVEMENT OF THE SUBSTRATE HOLDER DURING IMPLANTATION

Morozov Sergey Mikhaylovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the chair “Science and Technical Disciplines and Information Technology”, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Russia.

Kuzmin Konstantin Anatolyevich, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the chair “Science and Technical Disciplines and Information Technology”, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Russia.

Sokoreva Elena Viktorovna, Teacher of the chair “Design

of Buildings and Structures”, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia.

Keywords: nanotechnology; nanostructured coatings; ion implantation; ion implantation method; automatic control system; quantized data; discrete signal.

A block diagram of the automatic control system for the movement of the substrate holder along the X axis has been developed. The substrate holder has been studied when it moves along one X axis. The transfer function of the object is presented in the VisSim-32 application package and the described experiment has been modeled.

