

## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ОШИБКИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ И ОЦЕНКА ЕЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А.С. Масакбаев

*Магистр 2 года*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: В.П. Михайлов*

*Доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Одной из ключевых характеристик, определяющих качество работы таких систем, является ошибка позиционирования – отклонение фактического положения исполнительного органа от заданного программой. Для систем базирования заготовок эта ошибка напрямую влияет на точность последующей обработки и может привести к браку изделия [1, 2]. Измерение данной ошибки является косвенным и требует учета погрешностей как самого измерительного оборудования, так и факторов, связанных с работой механической части привода (люфты, упругие деформации, трение, вибрации).

Ошибка позиционирования определяется косвенно как абсолютная разница между заданным программно перемещением и фактически измеренным перемещением согласно формуле 1.

$$p = |s_3 - s|, \text{ мм} \quad (1)$$

где  $s_3$  – заданное значение перемещения, мм;  $s$  – фактическое значение перемещения. При этом фактическое значение перемещения принимается, как среднее значение перемещений, измеренных, в нашем случае, в пяти прогонах.

Заданное перемещение ( $s_3 = 100$  мм) формируется программно контроллером двигателя и считается детерминированной величиной без неопределенности в рамках данной задачи.

Измерения проводились в соответствии со следующей последовательностью:

1. Подготовка макета с шаговым двигателем и измерительного оборудования.
2. Установка параметров перемещения (расстояние, постоянная скорость).
3. Запуск цикла перемещения каретки.
4. Ожидание окончания движения и стабилизации системы.
5. Считывание результата фактического перемещения с энкодера через ПО.
6. Запись результата.
7. Повторение п. 3-6 для 5 независимых прогонов.
8. Вычисление средней ошибки позиционирования по формуле (1).
9. Статистический анализ данных и оценка неопределенности.

В результате анализа установлено, что наибольшее влияние на неопределенность измерения ошибки позиционирования оказывают погрешности измерительных приборов, люфт ШВП, резонанс, пропуск шагов, условия работы шагового двигателя.

В результате измерений получено следующее среднее значение перемещения:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} = \frac{99,2 + 98,7 + 100,1 + 97,9 + 99,5}{5} = 99,08 \text{ мм} \quad (2)$$

Суммарная неопределенность [3] измерения перемещения:

$$u_C(h) = \sqrt{u_A^2(h) + u_B^2(h)} = \sqrt{0,372^2 + 0,01486^2} = 0,372 \text{ мм} \quad (3)$$

Неопределенность прямых измерений вносит свой вклад, для определения которого необходим коэффициент чувствительности.

Неопределенность измерения ошибки позиционирования составляет:

$$u_C(p) = \sqrt{\left(\frac{\partial |s_3 - s|}{\partial s_3}\right)^2 u_C^2(s)} = \sqrt{1^2 \cdot 0,372^2} = 0,372 \text{ мм} \quad (4)$$

Расширенная неопределенность измерения ошибки позиционирования составляет:

$$U_C(p) = k \cdot u_C(p) = 2,78 \cdot 0,372 = 1,03 \text{ мм} \quad (5)$$

В результате анализа неопределенности измерения ошибки позиционирования получено следующее значение выходного параметра:

$$p = 0,92 \pm 1,03 \text{ мм}, p = 0,95$$

Анализ бюджета неопределенности позволяет сделать ключевой вывод: доминирующий вклад (96%) в суммарную неопределенность результата вносит неопределенность типа А, связанная с разбросом результатов повторных измерений перемещения.

Это свидетельствует о том, что основными источниками погрешности позиционирования в данной системе являются не недостатки измерительного прибора, а факторы, связанные с работой самой механической системы привода. К ним могут относиться: люфты в кинематических парах (например, в шарико-винтовой передаче), упругие деформации элементов конструкции, неидеальность управляющих сигналов (резонанс, пропуск шагов), влияние трения и вибраций.

Также отметим, что рассчитанное значение неопределенности вышло больше, чем измеренное значение. Данный результат указывает на недостатки механической системы, для устранения которых проводятся работы по модернизации оснастки и конструкции.

Таким образом, для повышения точности позиционирования системы в первую очередь требуется не замена измерительного средства, а модернизация механической части: устранение люфтов, повышение жесткости конструкции, оптимизация алгоритмов управления двигателем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А.Н., Гаврилов Е.В., Ишанин Г.Г. Оптические измерения. – 2008. – 416 с.
2. Kenjo T., Sugawara A. Stepping Motors and their Microprocessor Controls. – Oxford University Press, 1994 – 279 с..
3. РМГ 91-2019 «ГСИ. Руководство по выражению неопределенности измерений». – Минск: Изд-во стандартов, 2019 – 20 с.