

К РАСЧЕТУ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА СМЕЩЕНИЯ ОПУШКИ ТКАНИ

Е.Б. Плаксин, А.Е. Плаксин

(Костромской государственной технологической академии)

В статье приводится вывод зависимости выходной величины чувствительного элемента (ЧЭ) рычажного типа датчика малых линейных перемещений – смещения опушки ткани на ткацком станке после его остановки с целью определения линейности выходной характеристики датчика смещения опушки ткани (ДСОТ) в процессе его проектирования.

Исследование технологических процессов, например, в ткачестве сопряжено с целым рядом трудностей, одна из которых – невозможность применения сенсора промышленного изготовления в связи с недостижимостью его чувствительного элемента к месту контроля технологического параметра или конструктивными особенностями, не позволяющими обеспечить его установку в нужном месте. В таком случае исследователь отдаёт предпочтение конструкции собственного изготовления, применяя как промышленные преобразователи, так и проектируя собственные элементы конструкции датчика, в том числе и чувствительный элемент. Как в отдельных своих составляющих, так и в целом, датчик может получиться оригинальной конструкции, выполняющий строго те функции, для которых предназначен. Очень важно на этапе разработки конструкции такого датчика, с учетом целого ряда ограничений со стороны технологического процесса, добиться планируемых выходных параметров, в том числе - линейного вида выходной характеристики, что очень часто - желательно, т.к. упрощает построение измерительного канала, представление полученной информации об объекте исследования и процесс обработки данных. В [1] и [2] рассматривались конструкции и опыт применения датчика смещения опушки ткани (ДСОТ) на ткацком станке после его остановки. В качестве

первичного преобразователя – чувствительного элемента (ЧЭ) датчика применялся двуплечий рычаг – щуп, контактирующий с опушкой ткани (рис. 1). Данная конструкция позволила использовать различные вторичные преобразователи. В одном случае, это была оптопара, фиксирующая перемещение свободного конца рычага, а в другом – вращающийся трансформатор, реагирующий на угол поворота рычага в точке крепления.

В том и другом случае возникали трудности настройки датчика в связи с опытным подбором геометрии чувствительного элемента и отсутствием аналитических зависимостей, которые позволяли бы, исходя из особенностей места установки датчика, выполнять предварительный расчет характеристики преобразования входной величины с целью воздействия на геометрические размеры ЧЭ. Для определения вышеуказанной зависимости аналитическим путем представим схематично ЧЭ датчика смещения опушки ткани (рис. 1)

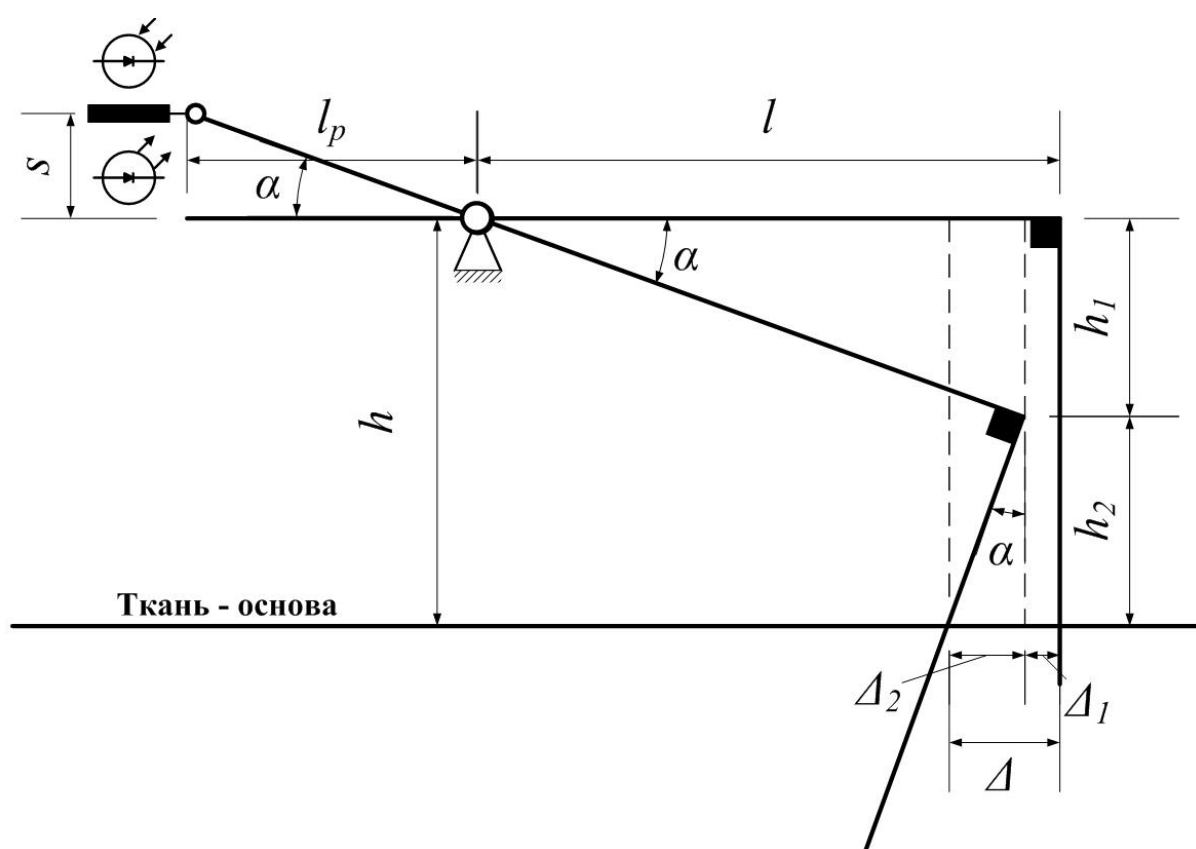


Рис. 1. Схема чувствительного элемента рычажного типа датчика смещения опушки ткани

Где: l – длина рычага ЧЭ (первое плечо), h – высота оси вращения ЧЭ над поверхностью ткани-основы, Δ – смещение опушки ткани, α – угол поворота ЧЭ (оси вращающегося трансформатора) датчика, l_p – длина рычага ЧЭ (второе плечо), s – перемещение свободного конца рычага (шторки оптопары).

Так как вывод зависимости угла поворота рычага ЧЭ датчика смещения опушки ткани от величины смещения опушки ткани $\alpha = f_1(\Delta)$ является затрудненным, сначала определим обратную зависимость $\Delta = f_2(\alpha)$. Из рисунка следует, что:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 \quad (1)$$

Из основных соотношений тригонометрии определим:

$$\Delta_1 = l - l \cdot \cos \alpha = l \cdot (1 - \cos \alpha); \quad (2)$$

$$h_1 = l \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

Учитывая, что $h_1 + h_2 = h$, получим:

$$h_2 = h - h_1 = h - l \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

Тогда:

$$\Delta_2 = h_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha = (h - l \cdot \sin \alpha) \cdot \operatorname{tg} \alpha = h \cdot \operatorname{tg} \alpha - l \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \quad (5)$$

Подставляя (2) и (5) в (1) получим:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = l \cdot (1 - \cos \alpha) + h \cdot \operatorname{tg} \alpha - l \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \quad (6)$$

Раскрывая скобки и приводя к общему знаменателю, имеем:

$$\Delta = \frac{l \cdot \cos \alpha - l \cdot \cos^2 \alpha + h \cdot \sin \alpha - l \cdot \sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \quad (7)$$

После группировки:

$$\Delta = \frac{l \cdot \cos \alpha - l \cdot (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + h \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{l \cdot (\cos \alpha - 1) + h \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (8)$$

После преобразований выражение (8) примет вид:

$$\Delta = l \cdot \left(1 - \frac{1}{\cos \alpha}\right) + h \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (9)$$

Так как тригонометрические функции являются периодическими, однозначное определение зависимости $\alpha = f_1(\Delta)$ по зависимости $\Delta = f_2(\alpha)$ невозможно. Вместе с тем, известно, что смещение опушки ткани Δ является малой величиной, равно как и величина угла поворота α , поэтому возможно применение разложения функции $\Delta = f_2(\alpha)$ в ряд Макларена в окрестностях точки $\alpha = 0$. Исследуем разложение данной функции в ряд Макларена 1-го и 2-го порядка.

Для ряда первого порядка разложение имеет вид:

$$\Delta = f_2(\alpha) \approx f_2(0) + f_2'(0) \cdot \alpha \quad (10)$$

Для ряда второго порядка получим:

$$\Delta = f_2(\alpha) \approx f_2(0) + f_2'(0) \cdot \alpha + f_2''(0) \cdot \frac{\alpha^2}{2} \quad (11)$$

Проведя дифференцирование исходной функции (вывод опускаем) получаем производную первого порядка:

$$f_2'(\alpha) = h \cdot (tg^2 \alpha + 1) - \frac{l \cdot tg \alpha}{\cos \alpha} \quad (12)$$

и производную второго порядка:

$$f_2''(\alpha) = h \cdot tg \alpha \cdot (tg^2 \alpha + 1) - \frac{l}{\cos \alpha} - \frac{2l \cdot tg^2 \alpha}{\cos \alpha} \quad (13)$$

Тогда для разложения исходной функции в ряд Макларена первого порядка получим:

$$\Delta \approx f_2(0) + f_2'(0) \cdot \alpha = h \cdot \alpha, \quad (14)$$

а для разложения в ряд второго порядка имеем:

$$\Delta \approx f_2(0) + f_2'(0) \cdot \alpha + f_2''(0) \cdot \frac{\alpha^2}{2} = h \cdot \alpha - l \cdot \frac{\alpha^2}{2} \quad (15)$$

Для анализа возможности применения полученных упрощенных зависимостей проведем графический анализ, построив графики исходной функции и ее приближений, полученных с использованием разложения в ряд Макларена первого и второго порядка, в одних осях (рис. 2). Для построения графиков использованы параметры реального датчика смещения опушки ткани ($h=80$ мм., $l=120$ мм.).

Учитывая, что смещение опушки ткани, наблюдаемое в экспериментах не превышает 1 - 2 мм. видно, что исходная функция (кривая 1) практически не отличается от приближения, полученного при разложении исходной функции в ряд Макларена первого порядка (кривая 2) и полностью совпадает с разложением исходной функции в ряд Макларена второго порядка (кривая 3). Таким образом, при исследовании свойств ЧЭ рычажного типа датчика положения опушки ткани, возможно без потери точности применять линейную зависимость между смещением опушки ткани и углом поворота оси датчика:

$$\alpha = \frac{1}{h} \cdot \Delta \quad (16)$$

Анализируя полученную зависимость, можно сделать вывод, что выходная величина первичного преобразователя - ЧЭ датчика положения опушки ткани не зависит от длины рычага датчика, но обратно пропорциональна высоте размещения оси ЧЭ датчика над поверхностью ткани.

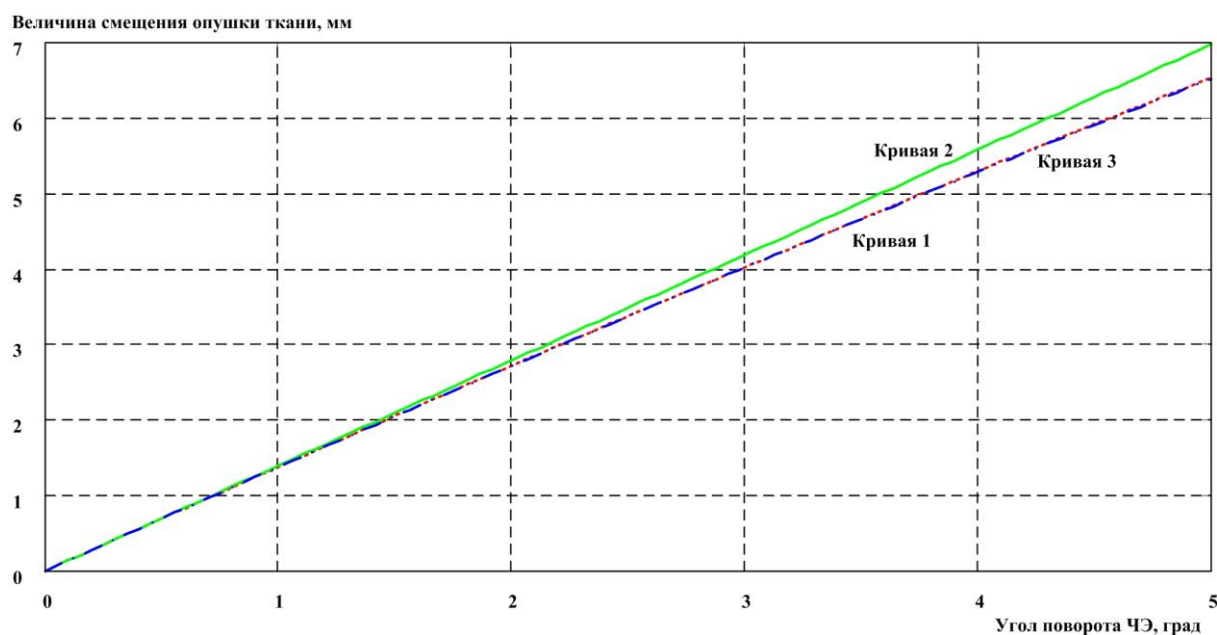


Рис. 2. Зависимости угла поворота ЧЭ рычажного типа ДСОТ от величины смещения опушки ткани

Для датчика, использующего вместо вращающегося трансформатора оптопару, положение свободного конца рычага – шторки оптопары определяется выражением

$$s = l_p \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (17)$$

Принимая во внимание, что для малых значений угла поворота ЧЭ датчика справедливо примерное равенство $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, выражение (17) с учетом (16) примет вид:

$$s = \frac{l_p}{h} \cdot \Delta \quad (18)$$

Таким образом, очевидно, что в диапазоне измерения реальных величин смещения опушки ткани, обе конструкции датчика позволяют получить характеристики преобразования линейного вида.

Выводы:

1. Получено математическое описание параметров движения чувствительного элемента рычажного типа датчика смещения опушки ткани с целью определения линейности характеристики первичного преобразования смещения опушки ткани.
2. Полученные зависимости позволяют выполнить машинный расчёт геометрических параметров первичного преобразователя с целью оптимизации конструкции датчика.

Литература

1. Плаксин Е.Б. Явление смещения опушки ткани при выстое станка и датчик для контроля её положения: Дисс. канд.техн.наук. – Кострома: КГТУ, 2000.
2. Плаксин Е.Б. Датчик смещения опушки ткани. Вестник КГТУ: - Кострома: КГТУ, 2001.-№3