

ДАТЧИК УГЛА НАКЛОНА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА: РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

В.Д. Ковшов, М.И. Хакимьянов, А.Ф. Сакаев

Датчики угла наклона нашли широкое применение в различных областях промышленности: в автоматизации станков-качалок (при определении угла наклона балансира), в наклонном бурении, в системах поддержания устойчивости подъемных кранов, грузоподъемников, рабочих платформ, в системах стабилизации положения различного промышленного оборудования, а также в других областях. Для этой цели в настоящее время разработано множество приборов, реализующих различные принципы работы, а также обладающих различными техническими характеристикам.

В данной статье исследуется возможность реализации датчика угла наклона, выполненного на базе двухосного интегрального акселерометра ADXL202, производимого фирмой Analog Devices, а также исследуются его характеристики.

Чувствительным элементом датчика угла наклона ДУН-01 является двухосный акселерометр, выполненный на основе МЭМС-технологии (технология микроэлектро-механических систем).

Акселерометры представляют собой датчики линейного ускорения и в этом качестве широко используются для измерения углов наклона тел, сил инерции, ударных нагрузок и вибрации. Они находят широкое применение на транспорте, в медицине, в промышленных системах измерения и управления, в инерциальных системах навигации. Промышленность изготавливает много разновидностей акселерометров, имеющих различные принципы действия, диапазоны измерения ускорений, массу, габариты и цены.

Таблица 1 - Технические характеристики акселерометра ADXL202

Диапазон измеряемых углов, угл. град.	± 90
Оси чувствительности	X, Y
Разрешение, угл. град.	0.2
Нелинейность, % от полной шкалы	0.2
Поперечная чувствительность, %	2
Температурный дрейф нуля, угл. град./°C	0.12
Плотность шумов, угл. град./ $\sqrt{\text{Гц}}$	$0.3 \cdot 10^{-4}$
Полоса пропускания по уровню минус 3 дБ, кГц	5

В рассматриваемом датчике применяется интегральный акселерометр ADXL202. Данный акселерометр позволяет измерять линейное ускорение по двум взаимно перпендикулярным осям, находящимся в плоскости кристалла. Таким образом, измеряя величину проекции силы тяжести (ускорения свободного падения) на оси акселерометра, можно определить величину угла наклона объекта относительно плоскости земли.

Основные технические характеристики акселерометра ADXL202 приведены в таблице 1.

Выходным сигналом акселерометра ADXL202 являются импульсы, относительная длительность которых пропорциональна ускорению (ШИМ-сигнал). Такой тип выхода обеспечивает повышенную помехоустойчивость, передачу сигнала по одной линии и прием его любым микроконтроллером, имеющим таймер.

Функциональная схема датчика угла наклона, реализованного на акселерометре ADXL 202, показана на рисунке 1.

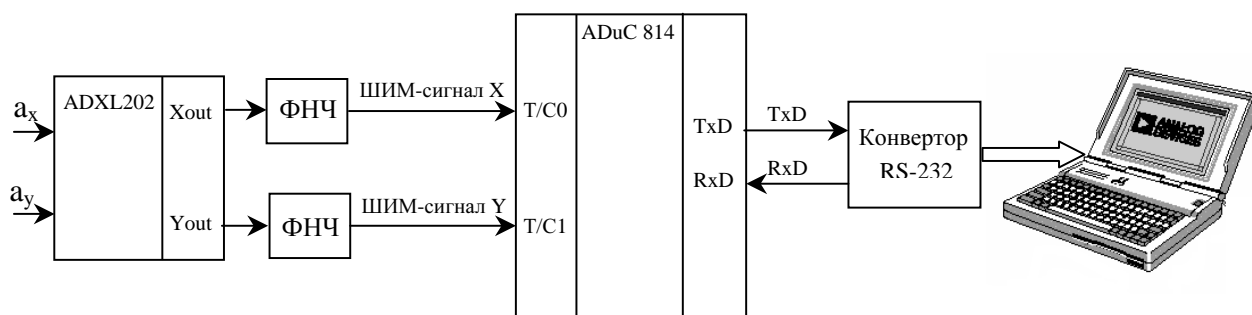


Рисунок 1 - Функциональная схема датчика угла наклона ДУН-01

С выходов акселерометра Xout и Yout широтно-импульсный сигнал, пройдя через фильтр низких частот (ФНЧ), поступает на дискретные входы микроконтроллера ADuC814 T/C0 и T/C1 (рисунок 1). Микроконтроллер измеряет длительность импульса ШИМ-сигнала, а также его период, и, с помощью соответствующих алгебраических и тригонометрических преобразований, определяет текущий угол наклона акселерометра относительно плоскости земли. В дальнейшем этот сигнал в формате интерфейса RS-232 поступает в компьютер.

Шум, содержащийся в выходном сигнале акселерометра, определяет разрешающую способность устройства, что критично при определении малых углов наклона. Предельное разрешение в основном определяется уровнем шума измерения, который включает внешний фоновый шум и, собственно, шум датчика. Уровень шума непосредственно связан с шириной полосы пропускания датчика. Уменьшение полосы пропускания путем включения ФНЧ на выходе датчика приводит к снижению уровня шума. Это улучшает отношение сигнал/шум и увеличивает разрешающую

способность, однако вносит амплитудные и фазовые частотные искажения. Двухосные датчики ADXL202 имеют выводы для подключения двух внешних конденсаторов, образующих с двумя внутренними резисторами по 32 кОм два пассивных ФНЧ первого порядка.

Определим экспериментальным путем величину шумов датчика ДУН-01 при различных частотах среза ФНЧ. Дополнительно, для уменьшения величины шумов, реализуем программным путем медианный фильтр. Сущность реализации медианного фильтра заключается в следующем: текущее измерение суммируется с двумя предыдущими и находится среднее значение, интервал между измерениями составляет 0.33 сек. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальное определение шумов датчика

Частота среза, Гц	50	10	10	1
Медианный фильтр	–	–	+	+
Шум датчика, угл. град.	0.12	0.09	0.075	0.07

На рисунках 2 и 3 представлены графически шумы датчика ДУН-01 при частотах среза 50 Гц и 1 Гц.

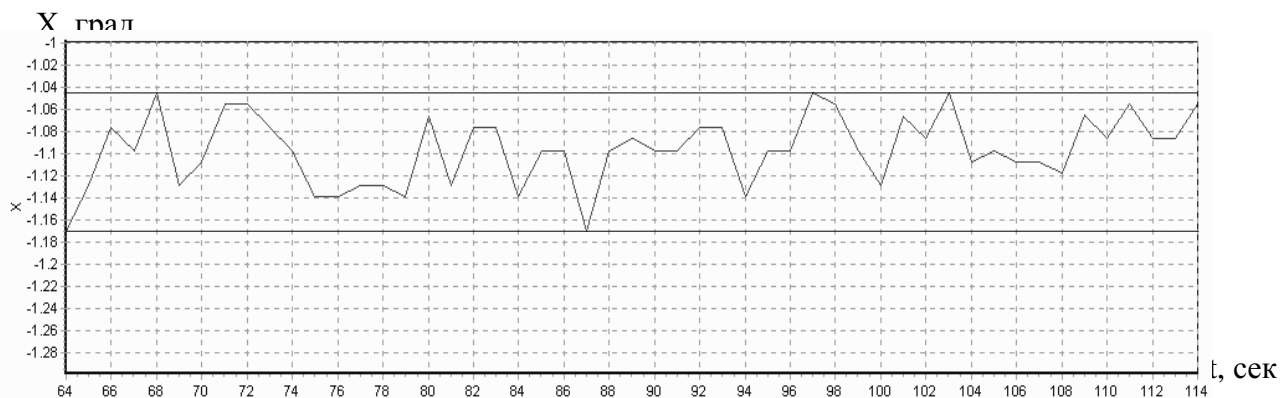


Рисунок 2 - Шумы датчика ДУН-01 при $f_{cp}=50$ Гц

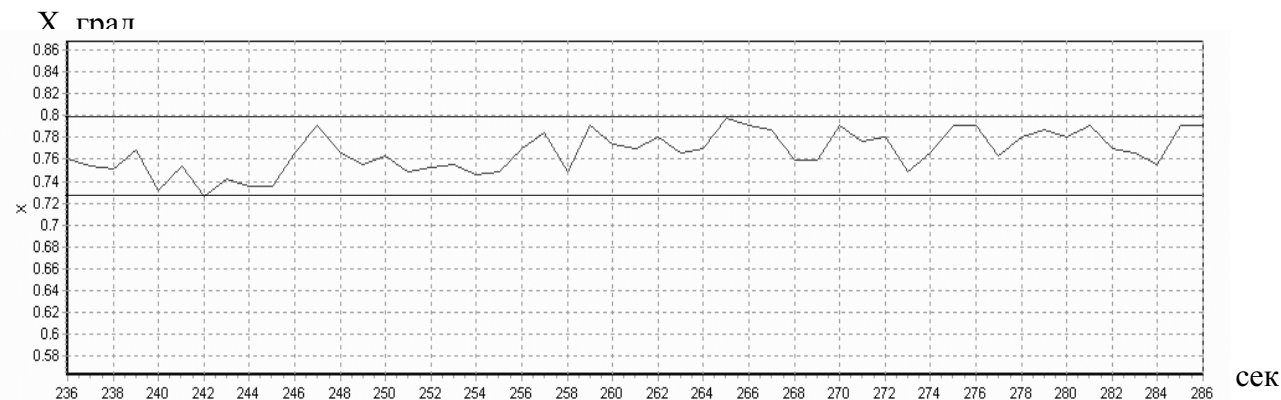


Рисунок 3 - Шумы датчика ДУН-01 при $f_{cp}=1$ Гц и при использовании медианного фильтра

Как видно из полученных данных, наиболее оптимальным вариантом является использование ФНЧ с частотой среза 10 Гц и медианным фильтром. Постоянная времени измерения в этом случае составляет 1 сек. При использовании ФНЧ с большей частотой среза, значительно увеличиваются шумы датчика, и, следовательно, уменьшается его разрешающая способность; а при использовании ФНЧ с меньшей частотой среза, шумы датчика уменьшаются незначительно, но при этом существенно увеличивается постоянная времени измерения.

Для определения величины температурного дрейфа нуля датчика были проведены следующие опыты. Датчик угла наклона был помещен в термокамеру, температура внутри термокамеры изменялась в пределах от минус 40°C до +20°C с шагом 20°C. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Температурный дрейф датчика ДУН-01

T, °C	-40°C	-20°C	0°C	20°C
X, град	4.24	3.07	1.85	0.56
Y, град	6.04	4.41	2.65	0.88

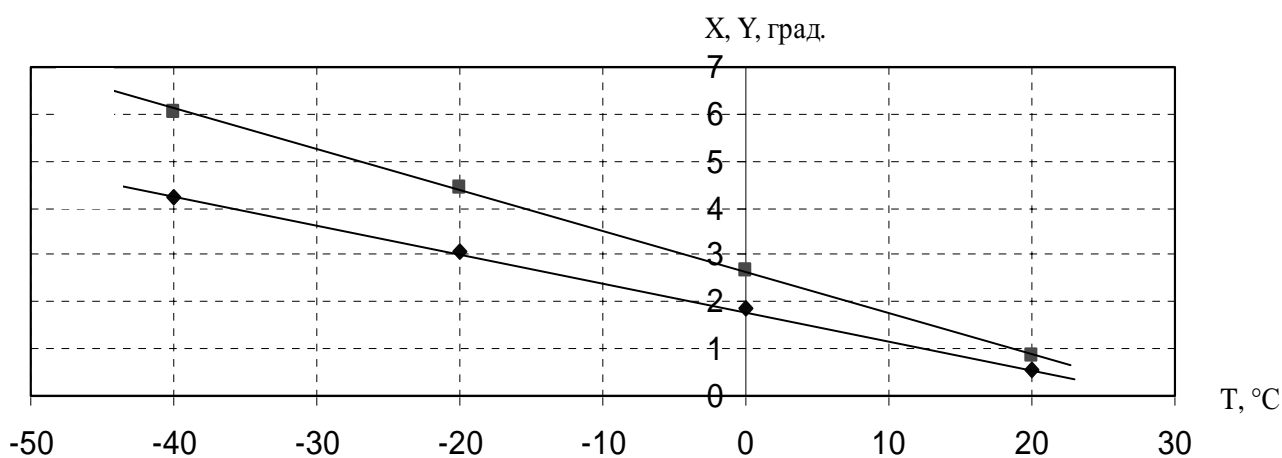


Рисунок 4 – Зависимость дрейфа нуля датчика по осям X и Y от температуры

Как видно из полученных данных, температурный дрейф нуля датчика достаточно велик, при этом характеристика носит практически линейный характер. Дрейф нуля датчика составляет:

- по оси X – 0.061°/°C;
- по оси Y – 0.086°/°C.

Так как зависимость дрейфа нуля от температуры носит линейный характер, то ее можно компенсировать программным путем, введя дополнительную температурную коррекцию нуля датчика. При этом

достигается высокая точность измерений, погрешность нуля в этом случае составляет максимум 0.1° при $\Delta T=80^\circ\text{C}$.

При этом уравнения, отображающие зависимость величины смещения нуля от температуры будут иметь следующий вид:

$$X = a_1 \cdot T + b_1,$$

$$Y = a_2 \cdot T + b_2,$$

где a_1 , a_2 , b_1 , b_2 – коэффициенты уравнения прямой, определяемые по экспериментальным данным (таблица 3, рисунок 4)

При компенсации температурного дрейфа нуля программным путем, в качестве датчика температуры используем внутренний термодатчик ADuC814.

Таким образом, в ходе проведенных исследований, были получены следующие результаты: на базе акселерометра ADXL202 может быть спроектирован датчик угла наклона, обладающий следующими техническими характеристиками:

Таблица 5 – Технические характеристики датчика ДУН-01

Диапазон измерений, угл. град.	± 90
Величина шумов, угл. град.	0.07
Величина температурного дрейфа нуля (в рабочем диапазоне температур, с учетом программной компенсации), угл. град.	0.1
Постоянная времени измерения, сек.	1

ЛИТЕРАТУРА

1. Doscher J. Accelerometer Design and Applications. Analog Devices. 1998.
2. www.analog.com
3. www.compitech.ru