

Исследование характеристик оптических министиков

С. А. ГОЛУБИН¹, В. М. КОМАРОВ, А. Н. ЛОМАНОВ, В. С. НИКИТИН,
Э. И. СЕМЁНОВ

ООО «НПП «Тензосенсор» и ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва», Ярославская обл., г. Рыбинск

Аннотация

Описаны конструкция, принцип действия цифрового оптического министика на основе упругодеформируемого полимерного элемента и оптической схемы с общим приёмником и его преимущества по сравнению с традиционными коммутационными устройствами. Проведены экспериментальные исследования характеристик разработанных министиков.

Ключевые слова: оптический министик, управление робототех-

никой, коммутационное устройство, упругодеформируемый полимерный элемент, экспериментальное исследование.

Для управления объектами авиации и робототехники, сложными манипуляторами, носимыми электронными устройствами, при трёхмерном моделировании и в видеоиграх применяются разные устройства ввода: клавиатуры, мыши, джойстики, трекболы, сенсорные панели и экраны. Одним из устройств ввода также являются министики – двукоординатные миниджойстики, отличающиеся от обычных джойстиков тем, что управляются пальцем руки. Движения пальцев в 5–7 раз быстрее дви-

жения кисти руки, что позволяет намного быстрее и точнее формировать управляющие воздействия.

НПП «Тензосенсор» [1] с участием специалистов РГАТУ им. П. А. Соловьёва был разработан резистивный министик МД-14, действие которого основано на деформации полимерного элемента и чувствительного резистивного покрытия, нанесенного на его поверхность (рис. 1). Однако ресурс таких министиков недостаточно высок (200–300 тыс. нажатий).

Чтобы повысить эксплуатационный ресурс, сохранив лучшие качества резистивных министиков на основе упругодеформируемых элементов, специалистами ООО «НПП «Тензосенсор» была разработана конструкция оптического министика [2].

На рис. 2 показана принципиальная схема оптического министика, который состоит из размещённого на плате 1 корпуса 2 и упругодеформируемого элемента 4, выполненного заедино с управляющей рукояткой 3. На плате 1 под упругодеформируемым элементом 4 расположены фотоэлектрический преобразователь (фотодиод, фоторезистор) 6, и не менее

¹ E-mail: 707gsa@mail.ru

Таблица

Параметры качества сигнала исследуемого министика

| Показатель | Угол 0°, координата X | Угол 90°, координата Y | Угол 45°, координата X | Угол 45°, координата Y |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Диапазон значений | 522 | 485 | 403 | 394 |
| Макс. отклонение, % | 35,36 | 10,10 | 141,42 | 2,08 |
| Макс. нелинейность, % | 9,52 | 10,66 | 9,64 | 10,51 |
| Макс. гистерезис, % | 3,90 | 3,65 | 5,96 | 5,84 |



Рис. 1. Резистивный министик на основе упругодеформируемого элемента НПП «Тензосенсор»

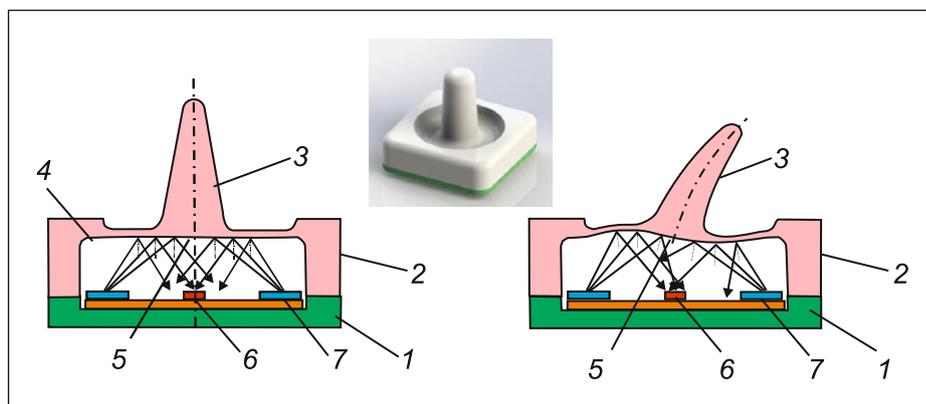


Рис. 2. Оптический министик: 1 – печатная плата; 2 – корпус; 3 – управляющая рукоятка; 4 – упругодеформируемый элемент; 5 – светоотражающая поверхность; 6 – фотоэлектрический преобразователь (фотодиод, фоторезистор); 7 – источник света (светодиод, лазер)

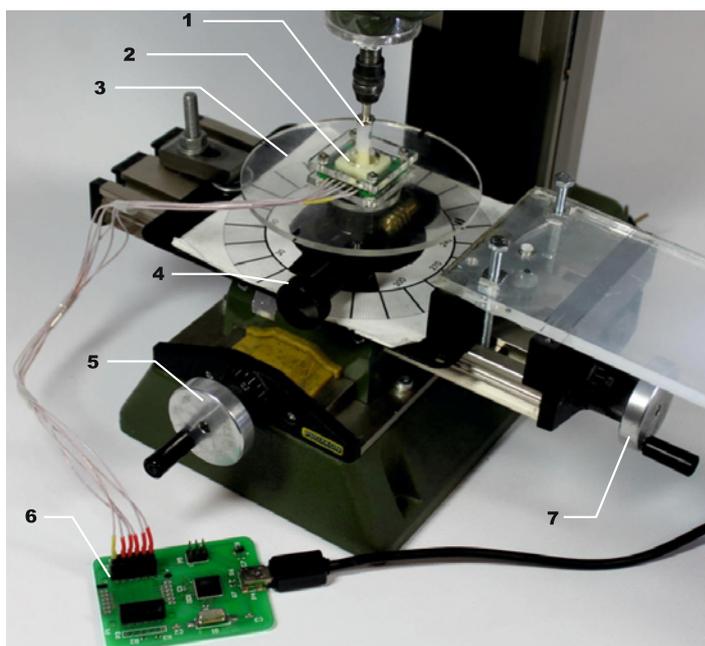


Рис. 3 – Экспериментальная установка: 1 – держатель рукоятки министика, 2 – министик, 3 – поворотная платформа, 4 – механизм поворота, 5 – механизм перемещения по оси X, 6 – блок сопряжения министика с ПК, 7 – механизм перемещения по оси Y

Рис. 4. Контроль за отклонением рукоятки министика (изображение получено с помощью цифровой камеры)

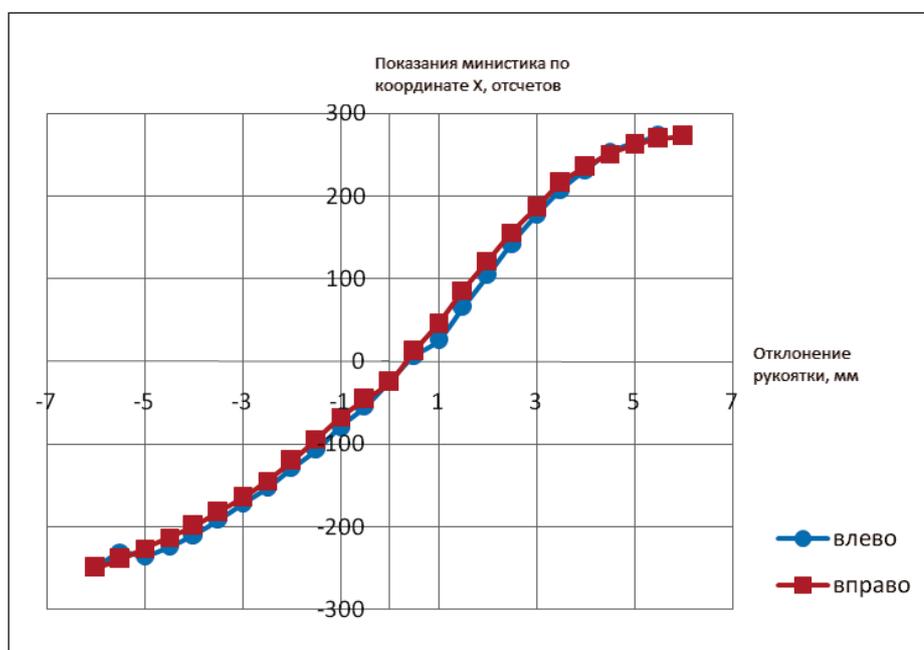
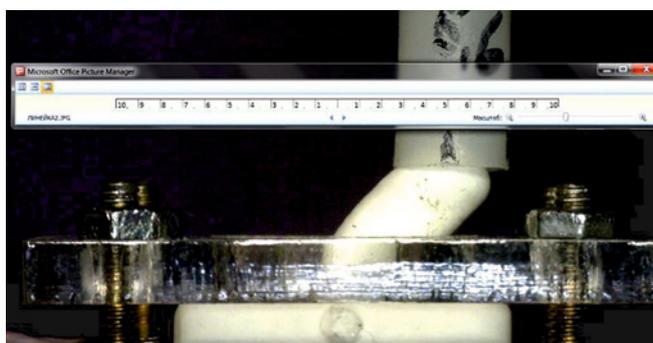


Рис. 5. Передаточная функция министика по координате X (при угле поворота министика 0°)

одного источника света (светодиода, лазера) 7, которые соединены с микропроцессором. Упругодеформируемый элемент 4 в виде детали из эластичного полимерного материала содержит светоотражающую или поглощающую поверхность 5, расположенную над источником света 7 и фотопреобразователь 6. Упругодеформируемый элемент выполнен из эластичного материала в виде пластины с управляющей рукояткой 3, опирающейся на элементы корпуса 2 оптического министика, прикреплённого к плате 1.

Принцип работы оптического министика заключается в эффекте отражения света от светоотражающей поверхности полимерного упругодеформируемого элемента, который деформируется рукояткой в зависимости от направления и силы нажатия.

Оптический министик сохранил основные преимущества резистивного: простоту конструкции, технологичность в массовом производстве, приобретающую высокую надёжность из-за отсутствия механически контактирующих и деформируемых резистивных элементов. Оптический министик отличается бесшумностью, пожаро- и взрывобезопасностью, травмо- и взрывобезопасностью, малым весом и многофункциональностью (возможностью перепрограммирования выполняемых функций) [3].

Для исследования зависимости сигналов министика от величины линейного отклонения рукоятки и угла поворота министика (передаточной функции) была разработана экспериментальная установка.

Экспериментальная установка для исследования передаточной функции министика показана на рис. 3 и состоит из механизма перемещения по оси X, механизма перемещения по оси Y, механизма поворота, цифровой камеры, блока сопряжения министика с ПК, ПК с ПО для снятия показаний министика. При этом министик 2 закреплён в центре поворотной платформы 3, позволяющей вращать министик относительно его центра посредством механизма поворота 4. Управляющая рукоятка министика свободным концом закреплена в держателе 1. Платформа снабжена механизмами перемещения по оси X 5 и по оси Y 7, позволяющими отклонять рукоятку министика от центра.

Отклонение рукоятки министика по оси X контролируется с помощью цифровой камеры (рис. 4).

Получение показаний министика осуществляется при помощи программы на ПК. Программа соединяется с блоком сопряжения министика по протоколу *USB* и автоматически с интервалом в 10 мс получает показания фотоэлектрических преобразователей министика, которые отображаются в левой части окна. Программа позволяет производить регистрацию показаний по нажатию кнопки пользователем. Регистрация производится однократно или многократно (до 10 замеров) с настраиваемым интервалом от 0,1 до 10 с. Полученные показания отображаются в табличном виде в правой части окна программы.

Целью эксперимента является определение зависимости показаний полезного сигнала министика от величины отклонения рукоятки при разных углах поворота корпуса.

Полезный сигнал министика представляет собой два числовых значения, которые соответствуют величинам отклонения рукоятки министика по координатам X и Y . Единицей измерения выходного сигнала являются отсчеты АЦП микроконтроллера министика, которые соответствуют отношению напряжений на фотоэлектрических преобразователях (определяется интенсивностью падающего на них отражённого света, которая зависит от величины отклонения управляющей рукоятки министика).

Качество полезного сигнала реального министика оценивается по показателям:

- точность – разброс показаний при определённом отклонении рукоятки;
- нелинейность – отклонение кривой передаточной функции исследуемого министика от прямой линии;
- гистерезис – различие выходного сигнала при одинаковой величине отклонения рукоятки, но в разных его направлениях.

В ходе эксперимента были произведены замеры показаний министика при постоянном: 1) угле поворота министика и изменяемом отклонении рукоятки; 2) отклонении рукоятки министика и изменяемом угле его поворота.

Снятие показаний при постоянном угле поворота министика и изменя-

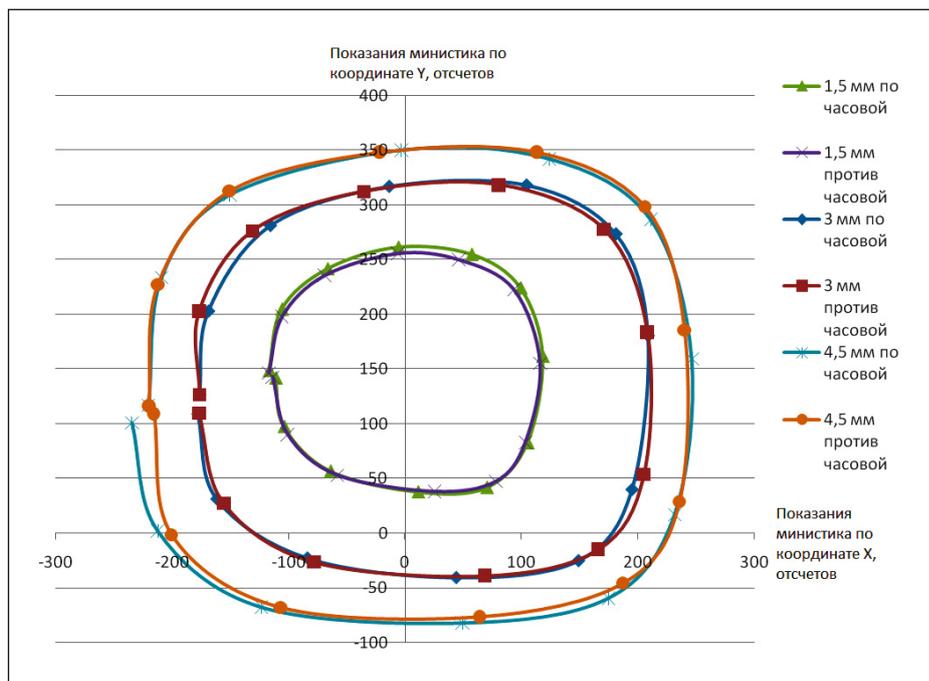


Рис. 6. Результаты измерений показаний министика при его вращении при постоянном значении отклонения рукоятки

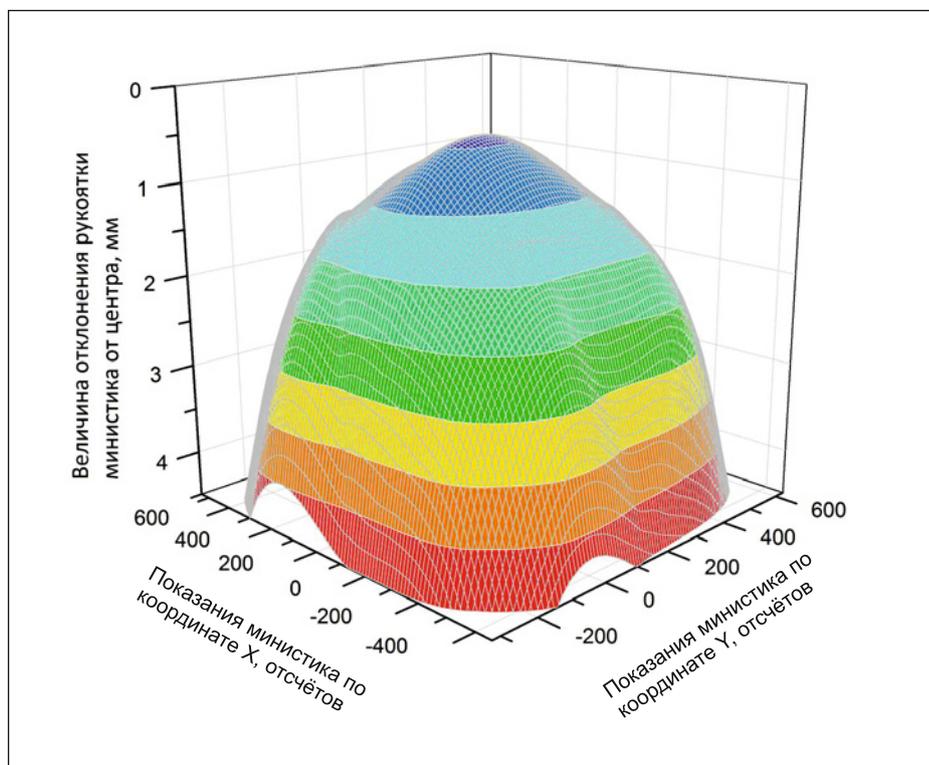


Рис. 7. Трёхмерная поверхностная диаграмма зависимости показаний министика от отклонения рукоятки

мом отклонении рукоятки было проведено при следующих условиях:

- пределы отклонения рукоятки министика от центра: от -5 до $+5$ мм;
- направление отклонения: влево (от $+5$ до -5 мм), вправо (от -5 до $+5$ мм);

- угол поворота министика: 0 , 45 и 90° ;

- число снятий показаний: 5, с последующим усреднением полученных значений.

На рис. 5 представлена часть результатов измерений при угле поворота министика 0° .

Для оценки точности показаний применяется значение среднеквадратического отклонения измеренных при итерациях показаний в точке с заданным отклонением рукоятки. Относительное отклонение показаний министика по данной координате δ вычисляется по формуле

$$\delta = |CKO/\Delta X|,$$

где СКО – среднеквадратическое отклонение показаний министика по данной координате, ΔX – диапазон значений передаточной функции.

Для оценки нелинейности при помощи метода наименьших квадратов строится аппроксимирующая функция прямой линии вида $X=kx+b$. Далее нелинейность N_L вычисляется по формуле

$$N_L = |X - X_{расч}|/\Delta X,$$

где X – фактическое значение координаты в данной точке, а $X_{расч}$ – значение координаты в данной точке, вычисленное при помощи аппроксимирующей функции.

Гистерезис показаний G оценивается по формуле:

$$G = |X_{пр} - X_{л}| / \Delta X,$$

где $X_{пр}$ – значение параметра в данной точке при перемещении рукоятки вправо;

$X_{л}$ – то же при перемещении рукоятки влево.

Результаты расчётов представлены в таблице.

Снятие показаний при постоянном отклонении рукоятки министика и изменением угла поворота было проведено при следующих условиях:

- угол поворота министика: 0–360° с шагом 30°;
- направление вращения: по часовой стрелке (0–360°), против часовой стрелки (360–0°);
- отклонение рукоятки министика от центра: 1,5; 3 и 4,5 мм;
- число снятий показаний: 5, с последующим усреднением полученных значений.

На рис. 6 представлены результаты измерений в виде лепестковой диаграммы. По результатам измерений была построена трёхмерная поверхностная диаграмма зависимости показаний X и Y от угла и величины от-

клонения рукоятки, отображенная на рис. 7.

Выводы

Выбранная оптическая схема министика на основе упругодеформируемого элемента позволяет создавать работоспособные и высокоэффективные устройства.

Максимальный диапазон отклонения рукоятки министика составляет ± 6 мм, что укладывается в оптимальный диапазон амплитуд отклонения пальцев руки порядка 12–20 мм.

Передаточная функция исследованного оптического министика линейна и симметрична в диапазоне отклонения рукоятки в пределах от –3 до +3 мм. При больших отклонениях кривые показаний приобретают экспоненциальную форму.

Мёртвая зона министика не превышает 0,5 мм по всем координатам.

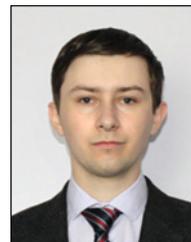
Максимальная величина гистерезиса составляет 5,96% от диапазона значений передаточной функции. Максимальный гистерезис наблюдается при угле поворота министика 45°.

Таким образом, передаточная функция оптического министика соответствует основным требованиям, предъявляемым к средствам управления сложной робототехникой, манипуляторами и летательными аппаратами. Конструкция министика требует доработки с целью повышения точности, снижения нелинейности и гистерезиса показаний.

Прикладные научные исследования и экспериментальные разработки проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок – RFMEFI57914X0087.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин В. С., Белов Р. Б. Управлять без рычагов // Наука и жизнь. – 2012. – № 12.
2. Никитин В. С., Морозов П. П. Оптический джойстик / Заявка на изобретение № 2013112435, 2014. Бюл. № 27.
3. Никитин В. С. Способ коммутации электрических цепей и многофункциональный переключатель для его осуществления / Патент России № 2455678, 2012. Бюл. № 19.



Голубин Сергей Александрович, инженер. Окончил в 2013 г. РГАТУ им. П.А. Соловьёва. Инженер-системотехник ООО «НПП «Тензосенсор». Аспирант ФГБОУ ВПО «РГАТУ им. П.А. Соловьёва»



Комаров Валерий Михайлович, кандидат техн. наук, профессор. Окончил в 1972 г. РГАТУ им. П.А. Соловьёва. Зав. кафедрой «Вычислительные системы» ФГБОУ ВПО «РГАТУ им. П.А. Соловьёва»



Ломанов Алексей Николаевич, кандидат техн. наук. Окончил в 2003 г. РГАТУ им. П.А. Соловьёва. Декан факультета радиоэлектроники и информатики ФГБОУ ВПО «РГАТУ им. П.А. Соловьёва»



Никитин Владимир Степанович, кандидат техн. наук. Окончил в 1976 г. Тбилисское Высшее артиллерийское командное училище. Директор ООО «НТЦ «Интрофизика»



Семёнов Эрнст Иванович, доктор техн. наук. Окончил в 1965 г. РГАТУ им. П.А. Соловьёва. Профессор ФГБОУ ВПО «РГАТУ им. П.А. Соловьёва». Область научных интересов: контроль над процессами получения тонких плёнок, автоматика, радиоэлектроника, микроэлектроника, вычислительная техника