

Применение цифровых оптических министиков на основе светодиодов в качестве многофункциональных элементов управления унифицированных человеко-машинных интерфейсов

С.А. ГОЛУБИН, В.С. НИКИТИН, Р.Б. БЕЛОВ¹

ООО «НПП «Тензосенсор», г. Рыбинск

¹ E-mail: 507z@mail.ru

Аннотация

Активное развитие робототехники требует всё более сложных пультов дистанционного управления. При этом пульты управления становятся всё больше и дороже. Они снижают экономическую эффективность робототехники и повышают её стоимость. Научной задачей данной работы является исследование возможности применения оптических министиков на основе светодиодов в качестве базовых многофункциональных элементов управления человеко-машинных интерфейсов нового типа, позволяющих с помощью одинаковых устройств управлять всеми известными видами роботизированной техники. В ходе исследований использовались оригинальные эргономические методы целенаправленной комбинации министиков на двух рукоятках управления, так чтобы обеспечить удобство тактильного управления различными роботами без визуаль-

ного контакта со средствами управления. В результате исследований были созданы и запатентованы новые средства управления, которые получили название «полиджойстики» (патент РФ № 2497177) и позволяют управлять техническими средствами, обладающими до 20-ти степенями свободы, что превышает аналогичные показатели известных средств управления в 3–5 раз. За счёт комбинированного применения оптических министиков, двух полиджойстиков и видеомаски, удалось создать универсальный человеко-машинный интерфейс нового поколения, который позволяет управлять различными роботами и транспортными средствами от трактора до самолёта.

Обсуждение полученных результатов производилось посредством их сравнения с параметрами пультов управления различных робототехнических систем. Анализ результатов сравнения показал, что устройства управления, в которых исполь-

зуются полиджойстики и цифровые оптические министики на основе светодиодов обладают наилучшими среди известных устройств управления роботами показателями по количеству реализованных степеней свободы, по отношению функциональности к весу устройств и занимаемому ими объёму. Новые интерфейсы уже нашли применение при разработке системы управления мультиагентным робототехническим комплексом для тушения лесных пожаров.

Ключевые слова: оптический министик, светодиод, фотодиод, оптическая система, полиджойстик, система управления, унифицированный человеко-машинный интерфейс.

1. Введение

В настоящее время активно развивается сложная робототехника для тушения пожаров, проведения аварийно-спасательных мероприятий, выполнения опасных операций в горнодобывающей промышленности и т.п. Робототехнические комплексы становятся сложнее и многофункциональнее. Имеющиеся пульты управления, созданные с использованием традиционных джойстиков и кнопок, становятся всё больше и дороже и при этом всё равно обладают недостаточной функциональностью и неудобны. Поэтому очень часто компаниям-разработчикам приходится целиком копировать кабину роботизируемого транспортного средства. Так, например, поступили в компаниях *Komatsu* и БелАЗ для управления карьерными самосвалами-роботами [1, 2]. Подобные решения, когда стоимость средств управления сопоставима со стоимостью роботов, снижают экономическую эффективность робототехники. Решение данной проблемы возможно посредством разработки дешёвых и эргономичных человеко-машинных интерфейсов на базе новых многофункциональных элементов управления. Такие элементы были изобретены в НПП «Тензосенсор» и запатентованы в России [3, 4].

Научной задачей настоящей работы является исследование возможности применения цифровых оптических министиков на основе светодиодов в качестве базовых элементов управления новых унифицированных человеко-машинных интерфейсов.

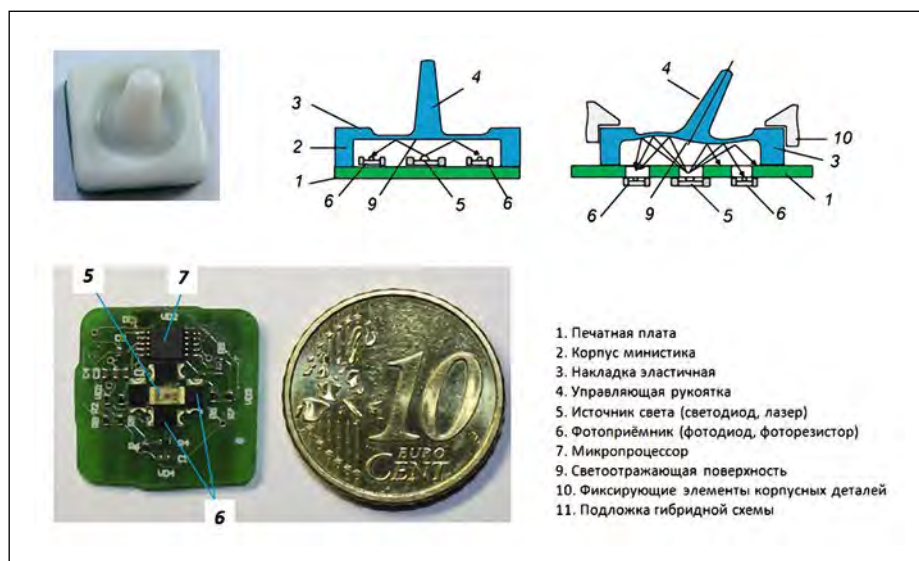


Рис. 1. Оптический министик DMR4I-Ch, разработанный НПП «Тензосенсор»

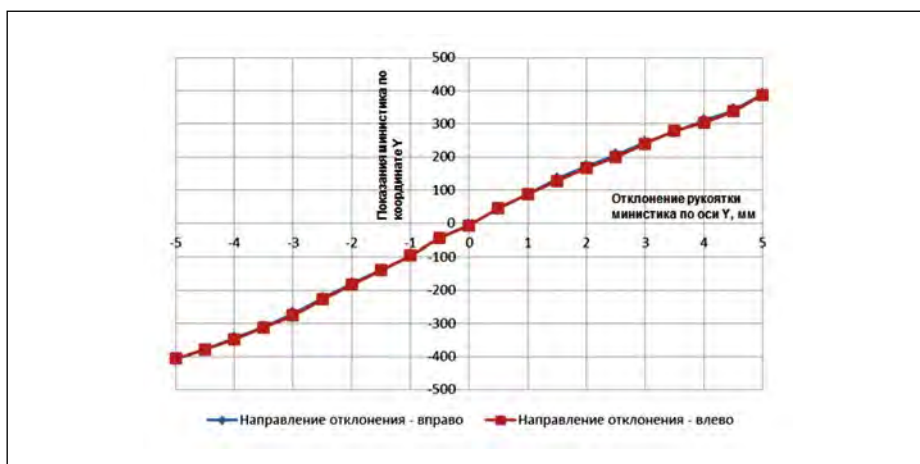


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала министика от величины отклонения управляющей рукоятки

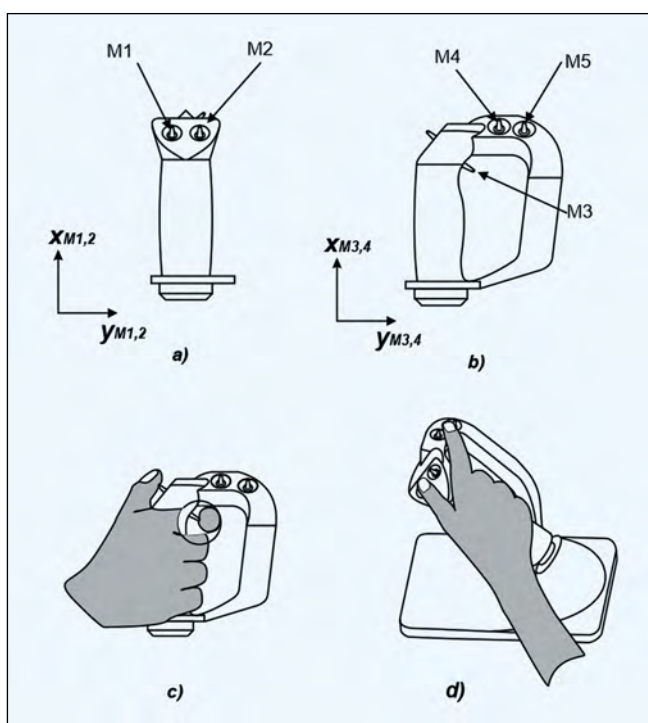


Рис. 3. Окончательный вариант комбинации министиков в конструкции полиджойстика с 5-ю министиками (министики обозначены M1, M2, M3, M4 и M5)

2. Описание предлагаемого устройства

Оптическая система цифрового министика показана на рис. 1. Министик содержит светодиоды и фотодиод, над которыми расположен упруго деформируемый элемент из эластичного полимера с управляющей рукояткой. Он служит оптическим модулятором, изменяющим интенсивность отражённого светового потока, падающего на фотодиод, при наклоне рукоятки. Процессор министика вычисляет угол и направление наклона рукоятки и передаёт информацию в систему управления.

Применение оптической схемы и микропроцессора позволило со-

здать цифровой оптический министик *DMR4I-Ch* [5]. Этот министик обладает высокой линейностью выходного сигнала (рис. 2), удобным цифровым выходом сигнала, небольшими размерами (16×19×13,5 мм), массой порядка 2,3 г, высоким ресурсом порядка 1,5 млн нажатий. Диапазон отклонения управляющей рукоятки составляет по 5 мм в любом направлении. Результаты исследования характеристик оптических министиков приведены в [6–11].

Важнейшим преимуществом созданного министика является его полиморфность, т.е. возможность его использования в качестве универсального средства, способного выполнять сразу несколько функций, например,

кнопки, тумблера, многопозиционного переключателя, регулятора и джойстика. Менять функциональность можно непосредственно во время работы, то есть в режиме реального времени. Цифровой министик обладает «интеллектом», он способен отличать длинные и короткие нажатия, одиночные и двойные нажатия, круговые вращательные движения, что недоступно другим известным типам переключателей.

В ходе исследований использовались оригинальные эргономические методы целенаправленной комбинации министиков на двух рукоятках управления роботами, так чтобы обеспечить удобство тактильного управления различными роботами без визуального контакта со средствами управления. В результате многократного перебора комбинаций расположений министиков и эргономических испытаний различных конструкций ручек управления с привлечением опытных экспертов были созданы и запатентованы уникальные средства управления, которые получили название «полиджойстики» [12].

На рис. 3 показан полиджойстик с оптимальным расположением министиков. Два министика (M1 и M2) расположены под большим пальцем. Министик M1 очень удобен для управления движением транспортного средства по курсу (повороты, развороты), а министик M2 удобно использовать для управления поворотом курсовой видеокамеры. Это подходит и для воздушных дронов, и для сухопутных роботов. Третий министик M3 расположен, как курок на пистолете, что очень удобно для экстренных ситуаций – резкого торможения, проведения фотосъёмки (спуска затвора) и т.п., так как указательный палец имеет очень большую скорость реакции. Ещё два министика (M4 и M5) расположены в верхней части полиджойстика. Эти министики можно использовать для длительных операций управления манипуляторами специальной техники, наведения рабочих органов, переключения режимов работы или навигации.

Для повышения функциональных возможностей целесообразно использовать одновременно два полиджойстика с несимметричным распределением функций, т.е. левым полиджойстиком управлять одним набором функций, а правым – другим набором функций. При этом с помощью

специальной функции программы управления можно переключать симметричность функциональности: для правой установить один порядок функциональности, а для левой использовать зеркальный порядок.

На основании проведённых исследований были созданы полиджойстики PD-002, технические характеристики которых имеются на сайте компании «Тензосенсор» [13].

3. Результаты экспериментов

Экспериментальные исследования функциональных возможностей полиджойстиков показали, что они позволяют управлять как воздушно-космическими (шаттлы, самолёты, вертолёты, коптеры), так и всевозможными сухопутными и водными (автомобили, тракторы, экскаваторы, харвестеры, комбайны, катера-глиссеры и т.п.) техническими средствами. Наличие 10-ти двухкоординатных министиков, работающих в режиме джойстиков, позволяет обеспечить управление роботами, требующими управления 20-ю степенями свободы. Это очень высокий показатель функциональности.

Унифицированный человеко-машинный интерфейс включает в себя два полиджойстика управления, видеомаску и блок сопряжения с системой управления (рис. 4). На дисплее видеомаски отображаются изображения от видеокамер, тактическая обстановка, а также различные приборы и переключатели, необходимые для управления. На полиджойстиках размещаются многофункциональные элементы управления – цифровые оптические министики. Применение полиджойстиков позволяет осуществлять надёжное тактильное управление без зрительного контакта с манипуляторами, а использование видеомаски оригинальной конструкции позволило избавиться от громоздких дисплеев, чувствительных к засветке, вибрациям и толчкам.

Демонстрационный видеоролик с примерами управления различной техникой имеется на сайте компании (см. <http://www.tenzosensor.ru/images/TenzosensorPJ.mp4>).

Экспериментальные исследования показали, что полиджойстики унифицированного человеко-машинного интерфейса обеспечивают высокие эргономические стандарты и удобство работы как «правшей», так и «левшей».

Рис. 4. Унифицированный человеко-машинный интерфейс: а – полиджойстики PD-002; б – видеомаска; в – оператор с новым унифицированным человеко-машинным интерфейсом



Рис. 5. Специализированные пульты управления роботами



4. Сравнение параметров пультов управления различными робототехническими системами

Концепция *HOTAS*¹, использованная авторами при создании нового интерфейса, достаточно популярна. Её развитие идёт по пути увеличения количества и номенклатуры оперативных органов управления на рукоятках управления летательным аппаратом, как для левой, так и для правой руки лётчика.

Однако данный подход к реализации концепции *HOTAS* имеет и серьёзные недостатки. По существу, на рукоятке может быть удобно расположен только один оперативный орган управления, имеющий фиксированную функциональность. Для управления робототехническими комплексами используются как серийно выпускаемые изделия, так и оригинальные решения.

¹ *HOTAS (Hands On Throttle-And-Stick)* – устройство, компоновка которого позволяет пилотам выполнять большинство функций по управлению, не убирая рук со средств управления.

Из серийно выпускаемых средств управления разработчики мобильных платформ, как правило, выбирают разнообразные джойстики, геймпады, пульты управления и т.д. Преимуществами серийных изделий являются отсутствие затрат на их разработку и гарантированный эксплуатационный ресурс. Недостатками являются фиксированная функциональность устройств и эргономические решения, не всегда соответствующие желаниям разработчика.

Оригинальные решения средств управления в виде специализированных пультов управления применяются, как правило, достаточно крупными разработчиками (рис. 5).

Преимуществами специализированных пультов управления являются расширенная функциональность. К недостаткам этих систем можно отнести невысокие эргономические свойства.

Близким аналогом полиджойстиков НПП «Тензосенсор» можно считать интерфейс харвестера компании *Ponsse – PonsseComfort* [14] (рис. 6), который содержит джойстики, подлокотники и боковую панель приборов.

На боковых поверхностях огромных базовых ручек-джойстиков под



Рис. 6. Интерфейс PonsseComfort

Рис. 7. Количество степеней свободы у джойстиков (номера устройств соответствуют порядковым номерам в таблице)

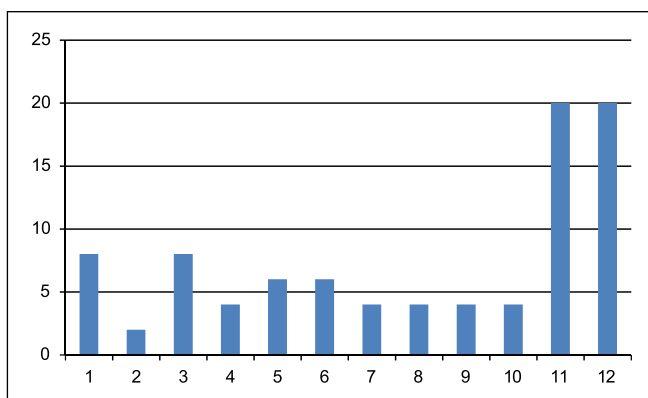
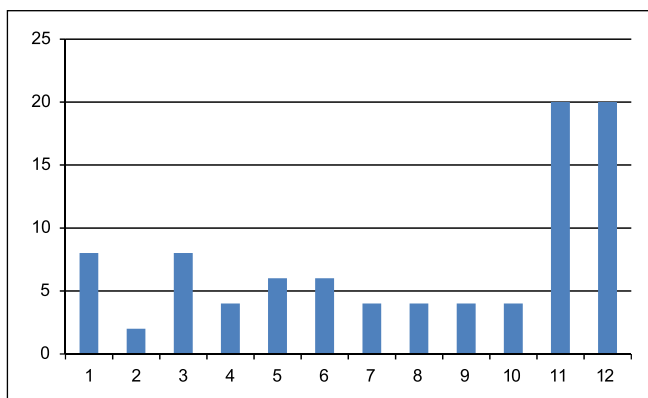


Рис. 8. Отношение количества степеней свободы у джойстиков к объёму устройства управления (номера устройств соответствуют порядковым номерам в таблице)



большими пальцами оператора расположены ещё и аналоговые миниджойстики. В зоне доступности больших пальцев находятся также множество кнопок, которые программируются на выполнение разных операций. Несмотря на высокую функциональность, применение стандартных комплектов потребовало большую цену: интерфейс PonsseComfort обладает существенными недостатками – большими габаритами и весом, а также высокой стоимостью.

В таблице приведены характеристики известных систем управления роботами.

На рис. 7 показано количество степеней свободы у джойстиков, использованных в устройствах управления, приведённых в таблице. На рис. 8 показано отношение количества степеней свободы по джойстикам к объёму устройств, приведённых в таблице.

Оценка полученных результатов производилась посредством их сравнения с параметрами пультов управления различных робототехнических систем. Анализ результатов сравнения показал, что устройства управления на основе полиджойстиков и цифровых оптических министиков на основе светодиодов обладают наилучшими среди исследованных устройств управления показателями по количеству реализованных степеней свободы, по отношению функциональности к весу устройств и занимаемому ими объёму.

5. Выводы и рекомендации

Результаты проведённых исследований позволяют сделать вывод, что применение цифровых оптических министиков на основе светодиодов в качестве многофункциональ-

ных элементов управления позволяет создавать современные эргономичные человеко-машинные интерфейсы, обладающие расширенной функциональностью.

Сравнение современных средств управления роботами и перспективных разработок в области человеко-машинных интерфейсов подтверждает целесообразность применения унифицированного человеко-машинного интерфейса НПП «Тензосенсор» на основе цифровых оптических министиков в системах управления робототехническими комплексами различного назначения. На основании проведённых исследований было принято решение использовать разработанный интерфейс в системе управления мультиагентным робототехническим комплексом для тушения лесных пожаров [15].

Данные исследования проводятся при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения Соглашения от 26 сентября 2017 г. № 14.579.21.0151. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок RFMEFI57917X0151. Авторы признательны мониторам и экспертам Дирекции НТП за корректное и доброжелательное обсуждение полученных результатов.

Авторы выражают благодарности доктору технических наук Семёнову Э.И. за ценные рекомендации, данные им в ходе выполнения работ.

7. Список литературы

1. Kulula, M.I., Akande, J.M. Effects of Machine Parameter and Natural Factors on the Productivity of Loading and Haulage Equipment // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2018. – Vol. 6, No. 1. – P. 139–153. doi: 10.4236/jmmce.2018.61011.
2. Потапенко А.Н., Гайдюков К.Ю., Медведев В.В. Особенности автоматизации карьерных машин в составе автоматизированной системы диспетчерского управления // ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова», Журнал «Фундаментальные исследования». – 2016. – № 9 (часть 1) – С. 56–61.
3. Патент РФ № 2596576, 19.03.2017.
4. Патент РФ № 2594992, 26.01.2015.

Характеристики известных систем управления роботами

№ п/п	Наименование производителя или изделия	Количество джойстиков, шт.	Количество переключателей, шт.	Длина / ширина / высота, дм	Объём/вес, л/кг
1	Робот платформы «TALON/SWORDS»	4	23	4/4/1,5	24/12
2	Роботизированный щит SWAT-Bot	1	5	0,8/0,5/1,2	0,48/0,8
3	Пульт HBC Radiomatic Palfinger	4	1	4/2/1,5	12/3
4	Пульты ГНЦ РФ ЦНИИ РТК	2	20	4/4/1,5	24/8
5	ПУ роботом «ВАРАН» – НУЦ Робототехники МГТУ им Баумана	3	22	4/4,5	24/8
6	ПУ роботами МРК «Варяг» – НУЦ Робототехники МГТУ им Баумана	3	24	4/4/1,5	24/8
7	Пульт управления МРТК «Металлист» (г. Ковров)	2	24	3,5/3,5/0,7	8,58/4
8	Пульт управления автомобиля «Тигр», ОАО «Элинс»	2	12	4/2/2,5	5/12
9	Пульт управления роботом ОАО «Спецтехника пожаротушения»	2	25	4/4/1,5	24/12
10	Пульт управления роботом «Трал»-Патруль»	2	6	3,5/1,5/1,5	7,88/3
11	Полиджойстики НПП «Тензосенсор»	10	-	0,2/1,8/1,2	0,86/1,2
12	Штурвалы на базе полиджойстиков	10	-	3/1,8/1,8	9,72/2,5

5. DMR4I–Ch Цифровой оптический министик /Даташит/ ООО НПП «Тензосенсор» / 2016 г/ <http://www.tenzosensor.ru/images/DMR4I–Ch%20Data%20Sheet.pdf>

6. Голубин С.А., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Комаров В.М., Семенов Э.И. Экспериментальное исследование характеристик оптических министиков // Светотехника.– 2015.– № 6. – С. 17–20.

7. Голубин С.А., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Комаров В.М., Семенов Э.И. Исследование влияния светотехнической схемы оптических министиков на их характеристики // Светотехника.– 2016.– № 6. – С. 34–38.

8. Голубин С.А., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Комаров В.М., Семенов Э.И. Исследование характеристик оптического министика с VCSEL-лазером // Светотехника.– 2017.– № 1. – С. 24–27

9. Golubin, S.A., Lomanov, A.N., Nikitin, V.S., Komarov, V.M. Experimental research on the performance of optical ministicks with a common receiver // Light&Engineering.– 2015. Vol. 23, No. 4. – P. 81–87.

10. Golubin, S.A., Lomanov, A.N., Nikitin, V.S., Komarov, V.M., Semenov, E.I. Experimental study of how lighting patterns affect optical ministicks characteristics // Light&Engineering.– 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 105–110.

11. Golubin, S.A., Lomanov, A.N., Nikitin, V.S., Komarov, V.M., Semenov, E.I. Study of Characteristics of VCSEL-based Optical Ministicks // Light&Engineering.– 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 111–116.

12. Патент РФ № 2497177, 19/03/2012.

13. PD-002 Полиджойстик /Даташит/ ООО НПП «Тензосенсор» / 2017 г/

<http://www.tenzosensor.ru/images/PD-002%20Data%20Sheet.pdf>.

14. Lahtinen, M. Ergonomics evaluation of Cut-To-Length forest harvesters, Master's thesis Management and Economy in the International Forest Sector, June 2017/ https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130914/Lahtinen_Matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

15. Никитин В.С., Белов Р.Б. Роботизированный комплекс для тушения лесных пожаров, ООО «Научно-производственное предприятие «Тензосенсор» // Materials of the 13th Int. Scientific and Practical Conf. «Fundamental and Applied Science – 2017», Vol. 3. October 30 – November 7, 2017. – P. 24–27. <http://www.rusnauka.com/books/2017-10-28-A4-tom-3.pdf>.



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»



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



Белов Роман Борисович. Заместитель генерального директора, главный конструктор НПП «Тензосенсор». Курирует разработку и производство инновационной продукции