

# Устройство сенсорно-бесконтактного ввода информации на базе керамики для авионики

Д.С. Терентьев, В.А. Шахнов, А.И. Власов

Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана

terentev.touchtechn@gmail.com

**Аннотация** — В работе анализируются существующие проблемы в области сенсорного ввода информации в электронной бортовой аппаратуре авиатранспорта. Исследуются недостатки текущих решений на базе оптических и резистивных технологий. Обосновываются потребности в бесконтактном вводе и снижении себестоимости сенсорных панелей в авионике. Предлагаются пути разрешения существующих проблем посредством технического решения в виде ёмкостной сенсорно-бесконтактной панели на основе матрицы DFM<sup>®</sup> и керамики. При этом её себестоимость более чем в 2 раза меньше, по сравнению с другими ёмкостными панелями, и более чем в 4 раза – по отношению к инфракрасным экранам, применяемым в летательных аппаратах. Описывается структура и функциональная модель разработанной панели, предложен её состав: материалы, подложки, электронные компоненты. Благодаря нестандартной конструкции, топологии матрицы и разработанному алгоритму определения координат ввода теоретически возможно достижение расстояния распознавания объектов ввода до 100 мм от поверхности чувствительного элемента. Изготовлены образцы чувствительных элементов (сенсорные матрицы) на базе НТСС-керамики и контроллеры для них, в дальнейшем планируется переход на ЛТСС-керамику. В результате экспериментальных исследований проанализированы недостатки в технологическом процессе изготовления образцов панелей DFM<sup>®</sup> с подложкой НТСС для авионики. Обоснована необходимость перехода на ЛТСС-керамику и описана структурная модель соответствующего образца. Проведено сравнение характеристик предлагаемого технического решения с имеющимися аналогами. Так, у панели DFM<sup>®</sup> на подложке из ЛТСС-керамики максимальная рабочая температура +125 °С. Это почти в 2 раза больше, чем у других ёмкостных сенсорных панелей. Толщина матрицы на порядок тоньше по отношению к инфракрасным сенсорным экранам, применяемым в авионике, и составляет всего 0.65 мм вместе с интегрированным в неё АЦП и микросхемой контроллера.

**Ключевые слова** — электростатические поля, бесконтактный ввод, низкотемпературная многослойная керамика, интегрированный аналого-цифровой преобразователь, толстоплёночная матрица, расширенный температурный диапазон, ёмкостный сенсорный экран.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Появление в последние годы сенсорного интерфейса управления летательными аппаратами связано с внедрением графических цветных ЖК-индикаторов [1]. Впоследствии в электронную бортовую аппаратуру, например вертолётов [2], стали внедряться сенсорные навигаторы. Компанией Rockwell Collins была разработана первая в авионике интегрированная сенсорная система управления и интерфейса пилота/пассажира [3]. В ней инфракрасные устройства ввода 14” [4] применяются в информационно-измерительной аппаратуре пилота и в системе управления салоном посредством встроенных в кресла пассажиров сенсорных панелей 3,8” [5]. Curtiss-Wright Controls Defense Solutions разработала 21,5-дюймовое резистивное сенсорное устройство ввода информации с повышенными требованиями по устойчивости к внешним воздействующим факторам [6].

## II. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К РАЗРАБАТЫВАЕМОМУ УСТРОЙСТВУ ВВОДА

Несмотря на то, что внедрённые в авионику сенсорные экраны позволяют осуществить интерфейс между пилотом (пассажирами) и бортовой аппаратурой более интуитивным, а также сокращают размеры последней, они обладают множеством недостатков. Так, инфракрасные экраны свыше 14” обладают неудовлетворительными массово-габаритными и стоимостными характеристиками для широкого применения в авионике, а резистивные – надёжностными (35 млн. касаний, низкая устойчивость к механическим повреждениям), климатическими (узкий диапазон температур: -10...+60 °С), оптическими (светопропускаемость до 85%) и функциональными (отсутствие возможности в 4-х проводных резистивных устройствах ввода одновременного распознавания двух и более координат прикосновения – функции multi-touch) [7].

При использовании ёмкостных сенсорных панелей с multi-touch, широко применяющихся в мобильных электронно-вычислительных средствах, с распознаванием двумерных жестов с повышенными надёжностными (200-1000 млн. касаний)

характеристиками возможно избежать перечисленных выше недостатков, что уже предложено в работе [8].

Тем не менее, их применение без существенных изменений нецелесообразно, что обусловлено специфическими требованиями в авионике помимо повышенных требований по надёжности. Например, температуры  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $+200^{\circ}\text{C}$ , чему не удовлетворяют традиционные материалы изготовления резистивных и ёмкостных сенсорных панелей на основе оксидов индия и олова, которые также хрупкие и дорогостоящие. Кроме того, сенсорный ввод оставляет на поверхности устройства отображения загрязнения, и качество изображения ухудшается, что может быть критичным для оперативного восприятия информации пилотом.

Устранить эти проблемы возможно переходом к бесконтактному методу ввода, способностью бортовой панели к распознаванию жестов [8], поиску альтернативных конструкций и способов изготовления. При этом трёхмерное распознавание объектов ввода в пространстве должно обеспечиваться ёмкостными, а не оптическими технологиями для снижения себестоимости, энергопотребления и массово-габаритных параметров.

### III. ПРЕДЛАГАЕМОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ И СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ СЕНСОРНОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

В качестве исходных данных для проектирования сенсорной панели бортовой аппаратуры выбрана проекционно-ёмкостная сенсорная матрица с бесконтактным вводом с применением толстоплёночных структур вместо традиционных оксидов индия и олова – панель DFM<sup>®</sup> с multi-touch [9]. DFM<sup>®</sup> обладает меньшей себестоимостью матрицы (в 2-3 раза при 10-15 дюймах), расширенными надёжностями (500 млн. касаний при компонентной базе коммерческого применения, температурный диапазон  $-40...+70^{\circ}\text{C}$ ) и оптическими параметрами (светопропускаемость не менее 98% против 90-92%) за счёт иной конструкции и альтернативной технологии изготовления [9].

Для того, чтобы разрабатываемое устройство сенсорно-бесконтактного ввода информации возможно было применить в авионике, следует внести как минимум два существенных изменения в предлагаемом решении.

Во-первых, необходимы подложки и компоненты, устойчивые к экстремальным температурам, т.к. традиционная для мобильных устройств сенсорная панель на стеклянной или полимерной подложке и контроллер на печатной плате из стеклотекстолита не желательно использовать в летательных аппаратах, тем более космического назначения. Такими являются LFC-материалы (Low-temperature Fireable Ceramics), применяемые в автомобильной промышленности, но не для устройств ввода. Они представляют собой многослойную стеклокерамику, обрабатывающуюся

для получения подложки в сыром виде по LTCC-технологии (Low Temperature Co-fired Ceramics), а затем после нанесения толстоплёночных паст и установки электронных компонентов подвергающуюся термической обработке [10]. Максимальная рабочая температура устройств, изготовленных на её основе, составляет  $+350^{\circ}\text{C}$  [11].

В структурах LTCC предлагается разместить чувствительные элементы матрицы и пассивные и активные компоненты панели DFM<sup>®</sup> с использованием единого технологического цикла изготовления матрицы, контроллера, сборки устройств ввода и отображения. При этом возможно снизить толщину сенсорной панели с 0,9 до 0,65 мм.

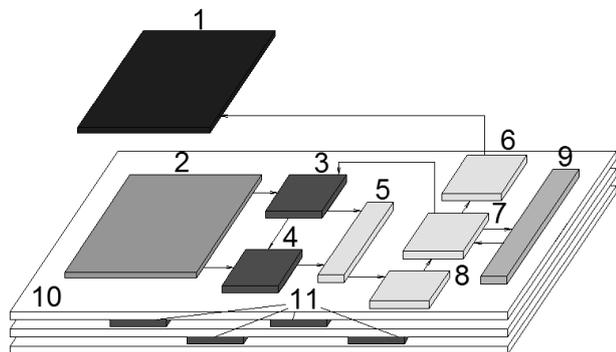
Предлагаемое решение позволит интегрировать контроллер в матрицу и избавиться от печатных плат из не подходящего для экстремальных применений стеклотекстолита. Это обуславливает более широкое применение вследствие расширенного температурного диапазона, повышения устойчивости к внешним факторам, более высокой надёжности и меньших массово-габаритных показателей.

Во-вторых, материалы матрицы должны также функционировать в широком температурном диапазоне. Для этого в решении используются толстоплёночные структуры различной степени проводимости: конденсаторные диэлектрические, изоляционные, резистивные, проводящие для формирования матрицы. При этом в них сочетаются высокие значения накапливаемой электрической ёмкости за счёт большей площади образуемых электродами сенсорной панели конденсаторов (благодаря чему возможен бесконтактный ввод) и способность к сопротивлению процессам реструктуризации, деградации электрофизических параметров при температурах до  $+350^{\circ}\text{C}$ .

Структурная схема разработанного экрана представлена на рис. 1. Его состав: средство отображения (1), сенсорная матрица (2), модуль АЦП и опроса сенсорной матрицы по трём координатам ввода (3 для X и Y, 4 для Z), модуль определения координат ввода (5), блок формирования изображения (6), устройство управления (7), блок цифровой обработки сигналов (ЦОС) (8), интерфейсный модуль (9), керамическая плата LTCC (10) и пассивные компоненты (11). Разработанная сенсорная панель и её контроллер с сочетанием с любым устройством отображения образуют ёмкостный сенсорный экран.

Координата Z (расстояние до матрицы) после модуля определения координат при помощи алгоритмов ЦОС сопоставляется с координатами X и Y. В зависимости от полученного соотношения и его изменения с течением времени контроллером распознаются жесты в пространстве. В случае двумерных жестов блоку ЦОС достаточно знать только значения координат X и Y. Блок ЦОС также предназначен для фильтрации и выделения полезной двумерной области касаний или объёмной области

объектов ввода. Функция multi-touch осуществляется при помощи системы из устройства управления (7), модулей АЦП (3) и (4). Multi-touch реализуем и для координаты Z, вследствие чего возможно распознавание трёхмерных жестов. Пассивные компоненты выполняются в межслойном пространстве LTCC в виде толстоплёночных элементов, а активные – навесных компонентов.



**Рис. 1. Структурная схема ёмкостного сенсорного экрана для авионики**

По результатам теоретической оценки электрофизических параметров устройства рассчитанные значения накапливаемой электрической ёмкости составили 10 нФ с погрешностью 10% в каждом сенсорном сегменте, что сопоставимо с ёмкостью человеческого тела 100..300 пФ. При этом основной геометрической параметр матрицы – толщина конденсаторного диэлектрика между нижними и верхними электродами – после термической обработки должен быть равен 40 мкм. При изменении ёмкости в результате приближения электропроводящего тела напряжение должно изменяться с 3,3 В до 3,2 В. Следовательно, напряжение открытия компаратора в модуле АЦП выбрано 3,23..3,24 В.

Проведён анализ эксплуатационных параметров: количество одновременно распознаваемых объектов (multi-touch) равно количеству сегментов в матрице, т.е. в лабораторных образцах равно 64 (размеры сегмента 7.5\*7.5 мм), в отличие от аналогов, где в основном 2..6, реже 10..32. В последующих образцах 4.3” разрядность матрицы планируется выбрать 16:9 сегментов размером 5.4\*5.4 мм, что соответствует параметрам аналогов. Тогда функция multi-touch будет распознавать одновременно до 144 объектов. При этом в модулях 3 и 4 на рис. 1 количество мультиплексов увеличится с 2 до 5, а компараторов с 1 до 2.

#### IV. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ СЕНСОРНО-БЕСКОНТАКТНОЙ БОРТОВОЙ ПАНЕЛИ ДЛЯ АВИОНИКИ И ЕЁ СРАВНЕНИЕ С АНАЛОГАМИ

Проведём теоретическую оценку допустимых внешних воздействующих факторов (температура, влажность) и надёжностных параметров устройства.

Поскольку аппаратура авиационного и космического назначения должна удовлетворять

высоким требованиям по надёжности, то для контроллера предлагается применять ПЛИС Actel ProASIC3/E и SMD-компоненты с высокой степенью устойчивости к внешним воздействиям: чип-конденсаторы Novacap класса 2 [12] и чип-резисторы Vishay [13], монтируемые на LTCC-подложку. В результате рабочий температурный диапазон панели будет от -40 до +125 °С исходя из заявляемых производителями вышеуказанных резисторов и конденсаторов параметров [12, 13] (у аналогов до +70 °С). Матрица способна функционировать до +175 °С в соответствии со спецификациями производителей применяемых материалов и подложек. Относительная влажность всех применяемых компонентов удовлетворяет требованиям авионики: 10..90%.

Поскольку элементная база не коммерческого, а военного/космического назначения, то теоретически рассчитанная наработка на отказ увеличивается вдвое с 16 (по сравнению с панелью DFM® для мобильных устройств [9]) до 32 лет в соответствии со спецификациями производителей. Надёжность – до 1 млрд. прикосновений (при эксплуатации 1 касание в секунду), что не хуже аналогов, поскольку целью разработки были иные преимущества, а параметры надёжности должны удовлетворять текущим решениям. Расчёт надёжности основан на практическом исследовании функционирования аналогов.

Следует отметить, что размер сегмента не целесообразно выбирать менее 2.5\*2.5 мм ввиду соответствующего значения площади подушечки пальца. При этом разрядность матрицы 16:9 сегментов возможно повысить до 32\*18 для достижения виртуальных размеров сегмента со стороны 2.5 мм программными методами, т.е. алгоритмами постобработки в контроллере и драйвере соответственно. В противном случае дальнейшее повышение количества мультиплексов до 18 и компараторов до 5 значительно увеличит себестоимость и сложность устройства. Последнее уменьшит вероятность его безотказной работы, что для авионики является критичным фактором.

Сравним разработанное устройство с аналогами на мировом рынке в табл. 1., продолжая оценку параметров предлагаемого решения. Аналоги можно разделить на три основные группы:

1. Аналогичные технические решения по снижению себестоимости за счёт изменения состава слоёв или толщины матрицы. Сенсорные ёмкостные панели «in-cell» [14] (№2 в табл. 1) имеют меньшую толщину, но чувствительные элементы из оксидов индия и олова (ИТО), что обуславливает их более высокую себестоимость (в 3-4 раза). Несмотря на то, что их толщина 570 мкм, толщина панели DFM® на базе LTCC включает в себя не только матрицу, но и навесные компоненты для АЦП и контроллера.

Таблица 1

## Сравнение разработанной ёмкостной сенсорной матрицы LTCC для авионики с аналогами

Предлагаемое решение и аналоги	Цена (от 500 шт. 4"), USD	Толщина экрана в сборе, мм	3D жесты
1. Панель DFM® с LTCC-керамикой	12	0,65	+
2. «in-cell» AU Optonics	30..40	0,57 (матрица) [14]	-
3. «on-cell» Innolux, CPT [18]	7 (сенсорная панель) [15]	Нет данных	-
4. «GestIC» Microchip Technology [16]	54	Новизна в контроллере	+
5. Chirp Microsystems	1,5 (контроллер) [17]	Нет данных	+

Сенсорные ёмкостные панели «on-cell» (№3), интегрированные в AMOLED-матрицу [18], несмотря на высокую гибкость (минимальный радиус изгиба 5 мм), обладают слабой чувствительностью сенсоров вследствие одного слоя датчиков и имеют большую толщину по сравнению с панелями «in-cell». Кроме того, на настоящее время стоимость сенсорных экранов «on-cell» в сборе (с AMOLED-дисплеем и контроллером) выше, чем у панелей «in-cell» с устройствами отображения на базе TFT-транзисторов.

2. Аналоги по бесконтактному вводу и жестам в пространстве без оптических технологий. У GestIC (№4 в табл. 1) отсутствие замены ИТО в датчиках не снижает себестоимость. Так, у сенсорной матрицы и контроллера стоимость больше примерно в 5 раз, чем у панели DFM®, и не намного меньше инфракрасных экранов, применяемых в авионике.

У решений №2, №3 и №4 надёжность, температурный диапазон и устойчивость к внешним факторам менее приемлемы для использования в экстремальных средах (авионика), чем у панелей DFM®. Они применяются в мобильной (№2-№3) и портативной технике широкого потребления (№4).

Решение от компании Chirp Microsystems [17] (№5) представляет собой средство распознавания жестов и состоит из двухмерной матрицы акустических датчиков с микросхемой контроллера малого энергопотребления. Однако энергопотребление матрицы – 110 мВт [19], что в 3 раза больше, чем у предлагаемой сенсорной панели.

#### V. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОТИПА СЕНСОРНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ БОРТОВОЙ ПАНЕЛИ В АВИОНИКЕ НА ПРИМЕРЕ НТСС-КЕРАМИКИ

Изготовление прототипа планировалось проводить в два этапа. Первый заключается в изготовлении и экспериментальных исследованиях матрицы 8\*8

сегментов с высокотемпературной однослойной керамикой НТСС (high temperature co-fired ceramics) с АЦП на печатной плате из 2 мультиплексоров и 1 компаратора для проверки практической реализуемости и подтверждения функционирования (рис. 2, 3). Второй нужен для создания матрицы 16\*9 с LTCC-керамикой и интегрированным АЦП для достижения конечного результата.

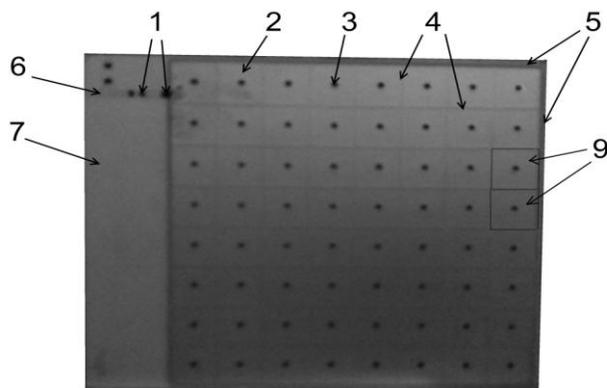


Рис. 2. Вид сверху прототипа ёмкостной сенсорной матрицы на базе НТСС для бортовой панели в авионике

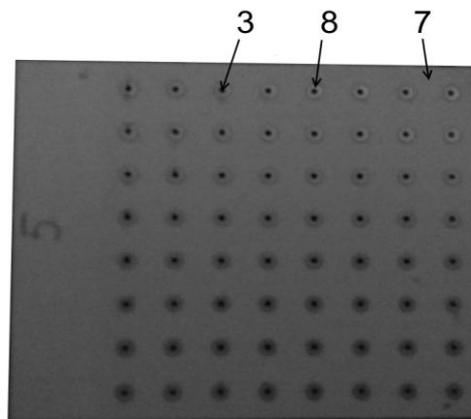


Рис. 3. Вид снизу сенсорной матрицы на базе НТСС

К рис. 2 и 3:

- 1 – переходы от проводящего слоя к резистивному, которые также являются контактными площадками для измерения параметров;
- 2 – верхний электрод – проводящий слой на основе серебра, растянутый на всю матрицу;
- 3 – отверстия в подложке, покрытые изнутри проводящим слоем;
- 4 – рельеф вследствие изоляционного слоя под верхним электродом или границы сегментов;
- 5 – конденсаторный диэлектрик для слоя между 64 нижними электродами и верхним с коэффициентом диэлектрической проницаемости 800;
- 6 – проводники к матрице;
- 7 – керамическая подложка;
- 8 – проводящие обрамления отверстий;
- 9 – квадратные сегменты матрицы.

На рис. 2 видны 64 квадратных нижних обкладки, образующих столько же сенсорных сегментов. Фотография соответствует чертежу матрицы в работе [7]. Процент выхода годных матриц составил 80%, так как по первой подложке выполнялось совмещение трафарета, а вторая подложка подверглась механическому разрушению вследствие растрескивания при термической обработке. Однако после этого пробного термического воздействия был произведён подбор оптимальных параметров (температура, время, расположение подложки в печи).

Кроме того, в каждой из матриц в среднем 24% работоспособных сенсорных сегментов исходя из составленных карт бракованных сегментов, некоторые из которых представлены на рис. 4. На них крестами обозначены бракованные сегменты, в которых после термической обработки верхнего проводящего слоя матрицы произошла на молекулярном уровне диффузия частиц серебра диаметром свыше 3 мкм из нижних обкладок и верхней обкладки конденсаторов матрицы, составляющих основу функциональных частиц проводящих паст, в пористый слой конденсаторного диэлектрика между ними.

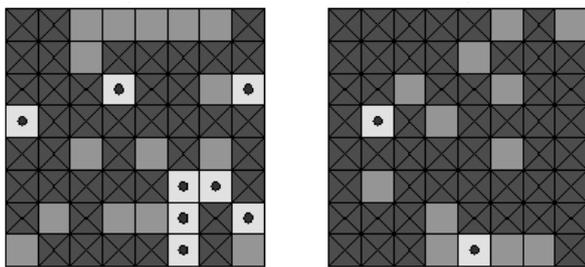


Рис. 4. Карты бракованных сегментов

Поэтому больше половины сегментов – бракованные вследствие замыканий верхнего и нижних проводящих слоёв, электрического пробоя ввиду уменьшения толщины слоя конденсаторного диэлектрика вследствие диффузии частиц серебра. После нанесения и термообработки завершающего резистивного слоя количество бракованных сегментов увеличилось на 7% (на рис. 4 обозначены точками). Это связано с ускорением процесса дальнейшей диффузии серебра при температуре +850 °С.

Проведём и проанализируем практические оценки параметров устройства. Измеренные электрические ёмкости каждого из небракованных сенсорных сегментов незначительно отличаются от рассчитанной теоретически (10 нФ) – с погрешностью 10% при частотах свыше 10 кГц. Отличие измеренной величины от рассчитанной является следствием разброса толщины конденсаторного диэлектрика в среднем в пределах 30..40 мкм, что является второй причиной добавления третьего слоя конденсаторного диэлектрика в технологический процесс (первая причина указана выше – короткие замыкания между электродами). При частотах 1..10 кГц ёмкости имеют значения 13..14 нФ, а при частоте 100 кГц измеряемые

ёмкости уменьшаются до единиц нФ. Это свидетельствует о том, что частоту опроса сенсорной матрицы контроллером следует выбирать в интервале от 10 до 50 кГц.

Измеренное напряжение равно 3.22..3.24 В при приближении электропроводящего тела (пальца руки человека). При отсутствии электропроводящего тела напряжение становится больше на 2..8 мВ. Это соответствует теоретической оценке параметров напряжений.

Вышеуказанные недостатки исправлены корректировкой технологического процесса, размеров и материалов изготовления диэлектрического и проводящего слоя. Например, нанесением трёх слоёв конденсаторного диэлектрика вместо двух. В проводящем слое предусмотрена частичная замена серебра на палладий. Планируется применить конденсаторную пасту с коэффициентом диэлектрической проницаемости 25 вместо 800, при котором накапливаемая ёмкость уменьшится прямо пропорционально в 32 раза с 10 000 пФ до 312,5 пФ. Таким образом, она будет сопоставима с ёмкостью человеческого тела. Следовательно, ёмкость сегмента матрицы и, соответственно, напряжение после него тоже уменьшится в 2-3 раза. Такое более существенное изменение напряжения будет проще зарегистрировать компаратором с уменьшением вероятности его ложного срабатывания.

Прочие выявленные при экспериментальных исследованиях недостатки исправлены корректировкой чертежей подложек и трафаретов, параметрами нанесения и термической обработки материалов матрицы.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отличием предлагаемого решения от перечисленных во введении является новый функциональный уровень разработанного устройства ввода информации в электронной бортовой аппаратуре летательных транспортных средств (распознавание жестов в пространстве, бесконтактный ввод). Также к преимуществу можно отнести нестандартную материально-техническую и технологическую базу ёмкостных сенсорных панелей. В результате у них появляется способность функционировать во внешних условиях, характерных для авиации. Разработанное устройство можно применять в летательных аппаратах военного и гражданского назначений, производимых как авиационной, так и космической промышленностью. Особенностью ёмкостной сенсорно-бесконтактной панели DFM® (помимо альтернативных материалов изготовления) являются иная топология электродов матрицы и принцип функционирования контроллера.

Возможность распознавания жестов без применения дорогостоящих и крупногабаритных оптических технологий позволит повысить эксплуатационные характеристики и реализовать более эффективный интерфейс управления бортовой

аппаратурой, удовлетворяющий требованиям авионики (высокие параметры износостойчивости, качества изображения вследствие отсутствия контакта с механизмами управления и сенсорной панелью, возможность ввода в перчатке). Кроме того, предлагаемое решение конкурентоспособно и более эффективно по сравнению с аналогами.

#### ПОДДЕРЖКА

Работа поддержана грантом Фонда Содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, результаты получены при выполнении НИОКР «Разработка и аппаратная реализация сенсорных технологий ввода информации ёмкостного типа».

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александр Самарин. Модули ЖК-дисплеев для авионики // Компоненты и технологии. 2005, № 3. - С. 56-62.
- [2] Eur Ing Paul Parkinson, David Speed, David Randall. Case study: AgustaWestland helicopter touch screen display // Wind River Systems Inc. URL: [http://www.windriver.com/customers/customer-success/documents/AgustaWestland\\_Avionics\\_Case\\_Study.pdf](http://www.windriver.com/customers/customer-success/documents/AgustaWestland_Avionics_Case_Study.pdf) (дата обращения: 8.03.2016).
- [3] Fred George. Rockwell Collins Pro Line Fusion // Business & Commercial Aviation, Vol. 106. – May 2010. - №5. – P. 70.
- [4] Michael Mertens. Touch Screen Technology and Applications in Avionics // SAE Technical Paper 2011-01-2527, 2011.
- [5] Christopher K. Mondragon, Brett Bleacher, John J. Daly, David Pook. Controlling display of content on networked passenger controllers and video display units // Патент США № US 9060202B2, Thales Avionics, Inc.
- [6] James Niemczyk. Fringe field switching AMLCD technology in military and consumer applications // Conference “Defense, Security, Cockpit, and Future Displays II”. Orlando, Florida, USA. May 22, 2006.
- [7] Д.С.Терентьев, А.А.Демин. Альтернативная технология изготовления сенсорного емкостного экрана // Датчики и Системы. - 2013. - №9. - С.56-63.
- [8] Michael Mertens, Herman J. Damveld, Clark Borst. An Avionics Touch Screen based Control Display Concept // Conference “Head- and Helmet-Mounted Displays XVII; and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics VI”. Baltimore, Maryland, USA. April 23, 2012.
- [9] Власов А.И., Терентьев Д.С., Токарев С.В. Проекционно-ёмкостной сенсорный экран для встраиваемых мобильных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1. - С. 16 - 26.
- [10] Кацухико Нака. LFC-технология производства керамических подложек для автомобильной промышленности // Компоненты и технологии. 2007, № 5. - С. 56-62.
- [11] Чигиринский С.А. Особенности и преимущества многослойных структур на основе керамики (LTCC, HTCC, MLCC) // Компоненты и технологии. 2009, №11. – С. 130-131.
- [12] Abhijit Gurav, Xilin Xu, Jim Magee, John Bultitude, Travis Ashburn. SMD and Leaded Ceramic Capacitors for High Temperature Applications // Additional Conferences (Device Packaging, HiTEC, HiTEN, & CICMT). January, 2012, Vol. 2012, No. HiTEC. - P. 284-291.
- [13] Данилов А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. 2004, октябрь. - С. 26–35.
- [14] Официальный сайт компании AU Optronics. URL: <http://www.auo.com/?sn=107&lang=en-US&c=9&n=1589> (дата обращения: 9.05.2016).
- [15] Jason Yang. On-cell touch panels not as popular as expected // Digitimes Research. Taipei, Taiwan. March, 2014. URL: <http://www.digitimes.com/news/a20140328VL200.html> (дата обращения: 9.05.2016).
- [16] Heim, Axel, Dorfner, Andreas, Aubauer, Roland. Method And System For Gesture Detection And Touch Detection // Патент США № US 20160011692, Microchip Technology, Inc.
- [17] Hans Jorgen Bang, David Gesbert, Pal Orten. On the Rate Gap Between Multi- and Single-Cell Processing Under Opportunistic Scheduling // IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 60. Elliptic Labs, Oslo, Norway. January 2012, №1. – P. 415-425.
- [18] Sunkook Kim, Woong Choi, Woojin Rim, Youngtea Chun, and others. A highly sensitive capacitive touch sensor integrated on a thin-film-encapsulated active-matrix OLED for ultrathin displays // IEEE Transactions on electron devices, Vol. 58. October 2011, №10. – P. 3609-3615.
- [19] Richard J. Przybyla. Ultrasonic 3D Rangefinder on a Chip // Dissertation, EECS Department, University of California, Berkeley. May, 2015.

## Ceramics-based device of touch and contactless information input for avionics

D.S. Terentyev, V.A. Shakhnov, A.I. Vlasov

Moscow State Bauman Technical University, [terentev.touchtechn@gmail.com](mailto:terentev.touchtechn@gmail.com)

**Keywords** — electrostatic field, contactless input, low temperature multilayer ceramics, integrated analog-to-digital converter, thick-film matrix, extended temperature range, capacitive touch screen.

#### ABSTRACT

The paper deals with analysis of the existing problems in touch information input for electronic onboard equipment of air transport. The drawbacks of current solutions based on optical and resistive technologies are

explored. Needs for non-contact input and avionics touch panels cost reducing are substantiated. The ways to solve the existing problems are through technical solutions in form of the contactless input capacitive touch panel with the matrix DFM<sup>®</sup> and ceramics. Thus, its cost is more than 2 times less as compared to other capacitive panels, and more than 4 times less relative to infrared screens used in aircrafts. The developed panel structure and functional model are described, its composition was proposed: materials, substrates, electronic components. Due to the non-standard design, array topology and the developed algorithm for determining input coordinates, theoretically, input objects recognition is possible at the distance of 100 mm from sensor surface. Samples of sensors (touch matrix) based on HTCC-ceramics and their controllers were manufactured, further transition to LTCC-ceramics is planned. As the result of experimental studies, the shortcomings in the manufacturing process for panels DFM<sup>®</sup> samples with HTCC substrate were analyzed. The need for transition to LTCC-ceramics was explained; and structural model of the corresponding sample was described. Comparison of the proposed technical decision characteristics with analogues is provided. Thus, the DFM<sup>®</sup> panel on LTCC substrate maximum working temperature is 125 °C. It is twice as much than other capacitive touch panels support. The matrix thickness is order of magnitude thinner as compared with infrared touch screens used in avionics, and it is only 0.65 mm with integrated ADC and controller chip.

#### SUPPORT

This work was supported by grant from the «Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in Scientific and Technical Sphere». The results were obtained while carrying out R&D "Development and hardware implementation of capacitive touch input information technologies".

#### REFERENCES

- [1] Aleksandr Samarin. LCD modules for avionics // Komponenty i tehnologii. 2005, No. 3. P. 56-62. (in Russian).
- [2] Eur Ing Paul Parkinson, David Speed, David Randall. Case study: AgustaWestland helicopter touch screen display // Wind River Systems Inc. URL: [http://www.windriver.com/customers/customer-success/documents/AgustaWestland\\_Avionics\\_Case\\_Study.pdf](http://www.windriver.com/customers/customer-success/documents/AgustaWestland_Avionics_Case_Study.pdf) (accessed: 8.03.2016).
- [3] Fred George. Rockwell Collins Pro Line Fusion // Business & Commercial Aviation, Vol. 106. – May 2010. – No. 5. – P. 70.
- [4] Michael Mertens. Touch Screen Technology and Applications in Avionics // SAE Technical Paper 2011-01-2527, 2011.
- [5] Christopher K. Mondragon, Brett Bleacher, John J. Daly, David Pook. Controlling display of content on networked passenger controllers and video display units // US Patent № US 9060202B2, Thales Avionics, Inc.
- [6] James Niemczyk. Fringe field switching AMLCD technology in military and consumer applications // Conference "Defense, Security, Cockpit, and Future Displays II". Orlando, Florida, USA. May 22, 2006.
- [7] D.S.Terentev, A.A.Demin. Alternative technology for manufacturing of touch capacitive screen // Datchiki i Sistemyi. 2013. No. 9. P.56-63 (in Russian).
- [8] Michael Mertens, Herman J. Damveld, Clark Borst. An Avionics Touch Screen based Control Display Concept // Conference "Head- and Helmet-Mounted Displays XVII; and Display Technologies and Applications for Defense, Security, and Avionics VI". Baltimore, Maryland, USA. April 23, 2012.
- [9] Vlasov A.I., Terentev D.S., Tokarev S.V. Projective-capacitive touch screen for embedded mobile systems // Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vyisokie tehnologii. 2013. No. 1. P. 16-26 (in Russian).
- [10] Katsuhiko Naka. Production LFC-technology of ceramic substrates for automotive industry // Komponenty i tehnologii. 2007, No. 5. P. 56-62(in Russian).
- [11] Chigirinskiy S.A. Features and benefits of multi-layer structures based on ceramics (LTCC, HTCC, MLCC) // Komponenty i tehnologii. 2009, No. 11. P. 130-131 (in Russian).
- [12] Abhijit Gurav, Xilin Xu, Jim Magee, John Bultitude, Travis Ashburn. SMD and Leaded Ceramic Capacitors for High Temperature Applications // Additional Conferences (Device Packaging, HiTEC, HiTEN, & CICMT). January, 2012, Vol. 2012, No. HITEC. P. 284-291.
- [13] Danilov A. Modern industrial current sensors // Sovremennaya elektronika. October, 2004. - P. 26–35.
- [14] AU Optronics company's official web-site. URL: <http://www.auo.com/?sn=107&lang=en-US&c=9&n=1589> (accessed: 9.05.2016).
- [15] Jason Yang. On-cell touch panels not as popular as expected // Digitimes Research. Taipei, Taiwan. March, 2014. URL: <http://www.digitimes.com/news/a20140328VL200.html> (accessed: 9.05.2016).
- [16] Heim, Axel, Dorfner, Andreas, Aubauer, Roland. Method And System For Gesture Detection And Touch Detection // US Patent No. US 20160011692, Microchip Technology, Inc.
- [17] Hans Jorgen Bang, David Gesbert, Pal Orten. On the Rate Gap Between Multi- and Single-Cell Processing Under Opportunistic Scheduling // IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 60. Elliptic Labs, Oslo, Norway. January 2012, No. 1. P. 415-425.
- [18] Sunkook Kim, Woong Choi, Woojin Rim, Youngtea Chun, and others. A highly sensitive capacitive touch sensor integrated on a thin-film-encapsulated active-matrix OLED for ultrathin displays // IEEE Transactions on electron devices, Vol.58. October, 2011. No. 10.
- [19] Richard J. Przybyła. Ultrasonic 3D Rangefinder on a Chip // Dissertation, EECS Department, University of California, Berkeley. May, 2015.