

Летать? Легко! Датчики КТР для беспилотников

Александр Бекмачев

Эта статья об инерциальных датчиках КТР адресована не только энтузиастам полётов и разработчикам систем управления БПЛА. Но и тем, чья задача – создавать и модернизировать блоки контроля и управления перемещением безэкипажных морских и речных судов, автономных сухопутных транспортных средств – колёсных, гусеничных, шагающих, а также обеспечивать стабилизацию полезной нагрузки. Обзор характеристик МЭМС датчиков движения и готовых модулей на их основе призван облегчить выбор и сократить путь до внедрения в изделия.

Беспилотная техника стала привычным явлением современной жизни. В наше время отпадает необходимость в визуальной инспекции и контрольной фотосъемке трассы магистральной газовой трубы с борта самолёта или вертолёт. Обзорную панораму городских новостроек или рекламное фото курортного побережья с высоты птичьего полёта можно сделать, не вставая со скамейки. Даже для доставки посылки в труднодоступную местность по воздуху больше не нужен волшебник в голубом вертолёт. Всё это дешевле, безопаснее и экологичнее делают теперь машины, которые мы привычно называем «беспилотники».

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), беспилотные воздушные суда (БВС), дроны, коптеры – всё, что может быть объединено англоязычной аббревиатурой UAV – unmanned aerial vehicle – уже не вызывают у нас того благоговейного восхищения, которое сопровождало первые паровозы 200 лет назад. БПЛА стал привычным инструментом, который отправляется в автономный полёт по назначенной траектории или удалённо управляется оператором на избранных участках маршрута.

Для наглядности рассмотрим именно воздушные суда. Они в наибольшей степени находятся «на виду» и наиболее массовы в отличие, например, от подводных беспилотников, которые также перемещаются в трёх пространственных измерениях. Безэкипажные надводные суда (USV), беспилотные наземные колёсные, гусеничные, шагающие и прочие аппараты (UGV) порой незаменимы в своих областях применения, и к ним в равной степени мож-

но приложить большинство технических решений с БПЛА.

Основой функционирования беспилотной техники и источником информации для неё служат датчики: скорости, ускорения, наклона/поворота, давления, магнитного поля, электромагнитного излучения, включая УФ-видимый и ИК-спектры, электрической ёмкости, химического состава окружающей среды, наличия пыли, уровня влажности, акустические и другие, более специфические.

Для выполнения поставленных задач беспилотник, в первую очередь, как и человек, которого он заменяет, должен надёжно ориентироваться в пространстве: различать положения «влево-вправо», «вперёд-назад», «вверх-вниз», а также определять направление движения – курс и скорость.

Этой цели – навигации – как раз и служат инерциальные датчики, дополняемые электронными компасами и сигналами глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Вторая задача, выполняемая инерциальными датчиками на борту беспилотного средства, – это управление полезной нагрузкой: манипуляторами, камерами, другими исполнительными устройствами.

Инерциальные датчики

Базовые инерциальные датчики – это акселерометры и гироскопы. Путём их комплексирования создаются средства измерения параметров движения с расширенной функциональностью.

Акселерометр

Служит для измерения линейной скорости и ускорения. Современные

МЭМС-акселерометры представляют собой ИМС с заключённым внутри чувствительным элементом. Вместе со схемами нормирования сигнала и формирования одного из интерфейсов промышленного стандарта МЭМС-акселерометры могут помещаться в прочный корпус со встроенным электрическим соединителем, стойкий к внешним воздействиям.

Гироскоп

Предназначен для измерения угла наклона/поворота, а с системой обработки сигнала – для измерения углового ускорения и угловой скорости. Отсюда происходит и отечественный термин «датчик угловой скорости» – ДУС. Конструктивное разнообразие современных гироскопов велико – волоконно-оптические (ВОГ), кольцевые лазерные (КЛГ), твердотельные волновые (ТВГ). Мы рассмотрим наиболее бюджетный, выполненный по технологии МЭМС. Как и чувствительный элемент МЭМС-акселерометра, кристалл МЭМС-гироскопа помещается в один из стандартных корпусов ИМС, а тот, при необходимости, вместе с сопутствующими схемами предварительной обработки закрывается внешней оболочкой с разъёмом или кабельным жгутом.

Инерциальный измерительный модуль

Когда ставится задача одновременного измерения поступательного или вращательного движения в двух-трёх плоскостях, становится технически и экономически целесообразно объединять в один кластер от 2 до 6 чувствительных элементов акселерометров и гироскопов. Такой инерциальный измерительный модуль может иметь вид интегральной микросхемы для монтажа на печатную плату или выглядеть как функционально законченное изделие в ударостойком пластиковом или металлическом корпусе с отверстиями, пазами для крепления и встроенным электрическим соединителем для сигнальных и силовых цепей.

Инерциальная навигационная система (ИНС)

Как следует из названия, ИНС призвана решать навигационные задачи. В дополнение к 6 осям инерциальных датчиков (акселерометров и гироскопов) ИНС содержат до 3 осей магнитометров – электронных компасов для надёжного определения курса. Модуль ИНС также может иметь встроенный барометрический датчик для определения собственной высоты над уровнем моря и расширенный набор интерфейсов для приёма информации от внешних устройств, таких как датчик воздушной скорости или одометр. Наилучшее качество навигационного решения достигается при комбинировании информации от перечисленных выше датчиков с данными от ГНСС.

Инерциально-спутниковая навигационная система (ИНС+ГНСС)

Может конструктивно состоять из двух отдельных устройств – модуля ИНС и модуля приёмника ГНСС с 1 или 2 разнесёнными антеннами, либо приёмник ГНСС может встраиваться в модуль ИНС. В этом случае на модуле

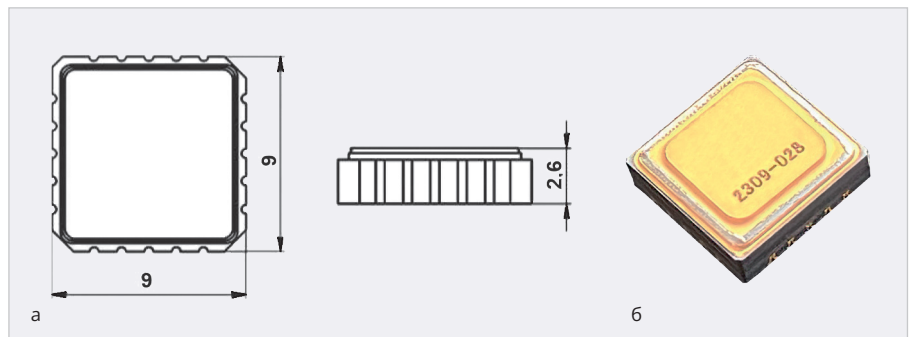


Рис. 1. ИМС акселерометров: а) габаритные размеры; б) внешний вид

ИНС+ГНСС, кроме интерфейса обмена данными и разъёма для подключения источника питания, предусмотрено и гнездо для антенного кабеля. Благодаря такому комплексированию данных от различных источников и внесению взаимных поправок достигается точность позиционирования ±10 см. Ещё более высокая точность реализуется при взаимодействии модуля ИНС+ГНСС по радиомодему с наземной сетью трансляции навигационных данных.

Время ставит задачи – больше беспилотников

В рамках российской Национальной технологической инициативы через

утверждённые Инфраструктурные центры реализуются программы «Автонет» и «Аэронет», которые, среди прочих задач, интегрируют беспилотные технологии в экономику страны. Воздушные беспилотные системы ожидаемо демонстрируют более интенсивный рост как по объёму выпуска на территории РФ, так и по спектру решаемых задач. Очевидно, что высокий спрос на БПЛА – это тренд ближайшего времени. Такой взрывной рост потребности вскрыл неизбежную проблему. Отечественная МЭМС-индустрия сейчас, к сожалению, не успевает за потребностями рынка и не в состоянии быстро обеспечить заказчиков датчиками и

МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...

ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ
Фаворит-ЭК

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ **М MATSUO**

ПРИЕМНИКИ ГНСС

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Актуальный склад - смотрите онлайн

Россия, 105318, Москва, Семеновская площадь, д.7, e-mail: info@favorit-ec.ru, тел/факс: +7(495) 627 76 24, www.favorit-ec.ru

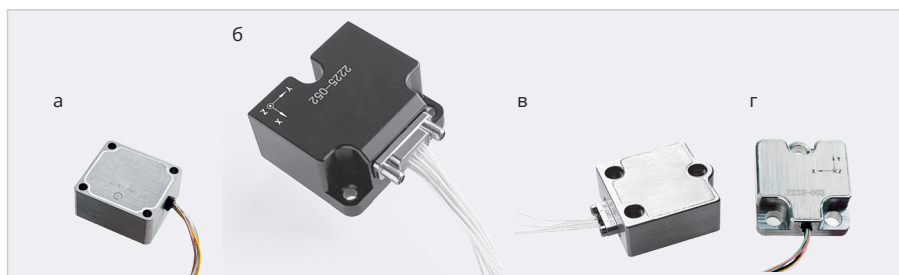


Рис. 2. Внешний вид гироскопов: а) Н111-300; б) Н301; в) Н302; г) Н303

Таблица 1. Сравнительные характеристики ИМС акселерометров

Параметр	Единица измерения	Название			
		A106	A309	A310	A311
Тип корпуса, кол-во осей	–	LCC20, 1 ось	LCC20, 3 оси	LCC20, 3 оси	LCC20, 3 оси
Диапазон измерений	g	±5; 10; 15; 30; 50; 100; 200	±50	±50	±50
Разрешающая способность	%, макс или мг	0,3 ... 10 % макс	2,5 мг	2,5 мг	2,5 мг
Интерфейс	–	Аналоговый: 0,5 ... 4,5 В при Упит. = 5,0 В	Аналоговый	Аналоговый	SPI
Дрейф нуля на температурном диапазоне	мг	< 50 ... < 1000	< 250	2,5±0,05 В	100
Температурный коэффициент смещения	мг/°С	< 0,75 ... 10	< 1	< 1	≤ 2
Температурная стабильность масштабного коэффициента (МК)	ppm/°С	100	100	100	≤ 4чч150
Нелинейность	% от МК	< 0,3 ... 0,5	< 0,5	< 0,5	≤ 0,3
Масштабный коэффициент	мВ/g	400±5 ... 10±1	40±1	40±1	–
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	0...250 / 0...500	0...500	0...1500	400
Резонансная частота	кГц	1,7 ... 9,8	X/Y: 8,1; Z: 5,0	X/Y: 8,1; Z: 5,0	X/Y: 8,0; Z: 5,5
Диапазон рабочих температур	°С	-40 ... +85 (-55 ... +125)	-55 ... +125	-55 ... +125	-45 ... +85
Стойкость к ударам	g	20 000 (полусинус, 3 раза в каждом напр.)	10 000 (полусинус, 0,15 мс, 3 раза в каждом напр.)	10 000 (полусинус, 0,15 мс, 3 раза в каждом напр.)	10 000 (полусинус, 0,15 мс, 3 раза в каждом напр.)
Стойкость к вибрации	g	20 СКЗ, (20 ... 2000 Гц случайн., 30 минут в каждом напр.)	20 СКЗ, (20 ... 2000 Гц случайн., 30 минут в каждом напр.)	20 СКЗ, (20 ... 2000 Гц случайн., 30 минут в каждом напр.)	20 СКЗ, (20 ... 2000 Гц случайн., 30 минут в каждом напр.)
Напряжение питания	В	5,0 (3,0 ... 7,0)	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,1
Потребляемая мощность	мВт	3	–	–	125

Таблица 2. Сравнительные характеристики гироскопов

Параметр	Единица измерения	Название			
		H111-300 (1 ось)	H301	H302	H303
Размеры корпуса	мм	24×20×10,2	44,8×38,6×20	25,6×23×10	22,4×22,4×8
Диапазон измерений	°/с	±300	±450	±450 (расш. до ±3600)	±450
Разрешающая способность	°/с	0,005	0,005	0,005	–
Интерфейс	–	SPI	RS-422	RS-422	RS-422
Дрейф нуля	°/ч	10 (1σ)	≤ 8	≤ 10	20 (1σ, 10 с)
Нелинейность МК	ppm или % от МК	≤ 0,1 % от МК	≤ 20 ppm	≤ 50 ppm	≤ 50 ppm
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	120	150 (10 ... 250)	150 (10 ... 250)	150 (10 ... 250)
Диапазон рабочих температур	°С	-40 ... +85	-45 ... +85	-45 ... +85	-45 ... +85
Стойкость к ударам	g	2000	≥ 2000	≥ 2000	≥ 2000
Напряжение питания	В	5,0 ± 0,1	5,0 ± 0,3	5,0 ± 0,3	5,0 ± 0,3
Потребляемая мощность	мВт	≤ 150	< 1500	–	150



Рис. 3. Внешний вид модулей: а) М301 (лицевая сторона); б) М302 (сторона основания); в) М303; г) М304; д) М305

системами на их основе в требуемые сроки по объёму и номенклатуре.

Тому есть объективные причины, рассмотрение которых не является предметом настоящей публикации. Но у нашей страны есть исторический опыт решения задачи «Догнать и перегнать!». Показательна, например, история создания Горьковского автозавода в начале 1930-х гг. Стране в период ускоренной индустриализации и освоения новых регионов требовался массовый, простой и дешёвый в эксплуатации грузовик, а также автобус и шасси для спецтехники. Купленный за рубежом завод позволил быстро освоить то лучшее и



Рис. 4. Комплект поставки модулей M301/M302



Рис. 5. Примеры монтажа модулей с вибропорами: а) M301/M302; б) M303; в) M304

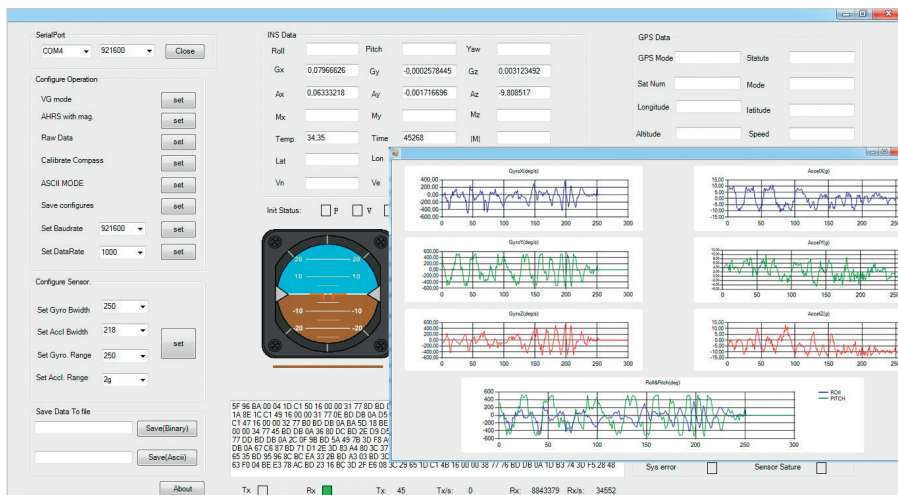


Рис. 6. Пример экрана демонстрационного ПО

вать положительный опыт предшественников: приобрести за рубежом те компоненты и решения, которые позволят в краткосрочной перспективе закрыть дефицит, дать собственной полупроводниковой и электронной промышленности передышку для освоения собственных компонентов требуемого качества в необходимом количестве и обеспечить в итоге технологическую безопасность страны. Наиболее реалистичным представляется сценарий заимствования у производителей КНР, чей уровень техники, её качество уже подтверждены многолетней историей применения в РФ.

Новое имя, привычная надёжность

Одним из таких брендов МЭМС инерциальных датчиков является КТР.

эффективное, что есть у других, усовершенствовать и умножить, подготовить

страну к новым испытаниям и вызовам времени. Логичным выглядит использо-

Таблица 3. Сравнительные характеристики инерциальных измерительных модулей

Параметр	Единица измерения	Название				
		M301	M302	M303	M304	M305
Размеры корпуса	мм	44,8×38,6×20	44,8×38,6 x 21,5	25,6×23×10	22,4×22,4×8	24×22,4×9
Материал корпуса	–	Алюминиевый сплав	Алюминиевый сплав	Нерж. сталь	Нерж. сталь	Нерж. сталь
Интерфейс	–	RS-422	RS-422	RS-422	RS-422	UART (TTL)
Частота дискретизации	отсчётов/с	1000	1000	1000	1000	200
Полоса пропускания (-3 дБ)	Гц	150 (10 ... 250)	150 (10 ... 250)	150 (10 ... 250)	150	≥ 100
Напряжение питания	В	5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3
Потребляемая мощность	Вт	≤ 1,5	≤ 1,5	–	0,15	≤ 0,25
Диапазон рабочих температур	°С	-45 ... +85	-45 ... +85	-45 ... +85	-45 ... +85	-40 ... +85
Стойкость к ударам	g	≥ 2000	≥ 2000	≥ 2000	≥ 2000	–
Несоосность чувствительных элементов	мрад	3	3	≤ 3	3	12 (макс. ошибка установки)
Гироскопы						
Диапазон измерений	°/с	±450	±450 (до ±4000)	±450 (до ±3600)	±450 (до ±3600)	±250
Дрейф нуля	°/ч	≤ 8	≤ 10 (1σ, 10 c)	≤ 10	≤ 12	≤ 15 (1σ, 10 c)
Разрешающая способность	°/с	0,005	0,005	0,005	–	–
Нелинейность МК	ppm	≤ 20	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 100
Погрешность от линейного ускорения	°/с / g	0,005	0,005	0,01	0,005 (1σ)	–
Акселерометры						
Диапазон измерений	g	±15	±50 (до ±150)	±15	±10	±4
Дрейф нуля	mg	≤ 0,2 (1σ, 10 c)	≤ 1 (1σ, 10 c)	≤ 0,2 (1σ, 10 c)	≤ 0,3 (1σ, 10 c)	≤ 0,3 (1σ, 10 c)
Разрешающая способность	mg	1	1	≤ 0,1	–	–
Нелинейность МК	ppm	≤ 100	≤ 3000	≤ 200	≤ 200	≤ 300
Несоосность чувствительных элементов	мрад	3	3	3	3	12 (макс. ошибка установки)



Рис. 7. Внешний вид модулей: а) М701; б) М702; в) М703

Таблица 4. Эксплуатационные характеристики модулей ИНС, ИНС+ГНСС

Характеристика	Параметр	Единица измерения	Название		
			М701	М702	М703
Комбинированный режим ИНС+ГНСС (точность определения)	Крен/тангаж (1σ)	°	–	≤ 0,2	< 0,05 / ≤ 0,2 (базовая линия 2 м)
	Курс (1σ)	°	–	≤ 0,2 / 0,3	< 0,1 / ≤ 0,08 ... 0,2 (базовая линия 1/2 м)
	Положение (1σ)	–	–	≤ 1,5 м по горизонтали, ≤ 2 м по вертикали	≤ 1,5 м (SPP), 2 см + 1 ppm (RTK)
	Скорость (1σ)	м/с	–	0,05	0,03
Автономное навигационное решение, только ИНС	Погрешность определения положения при потере сигнала ГНСС	–	≤ 0,2°	≤ 3 м (с одомером, 1 мин.)	0,2% (с одомером, пробег 1 км / продолж. 2 мин.)
	Погрешность определения курса при потере сигнала ГНСС	°	≤ 0,3 (динамич.) / ≤ 0,08 (статич.)	≤ 0,2 (1 мин)	0,15 (1 мин)
Гироскоп	Диапазон измерений	°/с	±450	±450	±450
	Дрейф нуля	°/ч	10	10	10
	Нелинейность масштабного коэффициента	ppm	50	50	50
Акселерометр	Диапазон измерений	g	±10	±10	±10
	Дрейф нуля	mg	5	5	0,2 (стаб., 1σ)
	Нелинейность масштабного коэффициента	ppm	≤ 150	≤ 150	200
Общие	Напряжение питания	В	5±0,2	5±0,2	9 ... 24
	Потребляемая мощность	Вт	≤ 2	≤ 2	≤ 6
	Габаритные размеры	мм	44,8×45,95×28	44,8×48,1×28	155×81×35 (без соед.)
	Вес	г	< 75	> 75	< 415
	Тип интерфейса	–	RS-422, 115 200 бит/с	RS-422, 115 200 бит/с	RS-422, 230 400 бит/с; CAN, 500 кбит/с
	Частота обновления данных	Гц	200 (до 500)	≤ 200	100 / 200
	Диапазон рабочих температур	°С	–45 ... +85	–45 ... +85	–45 ... +85

Дружественное отношение к потребителям, поддержка ОКР на самых ранних этапах инженерными образцами, адаптация характеристик продукции к специфическим условиям применения, техническая поддержка, высокий уровень качества – все эти факторы способствуют широкому внедрению продукции КТР в изделия российских производителей.

Рассмотрим подробнее доступную в РФ номенклатуру компонентов КТР и технические характеристики.

Акселерометры

ИМС акселерометров А106, А309, А310, А311 в металлокерамическом

корпусе LCC20 содержат один или три чувствительных элемента (рис. 1). Диапазон измеряемых ускорений: от ±5g до ±200g для разных моделей. Интерфейс – аналоговый однополярный (напряжение) или SPI. Модели отличаются также полосой пропускания, что позволяет использовать акселерометры не только в навигационных задачах, но и в виброизмерительных системах (табл. 1).

Гироскопы

Линейка ДУС представлена однокомпонентной моделью Н111-300 с высокими показателями точности и стабильности и группой трёхкомпонентных моделей Н301, Н302, Н303 в компакт-

ных стальных или алюминиевых корпусах (рис. 2). У потребителя есть возможность выбора по критерию цена/габарит/характеристики. Стандартные модели регистрируют угловые скорости в диапазонах ±300°/с или ±450°/с. По заказу диапазон измерений может быть расширен до ±3600°/с. Интерфейс: SPI или RS-422. Показатели точности, стабильности, значение полосы пропускания и прочие приведены в табл. 2.

Инерциальные измерительные модули

Конструктивно корпуса и параметры гироскопов в модулях М301, М302, М303, М304, М305 соответствуют «базо-

вым моделям» из линейки 3-осевых гироскопов (рис. 3). Грамотная ценовая политика производителя позволяет потребителю не переплачивать за избыточные эксплуатационные характеристики и получить идеально настроенный под задачу стандартный модуль. Если этого недостаточно, то существует возможность приобрести модуль M302 в заказном исполнении – с диапазоном измерений по каналам акселерометров до $\pm 150g$ и по каналам гироскопов – до $\pm 4000^\circ/c$. Большинство модулей поставляется в комплекте с крепежными винтами и кабельной сборкой, это существенно облегчает работу снабженцам (рис. 4). Кроме того, производитель комплектует некоторые модели разборными полимерными виброопорами-втулками. Примеры монтажа модулей с такими основаниями приведены на рис. 5. В линейке модулей только одна модель – M305 – имеет интерфейс UART (TTL), остальные оснащены RS-422 со скоростью обмена 115 200 или 921 600 бод. На выходе устройств – «сырые данные» – отсчеты с АЦП от каждого из датчиков. Для первичного знакомства с оборудованием КТР, пробной записи данных предоставляется бесплатное демон-

страционное программное обеспечение. Получаемые данные также отображаются графически в режиме реального времени. Среди них – крен, тангаж, рыскание, измеренные значения линейных ускорений по трём осям (рис. 6). Характеристики модулей приведены в табл. 3.

ИНС и ИНС+ГНСС

Этот класс приборов в настоящий момент представлен тремя моделями. Модуль ИНС M701 выдаёт навигационное решение с учётом данных, поступающих от внешнего приёмника спутниковой навигации. Модули M702 и M703 являются полноценными ИНС+ГНСС устройствами со встроенными мультисистемными приёмниками сигналов Beidou/GPS/ГЛОНАСС. У M703 этот приёмник многочастотный, рассчитанный на работу с двумя антеннами. Дополнительно M703 способен через внешний радиомодем принимать сигналы поправок для режима RTK, а также, в дополнение к RS-422, оснащён интерфейсом CAN, что существенно расширяет область его применения (рис. 7). Эксплуатационные характеристики модулей приведены в табл. 4.

Очевидно, что продукция КТР создана не только для беспилотной техники, она востребована везде, где требуется точно контролировать параметры движения и управлять положением объекта, в таких отраслях, как:

- промышленная автоматика и робототехника, станки с ЧПУ;
- геофизические работы, управление бурением и диагностика скважин и трубопроводов;
- контроль вибраций и подвижек плотин, мостов, высотных зданий и сооружений;
- системы диагностики транспортной инфраструктуры и подвижного состава железных дорог;
- системы помощи при вождении автотранспорта;
- трекинг дорогостоящего оборудования, грузового и пассажирского транспорта, контейнеров;
- стабилизация антенн, камер, прочей полезной нагрузки;
- управление техникой на строительной площадке, в карьерах, подземных горных выработках и т.п.

Этот список может быть продолжен, но мы оставим рассказ о реализованных проектах для следующих публикаций. ☺



ЭРКОН

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю
- Изделия по вашему ТЗ

НОВИНКИ

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт-2000 Вт)
 Аттенуаторы ПР1-25 (от 50 Вт - 2000 Вт)
 ТПИ - тепловые чип-перемычки
 СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)
 Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)
 Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 В)

603104, Г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.
 тел. : 8 (831) 202 - 24 - 34 (многоканальный)
 8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)
 E-mail: gr@erkon-nn.ru
 www.erkon-nn.ru

Реклама