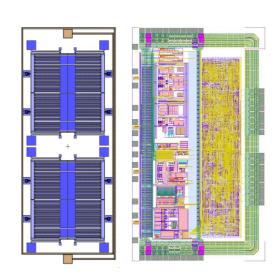


IX Научно-практическая конференция с международным участием «Наука настоящего и будущего»

Основные направления работ НТЦ «Дизайн-центр» АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

Докладчик: Беляев Яков Валерьевич

13.05.2021



АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»



- Ведущий институт России в области высокоточной навигации, гироскопии, гравиметрии и высокоточного приборостроения.
- Полный цикл работ от фундаментально-поисковых исследований до производства и поддержания продукции в эксплуатации.
- Аспирантура и докторантура, диссертационный совет по защите докторских диссертаций.
- Ежегодная международная конференция по интегрированным навигационным системам. конференция по гироскопической технике памяти Н.Н. Острякова. конференция молодых ученых по теме «Навигация и управление движением».
- Международная общественная организация Академия навигации и управления движения.
- Базовые кафедры:
 - Институт информационно-навигационных систем Университета ИТМО
 - Вычислительные технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
 - Прикладная фотоника СПбПУ им. Петра Великого (Политех)
- Взаимодействие с ведущими организациями РФ и зарубежными партнерами.



Основные направления работ концерна

PAEKTPO IPAGOP

- 1. Навигационные комплексы подводных лодок и надводных кораблей.
- 2. Малогабаритные интегрированные инерциально-спутниковые навигационные системы для морского и наземного применения.
- 3. Инерциальные системы навигации и стабилизации надводных кораблей.
- 4. Навигационные приборы (лаги, эхолоты, магнитные компасы).
- 5. Системы ориентации космических аппаратов.
- 6. Системы измерения микроускорений на борту космических аппаратов.
- 7. Мобильные (морские и авиационные) гравиметры.
- 8. Приборы и системы подземной навигации для бурения и контроля скважин.
- 9. Перископы и оптронные мачты.
- 10. Автоматизированные корабельные комплексы радиосвязи.
- 11. Корабельные антенно-фидерные и коммутационные корабельные устройства связи.
- 12. Гидроакустические комплексы.
- 13. Приборы точной электромеханики.
- 14. Микромеханические датчики и интегральные схемы, миниатюрные инерциальные модули



Микромеханический акселерометр



Волномерный буй

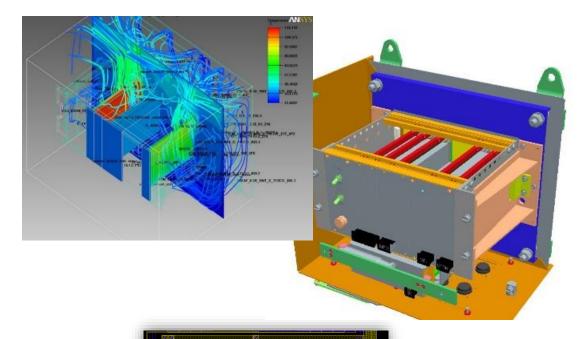


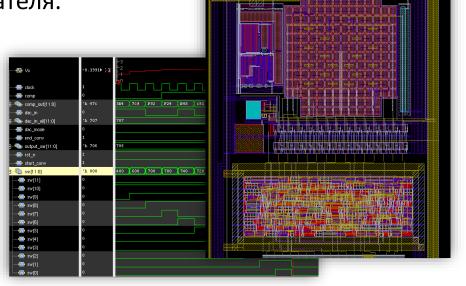
Основные направления работ НТЦ «Дизайн-центр»

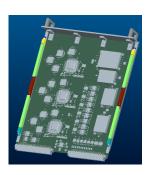


1. Численное моделирование

- а. физических процессов;
- b. системное моделирование;
- с. моделирование на всех этапах проектирования.
- 2. Разработка МЭМС датчиков.
- 3. Разработка интегральных схем.
- 4. Разработка электронных модулей и приборов.
- 5. Разработка испытательного оборудования и ПО.
- 6. Внедрение продукции и поддержка пользователя.
- 7. Взаимодействие с университетами
 - а. работы по договорам;
 - b. лекционные и практические занятия;
 - с. прохождение практики;
 - d. написание квалификационных работ;
 - е. трудоустройство.







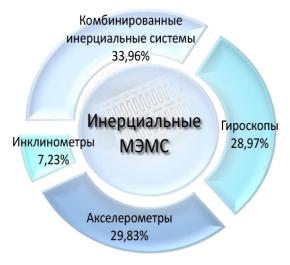


Микромеханика и интегральная схемотехника

- 1. Актуальность
- 2. Разработка чувствительного элемента
- 3. Разработка интегральной схемы
- 4. Моделирование
- 5. Корпусирование

Мировой рынок изделий микросистемной техники

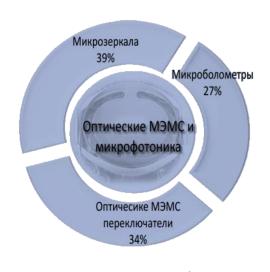




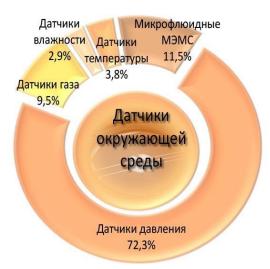
Объём рынка 4.1 млрд. \$ США на 2018 4.873 млрд. \$ США на 2022 CAGR 3.5%



Объём рынка 0.87 млрд. \$ США на 2018 1.34 млрд. \$ США на 2022 CAGR 6%



Объём рынка 1.386 млрд. \$ США на 2018 2.134 млрд. \$ США на 2022 CAGR 9%



Объём рынка 2.66 млрд. \$ США на 2018 4.29 млрд. \$ США на 2022 CAGR 10%



Объём рынка 1.86 млрд. \$ США на 2018 2.52 млрд. \$ США на 2022 CAGR 6.3%

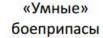


Объем рынка 2.23 млрд. \$ США на 2018 10 млрд. \$ США к 2022 CAGR – 35%

Применение изделий микросистемной техники*







Гарнитуры для пилотов авиации



Робототехника



Системы мониторинга



Инерциальные навигационные системы комплексированные с GPS/ГЛОНАСС

Датчики магнитного поля, датчики Холла

Датчики параметров окружающей среды

ПНВ и тепловизионные камеры

Проекционные дисплеи и адаптивная оптика, ЛИДАРы

Системы непрерывного мониторинга состояния пациента

АФАР, приёмо-передающие модули

Магниторезистивные микросистемы

Системы наведение, навигации и контроля

Датчики прикосновения и искусственной кожи

Системы стабилизации



Теле-тепловизионные системы



Авиация

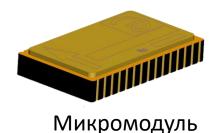




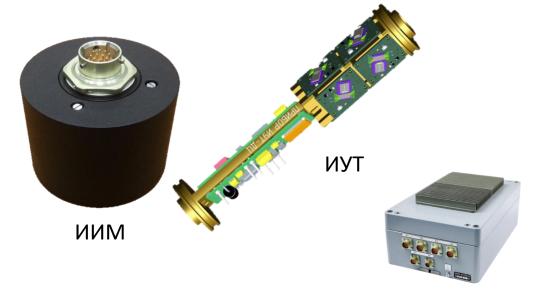
Продукция







Микромодуль на плате



БИНС «Мининавигация-1»

Датчики

- Микромеханический гироскоп (ММГ)
- Микромеханический акселерометр (ММА)



Измерительные блоки

- Инерциальный измерительный модуль (ИИМ)
- Трехкоординатный измеритель ускорения (ИУТ)

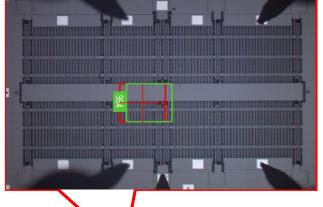


Высокоточные приборы разработки АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

- Оптическая система посадки (сглаживание данных основной системы стабилизации)
- Гравиметр «Чекан-АМ» (замена кварцевых акселерометров в системе стабилизации)
- БИНС «Мининавигация-1» (замена кремниевых акселерометров)
- Скважинный модуль ориентации (замена микромеханический акселерометров)
- Волномерный буй «Шторм» (замена кремниевых акселерометров и предыдущего поколения микромеханических гироскопов)

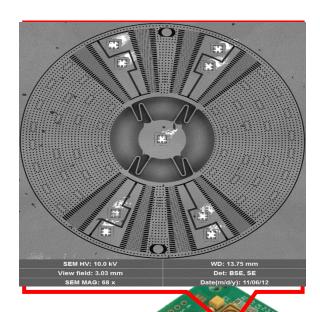
Продукция концерна - МЭМС



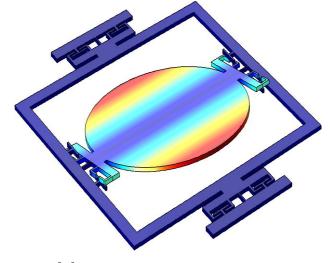




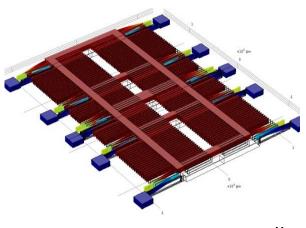
Микромеханический акселерометр



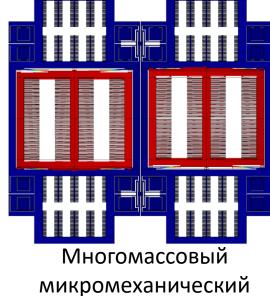
Микромеханический гироскоп



Микромеханическое зеркало



Микромеханический акселерометр



гироскоп

ЧЭ в составе серийных изделий

Перспективные ЧЭ

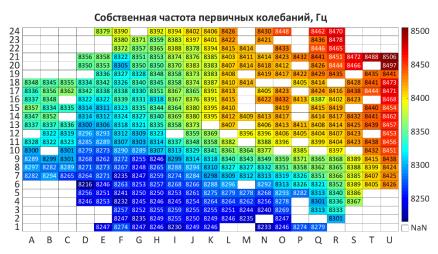
Микромеханические датчики (ММД)



Специфика:

- 1. Механика + электроника
- 2. Изготовление компонентов групповыми методами (технологии микромеханики и микроэлектроники)
- 3. Разброс параметров по партии и от партии к партии
- 4. Невозможность ручной подстройки параметров
- 5. Высокая себестоимость при штучном производстве
- 6. Дороговизна привлечения внешних исполнителей





Распределение параметра по пластине (разброс в пределах 4 - 20 % в зависимости от параметра)

Требуется:

- 1. Использование оптимизированных производственных процессов
- 2. Универсальность интегральной схемы (ИС) по виду датчика, робастность к изменению параметров
- 3. Необходимость разработки собственных методологий проектирования, изготовления, сборки и т.д.
- 4. Применение автоматизированных групповых методов контроля параметров

Современное состояние разработок на примере ММГ



Таблица 1 - Сравнение параметров ММГ

Nº		Silicon Sensing	Analog Devices	Tronics/ TDK	Honeywell	AO «Концерн «ЦНИИ	ММГ	
	Наименование параметра	(Великобритания)	(США)	(Франция)	(США)	«Электроприбор» (Россия)	2021	
п/п 1		CRM200	ADIS16137*	GYPRO2300	HG1936*	ММГ1		
		Кольцевой	Планарный,	Планарный,	Планарный,	Планарный,	11.2 v	
	Тип ЧЭ		4-х массовый	2-х массовый	2-х массовый,	одномассовый	LL, 2-x	
			LL-типа	LL-типа	LL- и LR- типа	RR- типа	массовый	
2	Нелинейность							
	градуировочной	<0,06	<0,05	<0,05	<0,015	< 0,1	< 0,05	
	характеристики, %							
	Изменение смещения нуля							
3	в диапазоне	±0,14	±0,15	±0,05	±0,002	от ±0,3 до ± 2,5	± 0,05	
	температур,°/с							
	Изменение коэффициента							
	преобразования в	±1	±1	±0,2	±0,35	от ±0,3 до ± 2	± 0,8	
	диапазоне температур, %							
5	Чувствительность к	0,077	0,017	0,005	0,0011	07.0.1 #0.0.6	0,01	
	ускорению,°/с/g	0,077	0,017	0,005	0,0011	от 0,1 до 0,6	0,01	

^{*} Трехосные датчики

- 1. В настоящее время планарные ММГ обладают большей точностью, чем кольцевые.
- 2. Применение многомассового ЧЭ позволяет уменьшить влияние механических факторов.
- 3. Необходимы научно-обоснованные методы проектирования.

Способы достижения требуемых параметров



- 1. Применение ЧЭ с многомассовой архитектурой
- 2. Использование специальных решений на уровне схемы обработки выходного сигнала:
 - Дифференциальный съем;
 - временное разделение управления и съема;
 - применение способов формирования шумовой характеристики (noise shaping);
 - исключение влияния управляющих сигналов;
 - применение частотного съема;
 - применение ОУ с низким уровнем шума;
 - возможность гибкой перенастройки фильтров, коэффициентов и др. параметров схемы;
 - коррекция и компенсация нелинейностей.
- 3. Корпусирование
- 4. Настройка и калибровка
- 5. Применение способов снижения влияния температуры (системы стабилизации температуры)

Разработка МЭМС требует комплексного подхода.

Маршрут проектирования ЧЭ



<u>Требования к маршруту</u> <u>проектирования:</u>

- 1. Проектирование с учетом особенностей технологического процесса для выбранной кремниевой фабрики.
- 2. Совместное моделирование ЧЭ и ИС на системном уровне.
- 3. Проектирование с мультифизическим моделированием и параметрической оптимизацией.
- 4. Ограниченное время на разработку.
- Возможность разработки датчиков с увеличенным диапазоном.



Системный уровень

Разработка

Уровень топологии

Фабрика

Методология проектирования ИС

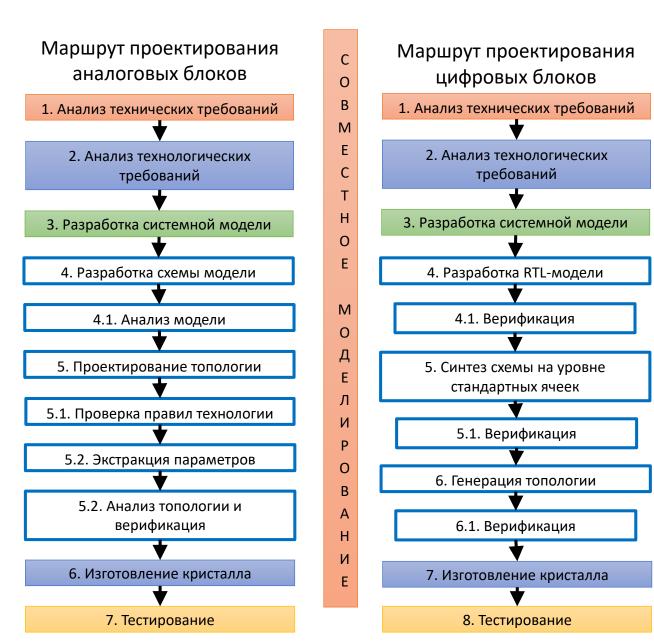


Особенности проектирования ИС:

- 1. Учет технологии изготовления ИС
- 2. Высокий уровень сложности системы
- 3. Автоматизация процесса проектирования

Апробация методологии:

- 1.Изготовление ИС на кремниевых производствах АО «Ангстрем» (РФ), AMS (Австрия), X-FAB (Германия)
- 2.Публикации результатов в более чем 15 статьях (в т.ч. Scoupus)







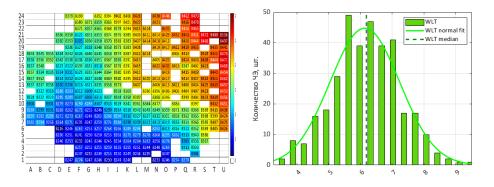
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» оснащен современными оборудованием для тестирования микромеханических датчиков на всех этапах изготовления:

• чип: на кремниевых пластинах с чувствительными элементами/интегральными схемами на зондовой станции.



Зондовая станция и измерительное оборудование

• **изделие**: после монтажа микромодуля на плату с ЭРИ на оборудовании испытательного центра (поворотный стол, термокамера, вибрационный стенд).



Результаты тестирования пластин



Поворотный стол



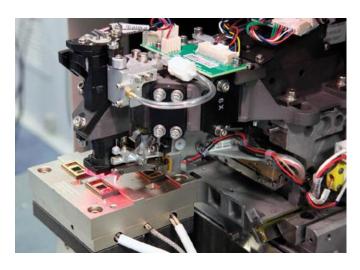
Вибростенд

Сборочное производство

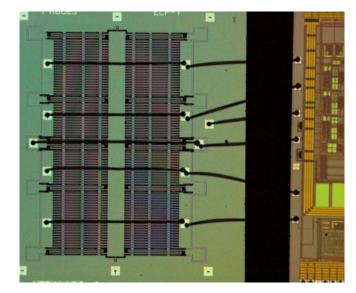


В **АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»** организован участок сборочного производства микромеханических датчиков с возможностями:

- дисковая резка пластин с чипами на отдельные компоненты.
- монтаж чипов в корпуса методами пайки и приклеивания, подготовка документации.
- автоматическая разварка внутрикорпусных соединений алюминиевой и золотой проволокой, контроль качества разварки.
- плазменная очистка корпусов и чипов.
- герметизация корпусов методом пайки.
- термотренировка изделий.



Установка автоматической разварки



Фотография чипов после разварки

Кристальное производство АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

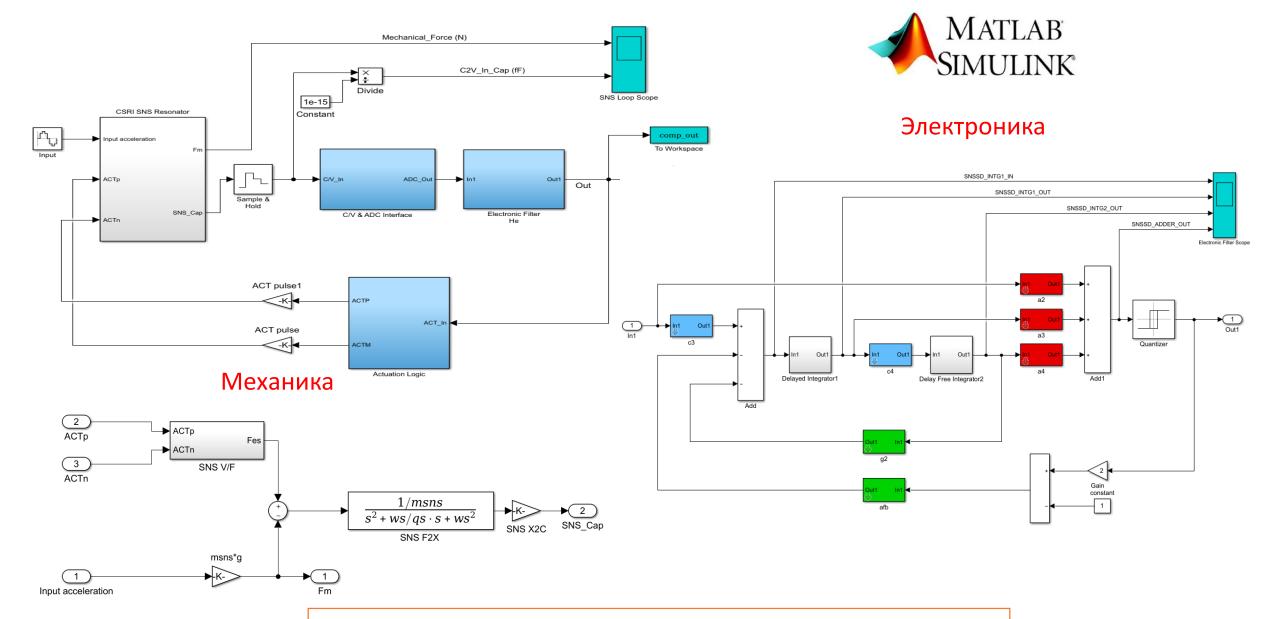






Системное моделирование

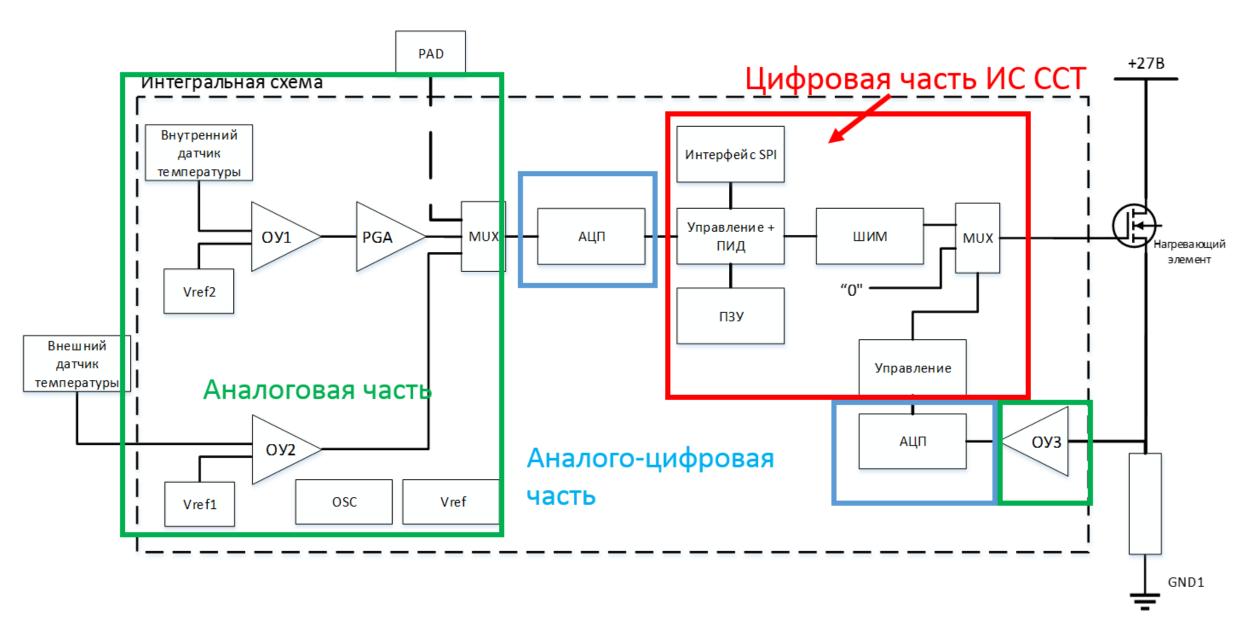




Формирование TT к блокам и узлам, оценка характеристик

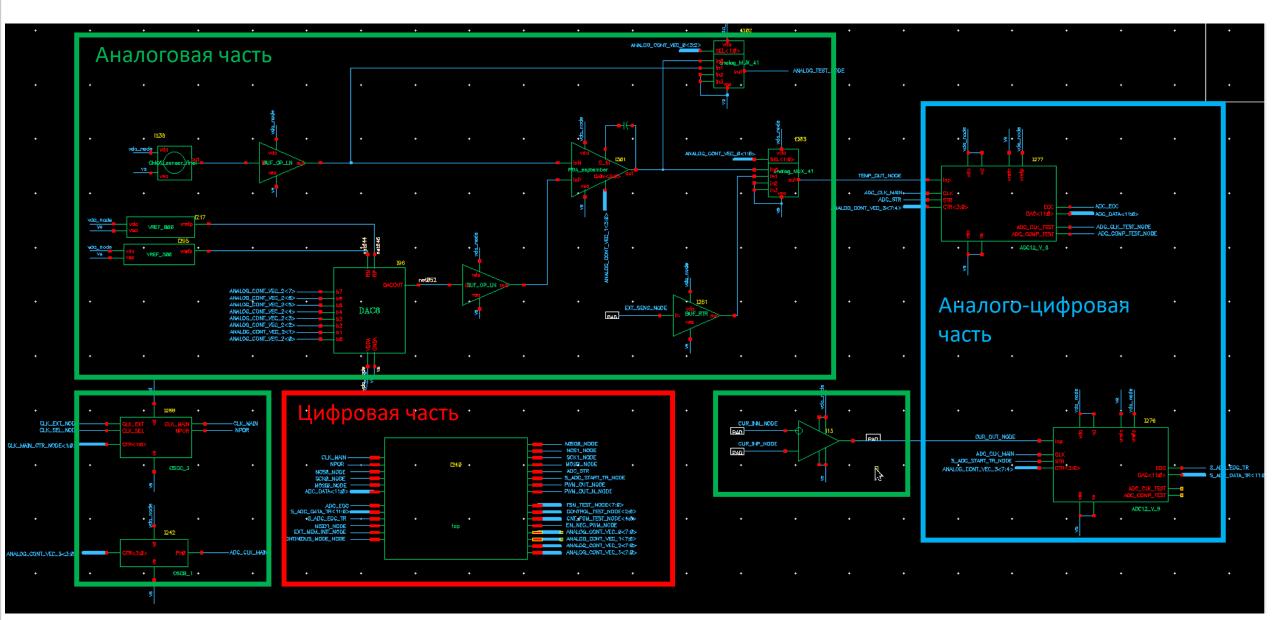
Структурная схема ИС для системы стабилизации температуры





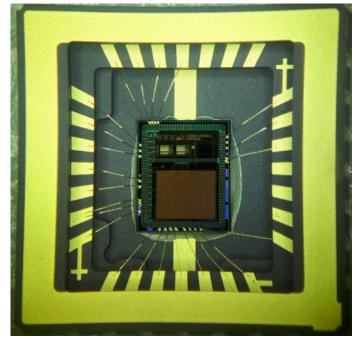


Схемотехническая модель ИС для системы стабилизации температуры



ИС для системы стабилизации температуры





Микрофотография ИС в корпусе

Особенности:

- Напряжение питания: 3,3 В.
- Потребляемый ток: 60 мА.
- Рабочий диапазон температур: -40 до 85 °С.
- В состав входит интегральный датчик температуры.
- Точность измерения температуры: ±0,5°C.
- Регулирование в виде пропорциональноинтегрально-дифференциального регулятора.

Функциональные возможности ИС:

- Управление по мощности с возможностью изменения законов управления.
- Многоканальность.
- Гибкая реконфигурация.
- Цифровое управление.
- Режим диагностики.
- Возможность работы с разными типами. температурных датчиков.

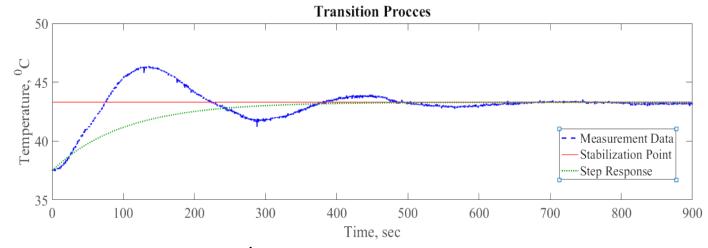
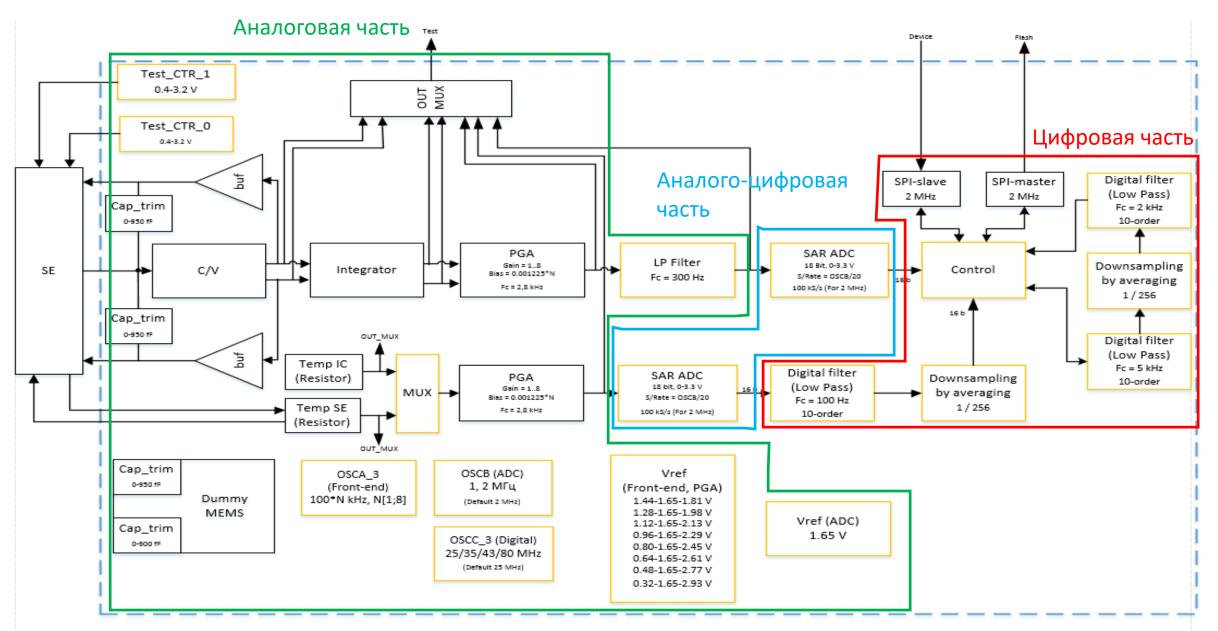


График переходного процесса

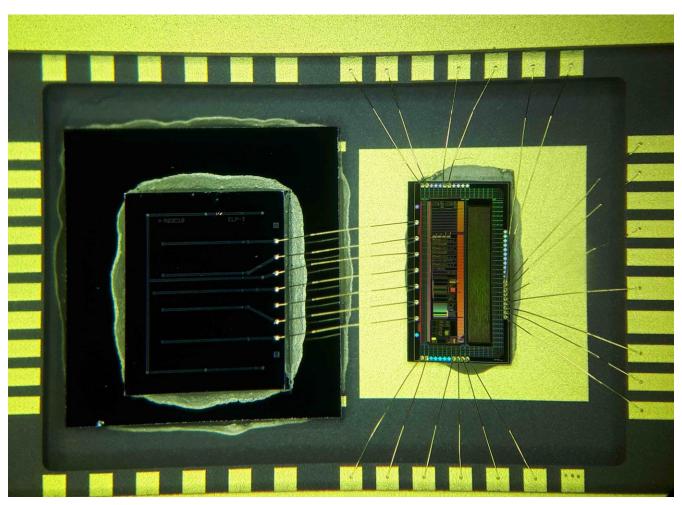
Структурная схема ИС микромеханического акселерометра





ИС разомкнутого типа для емкостных микромеханических датчиков





Микрофотография ИС вместе с ЧЭ в корпусе

Функциональные возможности ИС:

- Реконфигурируемость блоков ИС
- Наличие цифрового фильтра
- Возможность изменения полосы встроенного ФНЧ
- Встроенный датчик температуры
- Реализована встроенная цифровая коррекция данных

Параметр	мма эп	ММА- ЭП1
Диапазон измерений, g	± 10	± 15
Плотность шума (±10 g), mg/√Hz	< 0.1	0.05
Полоса пропускания, Hz	1200	300
Нестабильность изменения нуля (by Allan variance), mg	< 0.3	0.05
Нелинейность масштабного коэффициента, %	< 0.1	0.1



Моделирование

- 1. Проблематика
- 2. Требования
- 3. Высокопроизводительные вычисления
- 4. Виды решаемых задач

Проблематика (предсказательного) моделирования



- Сложность разрабатываемых приборов/устройств/систем
- Необходимость учета технологических ограничений
- Различные внешние воздействия
- Множество возможных технических решений
- Оптимизационные задачи
- Ограниченные возможности проведения натурных испытаний
- Значительные объемы данных
- Ограниченная возможность использования аналитических зависимостей
- Снижение себестоимости и ограничение времени разработки

Предсказательное моделирование — вычислительные эксперименты с математическими цифровыми моделями с целью оценки/прогноза характеристик разрабатываемых приборов/устройств/систем

Системы поддержки принятия инженерных решений, цифровые двойники

DAEKTPO IPHEOP

Требования к предсказательному моделированию

- 1. Максимальная адекватность (точность) моделей с учетом сложных внешних воздействий
- 2. Учет случайных и детерминированных внешних воздействий и/или параметров
- 3. Учет технологий и технологических погрешностей
- 4. Стационарная и нестационарная постановка
- 5. Параметризация
- 6. Комплексная модель на различных этапах жизненного цикла
- 7. Возможность получения решения на доступных вычислительных ресурсах
- 8. Использование различных методов описания моделей (логические, поведенческие, уравнения, МКЭ и др.)

- 1. Необходимость использования специализированного ПО
- 2. Высокие требования к вычислительным ресурсам задание уровня абстракции
- 3. Грамотная постановка задачи с учетом временных и др. ограничений
- 4. Высокая квалификация разработчика моделей
- 5. Необходимость валидации моделей
- 6. Интеграция с данными экспериментов и моделирования для цифрового двойника

Высокопроизводительный вычислительный кластер





2x8 проц. Intel Xeon E7-8870 по 10 ядер 2x1 Тб ОЗУ 10 Тб ПЗУ на SSD 2 ускорителя GPU TESLA K20C





10 лезвий по 2 проц. Xeon E7-8890 v2 по 12 ядер 1 Тб ОЗУ 6 Тб ПЗУ на SSD 3 ускорителей GPU TESLA K20X Производительность ~15 Tflops

- 1. Администрирование и техническая поддержка 24/7
- 2. Обновление и настройка ОС, ПО
- 3. Необходимость одновременной работы Windows и Linux
- 4. Планировщик задач с динамическим распределением ресурсов
- 5. Коллективный доступ **не терминальный** с выдачей ресурсов

Моделирование физических процессов



Типы задач:

- 1. Теплофизика
- 2. Тепловые деформации
- 3. Прочность
- 4. Динамические воздействия
- 5. Взрывные воздействия
- 6. Электростатика и электродинамика
- 7. Гидроакустика с пьезопреобразователями
- 8. Гидродинамика

Требования к моделям:

- 1. Поиск оптимальных значений параметров
- 2. Нелинейные быстропротекающие процессы
- 3. Нестационарная постановка
- 4. Сложные модели процессов (вихри и др.)
- 5. Учет контактных взаимодействий
- 6. Композитные материалы
- 7. Ограничение времени
- 8. Междисциплинарность
- 1. Правильное формирование технических требований (режимы, воздействия,...)
- 2. Разработка унифицированных (в т.ч. научнообоснованных) методик
- 3. Оптимизация и повышение эффективности моделей и методов моделирования
- 4. Верификация моделей и валидация результатов моделирования
- 5. Умение использовать высокопроизводительные вычисления
- 6. Цифровой двойник



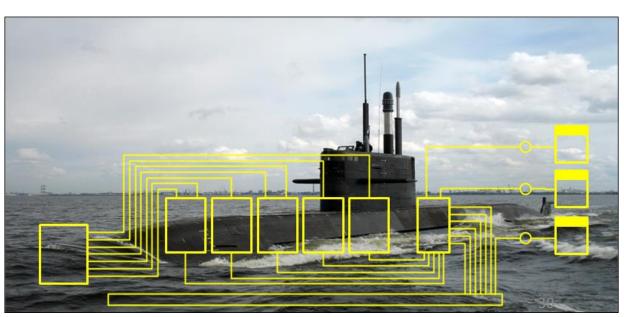
Задачи обработки информации

- 1. Создание аппаратно-программных комплексов
- 2. Высокопроизводительные вычисления
- 3. Виды решаемых задач

Создание аппаратно-программных комплексов



- 1. Разработка бортовых распределенных вычислительных систем реального времени.
- 2. Решение задачи по обнаружению, классификации и сопровождению объектов при большом объёме входных данных.
- 3. Использование в работе:
 - ✓ программирование на языке C/C++, Python.
 - ✓ библиотек машинного обучения.
 - ✓ технологий коллективной разработки, включая git, redmine.
 - ✓ средства непрерывной интеграции.
- 4. Объём проекта: более 1.5 млн. строк.



Создание аппаратно-программных комплексов для автономных необитаемых подводных аппаратов



- 1. Проектирование и разработка: приёмных элементов, узлов обработки и управления, программного обеспечения на базе ОС реального времени.
- 2. Использование в работе:
 - ✓ вычислительных модулей собственной разработки.
 - ✓ процессорных элементов на базе Intel Core i7.
- 3. Проведение всех этапов испытаний, включая натурная отработка.





Разработка средств малой гидроакустики

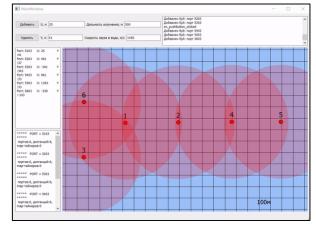


- 1. Разработка технических и технологических решений аппаратно-программных средств сетевой подводной связи:
 - ✓ обмен данными и групповое информационное взаимодействие подводных объектов, в том числе для задач морской геологоразведки в интересах добычи углеводородов и мониторинга экологической обстановки.
 - ✓ возможность телеуправления одновременно нескольких АНПА.

✓ высокоскоростной обмен данными: корректировка миссии, передача оперативной информации,

передача фото и видео.

- 2. Использование в работе:
 - ✓ вычислительных модулей собственной разработки.
 - √ процессорных элементов на базе микрокомпьютеров NVIDIA Jetson Nano (CUDA).
- 3. Проведение всех этапов испытаний, включая предварительное моделирование и натурная отработка.





Спасибо за внимание!

Беляев Яков Валерьевич Начальник НТЦ "Дизайн-центр" АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"

тел. раб. +7(812)499-78-94 тел. моб. +7(911)265-13-26

e-mail: jak0b@mail.ru