



МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В РАМКАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

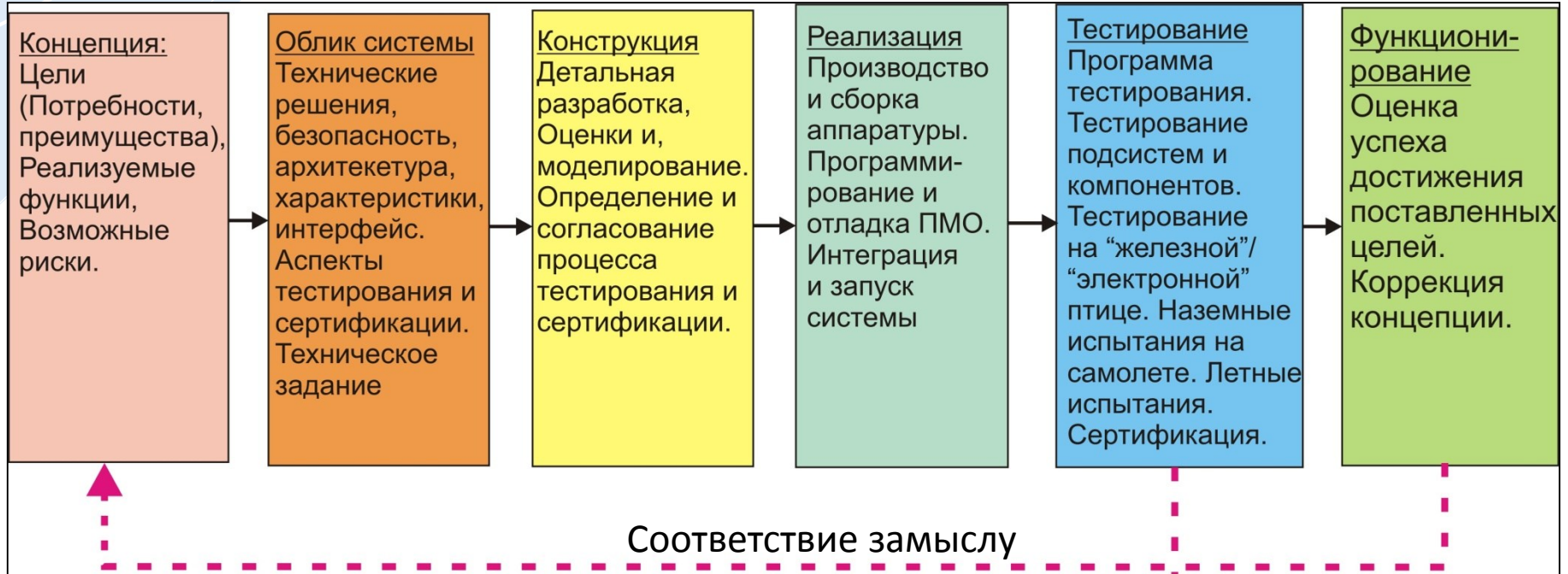
К.И. Сыпало, В.Ю. Гранич, С.Г. Баженов, В.В. Стрелков

**Центральный аэрогидродинамический институт
имени проф. Н.Е.Жуковского (ФАУ «ЦАГИ»)**

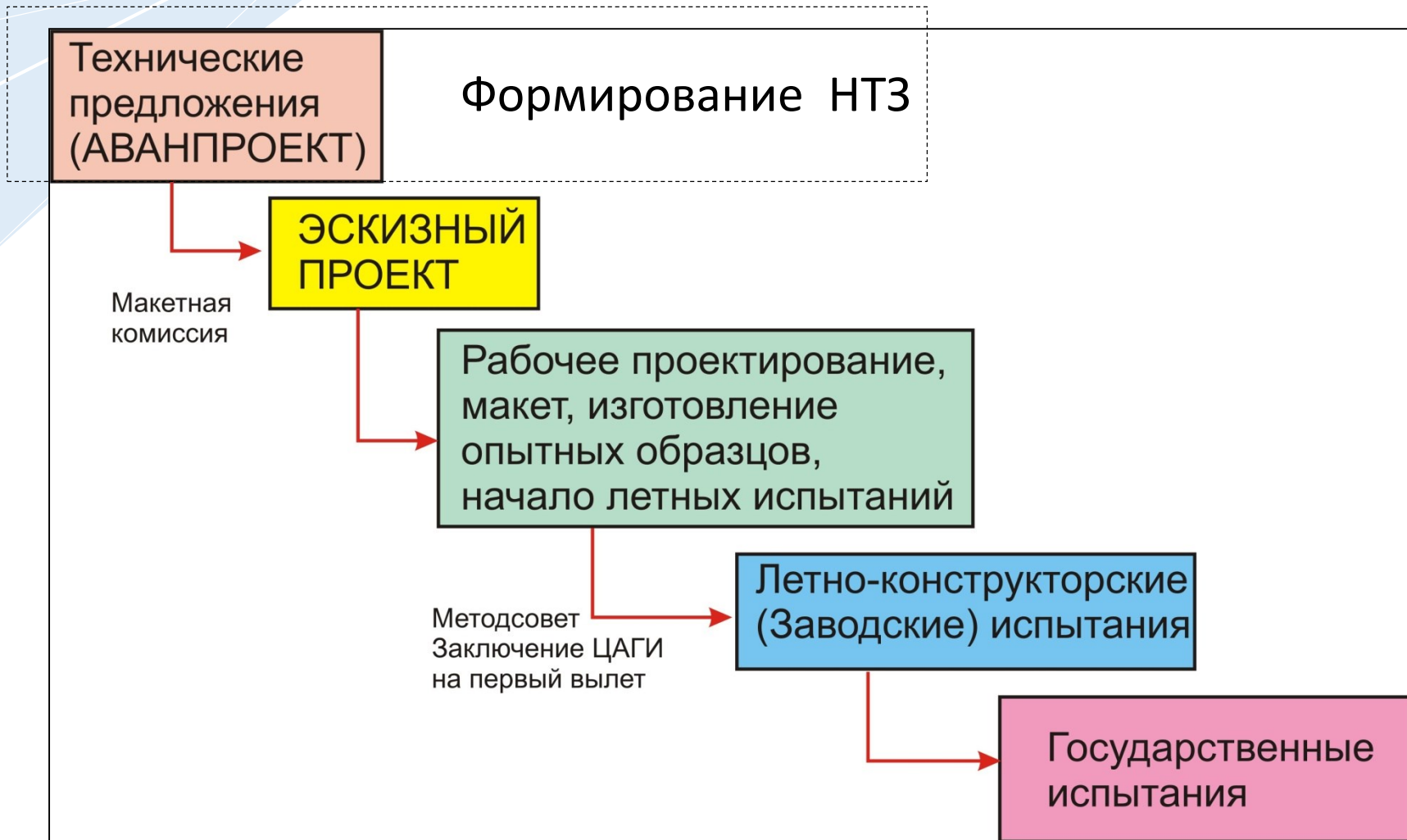
**Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ-24)
Москва 17-20 июня 2024г.**

Жизненный цикл изделия АТ.

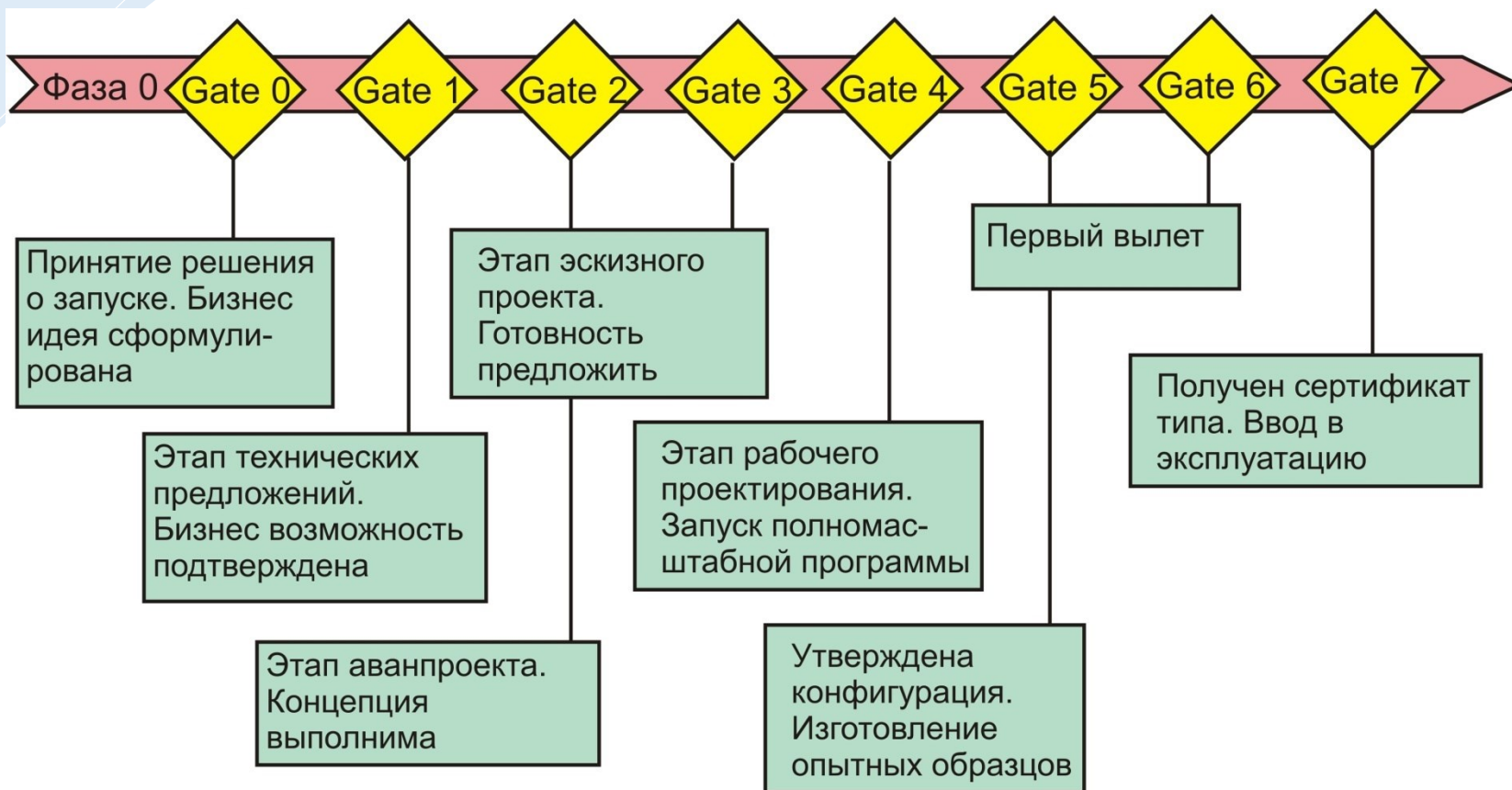
Этап разработки



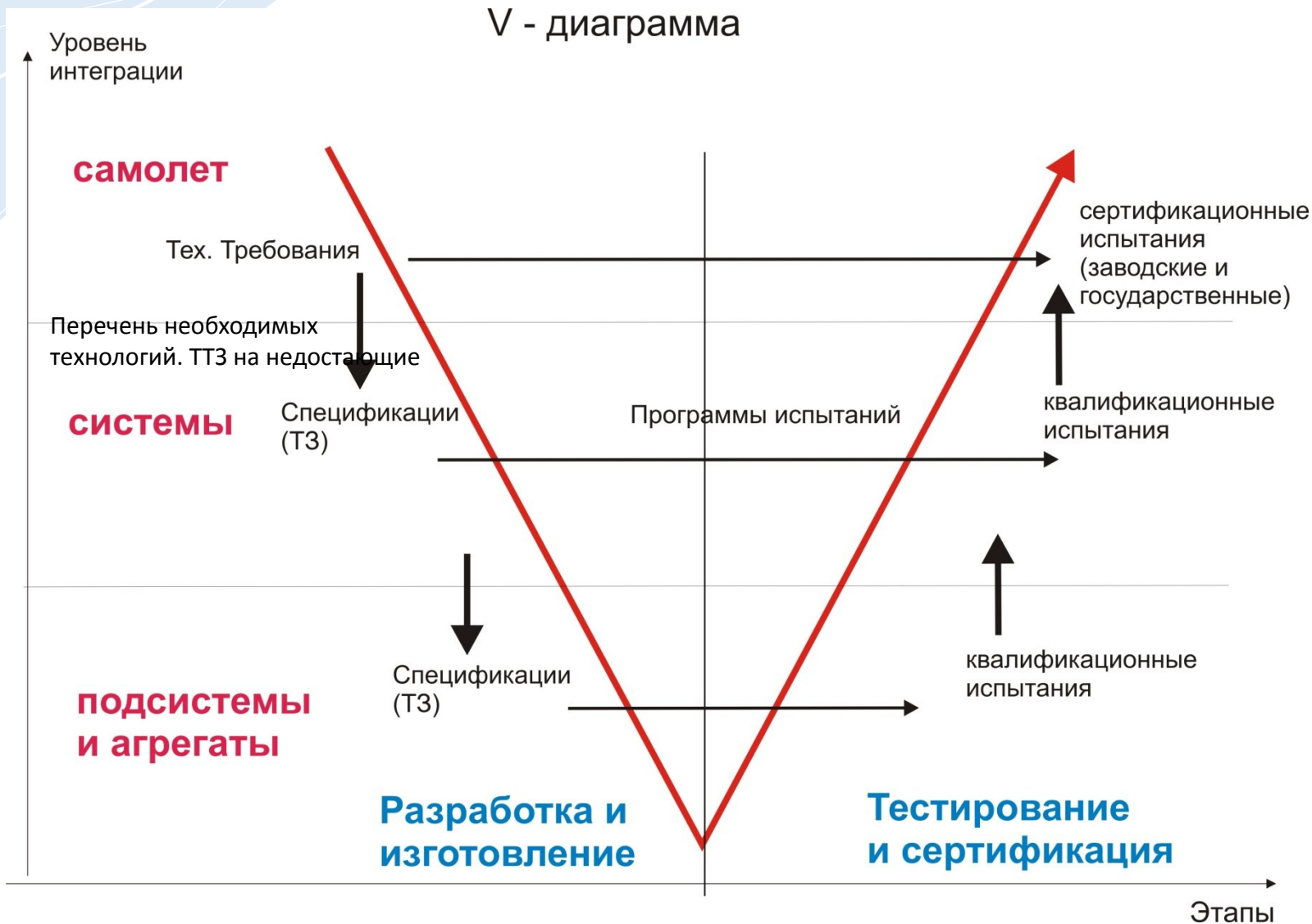
Российская процедура разработки изделия гражданского назначения



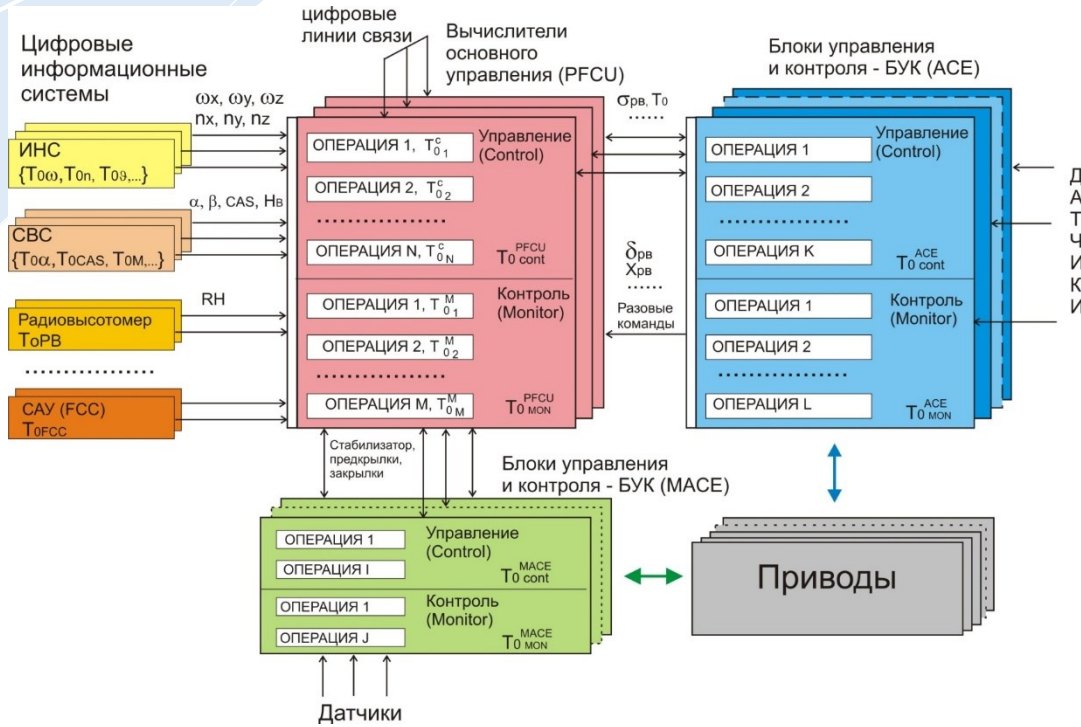
Процедура прохождения «ворот» при разработке АТ



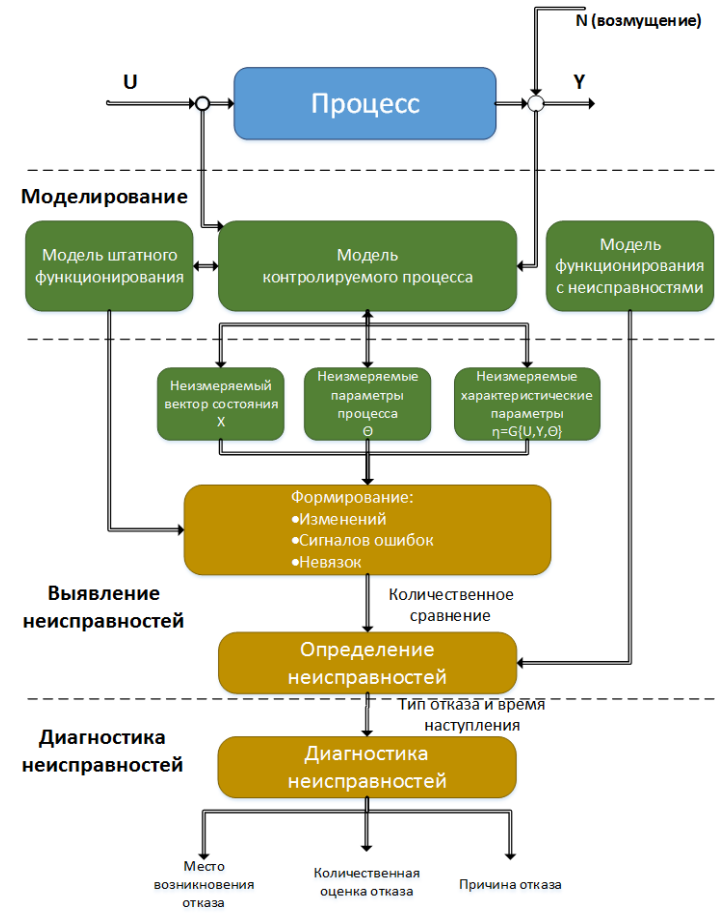
“V” диаграмма отработки системы



Архитектура ЦСДУ



Контроль по схеме «канал-модель»



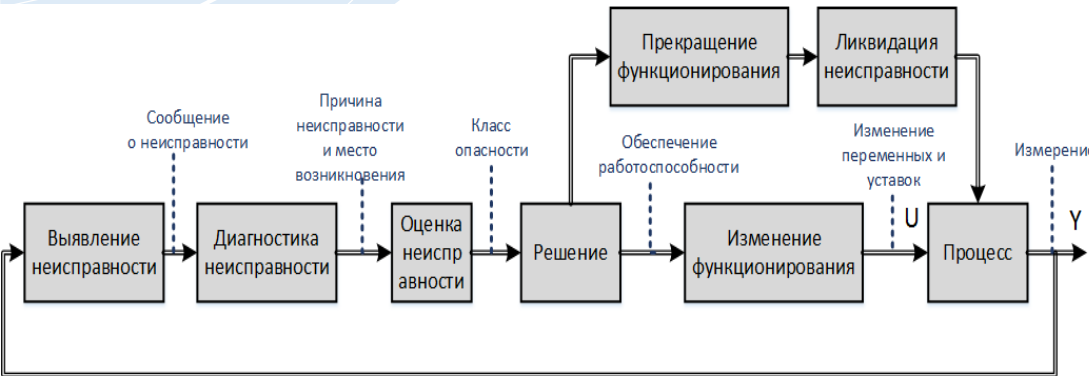
Этапы разработки комплексной системы управления/цифровой системы дистанционного управления

- **Разработка и моделирование аналоговой модели системы управления (MatLab/Simulink), включая:**
 - оценку запасов устойчивости
 - оценку характеристик управляемости
 - анализ качества переходных процессов
 - математическое и стендовое моделирование
- **Разработка и моделирование дискретной модели системы управления (MatLab/Simulink), включая:**
 - оценку максимально допустимых временных задержек в трактах управления и обратных связей
 - дискретизацию входных, выходных сигналов и расчеты
 - оценку максимально допустимой частоты дискретизации входных и выходных сигналов и выполнения расчетов

Этапы разработки цифровой системы управления

- выбор расчетных методов (в частности метода интегрирования) для различных сигналов
- оценку запасов устойчивости, характеристик управляемости и анализ качества переходных процессов
- верификацию – сравнение переходных процессов, статических и частотных характеристик с аналоговыми и аналитическими моделями. Разработка метода испытаний и критериев оценки.
- **Спецификация для цифровой системы управления (дискретная модель СДУ – часть спецификации).**
- **Разработка программного обеспечения системы управления с использованием дискретной модели (штурвального управления и автоматического)**
- **Испытания и верификация реальной системы управления с использованием стандартных характеристик дискретной модели. Разработка методов испытаний и критериев оценки**

Отказы СДУ и срабатывание системы контроля



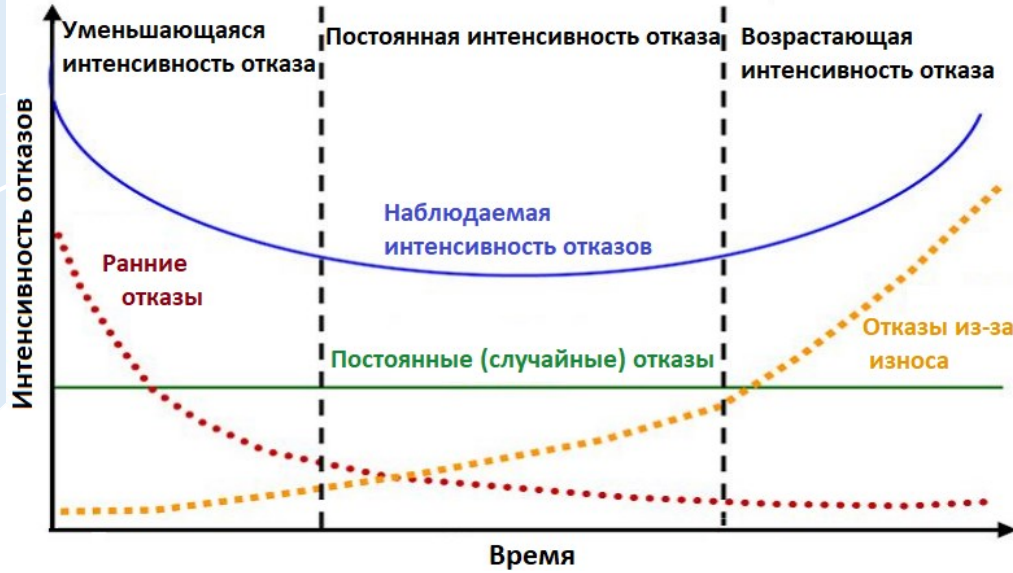
Ключевые проблемы:

- комбинаторный рост числа отказных ситуаций при усложнении КСУ
- большое количество переключателей, т.е. состояний системы – необходимость синхронизации состояний каналов КСУ

Решение в рамках интеллектуальных систем:

- Применение логико-диагностических подходов
- Использование конечных автоматов
- ...

Ранняя диагностика электро-механического рулевого привода (ЭМРП)



Распределение Вейбулла-Гнеденко



Разрушение прямозубой передачи редуктора прототипа ЭМРП в ходе испытаний под нагрузкой на стенде ЦАГИ

Разработка подхода к анализу данных и критерии оценки эффективности используемых методов (Совместно с ИПУ РАН)

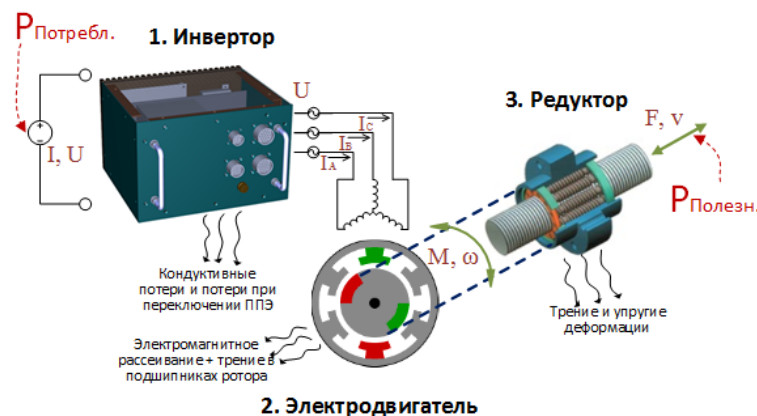
Требования к функционированию системы диагностики

- Функциональность
- Адекватность
- Интерпретируемость результата
- Устойчивость функционирования в условиях неопределенности
- Вычислительная сложность алгоритма формирования решения
- Компактность хранения взаимосвязей
- Возможность альтернативных вариантов решения

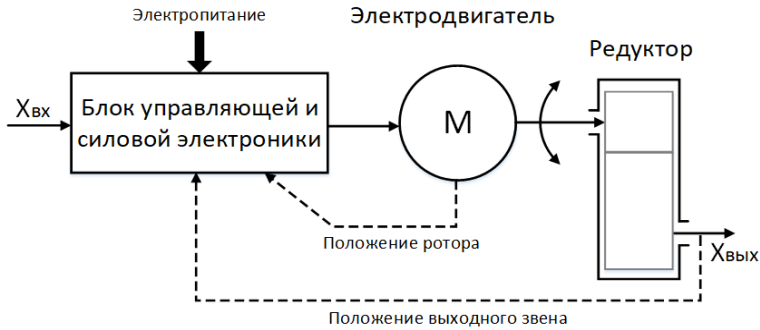
Требования к методике обучения

- Уровень формализации
- Детерминированность алгоритма
- Вычислительная сложность алгоритма
- Способ добавления новой информации

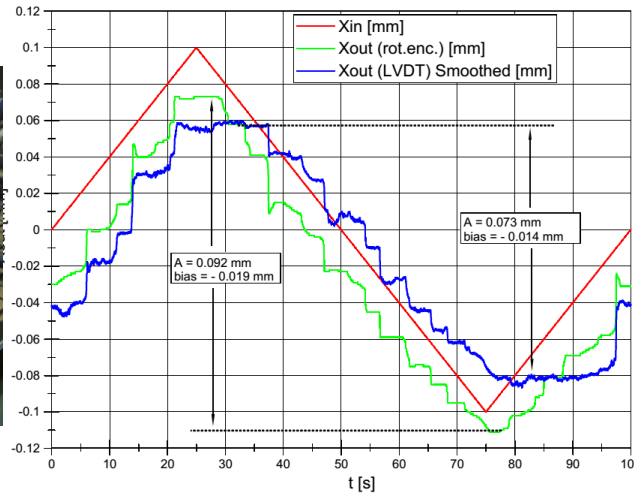
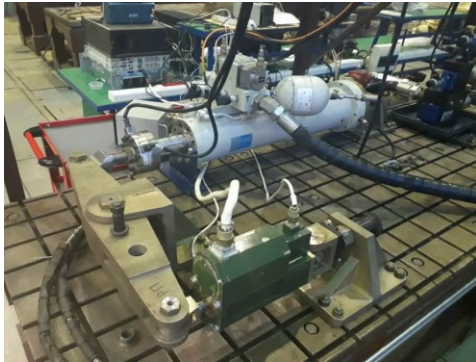
Выявление деградаций на основе потерь энергии ЭМП



Ранняя диагностика ЭМРП. Общий подход.

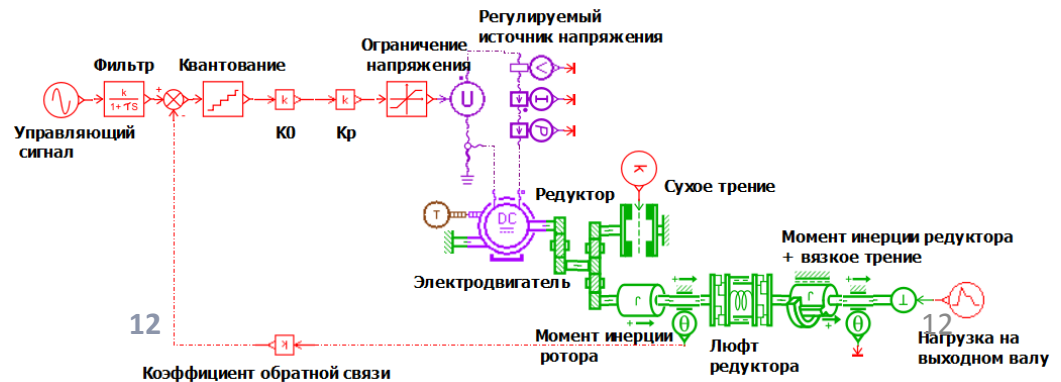


Функциональная схема ЭМРП



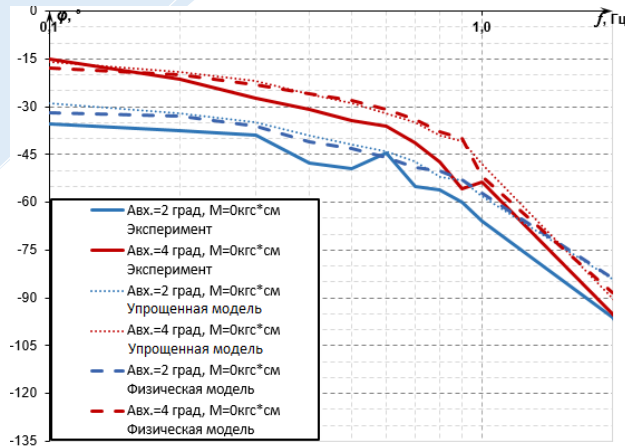
Данные стендового эксперимента

Математическая модель ЭМРП



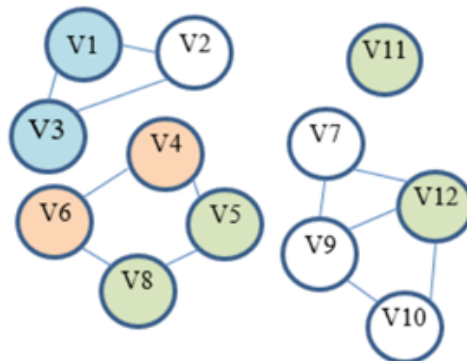
Ранняя диагностика ЭМРП. Общий подход.

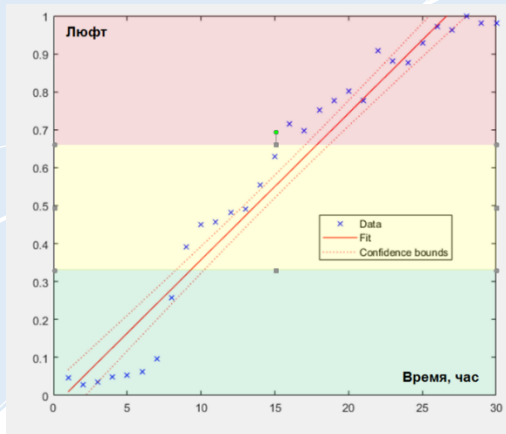
Валидация модели ЭМРП,
разделение на агрегированные состояния



Выявление информативных признаков, фильтрация и ранжирование

Формирование выборок, обучение ИНС

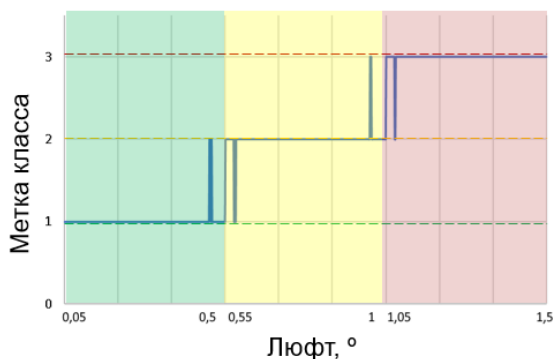




Определение тренда
изменения информативного признака



Классификация состояния

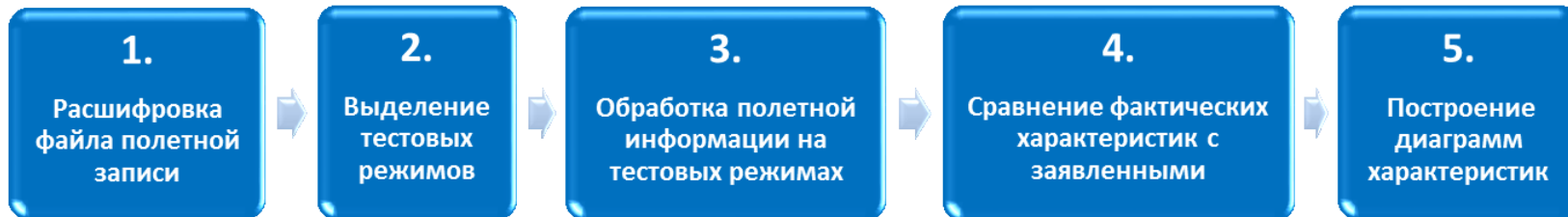


Оценка эффективности алгоритма

Метка класса	Объективное моделируемое состояние	Оценка состояния с применением алгоритма		
		Штатное	Предаварийное	Аварийное
1	Штатное	98,64%	1,36%	0,00%
2	Предаварийное	1,00%	98,00%	1,00%
3	Аварийное	0,00%	0,67%	99,33%

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ФАКТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА

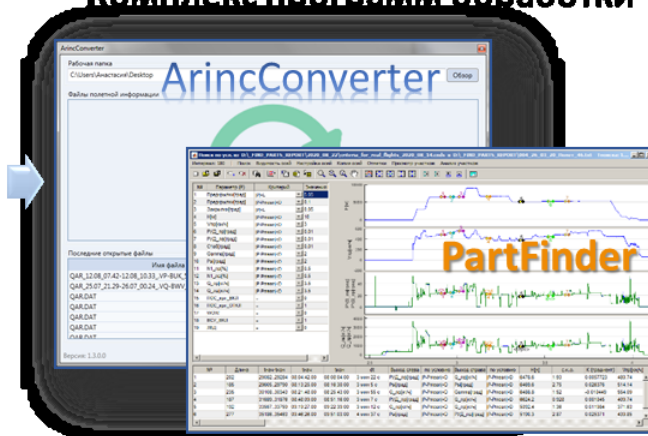
Этапы обработки полетной информации



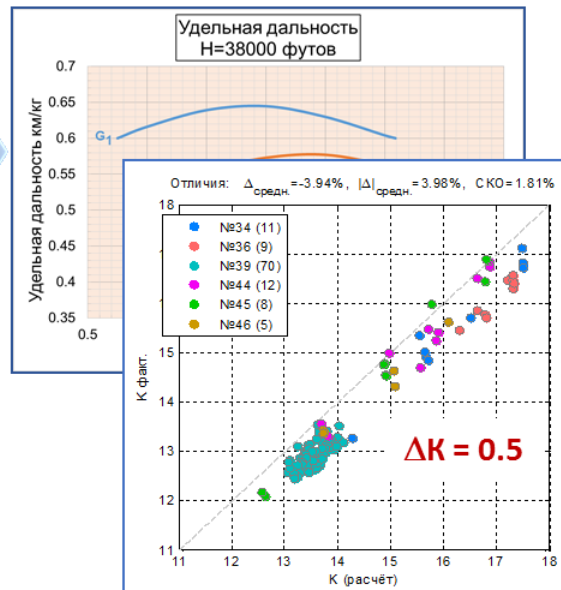
Бортовой регистратор



Комплекс программ обработки



Фактические характеристики



МОНИТОРИНГ ДЕГРАДАЦИИ РАСХОДА ТОПЛИВА

Деградация – оценка отклонения текущих ЛТХ самолета от их номинальных значений

**ВСХ
ДВИГАТЕЛЯ**

**ДРОССЕЛЬНЫЕ ХАР-КИ
ДВИГАТЕЛЯ**

Деградация характеристик самолета

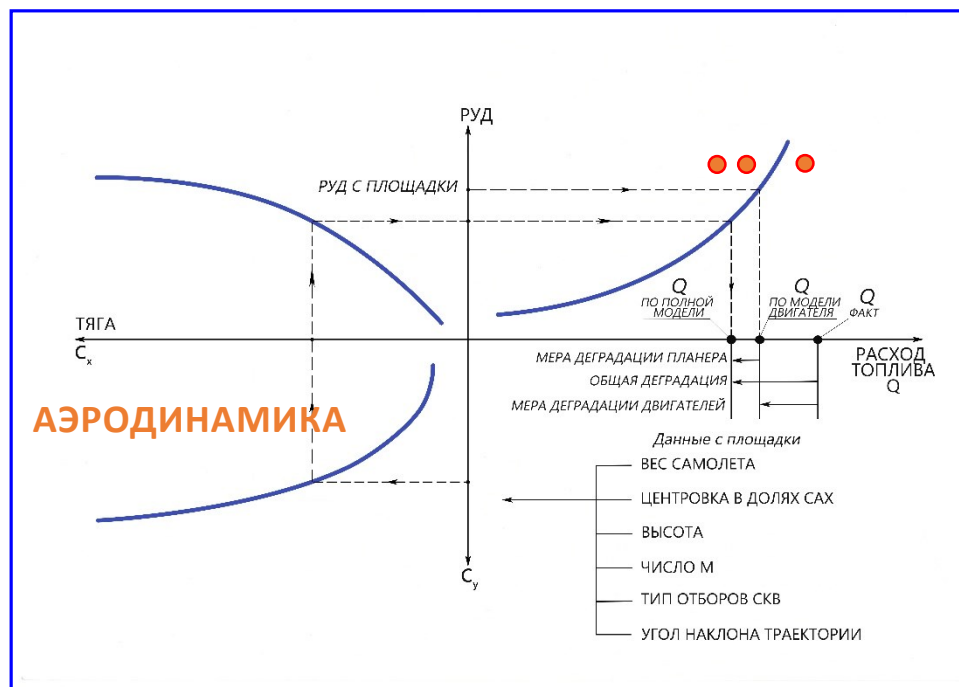
$$K_d = (Qч - Qч ном с) / Qч ном * 100$$

Qч ном с – рассчитывается по полной модели расчета ЛТХ

Деградация характеристик двигателя

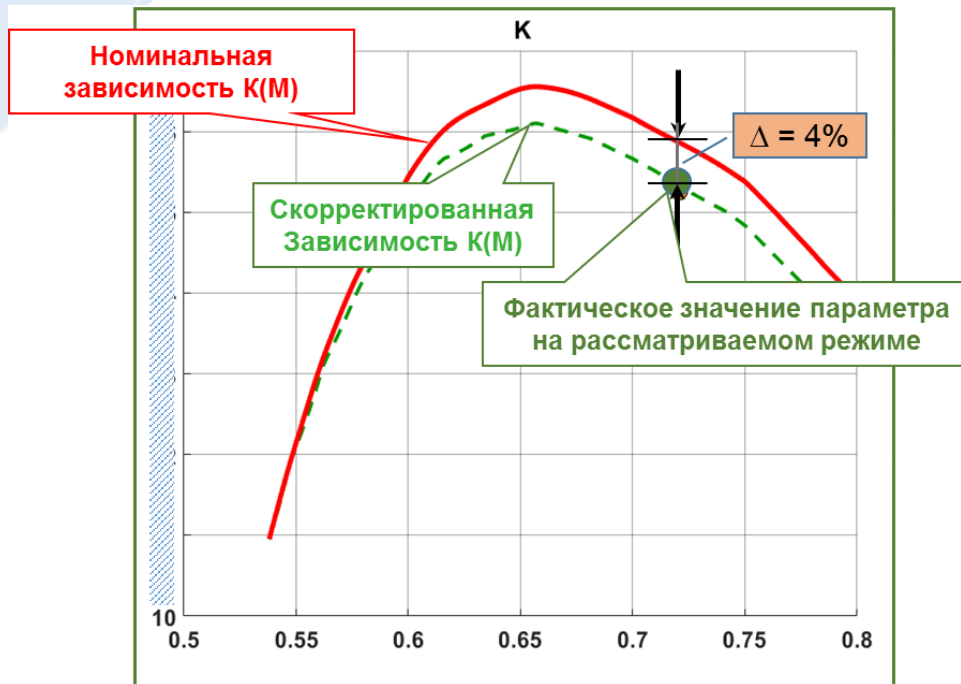
$$K_{дд} = (Qч - Qч ном д) / Qч ном д * 100$$

Qч ном д – рассчитывается по модели расчета характеристик двигателя

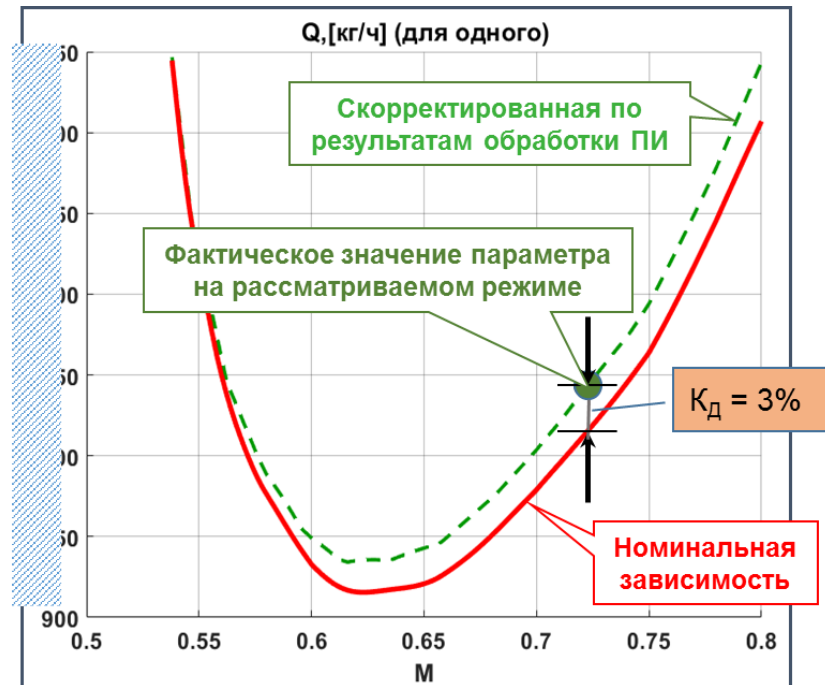


АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЙ ЛТХ САМОЛЕТА НА ОТДЕЛЬНЫХ РЕЖИМАХ

Аэродинамическое качество $K(M)$



Километровый расход топлива $Q(M)$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ