

ТЕХНОЛОГИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ “САУ-АВИАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ”

¹Общество с ограниченной ответственностью “Котрис”, Украина, kotris@kotris.com.ua

²Государственное предприятие “Ивченко - Прогресс”, Украина, progress@ivchenko-progress.com

Предложена технология разработки системы автоматического управления (САУ) современных газотурбинных двигателей (ГТД), базирующаяся на аппаратно-программном обеспечении компании “National Instruments” (США). Предлагаемая технология предусматривает использование как имитатора ГТД, так и отладочной САУ, что обеспечивает замкнутость цикла моделирования, существенное сокращение материальных и временных затрат на разработку, испытания и доводку цифровой САУ ГТД.

Ключевые слова: аппаратно-программное моделирование, замкнутый цикл моделирования, имитатор газотурбинного двигателя, отладочная система автоматического управления, бортовая система автоматического управления, отладка алгоритмов управления.

Постановка проблемы

Разработка современных систем автоматического управления, тем более бортовых САУ авиационных двигателей не возможна без создания тестовой, моделирующей аппаратуры, полунатурных моделирующих стендов, обеспечивающих качественный анализ и тестирование каждого отдельного агрегата САУ.

Опыт разработки САУ двигателя АИ-222-25Ф показал, что помимо автоматизации тестирования при разработке САУ [1] порой требуется создание отдельных стендовых или отладочных систем управления [2,3], обеспечивающих возможность уточнения требований к САУ, а иногда и стендовой доводки самого двигателя до выхода опытных образцов штатной САУ [4].

Анализ известных решений

Актуальность потребности в указанных технологиях в процессе разработки САУ подтверждается ростом интереса у ведущих предприятий авиационно-космической отрасли к аппаратно-программным средствам моделирования и испытаний одной из ведущих мировых компаний по разработке испытательной аппаратуры – компании “National Instruments” (США). На сегодняшний день потребителями указанных технологий в Украине являются:

- ОАО «Мотор Сич»;
- ГП НПКГ «Зоря-Машпроект»;
- ГП "АНТОНОВ".

Среди российских предприятий это:

- НПО «Сатурн»;
- ФГУП «ЦИАМ» им. П. Баранова;
- ОАО «Пермские моторы»;
- ОАО МППП «Салют»;
- ОАО «УМПО»;
- УНПП «Молния».

Формулирование задачи

Среди наиболее востребованных на сегодняшний день являются следующие аспекты применения указанной аппаратуры (рис.1):

- стендовые испытания двигателя в режиме отладочной САУ с измерительной системой с расширенными по сравнению со штатной САУ характеристиками;
- автоматизированное тестирование и автоматизированные испытания агрегатов САУ в режиме полунатурного моделирования, а также узлов и элементов двигателя;
- разработка и отладка алгоритмов управления, уточнение ТТЗ на САУ.

Решение задачи

Решение указанных выше задач возможно за счет построения специализированной системы аппаратно-программного моделирования с замкнутым циклом “CAU-авиационный двигатель”, которая включает (рис.1):

- математическую модель ГТД и агрегатов топливо-регулирующей аппаратуры и системы автоматического управления для сопровождения испытаний;
- систему регистрации информации для обеспечения приема, обработки в реальном масштабе времени информации от первичных преобразователей, визуализации, архивирования и передачи принятых и обработанных сигналов в цифровом виде;
- автоматизированную систему испытаний;
- модули приема и передачи информации по ГОСТ 18977-79 (ARINC-429), ГОСТ Р 52070-2003 (МКИО) и RS-232/RS422/RS485.



Рис.1. Архитектура системы аппаратно-программного моделирования с замкнутым циклом “CAU-авиационный двигатель”

Особенности аппаратной реализации технологии

Для реализации предлагаемой технологии в качестве аппаратной части выбрано оборудование фирмы “National Instruments” серий cRIO и PXI, которое характеризуется следующим:

- расширяемая платформа с более 40 типами модулей цифрового и аналогового ввода и вывода с обеспечением прямого подключения любых типов датчиков;
- высокое быстродействие (частоты опроса аналоговых сигналов до 1 МГц, дискретных и ШИМ до 40 МГц);
- высокая надежность (диапазон температур $-40...70^{\circ}\text{C}$, ударные нагрузки до 50 g, изоляция от перегрузок по напряжению 2300 В, уровень защиты корпуса по IP54).

Применение указанного оборудования позволяет отладочной CAU воспроизводить, а имитатору ГТД воспринимать следующие типы сигналов:

- аналоговые токовые и сигналы напряжения;
- дискретные типа "сухой контакт" и напряжения постоянного тока;
- ШИМ.

Имитатор ГТД позволяет имитировать, а отладочная САУ способна воспринимать следующие типы входных сигналов:

- датчиков частот вращения типов ДТА, ДЧВ;
- датчиков типа синусно-косинусных вращающихся трансформаторов типа ДБСКТ;
- линейных датчиков положения типа LVDT;
- термопар типа ХА (К), ХК (L), ЖК (J) и др.;
- датчиков давлений типа ZAB, ZRB, АРТ(мостового типа);
- датчиков с выходным сигналом 0...20 мА;
- датчиков с выходным сигналом 0...10 В постоянного тока;
- датчиков потенциометрических типа ДСУ, ДРП и др.;
- терморезистивных датчиков типов П, ТСП, ТСМ;
- стружко/термосигнализаторов;
- дискретные сигналы типа "сухой контакт";
- дискретные сигналы напряжения постоянного тока.

Особенности программной реализации технологии

Реализовать замкнутый цикл моделирования позволяют следующие особенности программной реализации:

- двух уровневая иерархическая архитектура реализации алгоритмов контроля и управления на базе микропроцессора, реализующего алгоритмы управления в операционной системе реального времени верхнего уровня и быстродействующей программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) и модулей ввода-вывода нижнего уровня;
- детерминированное выполнение и синхронизация алгоритмов управления с временным разрешением до 25 нс;
- сквозное программирование от ПЛИС до панели оператора в единой среде NI LabVIEW.

Программное обеспечение имитатора включает в себя полную поэлементную динамическую модель ГТД, а также математические модели гидромеханической части САУ (рис.2).

Обобщенные функциональные схемы контуров управления САУ ГТД представлены на рис.3.

Круг решаемых задач

Создание системы аппаратно-программного моделирования с замкнутым циклом “САУ-авиационный двигатель” позволяет решить следующие основные задачи:

1. Получить заключение о соответствии топливно-регулирующей аппаратуры и агрегатов САУ требованиям ТЗ и сертификационному базису по результатам анализа технологических процессов на базе современных цифровых технологий.
2. Гарантированно обеспечить требуемые статические и динамические характеристики агрегатов и систем.
3. Разработать программно-аппаратные средства для замены инструментальной оценки статических и динамических погрешностей штатной аппаратуры современными программно-аппаратными вычислительными имитаторами с нормированной погрешностью.
4. Разработать алгоритмы контроля и диагностики достоверно воспроизводящие основные параметры двигателя на базе динамических моделей и замещающие измерительные каналы при параметрических отказах.

Успешное освоение ООО «Котрис» (Украина) указанной технологии аппаратно-программного моделирования позволило на сегодняшний день приступить к внедрению САУ и систем вибрационного мониторинга и диагностики для наземной техники в газоперекачивающей отрасли Украины.

Достаточную конкурентоспособность описанных аппаратно-программных средств придает, с одной стороны, сокращение аппаратных затрат в перерасчете на один измерительный канал за счет возможности реализации на базе ПЛИС дополнительных функций, ранее требовавших включения в состав системы отдельных аппаратных модулей, с другой стороны, достаточная гибкость и возможность адаптации к другому типу ГТД за счет смены программно-алгоритмического обеспечения.

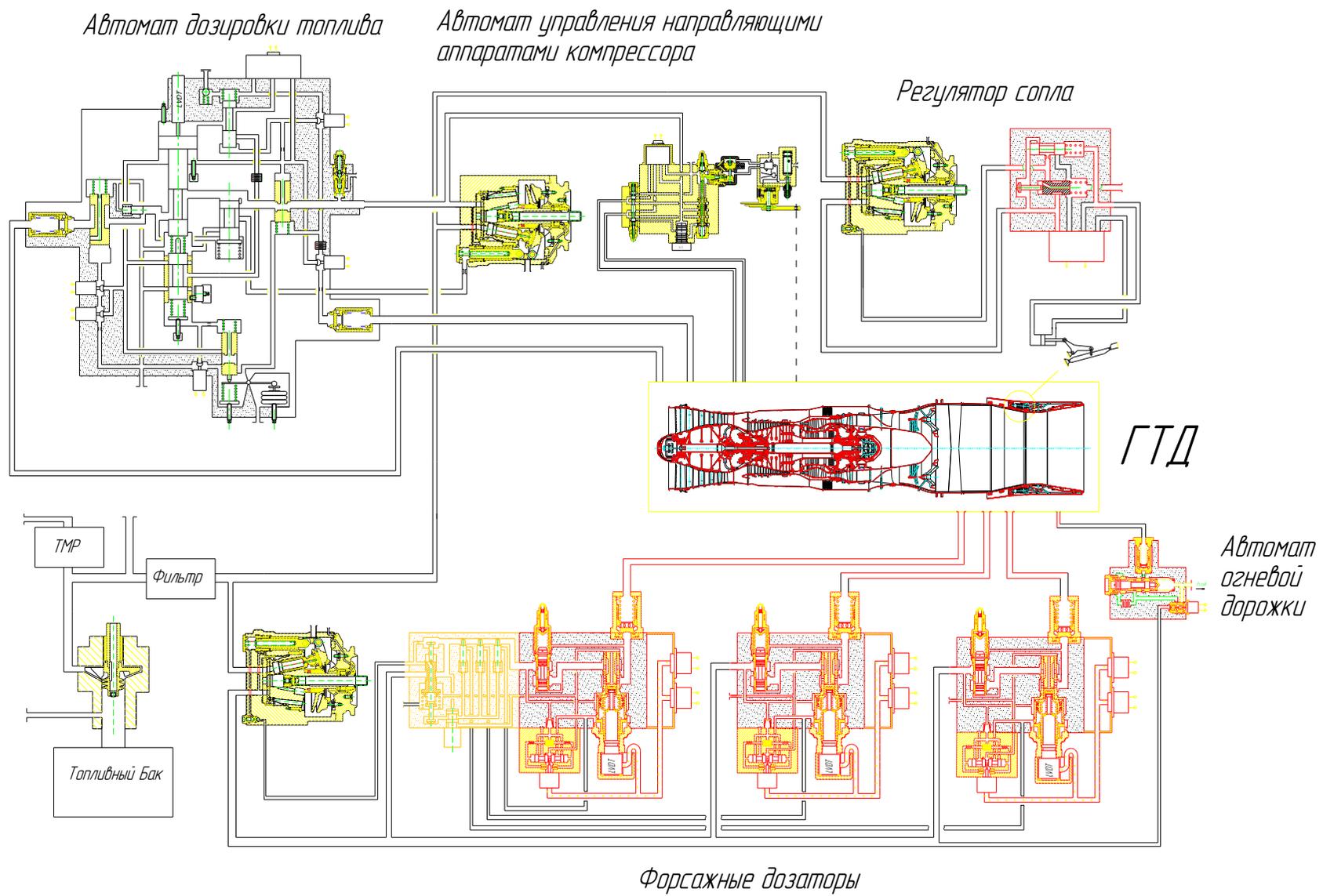


Рис.2. Состав имитируемых гидромеханических агрегатов ГТД

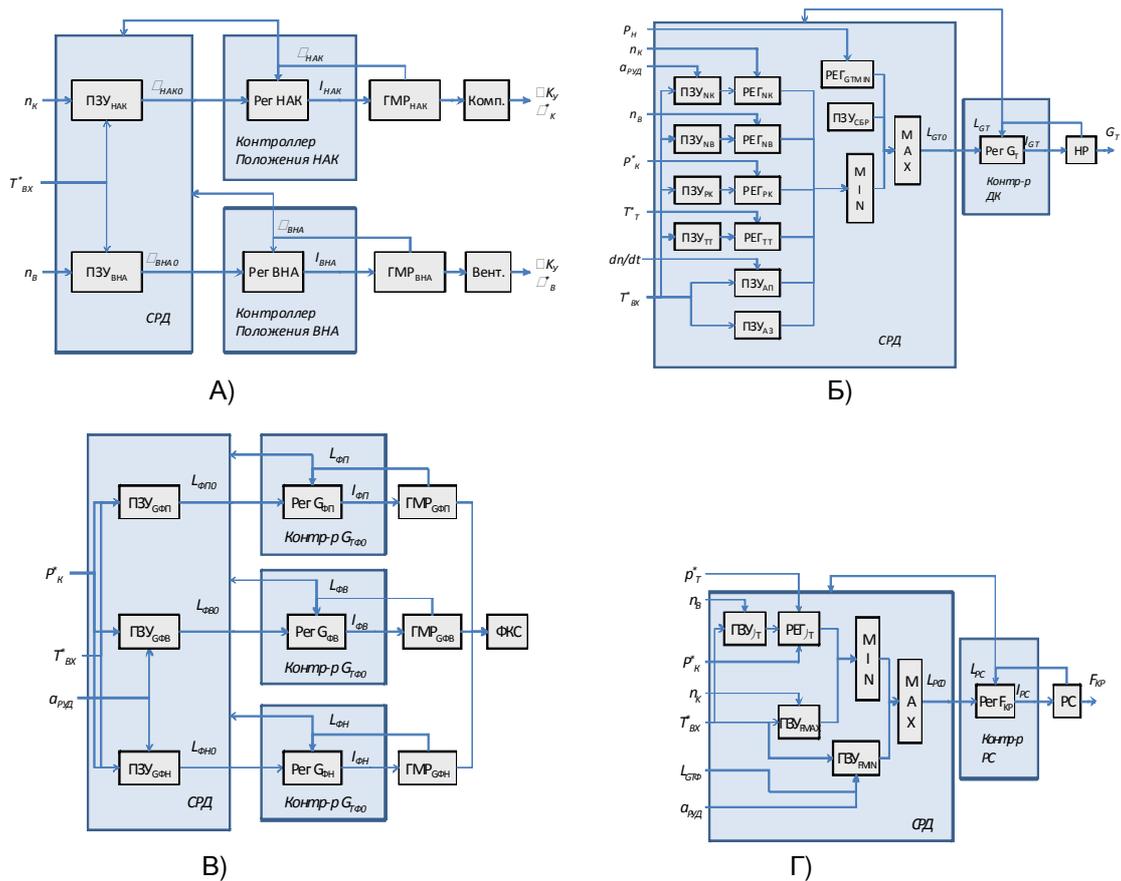


Рис.3. Обобщенные функциональные схемы контуров управления:

А) – регулятор направляющих аппаратов компрессора; Б) – регулятор подачи топлива в основную камеру сгорания; В) – регулятор подачи топлива в форсажную камеру сгорания; Г) – регулятор положения реактивного сопла

Выводы

Применение предлагаемой технологии аппаратно-программного моделирования позволяет:

- существенно удешевить стендовое оборудование за счет использования серийно выпускаемого оборудования (PXI, cRIO) и сред разработки (LabView);
- сократить время разработки и доводки САУ за счет наличия возможности проверки алгоритмов управления и регулирования непосредственно на имитационной модели;
- сократить материальные затраты на полунатурные и натурные стендовые испытания САУ ГТД за счет отработки их “львиной” доли на отладочной САУ и математической модели.

Список литературных источников

1. Седристый В.А., Лозня С.В., Пустовой С.А., Степаненко И.И. Опыт разработки и применения интеллектуальных испытательных стендов авиационных газотурбинных двигателей при доводке цифровых САУ // Вісник інженерної академії України. – К.: Інженерна академія України. – 2009. – №1. – С.158-164.
2. Лозня С.В., Торхов М.И., Пустовой С.А., Седристый В.А., Черкасов Ю.В. Автоматизированная диагностика и настройка САУ при моторных испытаниях ТРДДФ// Вестник двигателестроения. – 2008. – № 3.– С. 176-181.
3. Лозня С.В., Пустовой С.А., Степаненко И.И. Удаленная автонастройка регуляторов при моторных испытаниях газотурбинных двигателей // Вісник інженерної академії України. – К.: Інженерна академія України. – 2009. – №2. – С.20-24.
4. Лозня С.В., Пустовой С.А. Разработка САУ ГТД со встроенными функциями поддержки имитации объекта управления// Науково-практична конференція “Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки” (Національний авіаційний університет, Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ, 17-18 червня 2010 р): Тез.доп. – К: НАУ. – 2010. – С.70.

Ключові слова: апаратно-програмне моделювання, замкнений цикл моделювання, імітатор газотурбінного двигуна, налагоджувальна система автоматичного керування, бортова система автоматичного керування, налагодження алгоритмів керування.

Key words: hardware-in-the-loop simulation, simulation closed loop, turbine engine simulator, debugging automatic control system, on-board automatic control system, control algorithms adjustment.