

УДК 681.518.5

**Д.И. ВОЛКОВ, В.П. КОМАРОВ, В.В. НЕРУБАССКИЙ**

АО «Элемент», Одесса, Украина

## РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМИ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО СИМУЛЯТОРА

*Описаны основные подходы к реализации программного симулятора совместной работы двухдвигательной силовой установки вертолета под управлением цифровых систем автоматического управления. Отличительной особенностью является использование в симуляторе тех же исходных текстов, которые входят в состав рабочего ПО блоков САУ. В статье не только показана техническая и экономическая целесообразность применения таких симуляторов в процессе жизненного цикла разработки ПО, но, более того, утверждается, что это на сегодняшний день является его обязательной и неотъемлемой практикой при сертификации ПО блоков САУ.*

**Ключевые слова:** программный симулятор, система автоматического управления, регулятор двигателя унифицированный, разработка программного обеспечения, имитационное моделирование.

### Введение

Разработка цифровых систем автоматического управления (САУ) ГТД на современном этапе развития [1] не обходится без имитационного моделирования на различных стадиях и с различным уровнем вовлечения аппаратных средств, начиная с моделирования в специализированных пакетах типа Matlab & Simulink, и заканчивая полунатурным моделированием с вовлечением отдельных узлов, входящих в состав реальных ГТД.

При этом часто встречающаяся ошибка — это отдельное моделирование совместной работы ГТД и САУ в специализированных пакетах и отдельная разработка ПО САУ. Естественно, на определенных этапах производится сравнение работы модели и реального программного обеспечения (ПО), вносятся корректировки в то и другое, иногда с феерическими баталиями между «теорией» и «практикой».

Рассмотрим, как построить эффективный мостик между «академическим» моделированием [2] и инженерной разработкой ПО, сократив затраты на их согласование, а также рассмотрим параллельно получаемые бонусы.

Этот мостик — программный симулятор регулятора двигателя унифицированного (ПС/РДУ).

### 1. ПС/РДУ как инструментальное средство

Разработка ПС/РДУ ведется на АО «Элемент» в рамках перспективной программы создания унифицированного электронного регулятора для семейства ГТД ГП «Ивченко-Прогресс» и

АО «Мотор Сич»: АИ-450, АИ-450М, АИ-450С, МС-14, МС-500В, ТВ3-117ВМА-СБМ1В, Д-436-148 и др. ПС/РДУ имитирует работу (рис. 1):

- от одного до четырех каналов управления двигателем (программной составляющей модуля ЦПУ) блока РДУ;

- силовой установки (СУ) в составе одного или двух ГТД совместно с необходимыми внешними устройствами (стартер, насос-дозатор, редуктор, винт, направляющие аппараты компрессора и др.);

- аппаратной функции обмена между каналами управления двигателем блоков РДУ, программного обмена модулей имитатора СУ и РДУ с контрольно-проверочной аппаратурой (КПА).

Обмен информацией с КПА выполняется по локальной сети ПК. Запуск ПС/РДУ и КПА выполняется независимо друг от друга. Обмен информацией между модулями ПС/РДУ (сигналы датчиков двигателя и СВС и управляющие сигналы) и модулей с КПА обеспечивают компоненты модуля управления информационными потоками. Модуль обеспечивает имитацию физических каналов связи. Модуль позволяет оператору имитировать нарушение межканального обмена между каналами модуля РДУ. Имитация повреждений датчиков двигателя и/или каналов связи с ними выполняется средствами КПА.

Визуальный интерфейс ПС/РДУ реализован в виде минимального количества диалоговых окон (рис. 2 и 3).

Характерной особенностью реализации является то, что для имитации работы каналов

управления используется оригинальное рабочее (бортовое) ПО. Допускается лишь наличие минимального количества включенных в код блоков условной компиляции, необходимых из-за несоответствия заголовочных файлов, особенностей компилятора и т.п. ПО КПА вообще применяется без изменений.

### 2. Область применения ПС/РДУ

В первую очередь стоит отметить, что программный симулятор создается на начальной фазе разработки и одновременно позволяет как осуществлять моделирование системы, например, для опробования законов управления, структурной и параметрической оптимизации САУ, оценки качества управления, запасов устойчивости, так и использоваться при отладке и тестировании программного обеспечения. Таким образом любые изменения через систему управления версиями сразу находят отражение во всех областях: разработке законов управления и моделировании, разработке и тестировании ПО. При этом использование исходных текстов на C++ нисколько не противоречит использованию Matlab и, при этом, позволяет использовать программные отладчики, необходимые разработчикам ПО.

Применение этого подхода также позволяет снизить зависимость от готовности аппаратных средств и их количества, что одновременно ускоряет разработку ПО, снижает ее трудоемкость и повышает качество.

Дополнительный эффект возникает благодаря возможности передавать продукт многочисленным группам пользователей системы, начиная от разработчиков двигателя и заканчивая ОТК. Таким образом, упрощается обучение персонала работе с системой, с КПА, появляется возможность опробовать методики приемки электронных блоков, методики стендовых и летных испытаний.

Человек, который сжег на стенде или, более того, в воздухе десятки тонн керосина, загнал несколько двигателей, потратил годы рабочего времени, иногда даже рисковал жизнью, для того, чтобы подобрать условия, необходимые для проверки конкретного режима, гарантировано оценит возможность сделать все то же самое предварительно, сидя в уютном кабинете с чашкой кофе. Да и не все режимы можно проверить в реальных условиях.

Здесь, возможно, у кого-то возникнет ощущение, что авторы предлагают заменить полунатурное моделирование чисто программным или, что описанные сценарии возможны с использованием стенда-имитатора. Нет, полунатурное моделирование со стендом-имитатором никто не упраздняет. Без него невозможно проверить функционирование измерительных

каналов и каналов управления, их влияние на алгоритмы управления. Однако, как было сказано ранее, использование программного симулятора снимает ограничения, связанные с аппаратурой.

Да, со стендом-имитатором все перечисленное тоже можно делать. Но симулятор может быть реализован на ранних этапах, когда говорить о САУ еще не приходится. Изготовление копии ПО обходится на несколько порядков дешевле, чем поставка комплекта блоков, стенда-имитатора, кабелей с разъемами, КПА. А с учетом распределенного характера разработки, добавляются еще затраты на логистику.

Откроем маленький секрет – при правильном подходе, т.е. при заимствовании ПО стенда-имитатора, ПО блоков управления и ПО КПА, симулятор минимум на 90 % состоит из заимствованного кода, а стоимость его разработки вполне умеренная. Окупается он уже в процессе отладки ПО. Все остальное уже чистая прибыль.

Итак, ПС/РДУ используется:

- как программный инструмент проверки и отладки инженерных алгоритмов и алгоритмов управления двигателем до использования в аппаратуре (при отсутствии блока РДУ) в комплекте с установленной на ПК средой разработки CodeGear C++ Builder @ 2007;

- как инструмент интеграционного тестирования ПО модуля ЦПУ блока РДУ на соответствие требованиям к ПО;

- как инструмент уточнения статической и динамической модели силовой установки (СУ) по результатам испытаний до внесения изменений в ПО стенда-имитатора СИ-450М;

- как инструмент уточнения моделей внешних устройств СУ (стартер, насос-дозатор, редуктор, винт, направляющие аппараты компрессора и др.) по результатам испытаний до внесения изменений в ПО стенда-имитатора СИ-450М;

- автономно разработчиками двигателей и летательных аппаратов (ЛА), как инструмент проведения экспериментов с регулировками, в том числе нештатных режимов эксплуатации до использования на ЛА;

- как тренировочное средство подготовки специалистов для проведения испытаний блока РДУ при выпуске из производства.

### Выводы

Программный симулятор – это первое обязательное звено в процессе разработки ПО САУ ГТД наравне с полунатурным стендом-имитатором, которое способствует повышению качества разработки, снижению ее стоимости и времени. Считаем, что в той или иной форме наличие таких средств должно быть включено

в перечень обязательных при сертификации ПО.

#### Литература

1. Гуревич О.С. Состояние и перспективы развития систем автоматического управления авиационными газотурбинными двигателями [Текст] / О.С. Гуревич, ЦИАМ 2001-2005. Основные результаты научно-технической деятельности. // – М.: ЦИАМ, 2005, - с.267-270.

2. Епифанов С.В. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей [Текст] / С.В. Епифанов, Б.И. Кузнецов, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, В.А. Дюков, С.А. Кузьменко, Н.А. Рюмшин, А.А. Самецкий // – К.: Техника, 1998. - 321 с.

3. Оптимизация многомерных систем управления газотурбинными двигателями летательных аппаратов [Текст] / Под ред. А.А. Шевякова, Т.С.Мартьяновой // – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.

4. Волков Д.И. Аппаратно-программный комплекс для имитационного моделирования турбовального двигателя [Текст] / Д.И. Волков. // ОАО «Элемент» 2001-2007. Основные результаты научно-технической деятельности. Сборник научных трудов. – Одесса, 2008. - с. 141-143.

5. Волков Д.И. Создание стенда-имитатора авиационных двигателей для моделирования и разработки перспективных систем управления [Текст] / Д.И. Волков. Г.С. Ранченко // ОАО «Элемент» 2001-2007. Основные результаты научно-технической деятельности. Сборник научных трудов. – Одесса, 2008. - с.70-73.

6. Волков Д.И. Стендовый электронный регулятор авиационной двигательной установки [Текст] / Д.И. Волков. Н.Л. Голубев, Г.С. Ранченко // ОАО «Элемент» 2001-2007. Основные результаты научно-технической деятельности. Сборник научных трудов. – Одесса, 2008. - с. 67-69.

Поступила в редакцию 29.05.2015

#### **Д.І. Волков, В.П. Комаров, В.В. Нерубаський. Розробка та моделювання перспективних електронних систем керування авіаційними газотурбінними двигунами з використанням програмного симулятора**

*Описано основні підходи до реалізації програмного симулятора спільної роботи дводвигунової силової установки вертольота під управлінням цифрових систем автоматичного управління. Відмінною особливістю є використання в симуляторі тих самих вихідних текстів, які входять до складу робочого ПЗ блоків САУ. У статті не тільки показана технічна та економічна доцільність застосування таких симуляторів в процесі життєвого циклу розробки ПЗ, але, більше того, стверджується, що це на сьогоднішній день є його обов'язковою і невід'ємною практикою.*

**Ключові слова:** програмний симулятор, система автоматичного керування, регулятор двигуна уніфікований, розробка програмного забезпечення, імітаційне моделювання.

#### **D.I. Volkov, V.P. Komarov, V.V. Nerubaskiy. Turbine engine modern electronic control system research and development using software simulation**

*It is described the basic approaches to the implementation of the software simulator dual-engine helicopter powerplant common operation running under digital automatic control systems. A distinctive feature is the use of a simulator of the same sources code that are part of the ACS target software. The article not only shows the technical and economical feasibility of such simulations during the life cycle of the software development, but more than that, it is argued that this is by far his mandatory and integral practice.*

**Key words:** software simulator, automatic control system, unified engine control, software development, simulation modelling.