

УДК 519.24.001.5

Д.И. ВОЛКОВ¹, В.А. КАЧУРА², А.А. РАЗЛАДСКИЙ³

¹ОАО «Элемент», Одесса, Украина

²ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина

³ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

ИМИТАЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ И САМОЛЁТНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрены вопросы имитации двигателей и самолётных агрегатов для отладки информационного взаимодействия агрегатов, алгоритмов синхронизации режимов работы двигателей в силовых установках ЛА, которые с целью сокращения сроков и материальных затрат могут быть использованы в процессе их доводки и серийного производства

имитация двигателя, двигательные и самолётные агрегаты, стендовые испытания

Введение

При стендовых испытаниях авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) кроме задач отображения и регистрации термогазодинамических параметров работы, возникает необходимость имитации условий работы ГТД и его системы автоматического управления (САУ), максимально приближённых к условиям на борту летательного аппарата (ЛА) в процессе полёта.

Это обусловлено тем, что по техническим и экономическим причинам полнатурная имитация (использование реальных агрегатов) ограничена. Поэтому значительную актуальность приобретает задача синтеза и применения при стендовых испытаниях специальных устройств-имитаторов.

Учитывая то, что в современных ГТД и ЛА используются электронные САУ с использованием агрегатов имеющих цифровое управление и цифровые и аналоговые электрические выходные сигналы, которые позволяют проводить межагрегатный цифровой обмен информацией, то их имитация, в большинстве случаев, может выполняться на уровне выдачи электрических сигналов, в том числе осуществления обмена информацией с другими взаимодействующими устройствами по соответствующим протоколам информационного обмена с помощью динамической математической модели в реальном

масштабе времени.

Формулирование проблемы. Имитируемые параметры, сигналы и команды можно условно разделить на следующие группы:

– «информационные» – параметры, сигналы и команды, которые не используются в агрегате-приёмнике, а предназначены для регистрации в накопителе или предназначенные для ретрансляции;

– «контроля» – параметры, сигналы и команды которые используются в алгоритмах контроля состояния двигателя и агрегатов, входящих в состав САУ;

– «управления» – параметры, сигналы и команды которые используются в алгоритмах управления двигателя и агрегатов, входящих в состав САУ.

Имитация первой группы параметров необходима для проверки каналов информационного обмена и работы накопителя (регистратора). В условиях двигательного стенда актуальность решения данной задачи невысока, так как проверка возможна в условиях изготовителя агрегата.

Имитация второй группы параметров необходима для проверки работы встроенной системы контроля (ВСК) состояния двигателя и его систем. Выполнение такой проверки не всегда возможно вне двигательного стенда, так как алгоритмы контроля динамических характеристик двигателя, должны

проверяться в реальном масштабе времени. Стоит отметить, что данная проверка может быть выполнена при помощи стенда-имитатора на основе математической модели двигателя, однако в большинстве случаев идентификация модели сопряжена с некоторыми допущениями и упрощениями, что обуславливает некоторую неадекватность модели относительно реального ГТД.

Имитация третьей группы параметров необходима для проверки работы САУ. Для ряда контуров, таких, как синхронизация фазы вращения самолётных винтов, синхронизация мощностей двухдвигательной силовой установки вертолёта, необходимо моделировать совместную работу нескольких ГТД, нагрузки, а также связи между ними. Для этой задачи обязательными являются, как отладка алгоритмов управления на стенде имитатора, так и их проверка на двигательном стенде. Использование стенда-имитатора необходимо, так как сложность алгоритмов управления делает практически невозможным их отладку на двигательном стенде (требует значительных финансовых и временных затрат). Затем, по результатам испытаний на двигательном стенде, полученные алгоритмы требуют уточнения, так как при моделировании прибегают к значительным упрощениям.

В литературных источниках в значительной мере освещены вопросы организации измерения и регистрации параметров, определения на их основе характеристик ГТД [1 – 3]. Однако задачи имитации агрегатов и совместно работающих смежных двигателей рассмотрены недостаточно. Целью настоящей статьи является рассмотрение теоретических и практических результатов и их синтезу - по вопросам связанным с применением имитаторов при моторных стендовых испытаниях силовых установок на базе ГТД, а также двигательных и агрегатов ЛА.

Решение проблемы

Итак, одной из важных областей применения рассмотренных имитаторов является отладка и проверка алгоритмов синхронизации работы ГТД, работающих на общую нагрузку. Рассмотрим в качестве примера вопрос отладки алгоритма синхронизации мощностей (крутящих моментов) на валах свободных турбин турбовальных двигателей (ТВаД), работающих в составе двухдвигательной силовой вертолётной установки (рис. 1).

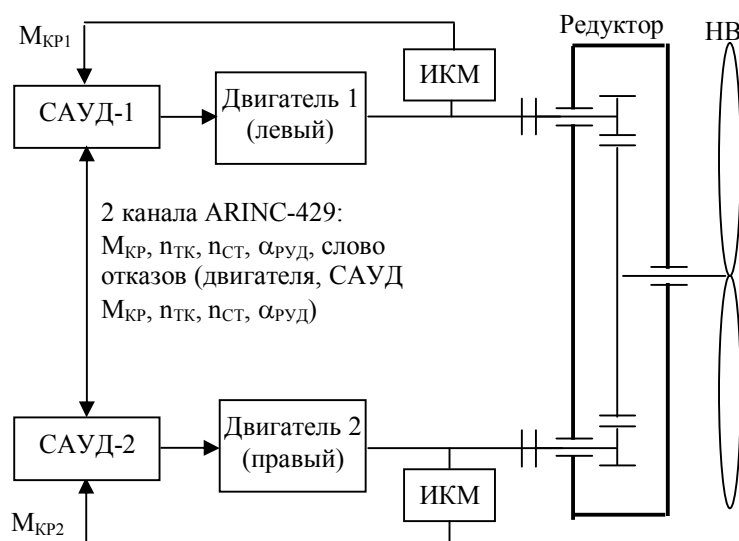


Рис. 1. Структура двухдвигательной силовой установки вертолёта

Для управления современными ГТД применяются электронные САУ, в том числе с полной ответственностью (FADEC).

Взаимодействие между данными системами выполняется по цифровым каналам информационного обмена (например, с использованием протокола ARINC-429). Поэтому имитатор (рис. 2) взаимодействует с САУ по цифровому каналу информационного обмена. В алгоритме синхронизации используются параметры работы двигателя, характеризующие режим его работы, а также диагностические признаки технического состояния двигателя и его САУ. Наилучшим параметром, характеризующим режим работы ТВаД, является мощность на валу свободной турбины. В 2-х двигательной силовой установке свободные турбины двигателей при совместной работе механически связаны с несущим

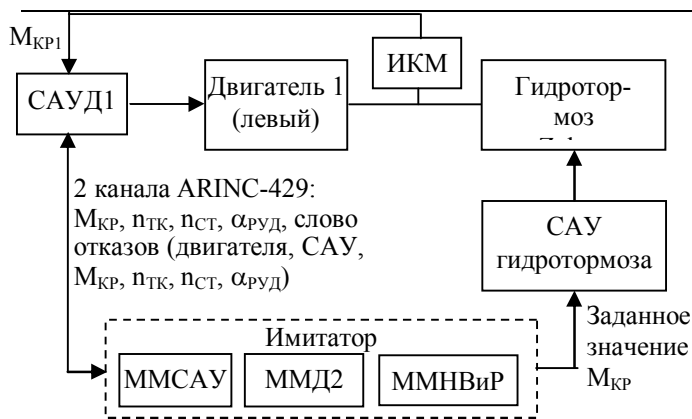


Рис. 2. Структура испытательного стенда для отладки алгоритма синхронизации двухдвигательной силовой установки

винтом вертолёта через обгонные муфты и дифференциальный редуктор. В качестве измерителя мощности используется измеритель крутящего момента (ИКМ), показания которого $M_{кр}$ могут пересчитываться в значение мощности. Синхронизация крутящих моментов на валах СТ должна выполняться с высокой точностью, так как на высоких режимах превышение $M_{кр}$ приводит к значительному ускорению выработки ресурса. Например, в [4] показано, что разбаланс мощностей между двумя двигателями на 1,5 % приводит к уменьшению ресурса перегруженного двигателя на 15 %.

Имитатор выполняет моделирование работы САУ второго двигателя (ММСАУД), самого двигателя с его агрегатами (ММД2) и несущего винта (НВ) с редуктором (ММНВиР). Взаимодействие с САУ первого двигателя выполняется по каналу ARINC-429. Физическая имитация нагрузки выполняется с использованием гидротормоза Zolner.

Кроме имитации смежных двигательных установок важной является имитация двигательных и самолётных электронных агрегатов. Применение имитатора позволяет решить следующие задачи:

- выполнению испытаний двигателя на всех режимах работы, в том числе за счёт формирования условий, разрешающих выход на ЧР;
- обеспечению условий формирования признаков для разрешения выполнения запуска двигателя;
- проверке выполнения условий контроля и диагностирования путём имитации отказов работы

агрегатов;

- снижению затрат при организации двигательного стенда, так как отпадает необходимость разработки и изготовления 2-х моторного стенда, и приобретения второго двигателя, и второго комплекта самолётных агрегатов и датчиков;

- снижению затрат по моторресурсам топливу при проведении стендовых моторных испытаний.

При решении перечисленных задач возникают, главным образом, следующие проблемы:

- необходимо обеспечить персоналу испытательного стенда (мотористам) возможность интерактивного задания значений параметров и состояний дискретных сигналов, передаваемых от имитируемых агрегатов;
- необходимо обеспечить отображение и регистрацию принимаемых (передаваемых) из двигательных систем значений параметров;
- необходимо в реальном времени обеспечить измерение значений физических параметров, которые измеряются реальными агрегатами;
- необходимо в реальном времени моделировать работу агрегатов, исполнительных механизмов и смежных двигателей.

Решение первых двух задач требует наличия терминала и регистратора. Для измерения физических параметров необходима установка датчиков и соответствующих измерительных преобразователей. Таким образом, техническая сложность имитатора и объём затрат на проектирование имитатора в некоторых случаях может превысить стоимость установки реальных агрегатов.

Указанная проблема в полной мере решается за счёт интеграции имитатора со стендовым программно-техническим комплексом (ПТК) испытаний двигателей (рис. 3). Как показывает практика, ПТК выполняет измерение тех же параметров, что и бортовыми системами, причём нередко с большей точностью. Кроме того, в составе ПТК присутствуют

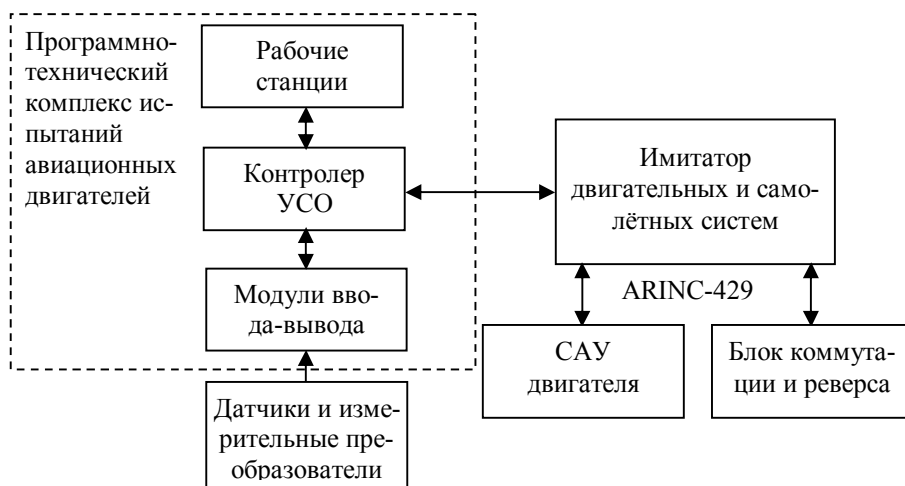


Рис. 3. Структура аппаратных средств испытательного стенда Д-436-148

все необходимые средства для интерактивного взаимодействия с пользователем и для регистрации параметров.

Информационное взаимодействие между ПТК и имитатором выполняется по цифровому каналу информационного обмена. Для обеспечения информационной совместимости с ПТК, а также с целью упрощения разработки и последующей корректировки программного обеспечения имитатор был реализован на базе одноплатного IBM-совместимого компьютера. Взаимодействие имитатора с САУ двигателя и блоком контроля регулятора обеспечивается платой сопряжения ARINC-429. Имитатор работает под управлением MS DOS.

Заключение

Практика применения имитаторов, смежных двигателей, двигательных и самолётных агрегатов, описанных в настоящей статье, позволила снизить затраты на испытание ГТД и расширяет возможности испытательного стенда.

Обеспечивается возможность отладки алгоритмов синхронизации работы смежных двигателей. Качество работы данных алгоритмов для вертолётных двигателей уменьшает выработку их ресурса.

Несмотря на то, что рассмотрены только два варианта практического применения таких имитато-

ров, указанная задача актуальна для большинства двигательных стендов. Причём, в рассмотренных примерах приведено решение наиболее распространённых задач при испытаниях авиационных двигателей. Поэтому данные подходы могут быть применены и на других испытательных стендах.

Литература

1. Добрянский Г.В., Мартыянова Т.С. Динамика авиационных ГТД. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
2. Система сбора информации для работы на переходных режимах / А.И. Кузнецов, А.Л. Ставицкий, А.Р. Саев, О.Н. Винник, Н.Г. Борченко // Авиадвигатели XXI века: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф. (6 – 9 декабря 2005 г.): Сб. тез. – М.: ЦИАМ, 2005. – Т. 3. – С. 228-229.
3. Клинский Б.М. Обоснование технических требований к методике проведения испытаний в ТБК ТРДД СВ // Авиадвигатели XXI века: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф. (6 – 9 декабря 2005 г.): Сб. тез. – М.: ЦИАМ, 2005. – Т. 3. – С. 240-241.
4. Олейник А.В. Сравнительная оценка погрешностей методов мониторинга выработки ресурсов авиационных газотурбинных двигателей // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 8 (24). – С. 40-44.

Поступила в редакцию 5.06.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Герлига, Одесский национальный политехнический университет, Одесса.