

УДК 681.5

Л.Л. ЯЦКО, Р.А. ТРОФИМЕНКО, В.Д. КОРОЛЮК

ОАО «НТК «Электронприлад», Киев, Украина

**ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОЙ ТУРБИНЫ  
В БЛОКЕ БУК-МС2 САУ ВГТД АИ-450-МС САМОЛЕТА АН-148**

Рассмотрено построение системы контроля и защиты современных авиационных двигателей от нештатных ситуаций.

**модуль автоматической защиты силовой турбины, авиационный двигатель, нештатная ситуация, самолет АН-148,**

**Введение**

В настоящий момент актуальной является задача защиты двигателя от разрушения вала ротора силовой турбины, возникающая при рассмотрении построения системы контроля и защиты современных авиационных двигателей от нештатных ситуаций [1].

В открытой литературе данных об инцидентах с авиадвигателями, связанных с разрушением роторов, нам найти не удалось, но, судя по тому, что данный пункт является обязательным в «Технических заданиях на разработку электронных двигательных регуляторов», а на Западе такие устройства применяются давно и очень широко, проблема действительно стоит очень остро.

**Постановка задачи.** В соответствии с требованиями Технического задания на БУК-МС2 необходимо в рамках проекта разработать независимый модуль автоматической защиты силовой турбины с отдельным источником питания и запитанный от отдельной самолетной шины, со своим контролем и формирователями сигнала на клапана подачи рабочего топлива.

**Изложение основного материала**

При условии  $n_{СТ} = (105 \pm 1)\%$  должна выдаваться команда на прекращение подачи рабочего топлива ( $i_{PT1AZCT}$ ,  $i_{PT2AZCT}$ ) за время не более 0,03 с (!!!), с последующим снятием при  $n_{СТ} < 68\%$ .

Чувствительность входного каскада модуля АЗСТ должна быть не хуже  $(0,5 \pm 0,2)$  В. Время формирования признака и команды на прекращение подачи рабочего топлива подтверждается расчетом.

При срабатывании АЗСТ (появлении сигналов  $i_{PT1AZCT}$ ,  $i_{PT2AZCT}$ ) – резервный контур управления от блока, блок должен формировать информационные сообщения для предупреждения экипажа о нештатном останове двигателя и регистрации в бортовой системе технического обслуживания для дальнейшего анализа наземным техническим персоналом, а также сформировать на прекращение подачи рабочего топлива ( $i_{PT1}$ ,  $i_{PT2}$ ) – основной контур управления блока, с последующим снятием при  $n_{TK} \leq 8\%$  и  $n_{СТ} \leq 6\%$ , и иные команды управления исполнительными механизмами ВСУ.

Функциональная схема организации защиты силовой турбины ВГТД АИ-450-МС представлена на рис. 1.

Порог срабатывания модуля АЗСТ настроен на более высокий уровень, чем уровень, установленный программно в устройстве центрального вычислителя. Приоритет в останове двигателя по предельной частоте раскрутки ротора силовой турбины отдается микропроцессорной системе, если же градиент роста оборотов очень велик, что характерно для разрушенного вала, то срабатывает независимый

защитный модуль. Таким образом, модуль является надсистемной защитой силовой турбины.

В процессе работы над проектом БУК-МС2 остро стал вопрос: «Как остановить двигатель в случае возникновения фатальной ошибки?». Такой ошибкой может быть зависание процессорной системы из-за сбоев в программном обеспечении или источнике питания, отказ управляющих формирователей в основном тракте управления и т.д. Мы решили нарастить функции АЗСТ дополнительными функциями, такими как останов ВСУ при появлении сигнала БУК ОТКАЗ, останов ВСУ при одновременном пропадании питания по левому и правому бортам, а также аварийный останов ВСУ по кнопке АВАРИЙНЫЙ ОСТАНОВ. На рис. 2 приведена функ-

циональная схема дополнительных защитных функций модуля АЗСТ.

Реализованное по такой функциональной схеме устройство Входной сигнал Nct3 (Nct4) в виде частоты поступает на вход усилителя-ограничителя УО1 (УО2), на выходе которого получаем меандр той же частоты с амплитудой 10 В.

Преобразованный сигнал поступает на преобразователь частота-напряжение П1 F/U (П2 F/U), на выходе которого получаем напряжение прямо пропорциональное частоте входного сигнала.

Полученное напряжение поступает на вход порогового устройства ПУ1 (ПУ2), которое обеспечивает пороги срабатывания и отпускания модуля при заданных величинах частоты входного сигнала.

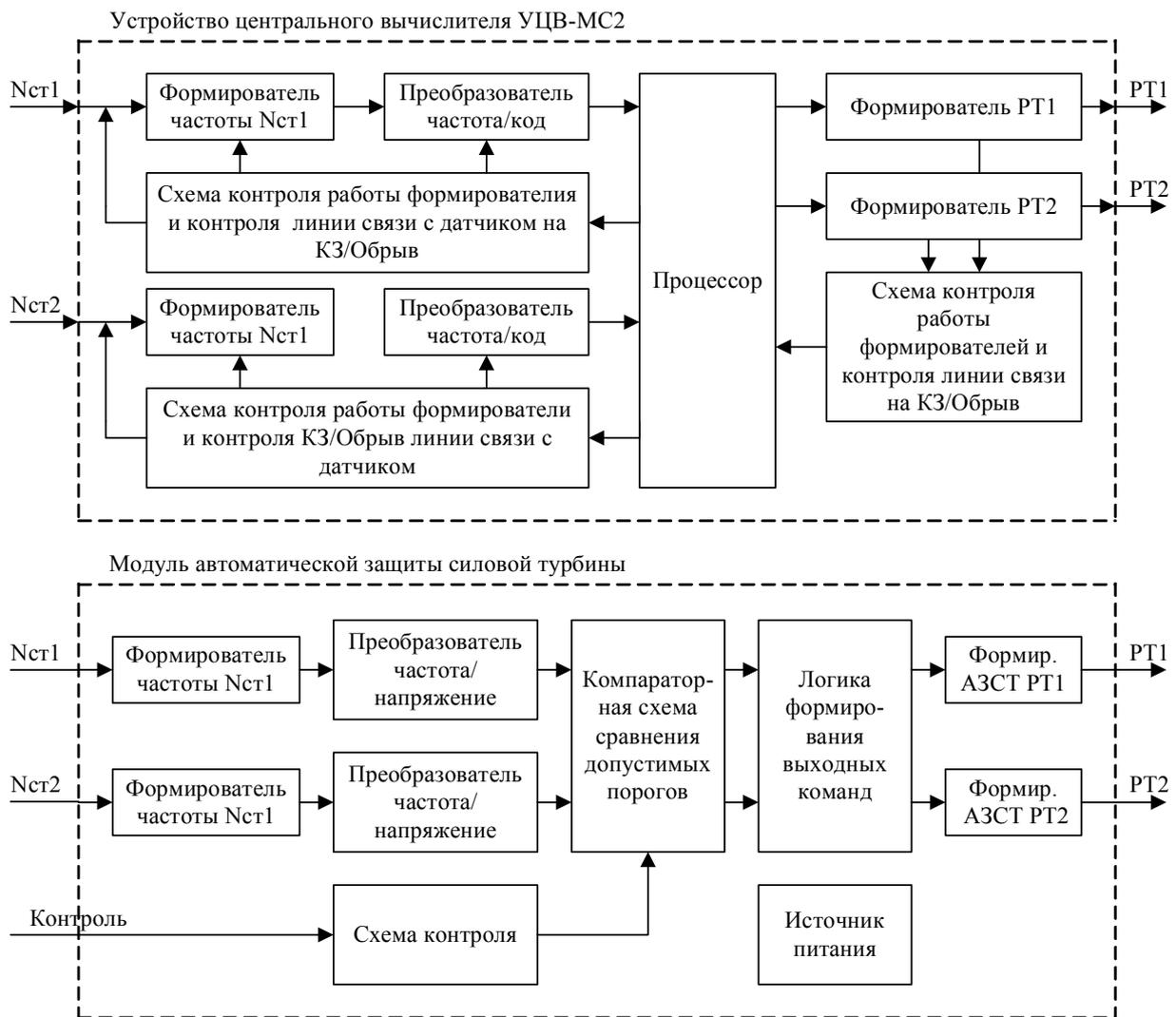


Рис. 1. Функциональная схема защиты силовой турбины ВГТД АИ-450-МС

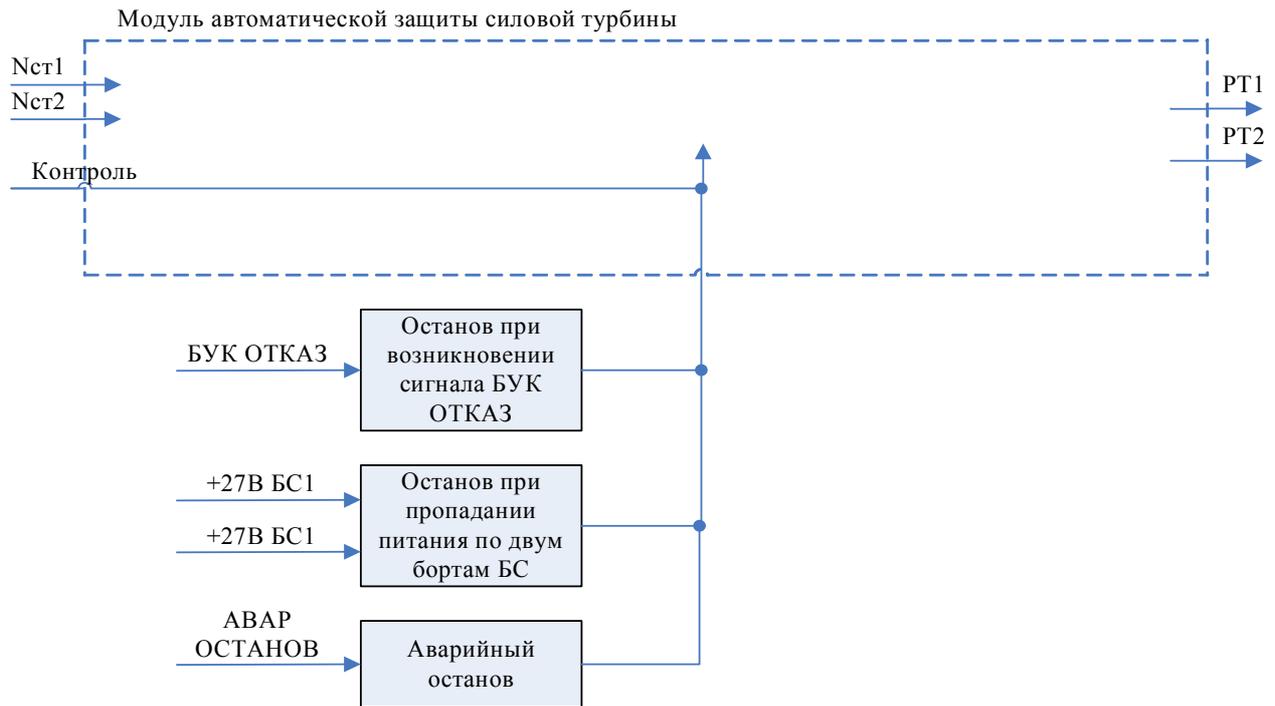


Рис. 2. Дополнительные защитные функции, реализуемые модулем АЗСТ

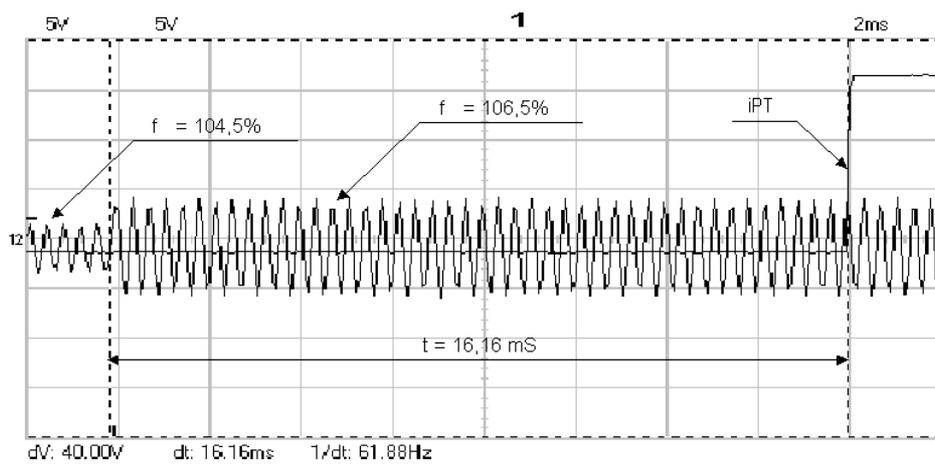


Рис. 3. Проверка быстродействия срабатывания АЗСТ в лабораторных условиях

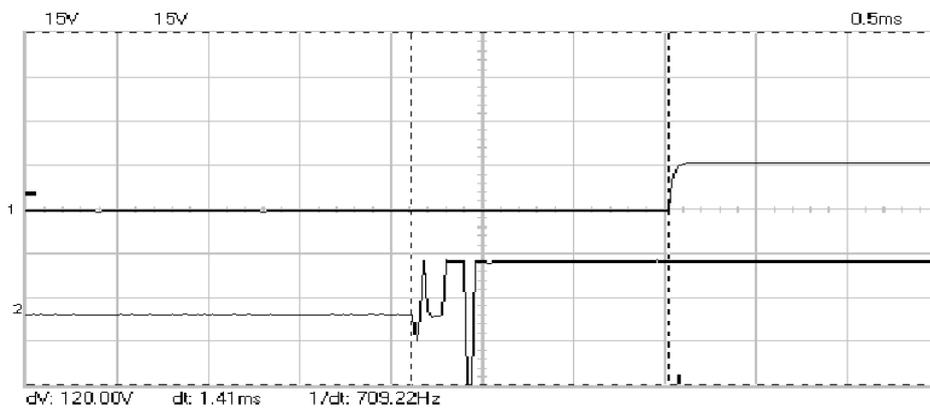


Рис. 4. Проверка быстродействия срабатывания АЗСТ при выполнении аварийного останова

Ключевая схема Кл.1 (Кл2) обеспечивает выдачу напряжения +27 В в цепь РТ1 (РТ2) при наличии на входе лог."1".

Источником сигналов являются синусоидальный сигнал с датчиков оборотов с характеристиками:

- диапазон частоты 0 – 5000 Гц;
- амплитуда сигнала 0,5 – 15 В.

Пороги выдачи команд РТ1, РТ2 и их снятие в диапазоне температур от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$  согласно ТЗ следующие:

- а) при работе (в полете):
  - срабатывание  $105\% \pm 1\%$ , что соответствует частоте  $2724,5 \text{ Гц} \pm 26 \text{ Гц}$ ;
  - отпускание менее 9%, что соответствует частоте 233,5 Гц;
- б) при контроле (на земле):
  - срабатывание  $50\% \pm 1\%$ , что соответствует частоте  $1297 \text{ Гц} \pm 26 \text{ Гц}$ ;
  - отпускание менее 9%, что соответствует частоте 233,5 Гц.

В процессе дальнейшей опытной эксплуатации модуля в составе САУ ВГТД АИ-450-МС на самолете АН-148 мы обнаружили, что данное устройство является идеальным сторожем при возникновении отказов в системе топливопитания двигателя. Отказы насоса-дозатора, при которых терялось управление расходом топлива, возникали несколько раз, при этом они очень быстро парировались модулем АЗСТ.

Такие отказы характеризуются тем, что топливо начинает неконтролируемо литься в камеру сгорания, при этом градиенты роста оборотов хотя и ниже, чем теоретические, но тем не менее настолько велики, что дискретность измерения процессорной системы не позволяет ей оперативно отреагировать на такого рода отказы.

На рис. 3 показан график, полученный в ходе лабораторных исследований, иллюстрирующий время срабатывания АЗСТ. Изменение амплитуды частотного сигнала иллюстрирует момент изменения частоты. Срабатывание модуля привязано к частоте входного сигнала, и изменение амплитуды является удобной точкой привязки для отсчета времени. Быстродействие модуля, при скачкообразном изменении частоты входного сигнала, составила 16,16 мс, при разрешенных по ТЗ – 30 мс.

Быстродействие срабатывания модуля при нажатии на кнопку АВАРИЙНЫЙ ОСТАНОВ (рис. 4) также составило 1,41 мс.

Нашими специалистами не были зафиксированы случаи ложного срабатывания (останова ВГТД от АЗСТ) модуля ни во время испытаний на электромагнитную совместимость во время межведомственных испытаний ни в процессе ЛКИ самолета АН-148.

## Выводы

Таким образом, в результате работ по разработке САУ ВГТД АИ-450-МС, специалистами нашего предприятия была разработана защитная функция, соответствующая устройству с отличными показателями надежности и быстродействия.

## Литература

1. Технический отчет по результатам отработки модуля АЗСТ во время ЛКИ АН-148. – К.: НТК «Электронприлад», 2007. – 340 с.
2. РЭ на блок БУК-МС2, 8ИЗ.035.107 РЭ.

*Поступила в редакцию 28.05.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.