

УДК 65.011.56

А.И. ВАСИЛЕНКО, И.И. КОСТЯН, С.П. СЕРГЕЕВ

ПАО «Сумское НПО им.М.В. Фрунзе», Украина

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ ОТКАЗА КАНАЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ И РЕАКЦИЯ НА НЕГО САУ и Р АГРЕГАТА

*Проведен аналитический обзор документации производителей ГТД и документации производителей САУ и Р с целью анализа подходов к решению вопроса формирования признака отказа канала, а также реакции на отказ канала в программном обеспечении САУ и Р. Приведен обзор алгоритмов по определению значения параметра из двух и трёх датчиков. Рассмотрена реакция подпрограммы регулирования подачи топливного газа при отказе каналов измерения параметров работы ГТД. Сделаны выводы о необходимости: описания в документации производителя ГТД признака отказа канал., учета в алгоритмах управления работы как исправного так и неисправного датчиков; учета неисправности датчика при формировании признака аварийного останова; обеспечения безаварийной работы САУ и Р при выходе со строя отдельных датчиков.*

**Ключевые слова:** САУ и Р, отказ, канал измерений, газотурбинный двигатель, признак отказа.

### Введение

Приоритетным направлением деятельности ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» (далее ПАО) является изготовление и комплектная поставка технологического оборудования для нефтеперерабатывающей, газовой, химической и других отраслей промышленности. В 2011 году производственными цехами ПАО было отпущено 29 газоперекачивающих агрегатов, 6 энергоблоков суммарной мощностью 72МВт, 8 компрессорных установок на базе поршневых компрессоров в полной заводской готовности, в том числе с системами автоматического управления и регулирования (САУ и Р).

Поставленные САУ и Р и полевое оборудование комплектовались программно-техническими средствами (ПТС) мировых лидеров в области автоматизации объектов.

В течение последних лет в качестве приводов газоперекачивающих агрегатов (ГПА), турбокомпрессорных агрегатов (ТКА) и энергоблоков (ЭБ) применялись следующие газотурбинные двигатели (ГТД): НК-16СТ, НК-16-18СТ, НК-36СТ, ДТ70П, ДГ90Л2, ДГ90Л2.1, ДУ80, ПС90, ГТД-6,3/8РМ.

При поставке оборудование комплектовалось САУ и Р как собственной разработки, так и САУ и Р наших партнёров: ЗАО «НПФ «Система-Сервис», ЗАО «Система-Комплекс», «CCS Inc», ООО «Advantek Engineering», ЗАО «МетсоАвтоматизация» и других.

Одно из основных направлений повышения качества работы оборудования и непрерывного повышения удовлетворённости потребителей – обеспечить безопасную, безаварийную и эффективную работу

оборудования как в штатном режиме работы так и при выходе со строя каналов измерения технологических параметров, в том числе и параметров ГТД.

### 1. Анализ технической документации в части признака отказа канала

В технической документации производителей ГТД, поставляемых в качестве привода ТКА, ГПА и ЭБ, имеют место три подхода к описанию признаков отказа канала:

1. По каждому каналу измерения параметров двигателя подробно описана логика начала и окончания разрешения контроля каналов, формирования признаков отказов каналов измерения как аналоговых и дискретных параметров, так и исполнительных механизмов, а также определена реакция на них САУ и Р. При формировании признака отказа канала измерения параметров двигателя введён градиентный контроль для каналов измерения оборотов роторов и температуры газов перед силовой (свободной) турбиной (СТ);

2. Отказ канала диагностируется, в основном, по выходу за границы рабочего диапазона.

При отказе канала выводится информационное сообщение и подается звуковой сигнал. «Стратегией выживания» САУ и Р предусмотрено замораживание последнего достоверного значения при выходе со строя датчиков температуры воздуха на входе в двигатель, давления газа на входе и выходе дозаторов топливного газа. При отказе датчиков вращения роторов или температуры газов за турбиной низкого давления (ТНД) предусмотрен аварийных останов.

3. Диагностика отказа канала и реакция на нее САУ и Р не описывается.

## 2. Алгоритм определения значения параметра при использовании нескольких датчиков

С целью обеспечения безаварийной работы установки для наиболее важных параметров ГТД используются дублированные и троированные датчики. При этом важно определить алгоритм определения значения параметра при использовании двух и трёх датчиков. При использовании двух датчиков и их исправности наиболее распространённым на сегодняшний день есть нахождение среднеарифметического значения. Более предпочтительным с точки зрения САУ и Р является алгоритм применения признаков «основной/резервный». Преимущества использования указанного алгоритма:

- при наличии шумов в одном из каналов, например, измерения оборотов вращения ротора вероятность флуктуации селектированного сигнала уменьшается в 2 раза;

- при диагностике отказа канала измерения, например, по градиенту;

- возможность переключиться на другой канал с мнемосхемы операторского интерфейса при визуальном определении шумов в канале измерения или недостоверности показаний;

- для выполнения работ в цепях указанного датчика.

При использовании трёх датчиков измерения значения параметра используются следующие алгоритмы определения значения сигнала:

- выбирается один исправный при диагностике неисправности двух других;

- среднее арифметическое из двух исправных каналов;

- основной, резервный 1, резервный 2;

- определяется среднее арифметическое троих исправных каналов, отбрасывается значение сигнала имеющего наибольшее отклонение от среднего, а из двух оставшихся вычисляется среднее арифметическое.

При эксплуатации агрегата или ЭБ, имеющие место штатные и нештатные ситуации качественно оценивают применённую логику формирования признаков, детальность разработки алгоритмов и т.д.

Как видно из рис. 1, во время работы ГПА проявились шумы в одном из каналов измерения оборотов турбины высокого давления (ТВД), с амплитудой 10-20 об/мин за один цикл пересчёта базы контроллера. При работе ГПА в рабочем режиме имеющаяся нестабильность не отражалась на работе ГТД, т.к. работал основной контур по оборотам силовой турбины (СТ), а значение оборотов ТВД было на значительном удалении от значения уставки ограничения. При выходе ГТД на режим холостого хода основным контуром регулирования становится контур поддержания оборотов компрессора высокого давления (КВД).

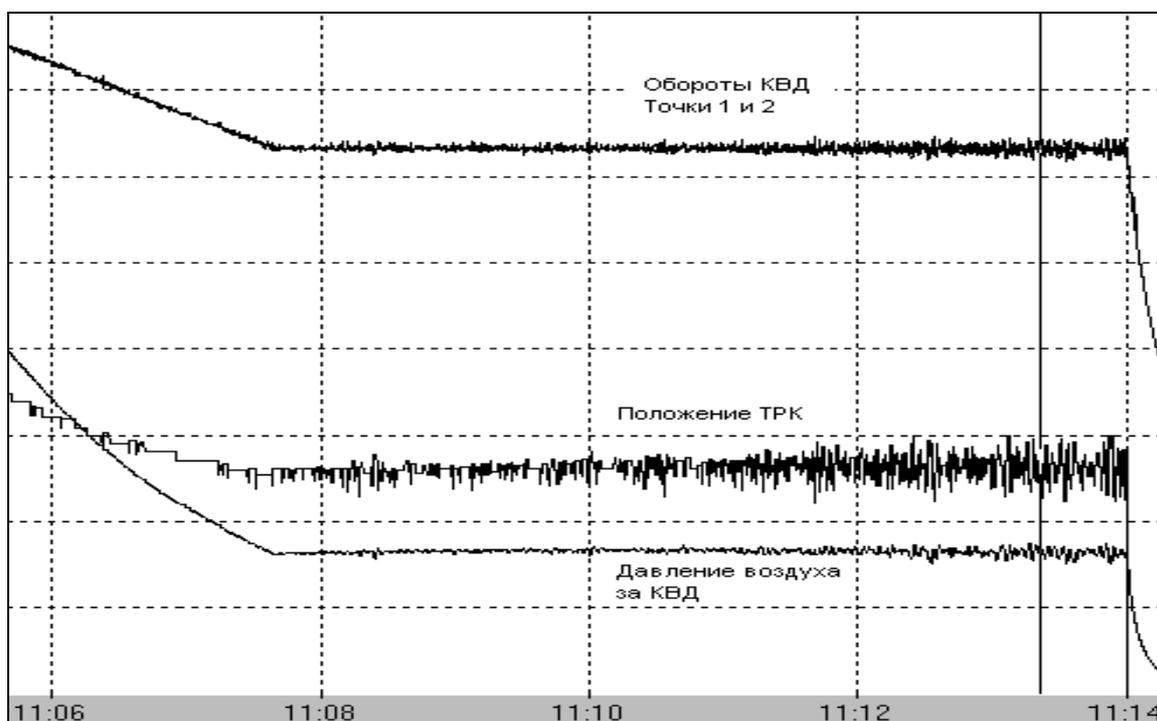


Рис. 1. Тренды оборотов роторов ГТД

На наш взгляд, ввиду неоптимального выбора алгоритма определения значения канала измерения оборотов по двум точкам, программный регулятор топлива получает недостоверную информацию и, соответственно, на нее реагирует, увеличивая амплитуду колебаний дозирующего элемента топливо регулирующего клапана (ТРК). Это с течением времени приводит к фактической раскачке ГТД и аварийным остановом ГТД.

С целью повышения надежности управления исполнительными механизмами ГТД необходимо основной алгоритм по одному из параметров ГТД, на случай его отказа, дублировать алгоритмом по другому параметру ГТД.

Так, например, клапана перепуска воздуха (КПВ) управляются по алгоритму в зависимости от оборотов ротора компрессора. При выходе из строя канала измерения оборотов алгоритм по оборотам дублируется алгоритмом по давлению воздуха за КВД. В случае отказа канала измерения оборотов алгоритм по давлению воздуха за КВД обеспечивает работу КПВ в штатном режиме.

### 3. Отказ канала и регулирование подачи топлива

Как правило, производители САУ и Р реализуют «стратегию выживания» по следующим параметрам:

- температуре воздуха на входе в двигатель;
- давлению топливного газа;
- оборотам СТ;
- значениям параметров ограничительных контуров (обороты ТНД, ТВД, температуре газа перед СТ, давление воздуха за КВД).

Основные реакции САУ и Р на отказ канала следующие:

- продолжение работы с отказавшим входом;
- использование последнего достоверного значения отказавшего параметра;
- замораживание режима;
- переход на другой, заранее определённый контур регулирования;
- переход на ручное управление;
- аварийный останов.

Наиболее полно «стратегия выживания» на отказ канала измерения и реакция на нее САУ и Р описаны в технической документации производителя САУ и Р компании «Compressor Controls Corporation».

САУ и Р производства ПАО более 10 последних лет комплектуется программным регулятором топлива разработки «Advantek Engineering», г. Москва. Разработанные нами САУ и Р успешно эксплуатируются на КС и ГТЭС на более чем 30 объек-

тах стран ближнего зарубежья. В программном регуляторе расхода топлива двигателя НК-16СТ при диагностике отказа регулируемых параметров реализуются мероприятия, направленные на обеспечение безопасной эксплуатации агрегатов и ЭБ, и возможность продолжения работы:

- при отказе канала частоты вращения ТНД – отключение регулятора оборотов ТНД, снижение ограничительной уставки по оборотам ТВД;

- при отказе канала частоты вращения ТВД или отказе канала измерения температуры газов перед СТ – отключение регулятора оборотов ТВД, снижение ограничительной уставки по оборотам ТНД;

- при отказе канала частоты вращения СТ – отключение регулятора оборотов СТ, снижение расхода топлива до минимального значения;

- при отказе измерения активной электрической мощности – переход на регулирование расхода топлива (расход топлива рассчитывается по заданной мощности).

### Заключение

Исходя из вышеизложенного, считаем, что в случае подробного описания в технической документации производителей ГТД диагностики отказа канала с указанием выхода значения сигнала за шкалу, отказа модулей преобразования и связи, градиентного контроля по скорости изменения значения, значения параметров режимов работы ГТД и реакции на него САУ и Р обеспечивается следующее:

- качественно улучшается и вносится определённая в работу САУ и Р;

- учитывается при формировании предупредительной и аварийной сигнализации а также в алгоритмах управления ГТД и логике работы исполнительных механизмов.

- повышается устойчивость (безаварийность) работы агрегата в целом;

- упрощается понимание работы САУ и Р эксплуатирующим персоналом и разработчиками ГТД независимо от применяемых технических средств ее реализации.

### Литература

1. Данилюк, А.Г. Учет особенностей программной реализации алгоритмов управления и перемещения запаздывания при разработке САУ на ЭВМ [Текст]/ А.Г. Данилюк, М.П. Туманов // Приборы и системы управления. – 1998. – № 11. – С. 64 – 66.

2. Дуэль, М.А. Автоматизированные системы управления энергоблоками с использованием средств вычислительной техники/ М.А. Дуэль. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 240 с.

3. Калявин, В.П. Надежность и диагностика [Текст] / В.П. Калявин. – С-Пб.: Элмор, 1998. – 230 с.

4. Куликов, Г.Г. К вопросу о контроле информационно-измерительных каналов в цифровых двухканальных САУ авиационных двигателей / Г.Г. Куликов, В.Ю. Арьков, Т.В. Брейкин // Изв.ВУЗов. Авиационная техника. – 1995. – № 4. – С. 75 – 79.

5. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергиенко. – С-Пб., Питер, 2002. – 608 с.

6. Черкесов, Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов [Текст]: учеб. пособие / Г.Н. Черкесов. – С-Пб.: Питер, 2005. – 479 с.

7. Ястребенецкий, М.А. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами [Текст]: учеб. пособие для вузов / М.А. Ястребенецкий, Г.М. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.

Поступила в редакцию 23.05.2012

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

### ФОРМУВАННЯ ОЗНАК ВІДМОВИ КАНАЛІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА І РЕАКЦІЇ НА НЬОГО САК І Р АГРЕГАТУ

*О.І. Василенко, І.І. Костян, С.П. Сергеев*

Наведено аналітичний огляд документації виробників ГТД і документації виробників САК і Р з метою аналізу підходів до рішення питань формування ознак відмови каналу а також реакції на відмову каналу програмного забезпечення САК і Р. Наведений огляд алгоритмів по виявленню значення параметра від двох або трьох датчиків. Розглянуто реакцію підпрограми регулювання подачі паливного газу при відмові каналів вимірювання параметрів роботи ГТД. Зроблені висновки про необхідність опису в документації виробника ГТД ознаки відмови каналу, використання в алгоритмах управління роботи як справного так і несправного датчиків, використання несправного датчика при формуванні ознаки аварійного зупинення, забезпечення безаварійної роботи САК і Р при виході із ладу окремих датчиків.

**Ключові слова:** САК і Р, відмова, канал вимірювання, газотурбінний двигун, ознака відмови

### FORMING OF CHANNELS FAILURE CRITERION FOR MEASURING GAS TURBINE ENGINE PARAMETERS AND ACS RESPONSE

*A.I. Vasilenko, I.I. Kostyan, S.P. Sergeev*

The analytical review of documentation of GTE and ACS manufacturers for the purpose of analysis of approaches to solving the matter of forming channel failure criterion as well as ACS software response has been conducted. The algorithms survey for determination of parameter value of two or three transducers has been conducted. The response of subprogram of fuel gas control when measurement channels are failed has been taken into consideration. The conclusions on the necessity have been made: description of channel failure criterion in documentation of GTE manufacturer, consideration of operation both non-faulty and faulty transducers in control algorithms; transducer fault recording when forming emergency shutdown criterion; providing ACS trouble-free operation when several transducers are failed

**Key words:** ACS, failure, measurement channel, gas turbine engine, failure criterion.

**Василенко Александр Иванович** – главный конструктор проекта СКБ ПАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе», Сумы, Украина, e-mail: vasilenko\_a@frunze.com.ua.

**Костян Игорь Иванович** – заместитель начальника отдела, начальник лаборатории программирования СКБ ПАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе», Сумы, Украина, e-mail: kostjan\_i@frunze.com.ua.

**Сергеев Сергей Павлович** – главный специалист по САУ СКБ ПАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе», Сумы, Украина, e-mail: sergeev\_s@frunze.com.ua.