

# ИНФОРМАЦИОННО-ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЕРВЫХ МОМЕНТОВ ОПАСНЫХ ПОЛЕТНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ДАННЫМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ БОРТОВЫХ СИГНАЛИЗАТОРОВ

к. т. н. *Аль-Аммори Али*,  
НТУ, Киев, Украина

На эксплуатируемых в настоящее время самолетах бортовая система контроля обеспечивает получение информации с индикаторов и сигнализаторов для оценки функционирования систем ВС в полете, а также раннее обнаружение их неисправностей. Параметрическая информация, получаемая с индикаторов, позволяет экипажу установить заданные режимы управления на этапах полета и контролировать качество функционирования систем самолетов в различных условиях.

Однако сигнализаторы являются также и основными причинами ложных срабатываний из-за их низкой чувствительности и имеют недостаточный уровень надежности из-за отказов их элементов.

Ограниченные возможности встроенных систем контроля исправности измерительной аппаратуры и отсутствие автоматизированной выдачи информации об отказе систем измерения также приводят к ошибкам типа ложной тревоги, при которых экипаж выключает исправно работающие системы.

Информация, получаемая пилотом, поступает от разных индикаторов и сигнализаторов в виде дискретных или непрерывных сигналов. В соответствии с ЕНЛГС [1] можно классифицировать сигнализирующую информацию, как показано на рис. 1.

На самолетах нового поколения (СНП) установлена комплексная информационная система сигнализации (КИИС) для обеспечения отображения информации о состоянии самолетных систем и сигнальной информации об отказах на экранных индикаторах.

В зависимости от срочности действия экипажа в той или иной ситуации КИИС обеспечивает выдачу сигнальной информации трех категорий:

- экстренной (аварийной), когда располагаемое время на парирование отказа  $T < 15$  с;
- предупреждающей, когда располагаемое время на парирование отказа  $T \geq 15$  с;
- уведомляющей, не имеющей ограничений по времени.

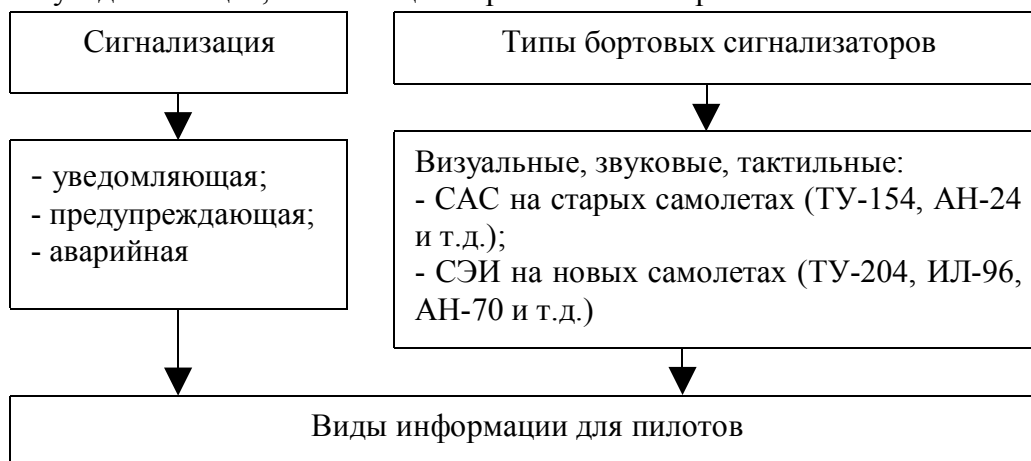


Рис. 1. Классификация сигнализаторов по категориям сигнальной информации

Во многих источниках встречаются системы, построенные на основе искусственного интеллекта (ИИ), такие как СИППР – средства информационной поддержки принятия решения человеком. Анализ существующей литературы показывает, что в настоящее время отсутствуют бортовые информационно-управляющие системы (БИУС) с системой СИППР, построенные на базе ИИ.

Важное место в своевременном распознавании отказов и неисправностей бортовых комплексов занимают системы бортовой сигнализации.

Большинство светосигнальных индикаторов при срабатывании не высвечивают номер отказного или неисправного двигателя, в связи с чем в условиях ограниченного времени не исключается возможность ошибочного отнесения сигнала к исправному двигателю. Неопределенность истинного состояния авиадвигателя при наличии признаков отказов или неисправностей во многом обусловлена вероятностной природой большого количества разнообразных технических причин отказов двигателя и его систем, а также возможностью появления ложной информации систем контроля в процессе распознавания отказа и принятия решения. Лимит времени на распознавание и принятие решения, опасность последствий внезапного отказа двигателя накладывают определенные ограничения на располагаемое время обнаружения, распознавание и локализацию отказа. Отказ двигателя опасен своими последствиями, прежде всего, потерей тяги, что особенно опасно при взлете, возможными вторичными разрушениями конструкции двигателя, планера либо их систем, и все это может сопровождаться «пожаром», что может создать катастрофическую ситуацию.

Следует отметить, что неопределенность при возникновении пожара не является производственным или конструктивным недостатком, а вызвана, прежде всего, тем, что начальная стадия возникновения пожара представляет собой процесс со значительным неопределенным начальным моментом.

Неопределенность начального момента возникновения пожара вызвана значительной сложностью его начальной идентификации (распознавания), полифакторностью, внезапностью и неожиданностью его возникновения.

Сложность распознавания начального момента возникновения пожара вызывается:

- сложностью и неопределенностью возникновения и развития процессов горения;
- несовершенством конструкции систем датчиков и самих комплексов пожаротушения;
- множественностью мест возникновения и неопределенностью локализации места любого возникновения пожара.

Аналитика первых моментов любых аварий очень важна, т.к. именно первые моменты несут максимум риска и неопределенности. Примеров этому очень много:

- Чернобыль – в первые моменты никто из эксплуатационников ничего не понял (по причине факторной накладки);
- «Титаник» - в первые моменты никто не ощутил сильных ударов по корпусу судна (факторная накладка – удар по 6 отсекам сразу);
- «Челенджер» - в первые моменты никто ничего не понял, где, что и почему (комплексный отказ – «прогар ускорителей»);
- «Курск» - полная неожиданность первых моментов и т.д.

Поэтому процессная аналитика первых моментов играет центральную роль в аналитике любой промышленной катастрофы.

Одним из методов процессного подхода, в котором учитывается критические моменты авиационных происшествий (АП), является информационно-факторный анализ (ИФА) [2, 3] (рис. 2).

Информационно-факторный анализ – это логико-математический метод, в котором учитывается не только «весовая» значимость факторов, но и их информационная природа. Этот метод, основанный на процессном анализе и подходе, общей теории процессов, учитывает процессные свойства и динамику поведения объектов.

В практическом плане информационно-факторный анализ – это такой научный анализ, который использует энтропию ИФА в целях определения пределов резервирования критических ситуаций, их первых признаков и оценки общего уровня количественно-качественной неопределенности.

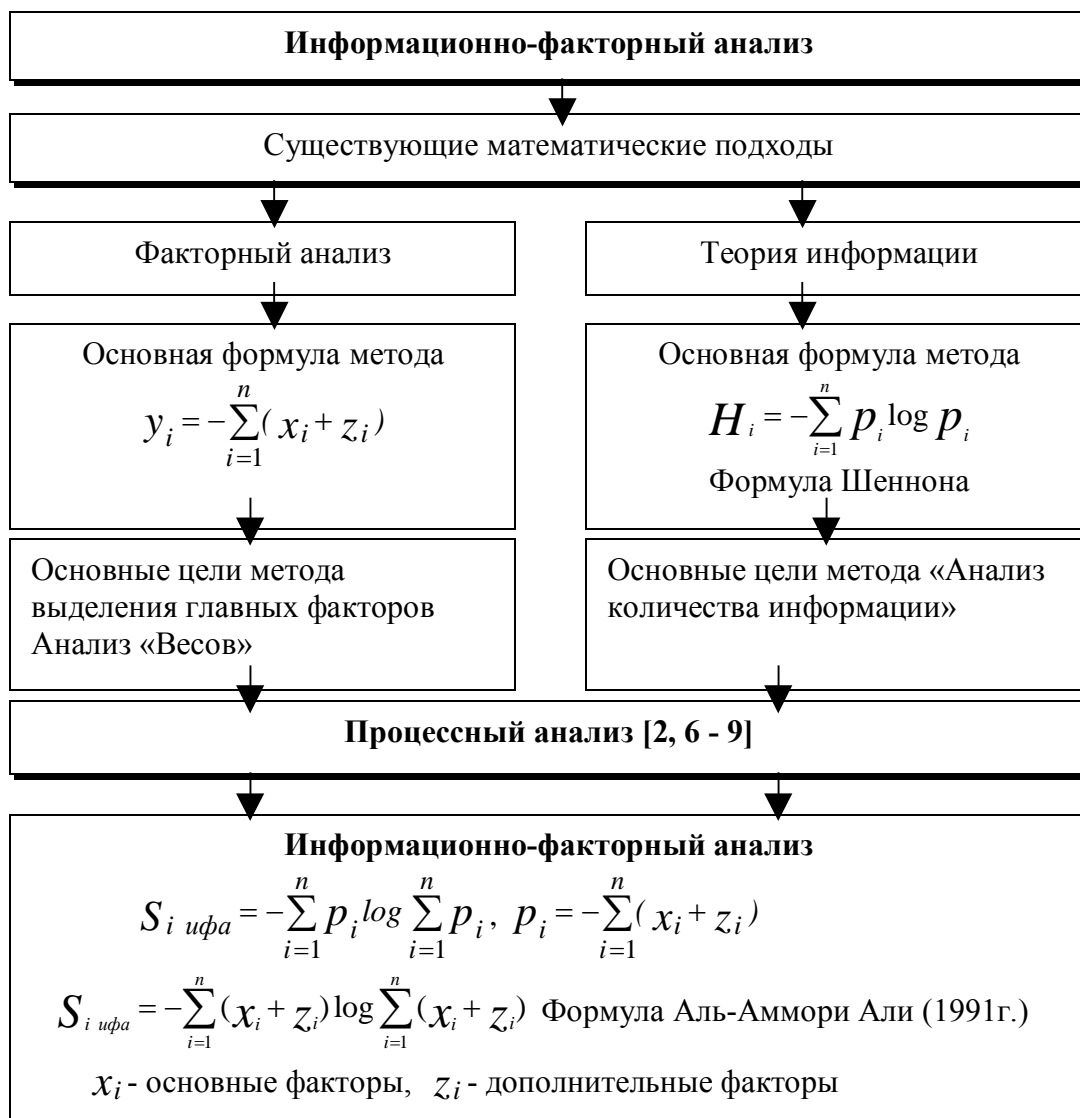


Рис. 2. Теоретические основы информационно-факторного анализа и формула энтропии ИФА по функции отклика

Под первыми моментами возникновения любой критической, проблемной ситуации называются границы развертывания, определяющие переход от нормального производственного процесса к аварийному (катастрофическому), скрытые количественно-качественной сферой неопределенности. Первые моменты определяют момент начала аварии или катастрофы как процесса. Если их правильно учесть, аварию или катастрофу еще можно предотвратить [2].

Рассмотрим аналитику первых моментов пожаров двигателей.

Следует представить, что в целом при возникновении пожаров функция принятия решения по-прежнему остается за экипажем. Учитывая общую запредельную нагрузку любого командира воздушного судна в полете, следует отметить, что начальная фаза возникновения пожара для него представляет собой маловероятное событие с полифакторным наложением (накладкой) многих причин. Поэтому, несмотря на локальную работу систем сигнализации, принятие решений - это функция пилотов. Сложность принятия решений при пожарах - одна из причин многолетней стабильности статистической доли пожаров в общей статистике АП. В статистике пожаров проблема человеческого фактора (ЧФ) возникает именно из-за запредельной (или предельно неопределенной) функции принятия решений экипажем в первые моменты возникновения пожаров авиадвигателей (ПАД) (Рис. 3).

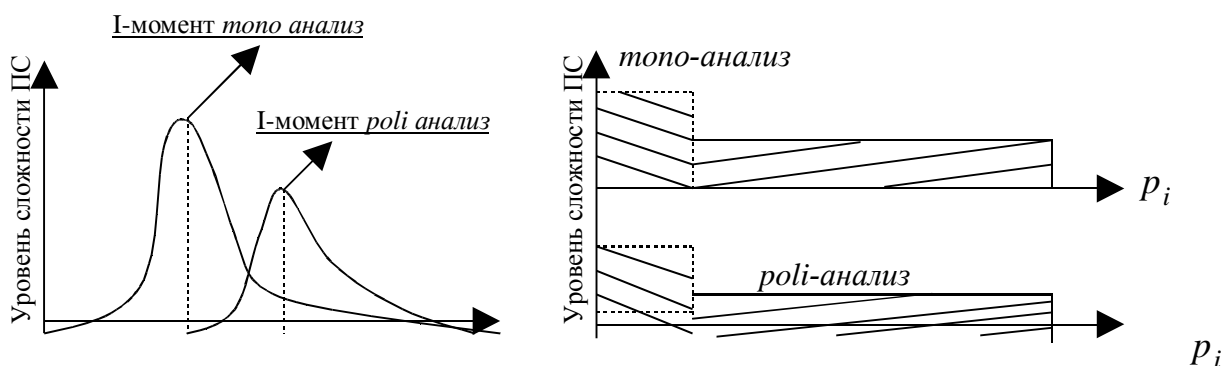
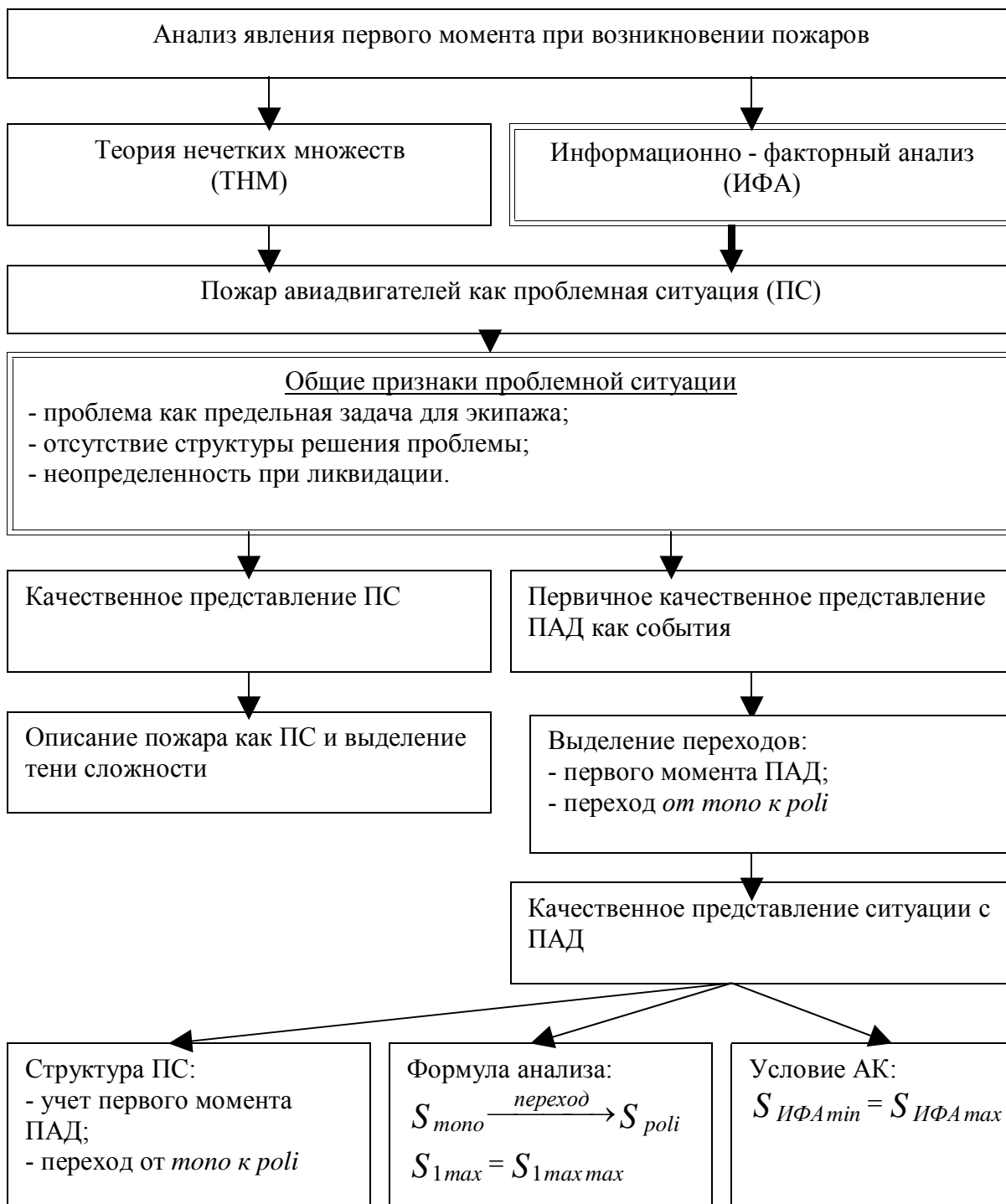


Рис. 3. Первые моменты возникновения пожаров и их расчета по энтропии ИФА

На рис. 3. рассматривается пожар двигателей с позиции сравнительного анализа теории нечетких множеств Заде и ИФА. Из рис. 3 видно, что аналитика по ИФА позволяет осуществить переход от моно-анализа (анализа по одному параметру) к поли-анализу (анализу по всем параметрам) уже в первый момент возникновения АП как проблемной ситуации.

Анализ показывает, что именно первые моменты определяют эффективность принятия решений в целом: если в первые моменты возникновения пожара решение будет принято в ложном направлении или неправильно, то вся ситуация очень быстро перерастает из сложной в катастрофическую, и очень часто самые технически совершенные системы пожаротушения оказываются малоэффективны именно из-за несовершенства по функции принятия решений.

Функция принятия решений по первым моментам возникновения АП и катастроф в целом пока несовершенна, в том числе и по пожарам.

За последние 30 лет доля ЧФ фактически стабилизировалась по уровню «плато» этих моментов, на очень высоком уровне (80 - 90%) доли ЧФ (в том числе и при пожарах). При анализе 30-летних циклов за первые 30 лет изменение доли ЧФ составило 30%  $\Delta I$ , а за последние 30 лет только 10%  $\Delta II$  (Рис. 4) [3]. Это говорит о том, что функция принятия решений при высоком уровне доли ЧФ малоэффективна.

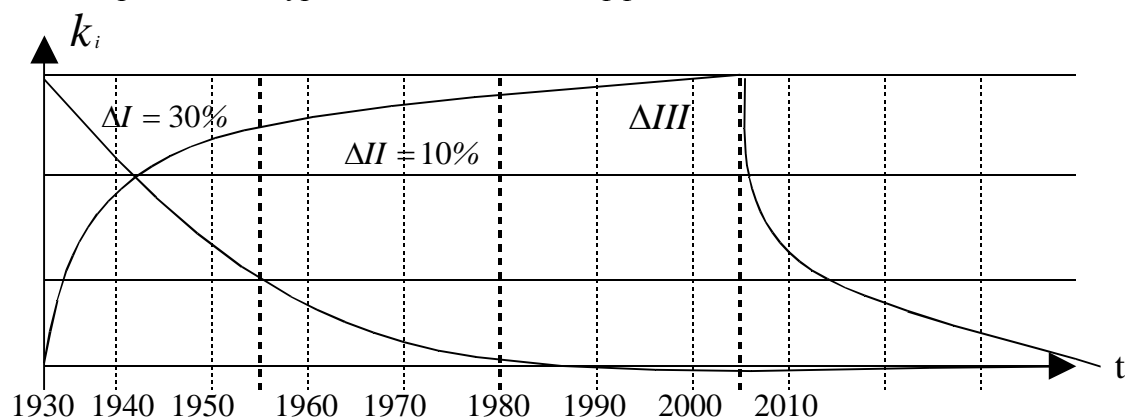


Рис. 4. Анализ причин авиационных происшествий

Пилоты обычно оценивают интегральную обстановку, а технические системы сигнализации при пожарах выдают только локальную информацию с датчиков, без вторичной обработки информации в виде информации на табло. При этом степень развития пожара обычно неизвестна в кабине экипажа, и неопределенности увеличиваются, поэтому и зона начальной неопределенности весьма значительна.

Именно эти сложности приводят к трудности полной оценки статистической доли пожаров в общей статистике АП, так как последствия пожаров могут доходить до уровня полного разрушения или уничтожения ВС.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что 35% из общего количества отказов и неисправностей приводят к предпосылкам пожаров, которые в свою очередь серьезно влияют на уровень безопасности полетов.

На рис. 5 представлены общие проблемные характеристики пожаров двигателей. Следует отметить, что характеристики пожаров двигателей как случайных событий являются недостаточными.

Случайные события - представляют собой события, которые не относятся к категории простого выбора, (типа выбора шариков из урны, классические случаи теории вероятностей). Они очень трудно математически описываются теорией случайных процессов из-за трудностей статистического представления.

Поэтому такую характеристику необходимо дополнить, прежде всего, проблемными признаками пожаров. Любой пожар двигателей в полете или на земле – это, прежде всего, трудно решаемая проблема, поэтому следует дать и проблемную характеристику пожаров.

Проблемные ситуации (ПС) относятся к классу проблем нечеткой структуры, с невыраженными явно этапами решения проблемы, они сложны в постановке проблемы, неопределенны на конечной фазе решения проблемы и относятся к классу трудно решаемых количественно-качественных задач технической эксплуатации ВС. Проблемная характеристика пожаров нами делается впервые, подобного анализа в существующей литературе по авиапроисшествиям не имеется. Переход от анализа пожаров, как случайных ситуаций, к аналитике пожаров, как проблемных ситуаций, позволяет увеличить эффективность борьбы с ними.

Опасные проблемные события - это такие особые ситуации, при которых предотвращение перехода их в аварийные или катастрофические, может быть обеспечено своевременными и правильными действиями экипажа, в том числе немедленным изменением плана или режима полета.



Рис. 5. Проблемные характеристики пожаров авиадвигателей

Ограниченные характеристики пожаров как случайных событий не раскрывают специфику пожаров как предельно сложных процессов принятия решений, поэтому описание процессов как ПС является актуальным практически при раскрытии фаз и элементов



Область необнаружения и ложных срабатываний - зона модального максимума неопределенности, при монопараметрическом распознавании максимальная, поэтому для того, чтобы уменьшить модальный интервал неопределенности (снизить вероятность ложных срабатываний и необнаружения), мы вынуждены переходить к полипараметрическим системам распознавания ОПС, математическая модель ИФА которых представляется следующей формулой:

$$S_n = -\sum_{i=1}^n p_i \log \sum_{i=1}^n p_i$$

Эта модель выполнена построением варианта, когда  $P_i$  появление признака ОПС равновероятно по всем параметрам его контроля.

При анализе авиакатастроф по методике ИФА очень важно понимать, что вся проблемная ситуация, которая потом переходит в катастрофическую, должна рассматриваться, как состоящая из нескольких этапов.

Условно принимаем, что в начальный момент ситуации все 3 двигателя создают зону максимальной неопределенности, т.к. появление пожара - крайне маловероятное, абсолютно неожиданное событие для экипажа.

При выключении двигателя эта неопределенность исчезает, поэтому процесс выключения двигателя будет восприниматься как снятие неопределенности. Поэтому создание полипараметрических систем распознавания пожаров дает большую возможность в первые моменты снять максимальную неопределенность ситуации, а в дальнейшем не дать ей достигнуть снова максимума.

Существующие логико-динамические системы (ЛДС) [5] фактически сводят первый момент пожара к простому операционному циклу, без качественной специфики возникновения пожара и без учета его технологической сложности [6]. Именно такое упрощенное понимание первого момента пожара и приводит к высокому уровню «ложных срабатываний». Предлагаемые проблемно-динамические системы (ПДС) должны включать не один, а два рода датчиков, качественно отличающихся по информации: датчиков первого момента (ДПМ) и датчиков операции (ДО). Основная цель датчиков первого момента состоит в проведении контроля систем, контролирующих пожары (двойной контроль), для исключения информации «ложных срабатываний». Датчики первого момента, выполнив функцию контроля (есть или нет «ложное срабатывание»), при наличии последнего выдают информацию «есть ложное срабатывание», а при отсутствии такового передают свои функции датчикам операции.

Введение понятия проблемно-динамической системы позволяет учесть технологическую сложность первых моментов возникновения пожара.

Для проблемной ситуации (ложное срабатывание) необходимо разработать структуру проблемных элементов системы. Для решения задачи снятия ложных срабатываний логика простых вычислений не годится, необходим проблемный учет неопределенности первых моментов. Это достигается заменой системы однородных по функции датчиков системой разнородных датчиков и классификаций датчиков по группам (1-й момент, основной операционный цикл) и т.д.

В реальной системе функции ДПМ и ДО может выполнять система датчиков с блоком памяти и сравнения.

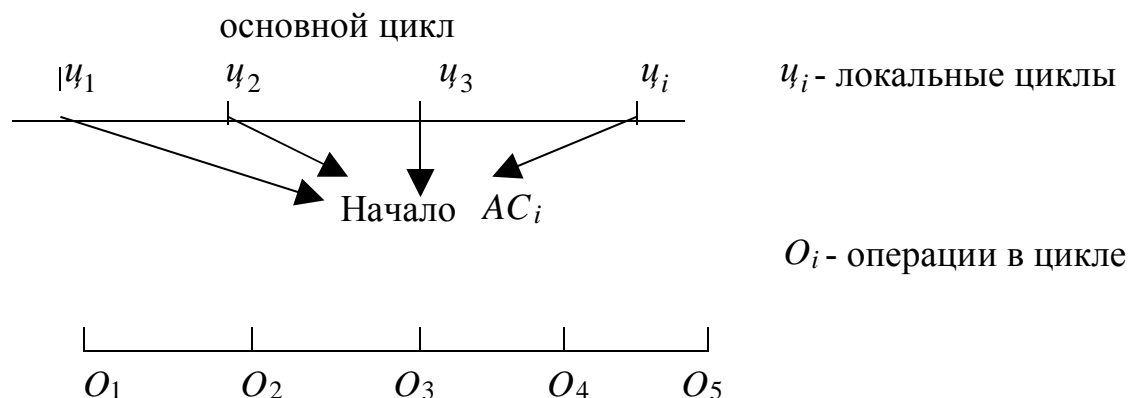
Принцип предлагаемой системы сигнализации на основе ПДС состоит в том, что предлагается не система однородных датчиков, дающих максимум ложных срабатываний, а система из функционально разнородных датчиков, ориентированных на проблемность первого момента пожара.

В связи с опасностью пожара и множеству параметров, по которым можно определить состояние работы двигателя с одновременным получением достоверной



информации, необходимо переходить на принципиально новый математический метод распознавания проблемной ситуации в связи с опасными режимами работы авиадвигателя.

Для разъяснения сложности первых моментов АС (пожар) с помощью ИФА необходимо рассмотреть цикл АС (пожар) следующим образом:



Операции	Неопределенность первого момента при ИФА без взаимодействия	Уровень неопределенности по ИФА	Неопределенность первого момента при ИФА с взаимодействиями	Уровень неопределенности по ИФА
$O_1$	$S_1 = -p_1 \log p_1$	$min, max$	$S_1 = -p_1 \log p_1$	$min, max$
$O_2$	$S_2 = -p_2 \log p_2$	$max$	$S_1 = -(p_1 + p_2) \log(p_1 + p_2)$	$max$
...	...	...	...	...
$O_5$	$S_5 = -p_5 \log p_5$	$max$	$S_5 = -(p_1 + \dots + p_5) \log(p_1 + \dots + p_5)$	$max$
$O_6$	$S_6 = -p_6 \log p_6$	$min$	$S_6 = -(p_1 + \dots + p_6) \log(p_1 + \dots + p_6)$	$min$
...	...	...	.....	.....
$O_i$	$S_i = -p_i \log p_i$	$min$	$S_i = -(p_1 + \dots + p_i) \log(p_1 + \dots + p_i)$	$min$

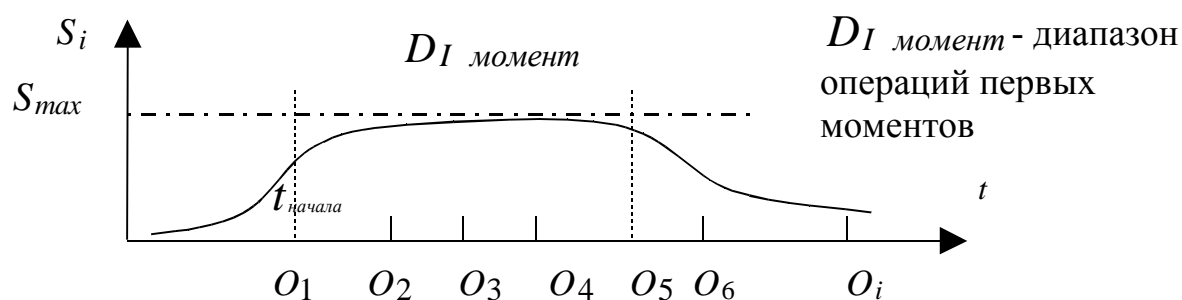


Рис. 7. Информационно-факторный анализ первых моментов

При этом можно видеть, что в интервале 5 - 6 первых операций неопределенность первого момента будет максимальна  $S_{max}$ , при этом информативность будет минимальна  $I_{min}$ , тем самым вероятность ошибки при первом моменте будет максимальна  $P_{ошиб}^{IM} max$ . Это означает, что эффективность  $\mathcal{E}_D$  диапазона операции первых моментов будет минимальна, а уровень возникновения АС максимален.

При учете же первого момента (рис. 7) эффективность  $\mathcal{E}_D$  будет максимальна, а вероятность ошибки  $P_{ошиб}^{IM} max$  минимальна, при этом по уровню развития АС нет перехода в катастрофическую.

## Выводы

1. Аварийная ситуация представляет собой не просто случайную ситуацию, а характеризуется как сложное или полифакторное явление и процесс, который несет предельную степень риска и предельную неопределенность для процесса полета ВС в первые моменты ее возникновения.

2. Неопределенность начального момента возникновения любой аварийной ситуации приводит к тому, что функция принятия решения экипажем становится технологически и операционно предельно сложной, поэтому даже простые операции во время внезапного и неожиданного возникновения АС экипажу выполнять весьма тяжело.

3. Результаты и эффективность снятия аварийной ситуации на 70 - 80% определяется высокой эффективностью правильной оценки ситуации в первые моменты возникновения АС. При высокой вероятности ошибок экипажа в первые моменты АС ожидать положительных результатов по парированию и противодействию действиям АС нельзя.

4. Информационно-факторная модель как новый процессный подход создает перспективы более глубокого анализа проблемных ситуаций при отказах или выходе на информационные пределы полиэргатической системы «экипаж-ВС».

5. Монопараметрический контроль при АС должен быть исключен ввиду его малой эффективности и заменен полипараметрическим.

6. Модели возникновения аварийных ситуаций, основанные на теории нечетких множеств Заде, не позволяют снять неопределенности первых моментов возникновения АП и ограничены только описанием таких моментов зоной теней.

7. Модели возникновения аварийных ситуаций, основанных на ИФА, позволяют рассмотреть переходы от моно-анализа к поли-анализу АП и тем самым учесть через структуру датчиков первых моментов неопределенность начальных моментов возникновения АП.

8. При анализе опасных полетных ситуаций необходим переход от системных к процессным исследованиям для обеспечения безопасного полета.

## Литература

1. Единые нормы летной годности гражданских самолетов ЕНЛГ-3.
2. Хохлов Е.М., Аль-Аммори Али Авторский процессный подход (авторский взгляд на первое десятилетие внедрения процессного подхода в глобальном масштабе 1995 – 2005 гг.). - К, 2006. - 174 с. (авторское свидетельство № 16117).
3. Аль-Аммори Али Информационно-факторный анализ как стратегический принцип борьбы с пожарами силовой установки ВС// Проблемы безопасности полетов. - Москва: ВИНТИ. -1997. - № 4. - С. 21 - 31.
4. Прикладные нечеткие множества: Пер. с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. И. Иваи и др.; под ред. Т. Тэрано. – М.: Мир, 1993. - 368 с.
5. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники/ А.А. Тимченко, А.А Родионов; отв. ред. В.И. Скурихин/ Ин-т кибернетики - К.: Наукова думка, 1991. – 152 с.
6. Аль Аммери Али Исследование технической сложности и первых моментов возникновения титановых пожаров как способ повышения безопасности полетов// Проблемы совершенствования систем аэронавигационного обслуживания и управления подвижными объектами. - «Аэронавигация -96»: Тез. докл. МНТК. - К.: КМУГА. - 1996. - С. 68.
7. Хохлов Е.М. Процессная концепция безопасных полетов как формула мирового научного приоритета и методология защиты летного эксплуатанта // Проблемы безопасности полетов. – Москва: ВИНТИ. - 1994. - № 12. - С. 3 - 12.
8. Хохлов Е.М. Процессная концепция безопасности полетов // Проблемы безопасности полетов. – Москва: ВИНТИ. - 1999. - № 1. - С. 9 - 23.

9. *Хохлов Е.М.* Переход от системных к процессным исследованиям, как научная стратегия перестройки теории безопасности полетов при активизации человеческого фактора// *Эргономические вопросы безопасности полетов.* - К.: КИИГА. – 1987. – С. 11 - 16.