

Один из подходов к оценке развития аномальной ситуации в ходе полета пилотируемого космического аппарата, необходимых для выбора рационального решения по её парированию

06, июнь 2015

Донсков А. В.^{1,*}

УДК: 629.78

¹Россия, ОАО РКК «Энергия» имени С.П. Королёва
[*aleksej_ne@mail.ru](mailto:aleksej_ne@mail.ru)

Введение

Под управлением полетом пилотируемого космического аппарата (ПКА) понимается процесс управления параметрами текущего состояния бортовых систем ПКА (последовательное изменение одних и поддержание в определенных пределах других), направленный на достижение цели полета [1]. Основной задачей оперативного управления полетом является обеспечение безопасности экипажа и ПКА в целом.

На всех этапах полета пилотируемого космического аппарата (ПКА), под влиянием различных внешних факторов (агрессивная внешняя среда, физические воздействия и т.д.), возможно возникновение разного рода ситуаций, которые ведут к различным последствиям. Поэтому, для принятия верных решений об изменении состояния ПКА посредством управляющих воздействий, необходимо всестороннее его оценить на текущий момент и прогнозировать дальнейшее развитие.

При возникновении ситуации, которая влияет на безопасность экипажа, живучесть ПКА и выполнение программы полета, необходимо предпринять действия по остановке ее развития и последующему парированию. В этом случае, лицо, принимающее решение (ЛПР), зачастую ограничено в следующем:

- время на принятие решений по выходу из сложившейся ситуации;
- объем информации для анализа текущей ситуации, подготовки и выбора решения.

Поэтому, ЛПР зачастую принимает решение по выходу из негативной ситуации исходя из личного опыта или интуиции, так как не всегда есть понимание происходящего на борту ПКА.

В данной работе представлена возможность применения теории нечетких множеств для оценки и прогнозирования развития аномальной ситуации на борту ПКА, необходимых для принятия решений в условиях неопределенности.

1. Аномальные ситуации

Аномальной ситуацией (АС) является совокупность обстоятельств, возникших под воздействием внешних факторов и негативно влияющих на безопасность экипажа и ПКА, а также на выполнение программы полета [2].

Признаком возникновения АС является выход какого-либо параметра состояния ПКА за пределы нормы (заранее установленного значения).

В настоящее время АС классифицируются в зависимости от степени тяжести последствий, к которым они могут привести, если не будут вовремя ликвидированы.

АС делятся на следующие виды:

- катастрофические (сложившиеся в результате неустраняемых отказов и приводящие либо к гибели экипажа или его травмированию с утратой работоспособности, либо к потере одного из жизненно важных элементов ПКА и неспособности выполнять дальнейшие операции полета);
- критические (приводящие либо к длительной потере функций или элементов ПКА, или к травмированию экипажа без потери его работоспособности, либо влияющие на физическую целостность и безопасность ПКА), последствия которых могут быть устранены вмешательством экипажа или персоналом группы управления полетом;
- некритические (не несут в себе указанных признаков критических и катастрофических АС).

Катастрофические, критические и некритические АС бывают рассмотренными (выявленными при анализе работы систем ПКА до полета или на этапах летных испытаний) и не рассмотренными (возникновение которых было непредвиденным).

Для анализа аномальных ситуаций и подготовки решений по их парированию используются следующие источники информации:

- телеметрическая информация (ТМИ);
- данные о расчетных аномальных ситуациях ПКА согласно проектной документации;
- сообщения экипажа, собранные специалистами в журналах по анализу действий экипажа;
- электронные версии эксплуатационно-технической документации: бортовая документация, процедуры, инструкции, методики и т.д.

Особое значение для описания, контроля и анализа текущего состояния ПКА имеет ТМИ. В настоящее время используется бортовая и наземная аппаратура с высоким уровнем автоматизации всех процессов получения, передачи и обработки измерительной информации. Устройства автоматического преобразования, кодирования и обработки ТМИ

гарантируют высокую точность и оперативность получения данных телеизмерений при числе параметров, измеряемых на одном объекте, достигающим до нескольких десятков тысяч [4,5,6].

ТМИ, поступающая с борта ПККА, может быть разделена на следующие основные группы:

1. Информация о состоянии и функционировании бортовых систем/узлов/агрегатов ПККА;
2. Информация о параметрах внутренней и окружающей среды ПККА;
3. Информация о медико-биологических параметрах человека (экипажа).

В зависимости от целей телеметрическая информация обеспечивает:

- 1) Получение информации о соответствии характеристик ПККА техническим требованиям;
- 2) Контроль функционирования бортовых систем и состояния экипажа ПККА, а также параметров среды, в которых они работают;
- 3) Выявление неисправностей и отклонения контролируемых параметров от нормы, а также необходимую информацию для их устранения.

На рисунке 2 представлен действующий алгоритм функционирования системы управления при возникновении АС в соответствии с временной циклограммой.

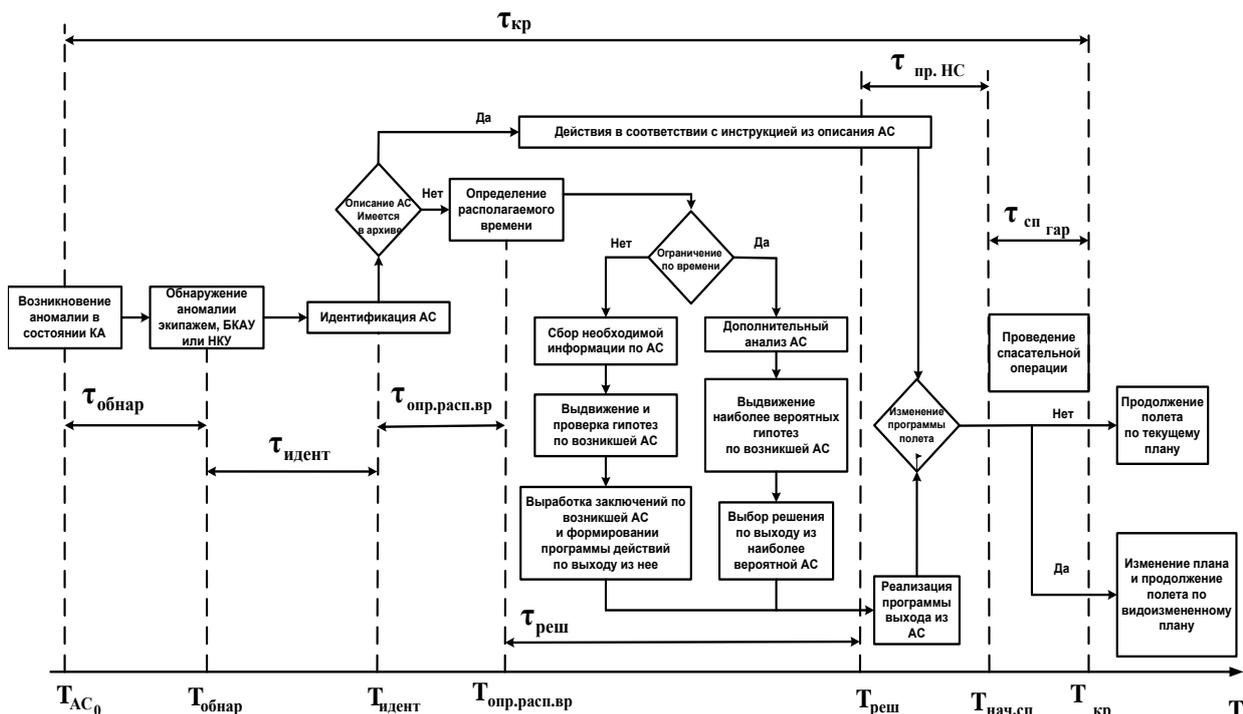


Рисунок 1 – Алгоритм функционирования системы управления при возникновении АС в соответствии с временной циклограммой

Соответственно, на рисунке 1 представлены следующие обозначения:

Тобнар – момент времени обнаружения аномалии, Тидент – момент завершения идентификации АС, Треш. – момент принятия решения и начала действий по остановке развития АС, Топр.расп.вр. – момент завершения определения располагаемого времени, Тнач.сп.оп. – предельно поздний момент начала спасательной операции, Ткр – расчетный или прогнозируемый момент наступления критической фазы АС, ткр – продолжительность достижения критической фазы развития данной АС, отсчитываемая от момента её возникновения; тобнар – длительность обнаружения аномалии, от начала наблюдения соответствующего параметра до установления факта его выхода за пределы нормы, тидент – длительность процедуры идентификации данной АС, треш – длительность подготовки и принятия решения о парировании АС (включает в себя тпод. (длительность подготовки решения) и тприн (длительность принятия подготовленного решения)), топр.расп.вр. – длительность определения располагаемого времени на остановку АС, трасп. – располагаемое время на остановку развития АС от момента завершения идентификации данной АС до момента наступления критической фазы, тост.АС – время на останов развития и нормализацию данной АС, тсп.оп.гар – гарантированная длительность операции по спасению экипажа и/или по переводу ПКА в режим выживания, если ликвидация АС не может быть осуществлена до наступления критической фазы [2].

Несмотря на отлаженность данного алгоритма (рисунок 2) в процессе его применения, есть ряд факторов, которые обуславливают возникновение следующих недостатков:

- сложность процесса парирования АС;
- ограниченность принятия решения во времени;
- затрудненность прогноза развития текущего состояния ПКА;
- постоянное усложнение ПКА, соответственно, и АС, возникающих при их эксплуатации;
- разрозненность необходимых знаний об объекте и специфике его управления предшествующими полетами.

Выявленные недостатки влияют на эффективность и оперативность реагирования на АС в ходе полета ПКА. Устранение их с помощью подхода к устранению неопределенности в описании текущего состояния ПКА, которое возникает из-за недостатка поступающей информации, в частности ТМИ. Поэтому для строгого применения вероятностных моделей и преодоления трудностей оперирования случайными величинами, а также в связи с тем, что с интервальными величинами можно работать в рамках теории нечетких множеств (ТНМ), эта теория приобретает здесь важное значение. На практике всегда имеется возможность наряду с точечной оценкой параметра (наиболее допустимым его значением) указать минимальное и максимальное значение (интервал), которое может принимать нечеткая величина. Кроме того, можно построить функцию, характеризующую допустимость каждого значения внутри заданного интервала на основе статистического материала, который содержится в базах знаний. ТНМ дает возможность проводить вычисления не с одним точечным значением, а с характеристической функцией и получать в ре-

зультате вычислений нечеткую величину, для которой по максимуму значения функции может быть получена точечная (четкая) оценка.

2. Нечеткие множества

Теория нечетких (размытых) множеств предназначена для устранения сложности представления о неточных понятиях для анализа и моделирования систем, в которых главным участником является человек.

Для обращения с неточно известными величинами обычно применяется аппарат теории вероятностей. Однако случайность связана с неопределенностью, касающейся принадлежности некоторого параметра к обычному множеству. Это различие между нечеткостью и случайностью приводит к тому, что математические методы нечетких множеств совершенно не похожи на методы теории вероятностей. Они во многих отношениях проще вследствие того, что понятию вероятностной меры в теории вероятностей соответствует более простое понятие функции принадлежности в теории нечетких множеств. По этой причине даже в тех случаях, когда неопределенность в процессе принятия решений может быть представлена вероятностной моделью, обычно удобнее оперировать с ней методами теории нечетких множеств без привлечения теории вероятностей [7].

Подход на основе теории нечетких множеств является альтернативой общепринятым количественным методам анализа систем. Он имеет три основные отличительные черты:

- вместо или в дополнение к числовым переменным используются нечеткие величины и так называемые «лингвистические» переменные;
- простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний;
- сложные отношения описываются нечеткими алгоритмами.

Такой подход дает приближенные, но в то же время эффективные способы описания поведения систем, настолько сложных и плохо определенных, что они не поддаются точному математическому анализу.

Теоретические же основания данного подхода вполне точны и строги в математическом смысле и не являются сами по себе источником неопределенности. В каждом конкретном случае степень точности решения может быть согласована с требованиями задачи и точностью имеющихся данных. Подобная гибкость составляет одну из важных черт рассматриваемого метода.

Во время управления полетом ПКА специалисты чаще оперируют с терминами и описывают состояние систем ПКА переменными, значениями которых могут быть слова или предложения естественного или формального языка. Использование словесных описаний типа тех, которыми оперирует человек во время управления полетом ПКА, делает возможным анализ систем настолько сложных, что они недоступны обычному математическому анализу, каковыми являются бортовые системы ПКА. Такие переменные называются лингвистическими [8].

Значениями лингвистической переменной являются нечеткие множества, символами которых являются слова и предложения в естественном или формальном языке, служащие, как правило, некоторой элементарной характеристикой явления.

Например, нечеткая переменная «давление» может принимать следующие значения: высокое, невысокое, довольно высокое, очень высокое, высокое, но не очень, вполне высокое, более или менее высокое. Эти значения представляют собой предложения, образованные понятием «высокое», отрицанием «не», союзами «и», «но», а также словами типа «очень», «довольно», «вполне», «более или менее».

Более точно структура лингвистической переменной описывается набором (N, T, X, G, M) , в котором N - название этой переменной; T - терм-множество N , т.е. совокупность ее лингвистических значений; X - универсальное множество с базовой переменной x ; G -- синтаксическое правило, которое может быть задано в форме бесконтекстной грамматики, порождающей термы множества T ; M - семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению t ставит в соответствие его смысл, причем $M(t)$ обозначает нечеткое подмножество множества X [11].

Язык можно рассматривать как соответствие между множеством терминов T и областью рассуждения X . Это соответствие характеризуется нечетким называющим отношением N из T в X , которое связывает с каждым термином t в T и каждым элементом x в X степень $\mu(t, x)$ применимости t к x .

Для фиксированного t функция принадлежности $\mu(t, x)$ определяет нечеткое подмножество $M(t)$ из X , которое является смыслом или значением. Таким образом, значение термина t есть нечеткое подмножество $M(t)$ из X , для которого t служит символом.

Термин может быть элементарным, например $t =$ «высокое», или составным, когда он является сочетанием элементарных терминов, например, $t =$ «очень высокое».

Более сложные понятия могут характеризоваться составной лингвистической переменной. Например, понятие «система» может рассматриваться как название составной лингвистической переменной, компонентами которой являются лингвистические переменные «ресурс», «узел», «рабочее тело» и т.п., что является основными характеристиками состояния ПКА.

Для лингвистической переменной «ресурс» соответствующая базовая переменная является по своей природе числовой переменной. С другой стороны, для лингвистической переменной «узел» мы не имеем четко определенной базовой переменной. В этом случае функцию принадлежности определяют не на множестве математически точно определенных объектов, а на множестве обозначенных некими символами впечатлений. Следует отметить, что благодаря использованию принципа обобщения большая часть существующего математического аппарата, применяющегося для анализа систем, может быть адаптирована к нечетким и лингвистическим переменным с числовой базовой переменной.

3. Примеры применения ТНМ для оценки текущей ситуации при возникновении аварийной ситуации на борту ПКА

3.1 Выброс токсичного вещества во внутренний объем ПКА

Рассмотрим пример прогнозирования масштабов загрязнения в случае утечки отравляющего вещества, например аммиака, из контуров охлаждения вовнутрь ПКА.

Представленный подход позволяет прогнозировать последствия аварийной ситуации с выбросом отравляющих токсичных веществ, при отсутствии точных исходных данных. Целью данного подхода есть обеспечение безопасности экипажа и повышение оперативности по парированию аномальной ситуации на основе лингвистических переменных.

Размер масштабов зоны загрязнения состоит из двух частей:

1. Определяются эквивалентные количества токсичных веществ.
2. Определяются радиусы зон загрязнения утекшим аммиаком. Полная зона загрязнения, обусловленная влиянием отравляющих токсичных веществ, определяется стандартной формулой:

$$R = R' + 0,5R'' ,$$

где R - полная зона загрязнения, R' - наибольший радиус загрязнения, R'' - наименьший радиус загрязнения.

В процессе описания влияющих факторов в качестве лингвистических переменных предлагается общепринятая пятибалльная шкала, которая используется для оценки последствий (потерь) при возникновении аварии на опасном объекте. Взаимосвязь между предложенной шкалой и определением влияющих факторов, в качестве лингвистических переменных предложено оценить, как функциональную зависимость: $Y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_j)$, где Y_i - возможные последствия аварий; $X_1 - X_j$ соответствующий набор факторов, влияющих на возникновение аварии.

Основным показателем, который характеризует последствия аварийной ситуации, является радиус зоны загрязнения. Это расстояние, на которое распространяется опасная для жизни концентрация токсичного вещества на протяжении какого-либо промежутка времени.

Введем следующие обозначения: X_1 - скорость перемещения воздушных масс, X_2 - объем отравляющих токсичных веществ, выброшенных в атмосферу, X_3 - температура окружающей среды, Y - радиус зоны загрязнения. Таким образом, решение задачи прогнозирования последствий аварии внутри ПКА состоит в том, чтобы возможному соединению факторов $X_1 - X_3$ поставить в соответствие определенное значение Y : $\tilde{Y}_i = f(\tilde{X}_i)$, где \tilde{Y}_i - радиус зоны загрязнения, которое выражено в виде лингвистической переменной; \tilde{X}_i - влияющие факторы, выраженные в виде лингвистических переменных.

Базовые события, которые отвечают лингвистическим переменным, описывающим влияющие факторы $\tilde{X}_1 - \tilde{X}_3$, были определены квалифицированными экспертами (согласно технической документации). Нижние и верхние значения базовых событий, соот-

ответствующие значениям лингвистических переменных $\tilde{X}_1 - \tilde{X}_3$ и \tilde{Y} , оцениваются по пятибалльной шкале: низкий (маленький), ниже среднего, средний, выше среднего, высокий (большой). Каждое значение лингвистической переменной представляет собой нечеткое множество, заданное с помощью соответствующей функции принадлежности. Для введенных лингвистических переменных $\tilde{X}_1 - \tilde{X}_3$ и \tilde{Y} определены следующие числовые диапазоны значений, с соответствующими лингвистическими оценками, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Определение влияющих факторов в виде лингвистических переменных.

Лингвистическая переменная	Лингвистическая шкала	Числовой диапазон
X_1 - скорость перемещения воздушных масс	Низкая Ниже средней Средняя Выше средней Высокая	0÷0,05м 0,05÷0,1м 0,15÷3м 0,3÷0,5м > 0,5м
X_2 - объем выброса	Малый Ниже среднего Средний Выше среднего Большой	0÷5 мм 5÷10 мм 10÷30 мм 30÷50 мм > 50 мм
X_3 - температура окружающей среды	Низкая Ниже средней Средняя Выше средней Высокая	<18 гр 18÷21 гр 21÷23 гр 23÷25 гр > 25 гр
Y - радиус зоны загрязнения	Малый Ниже среднего Средний Выше среднего Большой	0÷0,6м 0,6÷1,5м 1,5÷3м 3÷5м > 5м

Во избежание сложностей при вычислении радиуса зон загрязнения, предлагается все возможные ситуации, которые могут состояться, при прогнозе сводить к типичной ситуации. Под типичной ситуацией в данном случае понимается значение радиуса зоны загрязнения. Эта зона попадает в тот или иной диапазон при разных значениях факторов, которые влияют на возникновение опасного для жизни экипажа события.

Функциональная зависимость между нечетким значением радиуса зоны загрязнения и влияющими факторами, определяется следующим уравнением: $\tilde{Y}_i = f(\tilde{Q}_{E1}, \tilde{Q}_{E2}, \tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \tilde{X}_3)$, где $\tilde{Q}_{E1}, \tilde{Q}_{E2}$ - количества отравляющих токсичных веществ, выраженные в виде лингвистических переменных, $\tilde{X}_1 - \tilde{X}_3$ - влияющие факторы.

Прогнозирование осуществляется при помощи разработанных правил нечеткого логического вывода вида IF X=A THEN Y=B [10]. Непосредственно, разработка правил условного логического вывода охватила известный тип следующего логического предложения: P3= IF X, is Ai and X2 is A2 and.... Xn, is An THEN Y is B.

При анализе возможных радиусов зон загрязнения необходимо учитывать нечеткие исходные данные, и поэтому, рассматривается состояние, которое возникает в случае максимального радиуса зоны загрязнения.

Следующим шагом является разработка нечетких логических правил для проведения прогноза последствий аварийной ситуации при нечетких исходных данных.

Получено пять групп правил, любая из которых отвечает какому-либо значению параметра. Например, первая группа правил описывает возможное логико-лингвистическое соединение влияющих факторов \tilde{Y} , которые приводят к значению - «низкое» («маленькое»), \tilde{Y} соответственно вторая группа - «ниже среднего», третья группа - «среднее \tilde{Y} », четвертая группа - «выше среднего \tilde{Y} », пятая группа — «высокое» («большое»):

I. ЕСЛИ $X_1=N$ И $X_2=B$ И $X_3=*$ ИЛИ X^V И $X_2=B$ И $X_3=*$ ТО $Y=N$

II. ЕСЛИ $X_1=(N$ ИЛИ $NC)$ И $X_2=(BC$ ИЛИ $B)$ И $(X_3=*)$ ТО $Y=NC$

III. ЕСЛИ $X, -(NC$ ИЛИ C ИЛИ N ИЛИ NC ИЛИ $C)$ И $X_2=(N$ ИЛИ BC ИЛИ BC ИЛИ BC ИЛИ $B)$ И $X_3=(BC$ ИЛИ C ИЛИ BC ИЛИ $*$ ИЛИ $*$)

ТО $Y=C$

IV. ЕСЛИ $X_1=(C$ ИЛИ BC ИЛИ N ИЛИ NC ИЛИ NC ИЛИ C ИЛИ $BC)$ И $X_2=(NC$ ИЛИ BC ИЛИ NC ИЛИ BC ИЛИ NC ИЛИ BC ИЛИ $B)$ И $X_3=(*$ ИЛИ NC ИЛИ $*$ ИЛИ $*$ ИЛИ N ИЛИ $*$ ИЛИ $BC)$

ТО $Y=BC$

V. ЕСЛИ $X_1=(C$ ИЛИ C ИЛИ BC ИЛИ B ИЛИ NC ИЛИ C ИЛИ B ИЛИ NC ИЛИ $C)$ И $X_2=(N$ ИЛИ C ИЛИ BC ИЛИ NC ИЛИ C ИЛИ $*$ ИЛИ $*$ ИЛИ N ИЛИ $BC)$ И $X_3=(*$ ИЛИ $*$ ИЛИ NC ИЛИ $*$ ИЛИ $*$ ИЛИ $*$ ИЛИ $*$ ИЛИ C ИЛИ $*$)

ТО $Y=B$

Символ «*» означает, что определенная переменная может принимать любое значение. В таблице 2 приведены значения радиусов зон загрязнения согласно логическим выводам.

Таблица 2 – Значение радиуса зоны загрязнения при токсичности.

Объем выброса	Скорость перемещения воздушных масс	Температура	Радиус зоны загрязнения	
			Лингвистическая оценка	Числовой диапазон
N	B	*	N	0÷0.6м
N	BC	*	NC	0.6÷1.5м
N	B	*	NC	
NC	BC	*	NC	
NC	BC	*	C	
NC	NC	N	BC	1.5÷3м 3÷5м
C	BC	*	BC	
BC	B	BC	BC	
NC	N	C	B	÷ 5м
C	BC	*	B	

Согласно документации по действиям в аварийных ситуациях (аварийная книга Emergency) выделяется 5 уровней загрязнения:

Уровень 4 (Красный) – наиболее опасный выброс (не поддается очистке);

Уровень 3 (Оранжевый) – опасный выброс (поддается очистке);

Уровень 2 (Желтый) – опасный выброс;

Уровень 1 (Синий) – наименее опасный выброс.

Таким образом, не имея четких значений параметров описывающих текущее состояние ПКА, получена приблизительная картина происходящего. Исходя из нее, лицо, принимающее решение, может понять, какие дальнейшие действия предпринимать по парированию текущей аномальной ситуации согласно технической документации.

3.2 Возникновение пожара во внутреннем объеме ПКА

В результате возникновения пожара во внутреннем объеме ПКА возникает задымленность, происходит образование различных продуктов горения, повышение уровня CO, а так же уменьшение общего давления воздуха.

Применяя модель, которая была рассмотрена ранее, составим таблицу влияющих факторов в виде лингвистических переменных с соответствующими лингвистическими оценками (таблица 3).

Таблица 3 – Определение влияющих факторов в виде лингвистических переменных.

Лингвистическая переменная	Лингвистическая шкала	Числовой диапазон
X_1 - скорость перемещения воздушных масс	Низкая	0÷0.05м
	Ниже средней	0.05÷0.1м
	Средняя	0.15÷3м
	Выше средней	0,3÷0,5м
	Высокая	> 0,5м
X_2 - объем выброса продуктов горения (ΣCO , HCl, HCN)	Малый	0÷50 ppm
	Ниже среднего	50÷100 ppm
	Средний	100÷150 ppm
	Выше среднего	150÷200 ppm
	Большой	> 200 ppm
X_3 - полное давление ПКА	Низкое	< 724 мм рт ст
	Ниже среднего	724÷740 мм рт ст
	Среднее	740÷750 мм рт ст
	Выше среднего	750÷770 мм рт ст
	Высокое	> 770 мм рт ст
Y - радиус зоны задымления	Малый	0÷0.6м
	Ниже среднего	0.6÷1.0м
	Средний	1.0÷1.5м
	Выше среднего	1.5÷2м
	Большой	> 2м

В соответствии с нечеткими логическими правилами для проведения прогноза последствий аварийной ситуации при нечетких исходных данных получаем следующие результаты, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значение радиуса зоны задымления при пожаре.

Объем выброса	Скорость перемещения воздушных масс	Полное давление	Радиус зоны задымления	
			Лингвистическая оценка	Числовой диапазон
Н	Н	В	Н	0÷0.6м
Н	С	В	НС	0.6÷1.6м
Н	В	С	НС	
НС	ВС	С	НС	
НС	ВС	С	С	1.5÷3м 3÷5м
С	НС	С	ВС	
С	ВС	НС	ВС	
ВС	В	НС	ВС	
В	Н	Н	В	÷ 5м
В	ВС	Н	В	

Полученные результат приблизительно соответствует документации по действиям в аварийных ситуациях.

Выводы

В работе представлен один из новых подходов к анализу аномальных ситуаций на борту ПКА, возникающих в ходе его полета, – с помощью теории нечетких множеств. Его применение позволяет оперативно выполнить оценку текущей ситуации и оценить возможные риски. Оперирование не с одним точечным значением, а с характеристической функцией, по значению максимума, с помощью которой может быть получена точечная (четкая) оценка, устраняет неопределенности в понимании происходящего. Таким образом, ускоряется подготовка исходных данных для принятия решений за счет уменьшения количества возможных значений вероятностных состояний ПКА. Оперирование лингвистическими понятиями, свойственными мышлению человека, ведет к упрощению процедуры принятия решения ЛПР, а также к улучшению понимания текущей ситуации на всех уровнях структуры управления полетом. В результате повышается эффективность действия группы управления полетом по парированию аварийных ситуаций на борту ПКА.

В статье приведены примеры применения теории нечетких множеств для анализа аномальной ситуации (токсичность и пожар) на борту ПКА в ходе его полета, необходимого для выбора рационального решения по её парированию.

Список литературы

1. Кравец В.Г., Любинский В.Е. Основы управления космическими полётами. М.: Машиностроение. 1983. 224с.
2. Соловьёв В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полётами. Учебное пособие в 2-х частях / под общ. ред. Лысенко Л.Н. Ч.1-2. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. (Ч.1) 478 с. (Ч. 2) 428 с.
3. Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьёв В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. Учебное пособие. М.: ИНТУИТ. Бином. Лаборатория знаний. 2009. 173 с.
4. Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В., Обрученков В.П., Древин А.В. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. СПб.: Наука и техника. 2007. 672 с.
5. Милицин А.В., Самсонов В.К., Ходак В.А. Отображение информации в центре управления космическими полетами. М.: Радио и связь. 1982. 190 с.
6. Четвериков В.Н. ред. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ. в 7 кн. / ред. В.Н. Четвериков. Кн. 4: Отображение информации. / Гасов В.М., Коротаев А.И., Сенькин С.И. М.: Высшая школа. 1990. 111с.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Вып.3. / Пер. с англ. Н.И. Ринго. Под ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского. М.: Мир. 1976. 167 с.
8. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Крумбер О.А., Меркурьева Г.В., Попов В.А. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига: Зинатне. 1982. 256 с.