

M. V. Lapaev

Saint Petersburg National Research University
of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University)

A. I. Vodyaho, A. B. Smirnov, N. A. Zhukova
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

INFORMATION SYSTEM FOR MEDICAL RECORDS PROCESSING

The paper is focused on the problem of medical records processing. Doctors' records include specific terminology, a significant number of synonymous terms and random text noise. We propose an algorithm of medical records processing using patterns. The algorithm takes into account the specific features of data. The algorithm is implemented and tested as a module of SMDA (Semantic medical data analysis) system for Almazov medical research center in St. Petersburg. Evaluation of the results was carried out by experts of the domain.

Semantic technologies, structural text analysis, medical records

УДК 681.5.015, 519.876.2

А. В. Экало, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Алгоритм принятия обоснованных решений в нештатных ситуациях на основе моделей нечетких множеств

Описана модель развития нештатной ситуации, анализ и обоснование критериев принятия решения по выходу из нештатной ситуации с использованием нечетких множеств. Разработан обобщенный алгоритм принятия решения, приведен пример его применения.

Нерасчетная нештатная ситуация, антагонистическая игра, математическая модель, нечеткая логика, алгоритм принятия решений, авиационная и ракетно-космическая техника

Современные задачи повышения эффективности и обеспечения безопасности эксплуатации сложных технических систем предъявляют повышенные требования к уровню профессиональной подготовки специалистов. Однако реалии современной действительности показывают снижение общего уровня подготовки выпускников средних школ и существенные изменения в социальной структуре мотивации к освоению будущей профессии. Это затрудняет процесс подготовки специалистов в профильных высших учебных заведениях, а недостаток материального обеспечения учебного процесса приводит к необходимости существенно увеличивать период адаптации молодых специалистов непосредственно в эксплуатирующих организациях.

В профессиональной подготовке специалистов по эксплуатации сложных технических си-

стем (например, летного и диспетчерского состава авиации и специалистов ракетно-космического профиля) широко используются различные типы тренажерных систем.

Совершенствование профессионального мастерства должно сопровождаться тренировкой оперативного мышления специалиста. В связи с этим современные обучающие комплексы в качестве важнейшего условия должны иметь возможность имитировать проблемные и конфликтные ситуации.

В процессе эксплуатации комплексов авиационной и ракетно-космической техники (АРКТ) возникает достаточно большое количество неисправностей и других отклонений от установленных требований к протеканию и результатам технологических операций, называемых нештатными ситуациями (НС). Дальнейшее развитие НС может привести к происшествиям (катастрофам,

авариям, поломкам техники, гибели персонала, нанесению ущерба окружающей природной среде), что обуславливает необходимость принятия решений по выходу из этих ситуаций и высокую степень ответственности лица, принимающего решение (ЛПР), за правильность таких решений. Правильное решение в нештатной ситуации отражает не только способность ЛПР к логическому мышлению, но и его способность к интуитивным формам оценки и принятия решений в таких ситуациях.

Наименее исследованными пока остаются так называемые нерасчетные НС, которые характеризуются тем, что они не происходили ранее и не описаны в эксплуатационной документации [1]–[3]. Автоматизированные обучающие системы и тренажеры должны обеспечивать подготовку специалистов к работе во всех возможных ситуациях.

Обоснованное принятие решения по выходу из нерасчетной НС связано с последовательным выполнением следующих шагов:

- построение модели развития НС;
- анализ возможных решений, которые могут быть приняты по выходу из НС с учетом их последствий;
- обоснование критерия принятия решения по выходу из НС;
- выбор оптимального решения на основе выбранного критерия.

Рассмотрим подробнее предложенный алгоритм принятия решения по выходу из НС.

Построение модели развития нештатной ситуации. Среди нерасчетных НС выделяется класс таких НС, решение по выходу из которых может быть условно разделено на несколько этапов. При этом под этапом принятия решения понимается выбор последовательности действий, которая приведет либо к возвращению процесса в штатный режим, либо к необходимости следующего этапа решения. Количество этапов принятия решения в конкретной НС заранее не известно.

Процесс возникновения и развития НС можно представить в виде антагонистической игры Γ с двумя участниками: 1) ЛПР, задачей которого является выход из НС; 2) заранее неизвестный сценарий развития НС. При этом второй игрок является фиктивным игроком (ФИ) [4], [5].

Цель ЛПР в модели антагонистической игры состоит в максимизации выигрыша, включающего как достижение цели проводимого процесса, так и предотвращение возможного ущерба вследствие развития нештатной ситуации в аварийную (катастрофическую). Цель фиктивного игрока состоит в минимизации выигрыша ЛПР – максимальном ущербе от развития НС.

В зависимости от внешнего проявления НС, имеющегося запаса времени, ресурсов, влияния проводимой операции на конечный результат и других факторов ЛПР может действовать по различным стратегиям. При этом под стратегией понимается выбранная цель выхода из НС и совокупность действий по ее достижению [2], [6], [7]. В общем случае количество стратегий ЛПР может быть произвольным, но наиболее часто используются следующие три:

- Первая стратегия связана с оперативным устранением НС и продолжением выполнения процесса для получения требуемого целевого результата (стратегия a_1).

- Вторая стратегия – остановка выполнения операции, установление причины возникновения НС, ее устранение и только затем продолжение выполнения процесса (стратегия a_2).

- Третья стратегия – немедленное прекращение текущей операции и других сопряженных работ с целью недопущения развития НС до аварии (катастрофы) и отказ от дальнейшего выполнения процесса (стратегия a_3).

Основная сложность при выборе стратегии ЛПР a_i состоит в неопределенности сценария развития НС. Эта неопределенность описывается стратегиями ФИ.

В наиболее благоприятном для ЛПР случае возникающая НС допускает оперативное устранение причины ее возникновения и дальнейшее выполнение операции с заданными параметрами (стратегия b_1).

Второй вид возможных сценариев развития НС предполагает привлечение дополнительных ресурсов, задержку и дальнейшее выполнение операции только после устранения причины НС (стратегия b_2).

Третья ситуация не допускает дальнейшего выполнения операции и требует ее отмены, при этом авария не происходит (стратегия b_3).

Четвертая ситуация предполагает аварийное (катастрофическое) развитие ситуации (стратегия b_4).

Количество стратегий ФИ также может быть произвольным.

Тогда игра Γ представляет собой кортеж:

$$\Gamma = \langle A_{\langle n \rangle}, B_{\langle m \rangle}, H \rangle,$$

где $A_{\langle n \rangle} = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ – множество стратегий 1-го игрока (ЛПР); $B_{\langle m \rangle} = \langle b_1, b_2, \dots, b_m \rangle$ –

множество стратегий 2-го игрока (ФИ); $H = H_1 = -H_2$ – множество выигрышей 1-го игрока (проигрышей 2-го игрока).

Для описанного случая $n = 3$, $m = 4$.

Анализ возможных решений. Матрица цены игры (выигрышей игроков) при использовании игроками всех возможных стратегий представляет собой множество выигрышей ЛПР (проигрышей ФИ) и имеет вид

$$H_{[3,4]} = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \end{vmatrix},$$

где h_{ij} – выигрыш ЛПР, реализующего i -ю стратегию при условии, что ФИ использует j -ю стратегию.

Будем считать, что элементы матрицы цены игры известны. Весьма существенным фактором нерасчетных НС является неопределенность, связанная с незнанием истинной причины НС и обуславливающая различные сценарии ее развития. При этом очень важно оценить возможность (вероятность) того, что принятое решение приведет к аварии. Таким образом, при решении задачи выбора стратегии ЛПР можно ограничиться одним вектором $\mathbf{P}_{\langle 4 \rangle} = \langle p_1, p_2, p_3, p_4 \rangle$, описывающим вероятности реализации одного из возможных сценариев развития НС, а именно:

p_1 – вероятность реализации сценария развития НС, допускающего продолжение работы по использованию объекта по первоначальному плану (стратегии ФИ b_1);

p_2 – вероятность реализации сценария развития НС, допускающего выполнение процесса, но с дополнительными затратами времени и ресурсов (стратегии ФИ b_2);

p_3 – вероятность реализации сценария развития НС, обуславливающего необходимость отмены дальнейшего выполнения процесса (стратегии ФИ b_3);

$p_4 = p_{ав}$ – вероятность реализации аварийного сценария развития НС (стратегии ФИ b_4).

Определять вероятности p_i ($i = 1 - 4$) целесообразно на основе теории нечетких множеств [8], [9], поскольку в большинстве случаев отсутствует информация, позволяющая использовать методы теории вероятностей, и возможна лишь субъективная оценка этих вероятностей.

При этом целесообразно использовать лингвистическую переменную $P_{i \text{ л}}$ ($i = 1(1)4$) «вероятность реализации i -го сценария развития нештатной ситуации».

В качестве нечетких ограничений на значения переменной $P_{i \text{ л}}$ можно использовать такие, как пренебрежимо малая, малая, небольшая, большая, очень большая. Тогда терм-множество $T(P_{i \text{ л}})$ лингвистической переменной $P_{i \text{ л}}$ ($i = 1(1)4$) состоит из пяти элементов:

$$T(P_{i \text{ л}})_{\langle 5 \rangle} = \langle \text{пренебрежимо малая, малая, небольшая, большая, очень большая} \rangle.$$

На интервале $[0; 1]$ необходимо определить граничные значения, которые, по мнению ЛПР, описывают упомянутые значения лингвистической переменной $P_{i \text{ л}}$ ($i = 1(1)4$), а затем построить функции принадлежности μ_j ($j = 1(1)5$) искомым лингвистическим вероятностям к нечетким множествам, характеризуемым этими переменными. Это позволит оценить вероятности реализации каждого сценария развития НС.

При определении граничных значений, в которые могут входить значения выбранных лингвистических вероятностей, будем исходить из следующих соображений.

Наименьшее значение лингвистической вероятности «пренебрежимо малая» $P_{\text{п.м min}}$ совпадает с левым граничным значением интервала $[0; 1]$ и равно 0. Наибольшее значение лингвистической вероятности «пренебрежимо малая» $P_{\text{п.м max}}$ определяется допустимым риском, т. е. максимально возможным значением вероятности развития аварийной ситуации. При задании требований к допустимому риску при эксплуатации АРКТ достаточно часто исходят из значения 0.005.

Наименьшее значение лингвистической вероятности «малая» $P_{\text{м min}}$ так же, как и для $P_{\text{п.м min}}$, можно принять равным 0. Наибольшее значение лингвистической вероятности «малая» $P_{\text{м max}}$ можно обосновать, исходя из принципа практической невозможности [10]. Оно выбирается из ряда 0.01; 0.05; 0.1 в зависимости от значимости рассматриваемого события.

Наименьшее значение лингвистической вероятности «небольшая» $P_{\text{н min}}$ также может быть принято равным 0. Наибольшее значение лингви-

стической вероятности «небольшая» $P_{н\max}$ зависит от предпочтений и опыта ЛПР, а также сведений от системы вышестоящего уровня. Примем его равным 0.5.

Наименьшее значение лингвистической вероятности «большая» $P_{б\min}$ может быть принято равным наибольшему значению лингвистической вероятности «небольшая». Наибольшее значение лингвистической вероятности «большая» $P_{б\max}$ определяется из тех же соображений, что и лингвистическая вероятность «небольшая» и, как правило, выбирается равным 1.

Наименьшее значение лингвистической вероятности «очень большая» $P_{о.б\min}$ может быть принято равным наибольшему значению лингвистической вероятности «большая». Наибольшее значение лингвистической вероятности «очень большая» $P_{о.б\max}$ совпадает с правым граничным значением интервала [0; 1] и равно 1.

Функции принадлежности μ_j ($j=1(1)5$) для каждого из сценариев развития НС формируются экспертным методом.

Зная вид этих функций, можно оценить средние значения $P(A_i)$ лингвистических вероятностей $P_{i\text{ л}}$ ($i=1(1)4$) реализации каждого из сценариев развития нештатной ситуации A_i ($i=1(1)4$) [8]:

$$P(A_i) = \int_{P_{i-1}}^{P_i} \mu_i(x) dx.$$

Для того чтобы оценить четкие вероятности P_i реализации каждого из сценариев развития нештатной ситуации, необходимо выполнить нормировку [8]:

$$P_i = \frac{P(A_i)}{\sum_{j=1}^4 P(A_j)}.$$

Эти вероятности теперь могут использоваться для расчета средних выигрышей при обосновании выбора стратегии ЛПР. Кроме того, они необходимы для обоснования критерия выбора решения по выходу из нештатной ситуации.

В некоторых случаях бывает не достаточно информации для оценивания вероятностей всех ранее описанных сценариев развития НС. Тогда

следует ограничиться оцениванием двух возможных сценариев выхода из НС: аварийного, вероятность реализации которого $p_4 = P_{ав}$, и безаварийного, вероятность реализации которого $p_5 = 1 - p_4 = p_1 + p_2 + p_3$.

В зависимости от имеющейся информации, располагаемого времени, ресурсов, квалификации ЛПР следует выбрать один из вариантов описания возможных выходов из НС: с четырьмя стратегиями ФИ или с двумя – аварийной или допускающей безаварийный выход из НС.

Обоснование критерия принятия решения по выходу из НС и выбор оптимального решения. Выбор критерия обусловлен, во-первых, целевой установкой выхода из НС, во-вторых, имеющейся информацией о состоянии объекта и возможных сценариях развития НС с учетом их последствий.

Целевая функция W_i ($i=1, 2, 3$), характеризующая результат принятого решения о выборе стратегии a_i , в общем случае имеет вид

$$W_i = W_i(a_i; H_{[n,m]}, P_{<4>}, P_{ав. доп}), \quad i=1, 2, 3.$$

Среди известных критериев, применяемых в теории игр [4], [5], наиболее подходящими для решения поставленной задачи являются критерии Байеса и Гурвица.

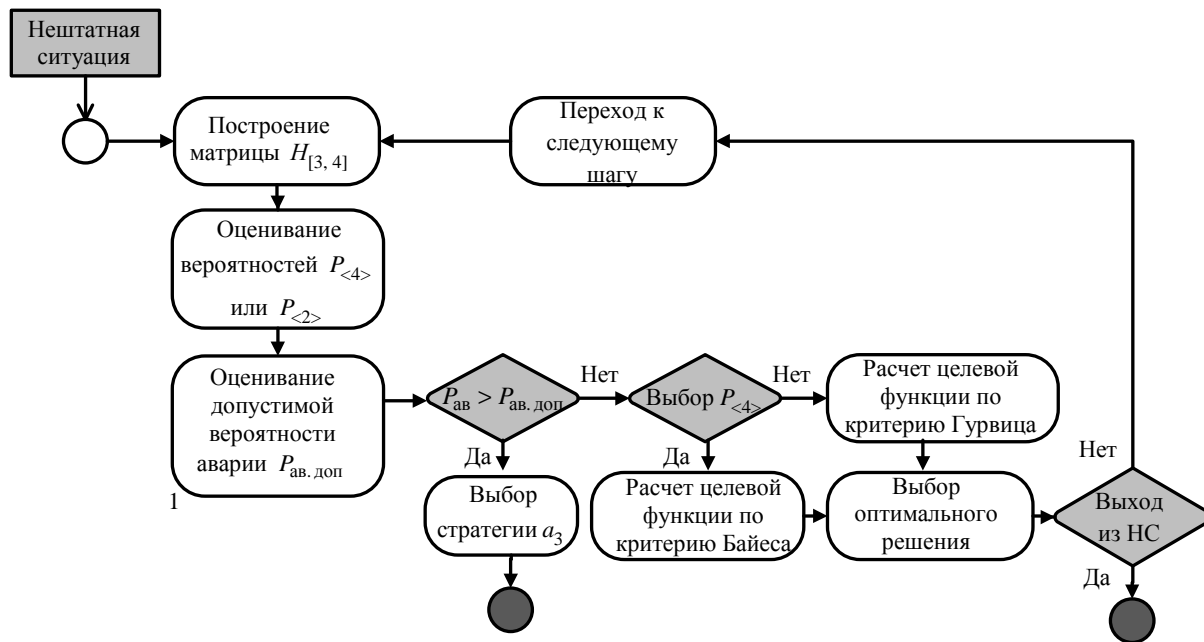
Критерий Байеса целесообразно применять, если у ЛПР есть возможность оценить вероятности реализации всех сценариев выхода из НС. Целевая функция критерия Байеса представляет собой средний выигрыш ЛПР с учетом матрицы выигрышей $H_{[3,4]}$ и вероятностей p_1, p_2, p_3, p_4 реализации возможных сценариев развития НС:

$$W_i(a_i) = \sum_{j=1}^4 p_j h_{ij}; \quad i=1, 2, 3.$$

При использовании *критерия Гурвица* вводится некоторый коэффициент α , называемый коэффициентом оптимизма ($0 \leq \alpha \leq 1$). Коэффициент оптимизма α можно трактовать как вероятность $P_{ба} = 1 - P_{ав}$ безаварийного выхода из нештатной ситуации для случая, когда ЛПР не имеет возможности оценить вероятности всех сценариев развития нештатных ситуаций:

$$\alpha = 1 - P_{ав}.$$

Чем опаснее ситуация, тем меньше значение α .



Целевая функция критерия Гурвица имеет вид [4]:

$$W_i(a_j) = \alpha \cdot \max_j h_{ij} + (1 - \alpha) \min_j h_{ij},$$

$$j = 1(1)4, \quad i = 1, 2, 3.$$

Оптимальным является решение, которому соответствует максимум целевой функции:

$$a_i^* = \text{Arg max}_{i=1(1)3} W_i^*(a_i).$$

Процесс принятия решения по выходу из НС является многошаговым, количество шагов заранее неизвестно, но последовательность действий ЛПР одинакова для всех шагов принятия решения. В общем виде алгоритм принятия решения по выходу из нештатной ситуации представлен на рисунке, он основывается на результатах решения задач по построению модели развития НС, анализу и обоснованию возможных решений, а также критерия принятия решения.

Рассмотрим применение данного алгоритма на примере реальной ситуации в области АРКТ. На стартовом комплексе при заправке бака первой ступени ракеты-носителя компонентом ракетного топлива обнаружилось отсутствие сигнала на пульте оператора о завершении заправки в установленное время. Предполагаемыми причинами этого являются отказ бортового датчика, расположенного в баке, либо течь компонента. Осмотр ракеты-носителя, заправочного оборудования и коммуникаций не выявил течи, поэтому был сделан вывод о неисправности бортового датчика. Возможные решения: 1) определить с

помощью наземных средств контроля, какое количество компонента в баке, и в случае его соответствия требуемому значению осуществить пуск ракеты в установленное время; 2) установить точную причину нештатной ситуации, устранить ее и после этого осуществить пуск ракеты; 3) прекратить все операции на стартовом комплексе, слить компоненты топлива из баков, отправить ракету-носитель на технический комплекс для тщательного анализа ситуации.

Пусть элементы матрицы выигрышей имеет значения, представленные в таблице.

h_{ij}	1	2	3	4
1	100	70	-120	-250
2	20	50	-70	-180
3	-120	-130	80	-10

Результаты экспертной оценки лингвистических вероятностей реализации четырех сценариев развития нештатной ситуации следующие:

$$P_{1\text{ л}} = \text{большая}; P_{2\text{ л}} = \text{большая};$$

$$P_{3\text{ л}} = \text{небольшая}; P_{4\text{ л}} = \text{пренебрежимо малая}.$$

Допустимое значение вероятности аварии равно 0.005. В соответствии с вышеприведенными рассуждениями в простейшем случае среднее значение лингвистической вероятности «большая» равно 0.75, лингвистической вероятности «небольшая» – 0.25, лингвистической вероятности «пренебрежимо малая» – 0.0025. Применив условие нормировки, получим четкие вероятности реализации каждого из сценариев развития НС:

$$P_1 = P_2 = \frac{0.75}{0.75 + 0.75 + 0.25 + 0.0025} = 0.428;$$

$$P_3 = \frac{0.25}{1.7525} = 0.143; P_4 = \frac{0.0025}{1.7525} = 0.001.$$

Оценим по критерию Байеса значения целевой функции для каждой из стратегий ЛПР:

$$W_1(a_1) = \sum_{j=1}^4 p_j h_{ij} = 55.35; W_2(a_2) = 19.77;$$

$$W_3(a_3) = -95.55.$$

Таким образом, оптимальной является первая стратегия a_1 , направленная на своевременный пуск ракеты-носителя. Если при реализации этой стратегии снова возникнет нештатная ситуация, то необходимо будет переходить к следующему шагу, т. е. снова выполнять все этапы алгоритма.

Использование представленного алгоритма обеспечит максимальную обоснованность действий при возникновении нештатной ситуации. Соответственно, он может использоваться в системе ППР, а также при подготовке персонала к принятию решений в нештатных ситуациях, например при реализации автоматизированных обучающих систем, учитывающих возникновение НС [7], [11]. Подобные системы предназначены для формирования у персонала, эксплуатирующего АРКТ, навыков и компетенций принятия обоснованных решений при выполнении операций технологического процесса в условиях возникновения НС, а также информационной поддержки принятия решений при возникновении НС в повседневной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряков С. А. Компетентностный подход к образованию и готовность к действиям в нештатных ситуациях // Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 8 июля 2015 г.: в 2 ч. Ч. 1 / отв. ред. А. А. Зарайский. Саратов: Изд-во ЦПМ «Академия Бизнеса», 2015. С. 2–87.
2. Актуальные вопросы теории эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники / Е. Н. Шаповалов, С. А. Кудряков, Ю. Б. Остапченко, А. В. Экало, С. А. Беляев // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 6. С. 70–75.
3. Шаповалов Е. Н., Кудряков С. А. Актуальные аспекты профессиональной подготовки специалистов по эксплуатации авиационных и ракетно-космических систем // Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 8 июля 2015 г.: в 2 ч. Ч. 2 / отв. ред. А. А. Зарайский. Саратов: Изд-во ЦПМ «Академия Бизнеса», 2015. С. 100–104.
4. Орлов А. И. Теория принятия решений: учеб. М.: Экзамен, 2006. 573 с.
5. Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Шевкопляс Е. В. Теория игр: учеб. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.
6. Проблемы профессиональной подготовки специалистов для эксплуатации сложных технических объектов в современных условиях / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов, В. В. Романцев, С. А. Беляев // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 8. С. 90–94.
7. Современная концепция комплексной автоматизированной системы профессионального обучения и сопровождения деятельности для специалистов службы эксплуатации радиотехнического оборудования и связи / С. А. Беляев, Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, Н. В. Книжниченко, Е. Н. Шаповалов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 10. С. 10–14.
8. Дилигенский Н. В., Дымова Л. Г., Севастьянов П. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. М.: «Машиностроение – 1», 2004. 397 с.
9. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
10. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука, 1968. 288 с.
11. Остапченко Ю. Б., Кудряков С. А. Профессиональное обучение специалистов по эксплуатации уникальных техногенных объектов в современных условиях // Наука сегодня: постулаты прошлого и современные теории: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 8 июля 2015 г.: в 2 ч. Ч. 2 / отв. ред. А. А. Зарайский. Саратов: Изд-во ЦПМ «Академия Бизнеса», 2015. С. 7–12.

A. V. Ekalo, S. A. Kudryakov, E. N. Shapovalov, Yu. B. Ostapchenko, S. A. Belyaev
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

THE ALGORITHM OF DECISIONS MAKING IN EMERGENCY SITUATIONS BASED ON MODELS OF FUZZY SETS

The development of emergency situations model is described in the article, analysis and justification of criteria for the decision making offered based on the use of fuzzy sets. Developed a generic decision making algorithm, described the example of its application.

Not foreseen emergency situation, a zero-sum game, mathematical model, fuzzy logic, algorithm of decision-making, aviation and space-rocket technics