

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д.т.н. О.С. Бутенко, О.О. Замирец, Национальный аэрокосмический университет им.Н.Е.Жуковского «ХАИ», г. Харьков

Предложен метод определения вероятности возникновения чрезвычайной ситуации природного характера в зависимости от изменения количественных характеристик факторов влияния. Метод адаптирован для ситуаций, связанных с возникновением лесных пожаров, при определении количественных значений возникновения которых использовались элементы нечеткого моделирования.

Запропоновано метод визначення ймовірностей виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру в залежності від зміни кількісних характеристик факторів, впливу. Метод адаптований для ситуацій, пов'язаних з виникненням лісових пожеж, при визначенні кількісних значень виникнення яких використовувалися елементи нечіткого моделювання.

The method of estimating the definition of occurrences of natural disasters, depending on changing of the quantitative characteristics of influence factors, has been proposed. The method has been adapted to situations related to the occurrence of forest fires, using elements of fuzzy modeling to determine the occurrence of quantitative value.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, лесные пожары, нечеткая логика, вероятность.

Актуальность исследования

Используемые в настоящий момент методы определения вероятностных характеристик возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), как правило, основаны на использовании конкретных числовых значений. Однако, при таком подходе снижается точность принятия решений о степени опасности возникновения ЧС за счет отсева значительного количества информативных данных. Возможность оперирования интервальными оценками позволяет принимать правильные решения не только в конкретно заданных начальных условиях, но и в условиях неопределенности. Для этого при моделировании целесообразно использовать методы теории нечетких множеств.

Как известно [2], процесс нечеткого моделирования представляет собой некоторую процедуру получения нечетких заключений на основе нечетких условий (предпосылок) с использованием понятий нечеткой логики. Поскольку разработка и применение систем нечеткого вывода имеет междисциплинарный характер, данная проблематика исследований тесно взаимосвязана с целым рядом других научно-прикладных направлений, таких как: нечеткое моделирование, нечеткие экспертные системы, нечеткая ассоциативная память, нечеткие логические контроллеры, нечеткие регуляторы и просто нечеткие системы [2].

В общем виде предлагаемый метод определения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций должен включать в себя несколько основных этапов:

- 1) анализ всех факторов, влияющих на возникновение ЧС;
- 2) отсев избыточных данных;
- 3) определение взаимосвязи между факторами и степеней комбинаторного влияния факторов;
- 4) построение матрицы смежности и достижимости для определения степеней максимального влияния;
- 5) определение лингвистических переменных;
- 6) формирование терм – множества для каждой из групп переменных;
- 7) обработка входных данных по алгоритму Ларсена. Выявление зоны неопределенности принятия решений;
- 8) определение скорости изменения параметров внутри выделенных интервалов;
- 9) построение продукционных моделей возникновения чрезвычайных явлений;
- 10) формирование четких оценок вероятности возникновения ЧС;
- 11) описание функций принадлежности степени опасности возникновения ЧС и определения их производных.

Для наглядности предложенный метод был адаптирован для ситуации, связанной с возникновением лесных пожаров.

Определение коэффициентов комбинаторного влияния факторов

Пожары наносят большой материальный ущерб и в ряде случаев сопровождаются гибелью людей. К основным последствиям лесных пожаров относятся: нарушения функций леса, понижение концентрации кислорода, взрыв, снижение ценности ландшафтов [1].

В результате анализа всех факторов, влияющих на возникновение лесного пожара, были выделены основные факторы, представленные на рис. 1.

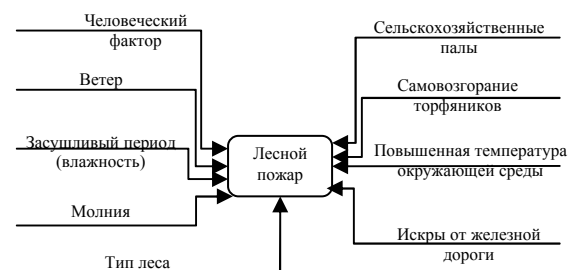


Рис. 1. Факторы, влияющие на возникновение лесного пожар

Для оценки степени опасности возникновения ЧС были определены коэффициенты комбинаторного влияния факторов друг на друга.

При определении степени опасности возникновения чрезвычайной ситуации для визуализации взаимосвязей между анализируемыми факторами влияния был составлен ориентированный граф (рис. 2), показывающий поэтапно весь процесс возникновения ЧС (лесных пожаров).

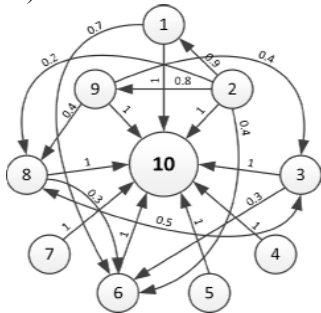


Рис. 2. Ориентированный граф факторов влияния на возникновение лесного пожара

На рисунке 2 вершины 1 – 9 графа соответствуют факторам, влияющим на возникновение ЧС; вершина 10 – объекту исследования (лесному пожару).

При исследовании связей, показывающих взаимодействие факторов друг с другом, и для определения степени их взаимного влияния была построена матрица достижимости. Для этого был использован метод поиска кратчайших путей Флойда.

Следует заметить, что для поиска максимально влияющих факторов необходим поиск максимума, но алгоритм Флойда заключается в определении кратчайших путей. В связи с этим необходимо преобразовать матрицу D следующим путем: из единицы вычесть коэффициент влияния не равный бесконечности и нулю.

$$D = \begin{vmatrix} 1 & - & - & - & - & 0.1 & - & - & - & 0 \\ 0.8 & 1 & 0.3 & - & - & 0.6 & - & 0.8 & 0.2 & 0 \\ - & - & 1 & - & - & 0.7 & - & 0.5 & - & 0 \\ - & - & - & 1 & - & - & - & - & - & 0 \\ - & - & - & 0.2 & 1 & - & - & - & - & 0 \\ - & - & - & - & - & 1 & - & - & - & 0 \\ - & - & - & - & - & - & 1 & - & - & 0 \\ - & - & 0.5 & - & - & 0.7 & - & 1 & - & 0 \\ - & - & 0.6 & - & - & 0.3 & - & 0.6 & 1 & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & 1 \end{vmatrix}$$

В соответствии с полученной матрицей достижимости D были найдены коэффициенты взаимодействия факторов, влияющих на возникновение чрезвычайной ситуации (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты взаимодействия факторов между собой

Фактор	Коэффициент
Человеческий фактор	0.4
Ветер	0.46
Засушливый период	0.52
Молния	0.2
Тип леса	0.2
Сельскохозяйственные палы	0.42
Самовозгорание торфа	-
Повышенная температура окружающей среды	0.62
Искры от ж/д	0.42

Анализ значений матрицы достижимости позволил классифицировать все возможные факторы, влияющие на возникновение пожаров, на три основные группы по степени максимального – до минимального влияния. Однако при построении правил принятия решений с использованием интервальных оценок (для уточнения полученных количественных характеристик) необходимо внутри этих групп проведение дополнительной классификации.

Метод определения вероятностей возникновения чрезвычайных ситуаций с использованием нечеткого моделирования

По представленным в табл. 1 коэффициентам, характеризующих степень воздействия на возникновение ЧС, были выделены три основные группы факторов:

1. Группа факторов максимального влияния:
 - Влажность воздуха;
 - Ветер;
 - Температура окружающей среды;
2. Группа факторов минимального влияния:
 - Молния;
 - Тип почвы;
 - Тип леса;
3. Группа переходных факторов или «джокеры»:
 - Человеческий фактор / с/х палы;
 - Расстояние от лесного массива до ж/д.

Были введены следующие обозначения - K – вероятность возникновения чрезвычайной ситуации, является выходной лингвистической переменной с качественными заключениями: L (light) “малая вероятность возникновения”, M (medium) “средняя вероятность возникновения”, H (high) “большая вероятность возникновения” лесного пожара:

$$K = \{L, M, H\}.$$

Каждому качественному заключению выходной лингвистической переменной (L, M, H) поставлено в соответствие своё терм-множество на промежутке $[0, 10]$ с функцией принадлежности, представленной на рис. 3.

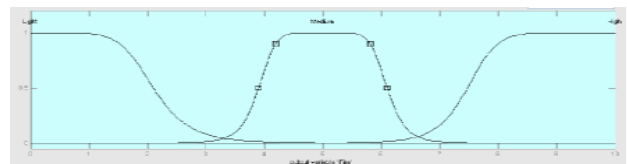


Рис. 3. Терм-множества выходной лингвистической переменной

При оценке степени опасности вероятности возникновения лесного пожара учитывались факторы максимального влияния, которые были определены ранее: ветер, температура окружающей среды и влажность воздуха (табл. 2). При этом выходная лингвистическая переменная – вероятность возникновения чрезвычайной ситуации.

Таблица 2

Факторы максимального влияния на возникновение ЧС

Ветер		Температура окр. ср.		Влажность воздуха, %	
Слабый	1-2 м/с	Нормальная	18 – 25	Повышенная	75 – 95
Средний	2-4 м/с	Высокая	25 – 30	Средняя	40 – 75
Сильный	4-6 м/с и >	Очень высокая	30 – 38	Пониженная	0 – 40

В качестве входных параметров рассмотрены лингвистические переменные вида:

1. K_w – вероятность возникновения лесного пожара в зависимости от ветра;
2. K_t – вероятность возникновения лесного пожара в зависимости от температуры окружающей среды;
3. K_d – вероятность возникновения лесного пожара в зависимости от влажности воздуха.

Аналогично были рассмотрены и проанализированы и две оставшиеся группы. Входные переменные факторов второй и третьей группы представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Факторы минимального влияния на возникновение ЧС

Тип почвы	Вероятность молнии	Тип леса
Чернозёмы	Малая	Смешанный лес (лиственные деревья)
Бурозёмы	Средняя	Еловые леса (хвойные, сосновые)
Дерново-подзолистые	Высокая	Травяные боры
Торфяные болотные верховые почвы		Лишайниковые боры

Таблица 4

Значения переходных факторов

Сезонность	Расстояние до ж/д	
Зимний период	Близко	< 5 м
Весенний период	Средне	5 – 1000 м
Летний период	Далеко	> 1 км
Осенний период		

Входные параметры имеют следующие качественные заключения: L (light) – “слабое воздействие”, M (medium) – “среднее”, H (high) “сильное воздействие” факторов на возникновение ЧС природного характера.

Для каждого фактора были определены терм-множества и построены функции принадлежности, представленные на рис. 4 – 6.

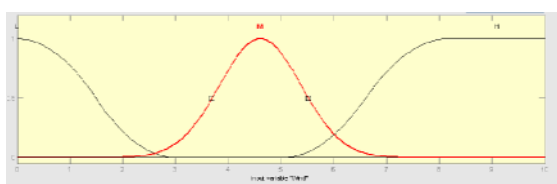


Рис. 4. Терм-множества входной переменной «ветер»

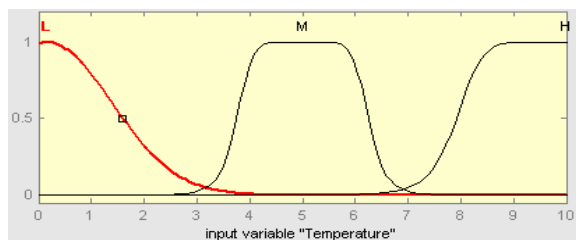


Рис. 5. Терм-множества входной переменной «температура»

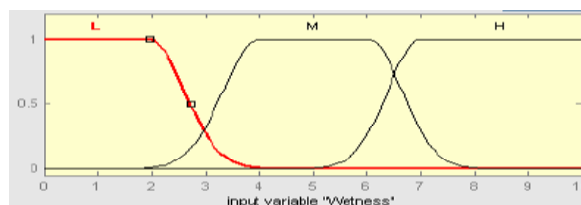


Рис. 6. Терм-множества входной переменной «влажность»

В результате проведенного анализа было определено, что наиболее оптимальным является метод агрегирования, активизации и дефаззификации соответствующие алгоритму Ларсена.

Структурная схема метода определения вероятностей возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера с использованием нечеткого моделирования в общем виде представлена на рис. 7.

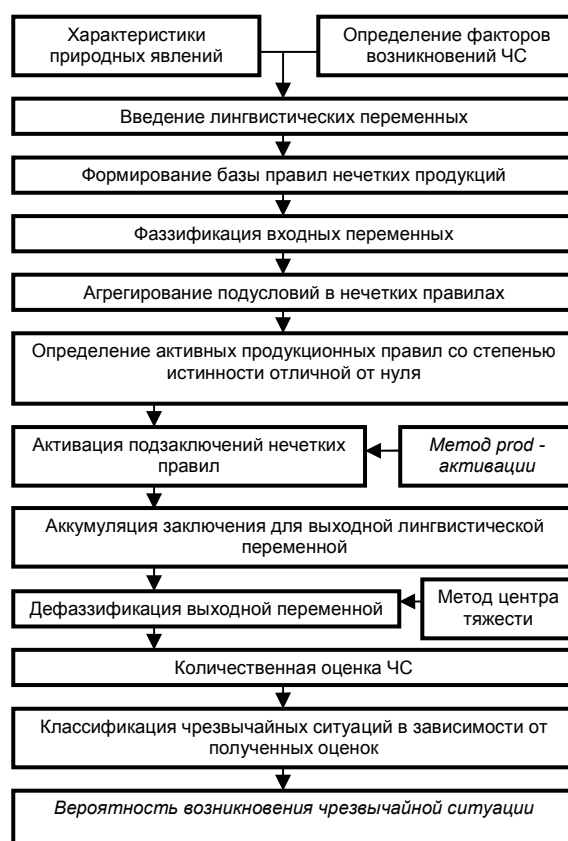


Рис. 7. Структурная схема системы нечеткого вывода

Формально адаптация алгоритма Ларсена к анализируемой ЧС может быть определена следующим образом:

- 1) Для формального представления эмпирических знаний об оценивании вероятности возникновения ЧС в

зависимости от факторов (ветер, температура, влажность) создается база правил систем нечеткого вывода, которая использует правила нечетких продукций [3].

Для каждой переменной присваиваются значения множеств L, M и H. В результате база правил нечетких продукций с учетом определенных факторов максимального влияния на возникновение ЧС представлена 27, минимального – 48, переходных – 12 правилами нечетких выводов.

2) Фаззификация входных переменных (введение нечеткости).

Для проведения процедуры нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе исходных данных, оцененных в соответствии с дихотомической шкалой, был проведен анализ чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Украины в промежутке 2013 – 2014 годов. Были выбраны лесные пожары, представленные в табл. 5.

В качестве входных параметров были взяты: метеорологические данные для группы факторов максимального влияния (скорость ветра, температура, влажность воздуха, вероятность осадков), расстояние до ж/д, сезонность, тип леса и тип почвы.

Входные параметры лесных пожаров представлены в табл. 6, 7.

Таблица 5

Лесные пожары 2013 – 2014 гг. на территории Украины

№	Область	Район	Город/село, лесной массив	Дата, время
1.	Полтавская	Кобеляцкий	Кустоловы Кущи, лесной массив ГП «Полтаваагролес»	01.08.14 16:00
2.	Ивано - Франковская	Долинский	г. Мерлей, с. Мысливка	09.08.13 23:35
3.	Полтавская	Новосанжарский	Клюсовка, «Новосанжарский гослесхоз»	11.09.14 17:00
4.	Закарпатская	Иршавский	Ольховка	17.04.13 14:00
5.	Черниговская	Черниговский	Якубовка	11.09.14 13:40

Таблица 6

Исходные данные для факторов, влияющих на ЧС

№	Ветер м/с	Темп. °С	Вл-ть %	Тип почвы	Вер-ть осадков %	Тип леса
1	4.5	33	18	Чернозем малогумусный	2	Дубово – сосновый
2	2.3	20.9	74	Буроземно - подзолистая	2	Хвойный
3	5.1	25	34	Дерново - подзолистые	1	Буково - еловый
4	2	18	46	Буроземно - подзолистая	3	Буково - еловый
5	4.5	34	48	Дерново – подзолистая, торфяники	9	Дубово - сосновый

Таблица 7

Входные переменные для проведения фаззификации

№	K_w	K_t	K_d	K_p	K_L	K_F	K_P	K_{Tr}
1	7.5	7.5	7.7	3.5	0.5	2.5	6.7	1.2
2	3.3	1.5	2.1	5	1	3.5	7	1.8
3	8.5	2.5	6.1	4.5	0.5	4	8.1	0.8
4	2.8	0.5	5.2	5.3	2.1	2.5	3.5	0.3
5	7.3	2.5	5	6.6	6.3	2.5	7.3	0.3

3) Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций. Используются парные нечеткие логические операции для нахождения степени истинности условий всех правил нечетких продукций (как правило, max-дизъюнкция и min-конъюнкция) [3].

В результате анализа графиков выявлены активные продукционные правила для факторов максимального влияния со степенью истинности отличной от нуля: R_1, R_2, R_6, R_9 (рис. 8).

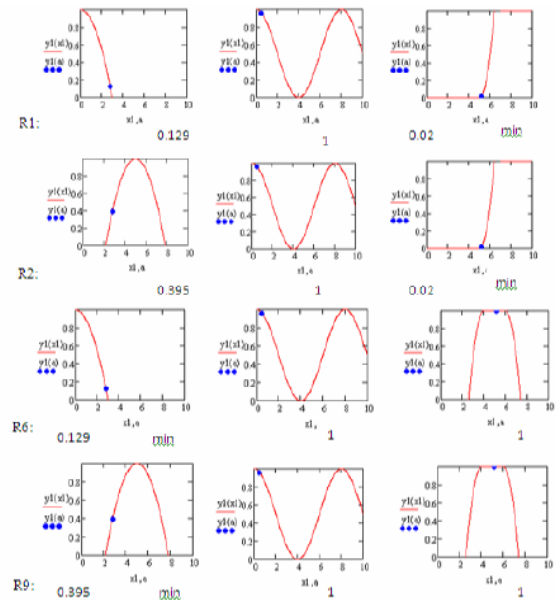


Рис. 8. Активные продукционные правила

4) Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций. Осуществляется использованием метода prod-активизации, посредством чего находится совокупность нечетких множеств и строится новая функция принадлежности в зависимости от весового коэффициента.

5) Аккумуляция заключений нечетких правил продукций. Осуществляется объединением двух нечетких множеств, соответствующих термам подзаключений, относящихся к одним и тем же выходным лингвистическим переменным.

Результат аккумуляции факторов влияния на возникновение ЧС представлен на графике функций принадлежности выходной переменной К (рис. 9).

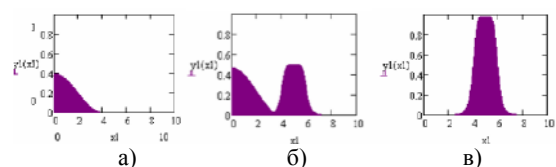


Рис.9. График аккумуляции заключения факторов максимального (а), минимального влияния (б), переходных факторов (в) для выходной лингвистической переменной К

б) Дефаззификация выходных переменных по методу центра тяжести.

С помощью применения основных этапов нечеткого вывода для лесных пожаров были получены следующие количественные значения вероятности возникновения ЧС для факторов максимального влияния, минимального влияния и переходных факторов (рис. 10).

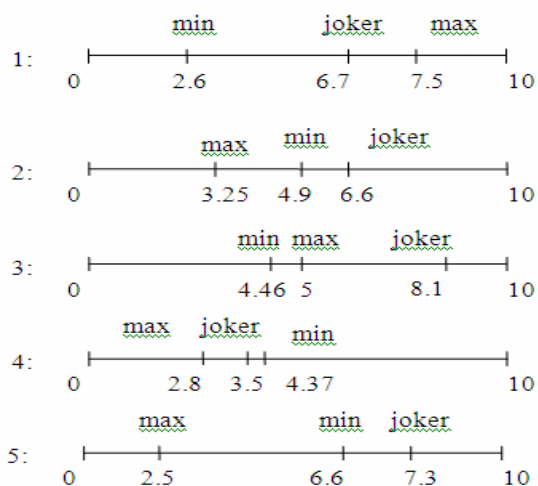


Рис. 10. Количественные значения вероятности возникновения ЧС

Применение метода Ларсена теории нечетких множеств заканчивается на проведении дефазификации вероятности возникновения лесного пожара. После определения количественных характеристик распределения факторов влияния согласно введенной шкале [1; 10] необходимо перейти к следующему этапу определения степени опасности возникновения чрезвычайной ситуации.

Следует отметить, что определение интервальных оценок факторов влияния проводилось с учетом степени воздействия на лесной пожар переходных факторов, факторов максимального и минимального влияния. При этом шкала факторов минимального влияния на возникновение ЧС соответствует промежутку [2.6; 6.6], шкала факторов максимального влияния – [2.5; 7.5], шкала воздействия на ЧС переходных факторов – [3.1; 8.1].

В соответствии с определенными интервальными оценками факторов влияния на возникновение ЧС была построена и аналитически описана функция принадлежности выходной лингвистической переменной К – вероятности возникновения лесного пожара. Результат после проведенной операции аккумуляции значений трёх факторов влияния на промежутке [2.6; 8.1] представлен на рис.11.

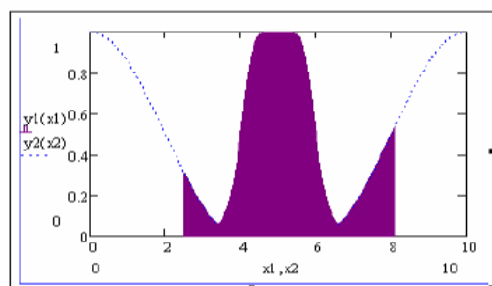


Рис. 11. Результат функции принадлежности переменной К

Точки пересечения двух функций принадлежности определяют границу зоны пересечения двух качественных подзаключений выходной переменной (зону неопределенности). Такими точками являются А [3.39; 0.05] и В [6.6; 0.05].

Результаты описания функций принадлежности терм-множеств выходной лингвистической переменной К на заданных промежутках и значения скоростей изменения функций принадлежности внутри зоны неопределенности (их первые производные) представлены в табл. 8.

Таблица 8

Функции принадлежности выходной лингвистической переменной и их производные

Промежуток функции	Функция принадлежности	Скорость функции
$\forall x \in [2.5; 3.39]$	$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \cos(\pi * \frac{x-8}{4})$	$\mu'(x) = -\frac{\pi}{8} * \sin(\frac{\pi x}{4})$
$\forall x \in [3.39; 6.6]$	$\mu(x) = \frac{1}{1 + x-5 ^6}$	$\mu'(x) = \frac{6 * (x-5)^5}{(1 + x-5 ^6)^2}$
$\forall x \in [6.6; 8.1]$	$\mu(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \cos(\pi * \frac{x-10}{4})$	$\mu'(x) = -\frac{\pi}{8} * \sin(\frac{\pi x}{4})$

Приравняв полученные функциональные зависимости, характеризующие скорость изменения функций принадлежности внутри зоны неопределенности к нулю, получим точки индифферентности. Точки являются точками стабильности, а их значения могут быть использованы в качестве исходных данных при определении вероятности возникновения ЧС по методам классической теории вероятностей.

Полученные количественные значения вероятностей возникновения всех пяти пожаров по дихотомической шкале относятся к терм-множеству High, что указывает на большую вероятность возникновения лесного пожара на исследуемой территории именно в этот период времени (например, для Закарпатской области вероятность составляет 7,5 из 10, для Полтавской области – 8,1 из 10). Для сравнения оценок с реальными данными, изначально учитывались количественные значения метеорологических данных, полученные непосредственно за сутки до возникновения ЧС. В качестве проверки соответствия полученных результатов разработанного метода и реальных данных был проведен мониторинг лесных пожаров в исследуемых областях.

Выводы

В данной статье на основе использования нечеткого моделирования был предложен метод определения вероятностей возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера влияния с учетом количественных характеристик их распределения. Для этого был построен ориентированный граф факторов, влияющих на возникновение ЧС, построены матрицы смежности и матрицы достижимости.

На основе алгоритма Флойда, были найдены коэффициенты взаимодействия факторов влияния на ЧС, после чего факторы были классифицированы на три основные группы.

В качестве алгоритма нечеткого вывода был выбран метод Ларсена. При оценке вероятности возникновения лесного пожара учитывали следующие факторы максимального влияния: ветер, температура окружающей среды и влажность воздуха; факторы минимального влияния: тип почвы, тип леса и вероятность молнии; переходные факторы влияния на возникновение ЧС: сезонность и расстояние до ж/д.

Выходной лингвистической переменной была вероятность возникновения чрезвычайной ситуации.

На основе исходных данных проведена фаззификация входных переменных, активизация и аккумуляция подзаключений выходной лингвистической переменной. После чего было найдено количественное значение вероятности возникновения лесного пожара (выполнено по дефаззификации выходных переменных по методу центра тяжести).

После применения основных этапов нечеткого вывода определены интервальные оценки факторов воздействия на лесной пожар, в результате чего была выделена зона тройного пересечения значений факторов влияния.

Описана функция принадлежности выходной лингвистической переменной К – вероятности возникновения лесного пожара. После чего была проведена операция аккумуляции значений трёх

факторов влияния на промежутке [2.6; 8.1], найдены точки пересечения функций принадлежности и их производные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Замирец О. О. Особенности построения системы поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] / О.О. Замирец // Системы обработки информации: сб. науч. тр. /ХУПС. – Х., 2014. Вып. №2 (118) – с. 273 – 276

2. Замирец О. О. Оценка процесса развития чрезвычайной ситуации по непараметрическим критериям [Текст] / О.О. Замирец // Материалы конференции: XXI Международная науч. – практ. конф. «Актуальные проблемы жизнедеятельности общества» – Кременчуг, 2014. – с. 153 – 154

3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB [Текст] / А. В. Леоненков – СПб.: БХВПетербург, 2005. – с. 185 – 198.

УДК 504.05

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ СИТУАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ С УЧЕТОМ ПРИЕМЛЕМЫХ И НЕПРИЕМЛЕМЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

А.С. Нечаусов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», г. Харьков

Проведена оценка степени риска возникновения ситуации экологической нестабильности и разработан алгоритм процесса нечеткого вывода в зависимости от приемлемых и неприемлемых экологических факторов. Построена трехмерная модель воздействия экологических факторов на окружающую среду исследуемой области.

Проведено оцінку ступеня ризику виникнення ситуації екологічної нестабільності та розроблено алгоритм процесу нечіткого виводу залежно від прийнятних і неприйнятних екологічних факторів. Побудована тривимірна модель впливу екологічних факторів на навколишнє середовище досліджуваної області.

The evaluation of risk degree of ecological instability situation occurrence has been carried out and the algorithm for fuzzy inference process according to acceptable and unacceptable ecological factors has been developed. Three-dimensional model of the ecological factors' impact on the environment of research area has been built.

Ключевые слова: экологическая нестабильность, нечеткая логика, свалки.

Введение

Антропогенный фактор - один из основных факторов воздействия на экологию в настоящее время. В данной работе рассмотрена проблема свалок, а именно, разработки системы, позволяющей своевременно классифицировать свалки и определять уровень экологического риска связанный с исследуемым объектом.

Вывоз отходов на организованные и неорганизованные полигоны, а также стихийные свалки представляют собой эпидемиологическую опасность. Свалка – это серьезный источник загрязнения окружающей среды. В глубине мусорной массы проходят процессы разложения, в которых участвуют анаэробные бактерии. Вследствие подобного процесса выделяется токсичный биологический газ, одним из компонентов которого является метан. Происходит глубинное заражение грунта, загрязненный воздух разносится ветром на значительные расстояния, а если под свалкой находятся грунтовые воды, то они фактически отравляются ядом. Таким образом, ближайшие водоёмы токсичны и опасны для человека. А грунт непригоден для использования в течение нескольких сотен лет после закрытия свалки.

Возгорание выделяемого газа – это частое явление на свалках. Ядовитый дым попадает в атмосферу и отравляет все организмы в радиусе нескольких километров. По мнению многих ученых, метан является одним из виновников усиливающегося парникового эффекта.

Увеличение площади свалки происходит очень быстрыми темпами. Опасная эпидемиологическая зона приближается к человеческим поселениям. Вдыхаемый воздух приводит к отравлению человека. Жители деревень, которые живут рядом с подобными свалками, часто жалуются на плохое самочувствие, у некоторых от ядовитых испарений развиваются раковые опухоли [2].

Стихийные свалки несут ещё большую опасность, так как располагаются чаще всего возле жилых районов.

На сегодняшний день на территории Харьковщины расположены 77 свалок, а также 2 полигона ТБО. Их