

ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

THE LOGICAL - LINGUISTIC MODEL FOR ASSESSING OF THE EMERGENCY LEVEL

*N. Sedova
V. Sedov*

Annotation

The model assessing the emergency level based on the theory of fuzzy sets and which consists of three input linguistic variables and one output is presented. The model is taking the account information about the health or life dangers, on the extent of ship damage and the level of pollution. The fuzzy sets corresponding to the term of these linguistic variables, their analytical and graphical view are represented. The fuzzy product base contains 80 fuzzy rules.

Keywords: fuzzy logic, linguistic variable, fuzzy set, emergency level.

*Седова Нелли Алексеевна
К.т.н., научн. сотрудник, Морской
государственный университет
им. адмирала Г.И. Невельского,
г. Владивосток*

*Седов Виктор Александрович
К.ф.-м.н., Морской
государственный университет
им. адмирала Г.И. Невельского,
г. Владивосток*

Аннотация

В работе представлена модель, базирующаяся на теории нечетких множеств, предназначенная для оценки уровня аварийных ситуаций, состоящая из трёх входных лингвистических переменных и одной выходной. Для определения уровня аварийных ситуаций учитывается информация о вреде здоровью и жизни человека (группе лиц), о степени повреждения судна и уровне загрязнения окружающей среды. В работе представлены нечеткие множества, соответствующие термам указанных лингвистических переменных, их аналитическое и графическое представления. База нечетких продукций логико-лингвистической модели содержит 80 правил.

Ключевые слова:

Нечеткая логика, лингвистическая переменная, нечеткое множество, уровень аварийной ситуации.

Введение

Оценка уровня безопасности судоходства является важной, но сложно формализуемой задачей, поскольку на нее влияют многочисленные факторы со сложными взаимосвязями. Существующие вероятностные методы имеют существенный недостаток [1], заключающийся в том, что одинаковая вероятность числа аварийных ситуаций (АС) приводят к разным экономическим и социальным последствиям, что не различается вероятностными методами. В работе [1] предложен "метод балльной оценки аварийности на морском транспорте", который, по мнению А.В. Шемелина, также ограничен невозможностью формирования приемлемого универсального критерия для оценки уровня безопасности судоходства.

В настоящей работе предложена логико-лингвистическая модель первичной оценки опасности столкновения судов, использующая балльный метод оценки аварийных ситуаций и классификатор аварийных ситуаций, представленные в [1], а также использующая алгоритм Мамдани в качестве метода нечеткого логического вы-

вода, описанный в [2].

Описание логико-лингвистической модели оценки уровня аварийных ситуаций

Анализируя балльный метод оценки аварийных ситуаций и классификатор аварийных ситуаций, представленные в [1], определены следующие три критерия, необходимые для формирования модели (рисунком 1): критерий вреда здоровью и жизни человека (группе лиц), критерий степени повреждения судна, критерий загрязнения окружающей среды.

Логико-лингвистическая модель оценки уровня аварийных ситуаций состоит из трех входных и одной выходной лингвистических переменных (ЛП).

Первая входная ЛП, фиксирующая информацию о причинении вреда здоровью и жизни человека (группе лиц), определяющаяся по числу пострадавших или погибших человек, характеризуется базовым терм-множеством {единичное, малое, среднее, большое, огромное},

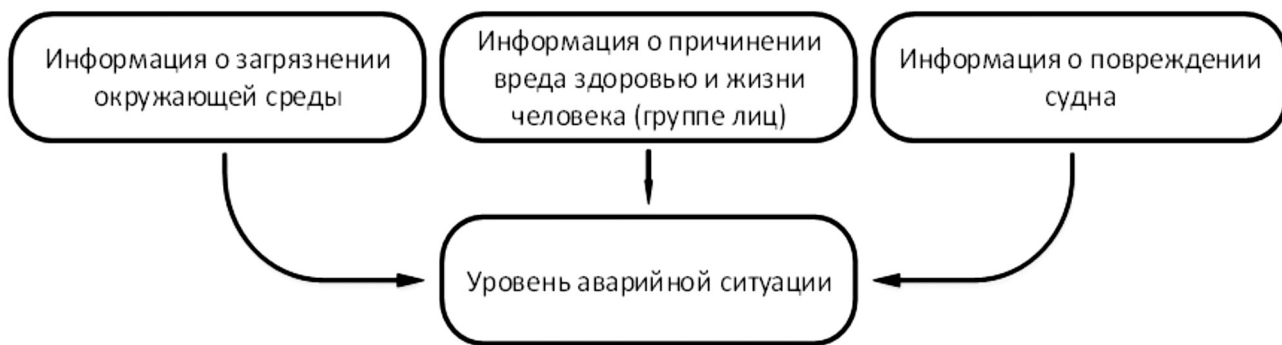


Рис. 1. Общая схема оценки уровня аварийной ситуации.

при этом терм "единичное" характеризует аварийные ситуации, в которых погиб или пропал без вести один человек, травмированы до 5 человек; терм "малое" – АС, в которых погибли или пропали без вести 2 человека или травмированы более 5 человек; терм "среднее" – АС, в которых погибли или пропали без вести 3–4 человека или травмированы более 10 человек; терм "большое" – АС, в которых погибли или пропали без вести 5 и более человек, или травмированы более 25 человек; терм "огромное" для аварийных ситуации, в которых погибли или пропали без вести 10 и более лиц, или травмированы более 50 человек. Функции принадлежности, соответствующие термам первой входной ЛП, показаны на рисунке 2А, их аналитический вид представлен ниже.

Терм "Единичное" первой входной лингвистической переменной имеет функцию принадлежности, задаваемую по следующей формуле:

$$\mu_{\text{Единичное}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0,8, \\ \frac{3,5-x}{2,7}, & 0,8 < x < 3,5, \\ 0, & 3,5 \leq x. \end{cases}$$

Терм "Огромное" первой входной лингвистической переменной имеет функцию принадлежности, задаваемую по формуле:

$$\mu_{\text{Огромное}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 11,5, \\ \frac{x-0,8}{2,7}, & 11,5 < x < 14,2, \\ 1, & 14,2 \leq x. \end{cases}$$

Остальные термы первой входной лингвистической переменной имеют функции принадлежности, задаваемые следующими выражениями:

$$\mu_{\text{Малое}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2,5, \\ \frac{x-2,4}{2}, & 2,5 \leq x \leq 4,5, \\ \frac{6,5-x}{2}, & 4,5 \leq x \leq 6,5, \\ 0, & 6,5 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Среднее}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5,5, \\ \frac{x-5,5}{2}, & 5,5 \leq x \leq 7,5, \\ \frac{9,5-x}{2}, & 7,5 \leq x \leq 9,5, \\ 0, & 9,5 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Большое}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 8,5, \\ \frac{x-8,5}{2}, & 8,5 \leq x \leq 10,5, \\ \frac{12,5-x}{2}, & 10,5 \leq x \leq 12,5, \\ 0, & 12,5 \leq x. \end{cases}$$

Вторая входная ЛП, фиксирующая информацию о степени повреждения судна, содержит следующие термы базового терм-множества (рисунок 2Б): терм "полная" характеризует аварийные ситуации, повлекшие гибель судна или его полное конструктивное разрушение, потерю мореходного состояния, терм "критическая" – для АС, при которых произошло конструктивное повреждение судна с потерей мореходности, появление любых эксплуатационных ограничений, терм "средняя" – когда АС привели к повреждениям и выводу из эксплуатации средств навигационного оборудования, терм "малая" – когда АС привели к конструктивным повреждениям корпуса судна, не повлекшие к потере судоходности.

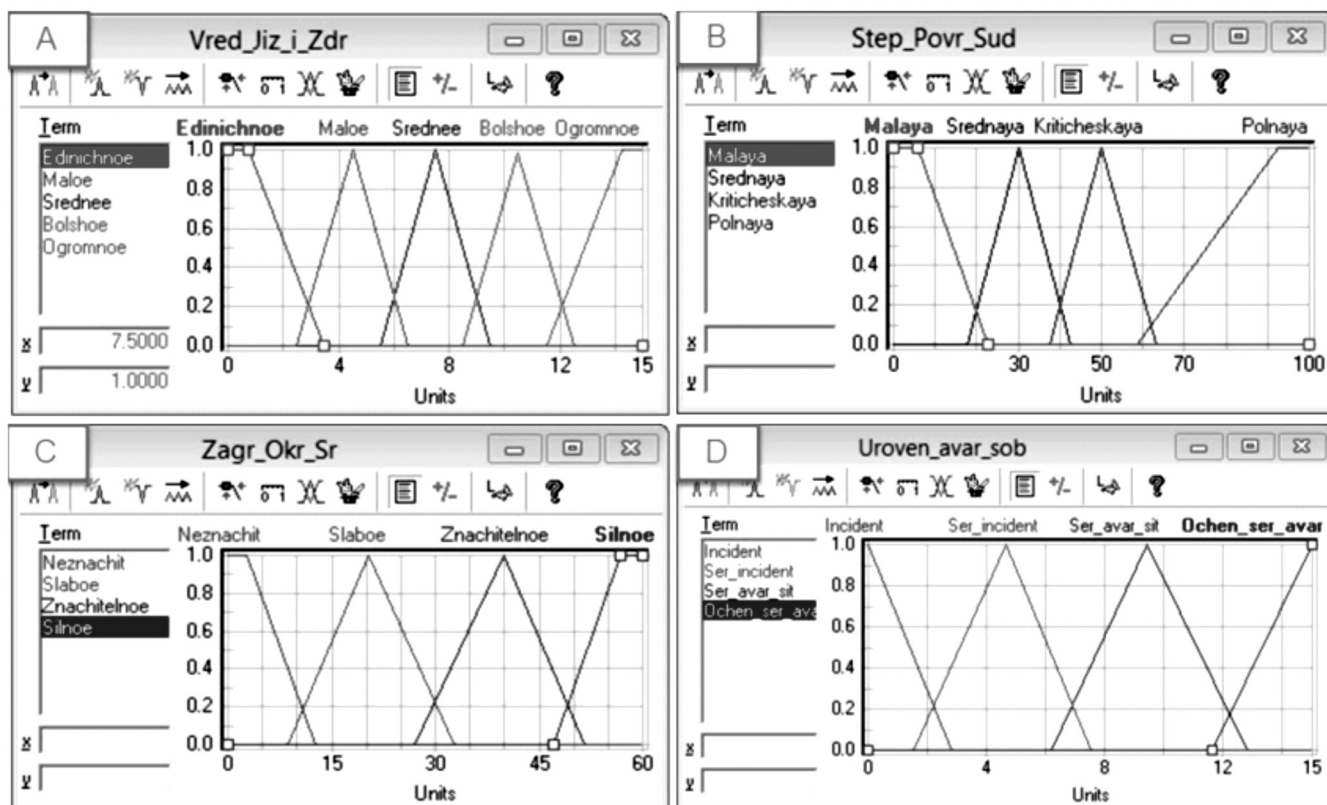


Рис.2. Функции принадлежности лингвистических переменных

А – при оценке вреда жизни и здоровья человеку (группе лиц), В – при оценке степени повреждения судна, С – при оценке степени загрязнения окружающей среды, D – при оценке уровня аварийных ситуаций

Термы базового терм-множества второй входной лингвистической переменной имеют функции принадлежности, задаваемые следующими выражениями:

$$\mu_{\text{Малая}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 6, \\ \frac{22,7 - x}{16,7}, & 6 < x < 22,7, \\ 0, & 22,7 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Средняя}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 17,8, \\ \frac{x - 17,8}{12,2}, & 17,8 \leq x \leq 30, \\ \frac{42,6 - x}{12,6}, & 30 \leq x \leq 42,6, \\ 0, & 42,6 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Критическая}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 37,7, \\ \frac{x - 37,7}{12,3}, & 37,7 \leq x \leq 50, \\ \frac{60 - x}{13}, & 50 \leq x \leq 63, \\ 0, & 63 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Полная}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 58,7, \\ \frac{x - 58,7}{34}, & 58,7 < x < 92,7, \\ 1, & 92,7 \leq x. \end{cases}$$

Третья входная ЛП, фиксирующая загрязнение окружающей среды, включает в качестве термов следующие: "незначительное", "слабое", "значительное" и "сильное". Терм "незначительно" соответствует загрязнению окружающей среды в объемах от 0,3 до 1 тонны нефтепродуктов, терм "слабое" – от одной до пяти тонн нефтепродуктов, терм "значительное" – от пяти до 50 тонн нефтепродуктов, а терм "сильное" соответствует загрязнению окружающей среды в объемах более 50 тонн. Графики

функций принадлежности вышеуказанных термов представлен на рисунке 2С. Термы третьей входной лингвистической переменной имеют функции принадлежности, задаваемые следующими выражениями:

$$\mu_{\text{Незначительно}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 2,8, \\ \frac{12,6-x}{9,8}, & 2,8 < x < 12,6, \\ 0, & 12,6 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Слабое}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 8,7, \\ \frac{x-8,7}{11,3}, & 8,7 \leq x \leq 20, \\ \frac{32,8-x}{12,8}, & 20 \leq x \leq 32,8, \\ 0, & 32,8 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Значительное}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 27,2, \\ \frac{x-27,2}{12,8}, & 27,2 \leq x \leq 40, \\ \frac{51,3-x}{11,3}, & 40 \leq x \leq 51,3, \\ 0, & 51,3 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Сильное}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 47,2, \\ \frac{x-47,2}{9,8}, & 47,2 < x < 57, \\ 1, & 57 \leq x. \end{cases}$$

Выходная лингвистическая переменная соответствует уровню аварийной ситуации и характеризуется базовым терм-множеством: {инцидент, серьезный инцидент, серьезная аварийная ситуация, очень серьезная аварийная ситуация}. Соответствующие функции принадлежности показаны на рисунке 2D, а термы имеют функции принадлежности, задаваемые по следующим формулам:

$$\mu_{\text{Серьезн. инцидент}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1,5, \\ \frac{x-1,5}{3}, & 1,5 \leq x \leq 4,5, \\ \frac{7,5-x}{3}, & 4,5 \leq x \leq 7,5, \\ 0, & 7,5 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Инцидент}}(x) = \begin{cases} \frac{2,8-x}{2,8}, & 0 < x < 2,8, \\ 0, & 2,8 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Серьезная АС}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 6,5, \\ \frac{x-6,5}{3}, & 6,5 \leq x \leq 9,5, \\ \frac{12,5-x}{3}, & 9,5 \leq x \leq 12,5, \\ 0, & 12,5 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Очень серьезная АС}}(x) = \begin{cases} 0, & 11,6 \leq x, \\ \frac{x-11,6}{3,4}, & 11,6 < x < 15. \end{cases}$$

База правил нечетких продукций логико-лингвистической модели оценки уровня аварийных ситуаций состоит из 80 правил. Реализация логико-лингвистической модели оценки уровня аварийных ситуаций осуществлялась с использованием программной среды *FuzzyTECH* [3–5]. На рисунке 3 представлена трехмерная поверхность нечеткого вывода, выражающая зависимость выходной ЛП "Уровень аварийной ситуации" от двух входных ЛП "Степень повреждения судна" и "Уровень причинении вреда здоровью и жизни человека (группе лиц)".

Для подтверждения работоспособности модели рассмотрим несколько тестовых примеров. Рассмотренные примеры функционирования логико-лингвистической модели показаны на рисунке 4.

Пример №1. Судно в море попало в шторм, при котором пострадало несколько человек, пострадало палубное оборудование (мелкое) и был небольшой выброс топлива в бочки за борт волнами. Занеся соответствующую информацию, получим невысокий уровень аварийной ситуации, обозначенный экспертами как инцидент (рисунок 4А).

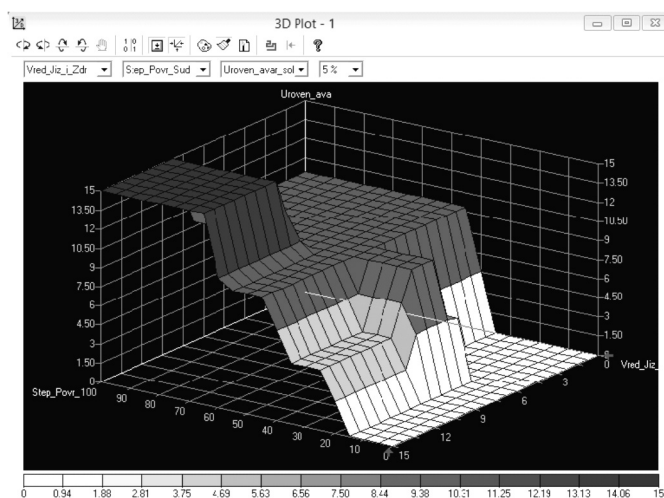


Рис. 3. Трехмерная поверхность тестирования для входных ЛП.

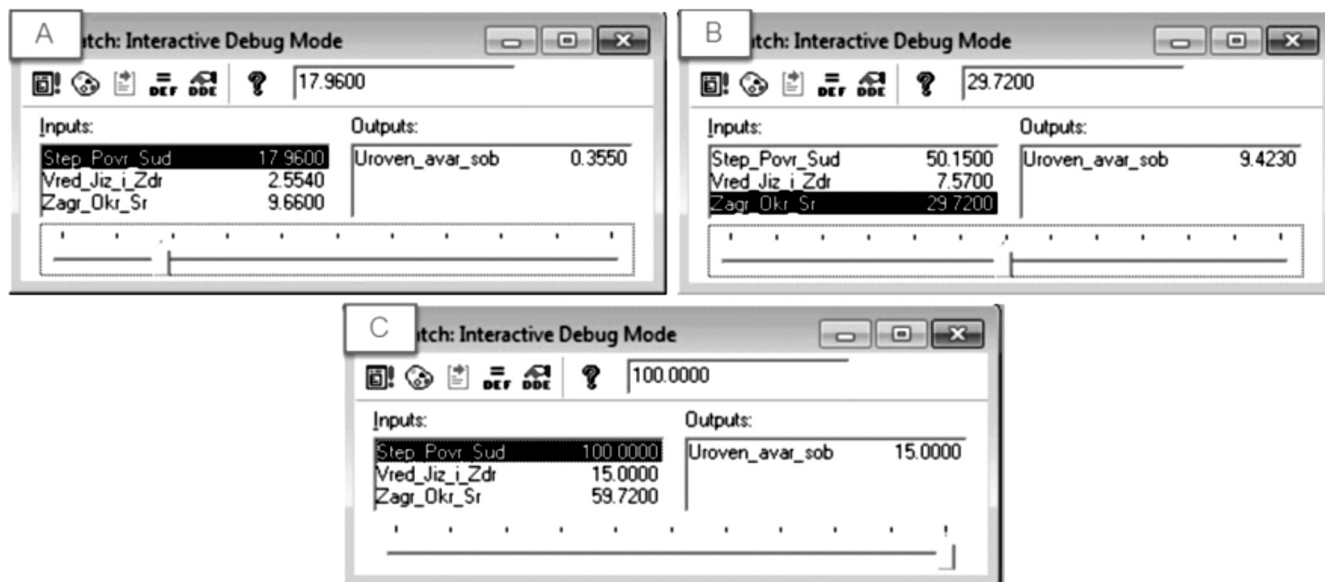


Рис. 4. Примеры функционирования логико-лингвистической модели.

Пример №2. При нападении в море на судно сомалийских пиратов произошла вооруженная стычка, в результате которой погибло 10 человек, судно получило серьезные повреждения, произошла небольшая потеря горючего за борт, вокруг судна появилось большое нефтяное пятно. Предварительный анализ такой ситуации определяет ее как серьезную аварию, а использование логико-лингвистической модели позволяет определить ее уровень в почти 9,4 балла из 15 максимальных (рисунок 4B).

Пример №3. Произошло столкновение двух судов на большой скорости, при котором полностью затонул один из участников аварии, в результате погибло почти 50 человек, произошла течь с топливных баков, при этом нефтяное пятно распространилось по поверхности моря на большой площади. Экспертами такая ситуация определяется как очень серьезная авария, логико-лингвистическая модель также определяет уровень такой аварийной ситуации в 15 баллов из 15 (рисунок 4C).

Протестировав логико-лингвистическую модель

оценки уровня аварийных ситуаций на различных ситуациях, авторами сделан вывод о ее работоспособности. Такая модель станет основой для разработки автоматической системы определения степени опасности столкновения морских судов для дальнейшего выбора наилучшего маневра расхождения.

Заключение

Предложенная модель позволяет, используя информацию о вреде здоровью и жизни человека (группе лиц), о степени повреждения судна и уровне загрязнения окружающей среды, определять уровень аварийных ситуаций. Для описания модели введены 17 нечетких множеств, для каждого представлено графическое и аналитическое представления. Сформирована база нечетких продукций, состоящая из 80 правил. Тестирование модели показало её адекватность тестовым примерам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шемелин А.В. О применении количественных критериев оценки уровня безопасности судоходства / А. В. Шемелин // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА. – Одесса, 2010. – № 18 – С. 215–223.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 736 с.
3. Седова Н.А., Седов В.А. Логико-лингвистическая модель определения уровня квалификации эксперта // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2014. № 7–8. С. 3–6.
4. Седов В.А., Седова Н.А. Нечётко-продукционная модель определения дальности видимости // В сборнике: Международная научная школа "Парадигма". Лято-2015 сборник научни статьи в 8 тома. ВАРНА, 2015. С. 150–156.
5. Седова Н.А., Седов В.А. Использование теории нечётких множеств для оценки опасности столкновения судов по их взаимному расположению // В сборнике: Международная научная школа "Парадигма". Лято-2015 сборник научни статьи в 8 тома. ВАРНА, 2015. С. 273–279.