

## Нечеткий домен для безэкипажного судна

*Седова Нелли Алексеевна*

*Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема*

*магистрант II года обучения*

### Аннотация

В работе предложен вариант определения на базе теории нечётких множеств домена для безэкипажного судна, попадание различных объектов в зону этого домена сигнализирует о возможной опасности столкновения.

**Ключевые слова:** теория нечетких множеств, нечёткий домен, дистанция кратчайшего сближения, время до точки кратчайшего сближения.

## Fuzzy domain for unmanned vessel

*Sedova Nelly Alekseevna*

*Sholom-Aleichem Priamursky State University*

*2-nd year master's student*

### Abstract

The paper proposes a variant of determining the domain for an unmanned vessel based on the theory of fuzzy sets. entering various objects in this domain area indicates a possible risk of collision.

**Keywords:** theory of fuzzy sets, fuzzy domain, distance of the shortest approach, time to the point of shortest approach.

Для определения возможного столкновения [1-5] безэкипажного судна с другими движущимися или стационарными объектами предлагается методика на базе теории нечётких множеств, автоматически формирующая нечёткий домен. Методика включает в себя автоматическое получение информации о трёх входных параметрах:  $V$  - Relative-Speed – относительная скорость безэкипажного судна по отношению к другому объекту;  $A$  – Ship-Size – размер безэкипажного судна и объекта, попавшего в зону видимости;  $S$  – Sea-State – волнение моря. Структура системы на базе нечёткого логического вывода по определению нечёткого домена представлена на рис. 1.

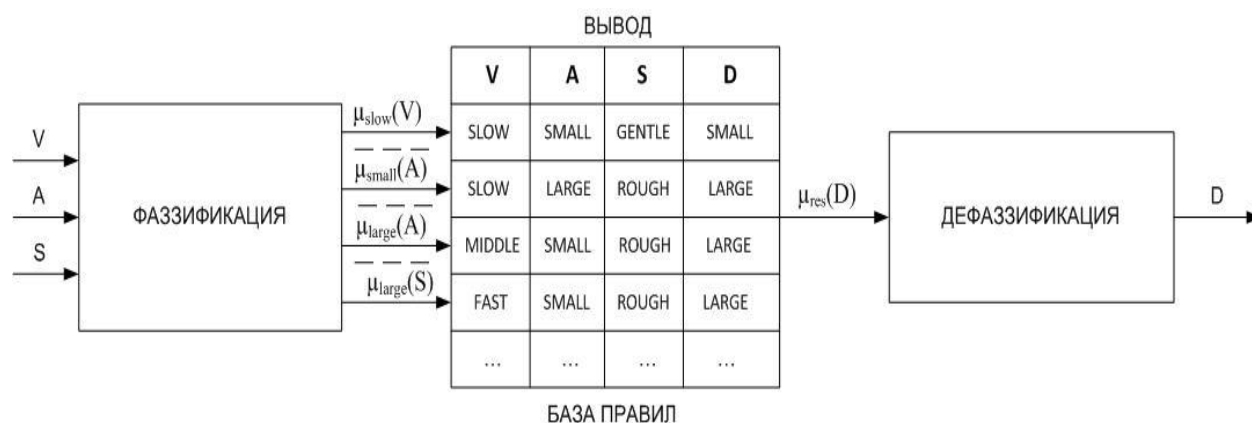


Рисунок 1 – Структура нечёткой системы по определению нечёткого домена

Выходной параметр определяется как Collision Danger Domain (обозначим через  $D$ ) – область опасности столкновения.

Проведём фаззификацию всех переменных нечёткой системы.

Относительная скорость характеризуется универсальным множеством  $[7.6;45]$  узлов, размер безэкипажного судна (и объекта, попавшего в зону внимания безэкипажного судна) –  $[1920;38080]m^2$ , волнение моря –  $[2;7]$ , опасная область столкновения –  $[1;2]$  морских миль.

Первая входная лингвистическая переменная «Относительная скорость» имеет базовое терм-множество, состоящее из следующих элементов: медленная (SLOW), средняя (MIDDLE), быстрая (FAST).

Функции принадлежности для термов первой входной ЛП «относительная скорость» представлены на рис. 2. Они имеют: Z-образную форму с параметрами для функции SLOW:  $a = 7.6$ ,  $b = 24.8$ ; треугольную форму с параметрами для функции MIDDLE:  $a = 7.6$ ,  $b = 24.8$ ,  $c = 45$ ; S-образную форму с параметрами для функции FAST:  $a = 24.8$ ,  $b = 45$ .

Вторая входная лингвистическая переменная «Размер безэкипажного судна» имеет базовое терм-множество, состоящее из следующих элементов: маленький (small), средний (medium), большой (large).

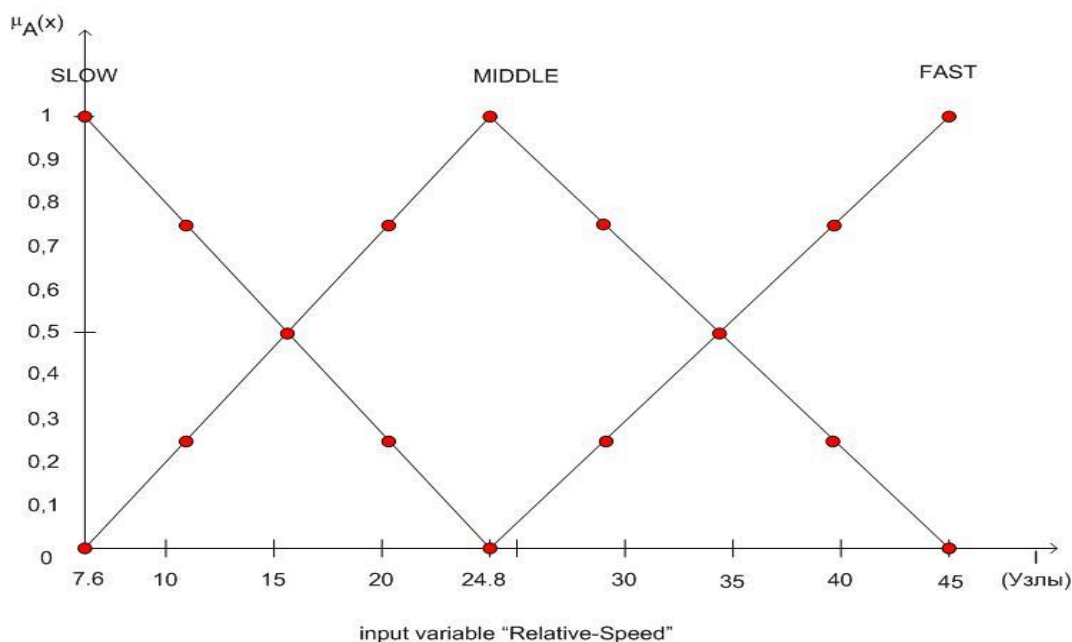


Рисунок 2 – Входная переменная «Relative-Speed»

Функции принадлежности для термов второй входной ЛП «Размер безэкипажного судна» представлены на рис. 3. Они имеют: Z-образную форму с параметрами для функции SLOW:  $a = 1920, b = 20000$ ; треугольную форму с параметрами для функции MIDDLE:  $a = 1920, b = 20000, c = 38080$ ; S-образную форму с параметрами для функции FAST:  $a = 20000, b = 38080$ .

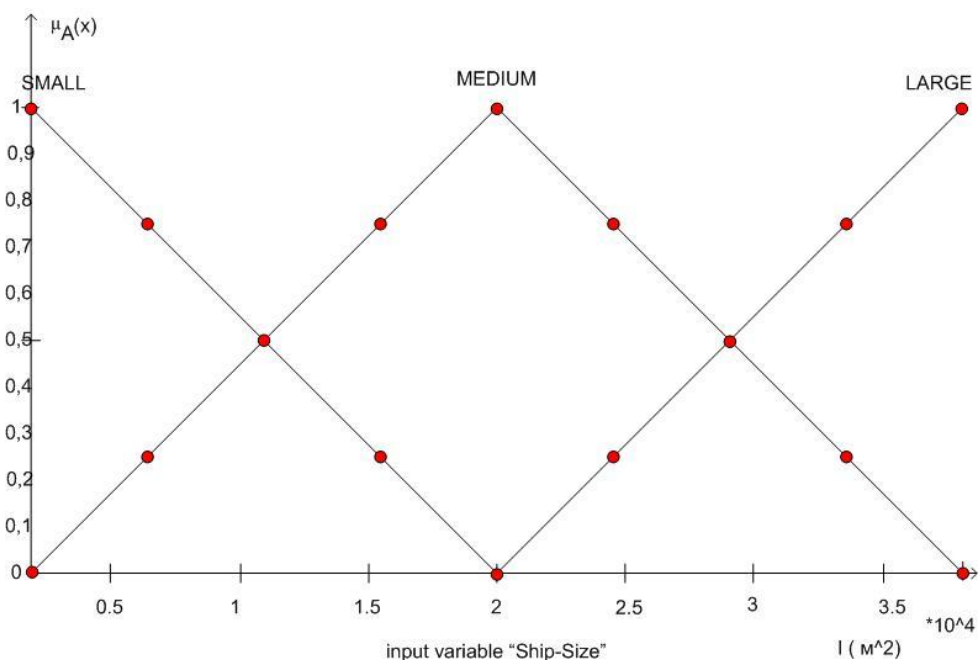


Рисунок 3 – Входная переменная «Ship-Size»

Третья входная лингвистическая переменная «Волнение моря» имеет базовое терм-множество, состоящее из следующих элементов: слабая(gentle), средняя (medium), высокая (rough).

Функции принадлежности для термов второй входной ЛП «Волнение моря» представлены на рис. 4. Они имеют: Z-образную форму с параметрами для функции SLOW:  $a = 2, b = 4$ ; треугольную форму с параметрами для функции MIDDLE:  $a = 2, b = 4, c = 7$ ; S-образную форму с параметрами для функции FAST:  $a = 4, b = 7$ .

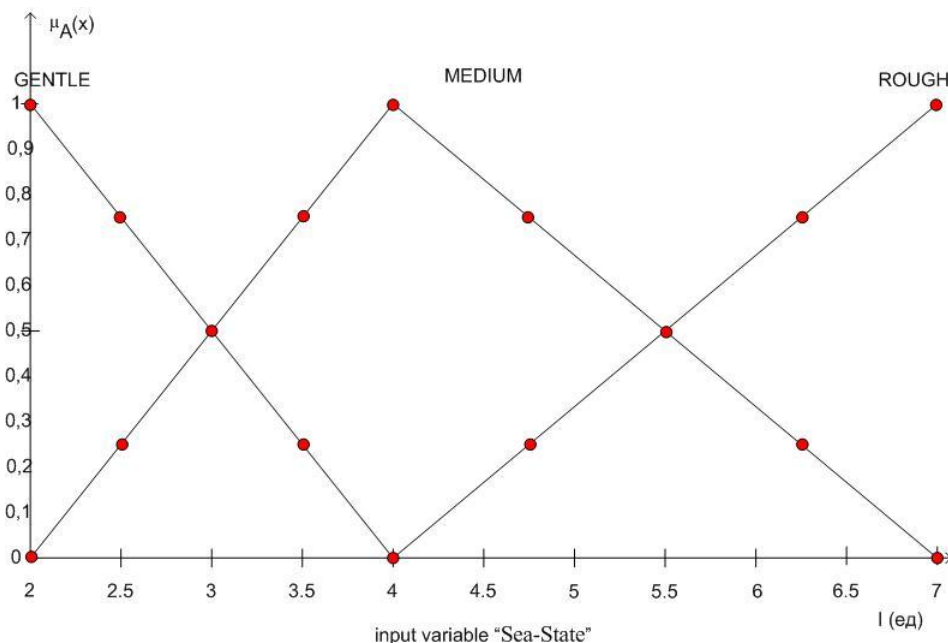


Рисунок 4 – Входная переменная «Sea-State»

Функции принадлежности для термов выходной ЛП «Область опасности столкновения» представлены на рис. 5. Они имеют Z-образную форму с параметрами для функции SMALL:  $a = 1, b = 1.5$ ; треугольную форму с параметрами для функции MIDDLE:  $a=1, b = 1.5, c = 2$ ; S-образную форму с параметрами для функции FAST:  $a = 1.5, b = 2$ .

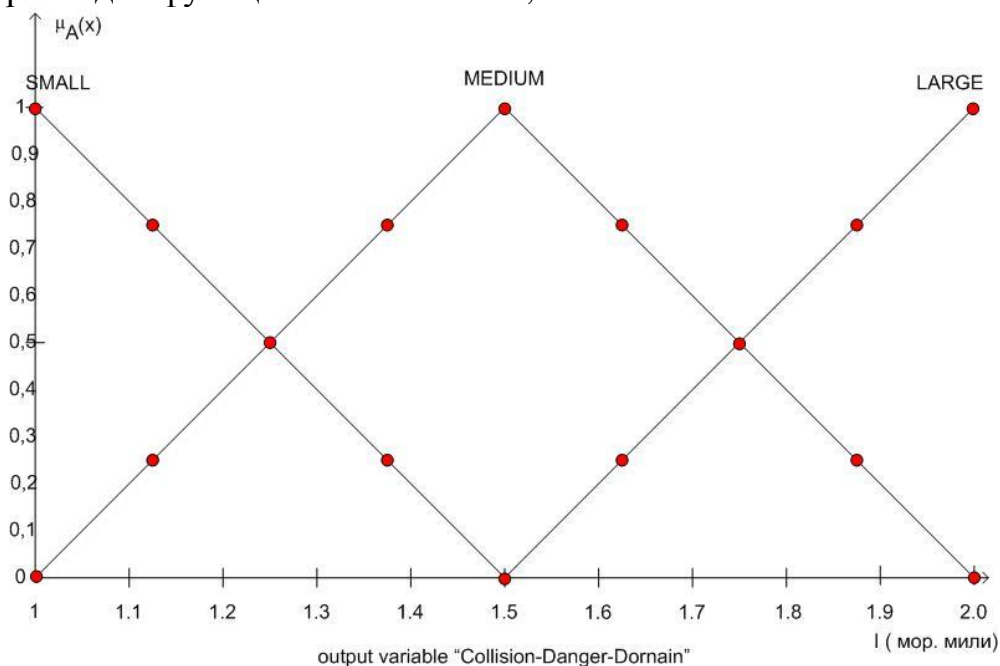


Рисунок 5 – выходная переменная «Collision-Danger-Domain»

База правил нечётких продукций состоит из 27 правил, представляющих собой следующие нечеткие высказывания, например, правило 1 «Если относительная скорость безэкипажного судна медленная и размер безэкипажного судна маленький и волнение моря слабое, то область опасности столкновения будет маленькой», правило 2 «Если относительная скорость медленная и размер безэкипажного судна маленькие и волнение моря среднее, то область опасности столкновения будет средней» и т.д.

Реализация второго модуля интеллектуальной системы осуществлялась в программной среде FuzzyTECH [8, 9].

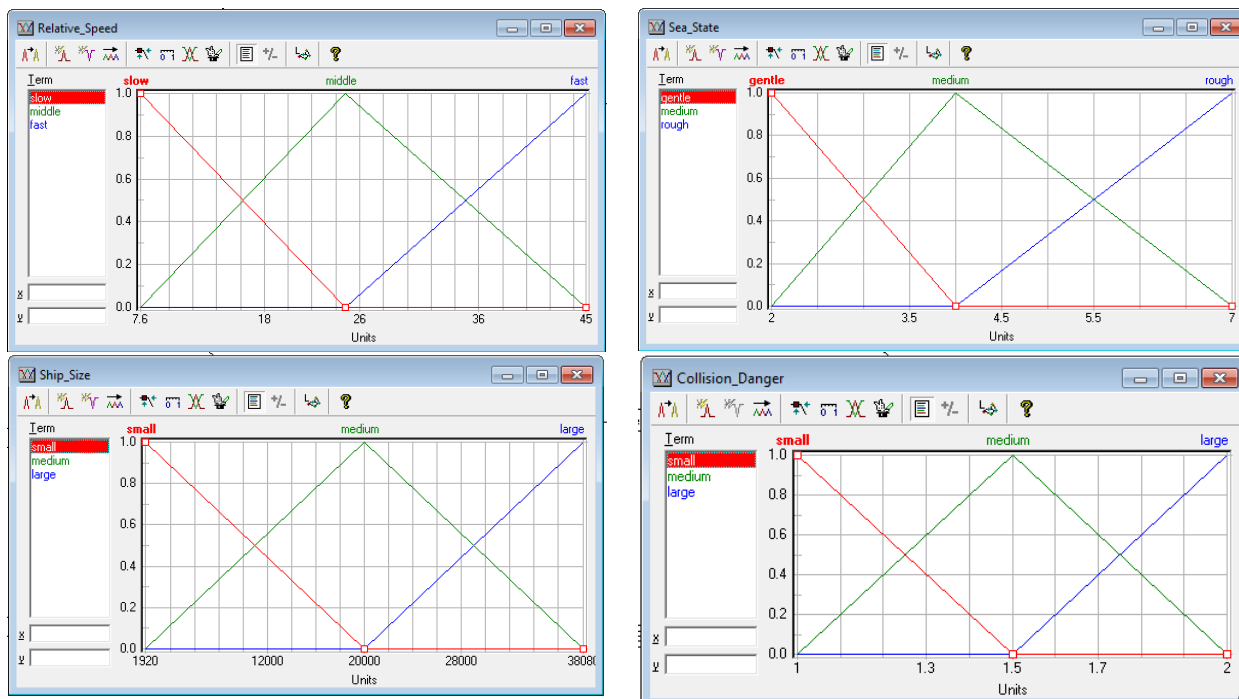


Рисунок 6 – Фрагмент программной реализации нечеткой системы определения нечёткого домена

Рассмотрим несколько примеров расчётов нечёткого домена. Например, рассмотрим первую ситуацию для случая, когда первая входная лингвистическая переменная «относительная скорость» равна 7,6 узлов. Вторая входная лингвистическая переменная «размер безэкипажного судна» равна 5000 м<sup>2</sup>. Третья входная лингвистическая переменная «волнение моря» равна 2 (ед.).

В процессе фаззификации получим для лингвистической переменной «относительная скорость» функцию принадлежности равной 1. Для лингвистической переменной «размер безэкипажного судна» – 0,82 и 0,17. Для лингвистической переменной «волнение моря» – 1. Для первого тестового случая активными правилами будут: 1 и 4.

Далее выполним этап агрегирования:

$$\mu_{res(1-1)} = \min\{\mu_{SLOW}(7,6); \mu_{SMALL}(5000); \mu_{GENTLE}(2)\} = \min\{1; 0,82; 1\} = 0,82$$

$$\mu_{res(1-4)} = \min\{\mu_{SLOW}(7,6); \mu_{MEDIUM}(5000); \mu_{GENTLE}(2)\} = \min\{1; 0,17; 1\} = 0,17$$

$$\mu_{res(2-1)} = \mu_{SLOW}(7,6) * \mu_{SMALL}(5000) * \mu_{GENTLE}(2) = 1 * 0,82 * 1 = 0,82$$

$$\mu_{res(2-4)} = \mu_{SLOW}(7,6) * \mu_{SMALL}(5000) * \mu_{GENTLE}(2) = 1 * 0,17 * 1 = 0,17$$

$$\mu_{res(3-1)} = \min\{\mu_{SLOW}(7,6) + \mu_{SMALL}(5000) + \mu_{GENTLE}(2); 1\} = \min\{2,82; 1\} = 1$$

$$\mu_{res(3-4)} = \min\{\mu_{SLOW}(7,6) + \mu_{MEDIUM}(5000) + \mu_{GENTLE}(2); 1\} = \min\{2,17; 1\} = 1$$

Перейдем к следующему этапу – этапу активизации:

$$\mu_{res(1.1-1)} = 0,82 * 1 = 0,82$$

$$\mu_{res(1.1-4)} = 0,17 * 1 = 0,17$$

$$\mu_{res(2.2-1)} = 0,82 * 1 = 0,82$$

$$\mu_{res(2.2-4)} = 0,17 * 1 = 0,17$$

$$\mu_{res(3.3-1)} = 1 * 1 = 1$$

$$\mu_{res(3.3-4)} = 1 * 1 = 1$$

Этап аккумуляции заключается в объединении нечетких множеств, образованных на предыдущем этапе активизации (рис. 7).

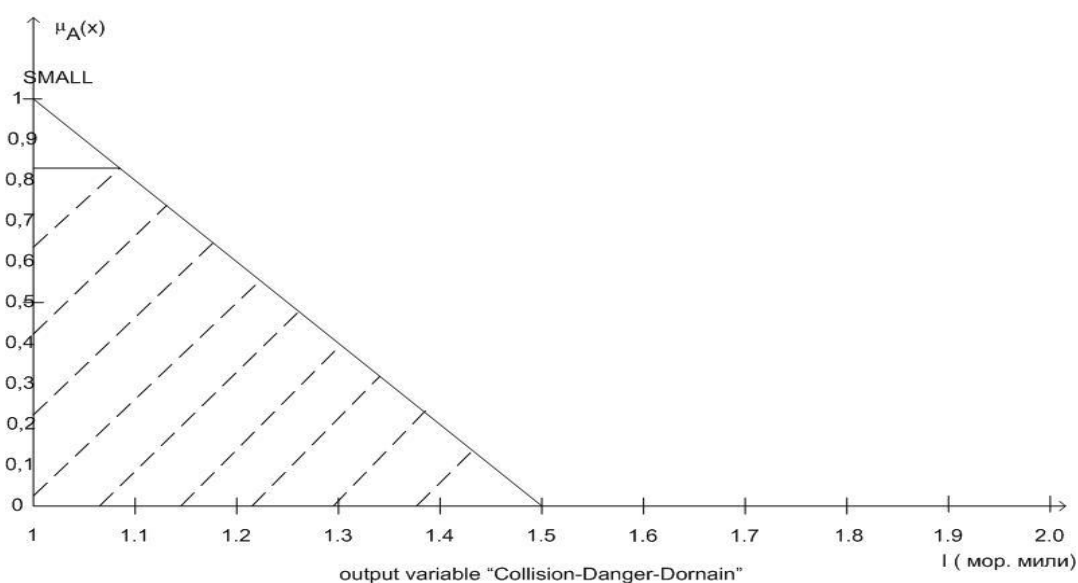


Рисунок 7 – Выходной параметр «SMALL»

Чтобы получить конкретное выходное значение лингвистической переменной воспользуемся формулой дефаззификации для одноточечных множеств:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}$$

$$y = \left( \frac{1 * 0,82 + 1,05 * 0,82 + 1,1 * 0,8 + 1,15 * 0,7 + 1,2 * 0,6 + 1,25 * 0,5 + 1,3 * 0,4 + 1,35 * 0,3 + 1,4 * 0,2 + 1,45 * 0,1}{0,82 + 0,82 + 0,8 + 0,7 + 0,6 + 0,5 + 0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,1} \right) = 1,16$$

Рассмотрим вторую тестовую ситуацию для случая, когда первая входная лингвистическая переменная «относительная скорость» равна 20 узлам. Вторая входная лингвистическая переменная «размер безэкипажного судна» равна 20000 м<sup>2</sup>. Третья входная лингвистическая переменная «волнение моря» равна 4,5 (ед.).

В процессе фаззификации получим для лингвистической переменной «относительная скорость» значения функции принадлежности, равные 0,74 и 0,26. Для лингвистической переменной «размер безэкипажного судна» – 1 и 0. Для лингвистической переменной «волнение моря» – 0,83 и 0,12. Для второго тестового случая активными правилами будут: 5, 14, 6 и 15.

Далее выполним этап агрегирования:

$$\begin{aligned}\mu_{res(1-5)} &= \min\{\mu_{SLOW}(20); \mu_{MEDIUM}(20000); \mu_{MEDIUM}(4,5)\} = \min\{0,26;1;0,83\} = 0,26 \\ \mu_{res(1-14)} &= \min\{\mu_{MIDDLE}(20); \mu_{MEDIUM}(20000); \mu_{MEDIUM}(4,5)\} = \min\{0,74;1;0,83\} = 0,74 \\ \mu_{res(1-6)} &= \min\{\mu_{SLOW}(20); \mu_{MEDIUM}(20000); \mu_{ROUGH}(4,5)\} = \min\{0,26;1;0,12\} = 0,12 \\ \mu_{res(1-15)} &= \min\{\mu_{MIDDLE}(20); \mu_{MEDIUM}(20000); \mu_{ROUGH}(4,5)\} = \min\{0,74;1;0,12\} = 0,12 \\ \mu_{res(2-5)} &= \mu_{SLOW}(20) * \mu_{MEDIUM}(20000) * \mu_{MEDIUM}(4,5) = 0,26 * 1 * 0,83 = 0,21 \\ \mu_{res(2-14)} &= \mu_{MIDDLE}(20) * \mu_{MEDIUM}(20000) * \mu_{MEDIUM}(4,5) = 0,74 * 1 * 0,83 = 0,61 \\ \mu_{res(2-6)} &= \mu_{SLOW}(20) * \mu_{SMALL}(20000) * \mu_{ROUGH}(4,5) = 0,26 * 1 * 0,12 = 0,03 \\ \mu_{res(2-15)} &= \mu_{MIDDLE}(20) * \mu_{MEDIUM}(20000) * \mu_{ROUGH}(4,5) = 0,74 * 1 * 0,12 = 0,09 \\ \mu_{res(3-5)} &= \min\{\mu_{SLOW}(20) + \mu_{MEDIUM}(20000) + \mu_{MEDIUM}(4,5); 1\} = \min\{2,09; 1\} = 1 \\ \mu_{res(3-14)} &= \min\{\mu_{MIDDLE}(20) + \mu_{MEDIUM}(20000) + \mu_{MEDIUM}(4,5); 1\} = \min\{2,57; 1\} = 1 \\ \mu_{res(3-6)} &= \min\{\mu_{SLOW}(20) + \mu_{MEDIUM}(20000) + \mu_{ROUGH}(4,5); 1\} = \min\{1,38; 1\} = 1 \\ \mu_{res(3-15)} &= \min\{\mu_{MIDDLE}(20) + \mu_{MEDIUM}(20000) + \mu_{ROUGH}(4,5); 1\} = \min\{1,86; 1\} = 1\end{aligned}$$

Перейдем к следующему этапу – этапу активизации:

$$\begin{aligned}\mu_{res(1.1-5)} &= 0,26 * 1 = 0,26 \\ \mu_{res(1.1-14)} &= 0,74 * 1 = 0,74 \\ \mu_{res(1.1-6)} &= 0,12 * 1 = 0,12 \\ \mu_{res(1.1-15)} &= 0,12 * 1 = 0,12 \\ \mu_{res(2.2-5)} &= 0,21 * 1 = 0,21 \\ \mu_{res(2.2-14)} &= 0,61 * 1 = 0,61 \\ \mu_{res(2.2-6)} &= 0,03 * 1 = 0,03 \\ \mu_{res(2.2-15)} &= 0,09 * 1 = 0,09 \\ \mu_{res(3.3-5)} &= 1 * 1 = 1 \\ \mu_{res(3.3-14)} &= 1 * 1 = 1 \\ \mu_{res(3.3-6)} &= 1 * 1 = 1 \\ \mu_{res(3.3-15)} &= 1 * 1 = 1.\end{aligned}$$

Этап аккумуляции заключается в объединении нечетких множеств, образованных на предыдущем этапе активизации (результат показан на рис. 8).

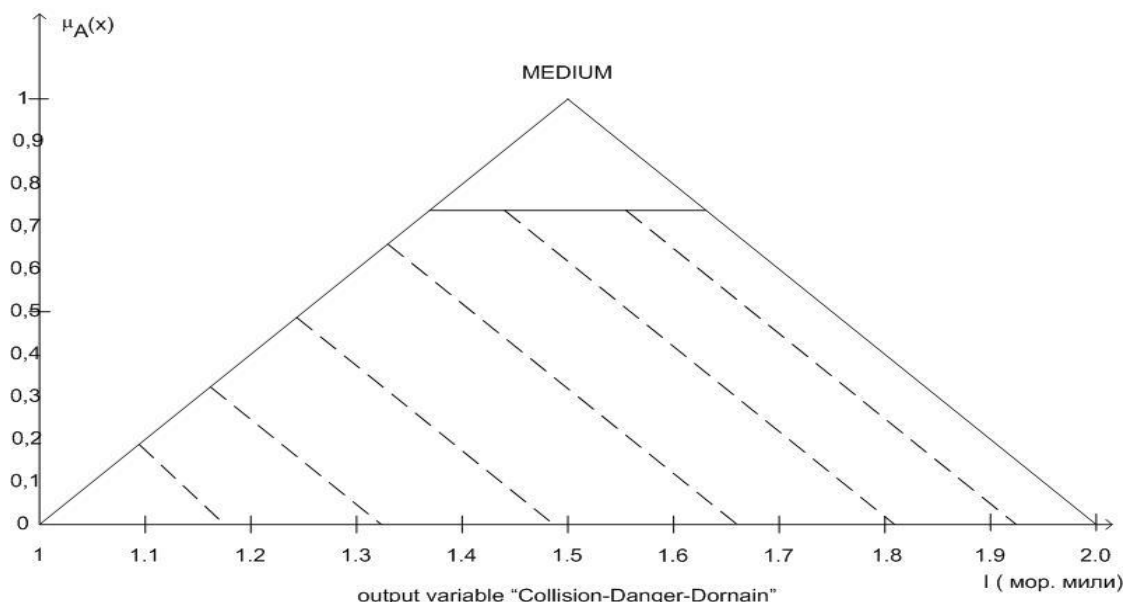


Рисунок 8 – выходной параметр «MEDIUM»

Теперь получим конкретное выходное значение лингвистической переменной:

$$y = \left( \frac{1,05 * 0,1 + 1,1 * 0,2 + 1,15 * 0,3 + 1,2 * 0,4 + 1,25 * 0,5 + 1,3 * 0,6 + 1,35 * 0,7 + 1,4 * 0,74 + 1,45 * 0,74 + 1,5 * 0,74 + 1,55 * 0,74 + 1,6 * 0,74}{0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,4 + 0,5 + 0,6 + 0,7 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,6 + 0,5 + 0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,1} + \frac{1,65 * 0,7 + 1,7 * 0,6 + 1,75 * 0,5 + 1,8 * 0,4 + 1,85 * 0,3 + 1,9 * 0,2 + 1,95 * 0,1}{0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,4 + 0,5 + 0,6 + 0,7 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,74 + 0,6 + 0,5 + 0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,1} \right) = 1,5$$

Рассмотрим третью тестовую ситуацию для случая, когда первая входная лингвистическая переменная «относительная скорость» равна 45 узлам. Вторая входная лингвистическая переменная «размер безэкипажного судна» равна 30000 м<sup>2</sup>. Третья входная лингвистическая переменная «волнение моря» равна 7 (ед.).

В процессе фаззификации получим для лингвистической переменной «относительная скорость» значение функции принадлежности, равное 1. Для лингвистической переменной «размер безэкипажного судна» – 0,55 и 0,45. Для лингвистической переменной «волнение моря» – 1. Для текущего случая активными правилами будут: 24 и 27.

Далее выполним этап агрегирования:

$$\mu_{res(1-24)} = \min\{\mu_{SLOW}(45); \mu_{MEDIUM}(30000); \mu_{ROUGH}(7)\} = \min\{1; 0,45; 1\} = 0,45$$

$$\mu_{res(1-27)} = \min\{\mu_{FAST}(45); \mu_{ROUGH}(30000); \mu_{ROUGH}(7)\} = \min\{1; 0,55; 1\} = 0,55$$

$$\mu_{res(2-24)} = \mu_{FAST}(45) * \mu_{MEDIUM}(30000) * \mu_{ROUGH}(7) = 1 * 0,45 * 1 = 0,45$$

$$\mu_{res(2-27)} = \mu_{FAST}(45) * \mu_{ROUGH}(30000) * \mu_{ROUGH}(7) = 1 * 0,55 * 1 = 0,55$$

$$\mu_{res(3-24)} = \min\{\mu_{FAST}(45) + \mu_{MEDIUM}(30000) + \mu_{ROUGH}(7); 1\} = \min\{2,45; 1\} = 1$$

$$\mu_{res(3-27)} = \min\{\mu_{FAST}(45) + \mu_{ROUGH}(30000) + \mu_{ROUGH}(7); 1\} = \min\{2,55; 1\} = 1$$

Перейдем к следующему этапу – этапу активизации:

$$\mu_{res(1.1-24)} = 0,45 * 1 = 0,45$$

$$\mu_{res(1.1-27)} = 0,55 * 1 = 0,55$$

$$\mu_{res(2.2-24)} = 0,45 * 1 = 0,45$$

$$\mu_{res(2.2-27)} = 0,55 * 1 = 0,55$$



$$\mu_{res(3.3-24)} = 1 * 1 = 1$$

$$\mu_{res(3.3-27)} = 1 * 1 = 1$$

Этап аккумуляции заключается в объединении нечетких множеств, образованных на предыдущем этапе активизации (результат показан на рис. 9).

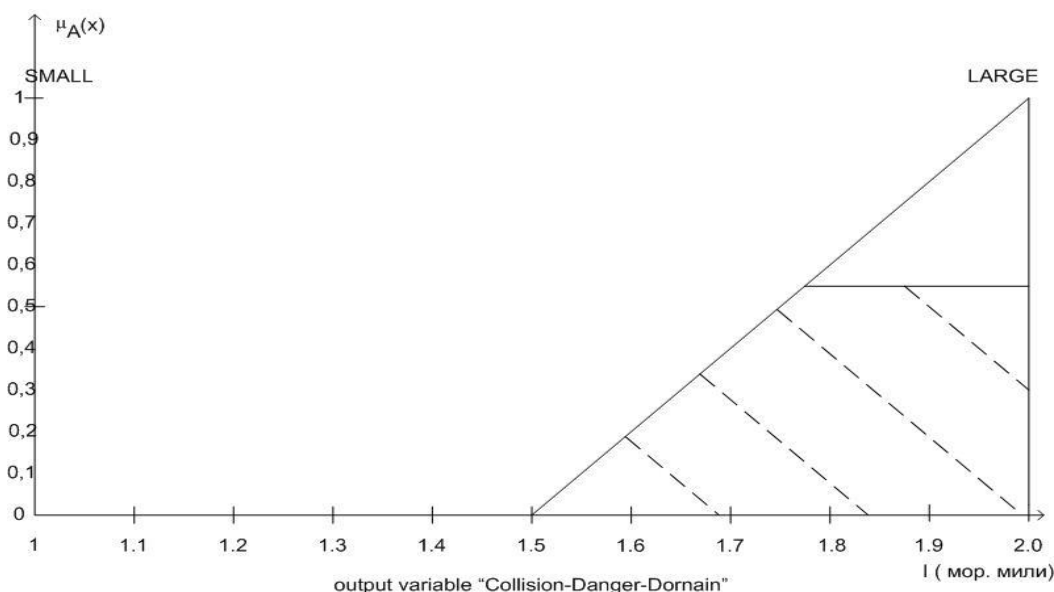


Рисунок 9 – выходной параметр «LARGE»

Теперь получим конкретное выходное значение лингвистической переменной:

$$y = \frac{1,55 * 0,1 + 1,6 * 0,2 + 1,65 * 0,3 + 1,7 * 0,4 + 1,75 * 0,5 + 1,8 * 0,55 + 1,85 * 0,55 + 1,9 * 0,55 + 1,95 * 0,55 + 2 * 0,55}{0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,4 + 0,5 + 0,55 + 0,55 + 0,55 + 0,55 + 0,55} = 1,82$$

Таким образом, в результате работы проведена фаззификация трёх входных и одной выходной лингвистической переменной для расчёта нечёткого домена безэкипажного судна, сформирована база правил нечетких продукций, состоящая из 27 правил, реализован алгоритм нечеткого вывода, а также разработан пользовательский интерфейс приложения для автоматического определения нечёткого домена для безэкипажного судна. Пользовательский интерфейс позволяет вносить информацию по входным лингвистическим переменным и автоматически вычислять значение выходной, чтобы автоматически определять размер домена и как следствие значение области безопасности для безэкипажного судна. Реализованное программное приложение протестировано на многочисленных тестовых примерах. Тестирование показало работоспособность разработанного приложения и адекватность тестовым примерам.

### Библиографический список

1. Park J., Kim J. Predictive evaluation of ship collision risk using the concept of probability flow //IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2016. Т. 42. №. 4. С. 836-845.
2. Park J. et al. Probabilistic quantification of ship collision risk considering

- trajectory uncertainties //IFAC-PapersOnLine. 2016. T. 49. №. 23. C. 109-114.
3. Liu H., Liu S. Application of grey relational decision-making on determination of ship collision risk degree //Revista Tecnica de la Facultad de Ingenierria Univ. Del Zulia. 2016. T. 39. №. 3. C. 359-365.
  4. Sotiralis P. et al. Incorporation of human factors into ship collision risk models focusing on human centred design aspects //Reliability Engineering & System Safety. 2016. T. 156. C. 210-227.
  5. Chen S. et al. Composition ship collision risk based on fuzzy theory //Journal of Central South University. 2014. T. 21. №. 11. C. 4296-4302.
  6. Zhuo Y., Hasegawa K. Ship override control for uncoordinated anti-collision action using trial manoeuvre //IFAC Proceedings Volumes. 2013. T. 46. №. 33. C. 108-113.
  7. Li J. et al. Ship's trajectory planning based on improved multiobjective algorithm for collision avoidance //Journal of Advanced Transportation. 2019. T. 2019. C.4068783.
  8. Radwan N., Senousy M. B., M. Riad A. E. D. A new expert system for learning management systems evaluation based on neutrosophic sets //Expert Systems. 2016. T. 33. №. 6. C. 548-558.
  9. Dorokhov O., Dorokhova L. Fuzzy model in fuzzy-tech environment for the evaluation of transportation's quality for cargo enterprises in Ukraine //Transport and Telecommunication. 2011. T. 12. №. 1. C. 25-33.