

## **Интеллектуальная система определения риска столкновения безэкипажного судна с объектами**

*Седова Нелли Алексеевна*

*Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема  
магистрант*

### **Аннотация**

В работе предложено решение задачи определения риска столкновения безэкипажного судна с другими движущимися или стационарными объектами. Для вычисления степени риска столкновения используется информация по двум входным переменным: дистанцию кратчайшего сближения (ДСПА), время до точки кратчайшего сближения (ТСПА).

**Ключевые слова:** теория нечетких множеств, фаззификация, риск столкновения, дистанцию кратчайшего сближения, время до точки кратчайшего сближения.

## **Intelligent system of collision risk determining for unmanned vessel with objects**

*Sedova Nelly Alekseevna*

*Sholom-Aleichem Priamursky State University  
master's student*

### **Abstract**

The paper proposes a solution to the problem of determining the risk of collision of an unmanned vessel with other moving or stationary objects. To calculate the degree of risk collision, information on two input variables: distance to the closest point of approach (DCPA), time to the closest point of approach (TCPA) are used.

**Keywords:** fuzzy set theory, fuzzification, collision risk, distance/time to the closest point of approach.

Для определения риска столкновения [1-5] безэкипажного судна с другими движущимися или стационарными объектами предлагается интеллектуальная модель, основанная на теории нечётких множеств. Общая структура такой интеллектуальной системы представлена на рис. 1.

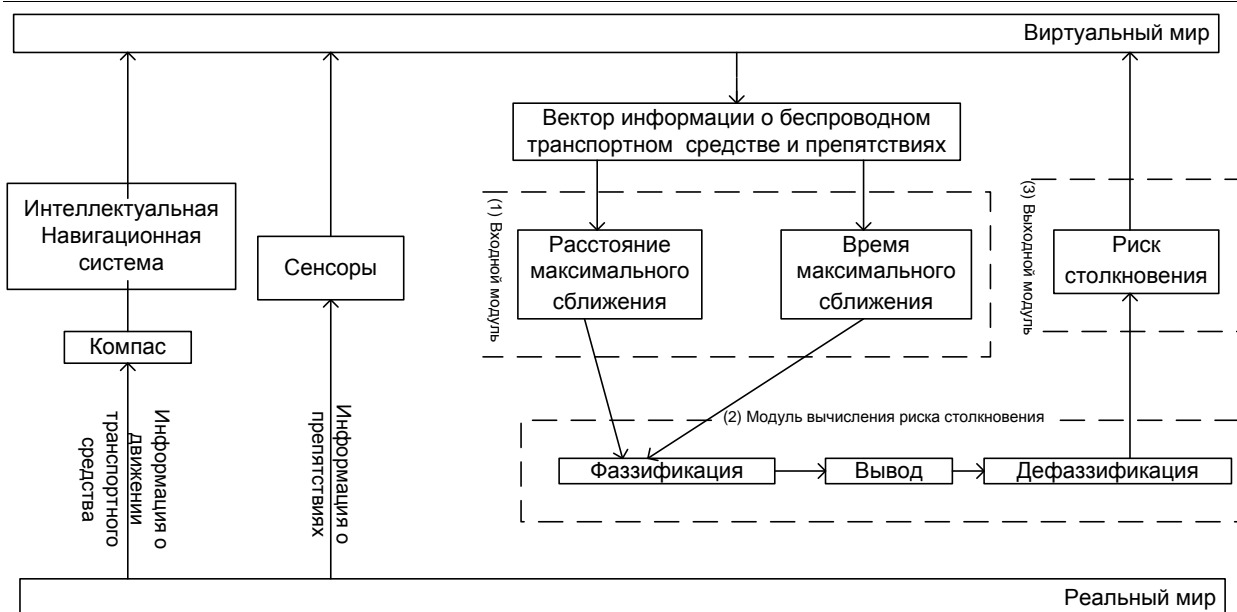


Рисунок 1 – Структура интеллектуальной системы определения риска столкновения безэкипажного судна с другими объектами

Интеллектуальная система использует информацию об окружающей среде, а также информацию о расстоянии и времени до объекта (это могут быть стационарные объекты или движущиеся объекты, встречаемые на пути движения безэкипажного судна). Если интеллектуальная система определяет, что безэкипажное судно имеет высокий риск столкновения с препятствием, то безэкипажное судно изменяет траекторию своего движения таким образом, чтобы можно было безопасно избежать столкновения или обойти препятствие.

На рисунке 1 показано три модуля интеллектуальной системы. Первый модуль – входной модуль – получает информацию о движении безэкипажного судна, а также о стационарных объектах или движущихся объектах, встречаемых на пути движения безэкипажного судна, затем определяет дистанцию кратчайшего сближения (DCPA) и время до точки кратчайшего сближения (TCPA) [6, 7].

Второй модуль интеллектуальной системы использует нечеткую логику, чтобы определить риск столкновения. В этом модуле осуществляется фаззификация входных параметров DCPA и TCPA, затем осуществляется нечеткий логический вывод по алгоритму Мамдани, позже рассчитывается дефаззификация с последующим определением значений риска столкновения.

Третий модуль получает рассчитанное значение риска столкновения и передаёт эту информацию в виртуальный мир.

Для реализации второго модуля интеллектуальной системы определены параметры входных лингвистических переменных (ЛП): дистанцию кратчайшего сближения (DCPA), время до точки кратчайшего сближения (TCPA), а также одной выходной лингвистической переменной – степень риска столкновения (DCR). Первая входная лингвистическая переменная

характеризуются универсальным множеством  $[0; 12,5]$  метров, вторая входная лингвистическая переменная – универсальным множеством  $[-2,4; 7]$  секунд.

Первая входная лингвистическая переменная ДСРА характеризуется базовым терм-множеством  $T_{ДСРА} = \{PS, PMS, PM, PMB, PB\}$ .

Функции принадлежности для термов первой входной ЛП ДСРА представлены на рис. 2. Они имеют несколько функций принадлежности: Z-образную форму с параметрами для функции PS:  $a = 2.5, b = 5$ ; треугольную форму для функции PMS:  $a = 2.5, b = 5, c = 7.5$ ; треугольную форму для функции PM:  $a = 5, b = 7.5, c = 10$ ; треугольную форму для функции PMB:  $a = 7.5, b = 10, c = 12.5$ ; S-образную форму для функции PB:  $a = 10, b = 12.5$ .

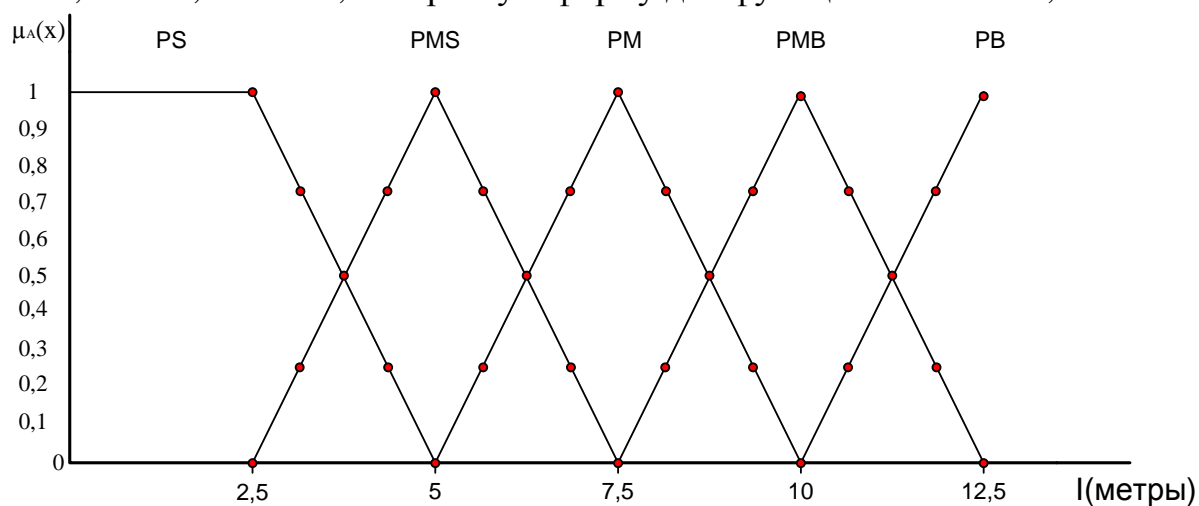


Рисунок 2 – Функции принадлежности первой входной лингвистической переменной ДСРА

Вторая входная лингвистическая переменная ТСРА содержит следующие термы базового терм-множества  $T_{ТСРА} = \{NB, NM, NS, PS, PMS, PM, PMB, PB\}$ .

Функции принадлежности для термов второй входной ЛП представлены на рис. 3. Они имеют несколько функций принадлежности: Z-образную форму с параметрами для функции NB:  $a = -2.4, b = -1.2$ ; треугольную форму для функции NM:  $a = -2.4, b = -1.2, c = 0$ ; S-образную форму для функции NS:  $a = -1.2, b = 0$ ; S-образную форму для функции PS:  $a = 1.2, b = 2.4$ ; треугольную форму для функции PMS:  $a = 1.2, b = 2.4, c = 3.6$ ; треугольную форму для функции PM:  $a = 2.4, b = 3.6, c = 4.8$ ; треугольную форму для функции PMB:  $a = 3.6, b = 4.8, c = 6$ ; S-образную форму для функции PS:  $a = 6, b = 4.8$ .

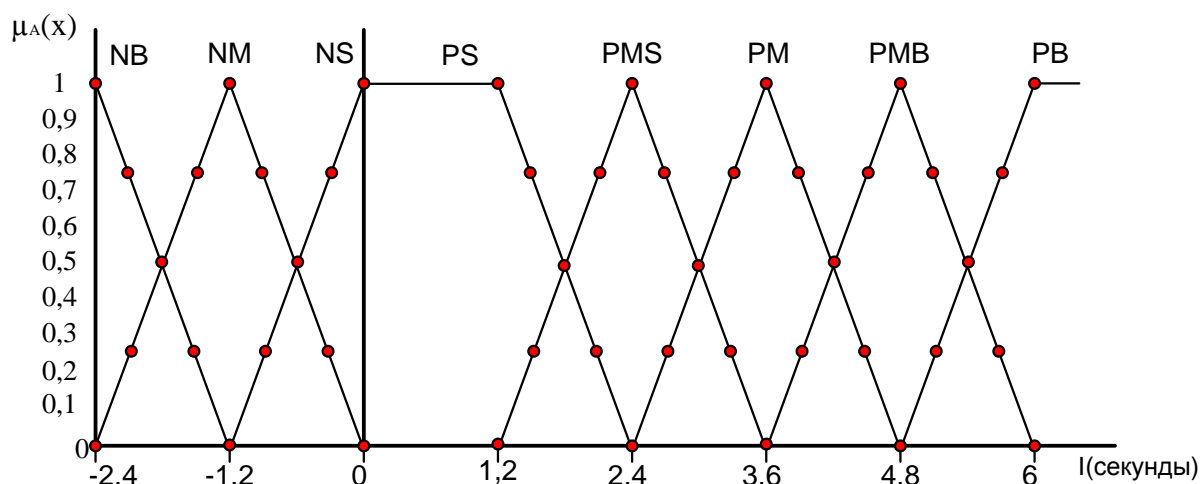


Рисунок 3 – Функции принадлежности второй входной лингвистической переменной TCRP

Выходная лингвистическая переменная DCR характеризуется базовым терм-множеством  $T_{DCR} = \{NB, NM, NS, PS, PMS, PM, PMB, PB\}$ , а её универсум – от -1 до 1.

Функции принадлежности для термов выходной ЛП представлены на рис. 4. Они имеют несколько функций принадлежности: Z-образную форму с параметрами для терма NB:  $a = -1, b = -0.6$ ; треугольную форму для терма NM:  $a = -1, b = -0.6, c = -0.2$ ; S-образную форму для терма NS:  $a = -0.6, b = -0.2$ ; Z-образную форму для терма PS:  $a = 0.2, b = 0.4$ ; треугольную форму для терма PMS:  $a = 0.2, b = 0.4, c = 0.6$ ; треугольную форму для терма PM:  $a = 0.4, b = 0.6, c = 0.8$ ; треугольную форму для терма PMB:  $a = 0.6, b = 0.8, c = 1$  S-образную форму для терма PB:  $a = 0.8, b = 1$ .

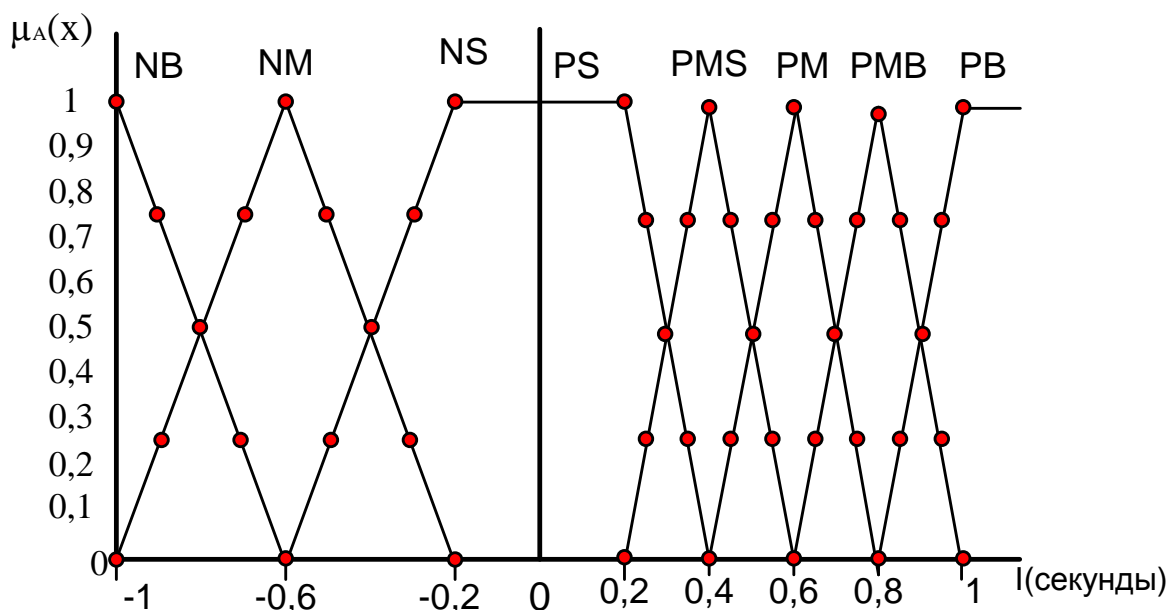


Рисунок 4 – Функции принадлежности выходной лингвистической переменной DCR

На рис. 5 показана общая схема второго модуля интеллектуальной системы определения риска столкновения безэкипажного судна.

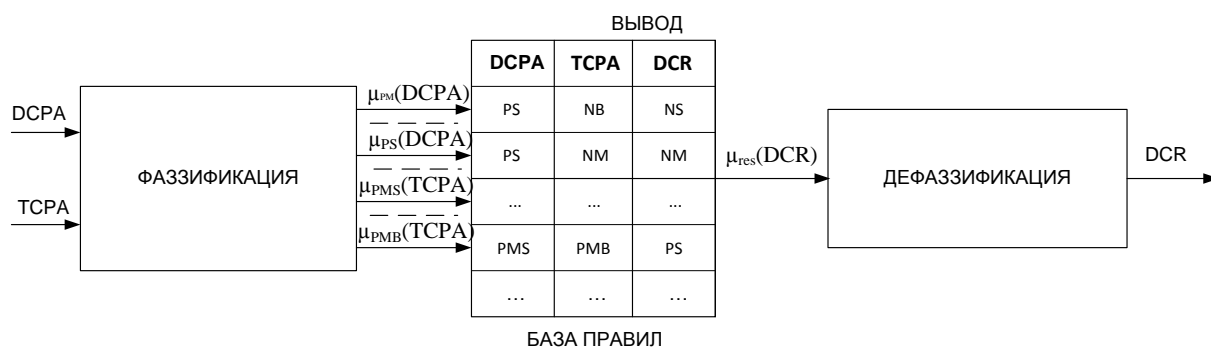


Рисунок 5 – Общая схема второго модуля интеллектуальной системы

Система нечётких продукций состоит из 40 правил, представляющих собой следующие нечеткие высказывания, например, правило 1 «Если DCPA является PS и ТСПА является NB, то DCR является NS», правило 20 «Если DCPA является PM и ТСПА является PS, то DCR является PM» и т.д.

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

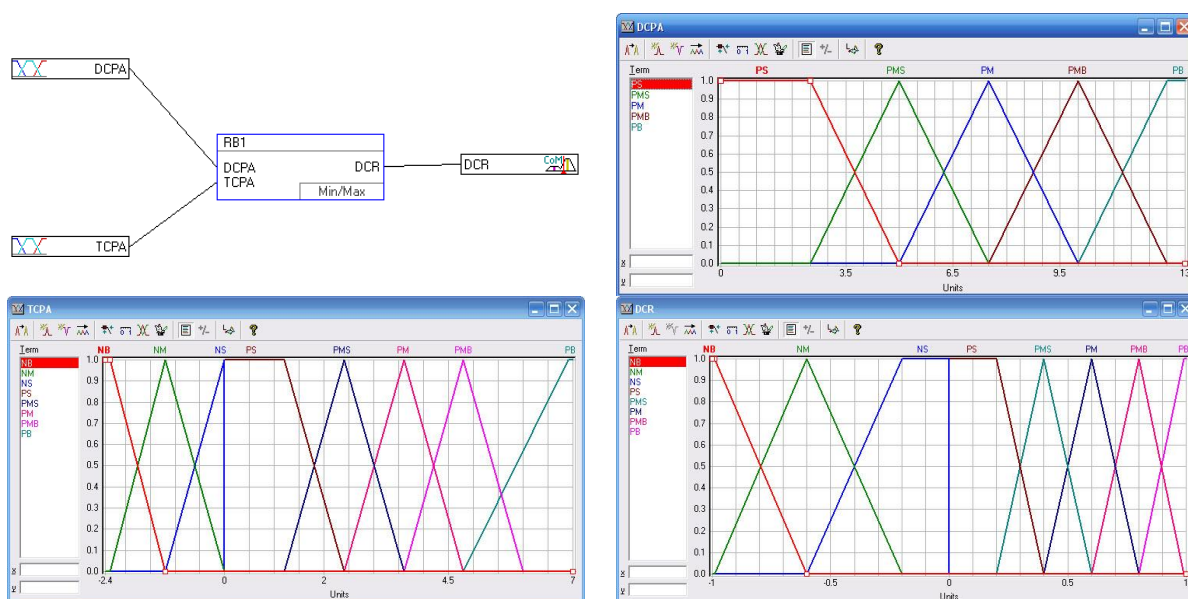


Рисунок 6 – Фрагмент программной реализации второго модуля интеллектуальной системы

Рассмотрим несколько примеров расчётов по второму модулю интеллектуальной системы. Например, рассмотрим случай, когда  $DCPA = 1$  и  $ТСПА = 3$ , тогда значения функции принадлежности первой входной ЛП при фаззификации равны  $\mu_{PS} = 1$ , остальные равны нулю, а значения функции принадлежности второй входной ЛП равны  $\mu_{PMS} = 0,5$  и  $\mu_{PM} = 0,5$  (остальные нулевые). В дальнейшем используем термы, которые имеют ненулевые значения функций принадлежности. Подусловия PS для первой

входной ЛП и PMS и PM для второй лингвистической переменной используются в правилах 5 и 6, которые считаются активными, и используются в дальнейшем нечетком выводе.

Далее выполним этап агрегирования:

$$\mu_{res1} = \min\{ \mu_{PB}(1); \mu_{PMS}(3); \} = \min\{ 1; 0,5 \} = 0,5;$$

$$\mu_{res2} = \min\{ \mu_{PB}(1); \mu_{PM}(3) \} = \min\{ 1; 0,5 \} = 0,5;$$

Перейдем к следующему этапу – этапу активизации:

$$\mu_{res1.1} = 0,5 \cdot 1 = 0,5$$

$$\mu_{res2.2} = 0,5 \cdot 1 = 0,5$$

Этап аккумуляции заключается в объединении нечетких множеств, образованных на предыдущем этапе активизации.

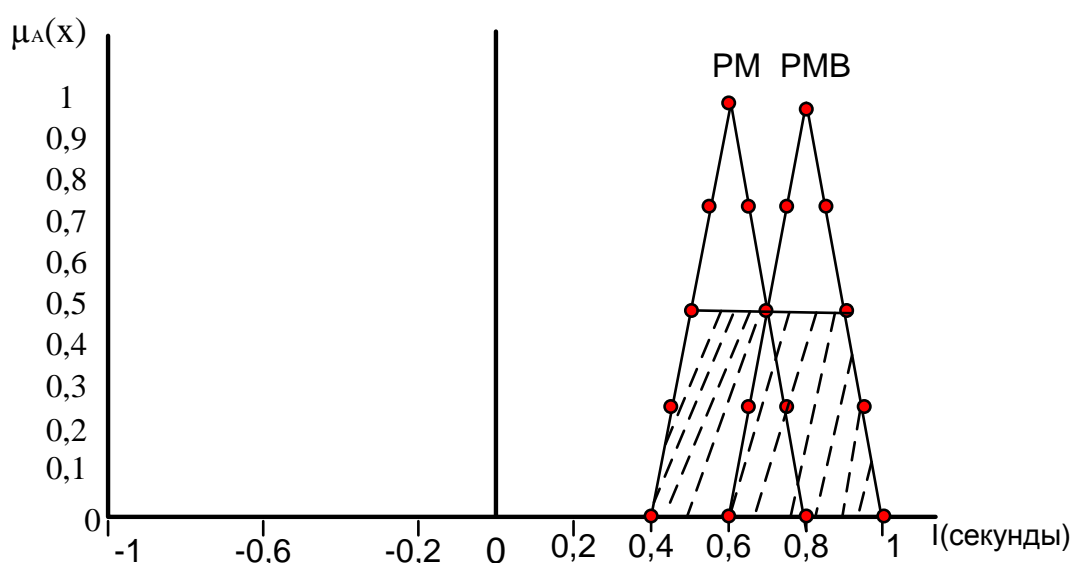


Рисунок 7 – Выходной параметр PM и PMB выходной лингвистической переменной DCR

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

$$y = \frac{\sum_{n=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{n=1}^n \mu(x_i)} \approx 0,42.$$

Рассмотрим вторую тестовую ситуацию для случая, когда DCPA = 6 и TSPA = -1,2, тогда значения функции принадлежности первой входной ЛП при фаззификации равны  $\mu_{PM} = 0,4$  и  $\mu_{PMS} = 0,6$ , остальные равны нулю, а значения функции принадлежности второй входной ЛП равны  $\mu_{NM} = 0,84$  (остальные нулевые). В дальнейшем используем термы, которые имеют ненулевые значения функций принадлежности. Подусловия PM и PMS для первой входной и NM для второй входной лингвистических переменных

используются в правилах 10 и 18, которые считаются активными и используются в дальнейшем нечетком выводе.

Проведем все этапы в узком смысле дефаззификации и получим конкретное выходное значение лингвистической переменной.

Так, выполним этап агрегирования:

$$\mu_{res1} = \min\{ \mu_{PM}(6); \mu_{NM}(-1,2); \} = \min\{ 0,4;1\} = 0,4;$$

$$\mu_{res2} = \min\{ \mu_{PMS}(6); \mu_{NM}(-1,2)\} = \min\{ 0,6;1\} = 0,6;$$

Перейдем к следующему этапу – этапу активизации:

$$\mu_{res1.1} = 0,4 \cdot 1 = 0,4$$

$$\mu_{res2.2} = 0,6 \cdot 1 = 0,6$$

Этап аккумуляции заключается в объединении нечетких множеств, образованных на предыдущем этапе активизации и представлен на рис. 8.

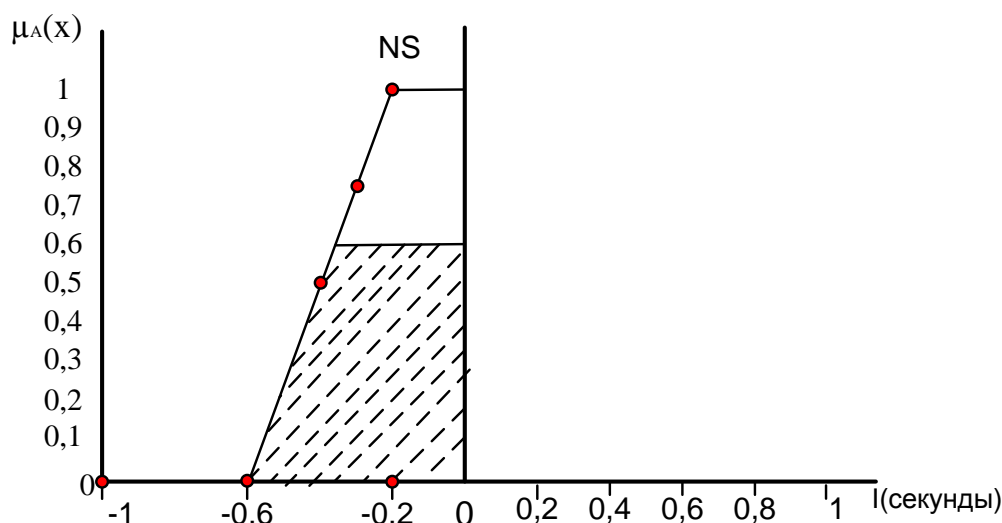


Рисунок 8 – Выходной параметр NS выходной лингвистической переменной DCR

Теперь получим конкретное выходное значение лингвистической переменной, используя метод дефаззификации:

$$y \approx -0,2$$

Рассмотрим третью ситуацию для случая, когда ДСРА = 11 и ТСРА = 6, тогда значения функции принадлежности первой входной ЛП при фаззификации равны  $\mu_{PB} = 0,4$  и  $\mu_{PMB} = 0,6$ , остальные равны нулю, а значения функции принадлежности второй входной ЛП равны  $\mu_{PB} = 1$  (остальные нулевые). В дальнейшем используем термы, которые имеют ненулевые значения функций принадлежности. Подусловия РВ и РМВ для первой входной ЛП и РВ для второй входной ЛП используются в правилах 32 и 40, которые считаются активными и используются в дальнейшем нечетком выводе.

Этап агрегирования выдаёт результат:

$$\mu_{res1} = \min\{ \mu_{PB}(11); \mu_{PB}(6) \} = \min\{ 0,4;1 \} = 0,4;$$

$$\mu_{res2} = \min\{ \mu_{PB}(11); \mu_{PMB}(11) \} = \min\{ 0,6;1 \} = 0,6;$$

Этап активизации, в свою очередь, показывает значения:

$$\mu_{res1.1} = 0,4 \cdot 1 = 0,4$$

$$\mu_{res2.2} = 0,6 \cdot 1 = 0,6$$

Результат этапа аккумуляции показан на рис. 9.

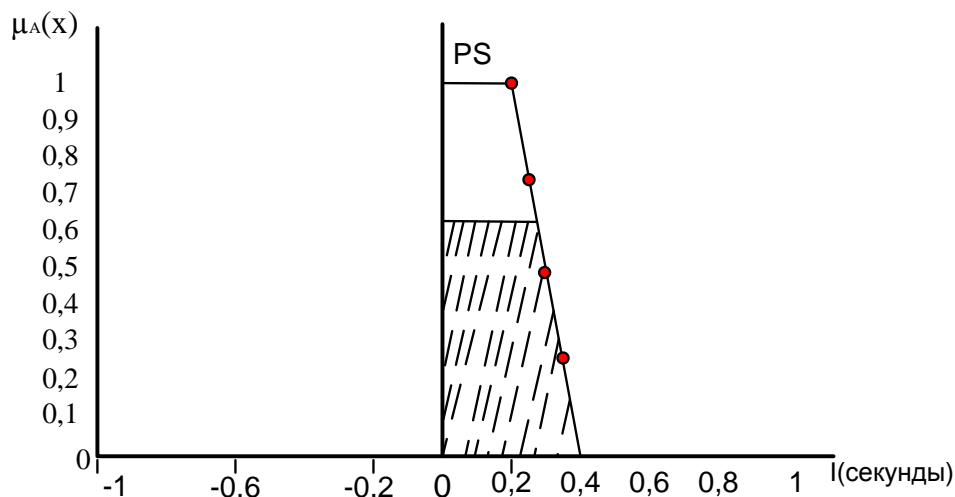


Рисунок 9 – Выходной параметр PS выходной лингвистической переменной DCR

Выходное значение лингвистической переменной для последней тестовой ситуации равно 0,18.

Таким образом, в результате работы проведена фаззификация двух входных и одной выходной лингвистической переменной для второго модуля интеллектуальной системы определения риска столкновения безэкипажного судна, сформирована база правил нечетких продукций, состоящая из 40 правил, реализован алгоритм нечеткого вывода, а также разработан пользовательский интерфейс приложения для определения риска столкновения безэкипажного судна. Пользовательский интерфейс позволяет вносить информацию по входным лингвистическим переменным и автоматически вычислять значение выходной, чтобы автоматически определять степень риска опасности столкновения безэкипажного судна с встречаемыми на пути его движения объектами. 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. T. 42. №. 4. C. 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.