

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

УДК 519.7

Н.А. Седова, В.С. Перечёсов, В.А. Седов

УДЕРЖАНИЕ СУДНА НА КУРСЕ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ С УЧЕТОМ СКОРОСТИ СУДНА

Седова Нелли Алексеевна, кандидат технических наук, окончила Дальневосточный федеральный университет, Институт математики и компьютерных наук. Научный сотрудник учебно-научной лаборатории нелинейных и интеллектуальных систем управления ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского». Имеет статьи, патент, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ в области эксплуатации водного транспорта, судовождения. [e-mail: nellyfish81@mail.ru].

Перечёсов Владимир Сергеевич, кандидат технических наук, окончил Дальневосточную государственную морскую академию. Старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории технических средств навигации ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского». Имеет статьи и патенты в области эксплуатации водного транспорта, судовождения. [e-mail: perechesov@msun.ru].

Седов Виктор Александрович, кандидат физико-математических наук, окончил Дальневосточную государственную морскую академию. Старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории технических средств навигации ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского». Имеет статьи в области систем искусственного интеллекта. [e-mail: sedov@msun.ru].

Аннотация

Для удержания судна на курсе разработана интеллектуальная система на базе нечеткой логики, включающая в себя три входные лингвистические переменные, такие как отклонение судна от заданного курса, скорость такого отклонения, скорость движения судна, и одну выходную – положение пера руля судна. В работе представлены нечеткие множества, соответствующие термам указанных лингвистических переменных. База нечетких продукций содержит 175 правил.

Ключевые слова: интеллектуальная система, нечеткая логика, курс судна, лингвистическая переменная, нечеткое множество.

Nelli Alekseevna Sedova, Candidate of Engineering; graduated from Far Eastern Federal University, Institute of Mathematics and Computer Science; Scientific Associate of Training and Research Laboratory for Nonlinear and Intelligence Control Systems of Admiral Nevelskoy Maritime State University; author of articles, patent, and state registration certificates of computer program in the field of water transport operation and navigation. e-mail: nellyfish81@mail.ru.

Vladimir Sergeevich Perechesov, Candidate of Engineering; graduated from Far Eastern State Maritime Academy, Senior Staff Scientist of Training and Research Laboratory for Navigation equipment of Admiral Nevelskoy Maritime State University; author of articles and patents in the field of water transport operation and navigation. e-mail: perechesov@msun.ru.

Viktor Alexandrovich Sedov, Candidate of Physics and Mathematics; graduated from Far Eastern State Maritime Academy; Senior Staff Scientist at Training and Research Laboratory for Navigation equipment of Admiral Nevelskoy Maritime State University; author of articles in the field of intelligence systems. e-mail: sedov@msun.ru.

Abstract

An intelligent system based on fuzzy logic is developed in order to keep a course of a ship. This system includes three input linguistic variables such as a true course deviation, a deviation speed, and a speed of a vessel, and one output variable – a rudder blade position of the ship. This article presents the fuzzy sets and corresponding terms of linguistic variables. The base of fuzzy production rules contains 175 rules.

Key words: intelligent system, fuzzy logic, a course of a ship, linguistic variables, fuzzy set.

ВВЕДЕНИЕ

Задача удержания судна на курсе является одной из актуальнейших проблем судовождения. Ее решение позволяет повысить уровень безопасности мореплавания, обеспечить экономию топлива и соблюдение временного графика перехода, минимизировать нагрузку на рулевой привод по величине и количеству переключений руля, а также автоматизировать решение специальных задач судовождения (геофизических, трубо- и кабелеукладочных работ и др.) [1–3]. Однако нелинейный характер модели движения морских (речных) судов и неопределенность знания ее параметров, стохастический характер ветроволновых возмущений, а также погрешностей навигационных датчиков приводят к достаточно сложной для исследования и реализации задаче синтеза оптимального управления классическими методами динамического или стохастического оптимального управления [1]. В результате, на практике при изменении загрузки судна или характера внешних воздействий приходится перенастраивать регулятор, а при сильном ухудшении погоды управление ведет опытный вахтенный матрос, субъективно оценивая поведение судна и принимая решение об управлении. Возможность использования теории нечеткой логики позволяет частично снизить субъективность при принятии решений в обстановке неполной и нечеткой информации в системах управления.

Ранее авторами [4] предлагалась модель нечеткой системы удержания судна на курсе, принимающая решения в зависимости от величин отклонения судна от курса и скорости движения судна. В работе [1] предлагалась нечеткая система, в которой принятие решений производилось, исходя из данных отклонения судна от курса и скорости такого отклонения. Обе указанные модели нечетких систем показали вполне приемлемую работоспособность. Настоящая работа представляет модель нечеткой системы удержания судна на курсе, которая корректирует положение пера руля судна, исходя из отклонения морского (речного) судна от заданного курса, скорости такого от-

клонения, а также с учетом скорости движения самого морского (речного) судна.

1 ОПИСАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагаемая модель нечеткой системы удержания судна на курсе выполнена в программном комплексе WinFACT фирмы Kahlert, обладающем широкими возможностями по разработке интеллектуальных систем на базе нечеткой логики. Общий вид нечеткой системы удержания судна на курсе представлен на рисунке 1.

Нечеткая система включает в себя три входные и одну выходную лингвистические переменные, при этом каждая лингвистическая переменная представляет собой квинтарную упорядоченную последовательность (β, T, I, G, M), где β – название лингвистической переменной; T – базовое терм-множество, т. е. множество различных значений лингвистической переменной, каждое из которых представляет собой нечеткую переменную; I – универсальное множество (область определения лингвистической переменной); G – синтаксическая процедура, описывающая процесс формирования новых термов из термов базового терм-множества; M – семантическая процедура, описывающая смысловую нагрузку нового термина, полученного с помощью процедуры G [5].

Первая входная лингвистическая переменная β_1 «Отклонение от заданного курса» (в системе WinFACT сокращенно обозначена через «Откл. курса», далее в скобках будут указаны сокращенные варианты для лингвистических переменных и термов) характеризуется базовым терм-множеством $T_1 = \{\text{Очень много влево (Оч.мн.влево), Много влево, Немного влево (Немн.влево), Ноль, Немного вправо (Немн.вправо), Много вправо (Мн.вправо), Очень много вправо (Оч.мн.вправо)}\}$.

Вторая входная лингвистическая переменная β_2 «Скорость отклонения судна с курса» (Скор.отклон.) содержит

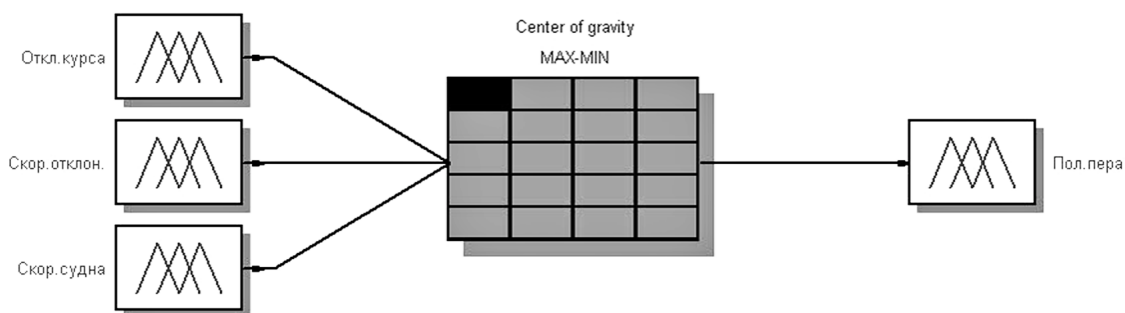


Рис. 1. Общий вид нечеткой системы удержания судна на курсе

следующие термы базового терм множества $T_2 = \{\text{Отрицательная большая (Отриц.больш.)}, \text{Отрицательная малая (Отриц.малая)}, \text{Нулевая}, \text{Положительная малая (Полож.малая)}, \text{Положительная большая (Полож.больш.)}\}$.

Третья входная лингвистическая переменная β_3 «Скорость движения судна» (Скор.судна) характеризуется базовым терм-множеством $T_3 = \{\text{Нулевая}, \text{Очень малая (Оч.малая)}, \text{Малая}, \text{Большая}, \text{Очень большая (Оч.большая)}\}$.

Выходная лингвистическая переменная β «Положение пера руля» (Пол.пера) характеризуется базовым терм-множеством $T = \{\text{Очень много влево (Оч.мн.влево)}, \text{Много влево}, \text{Немного влево (Немн.влево)}, \text{Ноль}, \text{Немного вправо (Немн.вправо)}, \text{Много вправо (Мн.вправо)}, \text{Очень много вправо (Оч.мн.вправо)}\}$.

Каждый терм базового терм-множества является нечеткой переменной, т. е. представляет собой тернарную упорядоченную последовательность (α, I, A) , где α – название нечеткой переменной; I – универсальное множество (область определения нечеткой переменной); A – нечеткое множество, заданное на I , определяющее различные значения нечеткой переменной, характеризующееся функцией принадлежности $\mu_A(x)$, т. е. функцией, которая ставит в соответствие каждому из элементов $x \in I$ некоторое действительное число из интервала $[0, 1]$. Для разработки модели нечеткой системы удержания судна на курсе сформированы функции принадлежности для каждого терма каждой лингвистической переменной, входящей в нечеткую систему. В качестве основных типов функций принадлежности лингвистических переменных использованы линейные Z-образная, S-образная и треугольная функции принадлежности. Терм «Очень много влево» первой входной лингвистической переменной β_1 имеет функцию принадлежности, аналитический вид которой:

$$\mu_{\text{Оч.мн.влево}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq -30, \\ \frac{-18-x}{12}, & -30 < x < -18, \\ 0, & -18 \leq x. \end{cases}$$

Заметим, что аналитическое представление функций принадлежности термов первой входной лингвистической переменной β_1 совпадает с аналогичными термами выходной лингвистической переменной β .

Терм «Очень много вправо» первой входной лингвистической переменной β_1 (а также выходной лингвистической переменной β) имеет функцию принадлежности, задаваемую по следующей формуле:

$$\mu_{\text{Оч.мн.вправо}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 18, \\ \frac{x-18}{12}, & 18 < x < 30, \\ 1, & 30 \leq x. \end{cases}$$

Остальные термы лингвистической переменной β_1 (выходной лингвистической переменной β) имеют функции принадлежности, задаваемые следующими выражениями:

$$\mu_{\text{Много влево}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -28, \\ \frac{x+28}{8}, & -28 \leq x \leq -20, \\ \frac{-12-x}{8}, & -20 \leq x \leq -12, \\ 0, & -12 \leq x. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Немн. влево}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -15, \\ \frac{x+15}{6}, & -15 \leq x \leq -9, \\ \frac{-3-x}{6}, & -9 \leq x \leq -3, \\ 0, & -3 \leq x. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Ноль}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq -5, \\ \frac{x+5}{5}, & -5 \leq x \leq 0, \\ \frac{5-x}{5}, & 0 \leq x \leq 5, \\ 0, & 5 \leq x. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Немн. вправо}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 3, \\ \frac{x-3}{6}, & 3 \leq x \leq 9, \\ \frac{15-x}{6}, & 9 \leq x \leq 15, \\ 0, & 15 \leq x. \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Много вправо}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 12, \\ \frac{x-12}{8}, & 12 \leq x \leq 20, \\ \frac{28-x}{8}, & 20 \leq x \leq 28, \\ 0, & 28 \leq x. \end{cases}$$

Терм «Отрицательная большая» второй входной лингвистической переменной β_2 имеет функцию принадлежности, аналитический вид которой имеет вид:

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

Терм «Положительная большая» второй входной лингвистической переменной β_2 имеет функцию принадлежности, задаваемую по следующей формуле:

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

Остальные термы лингвистической переменной β_2 имеют функции принадлежности, задаваемые следующими выражениями:

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

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

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

Термы базового терм-множества третьей входной лингвистической переменной β_3 имеют функции принадлежности, задаваемые следующими выражениями:

$$\mu_{\text{Нулевая}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0, \\ \frac{5-x}{5}, & 0 < x < 5, \\ 0, & 5 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Оч. малая}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 4, \\ \frac{x-4}{4}, & 4 \leq x \leq 8, \\ \frac{12-x}{4}, & 8 \leq x \leq 12, \\ 0, & 12 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Малая}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10, \\ \frac{x-10}{4}, & 10 \leq x \leq 14, \\ \frac{18-x}{4}, & 14 \leq x \leq 18, \\ 0, & 18 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Большая}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 16, \\ \frac{x-16}{4}, & 16 \leq x \leq 20, \\ \frac{24-x}{4}, & 20 \leq x \leq 24, \\ 0, & 24 \leq x, \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Оч. большая}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 22, \\ \frac{x-22}{4}, & 22 < x < 26, \\ 1, & 26 \leq x. \end{cases}$$

На рисунках 2–5 представлены графики используемых функций принадлежности введенных лингвистических переменных.

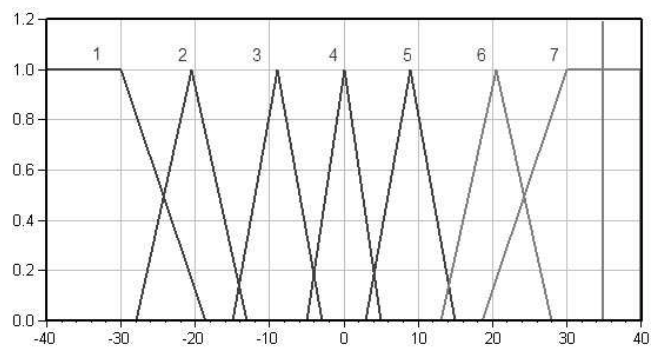


Рис. 2. Графики функций принадлежности входной лингвистической переменной «Отклонение от заданного курса» (1 – терм «Оч.мн.влево», 2 – «Много влево», 3 – «Немн.влево», 4 – «Ноль», 5 – «Немн.вправо», 6 – «Мн.вправо», 7 – «Оч.мн.вправо»)

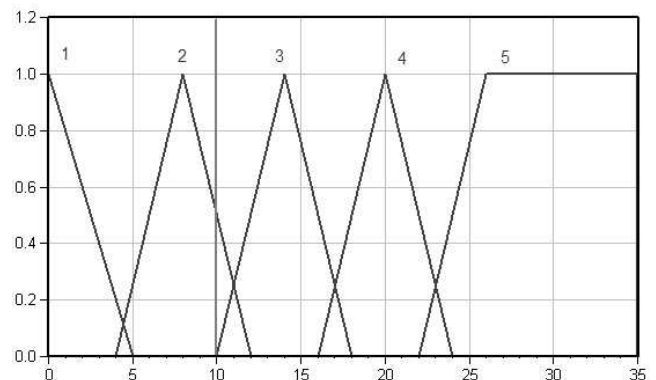


Рис. 3. Графики функций принадлежности входной лингвистической переменной «Скорость отклонения судна с курса» (1 – «Отриц. больш.», 2 – «Отриц. малая», 3 – «Нулевая», 4 – «Полож. малая», 5 – «Полож. больш.»)

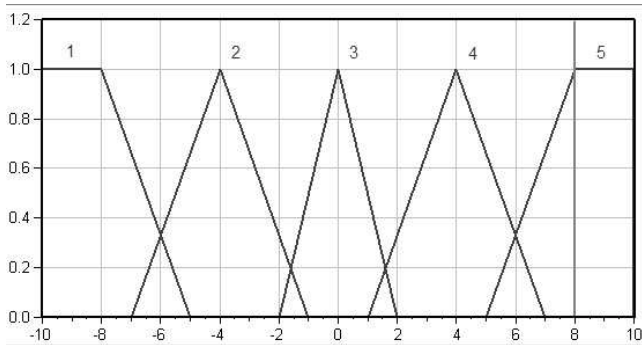


Рис. 4. Графики функций принадлежности входной лингвистической переменной «Скорость движения судна» (1 – «Нулевая», 2 – «Оч.малая», 3 – «Малая», 4 – «Большая», 5 – «Оч. большая»)

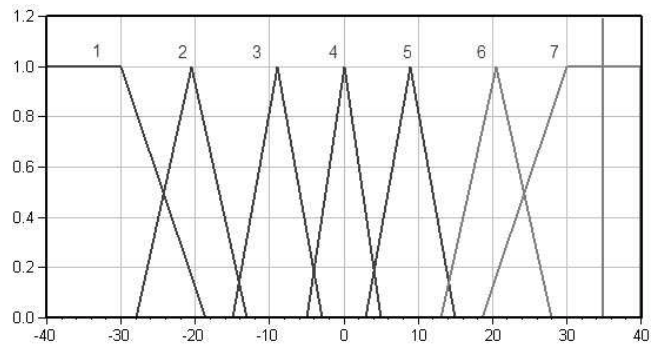


Рис. 5. Графики функций принадлежности выходной лингвистической переменной «Положение пера руля» (1 – «Оч.мн.влево», 2 – «Много влево», 3 – «Немн.влево», 4 – «Ноль», 5 – «Немн.вправо», 6 – «Мн.вправо», 7 – «Оч.мн.вправо»)

2 Нечеткая СИСТЕМА удержания судна на курсе с учетом скорости движения судна

База нечетких лингвистических правил содержит 175 правил нечетких продукций следующего вида:

1. Если отклонение от курса очень много влево, скорость отклонения судна с курса отрицательная большая и скорость судна нулевая, то положение пера руля много вправо.

...

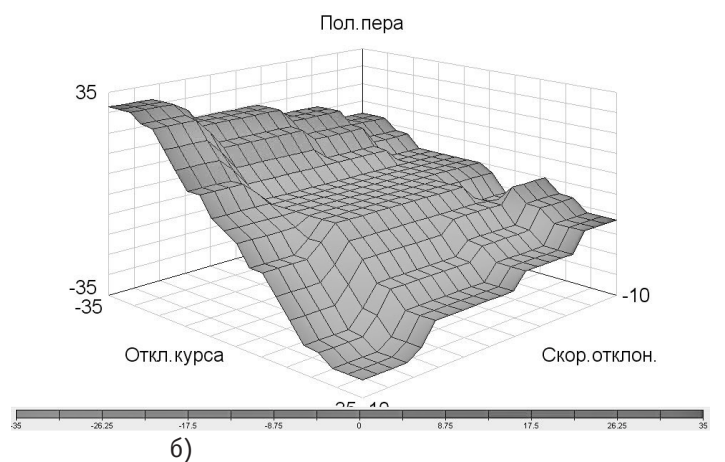
86. Если отклонение от курса нулевое, скорость отклонения судна с курса нулевая и скорость судна нулевая, то положение пера руля нулевое.

...

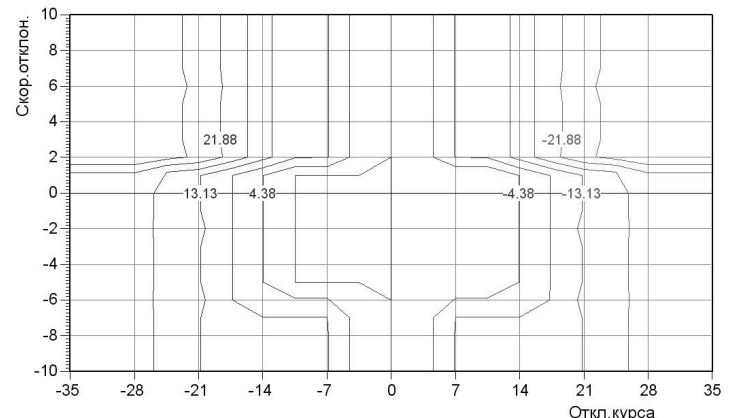
175. Если отклонение от курса очень много вправо, скорость отклонения судна с курса положительная большая и скорость судна очень большая, то положение пера руля много влево.

	Откл. курса	Скор. отклон.	Скор. судна	Пол. пера
1	Оч.мн.влево	Отриц. больш.	Нулевая	Мн.вправо
2	Оч.мн.влево	Отриц. больш.	Оч. малая	Мн.вправо
3	Оч.мн.влево	Отриц. больш.	Малая	Немн.вправ
4	Оч.мн.влево	Отриц. больш.	Большая	Немн.вправ
5	Оч.мн.влево	Отриц. больш.	Оч.большая	Немн.вправ
6	Оч.мн.влево	Отриц. малая	Нулевая	Мн.вправо
7	Оч.мн.влево	Отриц. малая	Оч. малая	Мн.вправо
8	Оч.мн.влево	Отриц. малая	Малая	Мн.вправо
9	Оч.мн.влево	Отриц. малая	Большая	Немн.вправ
10	Оч.мн.влево	Отриц. малая	Оч.большая	Немн.вправ
11	Оч.мн.влево	Нулевая	Нулевая	Оч.мн.впрае
12	Оч.мн.влево	Нулевая	Оч. малая	Мн.вправо
13	Оч.мн.влево	Нулевая	Малая	Мн.вправо
14	Оч.мн.влево	Нулевая	Большая	Мн.вправо
15	Оч.мн.влево	Нулевая	Оч.большая	Мн.вправо
16	Оч.мн.влево	Полож. малая	Нулевая	Оч.мн.впрае
17	Оч.мн.влево	Полож. малая	Оч. малая	Оч.мн.впрае
18	Оч.мн.влево	Полож. малая	Малая	Мн.вправо
19	Оч.мн.влево	Полож. малая	Большая	Мн.вправо
20	Оч.мн.влево	Полож. малая	Оч.большая	Мн.вправо
21	Оч.мн.влево	Полож. больш.	Нулевая	Оч.мн.впрае
22	Оч.мн.влево	Полож. больш.	Оч. малая	Оч.мн.впрае
23	Оч.мн.влево	Полож. больш.	Малая	Оч.мн.впрае
24	Оч.мн.влево	Полож. больш.	Большая	Оч.мн.впрае
25	Оч.мн.влево	Полож. больш.	Оч.большая	Мн.вправо

а)



б)



в)

Рис. 6. а) Фрагмент таблицы базы нечетких лингвистических правил, б) трехмерная поверхность системы нечеткого вывода, в) графическое представление нечеткой системы в виде контурных линий

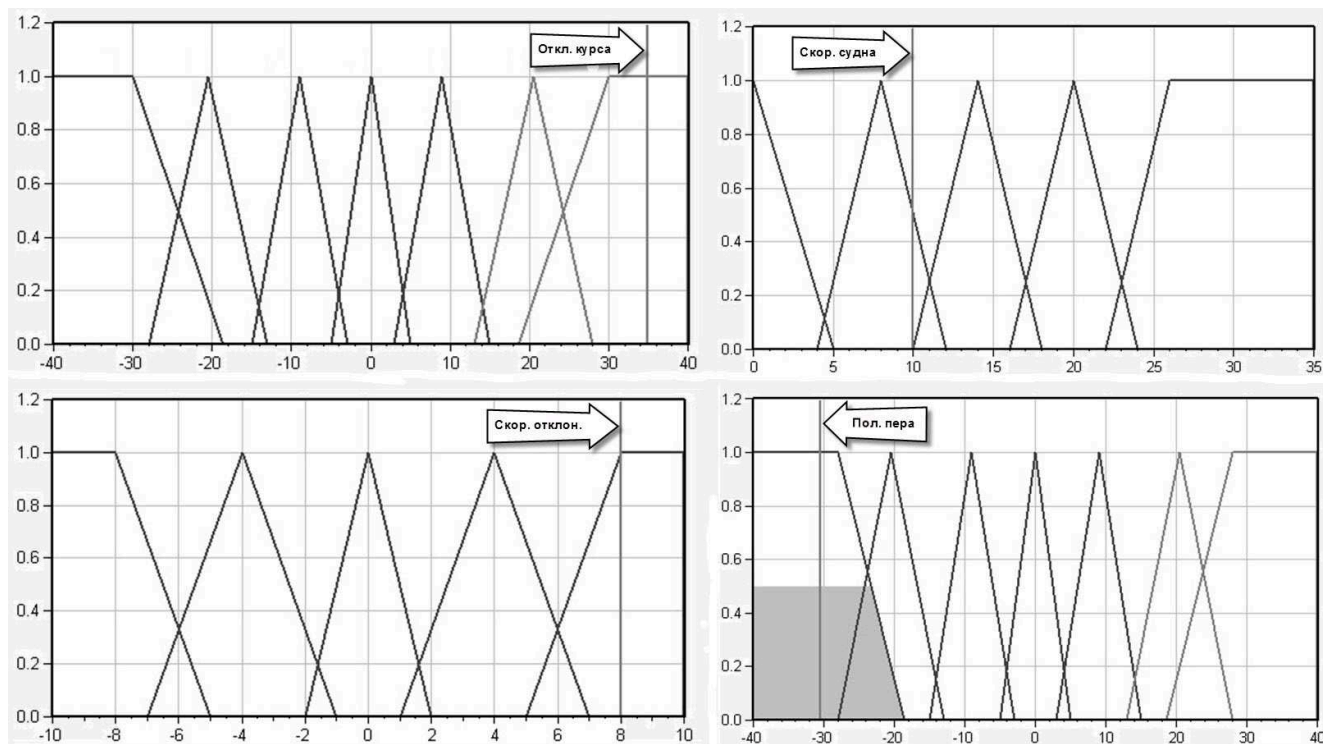


Рис. 7. Пример работы нечеткой системы

Фрагмент базы нечетких лингвистических правил, содержащий первые 25 нечетких продукций разработанной нечеткой системы, показан на рисунке 6 а. В качестве метода нечеткого логического вывода использован метод Мамдани [5], который получил широкое распространение из-за простоты и удовлетворительного качества нечетких систем управления на его основе. Графическое представление трехмерной поверхности нечеткого логического вывода разработанной нечеткой системы (для первой и второй входных лингвистических переменных) представлено на рисунке 6 б, а в виде контурных линий – на рисунке 6 в.

Проведенный цикл тестовых испытаний разработанной нечеткой системы показал ее работоспособность. На рисунке 7 показан пример ситуации, когда судно, идущее со скоростью 10 узлов, очень сильно отклонилось от заданного курса вправо и имеет большую скорость отклонения от заданного курса. Нечеткая система принимает решение о необходимости повернуть очень сильно влево и указывает конкретный угол, на который необходимо установить перо руля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная нечеткая система является результатом совершенствования подходов к решению задачи удержания судна на курсе, проиллюстрированных в работах [2–4]. Дальнейшие исследования планируется направить на определение аналитических представлений для функций принадлежности, наилучшим образом соответствующих поставленной задаче удержания судна на курсе.

Также предполагается добавление лингвистических переменных, описывающих внешние воздействия, действующие на судно и влияющие на его стабилизацию, такие как ветер, волнение и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушков С.В., Седов В.А., Седова Н.А. Интеллектуальное управление курсом судна с использованием регулятора на нечеткой логике // Вестник Морского государственного университета. Сер. Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2009. – Вып. 36/2009. – С. 22–30.
2. Глушков С.В. Автоматическое управление курсом судна с использованием регулятора на нечеткой логике // Мехатроника, автоматизация, управление. – М. : Новые технологии, 2007. – № 12. – С. 32–36.
3. Глушков С.В. Использование нечеткой логики в системе автоматического управления курсом судна // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – М. : Научтехлитиздат, 2007. – № 8. – С. 28–32.
4. Седов В.А., Седова Н.А., Перечесов В.С. Нечеткая система удержания судна на курсе // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях : межвуз. сб. / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – Вып. 1. – С. 86–87.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005 – 736 с.