

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕФТЕПРОДУКТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В.А. Мустафаев, К.А. Аллахвердиева

Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит, Азербайджанская Республика

Аннотация: разработана модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре в условиях неопределенности в виде нечетких сетей Петри. Структурные элементы нечетких сетей Петри представлены в матричном виде, определена входная, выходная и матрица инцидентности сети. Разработан граф-модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре. Вычислены элементы матрицы Грамма и определены правила срабатываемых переходов сети. В результате компьютерного эксперимента получена последовательность срабатывания переходов из начальной маркировки. Разработана модель принятия решений для регулирования температуры нефтепродукта в условиях неопределенности. Предложен подход принятия решений для регулирования температуры нефтепродукта в условиях неопределенности. Сформирована база правил для регулирования температуры нефтепродукта в резервуаре. Определены элементы множества термов всех входных и выходных лингвистических переменных базы нечетких производственных правил. Осуществлена фаззификация всех термов входных переменных. Вычислены степени истинности условий в правилах нечеткой продукции. Выполнены процедуры активизации и аккумуляции и найдены все значения степеней истинности подзаключений для каждого правила. Реализована в трехмерном пространстве процедура дефаззификации в среде *Matlab* с использованием пакета расширения *fuzzy logic Toolbox*. Представлено интерактивное окно всех входных и выходных лингвистических переменных по средствам треугольных функций принадлежности

Ключевые слова: температура нефтепродукта, модель, нечеткие сети Петри, производственные правила, фаззификация

Введение

Как предприятие нефтебаза предназначена для приема, хранения и отпуска нефтепродуктов различным социальным и промышленным отраслям [1]. Основное назначение нефтебаз - сохранение качества нефтепродуктов и сокращение до минимума их потерь при приеме, хранении и отпуске потребителям. При хранении и отпуске нефтепродуктов в основном измеряются плотность и температура нефтепродукта [2].

Плотность нефтепродукта [3] определяется с помощью нефтенсиметра. Плотность нефтепродукта вычисляется формулами, используя температуру нефтепродукта в резервуаре. Искомая плотность нефтепродукта при данной температуре определяется через плотность нефтепродукта при 20°C и учитывается поправка изменения температуры на 1°C . При этом не учитываются параметры избыточного давления и высота уровня нефтепродукта.

На современном этапе развития вычислительных и информационных технологий требуются разработки новых подходов для определения плотности и температуры нефтепродукта на основе экспериментальных и экс-

пертных данных с использованием нечеткой логики и искусственного интеллекта.

В этой связи в представленной работе рассматривается разработка модели определения и регулирования температуры нефтепродукта в условиях неопределенности.

Модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре

Модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре в условиях неопределенности представляется в виде нечетких сетей Петри (НСП) [4]:

$C = (P, T, I, O, \mu)$, где $P = \{p_i\}$ ($i = 1, \dots, n$; n – число позиций) –

нечеткое множество позиций; $T = \{t_j\}$ ($j = 1, \dots, m$; m – число переходов; $I: P \times T \rightarrow (0, 1, 2, \dots)$; $O: T \times P \rightarrow (0, 1, 2, \dots)$)

– соответственно входная и выходная функции сети; маркировка $\mu: P \rightarrow [0, 1]$ – начальное состояние сети. Модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре представлена в виде НСП, также определено множество позиций и переходов. Граф-модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре представлена на рис. 1.

Множество позиций:

- p_1 - резервуар для хранения нефтепродукта;
- p_2 - температура нефтепродукта соответствует допуску;
- p_3 - температура нефтепродукта соответствует ниже допуска;
- p_4 - температура нефтепродукта соответствует выше допуска;
- p_5 - диапазон высоты уровня нефтепродукта соответствует допуску;
- p_6 - диапазон высоты уровня нефтепродукта соответствует ниже допуска;
- p_7 - диапазон высоты уровня нефтепродукта соответствует выше допуска;
- p_8 - диапазон плотности нефтепродукта соответствует допуску;
- p_9 - колонна для пропуска нефтепродукта;

p_{10} - нагревание нефтепродукта в резервуаре;

p_{11} - охлаждение нефтепродукта в резервуаре.

Множество переходов:

t_1 - определение температуры нефтепродукта в резервуаре;

t_2 - определение высоты уровня нефтепродукта в резервуаре;

t_3 - определение плотности нефтепродукта в резервуаре;

t_4 - выполнение процесса пропуска нефтепродукта;

t_5 - регулирование вентиля электрического нагревателя на небольшой угол влево;

t_6 - регулирование вентиля электрического нагревателя на небольшой угол вправо.

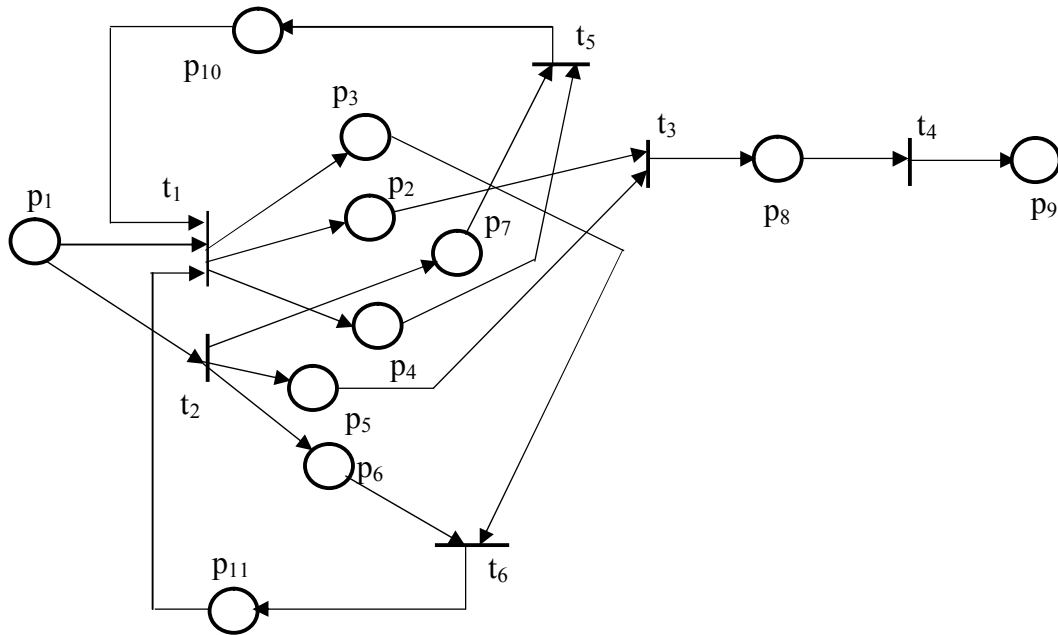


Рис. 1. Граф-модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре

Структурные элементы НСП представляются в матричном виде [5]:

$$d_{ij}^- = \begin{cases} 1, \text{ если } p_i \in I(t_j); \\ 0, \text{ если } p_i \notin I(t_j); \end{cases}$$

$$d_{ij}^+ = \begin{cases} 1, \text{ если } p_i \in O(t_j); \\ 0, \text{ если } p_i \notin O(t_j); \end{cases}$$

$$d_{ij} = \begin{cases} -1, \text{ если } p_i \in I(t_j) \text{ и } p_i \notin O(t_j); \\ 1, \text{ если } p_i \notin I(t_j) \text{ и } p_i \in O(t_j); \\ 0, \text{ если } p_i \notin I(t_j) \text{ и } p_i \notin O(t_j); \end{cases}$$

Функции входной и выходной инцидентности НСП представляются соответственно матрицами D^- и D^+ :

$$D^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$D^+ = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Элементы матрицы инцидентности НСП вычисляются по формуле:

$$d_{ij} = d_{ij}^+ - d_{ij}^-; \quad i = \overline{1,11}; j = \overline{1,6}.$$

Матрица инцидентности выглядит следующим образом:

$$D = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Начальное состояние сети задается векторами:

$$\begin{aligned} \mu(0;1) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(0;2) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(0;3) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(0;4) &= (0.000 \ 0.400 \ 0.600); \\ \mu(0;5) &= (0.200 \ 0.300 \ 0.500); \\ \mu(0;6) &= (0.000 \ 0.100 \ 0.000 \ 0.900); \\ \mu(0;7) &= (0.200 \ 0.500 \ 0.300); \\ \mu(0;8) &= (0.000 \ 0.100 \ 0.300 \ 0.600); \\ \mu(0;9) &= (0.300 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.700); \\ \mu(0;10) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(0;11) &= (1.000 \ 0.000). \end{aligned}$$

На основе алгоритма [6] вычисляются элементы матрицы Грамма и вектора диагональной сверки НСП. В результате компьютерного эксперимента получена последовательность срабатывания переходов $\tau_1 = (t_1, t_2, t_3, t_4)$, $\tau_2 = (t_1, t_5, t_1)$, $\tau_3 = (t_2, t_6, t_2)$ из начальной маркировки μ_0 .

При запуске срабатывания переходов $\tau_1 = (t_1, t_2, t_3, t_4)$ получена последовательность из начальной маркировки μ_0 .

Состояние сети после срабатывания перехода t_1 :

$$\begin{aligned} \mu(1;1) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(1;2) &= (0.300 \ 0.700); \\ \mu(1;3) &= (0.200 \ 0.800); \\ \mu(1;4) &= (0.100 \ 0.200 \ 0.400); \\ \mu(1;5) &= (0.400 \ 0.600); \\ \mu(1;6) &= (0.100 \ 0.100 \ 0.000 \ 0.800); \\ \mu(1;7) &= (0.500 \ 0.500); \\ \mu(1;8) &= (0.100 \ 0.300 \ 0.600); \\ \mu(1;9) &= (0.200 \ 0.100 \ 0.000 \ 0.700); \\ \mu(1;10) &= (0.500 \ 0.500); \\ \mu(1;11) &= (1.000 \ 0.000). \end{aligned}$$

Состояние сети после срабатывания перехода t_2 :

$$\begin{aligned} \mu(2;1) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(2;2) &= (0.300 \ 0.700 \ 0.000); \\ \mu(2;3) &= (0.100 \ 0.000); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu(2;4) &= (0.000 \ 0.400 \ 0.600); \\ \mu(2;5) &= (0.500 \ 0.500); \\ \mu(2;6) &= (0.000 \ 0.100 \ 0.000 \ 0.900); \\ \mu(2;7) &= (0.100 \ 0.400 \ 0.500); \\ \mu(2;8) &= (0.200 \ 0.100 \ 0.300 \ 0.300); \\ \mu(2;9) &= (0.300 \ 0.000 \ 0.100 \ 0.600); \\ \mu(2;10) &= (1.500 \ 0.500); \\ \mu(2;11) &= (1.000 \ 0.000). \end{aligned}$$

Состояние сети после срабатывания перехода t_3 :

$$\begin{aligned} \mu(3;1) &= (0.200 \ 0.700 \ 0.100); \\ \mu(3;2) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(3;3) &= (0.100 \ 0.000); \\ \mu(3;4) &= (0.400 \ 0.600); \\ \mu(3;5) &= (0.200 \ 0.500 \ 0.300); \\ \mu(3;6) &= (0.000 \ 0.200 \ 0.000 \ 0.800); \\ \mu(3;7) &= (0.100 \ 0.300 \ 0.600); \\ \mu(3;8) &= (0.200 \ 0.100 \ 0.300 \ 0.400); \\ \mu(3;9) &= (0.300 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.700); \\ \mu(3;10) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(3;11) &= (0.500 \ 0.500). \end{aligned}$$

Состояние сети после срабатывания перехода t_4 :

$$\begin{aligned} \mu(4;1) &= (1.000 \ 0.000); \\ \mu(4;2) &= (0.300 \ 0.700 \ 0.000); \\ \mu(4;3) &= (0.100 \ 0.000); \\ \mu(4;4) &= (0.000 \ 0.400 \ 0.600); \\ \mu(4;5) &= (0.500 \ 0.500); \\ \mu(4;6) &= (0.000 \ 0.100 \ 0.000 \ 0.900); \\ \mu(4;7) &= (0.100 \ 0.400 \ 0.500); \\ \mu(4;8) &= (0.200 \ 0.100 \ 0.300 \ 0.300); \\ \mu(4;9) &= (0.300 \ 0.000 \ 0.100 \ 0.600); \\ \mu(4;10) &= (1.500 \ 0.500); \\ \mu(4;11) &= (1.000 \ 0.000). \end{aligned}$$

Модель принятия решения для регулирования температуры нефтепродукта

База нечетких продукционных правил принятия решений регулирования температуры нефтепродукта в резервуаре записывается в следующем виде [7]:

ПРАВИЛО «#»: ЕСЛИ Y_1 есть y_1 и Y_2 есть y_2 , то Y_3 есть y_3 ;

где Y_1, Y_2, Y_3 - названия лингвистической переменной; y_1, y_2, y_3 - их значения.

При фаззификации переменных «температура нефтепродукта в резервуаре», «скорость изменения температуры нефтепродукта в резервуаре» и «вентиль электрического нагревателя» использована треугольная функция принадлежности [8]:

$$f_{\Delta}(x, x_1, x_2, x_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq x_1; \\ \frac{x - x_1}{x_1 - x_2}, & \text{если } x_2 \leq x \leq x_1; \\ \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}, & \text{если } x_1 \leq x \leq x_3; \\ 0, & \text{если } x_3 \leq x; \end{cases}$$

где x_1, x_2, x_3 - модальное число, удовлетворяющее условию $x_2 \leq x_1 \leq x_3$.

В результате фаззификации всех термов переменных база нечетких продукций для регулирования температуры нефтепродукта в условиях неопределенности состоит из следующих правил.

Правило 1: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует ниже допуска *И* скорость изменения температуры в резервуаре отрицательная, *ТО* следует регулировать вентиль электрического нагревателя на большой угол вправо;

Правило 2: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует ниже допуска *И* скорость изменения температуры в резервуаре нуль, близко к нулю, *ТО* следует регулировать вентиль электрического нагревателя на небольшой угол вправо;

Правило 3: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует ниже допуска *И* скорость изменения температуры в резервуаре положительная, *ТО* следует регулировать вентиль электрического нагревателя на небольшой угол вправо;

Правило 4: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует допуску *И* скорость изменения температуры в резервуаре отрицательная, *ТО* следует оставить вентиль электрического нагревателя как есть;

Правило 5: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует допуску *И* скорость изменения температуры в резервуаре нуль, близко к нулю, *ТО* следует оставить вентиль электрического нагревателя как есть;

Правило 6: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует допуску *И* скорость изменения температуры в резервуаре по-

ложительная, *ТО* следует оставить вентиль электрического нагревателя как есть;

Правило 7: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует выше допуска *И* скорость изменения температуры в резервуаре отрицательная, *ТО* следует регулировать вентиль электрического нагревателя на небольшой угол влево;

Правило 8: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует выше допуска *И* скорость изменения температуры в резервуаре нуль, близко к нулю, *ТО* следует регулировать вентиль электрического нагревателя на небольшой угол влево;

Правило 9: *ЕСЛИ* температура нефтепродукта в резервуаре соответствует выше допуска *И* скорость изменения температуры в резервуаре положительная, *ТО* следует регулировать вентиль электрического нагревателя на большой угол влево.

Инструментальные и программные средства принятия решения для регулирования температуры нефтепродукта в резервуаре в условиях неопределенности реализованы в среде *MATLAB* с использованием пакета расширения *Fuzzy Logic Toolbox* [9].

Для реализации фаззификации входной лингвистической переменной «температура нефтепродукта в резервуаре» значения всех термов на универсуме $[-50, +50]$ задаются в виде следующих треугольных нечетких чисел:

$tn\ 1 = \langle -10; -5; 5 \rangle$; $tn\ 2 = \langle -15; -5; \rangle$;
 $tn\ 3 = \langle -20; -5; 5 \rangle$; $tn\ 4 = \langle 10; 5; 5 \rangle$;
 $tn\ 5 = \langle 15; 5; 5 \rangle$; $tn\ 6 = \langle 20; 5; 5 \rangle$;
 $tn\ 7 = \langle 25; 5; 5 \rangle$; $tn\ 8 = \langle 30; 5; 5 \rangle$;
 $tn\ 9 = \langle 40; 5; 5 \rangle$.

На рис. 2 представлено интерактивное окно, через которое фаззифицируются 9 термов лингвистической переменной «температура нефтепродукта в резервуаре» по средствам треугольных функций принадлежности на универсуме $[-50, +50]$.

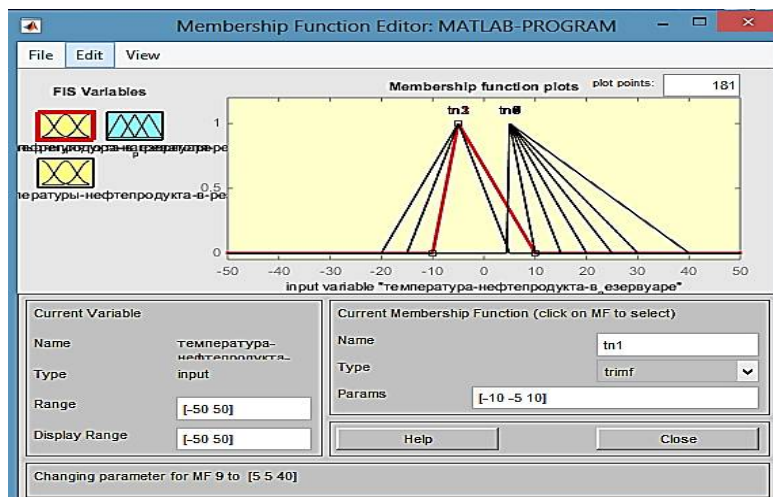


Рис. 2. Треугольные функции принадлежности нечетких множеств, изображающие термы входной лингвистической переменной «температура нефтепродукта в резервуаре»

Для реализации фаззификации входной лингвистической переменной «скорость изменения температуры в резервуаре» значения всех термов на универсуме $[-5, +5]$ задаются в виде следующих треугольных нечетких чисел:

$$\begin{aligned} st\ 1 &= \langle -2; -1; 1 \rangle; \quad st\ 2 = \langle -3; -1; 1 \rangle; \\ st\ 3 &= \langle -4; -1; 1 \rangle; \quad st\ 4 = \langle 0; 1; 1 \rangle; \\ st\ 5 &= \langle 1; 1; 1 \rangle; \quad st\ 6 = \langle 2; 1; 1 \rangle; \end{aligned}$$

$$st\ 7 = \langle 2.5; 1; 1 \rangle; \quad st\ 8 = \langle 3; 1; 1 \rangle;$$

$$st\ 9 = \langle 3.5; 1; 1 \rangle.$$

На рис. 3 представлено интерактивное окно, через которое фаззифицируются 9 термов лингвистической переменной «скорость изменения температуры в резервуаре» по средствам треугольных функций принадлежности на универсуме $[-5, +5]$.

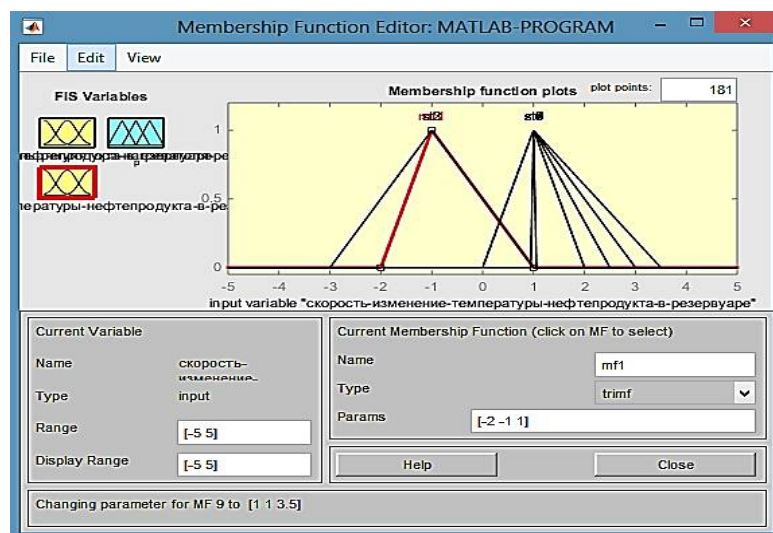


Рис. 3. Треугольные функции принадлежности нечетких множеств, изображающие термы входной лингвистической переменной «скорость изменения температуры в резервуаре»

Для реализации фаззификации выходной лингвистической переменной «вентиль электрического нагревателя» значения всех термов на универсуме $[-90, +90]$ задаются в виде следующих треугольных нечетких чисел:

$$\begin{aligned} vr\ 1 &= \langle 70; 10; 10 \rangle; \quad vr\ 2 = \langle 60; 10; 10 \rangle; \\ vr\ 3 &= \langle 55; 10; 10 \rangle; \quad vr\ 4 = \langle 40; 10; 10 \rangle; \\ vr\ 5 &= \langle 45; 10; 10 \rangle; \quad vr\ 6 = \langle 50; 10; 10 \rangle; \end{aligned}$$

$$vr\ 7 = \langle -70; -10; 10 \rangle; \quad vr\ 8 = \langle 60; -10 \rangle;$$

$$vr\ 9 = \langle -55; -10; 10 \rangle.$$

На рис. 4 представлено интерактивное окно, через которое фаззифицируются 9 термов лингвистической переменной «вентиль электрического нагревателя» по средствам треугольных функций принадлежности на универсуме $[-90, +90]$.

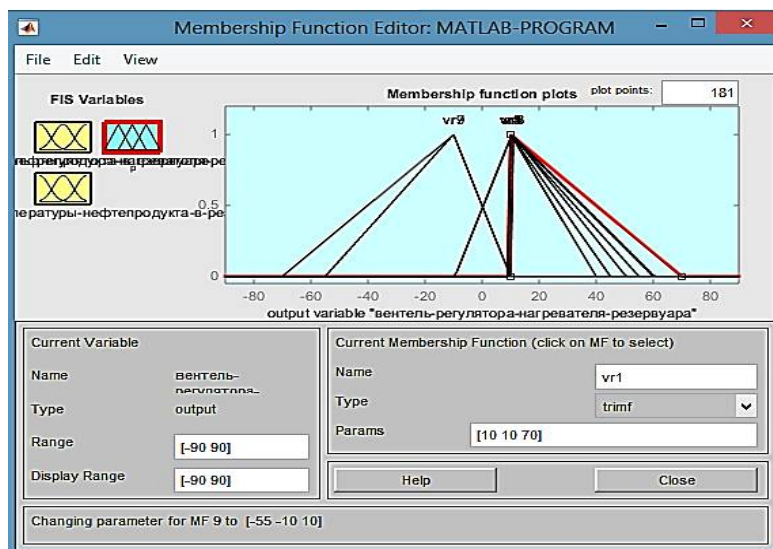


Рис. 4. Треугольные функции принадлежности нечетких множеств, изображающие термиы выходной лингвистической переменной «вентиль электрического нагревателя»

Трехмерное изображение результата дефаззификации выходных переменных «вен-

тиль электрического нагревателя» представлено на рис. 5.

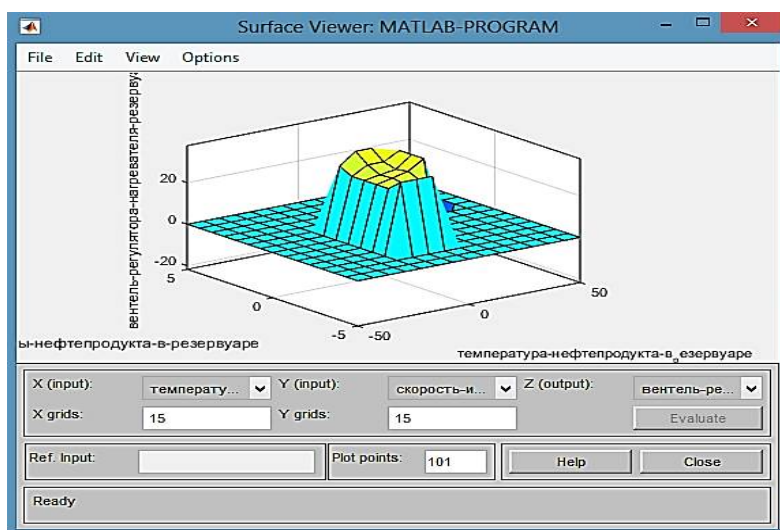


Рис. 5. Трехмерное изображение результата дефаззификации выходных переменных «вентиль электрического нагревателя»

Заключение

Разработана модель определения температуры нефтепродукта в резервуаре в условиях неопределенности в виде НСП. Определены структура и правила срабатывания переходов сети. На основе компьютерного эксперимента получена последовательность срабатывания переходов из начальной маркировки.

Предложен подход принятия решений для регулирования температуры нефтепродукта в условиях неопределенности. Сформирована база правил для регулирования температуры нефтепродукта в резервуаре. Осуществлена

фаззификация всех термов входных переменных. Вычислены степени истинности условий в правилах нечеткой продукции. Выполнены процедуры активизации и аккумуляции и найдены все значения степеней истинности подзаключений для каждого правила. Реализована в трехмерном пространстве процедура дефаззификации в среде Matlab с использованием пакета расширения fuzzy logic Toolbox. Представлено интерактивное окно всех входных и выходных лингвистических переменных по средствам треугольных функции принадлежности.

Литература

1. <http://www.vashdom.ru/gost/51069-97>.
2. http://www.nge.ru/g_8_595-2004.htm
3. <http://docs.cntd.ru/document/1200121059>.
4. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989. 133 с.
5. Котов Е.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. 180 с.
6. Мустафаев В.А. Анализ нечетких продукционных

моделей динамических взаимодействующих процессов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 5. С. 25-30.

7. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов Ф.С. Нечеткие модели и сети. М.: Телеком, 2012. 725 с.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ - Петербург, 2005. 717 с.
9. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2012. 768 с.: ил.

Поступила 06.12.2021; принята к публикации 21.02.2022

Информация об авторах

Мустафаев Валех Азад оглы - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика», Сумгаитский государственный университет (AZ 5008, Республика Азербайджан, г. Сумгаит, 43-й квартал), тел. +994505342506, e-mail: valex-sdu@mail.ru

Аллахвердиева Конуль Асвер кызы - докторант кафедры информации и компьютерной техники, Сумгаитский государственный университет (AZ 5008, Республика Азербайджан, г. Сумгаит, 43-й квартал), e-mail: konul636@mail.ru, тел.: +994 51 636 93 32

DECISION-MAKING MODEL FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF AN OIL PRODUCT UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

V.A. Mustafaev, K.A. Allakhverdieva

Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan Republic

Abstract: we developed a model for determining the temperature of an oil product in a tank under uncertainty in the form of fuzzy Petri nets. We presented the structural elements of fuzzy Petri nets in matrix form and determined the input, output and incidence matrix of the network. We calculated the elements of the Gram matrix and the rules of triggered network transitions. As a result of a computer experiment, we obtained a sequence of triggering transitions from the initial marking. We propose a decision-making approach for regulating the temperature of petroleum products under uncertainty. We formed a database of rules for regulating the temperature of petroleum products in the tank. We carried out fuzzification of all terms of input variables and calculated the degree of truth of the conditions in the rules of fuzzy production. We performed activation and accumulation procedures and found all the values of the degrees of truth of the conclusions for each rule. We implemented in three-dimensional space, the defuzzification procedure in the Matlab environment using the fuzzy logic Toolbox extension package. We present an interactive window of all input and output linguistic variables by means of triangular membership functions

Key words: oil product temperature, model, fuzzy Petri nets, production rules, fuzzification

References

1. <http://www.vashdom.ru/gost/51069-97>.
2. http://www.nge.ru/g_8_595-2004.htm
3. <http://docs.cntd.ru/document/1200121059>.
4. Leskin A.A., Maltsev P.A., Spiridonov A.M. "Petri nets in modeling and control" ("Seti Petri v modelirovanii i upravlenii"), Leningrad: Nauka, 1989, 133 p.
5. Kotov E.E. "Petri nets" ("Seti Petri"), Moscow: Nauka, 1984, 180 p.
6. Mustafaev V.A. "Analysis of fuzzy production models of dynamic interacting processes", *Bulletin of Computer and Information Technologies (Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy)*, 2012, no. 5, pp. 25-30.
7. Borisov V.V., Kруглов V.V., Fedulov F.S. "Fuzzy models and networks" ("Nechetkie modeli i seti"), Moscow: Telekom, 2012, 725 p.
8. Leonenkov A.V. "Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzy TECH" ("Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB u fuzzy TECH"), St. Petersburg: BHV - Petersburg, 2005, 717 p.
9. Dyakonov V.P. "MATLAB. Complete tutorial" ("MATLAB. Polnyy samouchitel"), Moscow: DMK Press, 2012, 768 p.

Submitted 06.12.2021; revised 21.02.2022

Information about the authors

Valeh Azad Mustafaev, Dr. Sc. (Technical), Professor, Sumgayit State University (Sumgait 43-rd quarter, Az 5008, Republic of Azerbaijan), e-mail: valex-sdu@mail.ru, tel.: +994 50 534 25 06

Konul Asvar Allakhverdieva, Cand. Sc., Sumgait State University (Sumgait 43-rd quarter, Az 5008, Republic of Azerbaijan), e-mail: konul636@mail.ru, tel.: +994 51 636 93 32