DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-4-110-120
УДК 681.2:003.13.001.24

Г.Н. Атаев, Н.М. Кязимов, К.А. Аллахвердиева (Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит, Азербайджанская Республика)

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Gafar N. Atayev, Nadir M. Kazimov, Konul A. Allahverdiyeva
(Sumgait State University, Sumgait, Republic of Azerbaijan)

DECISION MAKING MODEL FOR PETROLEUM PRODUCT DENSITY DETERMINATION UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Введение

При хранении нефтепродуктов в резервуаре нефтебазы изменяются следующие параметры:

1. температура - вследствие суточных колебаний температуры окружающей среды или подогрева нефти в холодный период;
2. плотность - вследствие испарения легких фракций;
3. уровень - вследствие испарения, изменения температуры и плотности;
4. давление - при повышении давления в газовом пространстве.

Плотность нефтепродукта определяется с помощью нефтенсимиетра (аэрометра). Для этого из резервуара отборным ведром забирают пробу нефтепродукта, погружают в него нефтенсимиетр и по верхней шкале определяют плотность, по нижней - температуру. Плотность нефтепродукта можно также определить расчетным путем, зная температуру нефтепродукта в резервуаре. Искомая плотность нефтепродукта при данной температуре определяется через плотность нефтепродукта при 20 °C и температурную поправку изменения плотности нефтепродукта при изменении температуры на 1 °C. При этом не учитываются параметры избыточного давления и высота уровня нефтепродукта.

Background

When storing petroleum products in the reservoir tank, the following parameters change:

1. temperature - due to diurnal fluctuations in ambient temperature or oil heating during the cold period;
2. density - due to the light fractions evaporation;
3. level - due to evaporation, changes in temperature and density;
4. pressure - with increasing pressure in the gas space.

The oil product density is determined by oil meter (aerometer). To this purpose, a petroleum product sample is taken from the container by a selective bucket, an oil meter is immersed in it and the density is determined on the upper scale and the temperature is determined on the lower scale. The oil product density can also be determined by calculation using the oil product temperature in the tank. The sought-for oil product density at a given temperature is determined through the oil product density at 20 °C and the temperature correction of the change in the oil product density with a temperature change of 1 °C. This does not take into account the parameters of excessive pressure and the oil product level height.

Для создания современных методов определения плотности нефтепродукта приходится разрабатывать и уточнять математические модели, описывающие различные процессы в резервуарах. При этом происходит процесс накопления информации, эмпирические и экспертные модели должны дополняться и уточняться по мере накопления новых опытных данных, полученных в модельных и экспериментальных условиях.

В этой связи разработка модели определения плотности нефтепродукта на основе современных методов искусственного интеллекта является актуальной научно-технической задачей.

Цели и задачи

Создание базы нечетких продукционных правил для определения плотности нефтепродукта в резервуарах.

Выбор функции принадлежности для фаззификации входных лингвистических переменных и определение степени истинности всех входных условий.

Активизация и аккумуляция выходных лингвистических переменных, определение значения функции принадлежности и степени истинности выходных лингвистических переменных.

Определение в результате дефаззификации плотности нефтепродукта в условиях неопределенности.

Результаты

Создана база правил для определения плотности нефтепродукта.

Реализована процедура фаззификации всех подусловий входных лингвистических переменных.

Определена степень истинности условий в правилах нечеткой продукции.

Осуществлена процедура активизации и найдены все значения степеней истинности подзаклучений для каждого правила. В результате дефаззификации определены количественные значения выходных лингвистических переменных.

To create modern methods for determining the oil products density, mathematical models describing various processes in tanks must be developed and specified. At the same time, information accumulation process takes place; empirical and expert models should be supplemented and refined with the new experimental data accumulation obtained under model and experimental conditions.

In this connection, the development of a model for determining the oil products density based on modern methods of artificial intelligence is an actual scientific and technical task.

Aims and Objectives

Creation of a base of fuzzy production rules for determining the oil products density in tanks.

The choice of the characteristic function for the input linguistic variables fuzzification and the determination of the degree of veracity of all input conditions.

Activation and accumulation of output linguistic variables, determination of the membership function for conclusions and the truth degree of the output linguistic variables.

Determination, as a defuzzification result, of the oil product density in uncertainty conditions.

Results

A rules database was created for determining the oil products density.

The fuzzification procedure was implemented under all the input linguistic variables conditions.

The veracity conditions degree in the fuzzy products rules was determined.

The activation procedure was carried out and all the values of the veracity degrees under the conclusions for each rule were found. As a defuzzification result, the quantitative output linguistic variables value was determined.

Ключевые слова: база правил, продукционная модель, функция принадлежности, нечеткий вывод, плотность нефтепродукта

Key words: rules database, production model, characteristic function, fuzzy output, oil product density

---

Создание базы правил для определения плотности нефтепродукта

База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических знаний или знаний экспертов в различных проблемных областях. В системах нечеткого вывода используются правила нечетких продукций, в которых условия и заключения сформулированы в терминах нечетких лингвистических высказываний следующего вида [1-3]:

ПРАВИЛО «#»:

ЕСЛИ A_1 есть α_1

И A_2 есть α_2 И...

И A_{n-1} есть α_{n-1} ,

ТО A_n есть α_n ;

$A_1, A_2, \dots, A_n$ - названия лингвистической переменной;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{n-1}, \dots, \alpha_n$ - их значения, которым соответствуют отдельные лингвистические термы из базового терм-множества отдельных лингвистических переменных.

Входная и выходная лингвистические переменные считаются заданными, если для них определены базовые терм-множества с соответствующими функциями принадлежности каждого терма [2]. При этом качестве функций принадлежности термов используются трапециевидные функции принадлежности.

Для формирования базы правил систем нечетких продукций определяются входные и выходные лингвистические переменные. В качестве входной лингвистической переменной следует формально использовать следующие [4-6]:

- температура нефтепродукта;
- избыточное давление нефтепродукта;
- высота уровня нефтепродукта.

В качестве выходной лингвистической переменной следует формально использовать *плотность нефтепродукта*.

База нечетких продукций для определения плотности нефтепродукта состоит из следующих правил.

Правило 1.

ЕСЛИ температура нефтепродукта соответствует допускам

И высота уровня нефтепродукта соответствует нулю, близка к нулю,

И избыточное давление нефтепродукта соответствует нормальному,

близкое к нормальному,

ТО плотность нефтепродукта считают нормальной.

Правило 2.

ЕСЛИ температура нефтепродукта чуть ниже допустимой

И высота уровня нефтепродукта отрицательная, близка к нулю,

И избыточное давление нефтепродукта отрицательное,

близкое к нормальному,

ТО плотность нефтепродукта считают нормальной.

Правило 3.

ЕСЛИ температура нефтепродукта чуть выше допустимой

И высота уровня нефтепродукта положительная, близка к нулю,

И избыточное давление нефтепродукта положительное,

близкое к нормальному,

ТО плотность нефтепродукта считают нормальной.

Правило 4.

ЕСЛИ температура нефтепродукта ниже допустимой

И высота уровня нефтепродукта отрицательная малая,

И избыточное давление нефтепродукта отрицательное малое,

ТО плотность нефтепродукта принимает систему контроля.

Правило 5.

ЕСЛИ температура нефтепродукта выше допустимой

И высота уровня нефтепродукта положительная малая,

И избыточное давление нефтепродукта положительное малое,

ТО плотность нефтепродукта принимает систему контроля.

Правило 6.

ЕСЛИ температура нефтепродукта существенно ниже допустимой

И высота уровня нефтепродукта отрицательная средняя,

И избыточное давление нефтепродукта отрицательное среднее,

ТО плотность нефтепродукта не входит в расширенный интервал допуска.

Правило 7.

ЕСЛИ температура нефтепродукта существенно выше допустимой

И высота уровня нефтепродукта положительная средняя,

И избыточное давление нефтепродукта положительное среднее,

ТО плотность нефтепродукта не входит в расширенный интервал допуска.

Правило 8.

ЕСЛИ температура нефтепродукта максимально ниже допустимой

И высота уровня нефтепродукта отрицательная большая,

И избыточное давление нефтепродукта отрицательное большое,

ТО плотность нефтепродукта не принимают в систему контроля.

Правило 9.

ЕСЛИ температура нефтепродукта максимально выше допустимой

И высота уровня нефтепродукта положительная большая,

И избыточное давление нефтепродукта положительное большое,

ТО плотность нефтепродукта не принимают в систему контроля.

Фаззификация входных переменных базы правил нечетких продукций

Целью фаззификации является установление соответствия между конкретным значением переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной [2]. После завершения этой процедуры для всех входных пе-

ременных должны быть определены конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в подусловиях базы правил системы нечеткого вывода.

Процедура фаззификации выполняется следующим образом: до начала этого процесса должны быть известны конкретные значения всех входных переменных, т.е. множество значений $V = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, где каждое $a_i \in X_i$ (X_i - универсум лингвистической переменной A_i).

Далее рассматривается каждое из подусловий вида $\langle\langle A_i \text{ есть } \alpha \rangle\rangle$ правил системы нечеткого вывода, где α - некоторый терм с известной функцией принадлежности $\mu(x)$. Значение α_i используется в качестве аргумента функции $\mu(x)$, тем самым количественное значение $b'_i = \mu(\alpha_i)$. Эти значения являются результатом фаззификации подусловия $\langle\langle A_i \text{ есть } \alpha \rangle\rangle$.

Процедура фаззификации заканчивается тогда, когда будут найдены все значения $b'_i = \mu(\alpha_i)$ для каждого из подусловий всех правил, входящих в рассматриваемую базу правил системы нечеткого вывода.

Для фаззификации входных переменных «температура нефтепродукта», «высота уровня нефтепродукта», «избыточное давление нефтепродукта» использована трапециевидная функция принадлежности, которая задается следующими выражениями [7]:

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } a \leq x \leq b; \\ 1, & \text{если } b \leq x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{если } c \leq x \leq d; \\ 0, & \text{если } d \leq x; \end{cases}$$

где a, b, c, d , - некоторые произвольные действительные числа, удовлетворяющие условию $a \leq b \leq c \leq d$.

В качестве терм-множества всех входных лингвистических переменных будем использовать следующие множества:

$T_1 =$ (в пределах допуска; чуть ниже допуска; ниже допуска; существенно ниже допуска; максимально ниже допуска; чуть

выше допуска; выше допуска; существенно выше допуска; максимально выше допуска);

T_2 = (отрицательное большое; отрицательное среднее; отрицательное малое, отрицательное, близкое к нулю; нуль; близкое к нулю; положительное, близкое к нулю; положительное малое; положительное среднее; положительное большое);

T_3 = (отрицательное большое; отрицательное среднее; отрицательное малое; отрицательное; близкое к нормальному; нормальное, близкое к нормальному; положительное, близкое к нормальному; положительное малое; положительное среднее; положительное большое);

с трапециевидными функциями принадлежности, представленными в таблицах 1-3 и изображенными на рисунках 1-3.

Нечеткие множества входных лингвистических переменных определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{A}(\text{температура нефтепродукта}) = & \\ = & 0.110/x_1 + 0.200/x_2 + \\ & + \frac{0.400}{x_3} + 0.800/x_4 + 1.000/x_5 + 0.800/x_6 + \\ & + 0.400/x_7 + 0.200/x_8 + 0.090/x_9; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{B}(\text{избыточное давления нефтепродукта}) = & \\ = & 0.125/x_1 + 0.355/x_2 + \\ & + \frac{0.595}{x_3} + 0.825/x_4 + 1.000/x_5 + 0.875/x_6 + \\ & + 0.475/x_7 + 0.265/x_8 + 0.075/x_9; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{C}(\text{высота уровня нефтепродукта}) = & \\ = & 0.123/x_1 + 0.327/x_2 + \\ & + \frac{0.553}{x_3} + 0.897/x_4 + 1.000/x_5 + 0.822/x_6 + \\ & + 0.550/x_7 + 0.202/x_8 + 0.097/x_9. \end{aligned}$$

Таблица 1. Результат фаззификации входной лингвистической переменной «температура нефтепродукта»

Название терма	a	b	c	d	x	$\mu(x_i)$
Максимально ниже допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	10.550	0.110
Существенно ниже допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	11.000	0.200
Ниже допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	12.000	0.400
Чуть ниже допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	14.000	0.800
В пределах допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	17.000	1.000
Чуть выше допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	21.000	0.800
Выше допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	23.000	0.400
Существенно выше допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	24.000	0.200
Максимально выше допуска	10.000	15.000	20.000	25.000	24.500	0.090

Рисунок 1. Фаззификация входной лингвистической переменной «температура нефтепродукта»

Таблица 2. Результат фаззификации входной лингвистической переменной «высота уровня нефтепродукта»

Название терма	a	b	c	d	x	$\mu(x_i)$
Отрицательное большое	-20	-10	10	20	-18.75	0.125
Отрицательное среднее	-20	-10	10	20	-15.40	0.460
Отрицательное малое	-20	-10	10	20	-14.45	0.555
Отрицательное, близкое к нулю	-20	-10	10	20	-12.25	0.775
Нуль, близкое к нулю	-20	-10	10	20	0.00	1.000
Положительное, близкое к нулю	-20	-10	10	20	12.28	0.772
Положительное малое	-20	-10	10	20	14.47	0.553
Положительное среднее	-20	-10	10	20	16.65	0.335
Положительное большое	-20	-10	10	20	18.83	0.117

Рисунок 2. Фаззификация входной лингвистической переменной «высота уровня нефтепродукта»

Таблица 3. Результат фаззификации входной лингвистической переменной «избыточное давления нефтепродукта»

Название терма	a	b	c	d	x	$\mu(x_i)$
Отрицательное большое	1.000	2.000	7.000	8.000	1.125	0.125
Отрицательное среднее	1.000	2.000	7.000	8.000	1.355	0.355
Отрицательное малое	1.000	2.000	7.000	8.000	1.595	0.595
Отрицательное, близкое к нормальному	1.000	2.000	7.000	8.000	1.825	0.825
Нормальной, близкое к нормальному	1.000	2.000	7.000	8.000	3.695	1.000
Положительное, близкое к нормальному	1.000	2.000	7.000	8.000	7.125	0.875
Положительное малое	1.000	2.000	7.000	8.000	7.525	0.475
Положительное среднее	1.000	2.000	7.000	8.000	7.735	0.265
Положительное большое	1.000	2.000	7.000	8.000	7.925	0.075

Рисунок 3. Фаззификация входной лингвистической переменной «избыточное давления нефтепродукта»

Агрегирование входных лингвистических переменных

Процесс агрегирования представляет собой процедуру определения степени истинности условий по каждому из правил нечеткого вывода.

Процедура агрегирования выполняется следующим образом: до начала этого процесса должны быть известны значения истинности всех подусловий системы нечеткого вывода. Если условие состоит из нескольких подусловий вида ($\langle\langle A_i \text{ есть } a_i \rangle\rangle$), лингвистические переменные в подусловиях попарно не равны друг другу, то определяется степень истинности сложного высказывания на основе известных значений истинности подусловий (таблица 4, рисунок 4). При этом для определения результата нечеткой конъюнкции или связки «И» можно использовать следующие формулы [7]:

$$T((A \wedge B) = \min\{T(A), T(B)\},$$

где $T: A \rightarrow [0,1]$ и $T: B \rightarrow [0,1]$ – значения степени истинности нечеткого высказывания А и В.

Активизация представляет процедуру нахождения степени истинности каждого из подзаключений правил нечетких продукций. При активизации должны быть известными значения истинности всех условий и значения весовых коэффициентов для каждого правила. Потом определяются функции при-

надлежности каждого подзаключения всех выходных лингвистических переменных.

Для этой цели использован метод min-активизации нечеткой композиции [2]:

$$\mu'(y) = \min[c_i, \mu(y)],$$

где $\mu(y)$ – функция принадлежности терма выходной переменной, заданной на универсуме Y .

В качестве терм-множества выходных лингвистических переменных будем использовать множество

T_4 = (нормальное; принимает систему контроля; не выходит в расширенный интервал допуска; не принимает систему контроля),

с функциями принадлежности, изображенными на рисунке 4.

Нечеткое множество выходных лингвистических переменных определяют следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{D}(\text{плотность нефтепродукта}) = & 0.107/x_1 + 0.250/x_2 + \\ & + \frac{0.393}{x_3} + 0.607/x_4 + 1.000/x_5 + \\ & + 0.750/x_6 + 0.550/x_7 + 0.350/x_8 + 0.150/x_9. \end{aligned}$$

Результат активизации выходной лингвистической переменной «плотность нефтепродукта» представлен в таблице 5 и на рисунке 5. Результат активизации заключений в правилах нечеткой продукции представлен в таблице 6.

Таблица 4. Результат агрегирования степени истинности условий в правилах нечеткой продукции

Степень истинности под условия «температура нефтепродукта»	Степень истинности под условия «избыточное давления нефтепродукта»	Степень истинности под условия «высота уровня нефтепродукта»	Степень истинности условий
0.110	0.125	0.125	0.110
0.200	0.355	0.460	0.200
0.400	0.595	0.555	0.400
0.800	0.825	0.775	0.800
1.000	1.000	1.000	1.000
0.800	0.875	0.772	0.772
0.400	0.475	0.553	0.400
0.200	0.265	0.335	0.200
0.090	0.075	0.117	0.075

Рисунок 4. Агрегирование входных лингвистических переменных «температура нефтепродукта», «избыточное давления нефтепродукта», «высота уровня нефтепродукта»

Таблица 5. Результат активизации выходной лингвистической переменной «плотность нефтепродукта»

Название терма	a	b	c	d	x	$\mu(x_i)$
Не принимает систему контроля	0.510	0.650	0.900	1.000	0.525	0.107
Не выходит в расширенный интервал допуска	0.510	0.650	0.900	1.000	0.545	0.250
Принимают систему контроля	0.510	0.650	0.900	1.000	0.565	0.393
Нормальной	0.510	0.650	0.900	1.000	0.595	0.607
Нормальной	0.510	0.650	0.900	1.000	0.755	1.000
Нормальной	0.510	0.650	0.900	1.000	0.925	0.750
Принимает систему контроля	0.510	0.650	0.900	1.000	0.945	0.550
Не выходит в расширенный интервал допуска	0.510	0.650	0.900	1.000	0.965	0.350
Не принимает систему контроля	0.510	0.650	0.900	1.000	0.985	0.150

Рисунок 5. Активизация выходной лингвистической переменной «плотность нефтепродукта»

Таблица 6. Результат активизации заключений в правилах нечеткой продукции

Степень истинности условий	Значение функции принадлежности под заключений	Значение функции принадлежности выходных переменных
0.110	0.107	0.107
0.200	0.250	0.200
0.400	0.393	0.393
0.800	0.607	0.607
1.000	1.000	1.000
0.772	0.750	0.750
0.400	0.550	0.400
0.200	0.350	0.200
0.075	0.150	0.075

Результат аккумуляции для выходной лингвистической переменной определяется как объединение нечетких множеств. Результат дефаззификации для выходной лингвистической переменной определен в виде количественного значения, используя метод центра тяжести для одноточечных множеств.

Выводы

Разработана модель принятия решения для определения плотности нефтепродукта в условиях неопределенности. Создана база правил для определения плотности нефтепродукта.

Реализована процедура фаззификации всех подусловий входных лингвистических переменных.

Определены степени истинности условий в правилах нечеткой продукции. Осуществлена процедура активизации и найдены все значения степеней истинности подзаключений для каждого правила.

Вычислено значение функции принадлежности выходных переменных. В результате дефаззификации определены количественные значения выходных лингвистических переменных.

Список литературы

1. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с англ. М., 1986. 293 с.
2. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов Ф.С. Нечеткие модели и сети. М.: Телеком, 2012. 725 с.
3. Мустафаев В.А. Анализ нечетких продукционных моделей динамических взаимодействующих процессов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 5 (95). С. 25-30.
4. <http://www.vashdom.ru/gost/51069-97>.
5. http://www.nge.ru/g_8_595-2004.htm.
6. <http://docs.cntd.ru/document/1200121059>.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 717 с.

References

1. Osuga S. *Obrabotka znaniy: Per. s angl.* [Knowledge Processing: Transl. from Engl.]. Moscow, 1986. 293 p. [in Russian].
2. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov F.S. *Nechetkie modeli i seti* [Fuzzy Models and Networks]. Moscow, Telekom Publ., 2012. 725 p. [in Russian].
3. Mustafaev V.A. Analiz nechetkikh produktsionnykh modelei dinamicheskikh vzaimodeistvuyushchikh protsessov [Analysis of Fuzzy Production Models of Dynamic Interacting Processes]. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii - Herald of Computer and Information Technologies*, 2012, No. 5 (95), pp. 25-30. [in Russian].
4. <http://www.vashdom.ru/gost/51069-97>. [in Russian].
5. http://www.nge.ru/g_8_595-2004.htm. [in Russian].
6. <http://docs.cntd.ru/document/1200121059>. [in Russian].
7. Leonenkov A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB u fuzzy TECH* [Fuzzy Modeling in the MATLAB Environment and Fuzzy TECH]. Saint-Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005. 717 p. [in Russian].

Авторы

• Атаев Гафар Нариман оглы, канд. физ.-мат. наук
Сумгаитский государственный университет
Проректор по заочному, дистанционному и дополнительному образованию
Азербайджанская Республика, AZ 5008,
г. Сумгаит, 43-й квартал
e-mail: gafar_atayev@mail.ru

The Authors

• Atayev Gafar N., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Sumgait State University
Vice-Rector for Correspondence, Distance and Extra Education
43rd block, Sumgait, AZ 5008, Republic of Azerbaijan
e-mail: gafar_atayev@mail.ru

• Казимов Надир Мамедали оглы, д-р техн. наук,
профессор
Сумгаитский государственный университет
Профессор кафедры информации
и компьютерной техники
Азербайджанская Республика, AZ 5008,
г. Сумгаит, 43-й квартал
e-mail: informasiya-kt@mail.ru

• Kazimov Nadir M., Doctor of Engineering
Sciences, Professor
Sumgait State University
Professor of Information and Computer Technology
Department
43rd block, Sumgait, AZ 5008, Republic
of Azerbaijan
e-mail: informasiya-kt@mail.ru

• Аллахвердиева Кёнуль Асфер кызы
Сумгаитский государственный университет
Докторант
Азербайджанская Республика, AZ 5008,
г. Сумгаит, 43-й квартал
e-mail: konul636@mail.ru

• Allahverdiyeva Konul A.
Sumgait State University
Doctorant
43rd block, Sumgait, AZ 5008, Republic
of Azerbaijan
e-mail: konul636@mail.ru