

## НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

А. Ф. Егоров, П. Г. Михайлова, До Мань Хунг

*Кафедра компьютерно-интегрированных систем в химической технологии,  
ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет  
имени Д. И. Менделеева», г. Москва; mpavla@yandex.ru*

**Ключевые слова и фразы:** нейронные сети; нечеткая логика; первичная переработка нефти; показатели качества; система управления.

**Аннотация:** Приведены результаты разработки и моделирования системы управления показателями качества фракций, получаемых в атмосферном блоке установки первичной переработки нефти. При ее разработке использовались методы искусственного интеллекта: нейронные сети и нечеткая логика.

---

Первичная переработка нефти (ППН) – один из основных процессов в нефтепереработке, так как от характеристик полупродуктов, вырабатываемых на установках ППН, во многом зависит качество и объем товарной продукции, получаемой в процессе всего производства. Это определяет необходимость обеспечения основных показателей качества процессов ППН. Решение данной задачи требует наличия достоверных и оперативных данных о показателях качества сырья, полупродуктов, готовой продукции, а также возможности управления ими.

Для предупреждения влияния случайных и субъективных факторов на уровень качества продукции необходима система управления, обеспечивающая совокупность принимаемых решений и управляющих воздействий на процесс создания продукта с целью поддержания соответствующего уровня качества. В настоящее время при оценке качества сырья, полупродуктов и продуктов нефтеперерабатывающих процессов широко используются лабораторные информационные менеджмент системы (ЛИМС). Однако в указанных системах не реализуются функции по управлению качеством выпускаемой продукции.

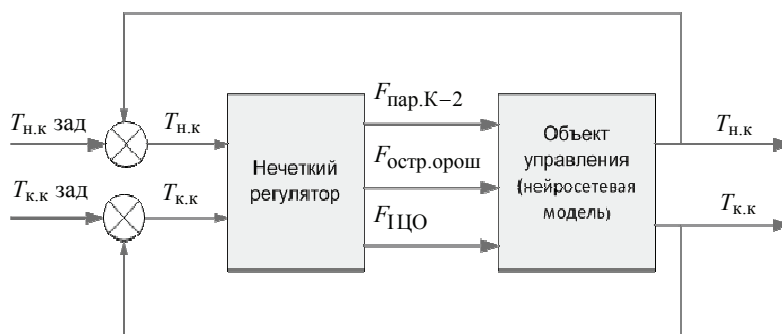
Для управления сложными процессами первичной переработки нефти, функционирующими в условиях неопределенности исходной информации, перспективно использование методов искусственного интеллекта, основанных на нейронных сетях и нечетком управлении (Fuzzy Control), под которым понимается стратегия управления, основанная на эмпирически приобретенных знаниях относительно функционирования объекта (процесса), представленных в лингвистической форме в виде некоторой совокупности правил [1].

Объектом исследования данной работы является отделение первичной переработки нефти на установке ЭЛОУ-АВТ-6, для поддержания заданного качества продукции которого требуется оперативное определение значений ряда показателей качества. Одним из важнейших показателей является фракционный состав выкипающих в определенных температурных диапазонах фракций. Он характеризуется температурами начала и конца кипения. Практически все остальные показатели качества в той или иной степени зависят от фракционного состава.

На основе анализа атмосферного блока установки ЭЛОУ-АВТ-6 как объекта управления качеством для управления температурами начала и конца кипения фракции 120 – 180 °С, получаемой в атмосферном блоке установки, предложены две схемы системы управления, приведенные на рис. 1.

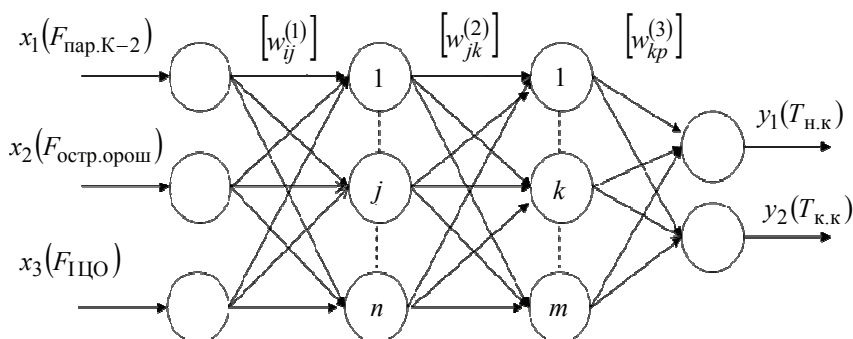
В качестве модели объекта в системе управления используется модель на основе нейронных сетей. Для решения задач прогнозирования и управления показателями качества фракции 120 – 180 °С, была выбрана нейросетевая модель, созданная на основе искусственной нейронной сети прямого распространения, имеющая три входа и два выхода (рис. 2). Для обеспечения наибольшей точности прогнозирования показателей качества, реализована процедура структурно-параметрической идентификации нейросетевой модели, которая состоит в выборе типа нейронной сети, количества слоев и числа нейронов в каждом слое, алгоритма обучения и функций активации.

Проведено исследование влияния числа скрытых слоев и нейронов в них на точность прогнозирования показателей качества (температур начала и конца кипения фракции 120 – 180 °С). Для сети с одним слоем (рис. 3, а) число нейронов в нем варьировалось от трех до девяти, с двумя – от трех до пяти в каждом слое (см. рис. 3, б). Оценка качества прогнозирования проводилась по значениям среднеквадратичных ошибок обобщения.

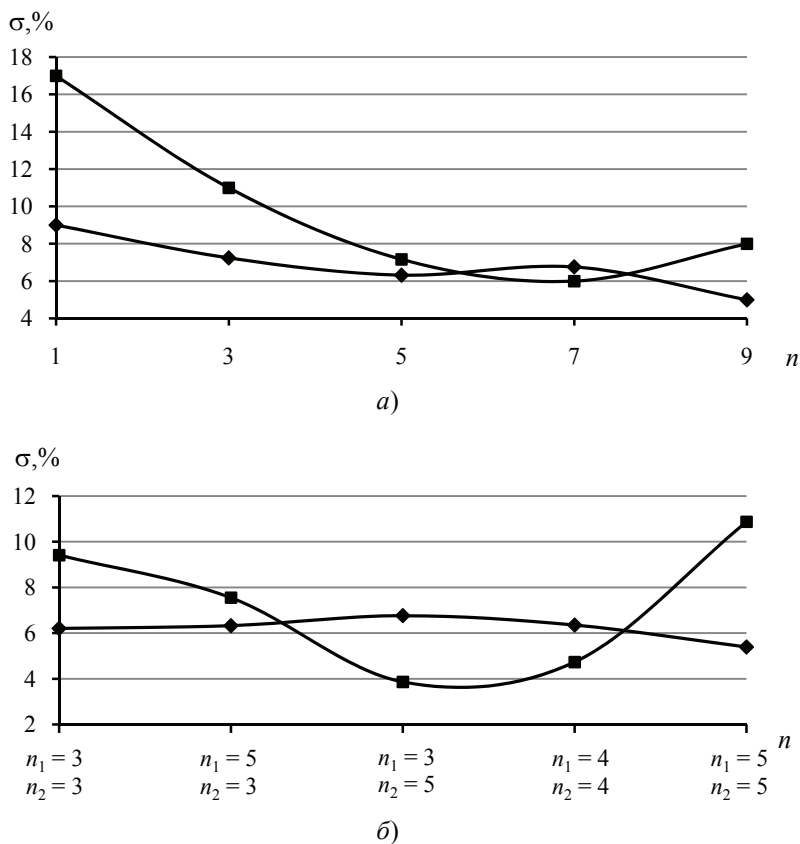


**Рис. 1. Структура нечеткой системы управления показателями качества:**

$T_{н.к}$  – температура начала кипения, °С;  $T_{к.к}$  – температура конца кипения, °С;  $F_{пар.К-2}$  – расход перегретого пара, подаваемого в атмосферную колонну К-2, т/ч;  $F_{остр.орош}$  – расход острого орошения колонны К-2, м<sup>3</sup>/ч;  $F_{1ЦО}$  – расход первого циркуляционного орошения, подаваемого под отбор фракции 120 – 180 °С в колонне К-2, м<sup>3</sup>/ч



**Рис. 2. Структура нейронной сети для прогнозирования показателей качества фракции 120 – 180 °С**



**Рис. 3. Зависимость среднеквадратичной ошибки  $\sigma$  от количества нейронов  $n$  в скрытом слое:**

а) нейронная сеть с одним скрытым слоем; б) нейронная сеть с двумя скрытыми слоями

Нейронная сеть с двумя скрытыми слоями: 3-4-4-2 (по 4 нейрона в каждом слое) обеспечивает оптимальное значение среднеквадратичной ошибки обобщения на тестовых примерах, равное 5,8 %, в отличие от сети с одним скрытым слоем 3-7-2 (7 нейронов в скрытом слое) – 6,7 %. Для регулирования температур начала  $T_{н.к}$ , °С и конца кипения  $T_{к.к}$ , °С фракции 120 – 180 °С, получаемой в атмосферном блоке установки, разработан нечеткий регулятор, формирующий соответствующие управляющие воздействия.

Модель объекта регулирования с использованием искусственных нейронных сетей реализована с помощью программного модуля Neural Network Toolbox пакета прикладных программ MATLAB [2]. Для синтеза нечеткого регулятора определены лингвистические переменные «температура начала кипения фракции 120 – 180 °С»  $T_{н.к}$  и «температура конца кипения фракции 120 – 180 °С»  $T_{к.к}$ , принимающие значения нечетких переменных (термов) {ST – «низкая температура», MT – «нормальная температура», BT – «высокая температура»}. Данные термы описываются соответственно нелинейными Z-, П- и S-функциями принадлежности [3].

Лингвистические переменные «изменение расхода острого орошения в К2», «изменение расхода 1-го ЦО в К2», «изменение расхода перегретого пара в К2», описывающие управляющие воздействия, принимают следующие значения:

- NB (negative big) – «отрицательное большое изменение»;
- NM (negative medium) – «отрицательное среднее изменение»;

- NS (negative small) – «отрицательное малое изменение»;
- Z (zero) – «нулевое изменение»;
- PS (positive small) – «положительное малое изменение»;
- PM (positive medium) – «положительное среднее изменение»;
- PB (positive big) – «положительное большое изменение».

Данные термы описываются линейными треугольными функциями принадлежности. Для управления температурами начала и конца кипения фракции 120 – 180 °С сформирована база, включающая девять нечетких производственных правил. Пример формирования управляющего воздействия – «изменение расхода 1-го ЦО в К2» приведен в табл. 1.

Пример сформированного производственного правила имеет вид: если «температура начала кипения фракции 120 – 180 °С» = «низкая температура» и «температура конца кипения фракции 120 – 180 °С» = «высокая температура», то «изменение расхода острого орошения в К2» = «отрицательное большое изменение» и «изменение расхода 1-го ЦО в К2» = «отрицательное среднее изменение» и «изменение расхода перегретого пара в К2» = «отрицательное большое изменение».

Формализовано данное правило записывается следующим образом

$$M_3 \equiv [(T_{н.к} = ST) \wedge (T_{к.к} = BT)] \rightarrow \\ \rightarrow ((F_{\text{остр.орош}} = NB) \wedge (F_{\text{1ЦО}} = NM) \wedge (F_{\text{пар.К-2}} = NB)].$$

Разработанная база правил использовалась для реализации нечеткого регулятора в инструментальной среде разработки экспертных систем FuzzyCLIPS [4] и программном модуле Fuzzy Logic Toolbox из пакета MATLAB.

Ниже приведен фрагмент программного кода на встроенном объектно-ориентированном языке COOL (CLIPS Object-Oriented Language) инструментальной среде разработки экспертных систем FuzzyCLIPS, реализующий приведенное выше производственное правило:

```
(defrule Y1_low-Y2_high
(outY1 low)
(outY2 high)
=>
(assert (change_X1 NB))
(assert (change_X2 NM))
(assert (change_X3 NB))
```

С использованием нечеткой системы управления, реализованной в инструментальной среде разработки экспертных систем FuzzyCLIPS, осуществлялся расчет значений управляющих воздействий при различных комбинациях температур начала и конца кипения. Нечеткая система управления качеством фракции 120 – 180 °С (см. рис. 1) реализована также с использованием программного модуля Simulink пакета прикладных программ MATLAB (рис. 4).

Таблица 1

**Нечеткий алгоритм формирования управляющего воздействия –  
«изменение расхода 1-го ЦО в К2».  
Значения лингвистической переменной (термы)**

$T_{н.к}$	$T_{к.к}$		
	ST	MT	BT
ST	NS	NM	NM
MT	NB	Z	PS
BT	PM	PS	PM

Значения динамических ошибок для нечетких систем управления, реализованных в Simulink, находятся в пределах  $5 - 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для FuzzyCLIPS –  $1 - 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Результаты моделирования в виде графиков переходных процессов регулирования температур начала и конца кипения представлены на рис. 5.

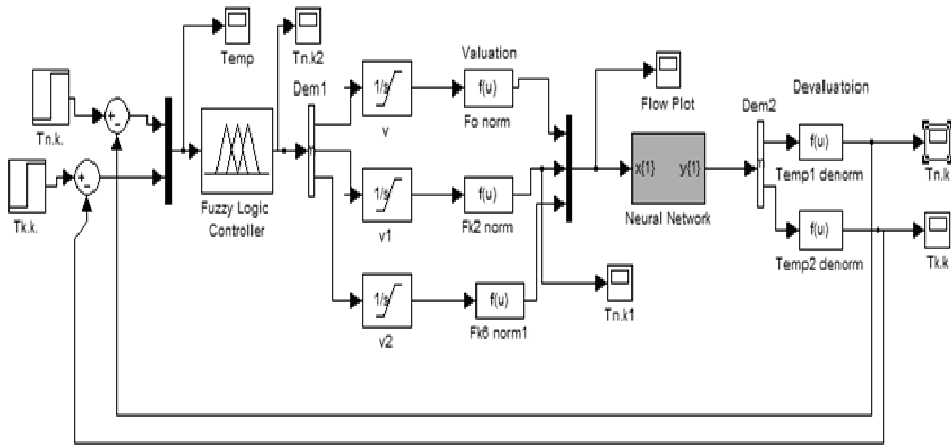
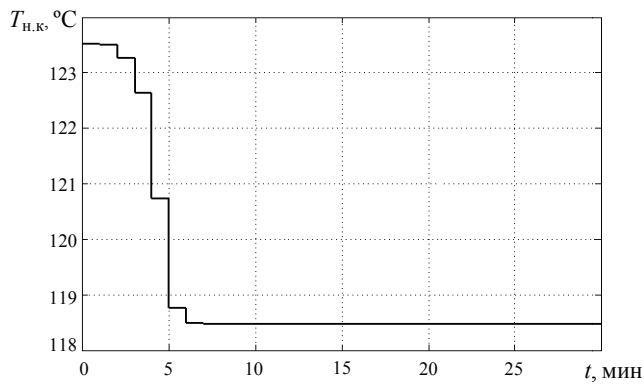
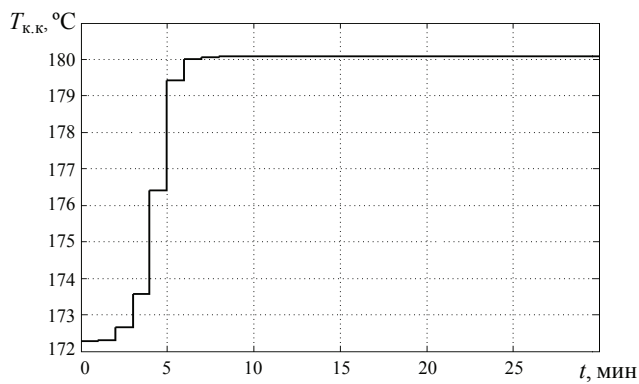


Рис. 4. Модель системы управления с нечетким регулятором в Simulink



а)



б)

Рис. 5. Графики переходного процесса регулирования с использованием нечеткого регулятора:  
а – температуры начала кипения; б – температуры конца кипения

Таблица 2

**Сводная таблица результатов моделирования систем регулирования**

Показатели	Динамическая ошибка, °С	Статическая ошибка, °С	Время регулирования, мин
Объект – нейронная сеть, ПИ-регулятор			
$T_{н.к}$	5	0,2	200
$T_{к.к}$	20	2	130
Объект – нейронная сеть, регулятор на основе нечеткой логики			
$T_{н.к}$	5	0,5	7
$T_{к.к}$	8	0,2	

В результате проведенного моделирования и сравнительного анализа систем регулирования температур начала и конца кипения фракции 120-180 °С с использованием классических ПИ-регуляторов и нечеткого регулятора (табл. 2) сделан вывод, что использование регуляторов на основе принципов нечеткой логики дает лучшие результаты в условиях неопределенности, чем при использовании классических методов регулирования.

Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение для моделирования и расчета показателей качества продукции первичной переработки нефти, созданное с использованием свободно распространяемой оболочки FuzzyCLIPS, и нечеткие системы управления, реализованные в среде MATLAB, используются в учебном процессе кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева и могут быть применены в интеллектуальных системах управления качеством продукции нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств.

*Список литературы*

1. Васильев, В. И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика : учеб. пособие / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов. – М. : Радиотехника, 2009. – 392 с.
2. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH / А. В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
3. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии : Применение метода нечетких множеств / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов, Е. П. Марков ; Академия наук СССР, Секция хим.-технол. и биол. наук АН СССР ; ред. Н. М. Жаворонков. – М. : Наука, 1986. – 359 с.
4. CLIPS: A Tool for Building Expert Systems. – URL : <http://clipsrules.sourceforge.net/>.

### **Fuzzy Control System of Product Quality Indicators of Primary Oil Refining**

A. F. Egorov, V. P. Mikhailov, Do Manh Hung

*Department "Computer-Integrated Systems in Chemical Technology",  
Russian Chemical-Technological University named after D. I. Mendeleev,  
Moscow; egorov@muctr.ru*

**Key words and phrases:** control system; fuzzy logic; neural networks; primary oil refining; quality indicators.

**Abstract:** The results of the development and simulation of control system of quality indicators of the fractions produced in the atmospheric setting unit of primary oil refining are presented. Artificial intelligence techniques, including neural networks and fuzzy logic were used in its development.

---

### **Undeutliches Steuersystem von den Kennziffern der Qualität der Produktion der primären Überarbeitung des Erdöles**

**Zusammenfassung:** Es sind die Ergebnisse der Entwicklung und der Modellierung des Steuersystemes von den Kennziffern der Qualität der Fraktionen, die im atmosphärischen Block der Anlage der primären Überarbeitung des Erdöles erhalten wurden, angeführt. Bei seiner Entwicklung wurden die Methoden des künstlichen Intellekts verwendet: die Neuronnetze und die undeutliche Logik.

---

### **Système flou de la commande des indices de la qualité des produits du raffinage primaire du pétrole**

**Résumé:** Sont cités les résultats de l'élaboration et du modélage du système de la commande de la qualité des fractions obtenues dans une unité atmosphérique de l'installation du raffinage primaire du pétrole. Lors de son élaboration ont été employées les méthodes de l'intelligence artificielle: réseaux de neurons et logique floue.

---

**Авторы:** *Егоров Александр Федорович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных систем в химической технологии; *Михайлова Павла Геннадьевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии; *До Мань Хунг* – аспирант кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии, ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», г. Москва.

**Рецензент:** *Кольцова Элеонора Моисеевна* – доктор технических наук, профессор заведующая кафедрой информационных компьютерных технологий, ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», г. Москва.

---