

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА И ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕЧЁТКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ

DEFINITION ALGORITHM TYPE AND PARAMETERS OF MEMBERSHIP FUNCTION OF FUZZY MEASURING

**A. Milovidova
E. Cheremisina
V. Dobrynin**

Summary. The article is dedicated development definition algorithm type and parameters of membership function of fuzzy measuring. The use of fuzzy logic in the algorithm makes it possible based on the expert table to determine the type and parameters of the membership function of fuzzy variable characterizing the quality of raw materials, status of processing equipment. The algorithm allows the use of expert knowledge for effective management processing process considering changes in raw material quality and experience of technologists.

Keywords: technological process, fuzzy logic, membership function, expert table.

Миловидова Анна Александровна
Старший преподаватель, ГБОУ ВО МО
«Университет «Дубна», г. Дубна
milanna@uni-dubna.ru

Черемисина Евгения Наумовна
Д.т.н., профессор, ГБОУ ВО МО «Университет
«Дубна», г. Дубна
arbatsolo@yandex.ru

Добрынин Владимир Николаевич
К.т.н., профессор, ГБОУ ВО МО «Университет
«Дубна», г. Дубна
chere@uni-dubna.ru

Аннотация. В статье представлен разработанный авторами алгоритм определения типа и параметров функции принадлежности нечеткого измерителя. Применение нечеткой логики в алгоритме позволяет на основе экспертной таблицы определять тип и параметры функции принадлежности нечеткой переменной, характеризующей качество сырья, состояние оборудования процесса переработки. Разработанный алгоритм позволяет использовать экспертные знания для эффективного управления процессом переработки с учетом изменений качества сырья и опыта технологов.

Ключевые слова: процесс переработки, нечеткая логика, функция принадлежности, экспертная таблица.

Введение

На современной промышленности важную роль в управлении ПП играет эксперт — технолог. Используя свой опыт, он определяет возможное изменение качества поступающего сырья или наличие форс-мажорной ситуации в производственной цепи в ходе переработки, в результате чего принимается решение об изменении режимов работы оборудования. Знания, включающие основные эмпирические принципы принятия управленческих решений технологом, является основой для системы управления процессом переработки (далее — ПП).

Для определения свойств сырья, выработке управляющих воздействий на оборудование, оценки эффективности ПП необходимо разработать базу нечетких знаний, включающую: систему продукций, представляющую нечеткие переменные свойств сырья, состояния аппаратов ПП, управляющие переменные аппаратов ПП;

нечёткие функции, описывающие формирование управляющих воздействий и описывающие показатели эффективности ПП.

Формирование системы нечётких переменных включает следующие стадии.

1. Формулировку проблемы (задачи), в рамках которой необходима система нечётких измерителей состояния ПП и свойств сырья.
2. Определение узлов ПП, в которых происходит изменения состояния аппаратов и свойств сырья.
3. Для каждого узла определяется подсистема нечётких измерителей.
4. Для каждого измерителя определяется нечёткая переменная на основе интервью и фокус-группы с экспертами-технологами.
5. По результатам формируется экспертная таблица нечёткой переменной.
6. Применением алгоритма поиска вида и параметров функции принадлежности на основе экс-

пертной таблицы и оценка полученной функции принадлежности [1–3].

Для формирования системы нечетких измерений необходимо определить экспертную таблицу, устанавливающая зависимость между свойствами сырья и показателями работы аппаратов ПП.

Нечеткая переменная y_k определена экспертной таблицей

$$E_k : (\mu_{ki}, y(\mu_{ki}) = y_{ki}) y_{ki} \in B_k, i = 1, 2, \dots, N_k, \\ k = 1, 2, \dots, n,$$

где μ_{ik} — значение степени принадлежности рассматриваемого объекта по заданному свойству. Рассчитывается по функции, которая возвращает равномерно распределенное случайное число из диапазона [0,1]. $y(\mu_{ik})$ — значение рассматриваемого объекта.

Эксперт предполагает, что значения экспертной таблицы имеют какую-то зависимость, но какую именно и с какими параметрами неизвестно. Поэтому для удобства проведения эксперимента и дальнейшего исследования предположим, что данные экспертной таблицы распределяются, например, по функции Гаусса:

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}.$$

Поскольку значение функции принадлежности задается случайным образом, то для полного заполнения экспертной таблицы необходимо знать значения объектов (x), соответствующим функциям принадлежности. Для этого используется обратная функция Гаусса, зависящая от степени принадлежности (μ_i)

$$x(\mu) = \pm \sqrt{-2b^2 \ln(\mu(x))} + a.$$

В качестве параметров (a, b) обратной функции для каждой области определения нечеткой переменной («низкий», «средний», «высокий») так же были заданы некоторые ($a_{исх}, b_{исх}$), чтобы в дальнейшем была возможность проверить правильность работы модели и сравнить параметры функции, полученные в результате работы модели, с исходными параметрами.

Для удобства построения модели табличные данные, получаемые от эксперта, группируются по областям определения: «низкий», «средний» и «высокий». Определим $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_m)$ — множество типовых нечетких переменных, где ω_i — i -ая нечеткая переменная. Нечеткая типовая переменная определяется как $\omega_i : (x_i, \gamma_m(x_i, \bar{a}_r))$, где x_i — исходные значения, полученные от экспертов $x_i \in X_i$; \bar{a}_r — множество векторов

параметров, необходимых для функции; γ_m — типовая функция принадлежности, выбранная для исследования.

Основной идеей алгоритма поиска параметров заключается в том, чтобы путем прямого перебора из заданного диапазона значений поиска параметров оценивать меру близости модельных данных к исходным экспертным данным и наглядно отображать меру близости на графике.

Алгоритм определения типа и параметров функции принадлежности нечеткого измерителя

Для формирования системы нечетких переменных был разработан алгоритм определения типа и параметров функции принадлежности для экспертной таблицы нечеткой переменной.

Этап 1: установить диапазон значений для поиска параметров функции принадлежности.

Пусть Λ — множество нечетких переменных, $\Lambda : Y_k = (y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_k)$ — k -ая нечеткая переменная, y_{ki} i -ое значение, k -ой нечеткой переменной Y_k .

$Y_k : (B_k, y_{ki}, \mu_{B_k}(y_{ki}))$, где $\mu_{B_k}(y_{ki})$ — функция принадлежности $y_{ki} \in B_k$.

$$E_k : (\mu_{ki}, x(\mu_{ki})), x \in X_k, i = 1, 2, \dots, N_k —$$

экспертная таблица k -ого значения нечеткой переменной. $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_m)$ — множество типовых значений нечетких переменных, где $\omega_i : (x_i, \gamma_m(x_i, \bar{a}_r))$, $x_i \in C_i$, $\omega_i : (0 \leq \gamma \leq 1, x_i(\gamma_m, \bar{a}_r))$, \bar{a}_r — множество векторов параметров функций принадлежности γ_m .

Этап 2: сформировать модельные значения на основе исходных данных.

Рассмотрим k -ую нечеткую переменную X_k . Пусть для неё определена экспертная таблица $E_k : (\mu_i, x_i(\mu_i)), x \in X, i = 1, 2, \dots, N$.

Этап 3: расчет разницы между исходными и модельными данными.

Рассмотрим множество $\Theta : (E_k, \Omega)$ для фиксированного k . Рассчитаем невязку $\beta_i = [x(\mu_i) - \omega_i]^2, i = 1, 2, \dots, N$ и вектор мер близости следующим образом

$$\Delta_i = \frac{\max_{i=0..N} \beta_i - \beta_i}{\max_{i=0..N} \beta_i - \min_{i=0..N} \beta_i}.$$

Таблица 1. Расчет коэффициентов различия E_k и Ω

E_k		Ω	$\omega_1(\gamma_1, \bar{a}_1, \mu_k)$...	$\omega_p(\gamma_p, \bar{a}_p, \mu_k)$...	$\omega_m(\gamma_m, \bar{a}_m, \mu_k)$...	$\omega_r(\gamma_r, \bar{a}_r, \mu_k)$			
X_k	μ_k		ω_1	β	...	χ		ω_p	β	Δ	χ		ω_1	β	Δ	χ		ω_r	β	Δ	χ
x_1	μ_1		ω_{11}	β_1	Δ_1	χ_1		ω_{11}	β_1	Δ_1	χ_1		ω_{11}	β_1	Δ_1	χ_1		ω_{11}	β_1	Δ_1	χ_1
x_2	μ_2		ω_{12}	β_2	Δ_2	χ_2	...	ω_{12}	β_2	Δ_2	χ_2	...	ω_{12}	β_2	Δ_2	χ_2	...	ω_{12}	β_2	Δ_2	χ_2
...
x_N	μ_N		ω_{1N}	β_N	Δ_N	χ_N		ω_{1N}	β_N	Δ_N	χ_N		ω_{1N}	β_N	Δ_N	χ_N		ω_{1N}	β_N	Δ_N	χ_N
						ε_{11}					ε_{1r}					ε_{m1}					ε_{mr}

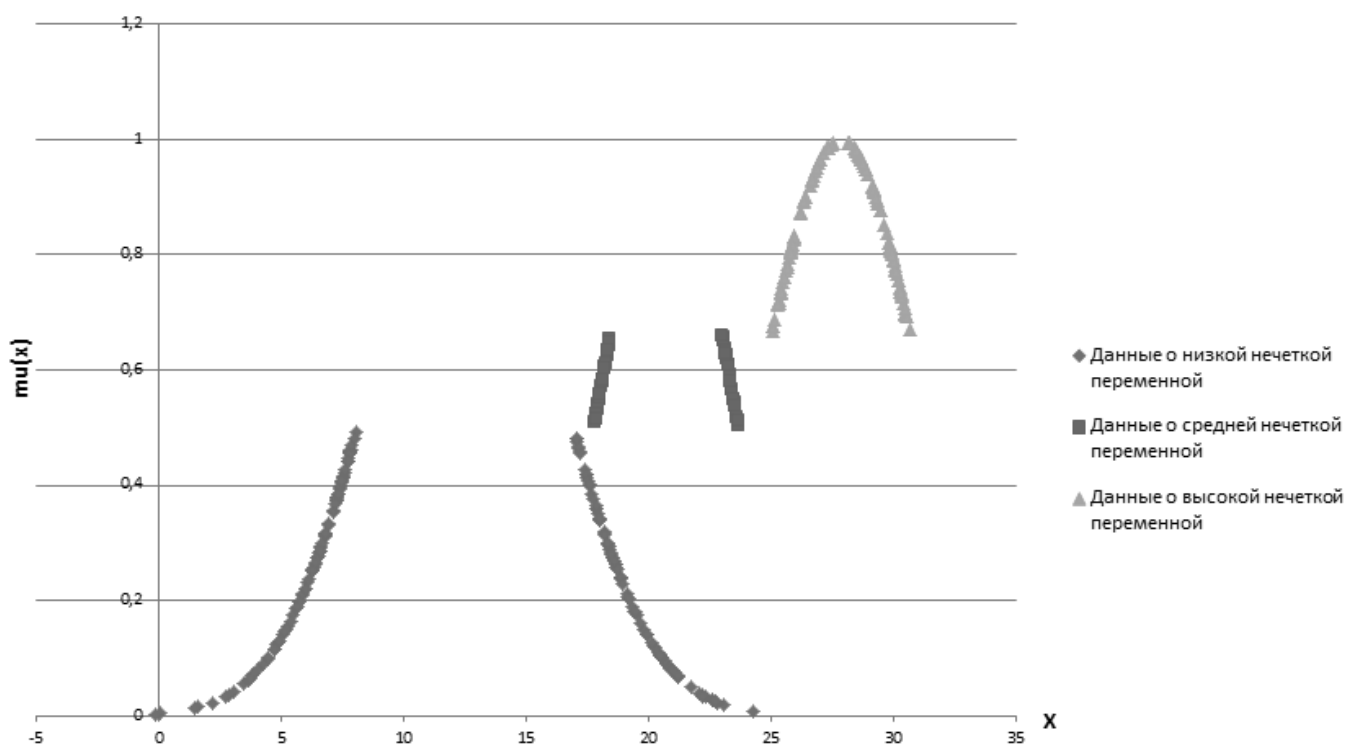


Рис. 1. Графическое отображение значений экспертной таблицы

Этап 4: расчет вектора близости и расчет оценки.

Определим

$$\chi_i = \begin{cases} 1, & \Delta_i = 1 \\ 0, & \Delta_i < 1 \end{cases}$$

и рассчитаем коэффициент различия между E_k и Ω для каждого ω

$$\varepsilon_{mr} = 1 - \frac{\sum_{i=1, N} \chi_i}{N} \text{ и } \min_{\substack{m=1, M \\ r=1, R}} \varepsilon_m = \varepsilon^*,$$

а по ε^* выберем ω^* для E_k (см. таблицу 1).

При $0 \leq \delta \leq 1$ и $\varepsilon^* \leq \delta$ задача определения функции принадлежности для заданной экспертной таблицы

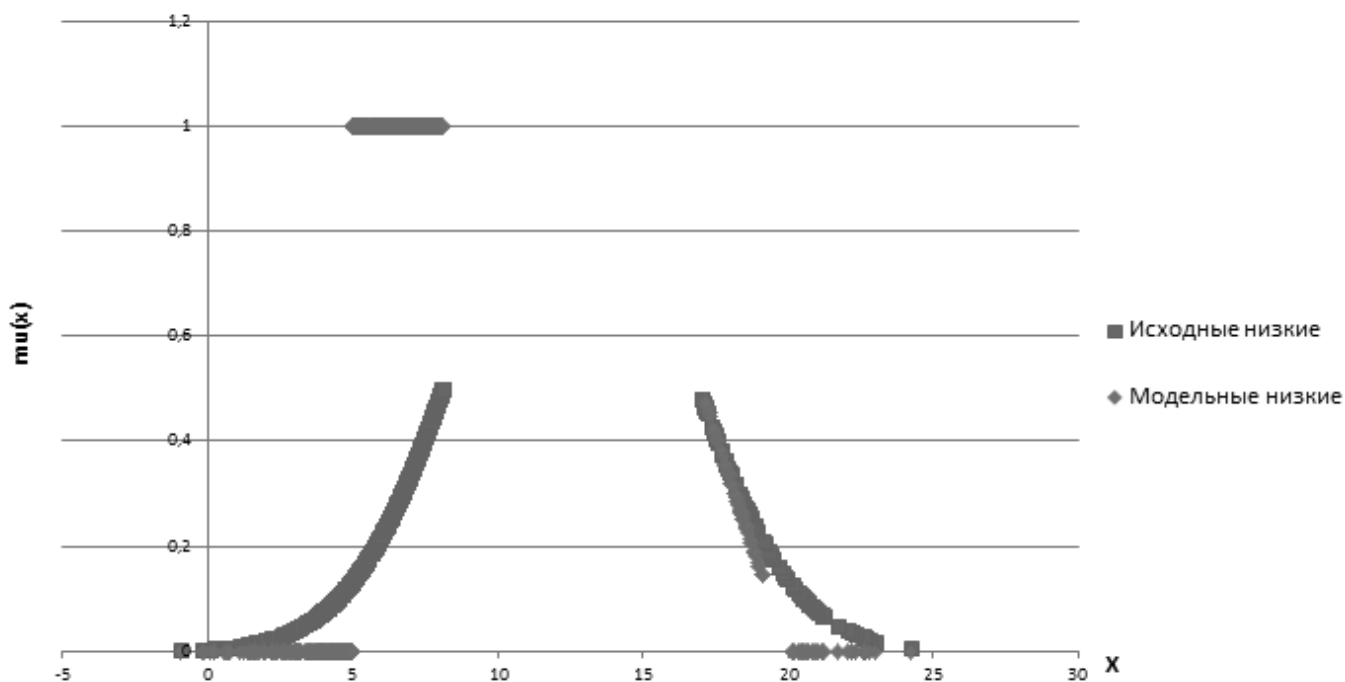


Рис. 2 Графическое отображение экспертных и модельных данных для «низкого» значения нечеткой переменной трапецевидной функцией с параметрами $a = 5, b = 5, c = 14, d = 20$ и полученной оценкой $0,98069$

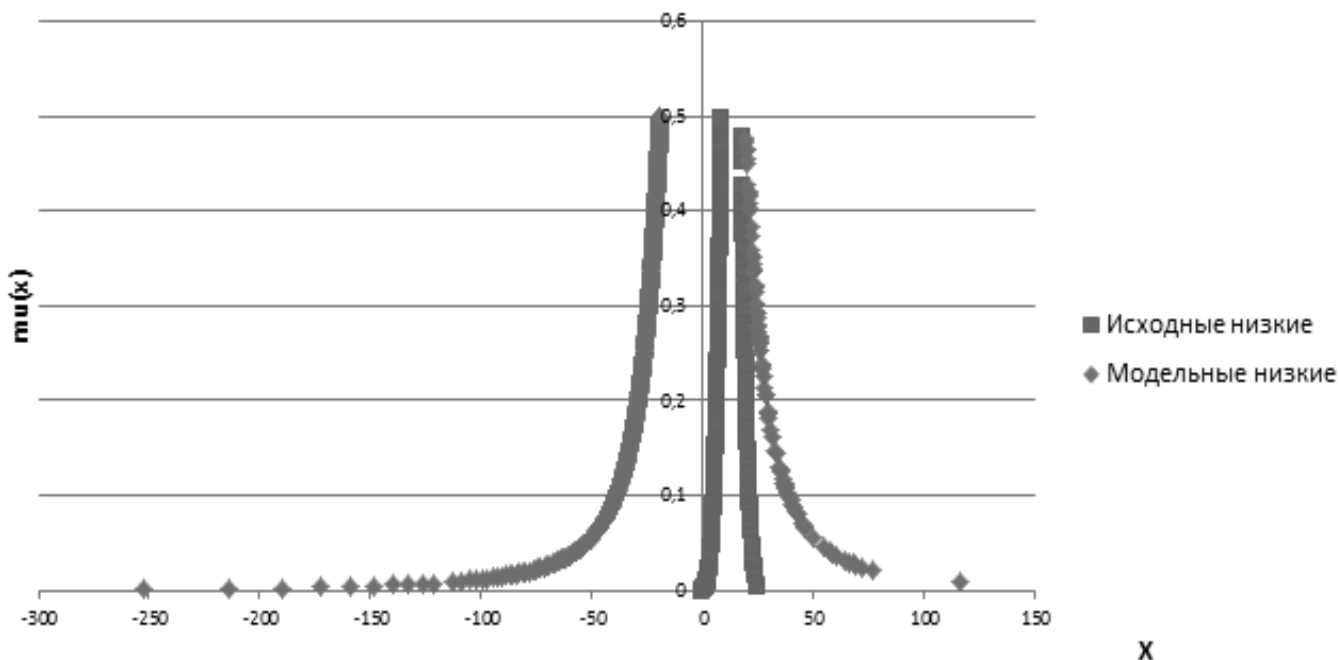


Рис. 3 Графическое отображение экспертных и модельных данных для «низкого» значения нечеткой переменной колоколообразной функцией с параметрами $a = 10, b = 1, c = 9$ и полученной оценкой $0,962707$

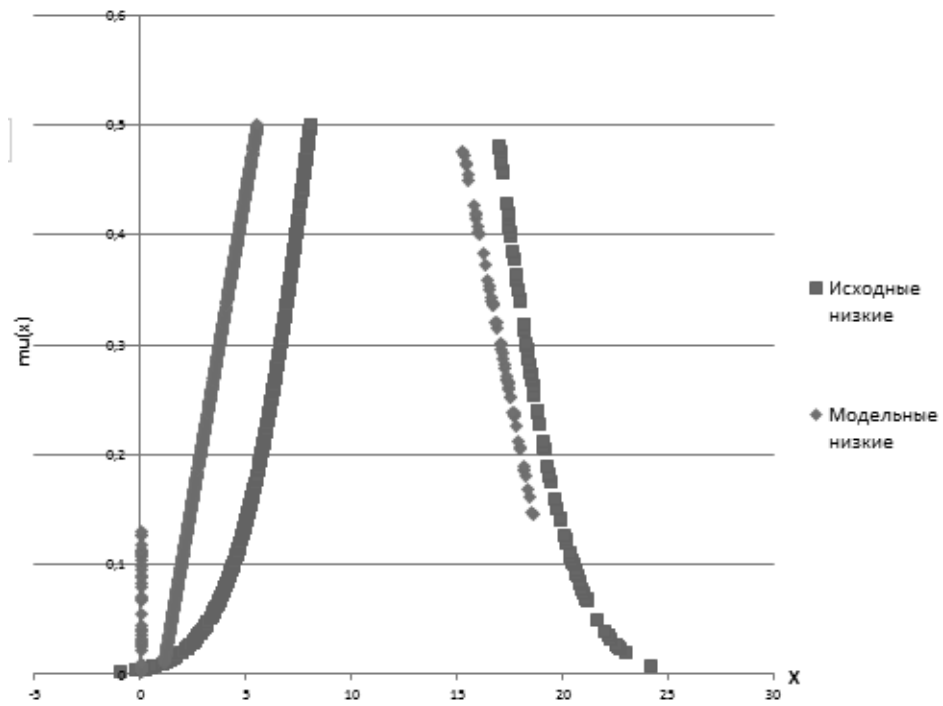


Рис. 4 Графическое отображение экспертных и модельных данных для «низкого» значения нечеткой переменной треугольной функцией с параметрами $a = 1$, $b = 10$, $c = 20$ и полученной оценкой 0,9585635

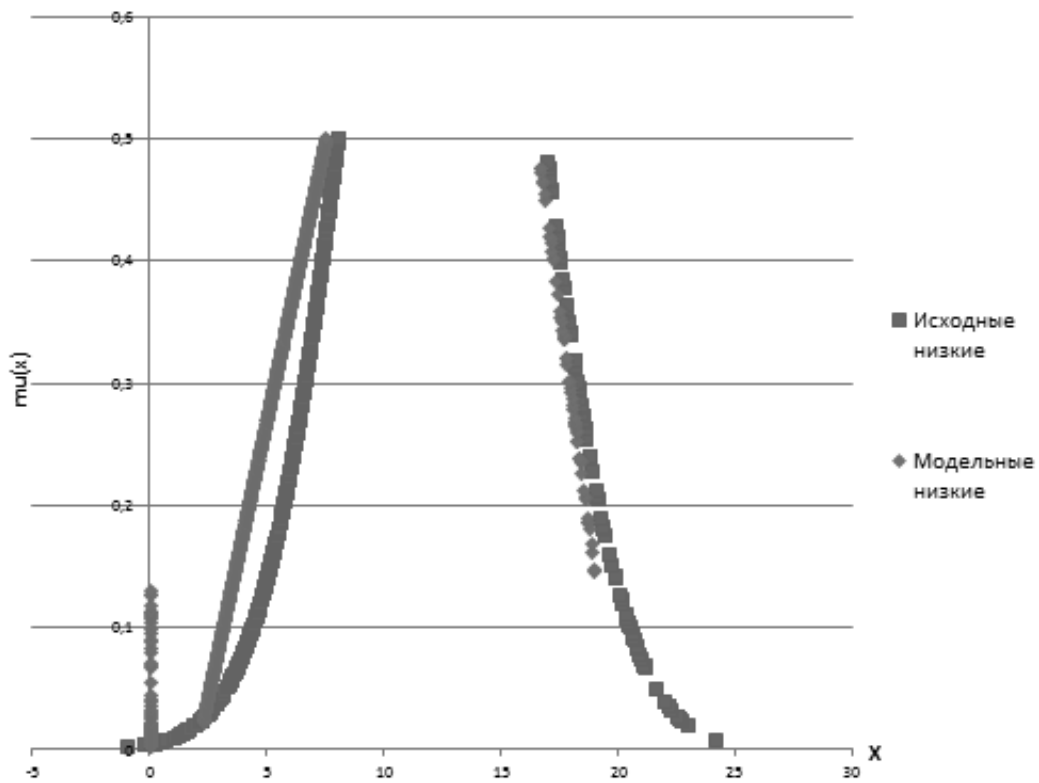


Рис. 5 Графическое отображение экспертных и модельных данных для «низкого» значения нечеткой переменной треугольной функцией с параметрами $a = 2$, $b = 13$, $c = 20$ и полученной оценкой 0,9585635

решена. В противном случае возможны различные варианты поиска, в том числе: уменьшение сетки области параметров и /или шага дискретизации интервала времени; рассмотрение других функций принадлежности.

Апробация алгоритма

В качестве примера, рассмотрен процесс обогащения, а экспертная таблица сформирована на основе данных о качестве сырья полученных от экспертов-технологов. В качестве типовых функций для исследования модели были выбраны: кусочно-линейные и П-образные функции принадлежности. Выбор функций неслучайный, так как функции разных типов позволяют исследовать выбранную типовую функцию разными способами и оценить какая аппроксимация наиболее оптимальная: построенная из отрезков или же гладкая кривая (см. рис. 1).

После разбиения по значениям нечеткой переменной необходимо исследовать поведение модели при разных типовых функциях, и при какой из функций достигается максимальное приближение к исходным экспертным данным. Для этого необходимо построить сетку параметров для каждой рассматриваемой типовой функции, построить все возможные комбинации значений параметров из заданного диапазона с определенным шагом, подставить соответствующие параметры в модель и записать полученное модельное значение меры. Данная мера позволит оценить, насколько близко выбранная типовая функция с соответствующими параметрами приближена к исходным экспертным данным.

Для проверки работы модели были выбраны параметры для найденной максимальной оценки и построена типовая функция с заданными параметрами (рис. 2).

В результате работы модели было получено, что экспертные данные можно описать трапецевидной функцией, что наглядно можно увидеть на графике совместно с отображением исходных экспертных данных с максимальной мерой близости.

Стоит заметить, что функции с чуть низкой оценкой так же неплохо определяют исходные экспертные данные (рис. 3), но при этом происходит определение большего количества комбинаций параметров, которые могли бы определить экспертные данные с такой же оценкой (рис. 4–5). Следует предположить, что для уменьшения количества комбинаций с одинаковой оценкой, необходимо изменять диапазон значений для сетки параметров и делать ее более «мелкой», то есть уменьшать шаг для выбора параметров.

Заключение

Разработанный алгоритм на основе нечетких данных, полученных от эксперта, позволяет осуществлять подбор наиболее подходящих параметров для функции принадлежности с заданной мерой близости. В качестве исходных данных выступают данные нечетких переменных, предоставляемые экспертом, а также сетки параметров для каждой нечеткой переменной, по которым определяются границы переменных. Разработанный алгоритм как нечеткой системы измерения качества сырья ПП позволяет экспертные использовать знания для эффективного управления процессом переработки с учетом изменений качества сырья и опыта технологов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрынин В. Н., Миловидова А. А. Многоагентное имитационно-событийное моделирование управления качеством дискретно-непрерывных технологических процессов: проблемы, концепция, задачи, методы // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна» Серия «Системный анализ в современном обществе» № 1 (29), 2014, ISSN: 1818–0744.
2. Добрынин В. Н., Эндерев В. А., Миловидова А. А. Система интеллектуального управления технологией обогащения (на примере Стойленского ГОКа) // Обогащение руд, № 6, 2014, ISSN0202–3776.
3. Добрынин В. Н., Эндерев В. А., Попов Андрей Михайлович, Миловидова А. А. АСУ ТП обогащения руд: иллюзии, проблемы, перспективы // Электронный научный журнал «Системный анализ в науке и образовании», 2016, № 1. ISSN: 2071–9612.

© Миловидова Анна Александровна (milanna@uni-dubna.ru), Черемисина Евгения Наумовна (arbatsolo@yandex.ru),

Добрынин Владимир Николаевич (chere@uni-dubna.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»