УДК 664.12:658.011.56

В.М. СІДЛЕЦЬКИЙ, кандидат технічних наук
І.В. ЕЛЬПЕРІН, кандидат технічних наук
Національний університет харчових технологій

МЕХАНІЗМ ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗМІНИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КОЛОННОЇ ДИФУЗІЙНОЇ СТАНЦІЇ

Розглянутий механізм обробки інформації технологічного процесу та видачі рекомендацій оператору дифузійної станції цукрового заводу.

***Ключові слова**: лінгвістичні змінні, терми, функції належності, правила продукції, нечіткі множини, алгоритм нечіткого виведення Мамдані, прийняття рішень.*

Рассмотрен механизм обработки информации технологического процесса и выдачи рекомендаций оператору диффузионной станции сахарного завода.

***Ключевые слова**: лингвистические переменные, термы, функции принадлежности, правила продукции, нечеткие множества, алгоритм нечеткого вывода Мамдани, принятие решений.*

Сучасні системи автоматизації дифузійним відділенням будуються за принципом супервізорного управління, в якому важлива роль відводиться оператору-технологу, який повинен втрутитись у процес управління у випадку виникнення відхилень від нормального режиму технологічного процесу і з якими не може впоратись система автоматизації, тому доцільно доповнити існуючі системи автоматизації дифузійної станції підсистемою підтримки прий-

© В.М. Сідлецький, І.В. Ельперін, 2009

няття рішень для оператора технолога, що складається з механізму логічного виведення, який виконує роль виведення інформації про стан об'єкта управління та шляхи покращення його функціонування. Виведення будуються на основі знань які повинні бути зібрані при опитуванні експертів. Знання зберігаються в базі знань. База знань містить дані, що представлені у вигляді правил:

якщо β_1 рівне A_1 і … і β_m рівне B_m, тоді ω_1 рівне C_1,

якщо β_m рівне A_m і … і β_m рівне B_m, тоді ω_s рівне C_s,

де: A_1, A_n, B_1, B_m, C_1, C_s – терми лінгвістичних змінних, які дозволяють сформулювати рекомендації визначення характеру зміни технологічних параметрів у вигляді термів «збільшити», «зменшити», але для використання цих рекомендацій у системі автоматизованого управління необхідно визначити кількісні характеристики цих рекомендацій.

Для отримання числових значень розроблених правил необхідно використати алгоритм нечіткого виведення. В літературі описані алгоритми Мамдані, Цукамото, Ларсена, Сугено [1-3]. Серед них найбільшого практичного значення набув алгоритм нечіткого виведення Мамдані, який у загальному вигляді включає операції: фазифікації, агрегування, активізації, акумуляції та дефазифікації [3,4] .

Фазифікація вхідних змінних використовується для встановлення відповідності між конкретним значенням технологічного параметра і значенням функції належності відповідного терму лінгвістичної $a_i = \mu(x_i)$ змінної.

В літературі виділяються прямі та непрямі методи побудови функцій належності. Прямі методи використовують для параметрів величини, яких можна виміряти в деякій кількісній шкалі. Непрямі методи побудови функцій належності використовуються у випадках відсутності очевидних вимірювальних властивостей для побудови нечітких моделей предметної області.

Для дифузійної станції можна виділити параметри, які мають кількісний характер (витрата, рівень, тиск, значення pH, сила струму, напруга), для яких їх можливий стан задається на інтервалі $[\underline{x_i}, \overline{x_i}]$, та параметри якісного характеру (переміщення стружки, якість стружки, стан жому), що задаються множиною станів $x_i^1, x_i^2, \ldots, x_i^{q_i}$.

Для лінгвістичних змінних, які мають кількісний характер, нечіткі множини визначаються співвідношенням [4]:

$$a_i = \int_{\underline{x_i}}^{\overline{x_i}} \mu^{a_i}(x_i)/x_i, \quad (1)$$

де: $\mu^{a_i}(x_i)$ - функція належності значень вхідної змінної $x_i \in [\underline{x_i}, \overline{x_i}]$ для терму a_i, що належить лінгвістичній змінній А.

Для лінгвістичних змінних, які мають якісний характер, нечіткі множини визначаються співвідношенням [1,3,4]:

$$a_i = \sum_{\underline{x_i}}^{\overline{x_i}} \mu^{a_i}(x_i)/x_i \quad (2)$$

Для дифузійної станції межі значень технологічних параметрів встановлюються технологічним регламентом. Наприклад, у відповідності до технологічного регламенту, температура в нижній частині колони повинна бути в межах 74 … 75 °С. Таку вимогу можна представити у вигляді чіткої множини, що описується характеристичною функцією:

$$\eta(T) = \begin{cases} 0, T \le 74, T \ge 75 \\ 1, 74 \le T \le 75 \end{cases}, \quad (3)$$

В той же час, на практиці розглядаються більш широкі припустимі межі зміни параметра. Так, для вказаного параметра ці межі можуть бути розширені до 70 - 78 °С. У зв´язку з цим температуру в нижній частині колони можна розглядати як лінгвістичну змінну, для якої можна запропонувати три терми: «норма», «нижче норми» і «вище норми». Множину значень для відповідних

термів на температурній шкалі можна представити наступним чином. Температура в межах 74 < T < 75°C однозначно відповідає терму «норма», а T < 70°C і T > 78°C однозначно відповідає відповідно термам «нижче норми» і «вище норми». Діапазон температур 70 < T < 74°C до певної міри відповідає терму «в нормі» і терму «нижче норми». А діапазон 75 < T < 78°C до певної міри відповідає терму «норма» і «вище норми». Відповідність значення температури тому чи іншому терму визначається функцією належності.

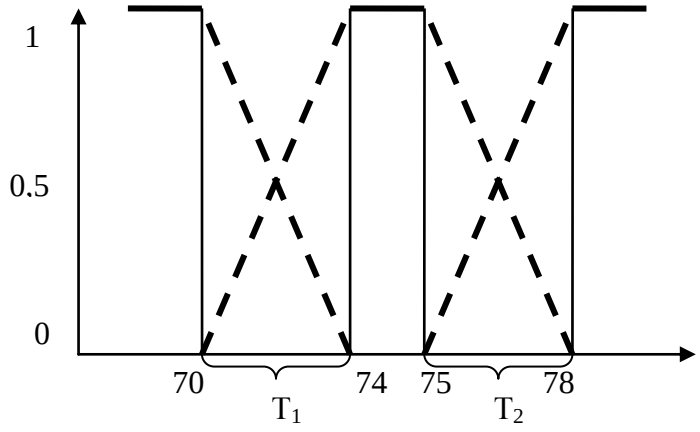


Рис 1. Графічне представлення функції належності для температури в нижній частині колони

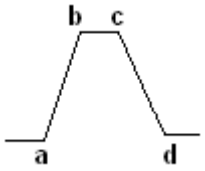
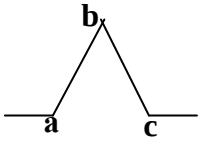
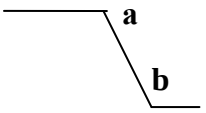
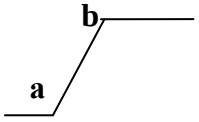
Фазифікація проводилася з використанням кусково-лінійних функцій належності, до яких відносяться [1-4]: трикутна, трапецієвидна, Гауса, дзвіноподібна, S-подібна та Z-подібна. Для термів «норма» та «параметр в нормі» були використані трапецієвидні та трикутні функції належності. Для термів «нижче норми» чи «параметр необхідно зменшувати» була використана Z - подібна функція належності. Для термів «вище норми» чи «параметр необхідно збільшувати» була використана S - подібна функція належності (табл. 1).

Правила продукції, являють собою складні вирази, пов´язані з перевіркою декількох умов. Наприклад, для визначення характеру зміни температури в колоні або напруги живлення двигунів колони, виведення необхідно проводити як відносно множини значень технологічних параметрів, так і відносно результатів візуального обстеження. Крім цього, на кожне із вказаних виведень впливають виведення, які проведені за результатами отриманими в заводській

лабораторії. Тому у складних виведеннях використовується процедури агрегування, активізації та акумулювання.

Таблиця 1

Функції належності та їх аналітичний і графічний вигляд

Аналітичний вигляд функції належності	Графічний вигляд функції належності
Трапецієвидна функція належності	
$f(x;a,b,c,d)=\begin{cases}0, & x\le a\\ \frac{x-a}{b-a}, & a\le x\le b\\ 1, & b\le x\le c\\ \frac{d-x}{d-c}, & c\le x\le d\\ 0, & d\le x\end{cases}$	
Трикутна функція належності	
$f(x;a,b,c)=\begin{cases}0, & x\le a\\ \frac{x-a}{b-a}, & a\le x\le b\\ \frac{c-x}{c-b}, & b\le x\le c\\ 0, & c\le x\end{cases}$	
Функція належності Z – виду	
$f_{\downarrow}(x;a,b)=\begin{cases}1, & x\le a\\ \frac{b-x}{b-a}, & a\le x\le b\\ 0, & b\le x\end{cases}$	
Функція належності S – виду	
$f_{\uparrow}(x;a,b)=\begin{cases}0, & x\le a\\ \frac{b-x}{b-a}, & a\le x\le b\\ 1, & b\le x\end{cases}$	

Для визначення ступені істинності складних правил продукції використані: логічна кон'юнкція $T(A\wedge B)=\min(T(A),T(B))$ та логічна диз'юнкція $T(A\vee B)=\max(T(A),T(B))$. Цей етап в нечіткому виведенні відповідає агрегуванню [1-3]. Наприклад, в процесі роботи дифузійної станції параметри прийняли значення: витрата дифузійного соку 124 м^3/год, втрати цукру в жомі 0.1%, якість стружки 0.67. В процесі фазифікації витраті дифузійного соку буде відповідати терм «норма» із ступенем належності $\mu_{F_{Д.С}}(24)=1$, для втрат цукру в жомі - терм «нижче норми» із ступенем належності $\mu_{D_{С.Ж.}}(0.1)=0.63$, а для якості стружки - терм «норма» із ступенем

належності $\mu_{W_{я.с.}}(0.67) = 0.5$. В базі знань для виведення характеру зміни витрати дифузійного соку стає активним правило:

ЯКЩО *витрата дифузійного соку В НОРМІ*

І *втрати цукру НИЖЧЕ НОРМИ*

І *якість стружки В НОРМІ*,

ТО *витрату дифузійного соку НЕОБХІДНО ЗМЕНШИТИ*,

в результаті якого в процесі логічної кон'юнкції $\min\{0.63, 0.5\}$ для логічного виведення отримуємо значення ступеню істинності *0.5*. На рис 2 показано графічне представлення визначення ступеню істинності з використанням логічної кон'юнкції.

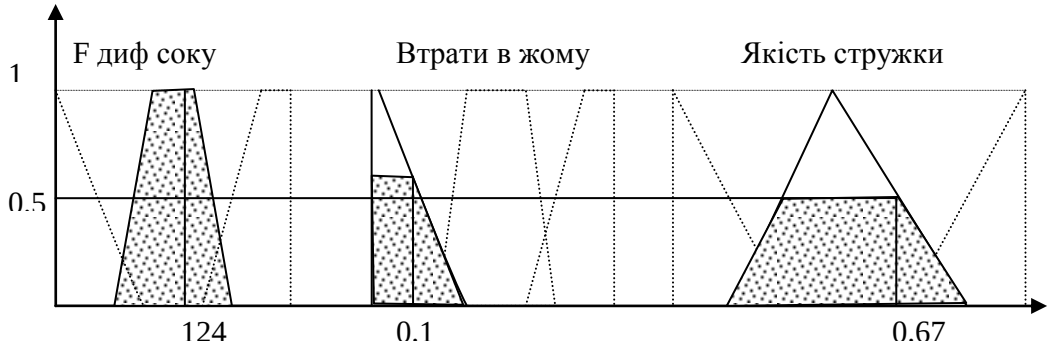


Рис 2. Визначення ступеню істинності з використанням логічної кон'юнкції

Для отримання ступеню істинності вихідної рекомендації по кожному правилу знаходяться «урізані» функції належності для термів вихідної змінної, що в процесі нечіткого виведення відповідає етапу активізації. Найчастіше використовується min-активізація $\mu'(y) = \min[\alpha, \mu(y)]$. Наприклад, в процесі виведення характеру зміни витрати дифузійного соку, для вказаного вище правила, логічне виведення буде відповідати терму «зменшити витрату» із ступенем істинності 0.5 (рис. 3).

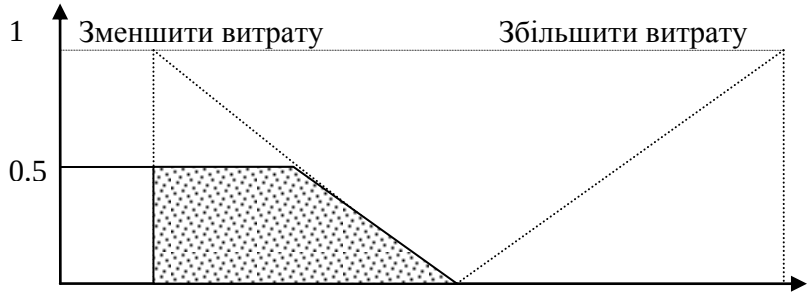


Рис 3. Отримання рекомендації після етапу агрегування правила

У випадках, коли для вхідних значень параметрів застосовується більше, ніж одне правило, проводиться нечіткий вивід для кожного правила. Тобто виконується етап акумуляції, який являє собою процедуру знаходження функцій належності для кожної лінгвістичної змінної з подальшим виділенням найменшої нечіткої множини, яка домінує одночасно для всіх нечітких множин:

$$\mu^{d_m}(x_1, x_2, ..., x_n) = \max\begin{pmatrix} \min\left(\mu^{a_1^{m1}}(x_1), \mu^{a_2^{m1}}(x_2), .., \mu^{a_n^{m1}}(x_n)\right) \\ \min\left(\mu^{a_1^{m2}}(x_1), \mu^{a_2^{m2}}(x_2), .., \mu^{a_n^{m2}}(x_n)\right) \\ \dots \\ \min\left(\mu^{a_1^{mk_1}}(x_1), \mu^{a_2^{mk_1}}(x_2), .., \mu^{a_n^{mk_1}}(x_n)\right) \end{pmatrix} \quad (4)$$

Для отримання числового значення функцій належності для вихідних змінних використані методи приведення до чіткості (методи дефазифікації). В літературі наводяться наступні методи дефазифікації: центроїда площини, центра тяжіння для одноточкових множин, центра площини, лівого модального значення та правого модального значення. Найбільшого практичного застосування набув метод центроїду площини:

$$y = \frac{\int_{Min}^{Max} x \cdot \mu(x)\, dx}{\int_{Min}^{Max} \mu(x)\, dx} \quad (5)$$

Використовуючи даний підхід одержали рекомендації у вигляді числового значення технологічних параметрів на основі правил бази знань та вхідної інформації стану процесу висолоджування.

На рис. 4 показано процес одержання логічного виведення та формування рекомендації характеру зміни витрати дифузійного соку, для технологічного процесу, що характеризується наступними параметрами: витрата дифузійного соку 124 м^3/год, втрати цукру в жомі 0.09%, якість стружки - 0.67. Для таких значень параметрів активізованими є два правила 6 та 7, в кожному правилі рекомендується зменшувати витрату дифузійного соку і в процесі

дефазифікації отримуємо числове значення 6.25, тобто необхідно зменшити витрату на 6.25 м^3/год.

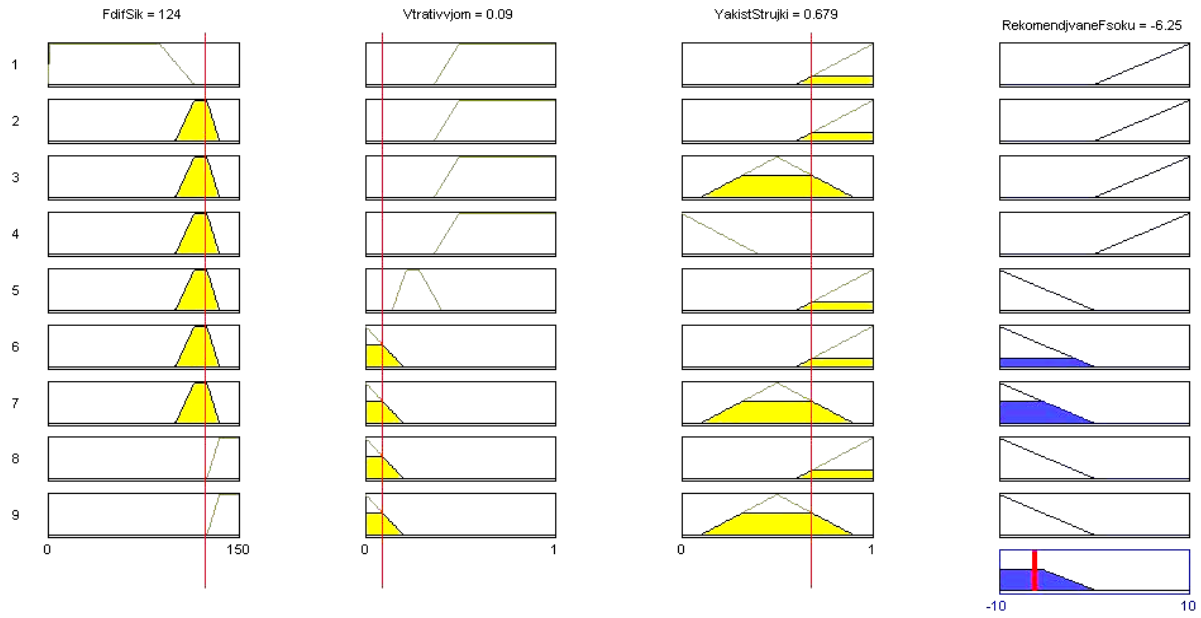


Рис 4. Логічне виведення для рекомендації зміни витрати дифузійного соку

Для даного логічного виведення функції відгуку матимуть вигляд:

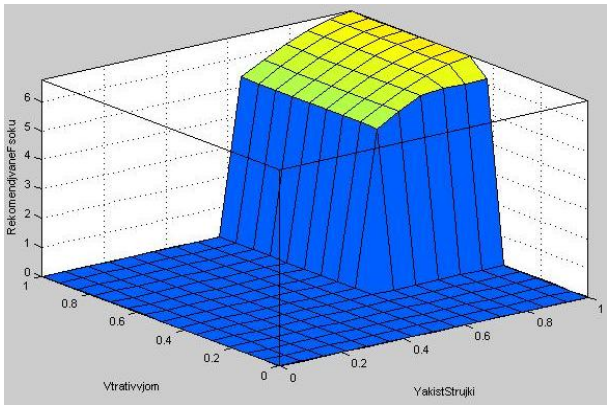


Рис 5. Функція відгуку для втрат в жомі та якості стружки

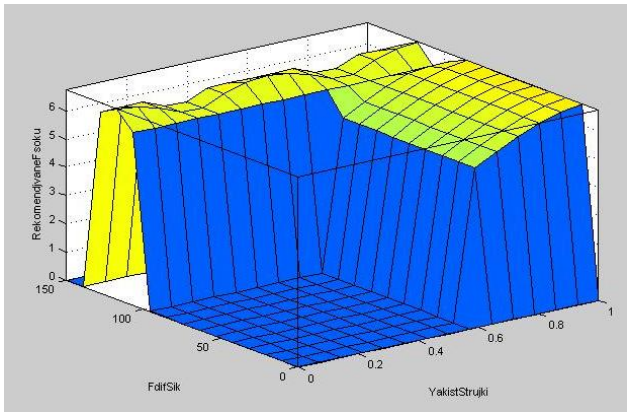


*Рис 6.*Функція відгуку витрати дифузійного соку та якості стружки

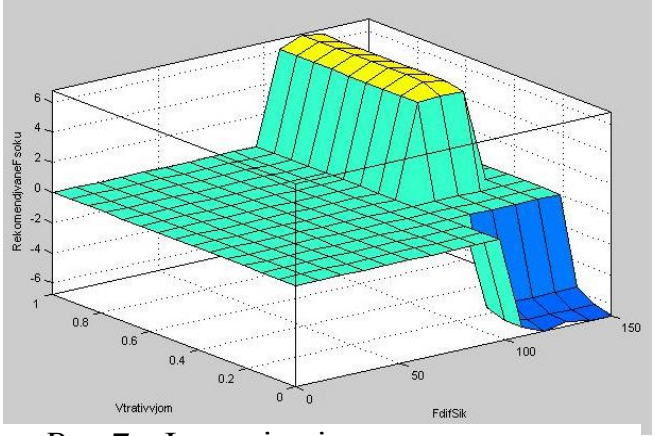


Рис 7. Функція відгуку для втрат в жомі та витрати дифузійного соку

Беручи до уваги, що для технологічного процесу висолоджування характерні внутрішні зв'язки між окремими параметрами, досягти бажаних показників якості можна за рахунок зміни різних параметрів. Тому в процесі вироблення рекомендацій необхідно одночасно проводити логічне виведення для всіх параметрів з метою отримання інформації, який параметр і на скільки необхідно змінювати.

Нечітке логічне виведення для всіх технологічних параметрів було проведено з використанням програмного пакету Matlab (рис 8).

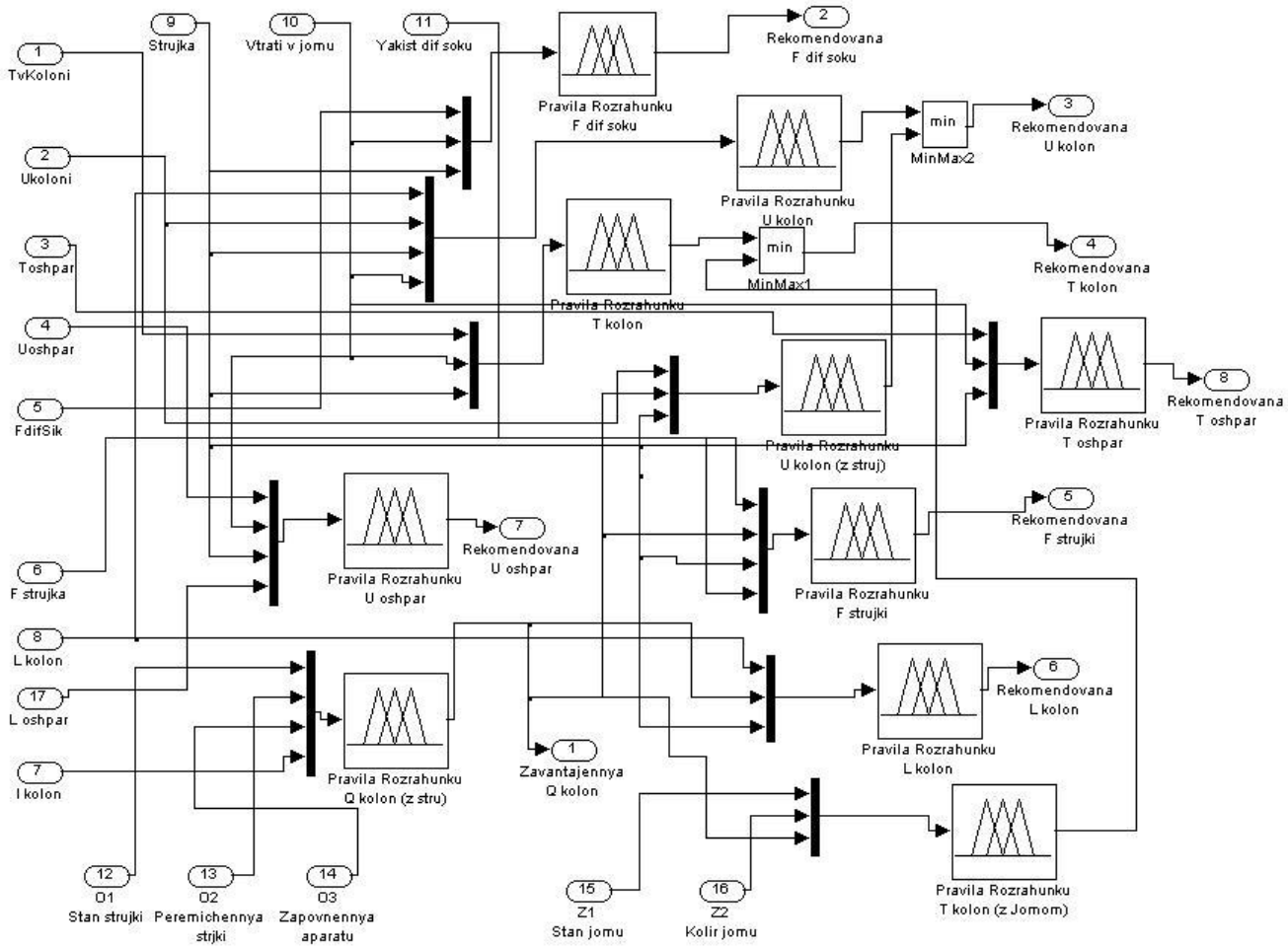


Рис 8. Алгоритм формування рекомендацій зміни технологічних параметрів

Наведений алгоритм дозволяє на основі продукційної моделі та інформації від системи автоматичного контролю, даних візуального обстеження та інформації з лабораторії отримати рекомендації у вигляді

характеру (збільшити, зменшити) та числового значення зміни технологічного параметра.

Наприклад, для значень технологічних параметрів, наведених у таблиці 2 блоком логічного виведення отримані рекомендовані значення для зміни технологічних параметрів, наведених у таблиці 3. Знак біля кожного значення вказує на рекомендований характер зміни: збільшувати чи зменшувати. Для питомого завантаження виводиться узагальнююча інформація, яка виведена на основі даних візуального огляду стану стружки в колоні.

Таблиця 2

Значення технологічних параметрів процесу висолоджування

№	Назва параметру	Од. вим.	Значення
1	Вміст цукру в дифузійного соку	%	11.4
2	Втрати в жомі	%	0.37
3	Вміст цукру в стружці	%	13.1
4	Вміст пульпи в стружці	%	40
5	Кількість браку	лінгв. зміна	норма
6	Пружність	лінгв. зміна	норма
7	Міцність	лінгв. зміна	норма
8	Температура в колоні (середня)	°C	64.93
9	Напруга двигуна колони	В	165.56
10	Температура в ошпарювачі (середня)	°C	74.15
11	Напруга двигуна ошпарювача	В	300.8
12	Витрата дифузійного соку	$м^3$/год	112.94
13	Витрата стружки	т/год	70.83
14	Рівень в колоні	%	85.03
15	Рівень в ошпарювачі	м	1.5
16	Струм двигуна колони	А	68.36
17	Стан стружки (оглядове скло)	лінгв. зміна	в нормі
18	Переміщення стружки (оглядове скло)	лінгв. зміна	Апарат заповнений стружкою, яка рухається за лопаттю
19	Заповнення апарату (оглядове скло)	лінгв. зміна	Стружка рухається суцільною масою
20	Стан жому	лінгв. зміна	Недостатньо пружний
21	Колір жому	лінгв. зміна	Світло - жовтий

Таблиця 3

Рекомендовані значення технологічних параметрів

№	Назва параметру	Од. вим.	Значення
1	Витрата дифузійного соку	$м^3$/год	-10.12
2	Витрата стружки	т/год	15.48
3	Напруга двигуна колони	В	17.54
4	Температура в колоні (середня)	°С	2.75
5	Рівень в колоні	%	4.97
6	Напруга двигуна ошпарювача	В	-8.43
7	Температура в ошпарювачі (середня)	°С	-1.32

Висновки. Використання правил продукцій з бази знань, інформації із системи автоматичного контролю, даних заводської лабораторії, результатів візуального обстеження роботи обладнання та алгоритму нечіткого виведення Мамдані дозволило отримати рекомендації по управлінню дифузійною станцією у вигляді характеру зміни і їх числових значень технологічних параметрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Дьяконов В.П., Круглов В.В* Matlab 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.

2. *Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.

3. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

4. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.