

УДК 681.5:664.6

*С.М. Швед,  
І.В. Ельперін, канд. техн. наук  
Національний університет  
харчових технологій*

## **СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРИ ВИБОРІ ПОЛІПШУВАЧІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ БОРОШНА**

*Розроблено алгоритмічне, математичне і програмне забезпечення автоматизованої системи підтримки прийняття рішення, яка на основі аналізу і обробки інформації про показники якості борошна формує рішення-рекомендації оператору-технологу про доцільність використання того чи іншого поліпшувачів в залежності від хлібопекарських властивостей борошна, яке планується переробляти під час виготовлення хлібобулочних виробів*

*Ключові слова: поліпшувач, властивості борошна, нечітка логіка, система підтримки прийняття рішень*

---

В останні роки на підприємствах хлібопекарського виробництва все частіше стикаються з проблемою якості борошна. Дефекти борошна стають причиною виробничого браку і вимагають тим чи іншими способом змінювати параметри технологічного процесу. З метою отримання готової продукції високої якості у різних країнах світу і у нас в країні застосовують спеціальні добавки-поліпшувачі, які використовуються для:

- забезпечення достатньої якості продукції з борошна, що має низькі хлібопекарські властивості;
- інтенсифікації технологічних процесів виготовлення виробів;
- забезпечення необхідної якості хліба при прискорених технологіях його виготовлення;
- формування оптимальних для оброблення реологічних властивостей тіста;
- корегування біохімічних, колоїдних, мікробіологічних процесів при виготовленні різних груп виробів: здобних, листкових, бубличних тощо;
- оптимізації якості виробів, виготовлених із заморожених напівфабрикатів.

Асортимент добавок-поліпшувачів у кожній групі досить широкий і може містити від десятків до сотень складових. В зв'язку з цим навіть досвідченому спеціалісту важко утримувати цю інформацію в пам'яті і тим більше оперативно її використовувати

Вирішення цієї задачі можливо шляхом розробки і впровадження у системи управління хлібопекарським виробництвом сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій до складу яких можуть бути включені системи підтримки прийняття рішень (СППР).

Створення та впровадження таких систем потребує поетапної розробки та розвитку всіх підсистем СППР: технічного, математичного, програмного, інформаційного та організаційного забезпечення як сукупності математичних методів, моделей, алгоритмів і програм для реалізації цілей та задач підтримки прийняття рішень.

При розробці СППР виникає проблема вибору адекватних математичних моделей, які дозволяють відобразити структуру складної системи, для якої приймається рішення, оперувати суб'єктивними оцінками експертів, брати до уваги вербальний характер оцінки спеціалістами варіантів рішення проблеми, враховуючи неясність і неточність даних.

Розглянемо питання розробки такої системи для вибору поліпшувачів, які рекомендується застосовувати при необхідності перероблення борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями. Залежно від функціонального призначення і принципу дії поліпшувачі, що застосовуються у хлібопеченні, можна розділити на групи: окислювальної, відновної, емульгуючої та каталізуючої дії.

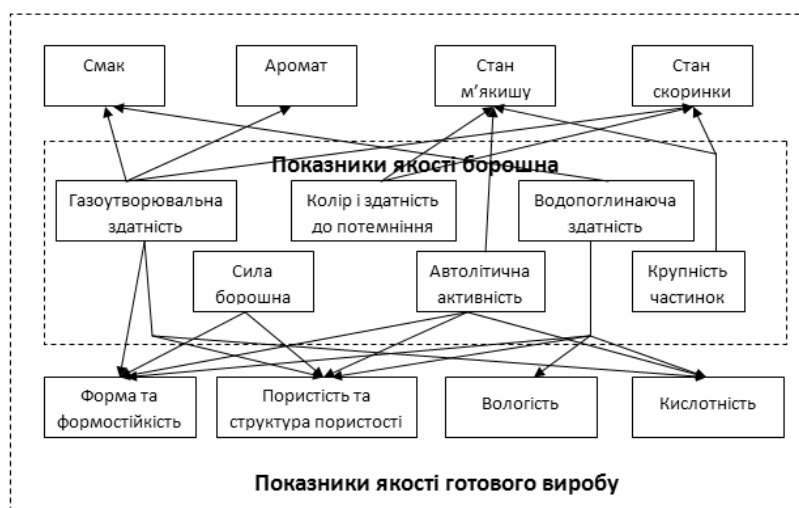
© С.М. Швед, І.В. Ельперін, 2012

У загальному вигляді метою створення такої системи є вироблення рішення-рекомендації оператору технологу про доцільність використання того чи іншого поліпшувача на основі аналізу і обробки інформації про хлібопекарські властивості борошна, яке планується переробляти під час виготовлення хлібобулочних виробів.

Хлібопекарські властивості борошна обумовлюються такими показниками:

- сила борошна, тобто здатність утворювати тісто з певними структурно-механічними властиво-стями;
- газоутворююча здатність, тобто здатність за певний час бродіння тіста забезпечувати виділення тієї чи іншої кількості диоксида вуглецю;
- кольор борошна і здатність його темнішати у процесі виробництва хліба;
- автолітична активність, тобто здатність до розщеплення високомолекулярних складових під дією власних ферментів борошна і накопичення водорозчинних речовин;
- крупність частинок борошна;
- водопоглинальна здатність.

На рис 1. наведена схема залежності показників якості хлібобулочних виробів від показників хлібопекарської властивості борошна.



**Рис. 1. Залежність показників якості готових хлібобулочних виробів від показників якості борошна**

Аналіз алгоритмів і методів, які можуть бути використанні у СППР для вирішення даної задачі показав, що для системи управління об'єктом який характеризується багатокомпонентністю сировини, високим ступенем невизначеності на різних етапах перебігу процесу виробництва хліба, нелінійними залежностями між параметрами, високими вимогами до готової продукції, відсутністю математичного опису багатьох явищ, які характеризують перетворення сировини та напівфабрикатів у готову продукцію розробку підсистем прийняття рішень доцільно проводити з використанням методів і алгоритмів нечіткої логіки.

Нечітка логіка дає можливість досить просто закласти в систему апріорну інформацію про об'єкт у вигляді нечітких правил управління, близькість форми запису яких до природної мови дозволяє без особливих зусиль отримувати необхідні знання від експертів. Апріорна інформація забезпечує одне з основних початкових умов системи — умова максимальної початкової пристосованості.

Одним із можливих способів прийняття рішень при невизначеній інформації є нечіткий логічний висновок, який являє собою апроксимацію залежності «входи — вихід» на основі лінгвістичних висловлювань <Якщо — то> та логічних операцій над нечіткими множинами. Нечіткий логічний висновок застосовується при моделюванні об'єктів з неперервним та з дискретним виходом.

Задачу вибору рекомендованого поліпшувача вирішено отримати за допомогою апарата нечіткого виведення, який на основі бази знань у вигляді правил логічного висновку зможе визначити який саме поліпшувач слід використати. При цьому необхідно за допомогою експертів розробити базу знань з евристичних правил вибору поліпшувача. На основі цих правил за допомогою алгоритму *Мамдані* ми можемо отримати логічний висновок щодо доцільності використання того чи іншого поліпшувача.

Для реалізації цього алгоритму був використаний пакет розширення обчислювальної системи MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, призначений для проектування та дослідження систем нечіткої логіки. Було створено систему нечіткого виведення для кожного виду поліпшувачів. Пакет Fuzzy Logic Toolbox підтримує всі фази розробки нечітких систем, включаючи синтез, дослідження, проектування, моделювання та впровадження в режимі реального часу. Функції пакету реалізують більшість сучасних нечітких технологій, включаючи нечіткий логічний висновок, нечітку класифікацію та адаптивну нейро-нечітку настройку (ANFIS).

Вхідними змінними системи були обрані показники якості борошна: газоутворююча здатність, сила борошна, автолітична активність та кількість клейковини. Для кожного з видів поліпшувача було розроблену окрему систему нечіткого виведення. Для прикладу, наведемо дані, отримані для визначення доцільності використання окислюючого поліпшувача, для якого розроблена наступна матриця знань:

$$\bigcup_{n=1}^h [(L_1 = l_1^i) \cap (W_1 = W_1^m) \cap (V_1 = v_1^r) \cap (H_1 = h_1^g)] \rightarrow M_{H_1}^s,$$

$$n = \overline{1, h}; m, s = \overline{1, 5}; r, g = \overline{1, 4}$$

де  $L_1$  — газоутворююча здатність,  $W_1$  — сила борошна,  $V_1$  — автолітична активність,  $H_1$  — кількість клейковини,  $M_{H_1}^s$  — поліпшувачі.

У таблиці наведені терми лінгвістичних змінних, які використовуються у базі знань евристичних правил для визначення доцільності використання даного поліпшувача. Значення параметрів змінних наведені у загальноприйнятих у хлібопекарському виробництві одиницях.

Враховуючи рекомендації наведені у спеціальній літературі і обробку результатів опитування експертів сформована база знань евристичних правил для визначення доцільності додавання *окислюючого поліпшувача* яка має наступний вигляд (наведена тільки частина правил):

**ЯКЩО** газоутворююча\_здатність НИЗЬКА  
 І сила\_борошна НЕЗАДОВІЛЬНО\_МІЦНА  
 І автолітична\_активність НОРМАЛЬНА  
 І кількість\_клейковини ЗАНИЖЕНА  
**ТО** окислюючі\_поліпшувачі  
 НЕОБХІДНО\_ДОДАВАТИ-НЕ\_РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ\_ВИКЛЮЧАТИ

**ЯКЩО** газоутворююча\_здатність НОРМАЛЬНА  
 І сила\_борошна ДОБРА  
 І автолітична\_активність НОРМАЛЬНА  
 І кількість\_клейковини ЗАНИЖЕНА

**ТО** окислюючі\_поліпшувачі  
 ПОТРІБНО\_ДОДАВАТИ\_ДОЗВОЛЯЄТЬСЯ\_НЕ\_ДОДАВАТИ

**ЯКЩО** газоутворююча\_здатність НОРМАЛЬНА  
 І сила\_борошна ДОБРА  
 І автолітична\_активність ЗАВИЩЕНА  
 І кількість\_клейковини НИЗЬКА

**ТО**\_окислюючі\_поліпшувачі  
 МОЖЛИВО\_ДОДАТИ\_БАЖАНО\_ВИКЛЮЧИТИ\_З\_РЕЦЕПТУРИ  
 .....

## АВТОМАТИЗАЦІЯ

### Терми лінгвістичних змінних та їх числові значення

№	Параметр		Лінгвістичні змінні			
	Умовне позначення	Назва змінної	Умовне позначення	Назва термів	Інтервал значень	
1	L	Газоутворююча здатність, см <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /100 г борошна	L <sub>1</sub>	занижена	< 1300	
			L <sub>2</sub>	Нормальна	1300—1600	
			L <sub>3</sub>	завищена	> 1600	
2	W	Сила борошна, од. приладу ІДК	w <sub>1</sub>	незадовільно міцна	0—35	
			w <sub>2</sub>	задовільно міцна	35—55	
			w <sub>3</sub>	добра	55—80	
			w <sub>4</sub>	задовільно слабка	80—105	
			w <sub>5</sub>	незадовільно слабка	> 105	
3	V	Автолітична активність, %	V <sub>1</sub>	Нормальна	< 29	
			V <sub>2</sub>	завищена	> 29	
4	H	Кількість клейковини, %	H <sub>1</sub>	занижена	< 23	
			H <sub>2</sub>	нормальна	24—25	
5	M <sub>n1</sub>	Поліпшувач окислюючий	0—1	M <sub>n11</sub>	недоцільно додавати — необхідно виключити з рецептури,	0,0
				M <sub>n12</sub>	можливо додати — бажано виключити з рецептури,	0,25
				M <sub>n13</sub>	дозволяється додавати — дозволяється не додавати,	0,5
				M <sub>n14</sub>	потрібно додавати — озволяється не додавати,	0,75
				M <sub>n15</sub>	необхідно додавати — не рекомендується виключати.	1,0

Використовуючи програмний пакет MATLAB були побудовані функції належності. Для лінгвістичних змінних, які були представлені діапазоном значень, були використані трапецієподібні функції належності, а для тих, що мали одне значення — трикутні.

На рис. 2 показані функції належності для лінгвістичної змінної, яка відповідає технологічному параметру «сила борошна», при визначенні якої було використано 5 термів.

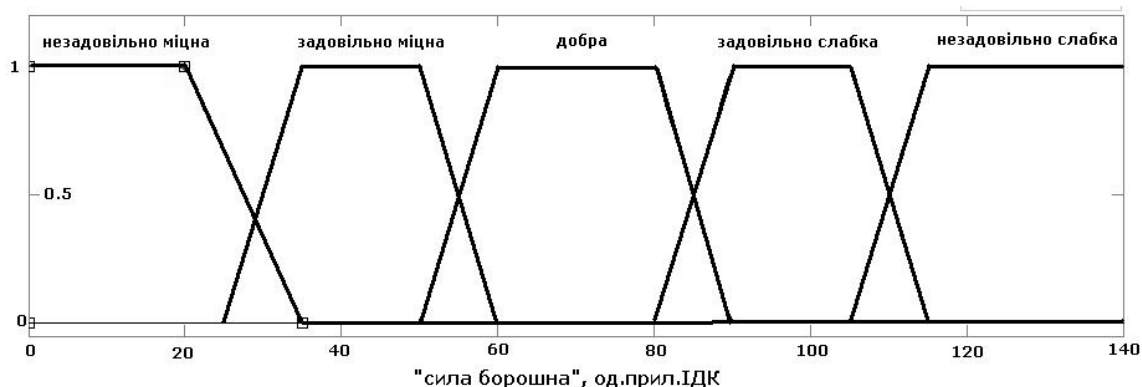
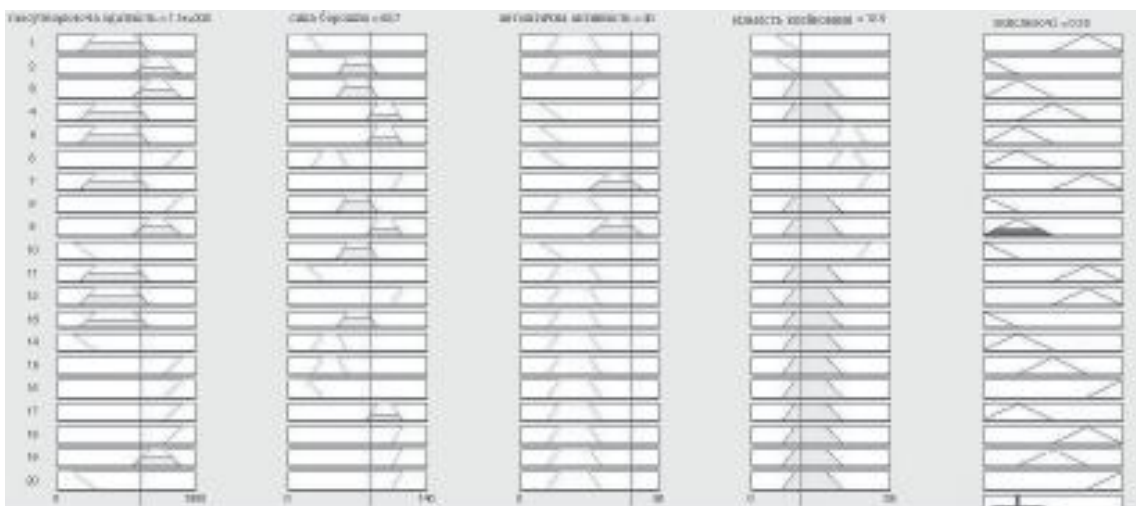
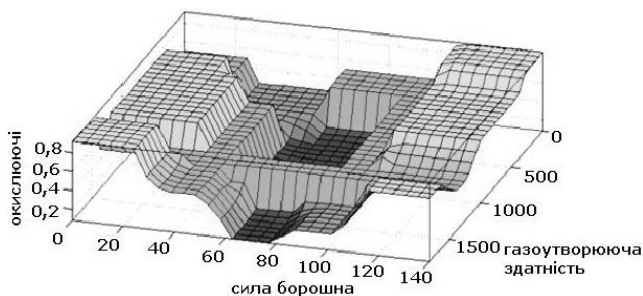


Рис 2. Функції належності сили борошна

На рис. 3 для прикладу показано процес одержання логічного виведення для формування рекомендації щодо доцільності вибору окислюючого поліпшувача при значеннях газоутворюючої здатності — 1100, сили борошна — 83.7, автолітичної активності — 40 і кількості клейковини — 12.5.



**Рис 3. Логічне виведення рекомендації щодо доцільності застосування окислюючих поліпшувачів**



**Рис 4. Залежність вибору окислюючих поліпшувачів від газоутворюючої здатності та сили борошна**

Для створеної системи нечіткого висновку для кожного з поліпшувачів були отримані функції поверхонь відгуку, яка у вигляді графіка показувала залежність будь-якої вихідної величини (у даному випадку — того чи іншого поліпшувача) від будь-яких двох (або однієї) вхідних змінних (показників якості борошна). На рисунку 4 наведена поверхня відгуку для вибору окислюючих поліпшувачів в залежності від показників газоутворюючої здатності та сили борошна.

**Висновки.** В результаті проведеної роботи отримана нечітка математична модель процесу визначення доцільності використання того чи іншого поліпшувача в залежності від хлібопекарських властивостей борошна, яка може бути покладена в основу розробки автоматизованої системи підтримки прийняття рішення, що може дозволити отримувати готову продукцію високої якості при переробці неякісного борошна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Швед С.М. Підходи до автоматизованого управління якістю хлібобулочних виробів / С.М. Швед, І.В. Ельперін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 2. — С. 10—13.
2. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва / В.І. Дробот. — К.: Логос, 2002. — 366с
3. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва / В.І. Дробот. — К.: Руслана, 1998. — 416с.
4. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 288с.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736с.



**С.Н. Швед, И.В. Эльперин**

**Система поддержки принятия решения при выборе  
улучшителей для повышения показателей качества муки**

*Разработано алгоритмическое, математическое и программное обеспечение автоматизированной системы поддержки принятия решения, которая на основе анализа и обработки информации о показателях качества муки формирует решение-рекомендацию оператору-технологу целесообразность использования того или иного улучшителя в зависимости от хлебопекарских свойств муки, которое планируется перерабатывать в процессе изготовления хлебобулочных изделий.*

**Ключевые слова:** *улучшитель, свойства муки, нечеткая логика, система поддержки принятия решений*

**S. Shved, I. Elperin**

**Decision making support system for choosing  
food additives for flour quality indicators increase**

*To achieve a high quality in bakery production while using a low quality flour, a wide range of food additives can be used. To increase efficiency of food additives choosing it's offered to develop automated decision making support system. There is a high uncertainty level in the process of transformation of raw materials into finished food and a lot of processes can't be described using usual mathematical algorithms and formal logic. That's why it's expedient to use fuzzy logic for decision making processes. With a help of experts a database of heuristic rules of choosing food additives in dependence of flour quality indicators was developed. Using this heuristic rules and Mamdani algorithm it's possible to make a logical decision about choosing of specific food additive. To implement this algorithm a Matlab extension, Fuzzy logic toolbox, was used. The results will be used as the basis for the development of automated decision making support system which will allow to increase the quality of finished food while using low quality flour.*

**Key words:** *food additives, flour properties, fuzzy logic, decision support system*

---

*e-mail: jimp@ukr.net*

*Надійшла до редколегії 15.05.2012 р.*