

УДК 004.827

Л.М. Маркіна, Д.С. Городинський

Луцький національний технічний університет

## **МЕТОДИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В УПРАВЛІННІ ПРОЦЕСОМ ВОДНО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СПИРТУ**

*Маркіна Л.М., Городинський Д.С. Методи нечіткої логіки в управлінні процесом водно-теплової обробки при виробництві спирту . Проведено огляд та моделювання впливу параметрів в водно-тепловій обробці на зміну концентрації суслу на виході методом нечіткої логіки.*

**Ключові слова:** водно-теплова обробка, заміс, нечітка логіка, модель, концентрація замісу, лінгвістичні змінні, кластери.

*Рис. 7. Літ. 10.*

**Постановка проблеми.** Новий етап розвитку ринкових відносин диктує для спиртової галузі актуальні завдання впровадження ефективних технологій, що забезпечують зниження всіх виробничих витрат, дозволяючи стабільно отримувати високоякісну спиртову продукцію.

Поруч прогресивних спирт-заводів вже впроваджені сучасні системи автоматизованого управління процесами брагоректифікації (основний процес спиртової технології) на основі мікропроцесорних систем автоматичної підтримки параметрів виробництва спирту. Вони показали високу якість управління технологічними процесами спирт-заводу. Асортимент застосовуваних датчиків, виконавчих механізмів, а також мікропроцесорних контролерів забезпечує недосяжний раніше рівень точності вимірювань, обробки (передачі) сигналів у системах автоматизації спиртових підприємств. Застосовувані багатоканальні мікропроцесорні контролери, об'єднані єдиною локальною промисловою мережею, здатні вирішувати завдання автоматичного керування технологічним процесом виробництва спирту в режимі реального часу.

Розробка та впровадження сучасних АСУ ТП для оптимізації режимів роботи технологічного комплексу по випуску спирту представляє складне завдання, що вимагає значних часових витрат, а також матеріальних ресурсів. Спиртозаводу, щоб користуватись попитом на ринку спирту в умовах існуючої конкуренції, необхідно випускати продукцію найвищої якості з мінімальною собівартістю. У разі спиртового виробництва це означає перехід на випуск спирту сортів «Екстра», «Люкс», «Альфа». Отримання спиртової продукції високої якості вимагає чіткої підтримки параметрів технологічних процесів відповідно регламенту виробництва спирту, якого не можливо досягти вручну. Виробники алкогольних напоїв, які прагнуть шляхом вдосконалення якості продукту завоювати визнання споживача, знають - використання якісного спирту з порушенням параметрів виробництва призводить до отримання неякісної горілки. Практично всі, що очолюють ринок спирту компанії, намагаються оснащувати свої виробництва сучасними, надійними системами автоматизації.

Впровадження нових технологій на базі автоматизованих систем управління технологічними процесами спиртового виробництва часто проводиться локально, без урахування глибоких взаємозв'язків між різними технологічними підсистемами спиртозаводу. Це нерідко призводить до того, що ефект від впровадження отримуємо менше очікуваного, а часом породжує нові «вузькі місця» виробництва спиртової продукції. Тому модернізація технологічних об'єктів спиртової галузі із застосуванням автоматизованих систем управління повинна проводитися на основі комплексного підходу. А впровадження сучасних, надійних АСУ ТП спиртової промисловості - це підвищення економічної і технічної ефективності, а також безпеки виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спиртова галузь України – одна із найбільш технічно розвинутих галузей. Сучасний науково-технічний рівень технології спирту як науки досягнуто завдяки розробкам видатних учених багатьох країн, у тому числі і вчених України (В.М. Швець, В.А. Домарецький, В.О. Маринченко, П.Л. Шиян, С.Т. Олійнічук, Т.О. Мудрак та ін.), які брали участь в її створенні та вдосконаленні.

Етиловий спирт широко застосовується в багатьох галузях народного господарства і може бути використаний як моторне паливо як у чистому вигляді, так і у вигляді високооктанової добавки до бензину. Сировиною для етилового спирту, який використовується на технічні потреби, може бути більш дешеве фуражне та нетрадиційне зерно.

На сьогодні одним із першорядних завдань соціально-економічного розвитку України є зменшення дефіциту енергоносіїв шляхом розробки та впровадження у виробництво ресурсо- та енергозберігаючих технологій нового покоління.

Завдяки досягненням світової біотехнології останніми роками налагоджено виробництво термостабільних ферментних препаратів селективної дії, що дало можливість розробити енерго- та ресурсозберігаючу технологію спиртової бражки, яка передбачає об'єднання процесу розварювання зернової сировини та ферментативного гідролізу крохмалю.

Особливості переробки різних видів зернової сировини, а також вплив ступеня дисперсності зерна на процес розріджування та оцукрювання крохмалю з використанням висококонцентрованих ферментних препаратів при низькотемпературному розварюванні в спиртовому виробництві недостатньо вивчені і потребують подальших досліджень з метою поліпшення гідролізу його некрохмальних полісахаридів.

У зв'язку з цим назріла необхідність дослідити та оптимізувати енерго- ресурсозберігаючу технологію спиртової бражки з різних видів крохмалевмісної сировини при низькотемпературній термоферментативній обробці зернових замісів концентрованими ферментними препаратами селективної дії[3].

**Невирішені частини проблеми.** Вчені які займаються проблематикою виробництва спирту, а саме водно-теплова обробка, до цього часу не використовували нечітку логіку.

**Метою дослідження** є створення нечіткої моделі впливу кількості води, кількості зерна, фільтрату барди, вологості зерна та температури води на вихідне значення концентрації сусла.

**Виклад основного матеріалу.** Основні технологічні параметри, що впливають на процеси одержання спиртової бражки, є вид і якість сировини, ступінь її подрібнення, концентрація сухих речовин зернового замісу, температура та експозиція його термоферментативної обробки, рН, місце введення ферментних препаратів у технологічний процес, їх композиція та питомі витрати.

Головним технологічним параметром системи який необхідно підтримувати є концентрація крохмалю у водно-зерновій емульсії. Практика показує, що не завжди вчасно помічається таке розбалансування яке призводить до порушення технології і в подальшому до втрат при виході спирту.

Ще одним аспектом який необхідно врахувати є те, що партії зерна для переробки відрізняються між собою різним вмістом крохмалю, вологістю і засміченістю. Дана обставина вимагає знову відрегулювати систему при переробці нової партії з параметрами зерна, що відрізняються від попередньої. В цих динамічних умовах суміш із чана замісу повинна завжди надходити в необхідній кількості і оптимальної концентрації.

В умовах виробництва з неперервним швидкісним розварюванням неперервне вимірювання і регулювання крохмалистості замісу або вмісту у ньому сухих речовин має велике значення.

Існуючі системи автоматизації відділення водно-теплової обробки та оцукрювання крохмалю не враховують невизначеність та не забезпечують достатньої ефективності управління у підтриманні параметрів технологічного процесу в регламентних межах.

Традиційні математичні методи, які використовуються для аналізу таких процесів не дозволяють описувати причинно-наслідкові зв'язки між впливаючими факторами та вихідною величиною на природній мові, що моделює логіку суджень спеціаліста-експерта з застосуванням нечислової і нечіткої інформації. Тому для більш ефективної роботи даної ділянки технологічного процесу необхідно отримати математичні моделі технологічних об'єктів, в яких враховуються реальні особливості системи управління.

Застосування теорії нечітких множин для розв'язання задач по підтриманню технологічних параметрів в регламентних режимах на базі лінгвістичного підходу допоможе знизити енергозатрати, оптимізувати умови розрідження та оцукрення крохмалевмісного сусла, підвищити бродильну активність дріжджів та вихід спирту.

Основу проектування інтелектуальних нечітких систем складає конструювання «знань» із застосуванням методів подання та пошуку знань. В теорії штучного інтелекту представлення знань в управляючих системах здійснюється логічними, реляційними, фреймовими та продукційними мовами. Враховуючи таку важливу специфіку роботи системи автоматизованого регулювання, як реальний режим роботи (on-line) та зручність формалізації інформації про процедури та умови їх застосування, в подальшому зупинимось на продукційній моделі знань в нечітких системах. Кожна продукція, що має множину пар «ситуація+дія», дозволяє ставити у відповідність ситуації, що склалася, реакцію системи у вигляді значень регулюючого діяння на об'єкт. Ліва частина

кожної продукції розглядається як кон'юнкція елементарних перепещійних умов, а права частина – як множина елементарних дій[2].

**Метою дослідження** є створення нечіткої моделі впливу кількості води, кількості зерна, фільтрату барди, вологості зерна та температури води на вихідне значення концентрації сусла.

**Основні результати досліджень.** Застосування теорії нечітких множин для розв'язання задач по підтриманню технологічних параметрів в регламентних режимах на базі лінгвістичного підходу допоможе знизити енергозатрати, оптимізувати умови розрідження та оцукрення крохмалевмісного сусла, підвищити бродильну активність дріжджів та вихід спирту.

Прийняття рішень у проблемних технологічних системах та системах керування здійснюється в умовах апріорної невизначеності, обумовленої неточністю або неповнотою вхідних даних, стохастичною природою зовнішніх впливів, відсутністю адекватної математичної моделі функціонування, нечіткістю мети, людським фактором та ін. Невизначеність системи призводить до зростання ризиків від прийняття неефективних рішень, результатом чого можуть бути негативні економічні, технічні та соціальні наслідки.

Невизначеності у системах прийняття рішень компенсують за допомогою різноманітних методів штучного інтелекту. Для ефективного прийняття рішень при невизначеності умов функціонування системи застосовують методи на основі правил нечіткої логіки. Такі методи ґрунтуються на нечітких множинах і використовують лінгвістичні величини і висловлювання для опису стратегій прийняття рішень.

Методи нечітких множин особливо корисні за відсутності точної математичної моделі функціонування системи. Теорія нечітких множин дає можливість застосувати для прийняття рішень неточні та суб'єктивні експертні знання про предметну область без формалізації їх у вигляді традиційних математичних моделей.

З використанням теорії нечітких множин вирішуються питання узгодження суперечливих критеріїв прийняття рішень, створення логічних регуляторів систем. Нечіткі множини дають змогу застосовувати лінгвістичний опис складних процесів, встановлювати нечіткі відношення між поняттями, прогнозувати поведінку системи, формувати множину альтернативних дій, виконувати формальний опис нечітких правил прийняття рішень.

Математичний апарат теорії нечітких множин дозволяє побудувати модель об'єкта, базуючись на нечітких правилах. Нечіткі моделі описують явища і процеси реального світу на звичній мові за допомогою лінгвістичних змінних. Ці переваги обумовили широке використання нечіткої логіки для рішення задач автоматичного управління, прийняття рішень, прогнозування в різних прикладних галузях науки, техніки і економіки.

Далі також розглянемо залежності вхідних і вихідних даних, а також спробуємо побудувати кластерну модель для ділянки водно-теплової обробки при виробництві спирту. Кластеризація даних — задача розбиття заданої вибірки об'єктів (даних) на підмножини, що називаються кластерами, так, щоб кожен кластер складався з схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися. Основна мета кластеризації даних — знаходження груп схожих об'єктів у вибірці. Метод субстрактивної кластеризації припускає, що кожна точка є потенційним центром кластеризації і обраховує ймовірність того, що кожна точка буде центром кластеризації відповідно до густини оточуючих точок.

Для побудови кластерів використовується 6000 тис. даних: вхідні – витрата води, витрата зерна, фільтрат барди, температура води, вологість зерна та вихідний – концентрація сусла.

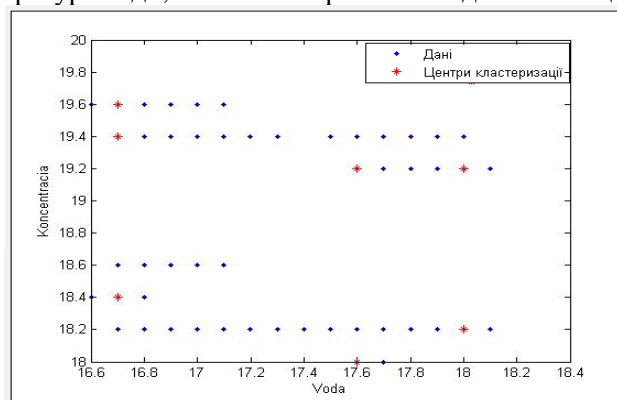


Рис. 1. Дані та центри кластеризації залежності зміни концентрації від кількості води

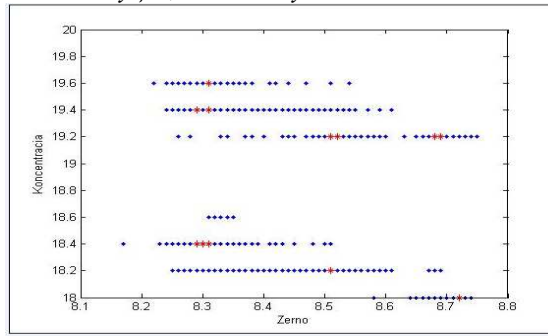


Рис.2. Дані та центри кластеризації залежності зміни концентрації від кількості зерна

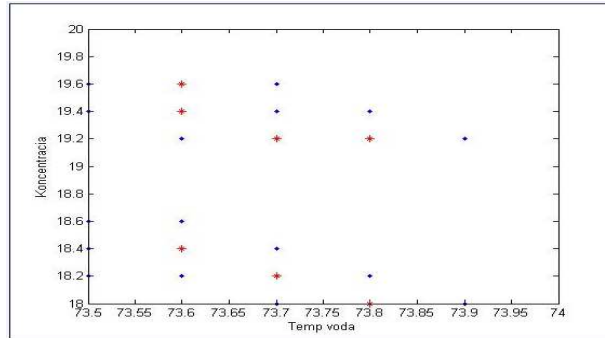


Рис.3. Дані та центри кластеризації залежності зміни концентрації від температури ВОДИ

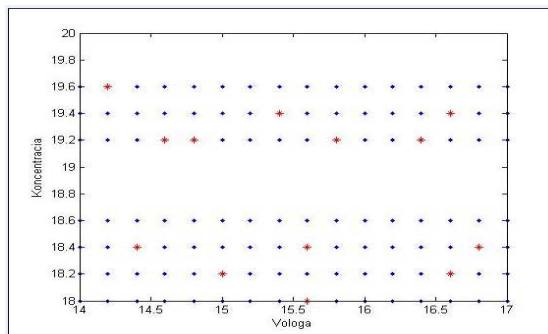


Рис.4. Дані та центри кластеризації залежності зміни концентрації від вологості зерна

Нечітка модель впливу температури води, вологості зерна, кількості зерна, кількості води, фільтрату барди на зміну концентрації сусла

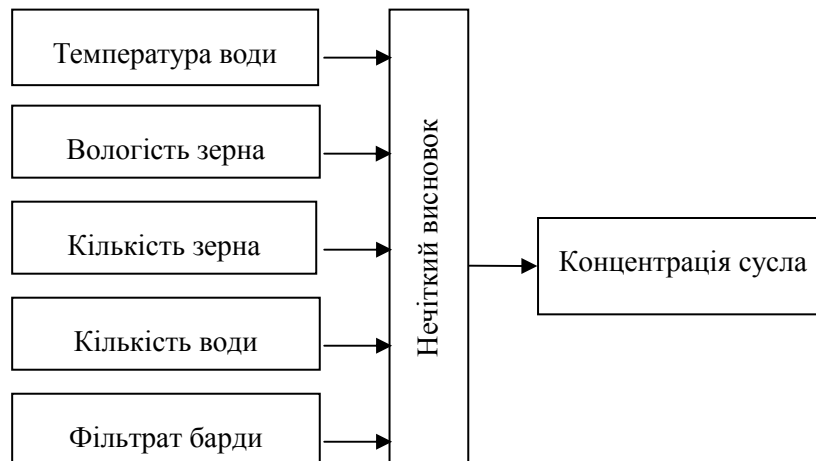
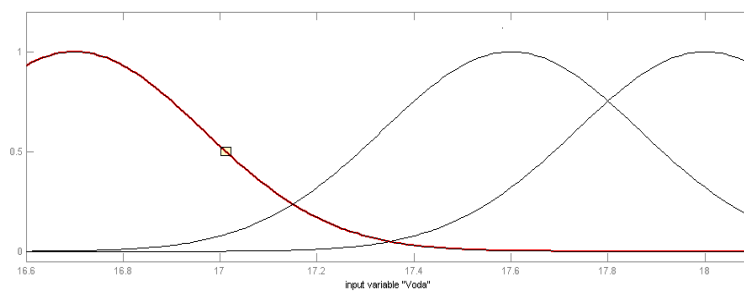
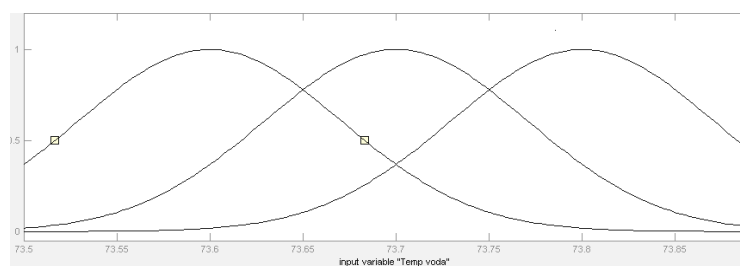


Рис.5 Механізм нечіткого вводу-виводу процесу впливу вхідних параметрів на концентрацію сусла.

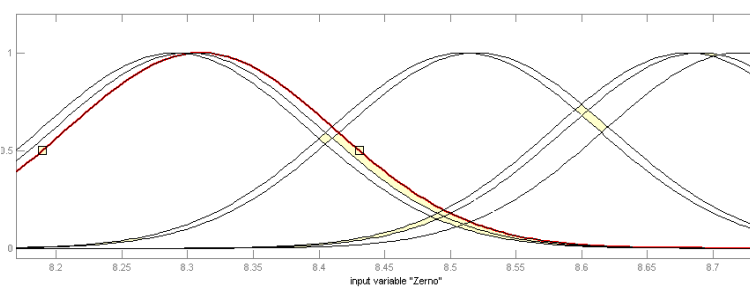
На основі отриманих кластеризованих даних була побудована відповідна нечітка модель.



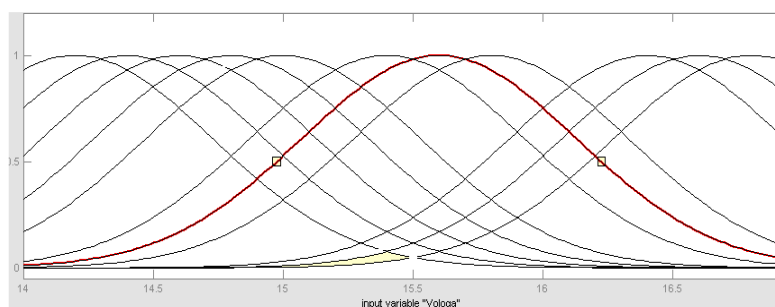
а)



б)



в)



г)

Рис.6. Отримані функції приналежності для вхідних змінних

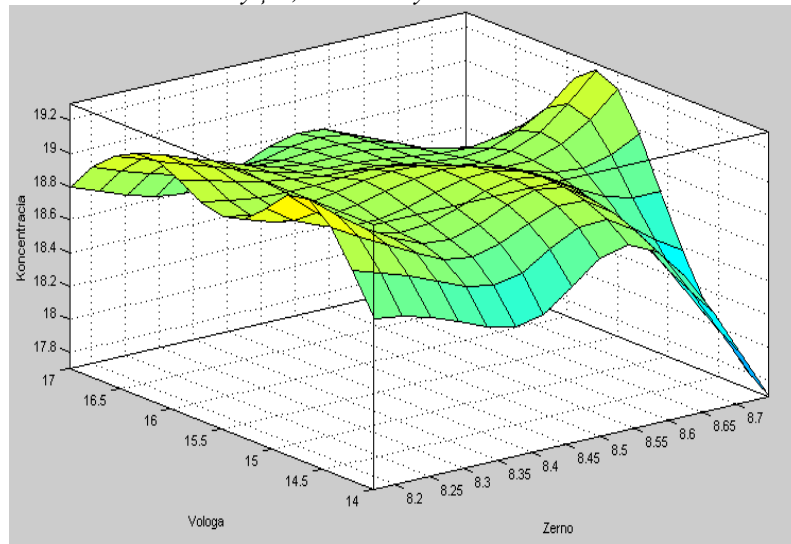


Рис.7. Поверхня нечіткого виводу отриманої моделі

Для остаточного аналізу розробленої нечіткої моделі може виявитися корисною програма перегляду поверхонь нечіткого виводу. Ця програма використовується для загального аналізу адекватності нечіткої моделі і дозволяє оцінити вплив зміни значення вхідних нечітких змінних на значення вихідної нечіткої змінної

**Висновки.** Вперше для побудови моделі процесу впливу кількості води та зерна, вологості, фільтрату барди та температури води на вміст сухих речовин застосовується нечіткий кластерний підхід, який дозволяє приймати рішення при дослідженні зміни вмісту сухих речовин і підвищити рівень інформації про процес на підставі суб'єктивних оцінок експертів.

**Перспективи подальших досліджень.** Для даної ділянки технологічного процесу ніколи раніш необхідно розробити нечіткий регулятор та створити алгоритми роботи, що допоможе керувати та регулювати параметри водно-теплової обробки при виробництві спирту.

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.-СПб.: БХВ-Петербург, 2003.-736 с.

2. Маринченко В.О., Шиян П.Л., Циганков П.С.Технологія спирту. / Під. ред. проф.. В.О. Маринченка. – Вінниця: "Поділля- 2000" , 2003. – 496с.

3. Технология спирта: [Учебник для вузов по спец. "Технология бродильных производств" / В. А. Устинников и др.]; Под ред. В. А. Смирнова. -М.: Легкая и пищевая промышленность, 1987. - 416с, ил.

4. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.И., КАПУСТЕНКО П.О., ХАВИН Г.Л. Основные технологии пищевых производств и энергосбережение. Харьков: НТУ «ХПИ», 2005.- 460с.

5.Технология спирта: [Учебник для вузов по спец. "Технология бродильных производств" / В. А. Устинников и др.]; Под ред. В. А. Смирнова. -М.: Легкая и пищевая промышленность, 1987. - 416с, ил.

6. Philip Wasserman. Neural Computing - Theory and Practice. 1989. – 230 с.

7.Соколов В. А. Автоматизация технологических процессов пищевой промышленности. - М: Агропромиздат, 1991. - 445с.

8.Автоматизация технологических процессов пищевых производств / Под ред. Е. Б. Карпина - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1985.-536с.

9.Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. – М.: Диалог-МГУ, 2000.-116с.

10. Menard M. Fuzzy clustering and switching regression models using ambiguity and distance rejects // Fuzzy Sets and Systems. 2001. Vol. 122. P.363-399.