

2. Гендрау, М. Мета-евристики для транспортної задачі [Текст] / М. Гендрау, Г. Лапорте, Ж.-И. Потвин // Технічний звіт СРТ-963. — Центр досліджень транспорту, Університет Монреалю, 1999.
3. Транспортна задача [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/ URL: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP>
4. Сарікліс, Д. Евристичний метод вирішення транспортної задачі [Текст] / Д. Сарікліс, С. Павел // Журнал суспільства дослідження операцій. — 2000. — № 51. — С. 564–573.
5. Ральфс, Т. Задача маршрутизації транспортних засобів з обмеженою вантажопідіймністю та деякі пов'язані проблеми [Текст] / Т. Ральфс, Дж. Хартман, М. Галаті. — Університет індустрії та системної інженерії Лехайгу, Університет Рутгерс, 2001. — С. 1–31.
6. Пічбібула, Т. Покращений алгоритм Кларка-Райта для задачі маршрутизації транспортних засобів з обмеженою вантажопідіймністю [Текст] / Т. Пічбібула, Р. Кавтумача // Наукова Азія. — 2012. — № 38. — С. 307–318.
7. Молчановський, О. І. Побудова початкового розв'язку для задачі маршрутизації транспортних засобів з підбором та доставкою [Текст] / О. І. Молчановський, А. Л. Любонько // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформаційні технології-2012». — 2012. — С. 256–260.
8. Метод Кларка-Райта [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/ URL: <http://lib.convdocs.org/docs/index-152162.html?page=4>
9. Метод імітації відпалу [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/ URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Simulatedannealing>
10. Розуміння імітації відпалу [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/ URL: <http://www.heatonresearch.com/node/727>
11. Тестові приклади задач [Електронний ресурс]. — Режим доступу: \www/ URL: <https://www.assembla.com/code/victorillac/git/nodes/5e17b1fcfed9fef7da913a0773279b578d6a911a/Instances/cvrvp/augerat.sol>

#### ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ, ВРЕМЯ ПОСТАВКИ И КОЛИЧЕСТВО ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В работе предложен мета-эвристический метод решения задачи поиска плана перевозки продукции с учетом ограни-

ченной грузоподъемности транспортных средств, ограниченного времени доставки и количества транспортных средств. Разработанный метод основывается на существующих: методе сбережения Кларка-Райта и методе имитации отжига. В работе продемонстрированы результаты расчетных экспериментов, которые были получены с помощью созданного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** задача маршрутизации транспортных средств, оптимальный план, мета-эвристический алгоритмы, стоимость маршрута.

*Шевченко Дар'я Сергіївна, кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: dashashevchenko1693@gmail.com.*

*Шевченко Анастасія Сергіївна, кафедра автоматизованих систем обробки інформації та управління, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: shevchenkonastya1693@gmail.com.*

*Шевченко Дарья Сергеевна, кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Шевченко Анастасия Сергеевна, кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Shevchenko Daria, National Technical University of Ukraine Polytechnic Institute», Ukraine,*

*e-mail: dashashevchenko1693@gmail.com.*

*Shevchenko Anastasiia, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine,*

*e-mail: shevchenkonastya1693@gmail.com*

УДК 663.52:681.542.2

Стеценко Д. О.

## РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНОЮ УСТАНОВКОЮ

В статті розглянуто брагоректифікаційну установку, як складний об'єкт управління, що працює в умовах невизначеності. Запропоновано один з ефективних підходів до управління на основі інтелектуальних алгоритмів. Обґрунтовано доцільність використання розглянутого підходу для реалізації ефективних стратегій управління. Приведено спосіб вирішення задачі за допомогою інтелектуальних систем.

**Ключові слова:** брагоректифікаційна установка, нечітка логіка, інтелектуальний алгоритм, лінгвістична апроксимація.

### 1. Вступ

Підвищення ефективності проходження основних процесів брагоректифікації [1] є однією з головних задач сучасних систем автоматизованого управління брагоректифікаційними установками. БРУ є складним, багатозв'язним об'єктом керування, в якому проявляються синергетичні ефекти функціонування [2] та існує певна ступінь невизначеності в ідентифікації нештатних

ситуацій, які виникають в результаті дії зовнішніх збурень. Для вирішення такої задачі керування необхідно застосувати новітні інтелектуальні технології в обробці показників стану об'єкта та формування керуючих дій.

Таким чином можна зробити висновок, що розглянутий підхід дозволить підвищити основні техніко-економічні показники функціонування процесів брагоректифікації на спиртових заводах України. Цим обґрунтовується актуальність проведення даних досліджень.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Не дивлячись на значний термін експлуатації брагоректифікаційних установок, на сьогоднішній день мають найбільше практичне використання тільки три основних підходи [2] до побудови систем автоматизованого управління БРУ:

- незалежна стабілізація режимів роботи БРУ [3];
- поздовжня стабілізація режимів роботи БРУ в залежності від якості бражки;
- поздовжня стабілізація режимів роботи БРУ 'з хвоста' процесу [3].

Проведемо детальний аналіз систем керування в основу яких покладено данні підходи.

Система з незалежною стабілізацією режимів роботи колон здійснює стабілізацію режимів у кожній колоні окремо, а узгодження режимів окремих колон виконує оператор вручну. Локальна система управління бражною колоною складається з трьох контурів, що здійснюють стабілізацію процесу брагоректифікації за наступними трьома каналами:

- витрата пари – тиск низу;
- витрата бражки – температура верху;
- витрата охолоджуючої води – температура води, що відходить. Регулятори працюють відповідно витратами бражки, пари і охолоджуючої води стабілізуючи на заданому рівні температуру в верхній частині колони, тиск в нижній частині колони і температуру води, що відходить з конденсатора. Описана система є найбільш простою по структурі з відомих аналогів, але відрізняється невисокою якістю стабілізації заданих режимів колон, незручністю обслуговування, особливо при необхідності змінити продуктивність БРУ [4].

Функціональна схема системи поздовжньої стабілізації режимів роботи БРУ в залежності від якості бражки – це так званий варіант стабілізації 'з голови' процесу, коли провідною колоною є бражна. Дана система відрізняється від попередньої тим, що витрата бражки стабілізується за допомогою одноконтурної системи управління, що полегшує перехід на іншу продуктивність колони. Збурення по концентрації етанолу в бражці компенсуються за допомогою керуючого впливу на витрату пари [4]. Для цього використовується каскадна система, побудована на базі локальних регуляторів. При зміні концентрації етанолу в бражці, температура у верхній частині колони відхиляється від заданої, коригувальним регулятором формується сигнал, пропорційний відхиленню. Цей сигнал подається як завдання на стабілізуючий регулятор. Таким чином, в залежності від температури, встановлюються різні завдання по тиску в нижній частині колони.

Остання система забезпечує поздовжню стабілізацію режимів роботи БРУ 'з хвоста' процесу основних продуктивних потоків при завданні продуктивності за цільовим продуктом на виході ректифікаційної колони [5]. Основу функціональної схеми системи складають три контури автоматизованого управління. Здійснюється стабілізація заданої продуктивності ректифікаційної колони, а отже і всієї установки по виходу спирту – ректифікату. Регулятор, впливаючи на витрату епюрата, підтримує необхідну температуру або концентрацію на контрольній тарілці ректифікаційної колони. Цим досягається

потрібна якість цільового продукту і відсутність втрат спирту в лютерній воді [6].

Кожен з цих підходів має свої переваги та недоліки, але не один з них повністю не відповідає вимогам виробництва в сучасних економічних умовах.

Метою проведених досліджень існуючих алгоритмів керування було запропоновано новітній підхід на основі інтелектуального алгоритму керування [6].

Для досягнення поставленої мети було необхідно вирішити наступні основні задачі:

1. Здійснити лінгвістичну апроксимацію по вхідним та вихідним змінним БРУ [7].
2. Створити чітку базу правил між вхідними та вихідними сигналами на основі експертних даних та аналізу існуючих алгоритмів керування.
3. Отримати поверхню відгуку залежності концентрації спирту на контрольній тарілці від вхідних сигналів [8].

## 3. Результати досліджень

Проведена лінгвістична апроксимація вхідних і вихідних сигналів. Метою нечіткого моделювання складних явищ є наближений опис залежності (апроксимація деякої функції)  $Y = f(X)$ , де  $Y$  – вихідна лінгвістична змінна;  $X$  – вектор вхідних лінгвістичних змінних розмірністю  $n$ ;  $f$  – залежність між  $X$  і  $Y$ , описувана сукупністю нечітких продукційних правил [8].

Нечіткі моделі представляють узагальнення інтервально-оцінованих моделей, які, в свою чергу, є узагальненням чітких моделей. В основі нечітких продукційних моделей лежать сукупність нечітких правил 'ЯКЩО-ТО', що описують залежності між нечіткими змінними предметної області, композиційне правило виведення і спосіб обчислення значень нечітких змінних (спосіб нечіткого виводу). Модель опису поведінки систем на природній (або близькій до природної) мові у вигляді наближених міркувань в теорії нечітких множин і нечіткої логіки, заснована на композиційному правилі виводу [9], являється системою нечіткого логічного висновку [9]. Проведемо апроксимацію по вхідній змінній, температурі відходячої води з дефлегматору бражної колони (рис. 1).

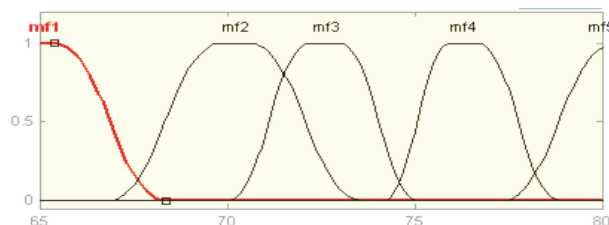


Рис. 1. Температура відходячої води з дефлегматору бражної колони

З експертних даних спиртових заводів України відомо, що температура води на виході дефлегматору бражної колони змінюється в межах 65–80 градусів, розібемо цей діапазон на п'ять термів, координати яких вказані в табл. 1.

Оскільки точно виміряти концентрацію спиртової суміші неможливо, то на практиці роблять висновок про концентрацію, по температурі верху бражної колони. Апроксимація функції належності температури верху

бражної колони наведена на рис. 2, а терм-множина в табл. 2.

Таблиця 1

Позначення та координати функцій належності

Позначення терму	Температура відход. Води з дефлегматора БК	Координати функції, яка апроксимує функцію належності
Mf1	Низька	[61.63 64.63 65.38 68.38]
Mf2	Нижче середнього	[66.8 69.8 70.6 73.6]
Mf3	Норма	[70.02 72.2 73 75.1]
Mf4	Вище норми	[74.16 75.96 76.66 78.87]
Mf5	Висока	[77.34 80.34 81.09 84.09]

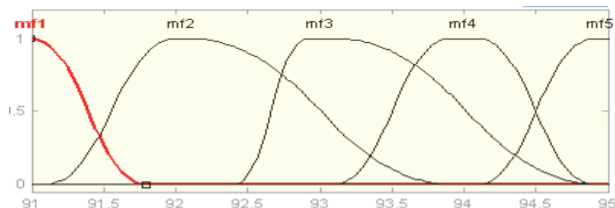


Рис. 2. Температура верху бражної колони

Таблиця 2

Позначення та координати функцій належності

Позначення терму	Температура верху БК	Координати функції, яка апроксимує функцію належності
Mf1	Низька	[89.99 90.79 90.99 91.79]
Mf2	Нижче середнього	[91.1 92 92.1 93.92]
Mf3	Норма	[92.41 92.91 93.11 94.93]
Mf4	Вище норми	[93.1 93.9 94.1 94.9]
Mf5	Висока	[94.1 94.9 95.1 95.9]

Ефективно впливати на хід розподілу фаз та якість всього технологічного процесу БРУ, можливо змінюючи тиск пари. Апроксимація функції належності тиску пари бражної колони наведена на рис. 3, а терм-множина в табл. 3.

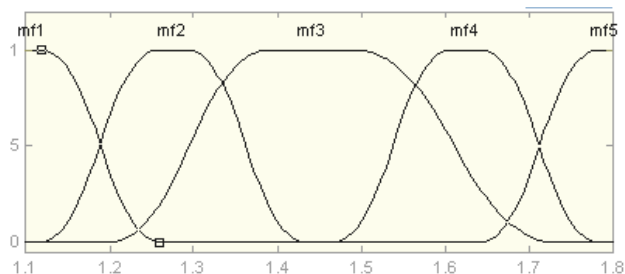


Рис. 3. Тиск пари низу бражної колони

Таблиця 3

Позначення та координати функцій належності

Позначення терму	Тиск низу БК	Координати функції, яка апроксимує функцію належності
Mf1	Низька	[0.9444 1.085 1.119 1.26]
Mf2	Нижче середнього	[1.117 1.258 1.293 1.433]
Mf3	Норма	[1.117 1.258 1.293 1.433]
Mf4	Вище норми	[1.468 1.607 1.643 1.783]
Mf5	Висока	[1.643 1.783 1.818 1.958]

Проведемо лінгвістичну апроксимацію вихідної величини, температури на контрольній тарілці, зображення функції належності температури контрольної тарілки бражної колони наведена на рис. 4, а терм-множина в табл. 4.

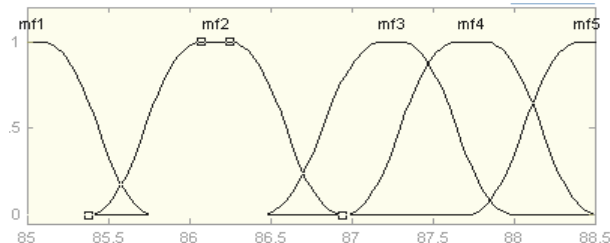


Рис. 4. Температура на контрольній тарілці бражної колони

Таблиця 4

Позначення та координати функцій належності

Позначення терму	Температура на контрольній тарілці	Координати функції, яка апроксимує функцію належності
Mf1	Низька	[84.21 84.91 85.09 85.79]
Mf2	Нижче середнього	[85.4 86.1 86.2 86.9]
Mf3	Норма	[86.44 87.2 87.3 88]
Mf4	Вище норми	[86.95 87.65 87.82 88.52]
Mf5	Висока	[87.7 88.4 88.6 89.3]

На основі логічних залежностей та продукційної моделі отримаємо графічне відображення функціонування нечіткої системи рис. 5.

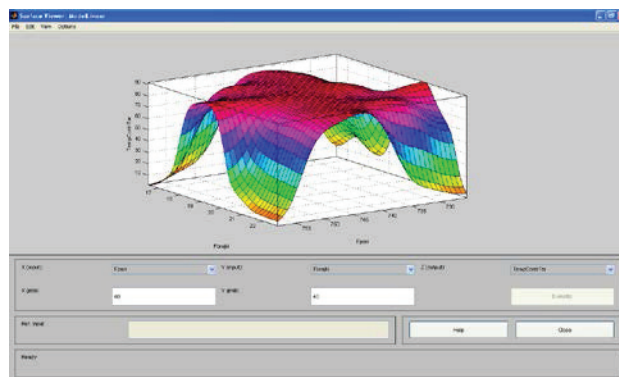


Рис. 5. Графічне представлення поверхні відгуку [10] по витраті пари та бражки на БРУ (відслідковування поздовжнього впливу)

## 4. Висновки

Таким чином отримані інтелектуальні алгоритми, та результати їх досліджених перевірок дозволили підтвердити адекватність отриманих результатів для можливої їх реалізації в підсистемах інтелектуального керування на брагоректифікаційних установках спиртових заводів України.

## Література

1. Стабников, В. Н. Ректификация в пищевой промышленности [Текст] / В. Н. Стабников, А. П. Николаев, М. Л. Мандельштейн. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 232 с.

2. Мандельштейн, М. Л. Математическая модель и статистические характеристики ректификационной колонны [Текст] / М. Л. Мандельштейн // Ферментная и спиртовая промышленность. — 1969. — № 1. — С. 11–16.
3. Цыганков, П. С. Ректификационные установки спиртовой промышленности [Текст] / П. С. Цыганков. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. — 336 с.
4. Смітюх, Я. В. Модель брагоректифікаційної установки як об'єкта керування [Текст] / Я. В. Смітюх, В. Д. Кишенько // Збірник наукових праць Кіровоградського Національного технічного університету. — 2004. — Вип. 15. — с. 229–234.
5. Хакен, Г. М. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах [Текст] : пер. с англ. / Г. М. Хакен. — М.: Мир, 1985. — 423 с.
6. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление: теория и практика [Текст] / Д. А. Поспелов. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
7. Смітюх, Я. В. Оптимізація управління процесами брагоректифікації [Текст] / Я. В. Смітюх // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси і системи. — 2006. — № 2. — с. 117–124.
8. Смітюх, Я. В. Дослідження процесу брагоректифікації з позицій синергетичного підходу керування [Текст] / Я. В. Смітюх, В. Д. Кишенько // Харчова промисловість. — 2004. — № 3. — с. 142.
9. Кишенько, В. Д. Конспект лекцій з дисципліни 'Інтелектуальні системи' [Текст] / В. Д. Кишенько. — К.: НУХТ, 2007. — 133 с.
10. Иглин, С. П. Математические расчеты на базе MATLAB [Текст] / С. П. Иглин. — БХВ: Петербург, 2005. — 640 с.

#### **РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ**

В статье рассмотрено брагоректификационную установку, как сложный объект регулирования, который работает в условиях неопределенности. Предложено один из эффективных методов управления на основе интеллектуальных алгоритмов. Обоснована целесообразность использования интеллектуальных алгоритмов для реализации эффективных стратегий управления. Приведены способы решения задачи с помощью интеллектуальных систем управления.

**Ключевые слова:** брагоректификационная установка, нечеткая логика, интеллектуальные алгоритмы, лингвистическая аппроксимация.

---

*Стеценко Дмитро Олексійович, аспірант, кафедра автоматизації процесів управління, Національний університет харчових технологій, Україна, e-mail: lsintay@gmail.com.*

---

*Стеценко Дмитрий Алексеевич, аспирант, кафедра автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий, Украина.*

---

*Stetcenko Dmitry, National University of Food Technologies, Ukraine, e-mail: lsintay@gmail.com*