

ЯРОЩУК Л. Д., к.т.н., доц.; ОРКУША Д. О., студент
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ У СИСТЕМІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИПАРНОГО АПАРАТА

Описано автоматичну систему керування рівнем соку у випарному апараті цукрового виробництва. Систему побудовано на положеннях нечітких множин і продукційних правил. Використання цих положень реалізовано у математичному забезпеченні нечіткого регулятора. Подано функції приналежності керованої змінної, керувального впливу та правила. Побудовано модель системи керування засобами *Simulink*. Виконано порівняння роботи систем керування з ПІ-регулятором і нечітким регулятором.

Ключові слова: цукор, випарний апарат, рівень соку, нечіткий регулятор.

Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень. Випарна установка (ВУ) займає центральне місце у хіміко-технологічній системі (ХТС) цукрового виробництва за складністю функцій та обсягом споживаної енергії. Установка складається з окремих випарних апаратів (ВА) [1]. Актуальною є проблема створення алгоритмів і систем керування процесом випарювання, спрямованих на зменшення енергетичних затрат із збереженням якості продукції.

Сучасні науково-технічні розробки з автоматизації випарювання, спрямовані на підвищення ефективності роботи ВА, присвячено визначенню й підтриманню оптимальних режимів [2], впровадженню нових технічних засобів автоматизації та сучасних алгоритмів управління [3-6]. Проте особливості кожного виробництва й сировини потребують специфічних рішень, зокрема математичного забезпечення систем керування. Найближчою до теми статті є праця [7], де розглянуто нечітку систему керування ВА цукрового виробництва, але в ній не розкрито математичний апарат, покладений в основу такої системи.

Метою статті є створення та дослідження автоматичної системи керування (АСК) рівнем соку у випарному апараті з нечітким регулятором та її порівняння із системою з традиційним ПІ-регулятором.

Виклад матеріалу дослідження. Буряковий сік надходить під нижню трубку решітку ВА і частково заповнює кип'ятильні труби нагрівальної камери. Під час кипіння об'єм соку збільшується, він заповнює кип'ятильні труби й виливається над верхньою трубною решіткою. Рівень соку в кип'ятильних трубах є важливим показником роботи ВА, оскільки він пов'язаний з умовами розкладання редуруючих речовин та їхньою взаємодією з амінокислотами, розчинністю солей кальцію, утворенням фарбувальних речовин тощо. Зазвичай цю змінну обирають так, щоб верхня трубна решітка омивалася соком, що кипить.

Для прикладу наведемо орієнтовні діапазони рівнів соку, що не кипить, в апаратах п'ятикорпусної випарної установки: у корпусі I – 30...35 %; II – 35...40%; III – 40...45%; IV – 45...50%; V – 50...55 % від загальної висоти кип'ятильних труб. У виробничих умовах рівень соку вибирають орієнтовно, базуючись на досвіді персоналу, оскільки через нестабільну поверхню кипіння він є псевдорівнем.

Автори пропонують реалізувати емпіричні знання фахівців в автоматичній системі керування, побудувавши її на математичних основах нечітких множин і нечіткої логіки. Для створення такої системи вибрано перший корпус ВУ, оскільки в ньому випарюється найбільша кількість вологи і в його нагрівальну камеру подають гостру пару (усі наступні обігривають вторинною парою). Вихідною змінною (керованою) в АСК вибрано рівень соку, керівною – частота обертання ротора насоса, що регулює подачу соку у ВА.

Реалізацію нечіткої системи виконано введенням до АСК нечіткого регулятора з лінгвістичними змінними «Помилка» (після відхиленню рівня від заданого значення) і «Кількість обертів». Моделювання системи нечіткого керування виконано в середовищі *MatLab* за допомогою бібліотеки *Simulink* (рис. 1).

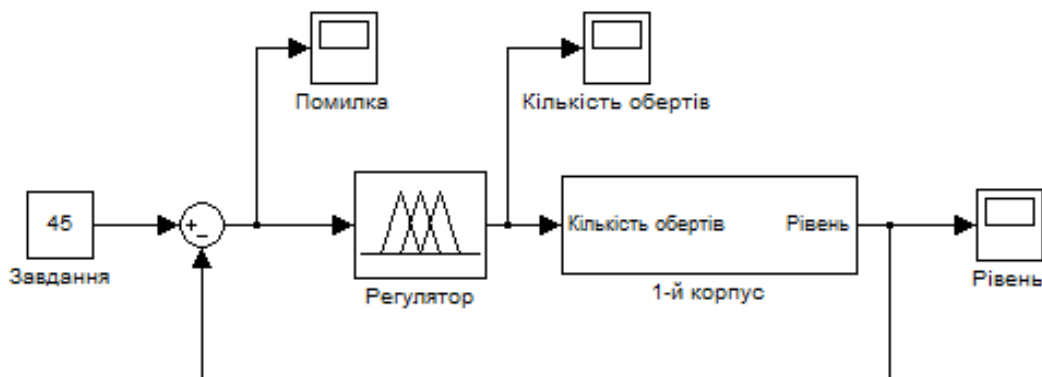


Рис. 1 – Структурна модель нечіткої системи керування рівнем

Для вхідної лінгвістичної змінної регулятора «Помилка» визначено універсум від мінус 15 до 15 % і вибрано терми: «Негативно велика», «Негативно мала», «Нульова», «Позитивно мала», «Позитивно велика» (рис. 2). Для вихідної лінгвістичної змінної регулятора «Частота обертання» – універсум 200...1010 хв^{-1} і терми «Дуже мала», «Мала», «Нормальна», «Велика», «Дуже велика» (рис. 3).

Синтез регулятора виконано в середовищі *MatLab* за допомогою пакета *Fuzzy Logic*. Використано алгоритм нечіткого висновку Мамдані.

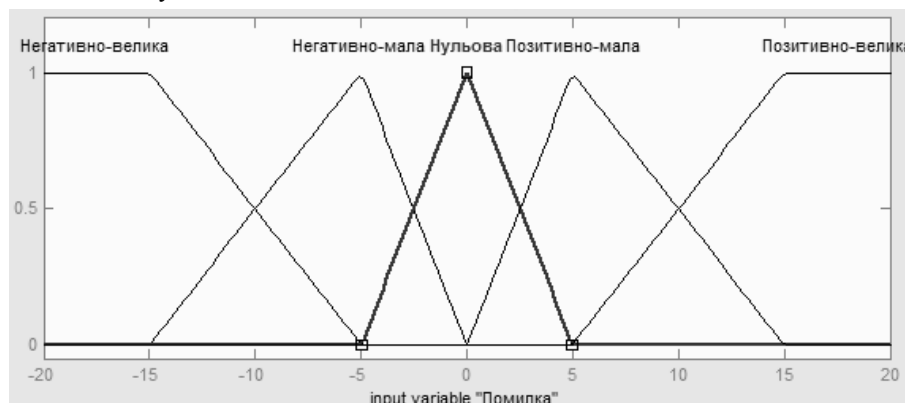


Рис. 2 – Документ *MatLab* із функціями належності для змінної «Помилка»

Для формування нечіткого сигналу керування сформовано п'ять правил, наприклад:

ЯКЩО Помилка «Негативно велика», **ТО** Кількість обертів «Дуже мала».

Канал керування «частота обертання → рівень соку» (на схемі позначено «1-й корпус») математично описано передавальною функцією, що за структурою відповідає аперіодичній ланці першого порядку [1].

Для перевірки цієї передумови й визначення параметрів вибраної структури проведено експеримент.

У першому корпусі ВУ фіксували тиск $P = 1,12$ бар за температури $t = 126$ °С. Далі встановлювали положення 50 % клапана відведення згущеного соку з корпуса. Тиск у корпусах ВУ змінювався незначно, оскільки було вибрано такий режим її роботи, під час якого парове навантаження було мінімальним.

За усталеного режиму випарювання, частоти обертання 590 хв^{-1} і рівні 42 %, було змінено кількість частоту до 610 хв^{-1} . Усталення нового рівня відбулося на 43,5 % протягом 270 с.

Опрацювання експериментальних даних дозволило одержати шукану передавальну функцію досліджуваного каналу, використану під час налаштування блока «1-й корпус» (див. рис. 1).

Подальші дослідження передбачали порівняння динамічних властивостей систем керування з нечітким і ПІ-регулятором (оптимально налаштованим). Роботу систем порівнювали, подаючи на регулятори однаковий сигнал завдання (рис. 4).

З'ясовано, що вихід рівня соку на нове завдання у нечіткій системі відбувається майже втричі швидше, при цьому майже відсутнє перерегулювання. Автори, однак, відзначають, що нечіткий регулятор досить складно налаштувати оптимальним чином через відсутність формальних підходів до вибору кількості та властивостей нечітких змінних, а також до формулювання правил продукції. Початкове налаштування нечіткого регулятора можливе тільки за наявності якісних знань фахівців.

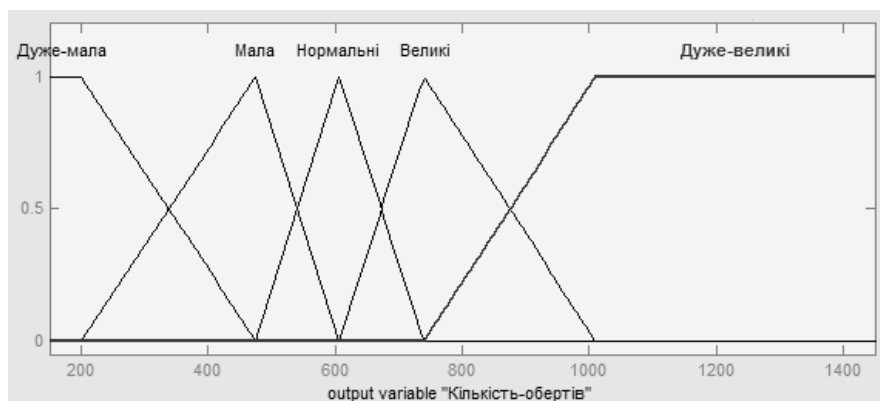


Рис. 3 – Документ *MatLab* із функціями належності змінної «Частота обертання»

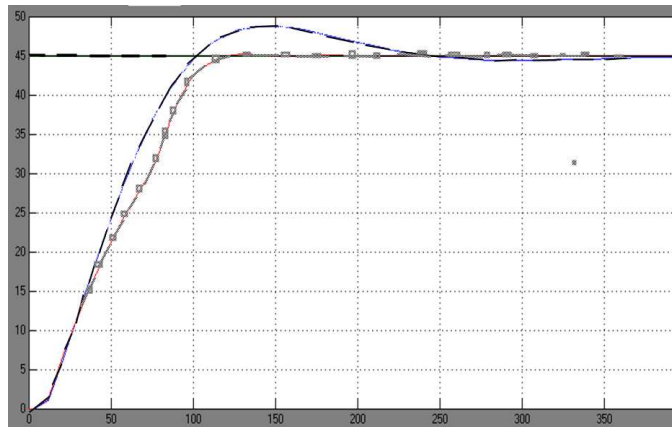


Рис. 4 – Перехідні характеристики замкненої системи з ПІ- (-□-) і нечітким (-) регуляторами

Висновки та перспективи подальших досліджень. Наведено моделі нечіткого регулятора системи керування рівнем соку у випарному апараті. Створено структурні моделі нечіткої автоматичної системи керування й системи з ПІ- регулятором у *MatLab + Simulink*. З'ясовано, що вихід рівня соку на нове завдання у нечіткій системі відбувається майже втричі швидше, при цьому практично відсутнє перерегулювання. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на адаптування нечіткого регулятора до виробничих умов.

Список використаної літератури

1. Таубман Е. И. Выпаривание / Е. И. Таубман. – М. : Химия, 1982. – 328 с.
 1. Ладієва Л. Р. Оптимізація плівкового апарату роторного типу за максимальною продуктивністю [Електронний ресурс] / Л. Р. Ладієва, Т. П. Зав'ялова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. – № 2 (20). – Режим доступа : <http://aaecs.org/ladva-lr-zavyalova-tp-optimizatsiya-plvkovogo-aparatu-rotornogo-tipu-za-maksimalnoyu-produktivnystyu.html>.
 2. Колязов К. А. Система управления энергозатратами для технологических процессов на основе нечетких алгоритмов : дис. ... канд. техн. наук / К. А. Колязов. – М. : МГУТУ им. К. Г. Разумовского, 2010. – 170 с.
 3. Sebastian G. Applications of fuzzy logic in sugar industries: A review / G. Sebastian, D. N. Kyatanavar // Int. J. of Eng. and Innovative Tech. (IJEIT). – 2012. – 1 (6). – P. 226-231.
 4. Lahtinen S. T. Identification of fuzzy controller for use with a falling-film evaporator / S. T. Lahtinen // Food Control. – 2001. – 12 (3). – P. 175-180.
 5. Оркуша Д. О. Нечітка система керування випарним апаратом / Д. О. Оркуша, Л. Д. Ярощук // Тези доп. Сьомої наук.-практ. конф. студентів. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 70 с.
- Пономарьов Я. Ю. Досвід використання нечітких регуляторів в системі автоматизації випарної установки [Електронний ресурс] / Я. Ю. Пономарьов, А. П. Ладанюк, В. В. Івашук // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2006. – № 2 (18). – Режим доступа : <http://aaecs.org/ponomarov-yayu-ladanyuk-ap-vashuk-vv-dosvd-vikoristannya-nechtkih-regulyatorv-v-sistem-atomatizac-viparno-ustanovki.html>.