

УДК 65.012

**НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ – ОСНОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ
ТЕМПЕРАТУРОЮ В РЕФРИЖЕРАТОРНИХ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ****Кічкін О.В., Кічкіна О.І.****FUZZY MODELING - THE BASIS OF INTELLECTUAL TEMPERATURE
CONTROL IN REFRIGERATOR VEHICLES****Kichkin A.V., Kichkina O.I**

В роботі розроблена інтелектуальна система управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах. Для цього вирішено задачу автоматизованого збору інформації про температурні параметри вантажів за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій для подальшої статистичної адаптації (“машинного навчання”) нечіткої моделі управління режимами температури в рефрижераторних автотранспортних засобах. Застосування інформаційних технологій і, зокрема, технології RFID спільно з нечітким моделюванням параметрів температури в рефрижераторних автотранспортних засобах забезпечило ефективне управління температурними показниками вантажів, що перевозяться.

Ключові слова: рефрижераторні автотранспортні засоби, нечітке моделювання, обладнання RFID, управління температурою, адаптація моделі.

Вступ. Найбільш активним напрямом удосконалення рефрижераторних автотранспортних засобів є системи управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання. При цьому слід відзначити, що подібні системи розвиваються у двох напрямках – автономному та дистанційному. Автономні системи управління рефрижераторних транспортних засобів передбачають наявність в конструкції комп’ютера (мікропроцесора), системи датчиків та сервомеханізмів, які реалізують управління температурою в середині кузова під контролем водія. Дистанційні системи реалізують ті самі функції під контролем менеджера офісу, що передбачає наявність спеціального програмного забезпечення, обладнання та надійних каналів зв’язку.

Слід відзначити перевагу дистанційних систем управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання, які знімають з водія непритаманні функції візуального контролю за роботою цього обладнання. Але обидва різновиди систем управління є системами підтримки прийняття рішень, де кінцеве рішення та, як наслідок, і результат залежать

від професійних якостей та фізичного стану людини, яка це рішення приймає.

Актуальність. Актуальним є створення автономної автоматизованої системи управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання без участі людини, але з її інтелектуальними можливостями. Що стосується інтелектуальної складової автоматизованої системи управління роботою холодильного та ізотермічного обладнання рефрижераторних автотранспортних засобів, то важливим удосконаленням є створення та практична реалізація на серійному обладнанні алгоритмів та відповідного програмного забезпечення, яке реалізує зворотній зв’язок у напрямку контролю температурного стану вантажу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів.

Мета роботи - створення інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою перевезення вантажів у рефрижераторних автотранспортних засобах.

Постановка проблеми. Реалізація поставленої мети вимагала вирішення наступних основних задач:

- створення технологічного рішення, яке дозволило здійснювати процес управління температурними режимами рефрижераторних автотранспортних засобів без участі людини, що зменшило ризик помилок людини та, як наслідок, втрат і псування вантажів;

- створення та реалізацію інтелектуальної автоматизованої системи контролю температурних станів вантажу та кузова рефрижераторного автотранспортного засобу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів.

Результати дослідження. Можливість реалізації технології автоматизованого контролю температури рефрижераторних автотранспортних за-

собів без участі людини виникає завдяки використанню серійного обладнання RFID та розробці відповідного програмного забезпечення, яке з ним працює. Для цього вантаж оснащується міткою RFID, яка містить дані про температурні режими перевезення цього вантажу. Для отримання цієї інформації рефрижераторний автотранспортний засіб оснащується також рідером RFID, який в автоматичному режимі зчитує дані з RFID-мітки вантажу та передає їх до бортового комп'ютеру транспортного засобу (як правило, це android-прилад).

Формування вантажної RFID-мітки відбувається за допомогою програмного забезпечення для створення вантажних товарно-транспортних документів, які оснащуються такою ж температурною RFID-міткою. Наявність на борту транспортного засобу електронних даних про температурні режими перевезення вантажу дозволяє програмним способом виставити температурний режим рефрижераторного автотранспортного засобу без участі людини та здійснювати постійний моніторинг температури в процесі перевезення даного вантажу в автоматизованому режимі.

Реалізація інтелектуальної автоматизованої системи контролю температурних станів вантажу та кузова рефрижераторного автотранспортного засобу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів передбачала використання RFID-міток вантажу та RFID-міток в середині кузова, які оснащені температурними датчиками для постійного моніторингу та фіксації температури (наприклад, DATS-612T) з формуванням відповідного електронного архіву (файла температурних станів конкретного різновиду вантажу в бортовому комп'ютері конкретного автотранспортного засобу-рефрижератора).

Інтелектуальна складова автоматизованої системи контролю температурних станів вантажу та кузова рефрижераторного автотранспортного засобу з можливістю самонавчання системи в реальних умовах перевезень різновидів вантажів передбачала створення математичної нейро-нечіткої моделі в середовищі MathLab Fuzzy Logic Toolbox з її програмною реалізацією на бортовому комп'ютері рефрижераторного автотранспортного засобу.

Нейро-нечіткому моделюванню підлягав критичний час роботи рефрижератора, необхідний для створення або підтримки певної температури різновиду вантажу. Вхідними змінними моделі є початкові температури вантажу, в середині кузова рефрижератора, маса вантажу, об'єм кузова рефрижератора, необхідна температура вантажу. При цьому необхідна температура та маса вантажу мають бути записані в RFID-мітку вантажу, а початкові температури вантажу та в кузові авторефрижератора вимірюються існуючим обладнанням. Об'єм кузова авторефрижератора залежить від конкретної моделі автотранспортного засобу. Важливим є те, що всі конструктивні зміни, пов'язані з встановленням необхідного обладнання відбуваються без стороннь-

ої участі та стосуються всіх існуючих моделей авторефрижераторів.

З метою параметризації розглянемо зв'язок вхідних та вихідних змінних моделі контролю часу корисної роботи рефрижератора. Наведемо перелік вхідних нечітких змінних :

X_1 - температура в кузові рефрижератора (еталонна),

X_2 - температура вантажу(еталонна),

X_3 - об'єм кузова рефрижератора ,

X_4 - температура в кузові рефрижератора (поточна),

X_5 - температура вантажу(поточна),

X_6 - маса вантажу,

При цьому вихідна нечітка змінна:

Y_1 - час корисної роботи рефрижератора для досягнення еталонної температури в кузові авторефрижератора,

При цьому вважається, що всі нечіткі змінні є лінгвістичними змінними з такими терм-інтервалами:

$\{Y_j\}$ - множина терм-інтервалів змінної Y ,

$\{X_{ij}\}$ - множина терм-інтервалів змінної X_i

$i = \overline{1,6}, j = \overline{1,8}$, де

i - кількість вхідних змінних моделі,

j - кількість терм-інтервалів відповідної змінної.

З урахуванням наведених змінних та їх зв'язків між собою у моделі контролю температури рефрижератора розглянемо наступну функцію $\varphi(x)$, яка узагальнює процес контролю:

$$Y = \varphi(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6)$$

Використаємо підхід до генерації множини правил, виходячи з можливих поєднань нечітких висловів в передумовах і висновках правил.

Оскільки спочатку сформована база правил напевно є надмірною — з однаковими передумовами та різними висновками, то набір правил необхідно оптимізувати. Зробити це можливо шляхом адаптації до наявних еталонних даних (навчальної вибірки), що призводить до істотного зменшення та до ліквідації суперечності правил, що залишаються в базі. Для створення бази правил нечіткого логічного виводу, які складають основу бази знань системи контролю температури авторефрижератора, необхідно побудувати логічні висловлювання взаємозв'язків вхідних та вихідних лінгвістичних змінних наступного вигляду, маючи на меті лише ті вхідні змінні, що безпосередньо забезпечують процес контролю температури:

$$\begin{aligned} & \text{ЯКЩО}(X_1 = X_{1j})\text{ТА}(X_2 = X_{2j})\text{ТА}(X_3 = X_{3j})\text{ТА}(X_4 = X_{4j}) \\ & \text{ТА}(X_5 = X_{5j})\text{ТА}(X_6 = X_{6j})\text{ТОДІ}(Y = Y_j) \end{aligned}$$

Подальші дії спрямовані на створення логічних висловлювань та матриць знань, що їх об'єднують. За допомогою цих висловлювань стає можливим деталізувати формалізацію за допомогою функції $\varphi(x)$:

- система нечітких логічних рівнянь, що відтворює залежність між відповідними значеннями терм-інтервалів вхідних змінних та вихідної змінної (залежність $Y = \varphi(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$) - має наступний вигляд:

$$\mu_{mfn}^Y = \bigvee_{j=1 \div 8} V \left(\bigwedge_{i=1}^6 \mu_{mfi}^{X_i} \right), \text{ де } n = 1 \div 8,$$

Дефазифікація вихідної нечіткої змінної значень часу роботи рефрижератора \tilde{Y} виконана методом центру тяжіння за формулою:

$$\tilde{Y} = \frac{\int_1^N y_n m f_j^Y(y_n) dy}{\int_1^N m f_j^Y(y_n) dy},$$

де N - діапазон значень відповідного часу роботи рефрижератора в Y , а $j = 1 \div 8$ - кількість терм-інтервалів значень нечіткої змінної.

Дефазифікація вхідних нечітких змінних параметрів температури, вантажу та об'єму кузова рефрижератора \tilde{X}_i виконана методом центру тяжіння за формулою:

$$\tilde{X}_i = \frac{\int_1^N x_n m f_j^{X_i}(x_n) dx}{\int_1^N m f_j^{X_i}(x_n) dx}$$

де N - діапазон значень відповідного параметру вантажу або рефрижератора в X_i , а $j = 1 \div 8$ - кількість терм-інтервалів значень нечіткої змінної та кількість відповідних параметрів вантажу та навантажувача $i = 1 \div 6$.

Деталізуємо далі відповідні нечіткі змінні за допомогою терм-інтервалів та побудуємо для них функції належності.

Для цього визначимо експертно-статистичну таблицю, яка є результатом опитування експертів по шкалі від 1 до 16, що займаються проблемою експлуатації автомобільних рефрижераторів.

Наведене опитування зведене в таблиці, що відповідають одному вихідному та 6-ти вхідним показникам.

Відповідні таблиці [2] зводяться до рядка, визначеного наступним чином:

$$k_j = \sum_{i=1}^8 b_{ij}, j = \overline{1,16}.$$

Вибравши максимальний елемент:

$$k_{\max} = \max k_j,$$

перетворимо всі b_{ij} у c_{ij} за формулою:

$$c_{ij} = \frac{b_{ij} k_{\max}}{k_j}, \text{ де } i = \overline{1,8}, j = \overline{1,16}.$$

Функції належності, які відповідають етапу фазифікації змінних моделі контролю температури авторефрижератора, можливо визначити наступним чином:

$$\mu_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i \max}},$$

де $c_{i \max} = \max c_{ij}, i = \overline{1,8}, j = \overline{1,16}$.

При цьому результати розрахунків функцій належності зведено в таблицях.

Графічний вигляд кусково-лінійних функцій належності нечітких змінних моделі за результатами розрахунків (Додаток Б) наступний (рис. 1).

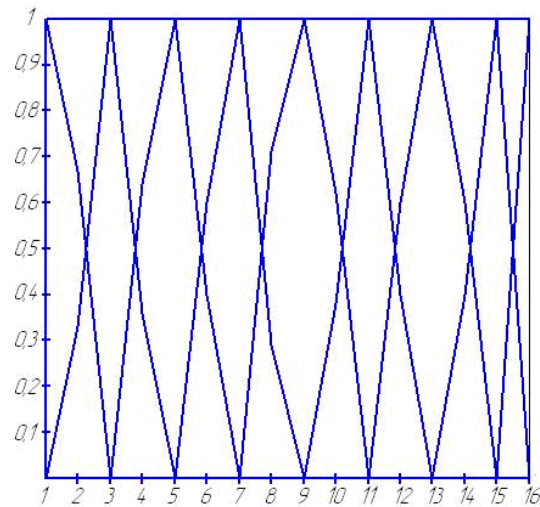


Рис. 1. Графічний вигляд функцій належності нечітких змінних за результатами розрахунків

Їх загальний вигляд свідчить про трикутну форму функцій належності відповідних змінних.

Створення трикутних функцій належності нечітких терм-інтервалів універсальної множини U відбувається за допомогою наступних функціональних виразів [1]:

$$\mu_j(U) = 1 - \frac{1}{K_i - 1} U, U \in [0, K_i - 1], j = 1$$

$$\mu_j(U) = \frac{1}{j - 1} U, U \in [0, j - 1], j = \overline{2, K_i - 1}$$

$$\mu_j(U) = \frac{K_i - 1}{K_i - j} - \frac{1}{K_i - j} U, U \in [j - 1, K_i - 1], j = \overline{2, K_i - 1}$$

$$\mu_j(U) = \frac{1}{K_i - 1} U, U \in [0, K_i - 1], j = K_i$$

Аналитичні вирази функцій належності апроксимованих з кусково-лінійних функцій належності, наведених розрахунково у таблицях (Додаток Б) та графічно на рис.1 мають наступний вигляд при наявності у нашій задачі моделі контролю температури авторефрижератора вісьмох термів у вхідних та вихідних нечітких змінних :

$$\mu_1(U) = 1 - \frac{1}{7} U, U \in [0, 7]$$

$$\mu_2(U) = U, U \in [0, 1]$$

$$\mu_2(U) = \frac{7}{6} - \frac{1}{6} U, U \in [1, 7]$$

$$\mu_3(U) = \frac{1}{2} U, U \in [0, 2]$$

$$\mu_3(U) = \frac{7}{5} - \frac{1}{5} U, U \in [2, 7]$$

$$\mu_4(U) = \frac{1}{3} U, U \in [0, 3]$$

$$\mu_4(U) = \frac{7}{4} - \frac{1}{4} U, U \in [3, 7]$$

$$\mu_5(U) = \frac{1}{4} U, U \in [0, 4]$$

$$\mu_5(U) = \frac{7}{3} - \frac{1}{3} U, U \in [4, 7]$$

$$\mu_6(U) = \frac{1}{5} U, U \in [0, 5]$$

$$\mu_6(U) = \frac{7}{2} - \frac{1}{2} U, U \in [5, 7]$$

$$\mu_7(U) = \frac{1}{6} U, U \in [0, 6]$$

$$\mu_7(U) = 7 - U, U \in [6, 7]$$

$$\mu_8(U) = \frac{1}{7} U, U \in [0, 7]$$

Побудова нечіткої моделі контролю температури авторефрижератора на мінімум вісьмох терм-інтервалах нечітких змінних обумовлена необхідністю найточнішого моделювання температурних режимів роботи авторефрижератора.

Треба відзначити, що в процесі реалізації цієї задачі було висунуто декілька попередніх умов:

- модель логічного виведення – це модель Мамдані [3], що відповідає вимогам нашої задачі;
- вхідні та вихідні нечіткі логічні змінні мають трикутну форму функцій належності, що

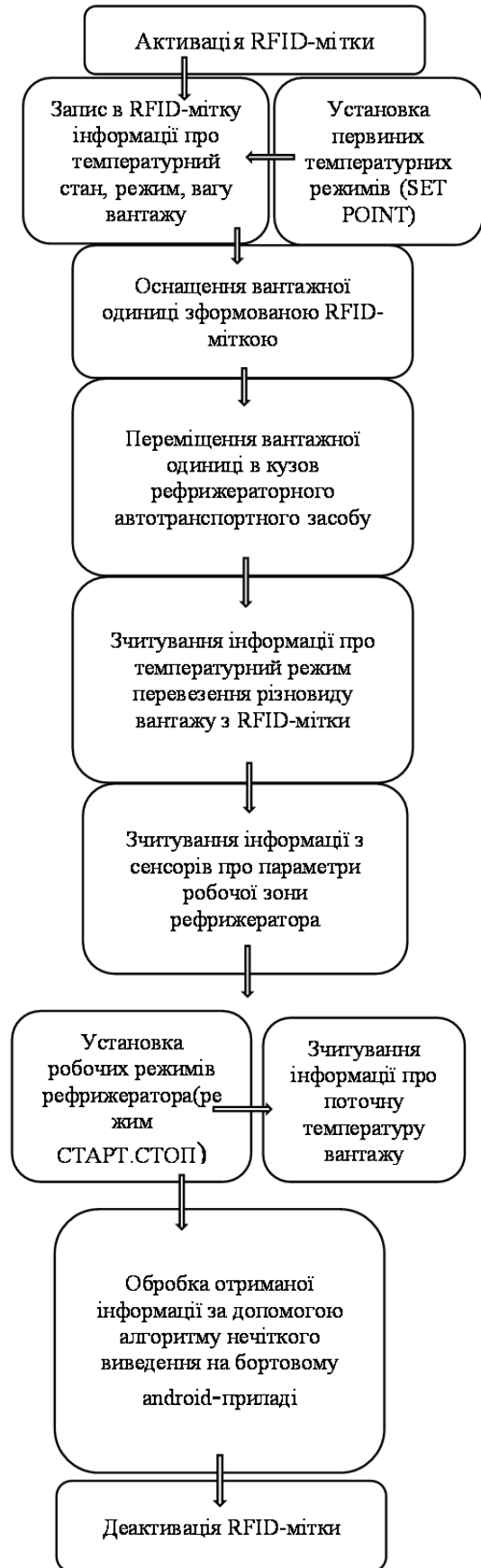


Рис. 2. Блок-схема інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах

відповідає наведеним вище розрахункам цих функцій на основі експертних даних;

– кількість терм-інтервалів відповідних змінних дорівнює мінімум вісьмом;

– відповідні терм-інтервали нечітких логічних змінних є елементом моделювання і можуть змінюватися в залежності від моделі рефрижератора та визначеної кількості терм-інтервалів.

Загальна функціональна блок-схема інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах має наступний вигляд.

Висновки. Результатом побудови системи нечітких рівнянь, які складають математичний сенс досліджуваної задачі, було створення на їх основі продукційної моделі контролю температури в рефрижераторних автотранспортних засобах. Адаптація продукційної моделі контролю температури зроблена для моделі рефрижератора Thermo King SLXe 300 з метою удосконалення створеної моделі до реальних умов експлуатації використанням адаптивного нейромережевого виведення (ANFIS). Створена модель складає основу реалізації інтелектуальної автоматизованої системи управління температурою в рефрижераторних автотранспортних засобах.

Література

1. Сявавко М. С. Інтелектуалізована інформаційна система «Нечіткий експерт» / М. С. Сявавко // - Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. – 320с.
2. Saaty T. L. Measurement the fuzziness of sets // J. of cybernetics. -1974.-No4.- P. 53-61.
3. Mamdani E. H. Applications of Fuzzy algorithms for control of Simple Dynamic Plant, Proceedings of IEE / E. H. Mamdani // w. 121, pp. 1585-1588, 1974. – 256 p.
4. Алиев Р. А. Интеллектуальные роботы с нечеткими базами знаний / Р. А. Алиев // -М: Радио и связь. 1994. – 178 с.
5. Horikawa S. A study on fuzzy modeling using fuzzy neural networks / S. Horikawa, T. Furuhashi, Y. Uchikawa, T. Tagawa // IFES 1991, 562-573.
6. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя / В. П. Дьяконов // -М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 576 с
7. <http://www.holod-avto.ru/service/instruktiontermoking.html>

References

1. Syavavko M. S. Intelktualizovan iinformatsiyna system "Nechitsky expert" / M. S. Syavavko // - Vidavnichy center LNU im. Ivan Franka, 2007. - 320 p.
2. Saaty T.L. Measurement the fuzziness of sets // J. of cybernetics. -1974.-No4.- p. 53-61.
3. Mamdani E. H. Applications of the IEE / E. H. Mamdani // w. 121, pp. 1585-1588, 1974. - 256 p.
4. Aliyev R. A. Intelligent robots with fuzzy knowledge bases / R. A. Aliyev // -M: Radio and communication. 1994. - 178 s.

5. Horikawa S. A study on fuzzy modeling using fuzzy neural networks / S. Horikawa, T. Furuhashi, Y. Uchikawa, T. Tagawa // IFES 1991, 562-573.
6. Dyakonov V.P. MATLAB 6 / 6.1 / 6.5 + Simulink 4/5 in mathematics and modeling. The complete user manual / V. P. Dyakonov // -M. : SOLON-Press, 2003. - 576 p.
7. <http://www.holod-avto.ru/service/instruktiontermoking.html>

Кичкин А.В., Кичкина Е.И. Нечеткое моделирование - основа интеллектуального управления температурой в рефрижераторных автотранспортных средствах

В работе разработана интеллектуальная система управления температурой в рефрижераторных автомобилях. Для этого решена задача автоматизированного сбора информации про температурные параметры грузов за счет применения современных информационных технологий для дальнейшей статистической адаптации ("машинного обучения") нечеткой модели управления режимами температуры в рефрижераторных автомобилях. Применение информационных технологий и, в частности, технологии RFID совместно с нечетким моделированием параметров температуры в рефрижераторных автомобилях обеспечило эффективное управление температурными показателями перевозимых грузов.

Ключевые слова: рефрижераторные автотранспортные средства, нечеткое моделирование, оборудование RFID, управление температурой, адаптация модели

Kichkin A.V., Kichkina O.I. Fuzzy modeling – the basis of intellectual temperature control in refrigerator vehicles

An intellectual temperature control system for refrigerated vehicles is developed in the article. To do this, the task of automated collection of information on temperature parameters of cargoes was solved by the use of modern information technologies for further statistical adaptation ("machine learning") of a fuzzy model of temperature control regimes in refrigerated vehicles. The use of information technology and, in particular, RFID technology combined with fuzzy simulation of temperature parameters in refrigerated vehicles provided efficient control of the temperature indices of transported cargoes.

Keywords: refrigerated vehicles, fuzzy modeling, RFID equipment, temperature control, adaptation of the model.

Кічкін О.В. – ст. викладач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: kichkin@ukr.net

Кічкіна О.І. – к.т.н., доц. кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім.В.Даля, e-mail: ki4kinaoi@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. Горбунов М.І.

Стаття подана 10.04.2019