



УДК 004.78.621.311

**IMPROVED HEAT SUPPLY CONTROL SYSTEM
УДОСКОНАЛЕНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯМ****Savka N.Ya. / Савка Н.Я.***PhD, As.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4182-7867

*West Ukrainian National University, Ternopil, Olena Teliha 8, 46003**Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Олени Теліги 8, 46003***Pohorilets A.V. / Погорілець А.В.***Separate structural subdivision "Ternopil Professional College" of**Ternopil Ivan Puluj National Technical University,**Ternopil, Lesya Kurbasa 13, 46003**Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж»**Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,**Тернопіль, Леся Курбаса 13, 46016*

Анотація. Проаналізовано принцип функціонування системи постачання теплоносія споживачам, зазначено основні проблеми й запропоновано можливі шляхи їх розв'язання. Відзначено, що ключовим у модернізації систем теплопостачання є економія енергоресурсів на основі впровадження індивідуальних теплових пунктів. Оскільки погодні умови є швидкозмінними параметрами системи автоматизації, запропоновано апарат нечіткої логіки для їх моделювання. Удосконалено систему автоматизації індивідуального теплового пункту на основі нечіткого контролера. Результатами експериментів показано перспективність впровадження такої системи при модернізації систем опалення.

Ключові слова: автоматизована система, тепломережі, система керування, нечітка система, нечіткий контролер.

Вступ.

В теперішній час система теплопостачання країни є морально застарілою, проте вартість послуги становить лівову частку нарахувань щомісячних комунальних платежів. В той же час діяльність підприємств теплових мереж є збитковою та не енергоефективною через суттєве зменшується кількості споживачів шляхом від'єднань від централізованої системи теплопостачання, застарілість обладнання.

Типова система постачання теплової енергії унеможливорює регулювання параметрів теплоносія у внутрішніх системах опалення будинку. Для забезпечення безперебійної роботи системи підприємства змушені подавати теплоносій підвищеної температури, що часто призводить до «перегріву» будинку, так званого «тепла на вітер», особливо за умов вищої від норми температури зовнішнього повітря. Таке марнотратне теплонадходження дорого обходиться споживачам. В той же час часто при низьких температурах спостерігається не достатній обігрів приміщень, що зумовлює залучення додаткових джерел теплової енергії та збільшення витрат.

Проблема модернізації систем теплопостачання є ключовою у дослідженнях відомих науковців. Зокрема у [1] описано методи оптимізації та оцінки економічної ефективності теплопостачання з метою економії паливних та енергоресурсів. Розроблено методичні рекомендації щодо вибору оптимальних систем постачання теплової енергії та шляхів реконструкції тепломереж.



Імітаційна модель у [2] слугує підґрунтям для прийняття рішень щодо керування тепломережами на основі реалізації ефективних напрямків та технологій діяльності сфери теплоенергетики. Моделювання залежності температури приміщення багатоквартирного будинку від температури зовнішнього середовища, теплоносія та потужності опалювальної системи у [3] здійснено на основі регресійного аналізу. Однак такі моделі не здатні описати всіх станів системи керування, оскільки ґрунтуються на точних значеннях вхідних параметрів, що у результаті призводить до не ефективних рішень.

Оптимізація витрат енергетичних ресурсів систем тепlopостачання потребує модернізації та впровадження інноваційних технологій. Сьогодні спостерігається досить активне встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП) як сполучної ланки між тепломережами та споживачами, що оснащені механізмами автоматизованого керування параметрами теплоносія у внутрішній системі будинку, зважаючи на погодні умови. Впровадження таких засобів автоматизації є першочерговим завданням процедури модернізації. Проте ключовим напрямком збереження енергетичних ресурсів у централізованих системах є удосконалення систем автоматизації ІТП на основі сучасних технологій із врахуванням невизначеності факторів впливу.

Постановка задачі.

Погодні умови – це змінні у часі параметри системи із деякою невизначеністю. За таких умов застосування статистичних методів унеможливорює побудову адекватної системи керування. Для прийняття рішень в умовах невизначеності сьогодні досить часто застосовують методи опрацювання нечітких даних, зокрема, апарат нечітких множин та нечіткої логіки [4, 5]. Такі моделі керування уможливають отримання усіх можливих станів системи, що сприяє прийняттю правильних рішень.

Як зазначено вище, впровадження ІТП дозволить забезпечити будівлю якісним споживанням тепла та економію енергоносіїв. Керування подачею тепла до будинку здійснюється залежно від погодних умов. Структурну схему автоматизованої системи контролю ІТП розроблено у [6]. Із датчика до контролера надходять показники погодних умов. При цьому на клапан регулювання поступає команда щодо пропуску необхідної кількості теплоносія (гарячої води), яка через циркуляційний насос потрапляє у систему опалення.

Таким чином, відбувається коригування температури теплоносія на вході в систему опалення на основі сигналів від відповідних датчиків: погодних умов та температури теплоносія на вході. Через зворотний клапан здійснюється операція зниження температури гарячої води, що поступає у систему опалення.

Основним параметром впливу на систему тепlopостачання є температура зовнішнього середовища, проте, як показують результати досліджень, для побудови адекватної моделі слід розглянути такі фактори, як швидкість вітру та сонячність. Теплові втрати будівель, зумовлені впливом вітру, бувають швидкі та повільні. Швидкі втрати обумовлені проникненням холодного повітря шляхом інфільтрації через нещільності у віконних і дверних отворах, стиках стінових панелей. Повільні теплові втрати обумовлені впливом вітру на коефіцієнт тепловіддачі зовнішніх поверхонь стін будівлі. Вітер не володіє постійними



швидкістю і напрямком, він дме поривами. Однак, на теплові втрати будівель впливають не окремі пориви вітру, а його усереднене за певний відрізок часу значення, яке і повинно враховуватися в системах автоматизованого управління подачею тепла в будівлі.

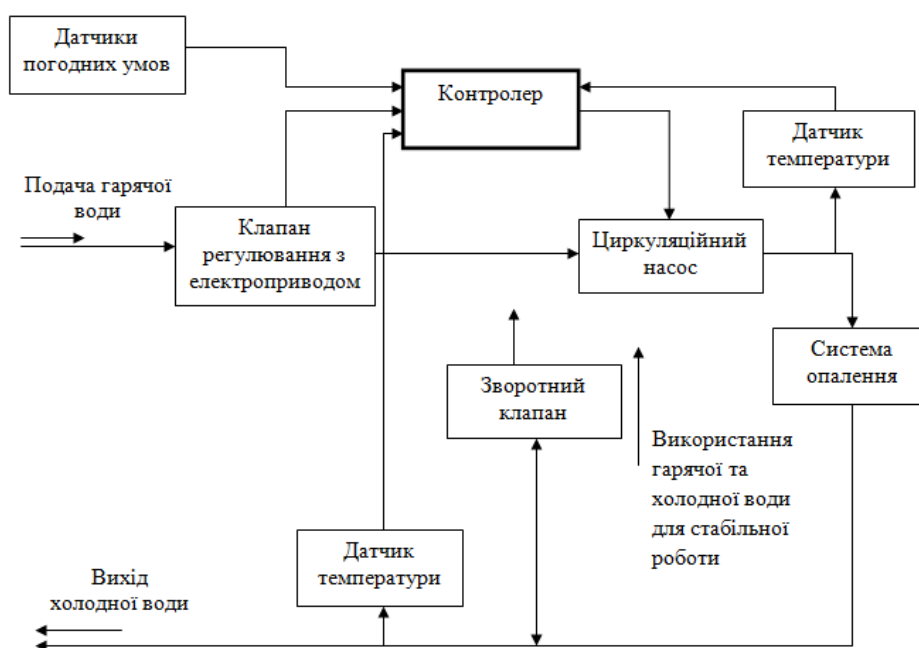


Рисунок 1 – Схема системи автоматизації ІТП [6]

Надходження тепла за рахунок сонячної радіації займає суттєву частку в тепловому балансі опалювальних приміщень. Потіки сонячних променів приходять на огорожувальні поверхні (стіни) будівель у вигляді прямої сонячної радіації, променів, розсіяних атмосферою і хмарами, потоків, відбитих від поверхонь розташованих поруч будівель, землі та різних предметів.

Вплив вітру та сонячної радіації на тепловий режим будівлі оцінюють шляхом введення відповідної поправки до температури зовнішнього повітря, що лежить в основі системи керування теплопостачанням. За даними агентства США з міжнародного розвитку при температурі зовнішнього повітря -4°C у сонячний день подача тепла у південно-східну частину 9-ти поверхового житлового будинку зменшується у 2,5 рази [7]. Таким чином, доцільним є впровадження пофасадного регулювання постачання теплоносія, при якому економія тепла становитиме понад 10%, що на 5% вище, ніж при центральному регулюванні. При цьому добові витрати тепла у порівнянні із центральним регулюванням знижуються на 25% [7].

Таким чином невизначеність вхідних параметрів доцільно представити у вигляді інтервалів, що дозволить збалансувати систему теплопостачання й врахувати усі можливі її стани, враховуючи умови відсутності деяких параметрів, з метою запобігання «перегріву» чи «недогріву» будинку. При цьому зв'язок між режимом роботи клапана системи постачання теплоносія та факторами впливу варто представити на основі бази знань із застосуванням апарату нечіткої логіки.

Нечітка система керування теплопостачанням.

Спираючись на основні положення теорії нечіткої логіки [8], опишемо



вхідні та вихідні змінні системи. Із результатів вищепроведеного аналізу факторів впливу на функціонування систем тепlopостачання задамо три вхідних змінних, а саме: температура зовнішнього повітря (назва змінної – temp), швидкість та напрям вітру (назва змінної – wind) та сонячна енергія (назва змінної – sun).

Вихідна змінна – це вихід, що генерує нечітка система на основі бази знань (експертних правил) із застосуванням алгоритму нечіткого логічного виведення. Для розроблювальної системи вихідна змінна – це режим клапана подачі теплоносія у опалювальну систему (назва змінної – valve).

Створюємо лінгвістичні змінні та даємо їм відповідні імена – терми. Слід зауважити, що межі зміни термів потрібно задавати таким чином, щоб не опустити важливого фактора, який впливає на стан системи. Зважаючи на це, варто передбачати незначний перетин термів. Це не впливає суттєвим чином на кінцевий результат, проте уможливорює уникнути помилок роботи нечіткої системи.

Задамо для вхідної змінної temp три терми: холодно (cold), середньо (mid), тепло (hot). Діапазон зміни для температури [-30; 15]. Задамо відповідні значення для термів вхідної змінної temp, вибравши гаусову функцію належності термів: cold [-30 -10], mid [-10 5], hot [5 15].

Вхідна змінна wind характеризує швидкість вітру, задамо для неї такі терми: низька (low), нормальна (norm) та висока (high). Діапазон зміни параметра зазначимо у відносних одиницях [0;1], функцію належності оберемо гаусову. Зважаючи на це, можна задати такі числові значення термів: low [0 0.3], norm [0.25 0.75], high [0.6 1].

Вхідна змінна сонячна енергія характеризує чи погода сонячна чи хмарна. У зв'язку із цим опишемо її такими термами: сонячно (sunny), похмуро (darkly) та хмарно (cloudy). Діапазон зміни для цієї змінної позначимо у межах [0;1], функцію належності оберемо – гаусову. У результаті числові значення для термів набудуть такого вигляду: sunny [0.6 1], darkly [0.3 0.6], cloudy [0 0.3].

Вихідна змінна valve характеризує, наскільки (тобто у який режим) необхідно повернути клапан подачі теплоносія і у який бік – на закриття чи відкриття, щоб температура у житлових приміщеннях була комфортною. Для більш точного регулювання системою повороту клапана визначимо п'ять термів: відкрити повністю (turn_f), відкрити на половину (turn_h), не змінювати (norm), закрити на половину (close_h), закрити повністю (close_f). Значення для термів задамо у відносних одиницях у діапазоні [-10;10]. Терми опишемо гаусовою функцією належності та зазначимо відповідні межі зміни термів: close_f [-10 -5], close_h [-6 -1], norm [-2 2], turn_h [1 6], turn_f [5 10].

На основі вищеповисаних лінгвістичних змінних та їх термів будуюмо базу знань – множину нечітких правил. База знань повинна передбачати випадки відсутності однієї із вхідних змінних (наприклад, за рахунок помилки при зчитуванні), тобто система повинна враховувати умови невизначеності.

Таким чином, кожен вхідну змінну описує 3, а вихідну – 5 термів. На основі цього формуємо нечіткі правила типу «якщо...то», які матимуть вигляд: ЯКЩО «значення вхідної змінної 1» І «значення вхідної змінної 2» І «значення вхідної змінної 3» ТО «значення вихідної змінної».



Сформована база знань містить 63 нечітких правила, що описують можливі варіанти роботи системи тепlopостачання за умов наявності чи відсутності факторів впливу. Реалізацію нечіткої системи здійснено у пакеті прикладних програм Matlab на основі Fuzzy Logic Toolbox. Для нечіткого логічного виведення результатів системи використано алгоритм Мамдані, оскільки зв'язок між входами та виходом системи нелінійний [5, 8]. Узагальнену схему для розподілу режимів клапана подачі теплоносія у тепломережу зображено на рисунку 2.

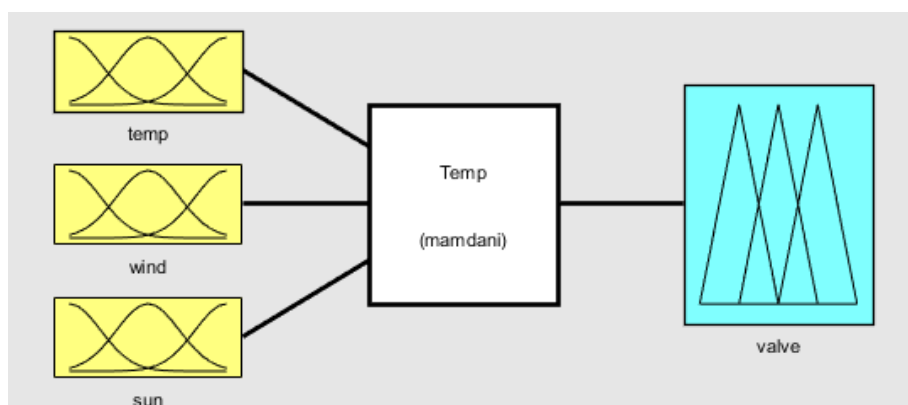


Рисунок 2 – Схема керування режимами клапана

Алгоритм нечіткого виведення Мамдані ґрунтується на композиції нечітких множин типу міні-макс. Зазначений механізм реалізує алгоритм [10]:

- 1) Крок 1 – фазифікація – визначення ступеню істинності (значення функцій належності) для лівих частин кожного i -го правила, тобто для передумов;
- 2) Крок 2 – нечіткий висновок будується на основі знаходження мінімального рівня "відсічення" для лівої частини i -го правила та "відсічених" функцій належності правих частин – висновку;
- 3) Крок 3 – композиція побудованих "відсічених" функцій на основі максимальної композиції нечітких множин;
- 4) Крок 4 – дефазифікація на основі центроїдного методу, що геометрично представляє центр ваги функції належності одержаного виходу. Метою дефазифікації є знаходження реального чіткого значення для кожної вихідної лінгвістичної змінної, тобто сигналу рішення для керування роботою клапана. Це необхідно для того, що механізми сучасних систем керування здатні сприймати команди на базі кількісних значень сигналів.

Варто зауважити, що поведінка функцій належності для вітру та сонячної енергії достатньо подібні. Це свідчить про те, що їх вплив на систему керування має приблизно однакову вагу. Ключовим параметром впливу є температура зовнішнього середовища.

Базу правил побудованої нечіткої системи керування клапаном подачі теплоносія у індивідуальному тепловому пункті представлено на рисунку 3. Кожне правило подане у вигляді, описаному вище; (1) – вага правила для формування відгуку системи кожного правила.

Крайній нижній прямокутник справа на рисунку 4 відповідає результату роботи системи на основі логічного виведення Мамдані. Жирною червоною



лінією позначено чітке значення виходу системи у результаті реалізації алгоритму дефазифікації. Вертикальною лінією позначено, при яких чітких значеннях вхідних змінних на виході система змодельює чітке значення вихідного параметра.

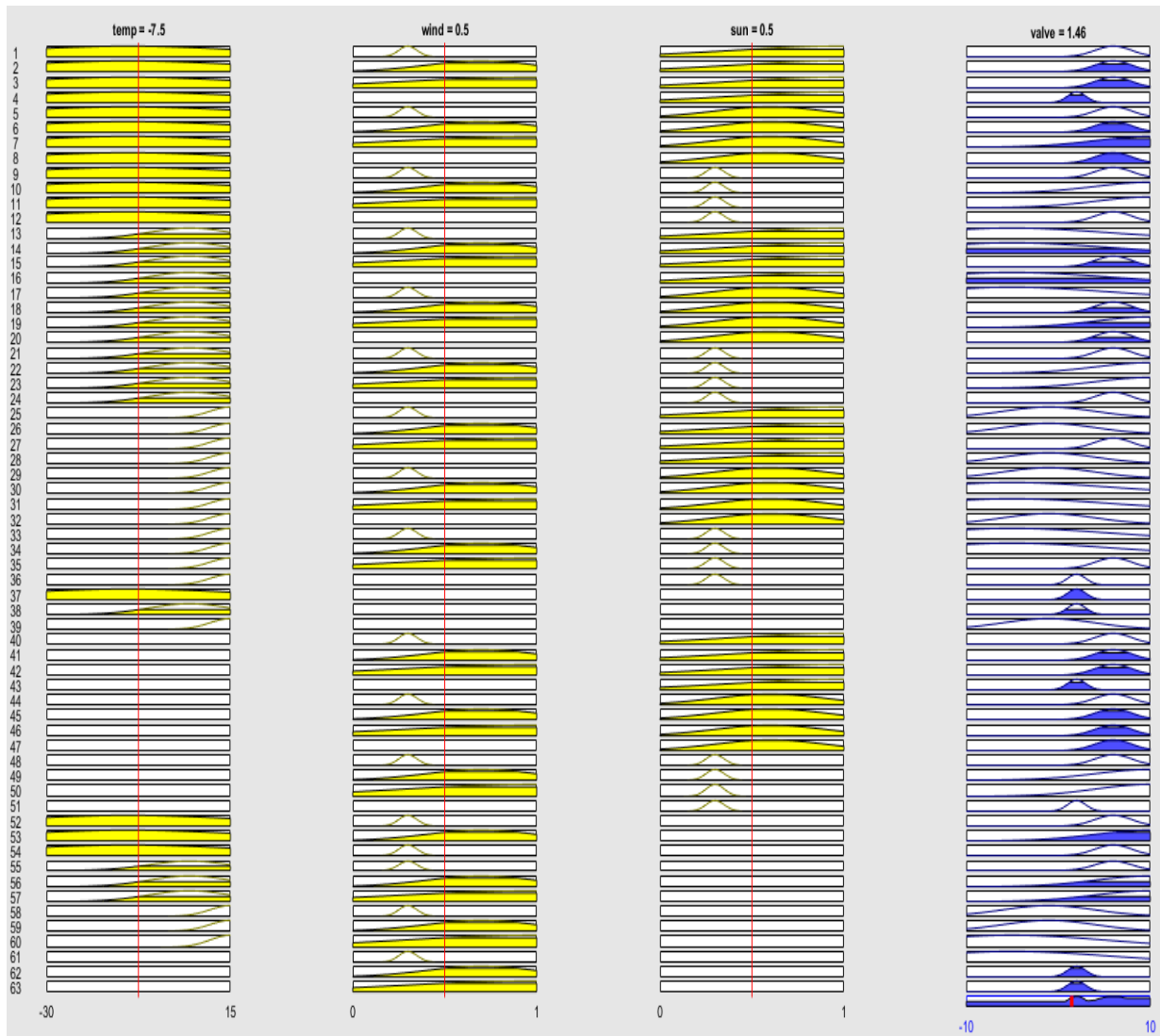
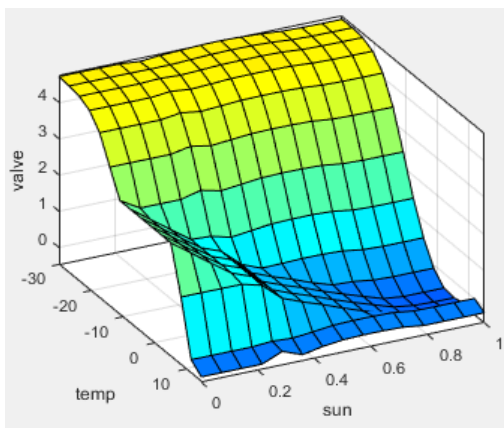
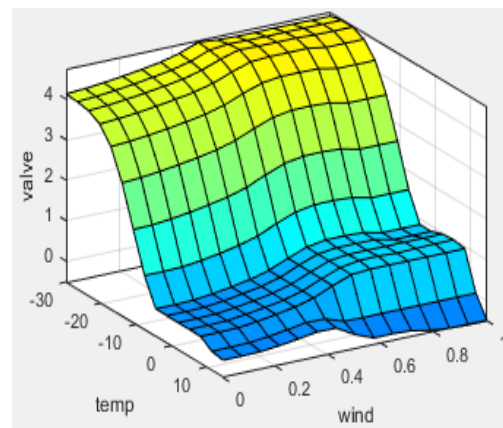


Рисунок 3 – База знань системи



а)



б)

Рисунок 4 – Поверхні значень нечіткої системи керування клапаном подачі теплоносія



Поверхню значень відгуку розробленої нечіткої системи керування режимами клапана подачі теплоносія зображено на рисунку 4.

Поверхні графічно візуалізують розподіл режимів роботи клапана залежно від факторів впливу. Кожна пара точок на рисунку 4 описує комбінацію факторів впливу на режим клапана. Дослідження бази правил та поверхні залежності роботи клапана від вхідних змінних показали правильність роботи системи.

Модель нечіткого контролера.

Апаратну реалізацію нечіткої системи здійснено на основі пакету Simulink середовища Matlab. На рисунку 5 представлено структурну схему нечіткого контролера.

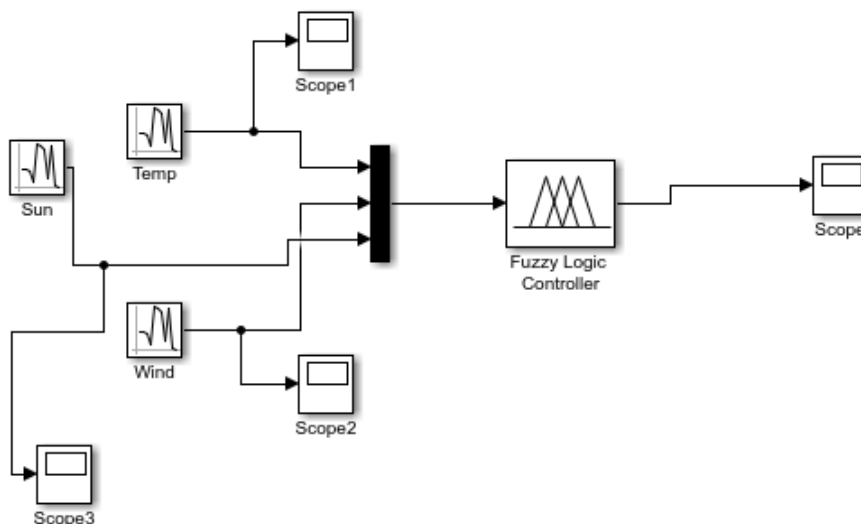


Рисунок 5 – Модель нечіткого контролера

Узагальнена схема нечіткого контролера включає блок опису функцій належності вхідних змінних (Input MF), блок опису функцій належності вихідної змінної (Output MF) та блок правил (Rule 1...63). Контролер опрацьовує нечіткі правила, враховуючи їх значимість, що описується значенням Weight (рис. 6).

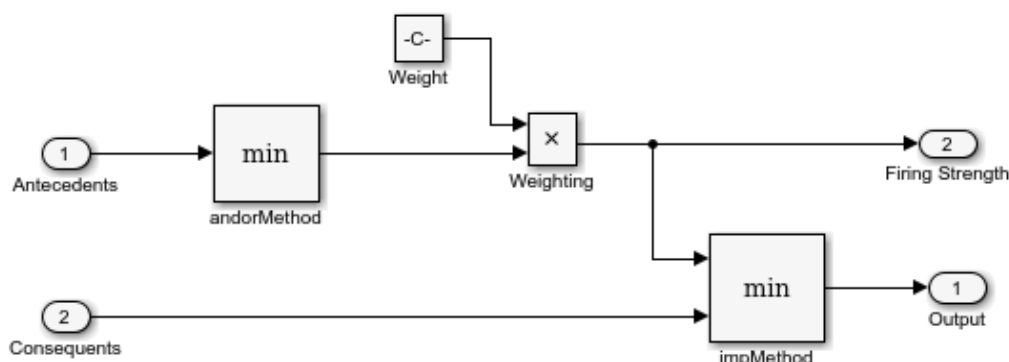


Рисунок 6 – Схема опрацювання нечітких вхідних значень змінних

Входами правила є значення вхідних змінних (Antecedens – вхід 1) та відповідне їм значення режиму клапана (Consequens – вхід 2). Обробка даних здійснюється за мінімальним законом (блок min). Виходами схеми є значення функції належності виходу valve (вихід 1) та множина, що характеризує інтервал задання вказаного виходу (вихід 2). Для отримання логічного висновку на основі



алгоритму Мамдані нечіткий контролер реалізує процедуру дефазифікації центроїдним методом, схему якої наведено на рисунку 7.

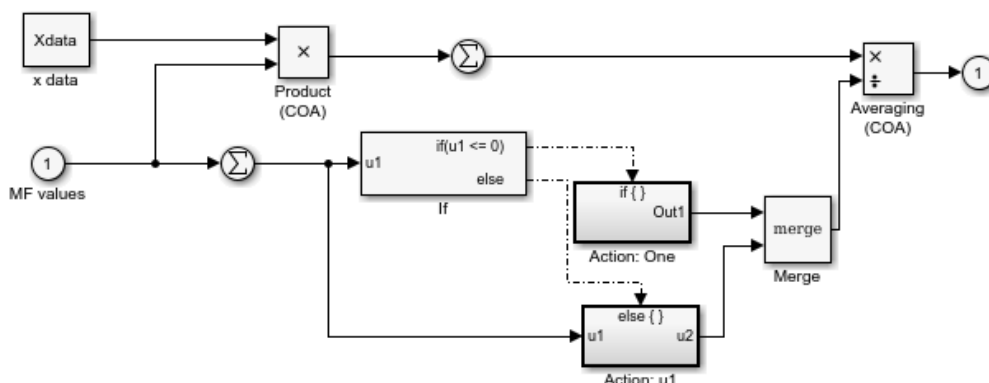


Рисунок 7 – Схема дефазифікації нечіткого логічного висновку

Зважаючи на вищезазначене, удосконалена система автоматизації ІТП базується на вищеописаному нечіткому контролері. Тестування нечіткого контролера ґрунтується на аналізі даних із блоків Scope (рис. 6). Результат роботи розробленого нечіткого контролера керування теплопостачанням проілюстровано на рисунку 8. У таблиці 1 представлено результати тестування нечіткого контролера.

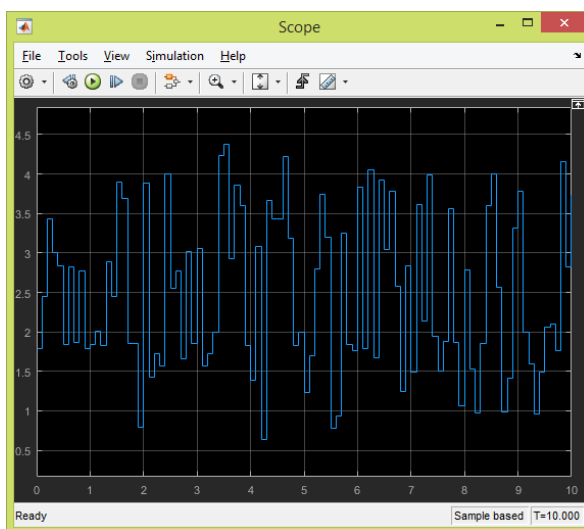


Рисунок 8 – Вихід нечіткого контролера керування теплопостачанням

Таблиця 1 – Результати тестування нечіткого контролера

Temp	Wind	Sun	Valve
-7	0.5	0.5	0.945
-20.5	0.15	0.09	1.46
18	0.92	0.95	-5.057
-16.5	0.3	0.42	3.01
1.17	0.56	0.75	1.02



Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить про адекватність отриманих результатів, при чому на 50 тестових прикладах достовірність становить 94 %. Це показує перспективність застосування розробленої системи для удосконалення системи керування ІТП, що дозволить знизити енерговитрати й звести до мінімуму можливість «перегріву» будинку.

Висновки.

Розроблено нечітку систему керування роботою тепломережі на основі зовнішніх факторів впливу, що ґрунтується на базі знань й має програмно-апаратну реалізацію. Така система є адаптивною до змін і може модифікуватися залежно від кількості та значень вхідних змінних. Продемонстровано модель нечіткого контролера, результатами експериментальних досліджень підтверджено ефективність його функціонування.

Література:

1. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання: монографія / за заг. ред. О. М. Гаврися. Х.: НТУ "ХПІ", 2015. 209 с.
2. Ахламов А.Г., Беляєв Л.В., Каменєв С.В. Імітаційна модель управління системою теплозабезпечення населення. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. URL: <http://www.dy.nauka.com.ua/?op=1&z=269> (дата звернення 26.12.2023).
3. Perekrest A., Chenchevoi V., Chebotarova Ye. Comprehensive model of automated control system of heating in multi-storey building. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2018. Вип. 4 (44). Р. 53-59.
4. Dyvak M.; Maslyiak Yu., Pava O., Savka N. Clustering and interval analysis of heterogeneous data sample. *Computer Sciences and Information Technologies (CSIT): 12th IEEE International Conf, 05–08 September 2017: Proceedings*. Lviv, Ukraine, 2017. Vol. 1. Р. 528-532.
5. Vasylykiv N., Dubchak L., Turchenko I, Ivashchuk I., Savchyshyn R. Fuzzy Estimation Method of Information System Providing Part Influence on the Functioning Quality Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2019): 10th IEEE International Conf., 18–21 September 2019: Proceedings. Metz, France, 2019. Р. 980-984.
6. Лугових О. О., Сорока М. М. Автоматизована система контролю індивідуального теплового пункту. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/06/48-1.pdf> (дата звернення 26.09.2023).
7. Колієнко А. Автоматизовані індивідуальні теплові пункти. Будівництво і експлуатація. URL: https://www.mdi.org.ua/images/Files/MERP/Lutsk_sem_21-23092016_presentations/Lutsk_sem_21-23092016_pres_ITP_Koliienko-5.pdf (дата звернення 28.12.2023).
8. Mamdani E. H. Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant. *Proc. IEEE*. 1974. Vol. 121. Iss. 12. Р. 1585–1588.

Abstract. The principle operation of the coolant supply system to consumers is analyzed. The main problems of heat supply are indicated and ways to solve them are proposed. The main thing in the modernization of heat supply systems is the process automation of controlling the characteristics



of the heat carrier in order to save energy resources. Individual heat points enable control of heat carrier parameters based on weather conditions, but do not take into account the peculiarities of the influence parameters. Fuzzy logic apparatus is proposed for the implementation of the heat supply control system. Fuzzy system for controlling the mode of the coolant supply valve to the heating network was developed. Knowledge base is the basis of fuzzy system. The system of automation of individual heat point based on a fuzzy controller was improved. The effectiveness of the control system was studied. The results confirmed perspective of its application for modernization of heating systems in order to reduce heat losses and save energy resources.

Keywords: *automated system, heat networks, heat supply system, fuzzy system, fuzzy controller.*

Стаття відправлена: 20.01.2024 р.

© Савка Н.Я.