

Мищенко І.Л.

Державний університет «Одеська політехніка»

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ РЕГУЛЯТОРІВ В АВТОМАТИЧНІЙ СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ ГРУПОЮ ПІДГРІВАЧІВ

У статті досліджується можливість оптимізації структури системи регулювання групою підігрівачів для рівномірного розподілення навантаження між ними. Здебільшого система підігріву мережевої води складається з кількох послідовно розташованих підігрівачів, кожен з яких забезпечений власним регулятором. Завданням кожного з них є забезпечення заданої температури на виході кожного блоку.

Недоліком такої системи є те, що при надходженні значного зовнішнього збурення підвищення або зниження вихідної температури відбувається за рахунок першої установки і тільки якщо цього не досить, до роботи послідовно підключаються інші. Такі стрибки потужності призводять до прискореного та нерівномірного зносу обладнання, а тривала робота на занадто високій чи низькій потужності негативно впливає на коефіцієнт корисної дії установки і також прискорює знос, що завдає значної економічної шкоди в майбутньому.

Рівномірне розподілення навантаження дало б можливість використання всіх установок у номінальному чи близькому до нього режимі, а отже з оптимальними коефіцієнтом корисної дії і витратами на експлуатацію. Тому в роботі синтезована система регулювання, в якій завдання для локальних ПІ – регуляторів коригується з допомогою нечіткого регулятора залежно від збурення на вході в систему та проміжних значень температури на виході кожного підігрівача.

За результатами порівняння показників якості перехідних процесів регулювання вказаних вище структур зроблено висновок щодо доцільності використання синтезованої структури та її ефективності відносно базової системи. Підтвердження цього висновку чітко видно на приведених графіках моделювання.

Ключові слова: група мережевих підігрівачів, автоматична система регулювання (АСР), нечітка логіка, оптимізація, нечіткий регулятор, перехідний процес регулювання.

Постановка проблеми. Як теплоносії для опалення застосовують воду і дуже рідко – пар, оскільки вода дає можливість перенесення теплоти на великі відстані з невеликим зниженням температури, зумовленим тільки тепловими втратами в навколишнє середовище, що дозволяє підтримувати менший тиск у відборі турбіни для забезпечення необхідної температури теплоносія у споживача. Крім того, водяні опалювальні системи мають більш низьку металоємність, вимагають менших капітальних і експлуатаційних витрат, в них простіше організувати централізоване регулювання відпустки теплоти.

Теплообмінники (теплообмінні апарати) енергоустановок є великогабаритним, металомістким і дорогим обладнанням, що істотно впливає, а в окремих випадках і визначає ефективність і надійність роботи теплових, атомних електростанцій та їх додаткового обладнання загалом [1]. Економічно нераціональним є дублювання такого дорогого обладнання, тому встановлення резерв-

них апаратів зустрічається вкрай рідко, що не дає змоги підвищити надійність системи. Ремонт окремої ділянки може паралізувати роботу всієї мережі. Тому кращим рішенням буде оптимальне використання існуючого обладнання з метою подовження строку його експлуатації до моменту повної заміни всієї технологічної ділянки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У низці фундаментальних підручників і навчальних посібників із теплообмінних апаратів енергетичних установок [1] теплообмінники розглядалися лише як якийсь допоміжне обладнання в загальних схемах. За оцінками ОТІ і МЕІ, при незмінних параметрах теплоносія внесок у загальне підвищення коефіцієнта корисної дії, отриманий за рахунок поліпшення характеристик теплообмінних апаратів (конденсаторів, підігрівачів мережевої води і системи регенеративного підігріву живильної води), може досягати 30% [2]. Тому невелике ускладнення структури системи регулювання може дати можливість покра-

щити не тільки показники надійності, а й ефективності системи.

Постановка завдання. Необхідно синтезувати систему регулювання, яка б дозволила використання кожного підігрівача у номінальному режимі при будь-яких зовнішніх збуреннях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для організації раціонального теплопостачання споживачів особливо велике значення має теплофікація, що є найбільш досконалим методом централізованого постачання теплової енергії та одним з основних шляхів зниження питомої витрати палива на вироблення електричної енергії.

Вода систем теплопостачання нагрівається в пароводяних теплообмінниках ТЕЦ здебільшого паром із відборів теплофікаційних турбін або з вихлопного патрубку турбін із протитиском і подається насосами по трубопроводах гарячої води до теплового споживача; після охолодження в опалювальних установках споживача вода повертається на ТЕЦ.

Система трубопроводів гарячої та охолодженої води утворює теплову мережу; вода, що циркулює по тепломережі, називається мережною водою; насоси, що підтримують тиск у тепломережі, – мережевими насосами, пароводяні теплообмінники підігріву мережної води – мережевими підігрівачами, вода, яку подають у трубопроводах, – прямою мережною водою. Трубопроводи, які повертають охолоджену воду на ТЕЦ, називаються зворотними, а така вода – зворотною мережною водою.

Теплообмінник – технічний пристрій, в якому здійснюється теплообмін між двома середовищами, що мають різні температури. За принципом дії теплообмінники поділяються на рекуператори і регенератори. У рекуператорах рухомі тепло-

носії розділені стінкою. До цього типу належить більшість теплообмінників різних конструкцій. У регенеративних теплообмінниках гарячий і холодний теплоносії контактують з однією і тією ж поверхнею по черзі. Теплота накопичується в стінці при контакті з гарячим теплоносієм і віддається при контакті з холодним, як, наприклад, у кауперах доменних печей. Теплообмінники застосовуються в технологічних процесах нафтопереробної, нафтохімічної, хімічної, атомної, холодильної, газової та інших галузей промисловості, в енергетиці та комунальному господарстві. Від умов застосування залежить конструкція теплообмінника.

Основним елементом теплообмінника для теплофікаційних систем є пластини, виготовлені з корозійностійких сплавів товщиною 0,4-1,0 мм методом холодного штампування. У робочому положенні пластини щільно притиснуті одна до одної і утворюють щільні канали. На лицьовій стороні кожної пластини в спеціальні канавки встановлена гумова контурна прокладка, що забезпечує герметичність каналів. Два з чотирьох отворів у пластині забезпечують підведення і відведення середовища, яке гріє або нагрівається, до каналу. Два інших отвори додатково ізольовані малими контурами. Прокладки запобігають змішанню (перегіканню) середовищ, що гріє і нагрівається. Для попередження змішування середовищ в разі прориву одного з малих контурів прокладки передбачені дренажні пази.

Структурна схема теплообмінного апарату зображена на рис. 1.

Основними величинами, що впливають на контрольований технологічний параметр (кінцеву температуру холодного теплоносія $Q_{хк}$) є:

$Q_{гн}$ – початкова температура гарячого теплоносія;

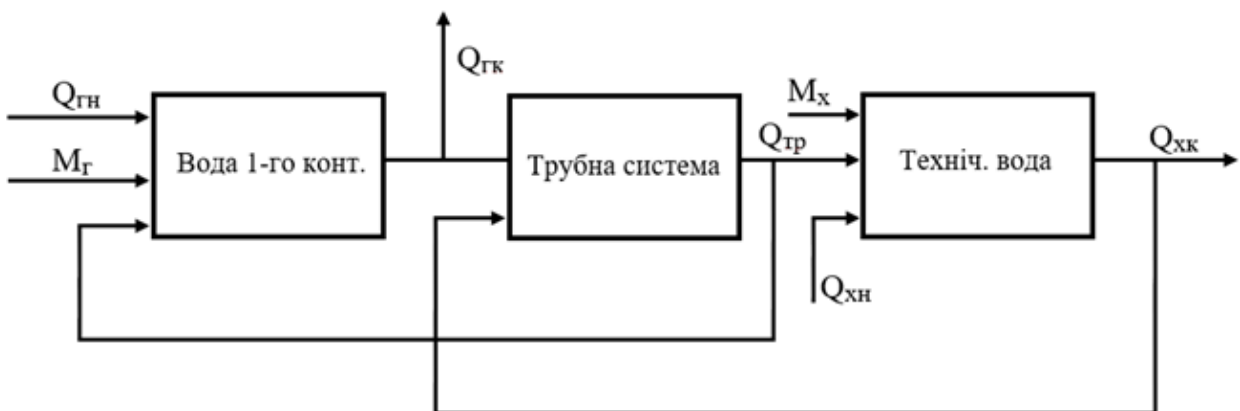


Рис. 1. Структурна схема теплообмінного апарату

$Q_{гк}$ – кінцева температура гарячого теплоносія;
 $Q_{хн}$ – початкова температура холодного теплоносія;
 $M_{г}$ – масова витрата гарячого теплоносія;
 $M_{х}$ – масова витрата холодного теплоносія.

Технологічну ділянку можна представити у вигляді динамічної моделі в середовищі Simulink, що складається з послідовно розташованих чотирьох теплообмінників, вихідна температура кожного з них є вхідною температурою для наступного. Крім цього, кожен апарат має власний проміжний регулятор. Таким чином отримуємо класичну модель системи регулювання.

При надходженні досить значних зовнішніх збурень за такої структури системи регулювання для їх компенсації навантаження зміщується в сторону перших теплообмінників, у чому можна перекопати далі. Для подолання цього недоліку до схеми додається коригуючий нечіткий регулятор.

Нечіткий регулятор призначений для управління технологічними процесами. Для синтезу нечіткого регулятора пропонується методика, заснована на експертній інформації [5]. Перш ніж почати синтез нечіткого регулятора (далі – НР), необхідно розробити його концептуальні моделі для кожного виходу. Концептуальна модель відображає вплив вхідних сигналів (температури води на вході до теплообмінника) на результат роботи нечіткого регулятора – значення його виходу. Вказуються тільки ті входи НР, які повинні впливати на його вихід.

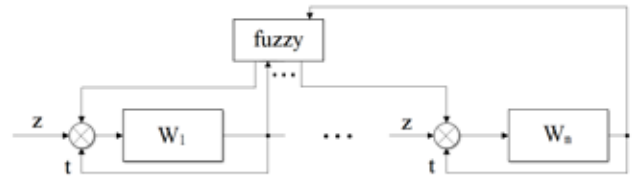


Рис. 3. Структурна схема АСР із нечітким регулятором

$W_{i,n}(s)$ – передатна функція підігрівача;
 fuzzy – нечіткий регулятор;
 z – завдання для локального регулятора;
 t – зворотний зв'язок за температурою.

Функції належності налаштовані таким чином, що нечіткий регулятор коригує завдання першому локальному регулятору на 75% від відхилення температури на вході першого теплообмінника від номінальної, для другого регулятора – 66% від відхилення на вході другого, для третього – 50%. Коригування завдання останньому регулятору не проводиться, тобто він повинен у будь-якому разі підтримувати задану спочатку температуру. Таке налаштування повинно бути еквівалентним розподіленню вхідного збурення по 25% на кожен регулятор. Порівняння цієї схеми регулювання з класичною дозволить перевірити правильність такого твердження.

У результаті отримана синтезована схема, зображена на рисунку 4, дозволяє здійснити коригування завдання для локальних ПІ – регуляторів, що дає змогу для рівномірного розподілення навантаження між усіма модулями. При цьому можливе більш значне відхилення температури теплоносія на виході системи, ніж у класичній схемі, тому слід бути обережним при

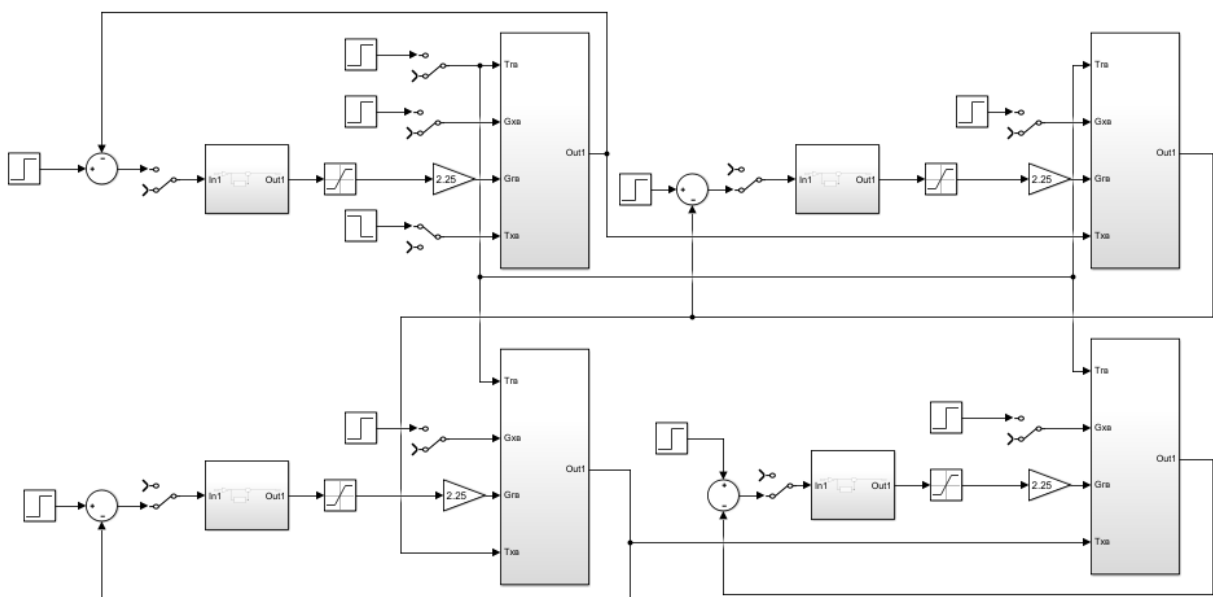


Рис. 2. Класична АСР групи підігрівачів

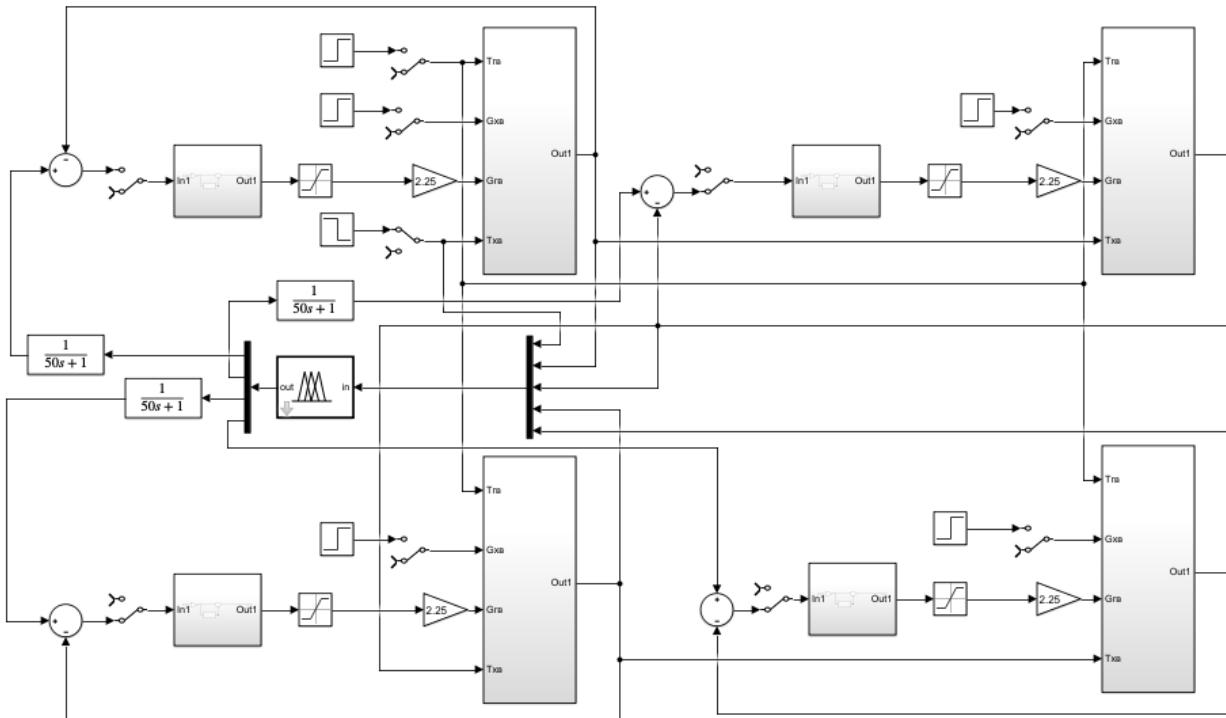


Рис. 4. Модель АСР із нечітким регулятором у середовищі Simulink

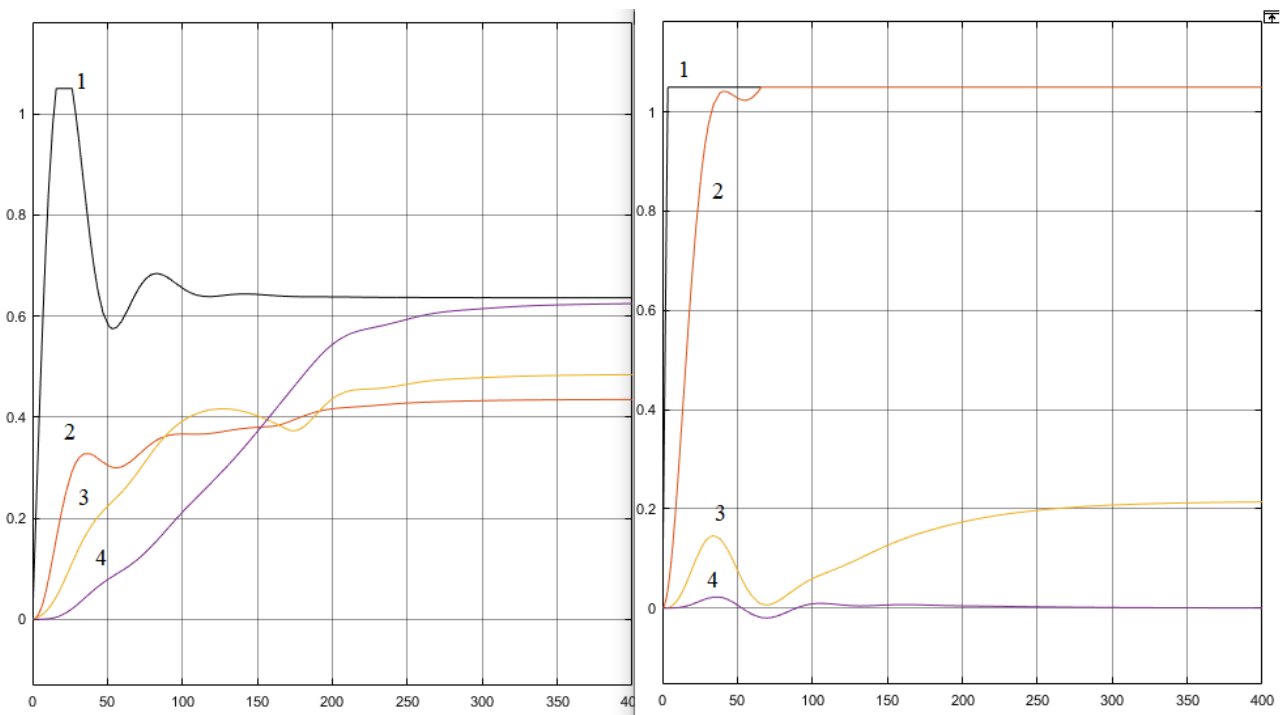


Рис. 5. Вихідний сигнал ПІ-регулятора: зліва – з нечітким регулятором, справа – без; 1, 2, 3, 4 – номери підігрівачів

налаштуванні правил нечіткої логіки та функцій належності.

Для порівняння проведемо моделювання на аналогічній схемі, але з вимкненим нечітким регулятором.

З рисунку 5 видно, що для компенсації досить великого збурення. У базовій системі регулювання перші два підігрівачі працюють на максимальній потужності (графіки 1, 2), а останні два майже не відреагували на збурення, тоді як система з нечіт-

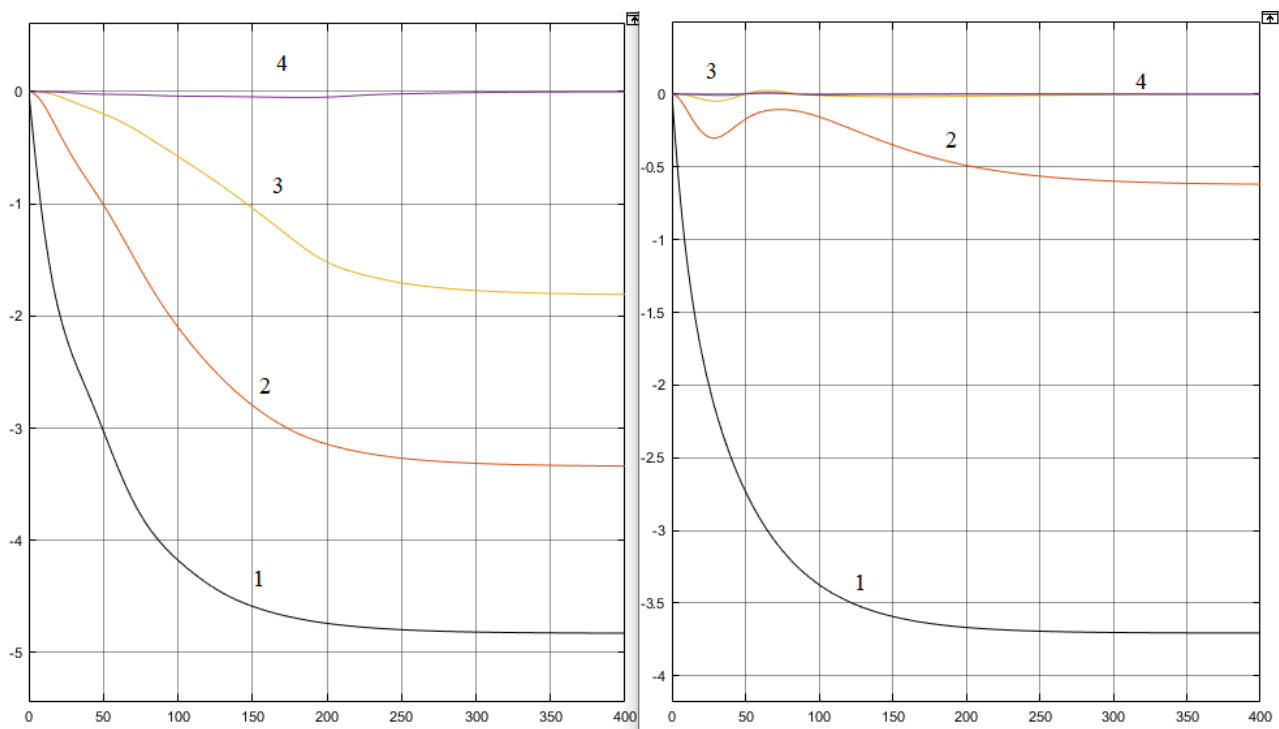


Рис. 6. Температура на виході з підігрівача: зліва – з нечітким регулятором, справа – без; 1, 2, 3, 4 – номери підігрівачів

кою логікою розподілила навантаження між усіма установками. На рисунку 3 зображені перехідні процеси регулювання температури на виході кожного підігрівача.

Попри зниження проміжних температур синтезована система показує відхилення кінцевої температури не більш ніж на 2% від величини збурення, що є більш ніж достатнім показником якості для цього технологічного процесу.

Висновки. Синтезована система дійсно показує розподілення навантаження між установ-

ками, хоч і дещо нерівномірне. Це пояснюється неоптимальними налаштуваннями коригуючого регулятора. Також у ній, на відміну від базової моделі, наявне відхилення кінцевої температури, але цим можна знехтувати, з огляду на його незначну величину. Попри деяку складність налаштування, можна зробити висновок про доцільність використання регуляторів із нечіткою логікою для подовження строку експлуатації теплофікаційного обладнання і підвищення надійності таких систем.

Список літератури:

1. К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков Теплообменники энергетических установок. Учебное электронное издание. Екатеринбург : УрФУ. 2015. 208 с.
2. Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э. Ремонт вертикальных сетевых подогревателей и подогревателей низкого давления паротурбинных установок : учебное пособие для вузов / под ред. Ю.М. Бродова. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 1996. 88 с.
3. Подогреватели сетевой воды в системах теплоснабжения ТЭС и АЭС : учебное пособие для вузов / Бродов Ю.М., Великович В.И., Ниренштейн М.А., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю. / под ред. Ю.М. Бродова. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 1999. 138 с.
4. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета. Учебное пособие. Изд. второе, испр. и доп. X. : Изд-во Гуманитарный центр, 2013. 544 с.
5. Гостев В.И., Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. К. : Радиоматор, 2008. 972 с.
6. Амосов О.С., Амосова Л.Н., Иванов С.Н. Синтез оптимальных систем управления электро-механическим теплогенерирующим комплексом с использованием нечетких систем. *Информатика и системы управления*. 2009. № 1(19). 83 с.
7. Кон Л.И. Методичні вказівки й таблиці для вибору налаштувань ПІ та ПІД регуляторів в одноконтурних системах регулювання теплових об'єктів із запізненням. Одеса : ОНПУ, 2003. 127 с.

8. Леоненков А.Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. СПб. : БХВ, 2003. 720 с.
9. Мелихов А.Н. и др. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М. : Наука, 1990. 272 с.
10. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. 201 с.

**Mishchenko I.L. OPTIMIZATION OF REGULATORS OPERATION
IN THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM BY A GROUP OF HEATERS**

The article investigates the possibility of optimizing the structure of the control system by a group of heaters for uniform load distribution between them. Typically, the network water heating system consists of several heaters located in series, each of which is equipped with its own regulator, the task of each of them is to ensure a given temperature at the outlet of each unit.

The disadvantage of this system is that when there is a significant external perturbation, increase or decrease the output temperature occurs due to the first installation and only if this is not enough, the others are connected in series. Such power surges lead to accelerated and uneven wear of equipment, and prolonged operation at too high or low power adversely affects the efficiency of the installation and also accelerates wear, which in total causes significant economic damage in the future.

Even load distribution would make it possible to use all units in nominal or close to it mode and therefore with the optimal efficiency and operating costs. Therefore, a control system is synthesized in the work, in which the task for local PI-regulators is corrected by means of a fuzzy regulator, depending on the perturbation at the input of the system and intermediate values of temperature at the output of each heater.

Based on the results of comparing the quality indicators of the transient processes of regulation of the above structures, a conclusion is made about the feasibility of using the synthesized structure and its effectiveness relative to the basic system. Confirmation of this conclusion is clearly seen both on the graphs of the regulating action and on the graphs of the change in output temperature.

Key words: group of network heaters, automatic control system (ACS), fuzzy logic, optimization, fuzzy controller, transient control process.