

Лінник І.С.

Державний університет «Одеська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ МОДУЛЬНОЇ КОТЕЛЬНОЇ

У роботі досліджено наслідки інтеграції нечіткого регулятора у автоматичну систему регулювання модульною котельнею. Здебільшого модульна котельня являє собою послідовно з'єднані невеликі котли.

За дотриманням необхідної технологічної температури слідкують локальні пропорційно-інтегральні (ПІ) регулятори, кожен з яких має власне завдання. Робота такої моделі є досить простою і не представляє великого інтересу, тому для розширення функціоналу систем регулювання до неї було інтегровано блок із нечіткою логікою. Призначенням цього блоку є індивідуальне коригування завдання для кожного модуля. Теоретично результатом такого синтезу буде запобігання експлуатації обладнання на підвищеній потужності за рахунок розподілення надлишкового навантаження, що призводить до збільшення ймовірного строку експлуатації котлоагрегатів і уникнення небажаних економічних збитків.

Як експеримент була здійснена спроба повністю замінити локальні ПІ регулятори котлів і перекласти їх функції на нечіткий регулятор. Такий регулятор дає змогу запрограмувати будь-яку кількість логічних виразів без чітких чисельних умов. Подібне ускладнення системи регулювання є досить нетривіальною задачею через збільшення удвічі кількості вхідних сигналів, які в кілька разів збільшують кількість правил. Це на порядок ускладнює підбір оптимального виду та меж функцій належності, що визначають якість перехідного процесу регулювання та впливають як на локальні відхилення від завдання, так і на кінцеве.

За результатами моделювання зроблено висновок про переваги інтеграції нечіткої логіки у розглянуту систему та щодо наявності сенсу у повному заміщенні групи ПІ регуляторів на один нечіткий.

Ключові слова: автоматична система регулювання, модульна котельня, ПІ регулятор, нечіткий регулятор, синтез, теплообмінник, двоконтурна система.

Постановка проблеми. Фізичний і моральний знос більшості існуючих в Україні котельнь за оцінками фахівців складає в середньому 60-70%, не кращим є і стан теплотрас. Це призводить до низької ефективності систем тепlopостачання, вимагає комплексної реконструкції та технічного переобладнання.

Одним зі шляхів вирішення цього питання є застосування блочно-модульних, максимально автоматизованих котельних установок, що забезпечують роботу обладнання за заданою програмою з регулюванням подачі тепла залежно від температури зовнішнього повітря. Підвищений попит на транспортабельні газові котельні продиктований економічною доцільністю. Забезпечення споживачів від централізованих джерел опалення пояснюється раціональними причинами, серед яких: суттєва економічна вигода за рахунок відмови від використання мереж тепlopостачання, економія на дорогому підключенні до центральних магістралей, незалежність від сезонності подачі тепла і гарячої води, виключення ризику

припинення подачі теплової енергії внаслідок аварійних ситуацій, автономність регулювання необхідної температури опалювальної системи і гарячого водопостачання. Тому оптимальне регулювання та підвищення економічної ефективності є актуальними питаннями для систем опалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В управлінні складними об'єктами, що працюють у нестационарних умовах, адаптаційні контролери, які реалізують стандартні закони ПІ або PID, знайшли широке застосування. Адаптивні контролери від зарубіжних і вітчизняних виробників здебільшого реалізують метод Зіглера-Нікольса [1]. Слід зазначити, що цей метод передбачає виведення об'єкта в області автоколиваний внаслідок переходу до Р-закону та грубої зміни коефіцієнта посилення Кг. Однак значна кількість технологічних процесів в робочих умовах заважає автоколивальному режиму.

Використання в об'єктах знаходять і нечіткі моделі та алгоритми управління [3; 4]. Відомо, що нечітке управління засноване на використанні

не стільки аналітичних або теоретичних моделей, скільки на практичному застосуванні знань кваліфікованих фахівців, представлених у формі лінгвістичних баз правил. Нечітке управління ефективно у випадках невизначеності параметрів об'єктів, коли існує певний досвід експертів з управління і налаштування автоматизованої системи регулювання (далі – АСР). Теорія нечіткої логіки дозволяє використовувати знання фахівців-налагодчиків з метою поліпшення процесів управління і надання допомоги (супервізорний режим) з налаштування типових регуляторів. Таким чином, завдання пошуку оптимального методу адаптації залишається відкритим.

Постановка завдання. Ціль роботи у тому, щоб поєднати два типи регуляторів, а саме ПІ і нечіткий, налаштувати їх так, щоб уникнути перенавантаження котла, який буде намагатися самотужки погасити збурення та перерозподілити навантаження між усіма порівну.

Виклад основного матеріалу дослідження. Модульна котельня – це автономна котельня, яка зроблена як окремий транспортабельний модуль або блок модулів із комплектом усього необхідного обладнання залежно від потреб і призначення.

Оснащення сучасних блочно-модульних котельень включає в себе засоби автоматичного регулювання режиму роботи і дистанційні системи управління. Таким чином передбачається можливість роботи обладнання без постійної присутності оператора. Відмінною особливістю є швидкість введення в експлуатацію, низька собівартість і економічність експлуатації. Модульні котельні призначені для забезпечення потреб в опаленні, технологічному парі і гарячому водопостачанні підприємств та організацій, що зазнають дефіциту енергетичних ресурсів або потребують більш якісних і економічно вигідних джерел теплопостачання. Модульні котельні з'єднуються зі споживачами за допомогою теплотраси і/або

паропроводів. Основним пристроєм модульної котельні є опалювальний котел.

Тепловий контур блочно-модульної котельні може з'єднуватися з системою опалення об'єкта безпосередньо (відкритий тепловий контур або через гідравлічну стрілку), а також за незалежною схемою (через теплообмінник). Перше рішення дешевше, а друге – надійніше, оскільки в цьому випадку котельне обладнання захищене від можливого негативного впливу з боку теплових мереж об'єкта: забрудненого теплоносія, високого тиску, перепадів температур.

Теплообмінники (далі – ТА) 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.

Удосконалення конструкцій сучасних ТА розвивається в напрямках інтенсифікації тепловіддачі і підвищення компактності, підвищення максимальних значень тиску і температури теплоносіїв. Переважною є кожухотрубчаста конструкція ТА, але прогресуючу конкуренцію їй складають пластинчаті теплообмінники, які досягли максимальних значень за температури теплоносіїв до 500 і тисків близько 40 бар. Загалом модульні котельні можуть забезпечувати теплоносієм кілька контурів теплопостачання. В цьому випадку для оптимізації роботи рекомендується встановлювати регулююче обладнання, яке автоматично підтримує температурний режим індивідуально для кожного контуру.

Автоматична система регулювання об'єкту була змодельована у середовищі Simulink і представлена на рисунку 1. Вона представляє собою три послідовно з'єднаних котли.

Наступним кроком було налаштування локальних регуляторів для кожного котла (внутрішні контури) [2] та додання зовнішнього контуру регулювання у виді нечіткого регулятора. Метою інте-

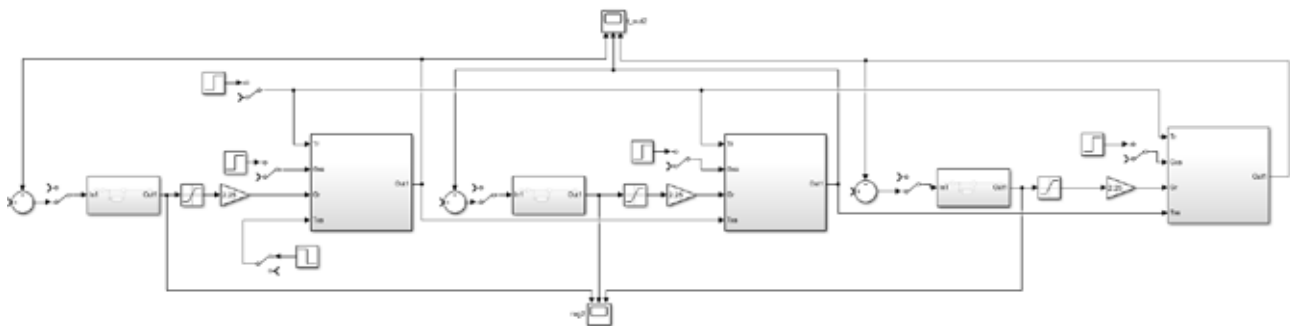


Рис. 1. Математична модель модульної котельні

градії було розподілення стрибків навантаження у мережі між трьома котлами для наближення їх режиму роботи до номінального, таким чином подовжуючи строк працездатності. Для коректної роботи нечіткого регулятора у такій системі його необхідно забезпечити чотирма інформаційними вхідними сигналами:

1. Температура теплоносія на вході до системи.
2. Температура теплоносія між першим і другим котлами.
3. Температура теплоносія між другим і третім котлами.
4. Температура теплоносія на виході системи.

Виходами регулятора будуть сигнали коригування завдання для внутрішніх контурів регулювання. Структура АСР зображена на рисунку 2.

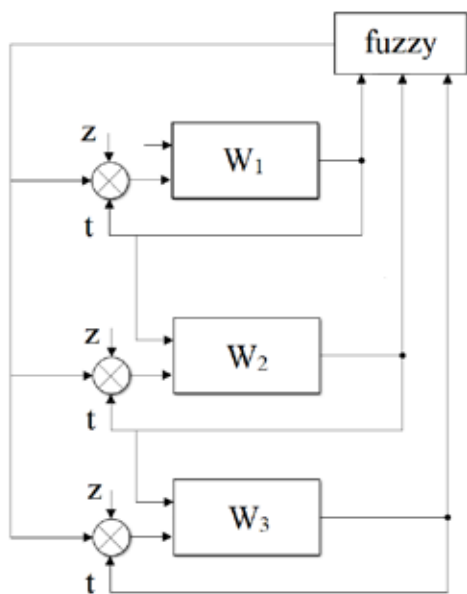


Рис. 2. Структурна схема АСР з інтеграцією нечіткого регулятора

$W_{1,2,3}(s)$ – передатні функції котла;
 fuzzy – нечіткий регулятор;
 z – завдання для регулятора котла;
 t – зворотний зв'язок за температурою.

Для дослідження системи скористаємося середовищем Simulink і схемою, наведеною на рисунку 3.

Останнім етапом дослідження й спроба повної заміни функцій систем локального регулювання нечітким регулятором. Тепер до вихідних сигналів нечіткого регулятора додаються сигнали керування подачею палива до кожного котла. Таким чином блок з нечіткою логікою повинен утримувати температур в заданих межах і коригувати завдання самому собі. У зв'язку з тим його база правил розширюється, значно ускладнюючи процес налаштування та підбір оптимальних меж функцій належності. Після встановлення мінімальної необхідної кількості правил та налаштування регулятора отримуємо модель на рисунку 4.

Подаємо збурення у виді -3 градусів. Отримані результати можна подивитися на рисунку 5. На ньому зображені виходи регуляторів у моделі з поєднанням ПІ з нечітким регулятором та одного нечіткого регулятора.

Як видно з рисунка 5, додання нечіткого регулятора до класичної схеми регулювання дає можливість рівномірного розподілення навантаження. Повна заміна система регулювання на нечітку показує схожий результат, з дещо більш нерівномірним розподіленням.

Кінцеві результати перехідного процесу регулювання температури на кожному з виходів котлів представлені на рисунку 6.

Перехідний процес у двухконтурній АСР відповідає вимогам з якості, перерегулювання відсутнє, похибка відсутня, коливальності майже немає, час регулювання швидкий. Перехідний процес, який

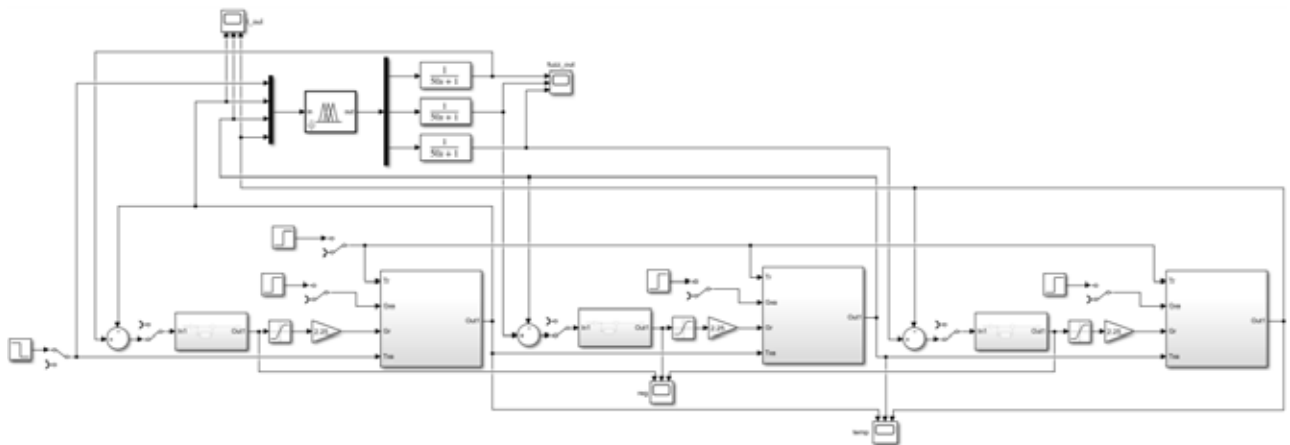


Рис. 3. Автоматична система регулювання модульною котельнею з поєднанням ПІ та нечітким регуляторами

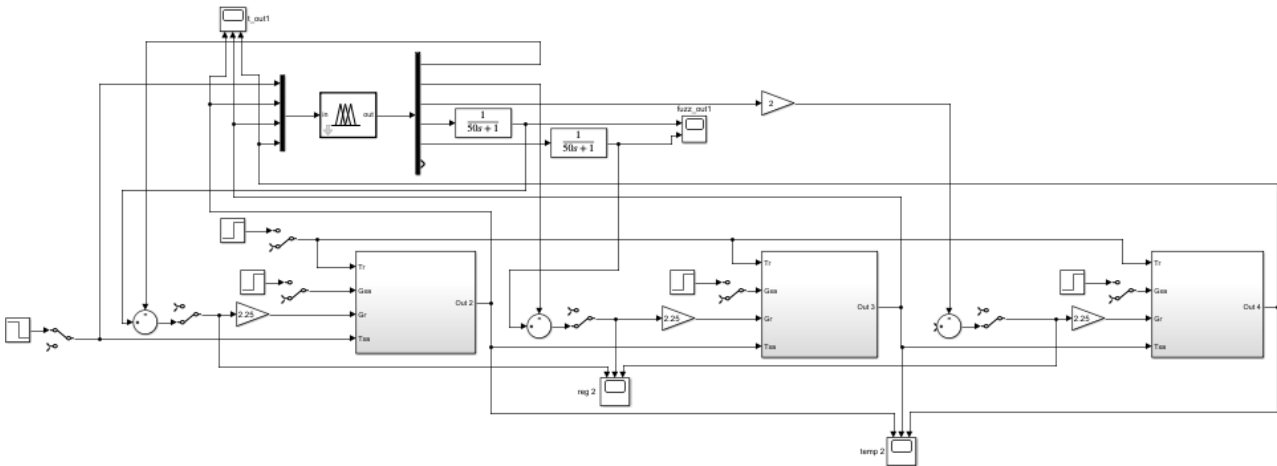


Рис. 4. Автоматична система регулювання модульною котельнею з нечітким регулятором

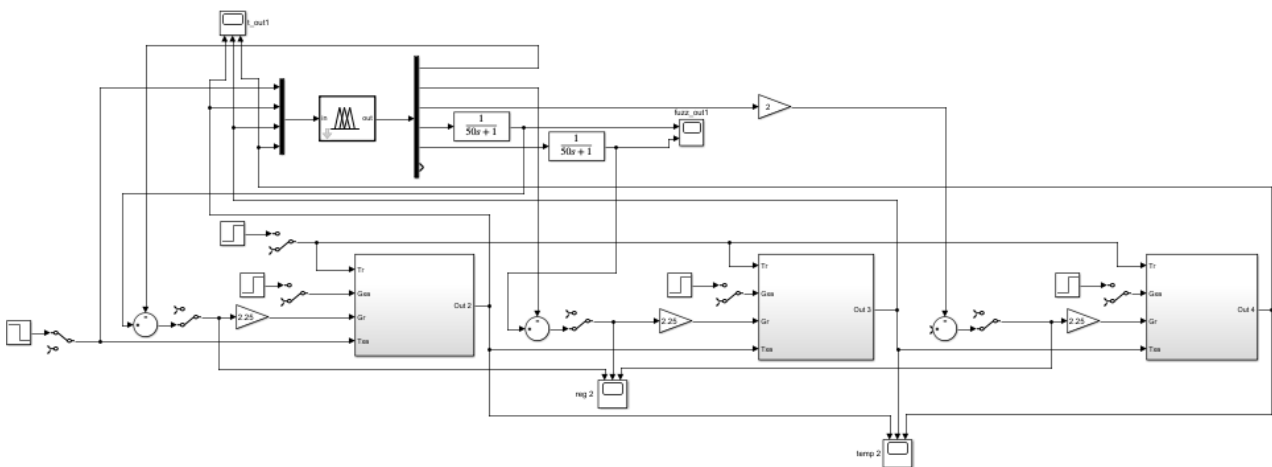


Рис. 5. Порівняння виходів регуляторів ПІ з нечітким регулятором зліва, один нечіткий справа

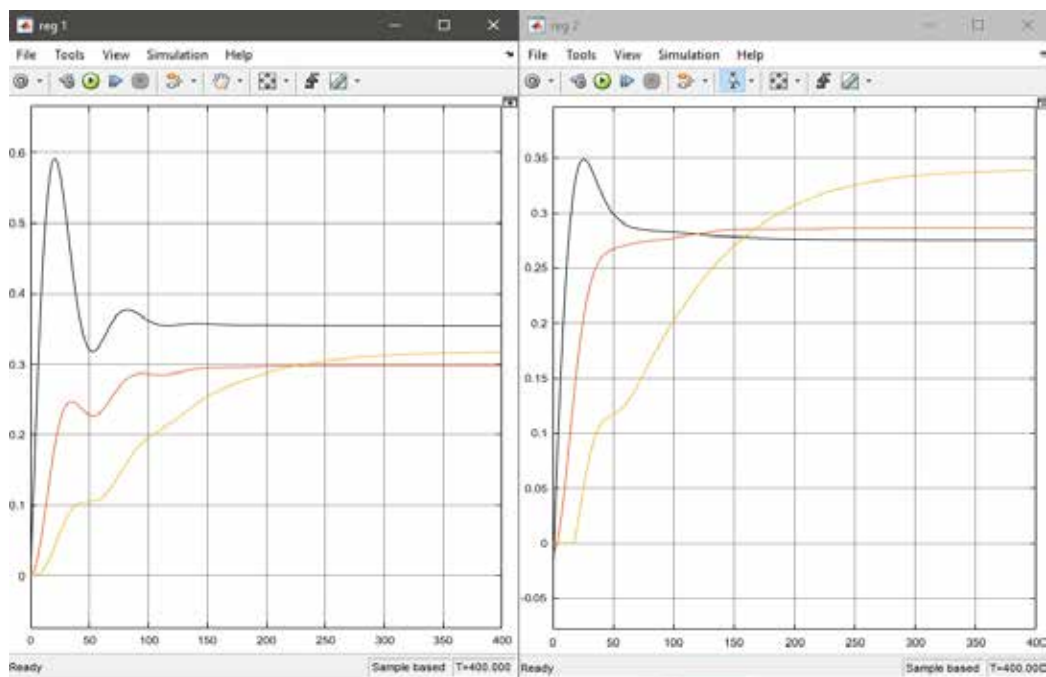


Рис. 6. Порівняння ППР температури: двухконтурна АСР з нечітким – зліва, АСР на базі нечіткої логіки – справа

демонструє система на базі нечіткої логіки: присуття незначної похибки регулювання – 5 % від величини збурення, що є прийнятним для даного технологічного процесу, перерегулювання відсутнє, коливальність відсутня, час регулювання швидкий, дещо повільніше ніж на попередньому графіку.

Висновки. У обох випадках було досягнуто рівномірного розподілу потужності котлів. Виходячи з цього, можна затвердити, що використання нечіткого регулятора без ПІ можливе. Але зі зростанням контрольованих об'єктів, складність налаштування зростає, що може впливати як на проміжний, так і на кінцевий результат. Якщо у об'єктів не багато виходів, для легшого налаштування і точнішого очікуемого

результату більш підходить схема з поєднанням регуляторів. Крім цього, при повному переході на нечітку логіку, спостерігається незначна похибка регулювання, що робить таку систему непридатною для деяких технологічних процесів, де необхідне точне підтримання регульованої величини або наявні значні збурення. Можна припустити, що дана похибка виникає внаслідок неоптимального налаштування нечіткого регулятора, тому рекомендується додаткове налаштування, використання функції автоматичного підбору параметрів або перехід на більш просту систему. У всякому разі використання останньої системи регулювання у теплофікаційних процесах цілком можливе через не такі жорсткі вимоги до якості регулювання.

Список літератури:

1. Особенности П, ПИ и ПИД регулирования. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ao-tera.com.ua/list/ru/technology/0/246.html>
2. Кон Л. И. Методичні вказівки й таблиці для вибору налаштувань ПІ та П регуляторів в одноконтурних системах регулювання теплових об'єктів з запізненням. Одеса, ОНПУ, 2003. 127 с.
3. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. – С. – Птб.: БХВ, 2003. – 720 с.
4. Мелихов А.Н. и др. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. Модульная котельная. [Электронный ресурс] URL: http://ru.teplowiki.org/wiki/Модульная_котельная.
6. К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков Теплообменники энергетических установок. Учебное электронное издание Екатеринбург: УрФУ 2015. 208 с.
7. Справочник «Промышленное газовое оборудование» / Издание 6-е, переработанное и дополненное. Под редакцией Е. А. Карякина, 2013–1193 с., Научно-исследовательский центр промышленного газового оборудования «Газовик».
8. Санцевич В.И. Блочно-модульная водогрейная котельная – ТетраСистемс, 2013. – 64с.
9. Барановский Н. В., Коваленко Л. М., Ястребенецкий А. Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. М., «Машиностроение», 1973, 288 с.
10. Бараненко А. В., Цветков О. Б., Лаптев Ю. А., Ховалыг Д. М. Миниканальные теплообменники в холодильной технике. (рус.) // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – СПб.: НИУ ИТМО, 2014. – Вып. 3. – ISSN 2310-1148
11. Краснов, В.И. Повышение эффективности теплоснабжения зданий и сооружений путём замены в ЦТП кожухотрубных теплообменников на пластинчатые / В.И. Краснов // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2006. – № 2.

Linnik I.S. INVESTIGATION OF FUZZY LOGIC POSSIBILITIES IN MODULATING BOILER CONTROL SYSTEM

In this work, the consequences of the integration of the fuzzy controller into the automatic control system of the modular boiler room were investigated. Typically, a modular boiler room is a series of small boilers connected in series. The observance of the required technological temperature is monitored by local proportional-integral (PI) regulators, each of which has its own task. The operation of such a model is quite simple and is not of great interest, so to expand the functionality of control systems, a block with fuzzy logic was integrated into it. The purpose of this block is to individually adjust the task for each module. Theoretically, the result of such a synthesis will be the prevention of operation of equipment at high power due to the distribution of excess load, which in turn leads to an increase in the probable service life of boilers and avoid unwanted economic losses. As an experiment, an attempt was made to completely replace the local PI controllers of boilers, and to transfer their functions to a fuzzy controller. This controller allows you to program any number of logical expressions without clear numerical conditions. Such a complication of the control system is a rather non-trivial task, due to doubling the number of input signals, which in turn increases the number of rules several

times. This makes it much more difficult to select the optimal type and boundaries of membership functions that determine the quality of the transitional process of regulation and affect both local deviations from the task and the final one. Based on the simulation results, a conclusion is made about the advantages of integrating fuzzy logic into the considered system and about the presence of meaning in the complete replacement of the group of PI regulators by one fuzzy one.

Key words: *automatic control system, modular boiler room, proportional-integral regulator, fuzzy logic regulator, synthesis, heat exchanger, double-circuit system.*