

*Ліннік І.С.*

Одеський національний політехнічний університет

## НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА У СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ПУНКТУ ТА ПОРІВНЯННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ МЕТОДІВ НАЛАДКИ

*Робота присвячена дослідженню якості перехідного процесу регулювання у тепловому пункті. Основним призначенням системи регулювання теплового пункту є підтримка температури теплоносія на заданому рівні. У процесі експлуатації теплового пункту на регульований параметр діють збурення, які надходять із навколишнього середовища та міської котельні. Для усунення невідповідності між заданою та фактичною температурами, використовується одноконтурна система регулювання з пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором, який керує клапаном на магістральному трубопроводі. Алгоритм налаштування такого регулятора не є складним, однак важливо підібрати оптимальні коефіцієнти для отримання задовільної якості перехідного процесу регулювання.*

*Серед спеціалістів з автоматизації популярним є метод затухаючих коливань Зіглера-Нікольса. У якості альтернативи розглядається метод, розроблений засновником кафедри автоматизації Одеського національного політехнічного університету Л.Й. Коном. Критеріями якості перехідного процесу регулювання будуть величина максимального відхилення, міра згасання коливань, час регулювання, його динамічний коефіцієнт, коефіцієнт коливальності. Особлива увага приділяється останньому коефіцієнту через значний негативний вплив коливального перехідного процесу на знос регулюючих органів і теплофікаційного обладнання.*

*Другим важливим критерієм якості перехідного процесу є час регулювання, оскільки теплові пункти використовуються переважно для потреб теплопостачання у житлових будинках. У результаті порівняльного аналізу зроблено висновок щодо ефективності системи регулювання теплового пункту при налаштуванні розглянутими методами з урахуванням складності налаштування системи.*

***Ключові слова:** автоматична система регулювання, тепловий пункт, теплообмінник, метод Л.Й. Кона, метод Зіглера-Нікольса.*

**Постановка проблеми.** Тепловий пункт (ТП) – найважливіший складник систем теплопостачання будівель. Від його характеристик багато в чому залежить регулювання систем опалення та гаряче водопостачання, а також ефективність використання теплової енергії. У кожному будинку є тепловий пункт, який відіграє важливу роль у підтриманні температури на заданому рівні. Тому тепловим пунктам приділяється особлива увага у процесі термомодернізації будівель. При установці ТП загальне зниження споживання тепла становить від 15% до 73%. Чим більші тепловтрати будівлі, тим більше тепла потрібно на її обігрів. Кожний тепловий пункт потребує індивідуального налаштування, тому його ефективність роботи напряму залежить від обраного методу налаштування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато виробників-контролерів розміщують інструкцію з налаштування методом Зіглера-Нікольса [1; 2], але застосування цього методу вимагає занадто багато часу через інерційність

об'єктів у тепловій енергетиці. У той же час існує альтернативний метод налаштування, застосування якого описано в [3]. Метод був розроблений засновником кафедри автоматизації в ОНПУ Л.Й. Коном. Такі налаштування знаходяться в області, близькій до оптимальних значень, внаслідок чого потрібно або лише незначне додаткове коригування параметрів, або воно не потрібне взагалі.

**Постановка завдання.** Завданням цієї роботи є порівняння методів розрахунку параметрів ПІ регулятора за якістю перехідного процесу регулювання в автоматичній системі регулювання теплового пункту. Метод Кона передбачає попереднє визначення властивостей об'єкта шляхом аналізу кривої розгону об'єкта. При порівнянні враховується також складність налаштування обраним методом.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Тепловий пункт – комплекс пристроїв, розташований у відокремленому приміщенні, яке складається з елементів теплових енергоустановок, що забезпечують їх приєднання до теплової мережі,

працездатність, управління режимами теплоспоживання, перетворення, регулювання параметрів теплоносія і розподіл теплоносія за видами споживачів.

Теплообмінник – технічний пристрій, в якому здійснюється теплообмін між двома середовищами, які мають різні температури. За принципом дії теплообмінники поділяються на рекуператори і регенератори. У рекуператорах рухомі теплоносії 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 у кауперах доменних печей.

У контурі, призначеному для нагрівача, може бути використана не тільки гаряча вода, але й антифриз, масло або інша гаряча, не шкідлива для частин приладу рідина. Пластинчастий теплообмінник встановлюється в систему опалення і розділяє її на дві частини: систему опалення від постачальника до клієнта і таку ж систему споживача. На рисунку 1 зображена схема технологічної ділянки.

Ділянка регулювання може бути представлена у вигляді такої математичної моделі, змодельованої у середовищі Simulink (рисунк 2).

Для визначення властивостей об'єкта необхідно зняти криві розгону по каналах регулю-

вання. Обробка кривих розгону здійснюється за допомогою методики Л.Й. Кона (рисунк 3), результатами якої є час повного запізнення, час емпічного запізнення, час чистого запізнення, коефіцієнт передачі, час розгону. Отримані дані використовуються для вибору структури автоматичної системи регулювання та налаштування регулятора.

Число інерційних ланок першого порядку  $q$  обирається відповідно до співвідношення між емпічним запізненням об'єкта  $\tau_e$  і часом розгону  $T_a$ . У розрахунковій моделі відношення її емпічного запізнення  $\tau_e$  не може бути довільним і визначається числом інерційних ланок  $q$ . Обчислені аналітично за рівнянням дотичної в точці перегину  $h_y(t)$  значення коефіцієнтів  $r = \tau / T_a$  і  $g = T / \tau_e$ , наведені у [3].

Керований канал технологічного об'єкта можна представити у вигляді інерційної ланки другого порядку. У зв'язку з тим, що такий об'єкт малоінерційний, застосування складного алгоритму управління не є оптимальним. Виходячи з цього, доцільно вибрати одноконтурну АСР із ПІ регулятором з огляду на відносну простоту її налаштування і задовільну якість процесу регулювання (схема зображена на рисунку 4).

Розрахунок налаштувань виконується за формулами з методики Л.Й. Кона, використовуючи характеристики об'єкта. Для цього необхідно попередньо визначити коефіцієнти  $K$  і  $C$  [4].

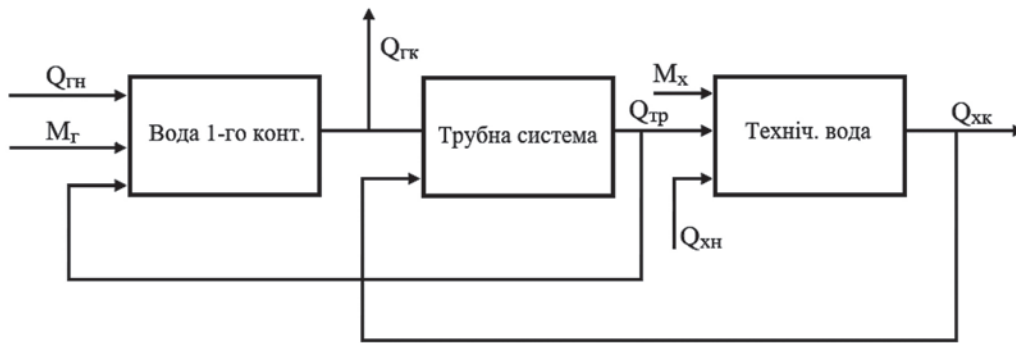


Рис. 1. Принципова схема технологічної ділянки

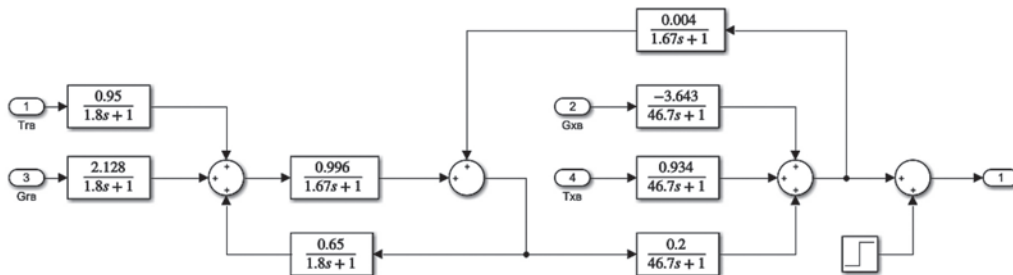


Рис. 2. Математична модель об'єкта

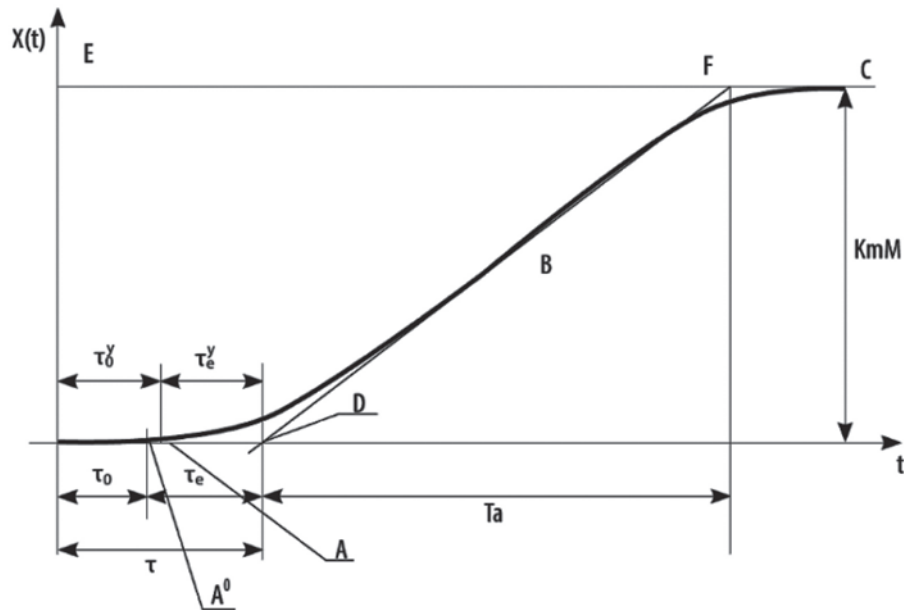


Рис. 3. Графічна обробка кривої розгону

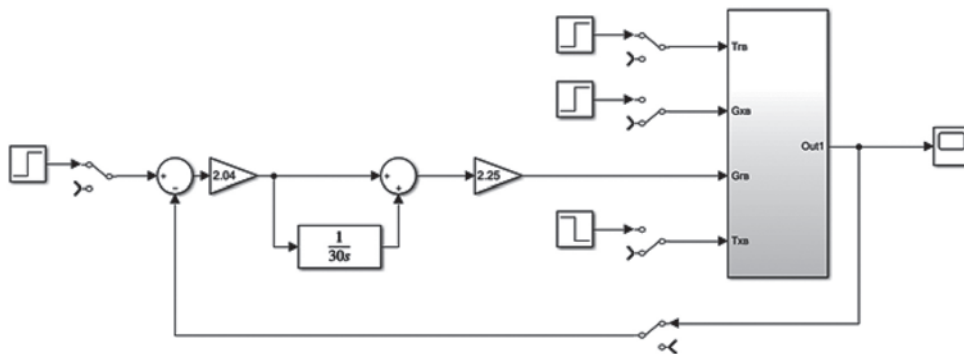


Рис. 4. Схема автоматичної системи регулювання

Для інерційних об'єктів час відносного запізнення визначається за формулою 1:

$$a = \frac{te}{Ta} \quad (1)$$

Для цього коефіцієнта обираємо табличні К, С

$$Kp = \frac{K}{Km}, \frac{\%x PO}{^\circ C} \quad (2)$$

$$Tu = Tu = C \times te, c \quad (3)$$

У діючій системі вимикаються інтегральний і диференціальний складники регулятора ( $Ti = \infty, Td = 0$ ), тобто система переводиться в закон регулювання Р. Шляхом послідовного збільшення  $Kp$  з одночасною подачею невеликого стрибкоподібного сигналу завдання зумовлюють виникнення в системі неза-

тухаючих коливань при  $Kp = Kkp$  із періодом  $Tkp$ . При цьому система знаходиться на межі коливальної стійкості (рисунок 5), фіксуються значення  $Kkp$  і  $Tkp$ . При появі критичних коливань жодна змінна системи не повинна виходити на рівень обмеження.

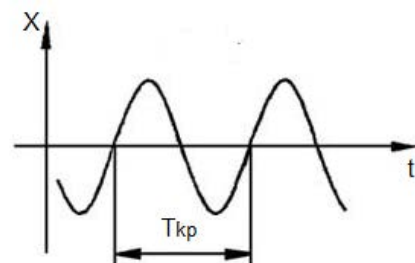


Рис. 5. Графік незатухаючих коливань при  $Kp = Kkp$  із періодом  $Tkp$

За значеннями  $Tkp$  і  $Kkp$  розраховуються параметри налаштування регулятора:

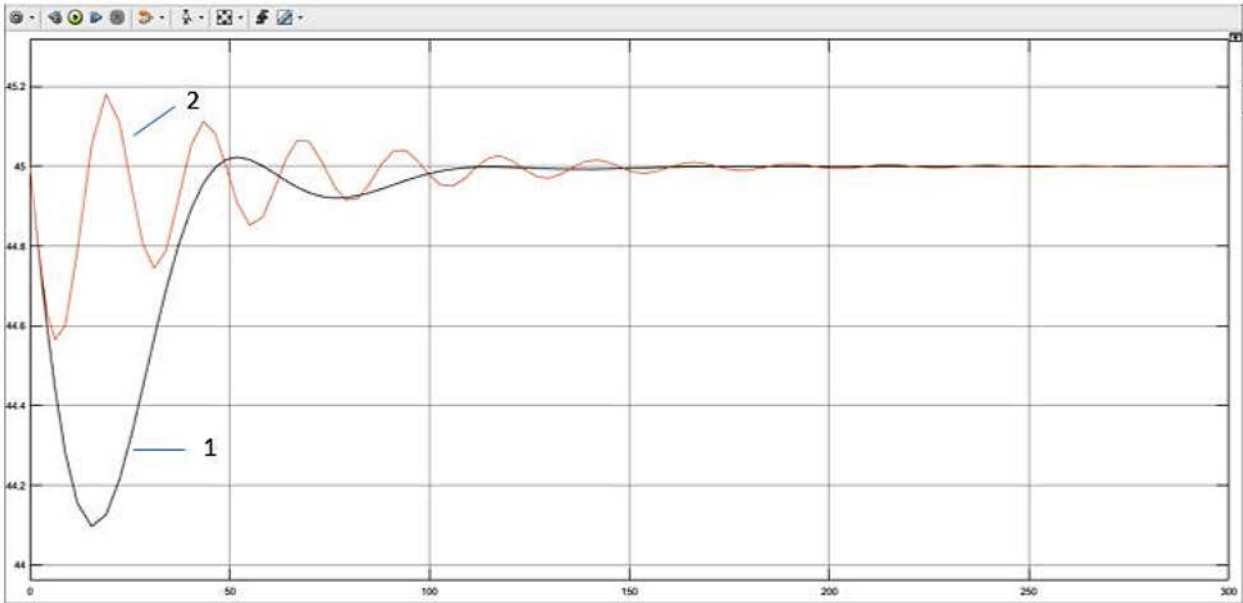


Рис. 6. Порівняння Метода Кона та Зіглера-Нікольса: 1 – метод Кона, 2 – метод Зіглера-Нікольса

P-регулятор:  $K_p = 0,55 K_{кр}$ ;  
 PI-регулятор:  $K_p = 0,45 K_{кр}$ ;  $T_i = T_{кр}/1,2$ ;  
 PID-регулятор:  $K_p = 0,6 K_{кр}$ ;  $T_i = T_{кр} / 2$ ;  
 $T_d = T_{кр}/8$ .

На рисунку 6 зображений результат налаштування обома методами.

Показниками якості ППР рівня є:

1. Максимальне відхилення регульованої величини  $A_1$ .
2. Час регулювання  $t_p$ .
3. Міра згасання коливаний перехідного процесу:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} \quad (4)$$

де  $A_3$  – третє максимальне відхилення регульованої величини.

4. Величина динамічного коефіцієнта регулювання:

$$R_d = \frac{A_1}{A_0} \times 100\%$$

5. Коефіцієнт коливальності:

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \times 100\%$$

**Висновки.** Обидва методи, які використовувалися у статті, працюють і можуть використовуватися для налаштування контролерів, але у процесі порівняння були виявлені переваги та недоліки цих методів. Метод Зіглера-Нікольса відносно простий, у той час як метод Кона вимагає зняття кривої розгону, її обробки і більш складного розрахунку з використанням спеціальних таблиць.

З причини інерційності об'єктів налаштування методом Зіглера-Нікольса може займати багато часу, у другому ж методі такі параметри відразу знаходяться в області, близькій до оптимальних значень. Внаслідок цього потрібно або лише незначне додаткове коригування параметрів, або воно не потрібно взагалі, що скорочує час, витрачений на знаходження параметрів. Коливальність і час регулювання у ньому значно менші, що зменшує зношеність регулюючих органів.

Таблиця 1

Таблиця порівняння двох методів

Метод Кона	Метод Зіглера-Нікольса
$A_1 = 0,9$	$A_1 = 0,44$
$t_p = 110$ с	$t_p = 230$ с
$\psi = 0,91$	$\psi = 0,41$
$R_d = 19,2\%$	$R_d = 9,4\%$
$\ddot{A} = 2,2\%$	$\ddot{A} = 40,9\%$

**Список літератури:**

1. Налаштування ПІД регулятора. URL: <http://www.controlplast.ru/site/index.php?/rinforms/kdocuments/nastrojkapid>.
2. Особенности П, ПИ и ПИД регулирования. URL: <https://www.ao-tera.com.ua/list/ru/technology/0/246.html>.
3. Харабет А.Н. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера : учебное пособие. О. : Бахва, 2014. 188 с.

4. Кон Л.Й. Методичні вказівки й таблиці для вибору налаштувань ПІ і П регуляторів в одноконтурних системах регулювання теплових об'єктів із запізненням. Одеса : ОНПУ, 2003. 127 с.
5. Ключев А.С., Лебедів А.Т. Налаштування автоматичних систем і пристроїв управління технологічними процесами. М. : Енергія, 1977. 399 с.
6. Тепловий пункт. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Тепловий\\_пункт](https://uk.wikipedia.org/wiki/Тепловий_пункт).

**Linnik I.S. REGULATOR SETTING IN THE HEATING POINT REGULATION SYSTEM AND COMPARISON OF THE TRANSITION PROCESS QUALITY WHEN USING DIFFERENT ADJUSTMENT METHODS**

*The work is devoted to the study of the quality of the transient process of regulation in the heat station. The main purpose of the thermal control system is to maintain the coolant temperature at the reference level. During the operation of the heat station, perturbations coming from the environment and the city boiler house are subject to an adjustable parameter. To eliminate the discrepancy between the set temperature and the actual one, a single-circuit control system with a proportional-integral (PI) controller is used to control the valve on the main pipeline.*

*The algorithm for tuning such a controller is not complicated, however, it is important to find the optimal coefficients to obtain the satisfactory quality of the transient adjustment process. Among the specialists in automation, the Ziegler-Nichols damping method is popular. As an alternative, the method developed by the founder of the Department of Automation at the Odessa National Polytechnic University L.Y. Con. The quality criteria of the transient adjustment process will be the value of the maximum deviation, the degree of damping of oscillations, the time of regulation, the dynamic coefficient of adjustment, the coefficient of oscillation. Particular attention is paid to the coefficient of oscillation, due to the significant negative influence of the oscillatory transition process on the wear of the regulators and the heat equipment.*

*Another important criterion for the quality of the transition process is the timing of regulation, as heat points are used mainly for the needs of heat in residential buildings. As a result of comparative analysis, it was concluded that the efficiency of the system of regulation of the heat point, when tuning the considered methods, taking into account the complexity of the system setup.*

**Key words:** automatic control system, heat point, heat exchanger, Kon method, Ziegler-Nichols method.