

УДК 62-522.7

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ  
МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ

Голубєв Л. П., Підсуха О. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Дослідження роботи ПІД-регулятора в залежності від значення його коефіцієнтів – пропорційного, інтегрального і диференціального.

**Методика.** В роботі застосовувались методи побудови автоматизованих систем керування, імітаційного моделювання, математичного аналізу і статистики, диференціального та інтегрального числення, теорії інформації, теорії автоматичного керування та методи цифрової обробки сигналів.

**Результати.** Досліджено роботу ПІД-регулятора в залежності від значення його коефіцієнтів та розроблено методу визначення оптимальних значень цих коефіцієнтів.

**Наукова новизна.** Розроблено новий метод уточнення параметрів (коефіцієнтів) ПІД-регулятора з використанням мікропроцесорної системи та побудовано математичну модель процесів ПІД-регулювання в системі SimINTech.

**Практична значимість.** Запропонований метод дозволяє автоматизувати процес уточнення параметрів ПІД-регулятора. В результаті проведених досліджень була розроблена комп'ютерно-інтегрована система визначення коефіцієнтів ПІД-регулятора.

**Ключові слова:** ПІД-регулятор, пропорційний коефіцієнт, інтегральний коефіцієнт, диференційний коефіцієнт, енкодер, програма FlProg

Регулятори часто використовуються в системах автоматичного управління для формування керуючого сигналу з метою отримання необхідної точності і якості перехідного процесу [1]. Дані параметри впливають на швидкість виходу системи на сталий режим, а також на перерегулювання.

ПІД (від англ. P-proportional, I-integral, D-derivative) – регулятором називається пристрій, що застосовується в контурах управління, оснащених ланкою зворотного зв'язку. Дані регулятори використовують для формування сигналу управління в автоматичних системах, де необхідно досягти високих вимог до якості і точності перехідних процесів [2].

Пропорційно-інтегрально диференційний (ПІД) регулятор є найбільш поширеним регулятором. До причин такої популярності відносяться:

- простота побудови і промислового використання;
- невисока вартість;
- висока ефективність у вирішенні практичних завдань.

ПІД регулятор – прилад, вбудований в керуючий контур, з обов'язковим зворотним зв'язком. Він призначений для підтримки встановлених рівнів заданих величин, наприклад, температури повітря.

Робота ПІД-регулятора полягає в подачі вихідного сигналу про величину потужності, необхідної для підтримки регульованого параметру на заданому рівні. Для обчислення показника використовують математичну формулу, в якій є 3 коефіцієнта – пропорційний, інтегральний, диференціальний.

Тому для ефективного використання ПІД-регулятора необхідно розробити механізм визначення коефіцієнтів ПІД-регулятора.

### **Постановка завдання**

Теорія ПІД-регулювання розроблена в середині минулого століття і досить добре вивчена. Існують різні методи визначення значень коефіцієнтів ПІД-регулятора (метод Зіглера-Нікольса, тангенціальний метод, метод проб і помилок та ін.) [3, 4]. Однак на практиці часто застосовують такий метод: для початкового визначення коефіцієнтів ПІД-регулятора використовують один з перерахованих методів, а, далі, уточнюють знайдені коефіцієнти за допомогою розробленої математичної моделі.

Таким чином, виникає задача побудови математичної моделі роботи ПІД-регулятора. Поставлену задачу зручно вирішувати в середовищі моделювання FIProg, яка дозволяє моделювати роботу ПІД-регулятора, змінюючи значення коефіцієнтів  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ .

### **Результати досліджень**

Схема включення ПІД-регулятора в контур управління приведена на рис. 1.

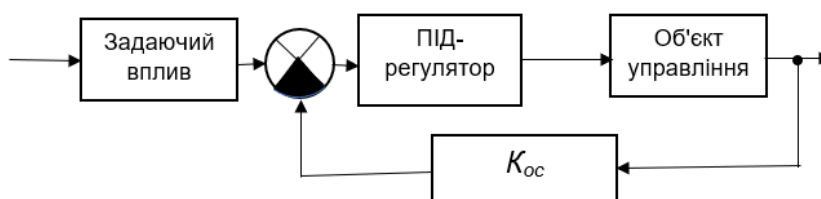


Рис. 1. Схема включення ПІД-регулятора в контур управління

Керуючий сигнал ПІД-регулятора виходить в результаті додавання трьох складових: перша – пропорційна величині сигналу неузгодженості, друга – інтегралу сигналу неузгодженості, третя – його похідній. Якщо якийсь із цих трьох компонентів не включений в процес складання, то регулятор буде вже не ПІД, а просто пропорційним, пропорційно-диференціальним або пропорційно-інтегруючим. На рис. 2 приведена функціональна схема ПІД-регулятора.

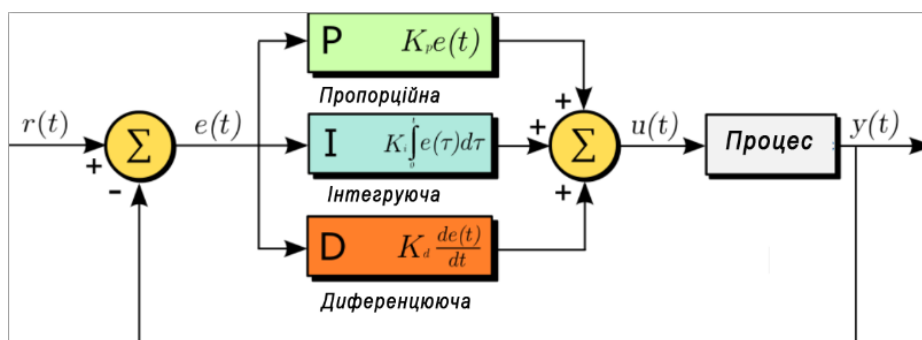


Рис. 2. Функціональна схема ПІД-регулятора

Вихідний сигнал дає пропорційну складову. Сигнал цей призводить до протидії поточному відхиленню вхідної величини, що підлягає регулюванню, від встановленого значення. Чим більше відхилення – тим більше і сигнал. Коли на вході значення регульованої величини дорівнює заданому, то вихідний сигнал стає рівним нулю.

Якщо залишити тільки цю пропорційну складову, і використовувати тільки її, то значення величини, що підлягає регулюванню, не стабілізується на правильному значенні ніколи. Завжди є статична помилка, яка дорівнює такому значенню відхилення регульованої величини, що вихідний сигнал стабілізується на цьому значенні.

Чим більше коефіцієнт посилення між входом і виходом – тим менше статична помилка, але якщо коефіцієнт посилення (по суті – коефіцієнт пропорційності) буде занадто великим, то за умови наявності затримок в системі (а вони часто неминучі), в ній незабаром почнеться автоколивання, а якщо збільшити коефіцієнт ще більше – система просто втратить стійкість.

Інтеграл по часу від величини неузгодженості – є основною частиною інтегруючої складової. Вона пропорційна цьому інтегралу. Інтегруючий компонент використовується як раз для виключення статичної помилки, оскільки регулятор згодом враховує статичну похибку.

За відсутності зовнішніх збурень, через якийсь час величина, що підлягає регулюванню, буде стабілізована на правильному значенні, коли пропорційна складова дорівнюватиме нулю, і точність виходу буде цілком забезпечена інтегруючою складовою. Але інтегруюча складова теж може породити осциляції близько точки позиціонування, якщо коефіцієнт не підібраний правильно.

Темпу зміни відхилення величини, що підлягає регулюванню, пропорційна третя – диференціююча складова. Вона необхідна для того, щоб протидіяти відхиленню

(викликаним зовнішніми впливами або затримками) від правильного положення, прогнозованого в майбутньому.

Очевидно, що ПІД-регулятори застосовують для підтримки заданого значення  $x_0$  деякої однієї величини, завдяки зміні значення  $u$  іншої величини. Є уставка або задане значення  $x_0$ , і є різниця чи «нев'язка» (неузгодженість)  $e = x_0 - x$ . Якщо система лінійна і стаціонарна (практично це навряд чи можливо), то для завдання  $u$  справедлива нижченаведена формула:

$$u(t) = P + S + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(r) dr + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

У цій формулі (1) присутні коефіцієнти пропорційності для кожного з трьох доданків.

Практично в ПІД-регуляторах використовують для настройки іншу формулу, де коефіцієнт посилення застосований відразу до всіх компонентів:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + K_{ip} \int_0^t e(r) dr + K_{dp} \frac{de}{dt} \right) \quad (2)$$

Для дослідження роботи ПІД-регулятора виникає задача визначення впливу кожного коефіцієнта пропорційності на роботу пристрою.

Для цього була розроблена мікропроцесорна система що підтримує температуру об'єкта на заданому рівні, вона також дозволяє моделювати роботу ПІД-регулятора. Структурна схема розробленої системи представлена на рис. 3.

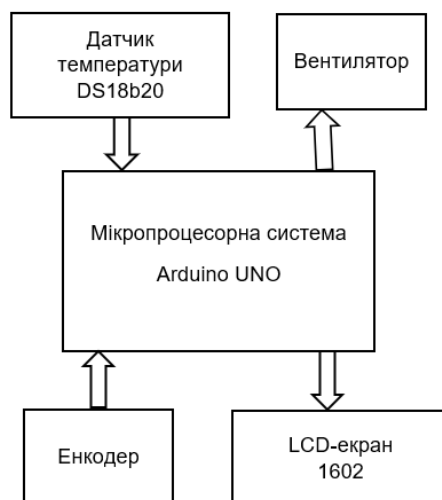


Рис. 3. Структурна схема системи моделювання роботи ПІД-регулятора



Моделювання роботи ПІД-регулятора в програмі FIProg відображено на рис. 5.

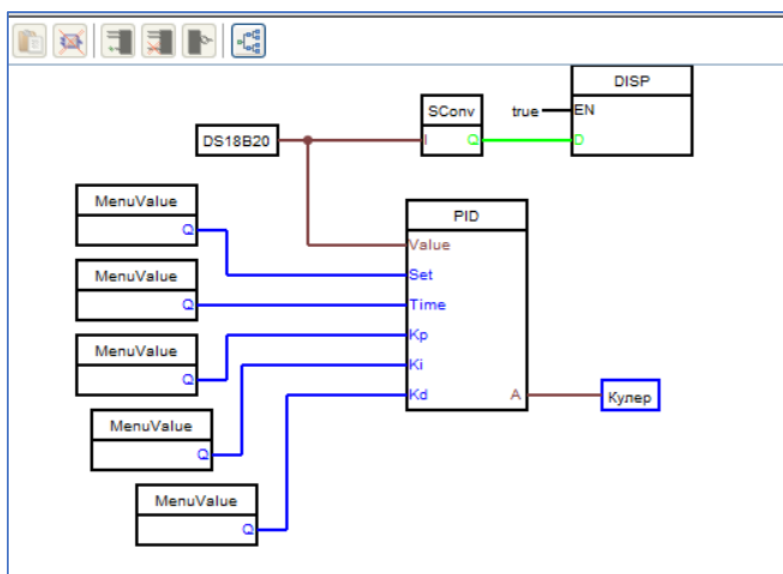


Рис. 5. Моделювання роботи ПІД-регулятора в програмі FIProg

Входи блоку PID-регулятора:

- Value – значення температури, що отримується з датчика DS18b20;
- Set – необхідне значення температури;
- Time – час;
- $K_p$  – пропорційний коефіцієнт, що надходить з блоку меню;
- $K_i$  – інтегральний коефіцієнт, що надходить з блоку меню;
- $K_d$  – диференціальний коефіцієнт, що надходить з блоку меню.

До аналогового виходу ПІД-регулятора підключається навантаження (в нашому випадку вентилятор).

Результати спостережень свідчать, що пропорційна складова призводить до протидії поточному відхиленню вхідної величини, що підлягає регулюванню, від встановленого значення. Чим більше відхилення – тим більше і сигнал. Темпу зміни відхилення величини, що підлягає регулюванню, пропорційна третя – диференціююча складова. Інтегруючий компонент використовується як раз для виключення статичної помилки, оскільки регулятор згодом враховує статичну похибку.

### **Висновки**

В результаті проведених досліджень була створена модель роботи ПІД-регулятора в програмі FIProg. Виконана генерація програми для Ардуїно і завантаження

її в пам'ять мікропроцесора. Розроблена система дозволяє виконувати остаточне коректування коефіцієнтів ПІД-регулятора.

До переваг розробленої системи слід віднести можливість більш точної установки коефіцієнтів ПІД-регулятора за допомогою їх ручної настройки. Розроблена система може бути використана в якості лабораторного стенду для навчання студентів за фахом 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в курсі Теорія автоматичного керування.

### Список використаних джерел

1. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления: Учебное пособие для вузов / А. А. Первозванский – М.: Наука, 1986. – 616 с.
2. Филиппов С. А. Робототехника для детей и родителей / С. А. Филиппов – СПб.: Наука, 2011. – 263 с.
3. Можчиль Б. В. Использование микропроцессоров при создании автоматизированных систем управления [Электронный ресурс] / Б. В. Можчиль, С. Ю. Фетисенко, Л. П. Голубев. // Технології та дизайн. - 2016. – № 3. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2016\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_6)
4. Голубев Л. П. Дистанційне керування роботом-манипулятором / Л. П. Голубев, Б. І. Чумак. // Технології та дизайн. – 2019. – № 2. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2019\\_2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2019_2_10)

### References

1. Pervozvanskiy, A.A. (1986). *Kurs teorii avtomaticheskogo upravleniya: Uchebnoe posobie dlya vuzov*. [A course in automatic control theory: a textbook for universities.] Moscow: Nauka [in Russian].
2. Filippov, S.A. (2011). *Robototekhnika dlya detey i roditeley*. [Robotics for children and parents.] St. Petersburg: Nauka [in Russian].
3. Mozhchil, B.V., Fetisenko, E.Yu. & Golubev, L.P., (2016). *Ispolzovanie mikroprotsessorov pri sozdanii avtomatizirovannykh sistem upravleniya* [The use of microprocessors in the creation of automated control systems]. *Tekhnologii ta dizayn - Technology and design* – Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2016\\_3\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_6) [in Ukrainian].
4. Holubiev, L.P. & Chumak B.I. (2019). *Dystantsiine keruvannia robotom-manypuliatorom*. [Remote control of the robot manipulator] *Tekhnologii ta dizayn – Technology and design*. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2019\\_2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2019_2_10) [in Ukrainian].

**Golubev Leontiy**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2980-8017>

[golubevl@ukr.net](mailto:golubevl@ukr.net)

*Kyiv National University of  
Technologies and Design*

**Pidsuha Olexander**

[alexsandr.pidsukha@gmail.com](mailto:alexsandr.pidsukha@gmail.com)

*Kyiv National University of  
Technologies and Design*

**Исследование работы ПИД-регулятора с помощью микропроцессорной системы****Голубев Л. П., Пидсуха А. В.***Киевский национальный университет технологий и дизайна***Цель.** Исследование работы ПИД-регулятора в зависимости от значения его коэффициентов - пропорционального, интегрального и дифференциального.**Методика.** В работе применялись методы построения автоматизированных систем управления, имитационного моделирования, математического анализа и статистики, дифференциального и интегрального исчисления, теории информации, теории автоматического управления и методы цифровой обработки сигналов.**Результаты исследований.** Исследована работа ПИД-регулятора в зависимости от значения его коэффициентов и разработана методика определения оптимальных значений этих коэффициентов.**Научная новизна.** Разработан новый метод уточнения параметров (коэффициентов) ПИД-регулятора с использованием микропроцессорной системы и построена математическая модель процессов ПИД-регулирования в системе SimINTech.**Практическая значимость.** Предложенный метод позволяет автоматизировать процесс уточнения параметров ПИД-регулятора. В результате проведенных исследований была разработана компьютерно-интегрированная система определения коэффициентов ПИД-регулятора.**Ключевые слова:** ПИД-регулятор, пропорциональный коэффициент, интегральный коэффициент, дифференциальный коэффициент, энкодер, программа FLProg**The study of the PID controller using a microprocessor system****Golubev L. P., Pidsuha O. V.***Kiev National University of Technology and Design***Purpose.** Study of the operation of the PID controller depending on the value of its coefficients – proportional, integral and differential.**Methodology.** The paper applied the methods of constructing automated control systems, simulation, mathematical analysis and statistics, differential and integral calculus, information theory, automatic control theory and methods of digital signal processing.**Findings.** The work of the PID controller depending on the value of its coefficients is investigated and a methodology for determining the optimal values of these coefficients is developed.**Originality.** A new method has been developed to refine the parameters (coefficients) of the PID controller using a microprocessor system, and a mathematical model of the PID control processes in the SimINTech system has been built.**Practical value.** The proposed method allows you to automate the process of refining the parameters of the PID controller. As a result of the research, a computer-integrated system for determining the coefficients of the PID controller was developed.**Keywords:** PID controller, proportional coefficient, integral coefficient, differential coefficient, encoder, FLProg program