

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО НАЛАШТУВАННЯ ПІ-РЕГУЛЯТОРІВ

Ю. О. Ромасевич, доктор технічних наук, професор

В. С. Ловейкін, доктор технічних наук, професор

А. П. Ляшко, кандидат технічних наук

І. М. Болбот, доктор технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: romasevichyuriy@ukr.net

Анотація. Використання в роботі інженерів з автоматизації виробництва програмного забезпечення для налаштування регуляторів є важливим завданням.

Метою дослідження є розробка програмного забезпечення для задач оптимального налаштування ПІ-регуляторів

У статті на основі аналізу функціональних можливостей сучасних програмних продуктів для налаштування систем автоматичного регулювання встановлено головні вимоги до розробки програмного забезпечення для налаштування автоматичних регуляторів. Представлено інтерфейс розробленого програмного продукту PI-Tuner для визначення оптимальних значень коефіцієнтів пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора. Наведено опис функціональних можливостей програмного продукту, серед яких: аналіз процесу регулювання для об'єктів регулювання першого, другого та третього порядків із затримкою та без неї; побудова графічних залежностей, що описують процес регулювання; розрахунок якісних показників регулювання у часовій області; визначення оптимальних коефіцієнтів ПІ-регулятора на основі метоевристичного методу оптимізації із врахуванням деяких показників регулювання (перерегулювання, тривалості регулювання тощо).

Вказано основні напрямки подальшого розвитку програмного продукту серед яких: розширення її функціональних можливостей у частині розрахунків ширшого класу об'єктів регулювання, покращення інтерфейсу, можливість застосування відомих у інженерній практиці методів налаштування автоматичних регуляторів тощо.

Ключові слова: програмний продукт, автоматичне регулювання, ПІ-регулятор, налаштування

Актуальність. Сучасні підходи до синтезу (у тому числі і налаштування) автоматичних регуляторів для різноманітних технологічних процесів та об'єктів регулювання полягають у використанні для цих задач потужних програмних

продуктів. Вони дозволяють знизити деякі вимоги до підготовки інженерного персоналу в галузі автоматизації технологічних процесів, забезпечити швидке введення автоматизованих виробничих ліній в роботу, мінімізувати енерго- та ресурсовитрати, підвищити продуктивність роботи та якість виробленої продукції. Враховуючи вказані фактори, підтримка роботи інженерів з автоматизації виробництва шляхом використання у їхній діяльності відповідного програмного забезпечення є важливою завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш поширений тип автоматичних регуляторів, які використовуються у промисловості, сільському господарстві, транспорті – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (ПІД-регулятор). Для того, щоб виконати його налаштування існує значна кількість спеціалізованих програмних продуктів, серед яких можна виділити такі: INCA PID Tuner [1], PID Tuner Controller [2], DOT X Control Solutions [3], Simcet [4], Protuner [5], PID-autotune [6], TunePID [7], ExperTune [8]. Також розроблено спеціальні бібліотеки для різноманітних платформ розробки програмного забезпечення (наприклад, Autotuner PID Toolkit [9], Arduino PID Autotune Library [10]). Всі ці програми дають змогу досить просто виконати налаштування автоматичних регуляторів за відомими у інженерній практиці методами і лише незначна їх кількість забезпечує налаштування регуляторів на основі вимог максимального покращення якості регулювання, тобто на оптимізаційній основі.

Досить часто можна досягнути прийнятної якості регулювання навіть за відсутності диференціальної складової. Тому у подальшому будемо говорити лише про налаштування ПІ-регулятора, яка полягає у визначенні таких значень коефіцієнтів пропорційної та інтегральної складових, які б забезпечили якнайкращу (з деяких позицій) якість регулювання.

Крім того, значна кількість програм обладнані функціями аналізу (як кількісного так і якісного) якості регулювання.

Таким чином, можемо вказати основні вимоги до функціональних можливостей програмного продукту для налаштування ПІ-регуляторів:

1) проведення аналізу впливу величин коефіцієнтів ПІ-регулятора шляхом оцінки графічних залежностей та числових значень якісних показників регулювання (зокрема, у часовій області);

2) можливість проведення аналізу регулювання та оптимального налаштування ПІ-регуляторів для найбільш розповсюджених об'єктів автоматичного регулювання. Останні, як правило, описуються передатними функціями до третього порядку включно та характеризуються наявністю часової затримки;

3) забезпечення стійкості регулювання того чи іншого об'єкта при налаштуванні ПІ-регулятора;

4) врахування основних якісних показників регулювання у процедурі налаштування коефіцієнтів ПІ-регулятора (перерегулювання, тривалості регулювання тощо);

5) забезпечення високої вірогідності відшукування глобального мінімуму оптимізаційного критерію при виконанні процедур оптимального налаштування ПІ-регулятора;

6) наявність інтуїтивно-зрозумілого інтерфейсу програми.

Вказані вимоги до функціональних можливостей програмного продукту були покладені в основу розробки програми PI-Tuner, опис якої буде подано у наступному викладі.

Мета дослідження – розробка програмного забезпечення для задач оптимального налаштування ПІ-регуляторів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: 1) навести опис розробленого програмного продукту PI-Tuner; 2) вказати функціональні можливості програми; 3) вказати шляхи подальшого розвитку програмного продукту.

Матеріали і методи дослідження. Програма PI-Tuner призначена для проведення визначення оптимальних коефіцієнтів ПІ-регулятора для об'єктів регулювання третього, другого та першого порядків із часовою затримкою або без неї. Вона також дає можливість отримати графічні залежності зміни регульованої величини та регулювання при моделюванні процесу регулювання того чи іншого об'єкта, а також комплекс оціночних показників у часовій області. Крім того,

користувач програми має можливість задавати коефіцієнти пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора власноруч та проводити аналіз процесу регулювання.

Основний код програми та код, який необхідний для виконання допоміжних розрахунків (а саме розрахунків критерію оптимізації, а також допоміжні розрахунки у алгоритмі оптимізації), було розміщено у двох програмних модулях (модулі Unit1 та Functions_Unit). Це дало змогу спростити безпосередньо процес розробки програми та оптимізувати її виконання.

Для того, щоб у повній мірі описати функціональні можливості розробленого програмного продукту, наведемо його інтерфейс (рис. 1).

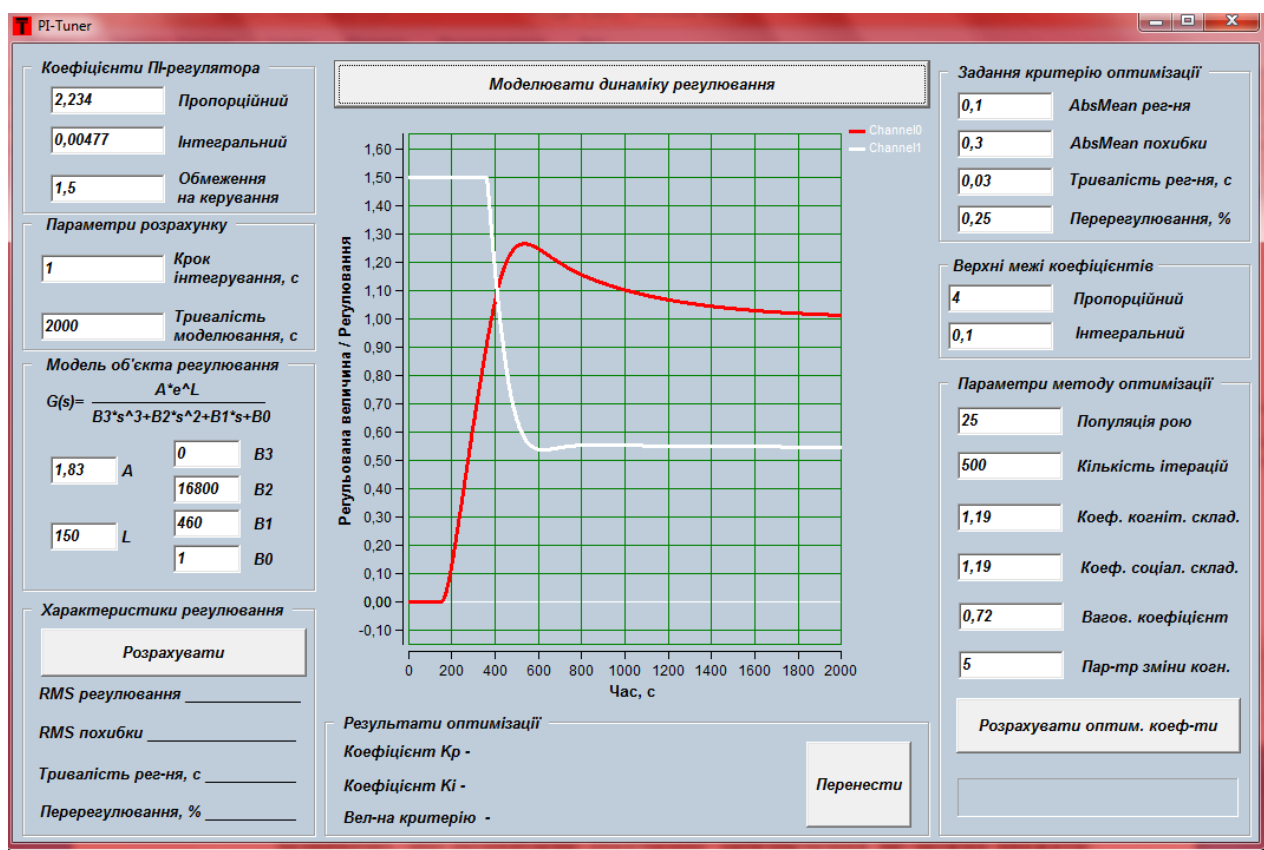


Рис. 1. Інтерфейс програми PI-Tuner

Результати досліджень та їх обговорення. Як випливає з рис. 1, вікно програми PI-Tuner умовно складається з трьох частин, кожна з яких містить декілька панелей. Перша частина (ліва колонка програми) дає змогу користувачеві проводити кількісний аналіз динаміки регулювання, друга (середня колонка програми) –

показує графіки функцій регульованої величини та регулювання (вихідний сигнал ПІ-регулятора), тобто відповідає за якісний аналіз процес регулювання; третя (права колонка програми) – відповідає за проведення оптимізації коефіцієнтів ПІ-регулятора за комплексним критерієм. Дамо більш детальне пояснення роботи кожної з частин та опишемо їх зв'язки між собою.

Перша частина вікна програми включає панелі: „Коефіцієнти ПІ-регулятора”, „Параметри розрахунку”, „Модель об'єкта регулювання” та „Характеристики регулювання”. У панелі „Коефіцієнти ПІ-регулятора” присутні три поля. У перші два („Пропорційний” та „Інтегральний”) користувач має змогу задавати числові значення коефіцієнтів ПІ-регулятора. У третє поле задається верхня межа сигналу регулювання (нижня межа задана рівною нулю). Користувач може змінювати вказані параметри і спостерігати за зміною якісних показників регулювання, які відображаються на інших панелях програми.

Панель „Параметри розрахунку” включає два поля, які призначені для задання кроку інтегрування та тривалості моделювання. Перше відповідає кроку часу, який буде використано для моделювання динаміки об'єкта регулювання. По суті це – крок чисельного інтегрування диференціальних рівнянь, які відповідають передаточній функції об'єкта регулювання. Друге поле дає можливість користувачу встановлювати часовий проміжок, за яким буде виконуватись чисельне інтегрування вказаних диференціальних рівнянь.

Третя панель „Модель об'єкта регулювання” дає змогу користувачу задати передатну функцію об'єкта регулювання. Сама передатна функція, що обмежена третім порядком, включає часову затримку, величина якої задається параметром L . Якщо необхідно виконати розрахунки об'єктів другого або першого порядків, то користувач задає відповідні коефіцієнти рівними нулю (наприклад, для об'єкта першого порядку необхідно у поля B_3 та B_2 задати нулі).

У коді програми виконується перетворення передатної функції у відповідну систему диференціальних рівнянь, які у подальшому інтегруються із заданими кроком інтегрування та часовим проміжком.

При натисканні кнопки „Розрахувати” у панелі „Характеристики регулювання” користувачу будуть показані чотири оціночні показники якості регулювання, які розраховані за такими формулами:

$$RMS_c = \sqrt{\frac{\Delta t}{t_s} \sum_{i=1}^{\frac{t_s}{\Delta t}} u_i^2}; \quad (1)$$

$$RMS_e = \sqrt{\frac{\Delta t}{t_s} \sum_{i=1}^{\frac{t_s}{\Delta t}} e_i^2}; \quad (2)$$

$$t_s = i\Delta t, \text{ при } |e_i| \leq 0,02; \quad (3)$$

$$OS = \begin{cases} \frac{\max(e) - r}{r} \cdot 100, & \text{якщо } \max(e) - r > 0; \\ 0, & \text{якщо } \max(e) - r \leq 0, \end{cases} \quad (4)$$

де RMS_c та RMS_e – відповідно середньоквадратичні значення регулювання та похибки; Δt – крок чисельного інтегрування диференціальних рівнянь, що описують динаміку об’єкта регулювання; t_s – тривалість регулювання; OS – перерегулювання.

Показники (1)-(4) є найважливішими в часовій області. Вони є небажаними і дають змогу оцінити якість процесу регулювання об’єкта із певною передатною функцією ПІ-регулятором, із заданими коефіцієнтами регулятора та обмеженням на регулювання.

Для того, щоб користувач мав змогу візуально оцінити процес регулювання, тобто зміну регульованої величини і регулювання в часі, необхідно натиснути кнопку „Моделювати динаміку регулювання”. Графік регульованої величини буде відображено червоним кольором, а регулювання – білим. Обидва графіки дають змогу користувачу провести якісний аналіз процесу регулювання. Підкріплений показниками якості регулювання з панелі „Характеристики регулювання” проведений аналіз дасть змогу встановити прийнятність або неприйнятність коефіцієнтів ПІ-регулятора.

Третя частина програми відповідає за розрахунок оптимальних значень коефіцієнтів ПІ-регулятора. У панелі „Задання критерію оптимізації” користувач має у окремі поля задати значення вагових коефіцієнтів, які у сукупності будуть формувати величину комплексного критерію оптимізації:

$$\begin{aligned} Ind &= w_1 AbsMean_c + w_2 AbsMean_e + w_3 t_s + w_4 OS = \\ &= w_1 \frac{\Delta t}{t_s} \sum_{i=1}^{\frac{t_s}{\Delta t}} |u_i| + w_2 \frac{\Delta t}{t_s} \sum_{i=1}^{\frac{t_s}{\Delta t}} |e_i| + w_3 t_s + w_4 OS, \end{aligned} \quad (5)$$

де w_1, w_2, w_3, w_4 – вагові коефіцієнти, які показують важливість мінімізації середнього значення модуля регулювання, середнього значення модуля похибки, тривалості регулювання та перерегулювання відповідно.

У панелі „Верхні межі коефіцієнтів” задаються верхні межі областей пошуку коефіцієнтів пропорційної та інтегральної складової. Це необхідно для того, щоб при виконанні розрахунків алгоритм не виходив за встановлені межі і пошук проходив ефективно. Необхідність задання раціональних значень верхніх меж коефіцієнтів також викликана тим, що у випадку їх невірного задання у програмі може виникнути переповнення змінних, що, у свою чергу, викликає аварійну зупинку роботи програми.

Нижні межі коефіцієнтів пропорційної та інтегральної складових регулятора задані рівними нулю.

У панелі „Параметри методу оптимізації” у окремих полях користувач повинен вказати числові параметри модифікації методу рою часточок [17], яка використовується для визначення оптимальних значень коефіцієнтів пропорційної та інтегральної складових регулятора. До цих параметрів належать: популяція рою (кількість часточок у рої); кількість ітерацій методу; коефіцієнти когнітивної та соціальної складових рою; інерційний коефіцієнт та параметр зміни когнітивної складової (саме зміна цієї складової і визначає модифікацію методу рою часточок та підвищує його пошукові властивості). Задання цих параметрів є необхідним для застосування методу оптимізації. Параметри, які задані за замовчуванням,

відповідають ефективному варіанту застосування методу. Однак, користувач може змінювати вказані параметри, спостерігаючи та аналізуючи їх вплив на ефективність розв'язування конкретної задачі оптимального налаштування ПІ-регулятора.

При натисканні кнопки „Розрахувати оптим. коеф-ти” запускається алгоритм, який реалізує модифікований метод рою часточок. Про виконання ітерацій алгоритму користувач може спостерігати на панелі прогресу, яка знаходиться під кнопкою. При цьому виконується пошук таких значень коефіцієнтів пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора, а також тривалості моделювання динаміки регулювання, які забезпечують мінімум такому узагальненому критерію:

$$Cr = Ind + Ter, \quad (6)$$

де Ter – термінальний критерій оптимізації, який визначається так:

$$Ter = \begin{cases} 0, \text{ якщо } |e_N| < 0,02 \wedge |v_N| < 0,02 \wedge |a_N| < 0,02; \\ (|e_N| + |v_N| + |a_N|)\delta_{Ter}, \text{ якщо } |e_N| \geq 0,02 \vee |v_N| \geq 0,02 \vee |a_N| \geq 0,02, \end{cases} \quad (7)$$

де δ_{Ter} – термінальний коефіцієнт, який визначає важливість досягнення уставки (у програмі задано $r=1$) та відповідає умові стійкості регулювання. Величина коефіцієнту $\delta_{Ter}=10^8$ обрана такою для того, щоб забезпечити потрібну топологію критерію (6).

Фактично критерій (6) – це та сама процедура його мінімізації, яка співпадає з описаною у роботах [11-16] реалізацією методології синтезу оптимальних регуляторів (у даному випадку стосовно оптимального налаштування ПІ-регулятора).

Після того, як всі ітерації будуть виконані, на панелі „Результати оптимізації” користувач побачить три числові значення, які відповідають пропорційному та інтегральному коефіцієнтам регулювання, а також величині узагальненого критерію оптимізації (6). Якщо значення критерію (6) незначне (воно повинно відповідати мінімізованому значенню критерію (5)), то процедура оптимізації виконана успішно. У протилежному випадку користувач може повторно запустити процедуру оптимізації. Такі повторні запуски алгоритму можуть призвести до отримання

кращих результатів, про що буде свідчити менша величина узагальненого критерію оптимізації (6), яка відобразиться на панелі „Результати оптимізації”.

Натиснувши на кнопку „Перенести”, користувач викликає перенесення величин оптимальних значень коефіцієнтів у поля вводу на панелі „Коефіцієнти ПІ-регулятора”. Після цього натискання кнопки „Моделювати динаміку регулювання” дасть змогу оцінити якісну картину використання ПІ-регулятора із оптимальними коефіцієнтами, а натискання кнопки „Розрахувати” дасть змогу отримати числові значення оціночних показників регулювання (1)-(4).

Всі описані процедури виконуються користувачем, який повинен бути обізнаний із основними положеннями використовуваного методу оптимізації, роботою ПІ-регулятора, побудови передаточних функцій, а також сенсу оціночних показників (1)-(4).

Зазначимо, що розроблене програмне забезпечення не можна вважати достатньо досконалим у сенсі його використання для вирішення широкого спектра задач налаштування автоматичних регуляторів. Можна виділити головні напрямки покращення програмного продукту, до яких належать:

1) розширення класів передатних функцій об’єктів регулювання (зокрема, додавання класу об’єктів із передатними функціями з полюсами, з нелінійностями тощо);

2) можливість імпортування даних різних форматів зі сторонніх баз даних, які відповідають динаміці об’єкта регулювання та автоматична побудова (підбір) передатної функції об’єкта регулювання;

3) додавання інших показників для проведення аналізу якості автоматичного регулювання (мова йде про показники якості у частотній області та розширення класу показників у часовій області);

4) додавання інших методів пошуку оптимальних налаштувань автоматичних регуляторів (як популяційних так і на основі градієнтних підходів);

5) розширення класу регуляторів, для яких виконується налаштування параметрів (зокрема, ПІД-регулятори, нейрорегулятори, fuzzy-регулятори тощо);

6) врахування у програмі технічних особливостей налаштованих регуляторів (діапазон обмежень, наявність вбудованих фільтрів, особливості вихідного сигналу регулятора тощо);

7) можливість розрахунку коефіцієнтів регуляторів на основі відомих у інженерній практиці методів;

8) можливість імпорту даних у сторонні бази даних та програмні продукти (LabView, MathLab тощо);

9) покращення інтерфейсу програми тощо.

Таким чином, забезпечивши на даному етапі розвитку основні вимоги до налаштування ПІ-регуляторів, програмний продукт PI-Tuner може бути у подальшому модернізований до повноцінної платформи. Остання б надала у користування інженерному персоналу широкі можливості щодо аналізу систем автоматичного регулювання та їх синтезу на основі оптимізаційних підходів.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. На основі загальних рис відомих програмних продуктів для задач налаштування автоматичних регуляторів вказано основні вимоги до функціональних можливостей програми для оптимального налаштування коефіцієнтів ПІ-регулятора.

2. Наведено опис функціональних можливостей програмного продукту PI-Tuner та розкрито математичне підґрунтя узагальненого критерію, який використано для налаштування коефіцієнтів ПІ-регулятора. Змінюючи структуру узагальненого критерію, користувач може впливати на топологічні властивості критерію. Це, у свою чергу, забезпечує відшукування розв'язку специфічної задачі налаштування ПІ-регулятора для певного об'єкта регулювання із заданим обмеженням на регулювання.

3. Вказано головні напрямки покращення програмного продукту, серед яких: розширення класів об'єктів регулювання та типів автоматичних регуляторів, збагачення функціональних можливостей програми у частині аналізу регулювання та синтезу оптимальних регуляторів тощо.

Список використаних джерел

1. PID Tuner. Robust Advanced Pid Control: веб-сайт. URL: https://19lz9c16l9mt45jwvkt81p14-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/08/INCA_A4_PID-Tuner_04-2013.pdf (дата звернення: 06.08.2021)
2. PID Tuner Controller. FREE Software: веб-сайт. URL: <https://pidtuner.com> (дата звернення: 06.08.2021)
3. PID tuner Software: веб-сайт. URL: <https://pid-tuner.com/software/> (дата звернення: 06.08.2021)
4. PiControl Solutions: веб-сайт. URL: <https://www.picontrolsolutions.com/> (дата звернення: 06.08.2021)
5. Techmation inc. Services - A Real World Approach Applied by David B. Ender. Optimization of Regulatory Control Systems: веб-сайт. URL: <http://www.protuner.com/on-site-optimization.html> (дата звернення: 06.08.2021)
6. Kevin Joly's projects: веб-сайт. URL: <https://kevinjoly25.wordpress.com> (дата звернення: 06.08.2021)
7. TunePID 2.1. Теория и практика промышленной автоматизации: веб-сайт. URL: <https://sites.google.com/site/aixssru/programmnye-produkty/tunepid> (дата звернення: 06.08.2021)
8. Expertune – эффективное производство. Проектируем АСУ ТП: веб-сайт. URL: <http://lapshinvr.ru/articals/expertune.html> (дата звернення: 06.08.2021)
9. AutotunerPID Toolkit. MATLAB for Artificial Intelligence: веб-сайт. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/4652-autotunerpid-toolkit> (дата звернення: 06.08.2021)
10. Arduino PID Autotune Library. Arduino: веб-сайт. URL: <https://playground.arduino.cc/Code/PIDAutotuneLibrary/> (дата звернення: 06.08.2021)
11. Romasevych Y., Loveikin V., Stekhno O. Closed-loop optimal control of a system "Trolley – Payload. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. 2019. Vol. 81. Iss. 2. P. 3-12.
12. Romasevych Y., Loveikin V., Usenko S. PI-controller tuning optimization via PSO-based technique. Przegląd Elektrotechniczny. 2019. R. 95 NR 7. P. 33-37.
13. Ромасевич Ю. О., Ловеїкін В. С, Ляшко А. П., Макарець В. В. Метод оптимального налаштування ПІ-регуляторів із врахуванням обмежень. Енергетика і автоматика. 2019. №3. С. 49-71.
14. Ромасевич Ю.О., Ловеїкін В. С, Ляшко А. П., Макарець В. В. Розробка методу оптимального налаштування ПІ-регуляторів. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. 2019. Вип. 53. С. 56-65.
15. Romasevych Y., Loveikin V., Makarets V. Optimal constrained tuning of PI-controllers via a new PSO-based technique. International Journal of Swarm Intelligence Research. 2020. 11(4). P. 87-105.
16. Romasevych Y., Loveikin V., Dudnyk A., Loveikin Y. Optimal constrained PI-controllers tuning for real-world plants . 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2020 – Conference Proceedings. Article number 9250108. P. 47-52.

17. Kennedy J., Eberhart R.C. Particle swarm optimization. Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks. 1995. Vol. 4. P. 1942-1948. Perth: IEEE.

References

1. PID Tuner. Robust Advanced Pid Control. Available at: https://19lz9c16l9mt45jwvkt81p14-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/08/INCA_A4_PID-Tuner_04-2013.pdf (date of access: 06.08.2021)
2. PID Tuner Controller. FREE Software. Available at: <https://pidtuner.com> (date of access: 06.08.2021)
3. PID tuner Software. Available at: <https://pid-tuner.com/software/> (date of access: 06.08.2021)
4. PiControl Solutions. Available at: <https://www.picontrolsolutions.com/> (date of access: 06.08.2021)
5. Techmation inc. Services - A Real World Approach Applied by David B. Ender. Optimization of Regulatory Control Systems. Available at: <http://www.protuner.com/on-site-optimization.html> (date of access: 06.08.2021)
6. Kevin Joly's projects. Available at: <https://kevinjoly25.wordpress.com> (date of access: 06.08.2021)
7. TunePID 2.1. Theory and practice of industrial automation. Available at: <https://sites.google.com/site/aixssru/programmnye-produkty/tunepid> (date of access: 06.08.2021)
8. Expertune – effective production. Designing of ASC TP. Available at: <http://lapshinvr.ru/articals/expertune.html> (date of access: 06.08.2021)
9. AutotunerPID Toolkit. MATLAB for Artificial Intelligence. Available at: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/4652-autotunerpid-toolkit> (date of access: 06.08.2021)
10. Arduino PID Autotune Library. Arduino. Available at: <https://playground.arduino.cc/Code/PIDAutotuneLibrary/> (date of access: 06.08.2021)
11. Romasevych Y., Loveikin, V., Stekhno, O. (2019). Closed-loop optimal control of a system "Trolley - Payload". UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, 81 (2), 3-12.
12. Romasevych, Y., Loveikin, V., Usenko, S. (2019). PI-controller tuning optimization via PSO-based technique Przegląd Elektrotechniczny, 95 (7), 33-37.
13. Romasevych, Y. O., Loveikin, V. S., Liashko, A. P., Makarets, V. V. (2019). Metod optymalnoho nalashtuvannia PI-rehulatoriv iz vrakhuvanniam obmezhen [Method of optimal tuning of PI-controllers with constraints]. Energetyka i avtomatyka, 3, 49-71.
14. Romasevych, Y. O., Loveikin, V. S., Liashko, A. P., Makarets, V. V. (2019). Rozrobka metodu optymalnoho nalashtuvannia PI-rehulatoriv [Development of method of optimal tuning of PI-controllers]. Automation of product processes in engineering and devices design, 53, 56-65.
15. Romasevych, Y., Loveikin, V., Makarets, V. (2020). Optimal constrained tuning of PI-controllers via a new PSO-based technique. International Journal of Swarm Intelligence Research, 11(4), 87-105.

16. Romasevych, Y., Loveikin, V., Dudnyk, A., Loveikin, Y. (2020). Optimal constrained PI-controllers tuning for real-world plants. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2020 – Conference Proceedings. Article number 9250108, 47-52.

17. Kennedy, J., Eberhart, R.C. (1995). Particle swarm optimization. Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks, 4, 1942-1948.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ ПИ-РЕГУЛЯТОРОВ

Ю. А. Ромасевич, В. С. Ловеикин, А. П. Ляшко, И. М. Болбот

Аннотация. *Использование в работе инженеров по автоматизации производства программного обеспечения для настройки регуляторов является важной задачей.*

Целью исследования является разработка программного обеспечения для задач оптимальной настройки ПИ-регуляторов.

В статье на основе анализа функциональных возможностей современных программных продуктов для настройки систем автоматического регулирования установлены главные требования к разработке программного обеспечения для настройки автоматических регуляторов. Представлен интерфейс разработанного программного продукта PI-Tuner для определения оптимальных значений коэффициентов пропорциональной и интегральной составляющих ПИ-регулятора. Приведено описание функциональных возможностей программного продукта, среди которых: анализ процесса регулирования для объектов регулирования первого, второго и третьего порядков с задержкой и без нее; построение графических зависимостей, описывающих процесс регулирования; расчет качественных показателей регулирования во временной области; определение оптимальных коэффициентов ПИ-регулятора на основе метаэвристического метода оптимизации с учетом нескольких показателей регулирования (перерегулирование, продолжительности регулирования и т.д.).

Указаны основные направления дальнейшего развития программного продукта среди которых: расширение ее функциональных возможностей в части расчетов широкого класса объектов регулирования, улучшение интерфейса, возможность применения известных в инженерной практике методов настройки автоматических регуляторов и тому подобное.

Ключевые слова: *программный продукт, автоматическое регулирование, ПИ-регулятор, настройки*

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE PI-CONTROLLERS OPTIMAL TUNING

Yu. Romasevych, V. Loveikin, A. Liashko, I. Bolbot

Abstract. *The use of software by automation engineers to adjust regulators is an important task.*

The aim of the study is to develop software for the tasks of optimal adjustment of PI controllers.

In the article, based on the analysis of the functionality of modern software products for tuning automatic control systems, the main requirements for the development of software for tuning of automatic controllers have been stated. The interface of the developed PI-Tuner software product for determination of optimum values of coefficients of proportional and integral terms of the PI-controllers has been presented. The description of functionality of the software product has been shown. Among functional features of the software are: the analysis of control process for plants of the first, second and third orders with and without delay; building of plots, which describe of the control; calculation of qualitative indicators of control in the time domain; determination of the optimal coefficients of the PI-controller on the basis of the metaheuristic method of optimization with taking into account several control indicators (overshoot, settling time, etc.).

The main directions of further development of the software product have been indicated. Among them are: expansion of its functionality in terms of calculations of a wide class of plants, improvement of the interface, possibility of application of known in engineering practice methods of controllers tuning, etc.

Key words: *software, automatic control, PI-controller, tuning*