

## РУХ АВТОМОБІЛЯ ЗА ВИКОРИСТАННЯ PID-РЕГУЛЯТОРА

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розглянуто принципи роботи PID-регулятора та його застосування в керуванні автомобілем. Експеримент у віртуальному середовищі визначив вплив зміни PID-коефіцієнтів на стабільність руху автомобіля. Отримані результати сприяють кращому розумінню параметрів PID-регулятора та їхнього впливу на динаміку транспортного засобу.

**Ключові слова:** PID-регулятор, стабільність та точність руху, вплив коефіцієнтів PID, методи налагодження PID.

### Abstract

The principles of PID controller operation and its application in car control are considered. An experiment in a virtual environment has determined the effect of changing the PID coefficients on the stability of the vehicle. The obtained results contribute to a better understanding of the parameters of the PID controller and their influence on the vehicle dynamics.

**Keywords:** PID controller, stability and accuracy of motion, influence of PID coefficients, methods of PID adjustment.

Термін "регулятор" у контексті керування автомобілем відноситься до пристрою, який відповідає за підтримку або зміну параметрів системи керування з метою досягнення певного стану чи виконання конкретного завдання. Один із найважливіших типів регуляторів, який застосовується в керуванні автомобілем, - це PID-регулятор.

PID (Proportional-Integral-Derivative) регулятор - це система контролю, що використовується в індустрії й інженерії для регулювання та контролю процесів. Він забезпечує точний і ефективний контроль шляхом зміни відкликання системи за допомогою трьох окремих параметрів: пропорційного, інтегрального та диференціального карт.

Приклади застосувань:

- Машинна техніка: PID регулятори можуть використовуватися для контролю розташування, швидкості та моменту інерції рухливих деталей у техніці, такій як роботи, автомобілі й т.д.
- Процесні індустрії: воне використовуються для контролю температури, тиску, вмісту рідини в резервуарі й ін.
- Електроніка: вони можуть бути використані для регуляції напруги, струму, частоти й інших параметрів.
- Авіація: використовується для керування положенням, швидкістю та висотою літаків.

PID-регулятор використовує три компоненти для підтримки або регулювання вихідного сигналу (наприклад, кермового механізму) у відповідь на вхідний сигнал (наприклад, відстань до цілі, швидкість тощо). Ось як працює кожен компонент PID-регулятора, що представлено на рисунку 1:

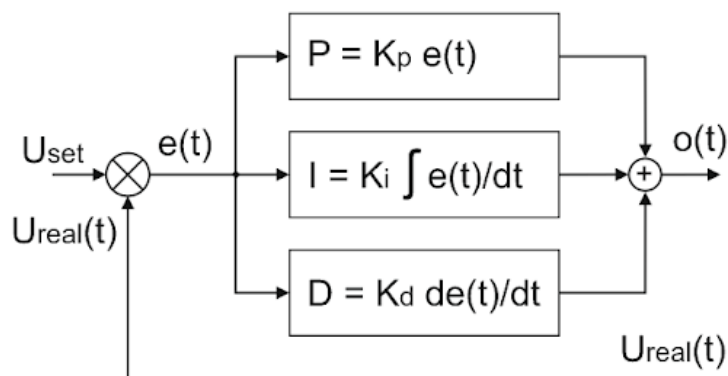


Рисунок 1 - Схема PID-регулятора

- **Пропорційний (P)** вимірює різницю між поточним значенням і цільовим значенням (відстань до цілі, наприклад). Видає сигнал, пропорційний цій різниці. Задача - зменшити цю різницю.
- **Інтегральний (I)** враховує суму попередніх значень різниці між поточним і цільовим значеннями. Видає сигнал, пропорційний цій сумі. Задача - компенсувати будь-які залишкові помилки і забезпечити стійку систему.
- **Диференційний (D)** вимірює швидкість зміни різниці між поточним і цільовим значеннями. Видає сигнал, пропорційний швидкості зміни цієї різниці. Задача - уникнути перебороту та забезпечити плавні зміни.

У контексті керування автомобілем PID-регулятор може використовуватися для підтримки стабільності та точності руху. Наприклад, в системі керування автопілотом PID може коригувати кермовий механізм на основі різниці між фактичним положенням автомобіля та бажаним маршрутом, враховуючи пропорційний, інтегральний і диференційний компоненти для досягнення точності та стабільності руху.

Оцінка стабільності руху автомобіля за використання PID-регулятора визначається значеннями кожного компонента (P, I, D). Важливо відзначити, що оптимальні значення P, I та D залежать від конкретних характеристик системи, яку ви контролюєте, і варіюються в залежності від умов та завдань. Оптимізацію PID-контролера часто виконують методами налагодження.

Відлагодження PID регулятора може здійснюватись в різних цілях, але основні принципи є загальними.

1. Перш за все, важливо зрозуміти, як працює ваша система і які параметри вам потрібно контролювати. Це можуть бути такі параметри, як швидкість, тиск, температура, кут повороту тощо.
2. Визначте бажаний або заданий стан системи. Це те, що ви намагаєтесь досягти за допомогою PID регулятора.
3. Встановіть вихідні значення для пропорційного, інтегрального та диференційного коефіцієнтів. Ці значення можуть знадобитись корегування в процесі налаштування.
4. Тестуйте систему та спостерігайте за її відгуком. Ви можете зробити це за допомогою лабораторних установок, симуляції на комп'ютері або безпосередньо на відповідному автомобілі.
5. Поступово налаштовуйте коефіцієнти, доки система не почне працювати так, як вам потрібно. Це може вимагати кількох ітерацій та великої уваги до деталей.
6. Один із популярних методів налаштування PID регулятора - це метод Зиглера-Нікольса, що включає в себе налаштування параметрів до появи стійкої коливальної відповіді, а потім налаштування коефіцієнтів на підставі частоти цих коливань.
7. Наприкінці не забудьте перевірити, як система працює під різними умовами та з різними вхідними даними, для забезпечення її надійності і стабільності.

Метод Зиглера-Ніколса обчислює початкові значення і використовує техніку чисельної оптимізації для пошуку кращих коефіцієнтів PID [1]. Існують й інші формули для налаштування контуру відповідно до різних критеріїв продуктивності. Багато запатентованих формул зараз вбудовані в програмне забезпечення та апаратні модулі для налаштування PID [2].

Досягнення в автоматизованому програмному забезпеченні для налаштування PID-петлі також надають алгоритми для налаштування PID-петлі в динамічному або нестационарному сценарії (NSS). Програмне забезпечення моделює динаміку процесу за допомогою збурення і розраховує параметри ПД-регулювання у відповідь [3].

Використовуючи програму Webots (рис. 2), оцінімо як зміна коефіцієнтів впливає на стабільність руху автомобіля по трасі з перешкодами та спробуємо виявити шанси на збій. Результати представлено в таблиці 1. Оптиміальні коефіцієнти, при яких автомобіль проходить трасу без збою зі швидкістю 50 км/год:  $K_P = 0,25$ ,  $K_I = 0,006$  та  $K_D = 2$ .

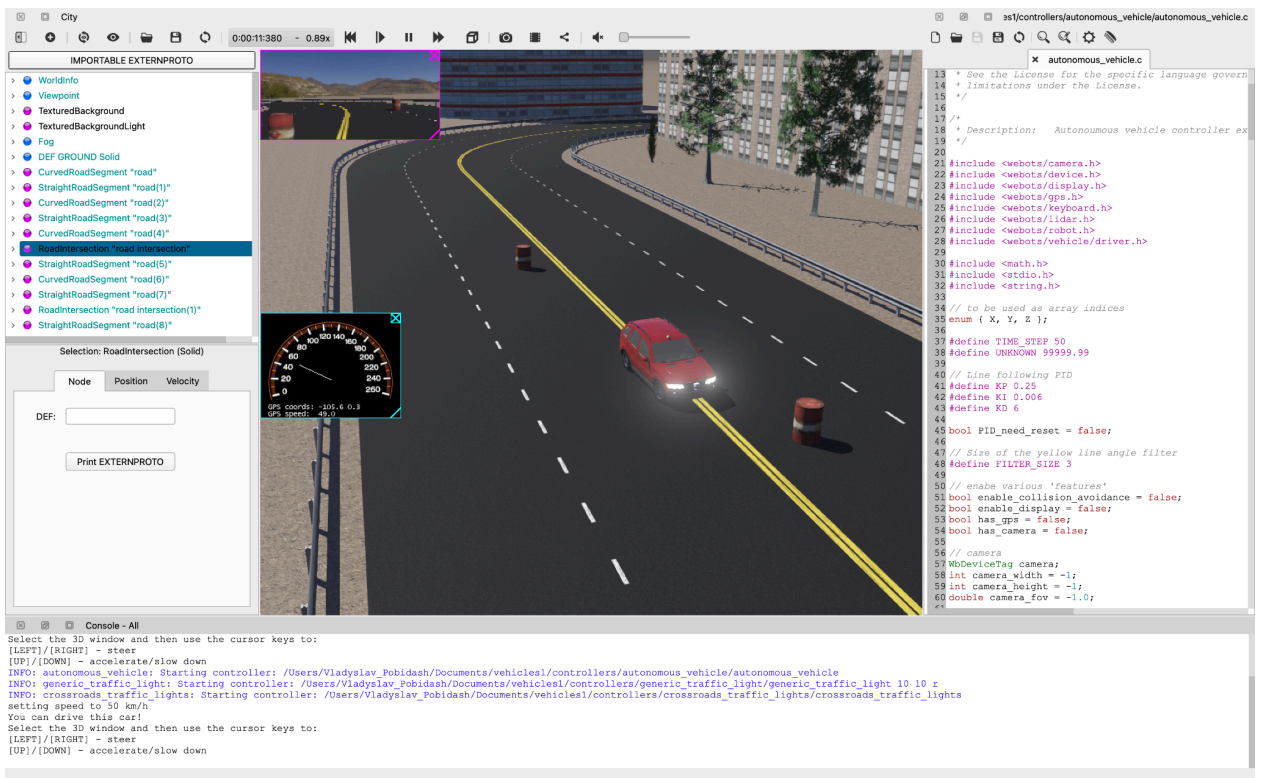


Рисунок 2 - Віртуальне середовище для проведення експерименту

№	KP	KI	KD	К-сть збитих перешкод	К-сть виїздів за трасу	Час проходження траси (сек)
0	0,25	0,006	2	0	0	28
1	-0,5	0,006	2	0	1	-
2	0	0,006	2	2	3	40
3	0,5	0,006	2	0	0	40
4	2	0,006	2	1	1	-
5	0,25	-0,003	2	0	2	-
6	0,25	0	2	1	0	28
7	0,25	0,1	2	0	1	-
8	0,25	0,006	-1	0	1	-
9	0,25	0,006	0	0	2	28
10	0,25	0,006	6	0	1	-

Таблиця 1 - Результати експерименту

Використовуючи pandas, seaborn та matplotlib візуалізуємо отримані дані. На рисунку 3-6 представлено графіки, які дозволяють краще оцінити вплив значень KP, KI та KD на результати.

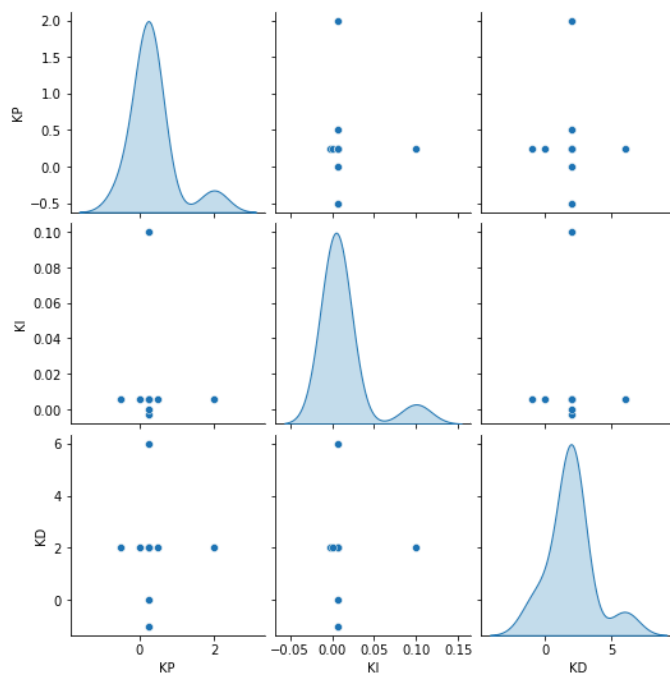


Рисунок 3 - Розподіл та взаємозв'язок між самими значеннями KP, KI та KD

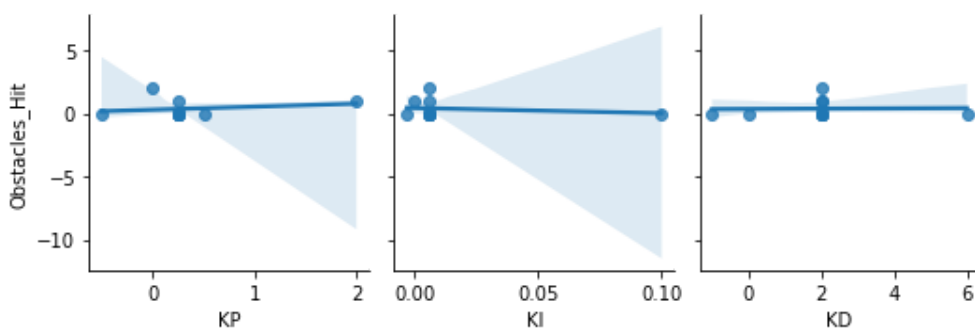


Рисунок 4 - взаємозв'язок між KP, KI, KD та кількістю збитих перешкод.

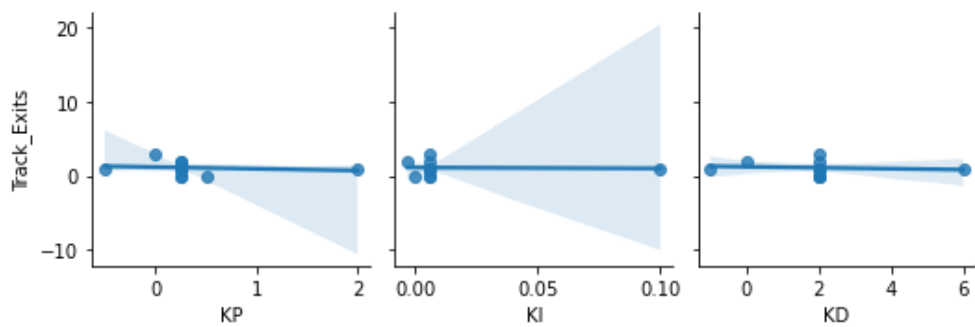


Рисунок 5 - Зв'язок між KP, KI, KD та кількістю виїздів за трасу

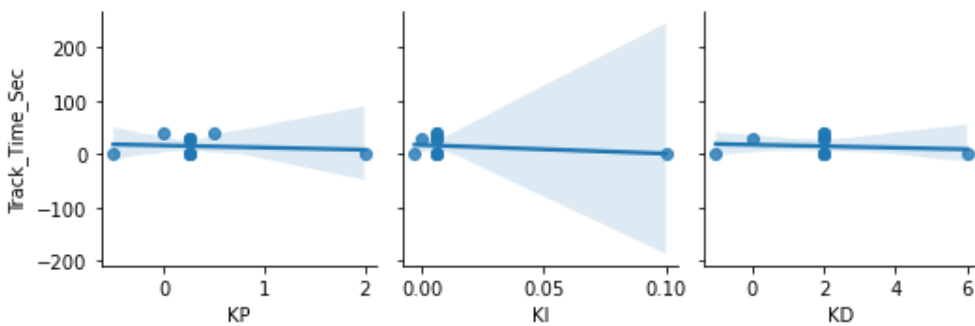


Рисунок 6 - Залежність між KP, KI, KD та часом проходження траси

Отримані результати дозволяють більш детально розуміти взаємозв'язок між параметрами PID-регулятора та динамікою автомобільного руху, що має важливе значення для оптимізації та покращення систем автоматичного керування.

Збільшення  $P$  може призвести до більш різких реакцій на відхилення від цільового значення. Зменшення  $P$  може призвести до менш різких, але більш стійких реакцій. Таким чином, можна варіювати  $P$ , щоб підлаштувати систему так, щоб вона швидше реагувала або, навпаки, мала менш різкі коливання.

Збільшення  $I$  може зменшити статичні помилки та покращити стійкість системи. Зменшення  $I$  може призвести до меншої реакції на невеликі помилки, але збільшити час стабілізації. Варіювання  $I$  може служити для управління системою, якщо виникають статичні помилки.

Збільшення  $D$  може поліпшити вміння системи пристосовуватися до швидко змінюючихся умов та зменшити перебороти. Зменшення  $D$  може зробити систему менш чутливою до швидких змін та збільшити час відгуку. Варіювання  $D$  може бути корисним для управління стійкістю системи при різних умовах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Heinänen, Eero (October 2018). A Method for automatic tuning of PID controller following Luus-Jaakola optimization (Master's Thesis ed.). Tampere, Finland: Tampere University of Technology. Retrieved Feb 1, 2019.
2. Li, Yun; Ang, Kiam Heong; Chong, Gregory C.Y. (February 2006). "Patents, software, and hardware for PID control: An overview and analysis of the current art" (PDF). IEEE Control Systems Magazine. 26 (1): 42–54.
3. Soltész, Kristian (January 2012). On Automation of the PID Tuning Procedure (Licentiate thesis). Lund university. 847ca38e-93e8-4188-b3d5-8ec6c23f2132.

**Побідаш Владислав Віталійович** — студент групи 2ІСТ-206, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladpobidash@gmail.com

Науковий керівник: **Кулик Ярослав Анатолійович** — кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Pobidash Vladislav Vitaliyovych** — Department of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: vladpobidash@gmail.com

Supervisor: **Kulyk Yaroslav Anatoliyovych** – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Automation and intelligent information technologies, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, e-mail: kulyk.y.a@vntu.edu.ua