

УДК 004.896: 004.942

DOI: 10.31891/2219-9365-2019-64-18

ГОВОРУЩЕНКО Т., ЯВНЮК А., ГНАТЧУК Є.
Хмельницький національний університет

ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТІЛА В ПРОСТОРИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАКЕТУ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ МОЖЛИВОСТЕЙ ПЛАТФОРМИ ARDUINO

Метою даного дослідження є підготовка побудови макету, який можна використовувати для демонстрації можливостей платформи Arduino, шляхом порівняння систем стабілізації тіла в просторі. У статті проведено порівняння систем стабілізації тіла в просторі, в результаті якого за основу для побудови системи стабілізації було обрано PID-регулятор.

Ключові слова: гейміфікація, edutainment, Arduino, системи стабілізації тіла в просторі, PID-регулятор.

HOVORUSHCHENKO T., YAVNYUK A., HNATCHUK YE.
Khmelnytskyi National University

COMPARISON OF STABILIZATION SYSTEMS OF BODY IN SPACE FOR BUILDING THE MOCK-UP FOR DEMONSTRATING THE ARDUINO PLATFORM POSSIBILITIES

The purpose of this study is to prepare a mock-up, which can be used to demonstrate the capabilities of the Arduino platform, by comparing stabilization systems of body in space.

Comparison of stabilization systems of the body in space has been performed. This comparison showed that the mathematical model based on the Euler-Lagrange equation is one of the most reliable and capable of maintaining high rates of quality of stabilization, but a major disadvantage of this method is the complexity of application - due to ignorance of the characteristics of the object of stabilization. A widespread and reliable method is the proportional-integral-differential (PID) controller, the main advantage of which is the combination of good enough indicators of the quality of stabilization and control with the simplicity of the hardware and software implementation. The main disadvantage of the PID controller is the amplification of the high-frequency components of the signal responsible for the error - they contain noises, so that the ratio of the useful component of the signal decreases, which destabilizes the object of stabilization. However, by properly selecting additional parameters, the negative impact can be reduced. Therefore, in view of all of the above, a PID controller was chosen as the basis for the construction of the stabilization system.

Keywords: gamification, edutainment, Arduino, stabilization systems of body in space, PID-controller.

Вступ. Наразі все більшої популярності набуває інформальна освіта – неорганізований, не завжди усвідомлений та цілеспрямований процес, що триває протягом усього життя людини; здобуття необхідних знань, умінь, навичок у формі життєвого досвіду [1].

Для впровадження та підтримки таких новітніх технологій, як безпілотні авто, Інтернет речей, великі дані, «держава в смартфоні», з кожним днем потрібно все більше кваліфікованих ІТ-фахівців – прогнозується, що до 2025 року Україна потребуватиме ще щонайменше 250 тисяч ІТ-фахівців. Враховуючи зростання обсягів інформації та постійну необхідність пояснювати складні концепції простою мовою (особливо для ІТ-освіти, метою якої є розвиток професійних навичок та креативного підходу до вирішення задач), однією з найважливіших задач суспільства стає потреба більш компактних та ефективних засобів навчання [2].

Одним з основних трендів в світовій освіті є розвиток STEAM (S – science, T – technology, E – engineering, A – art, M – mathematics) [3]. Поширеною практикою та ефективним інструментом навчання є гейміфікація – використання ігрових механізмів у неігровому (зокрема, освітньому) контексті; застосування ігрових технік (ігрового матеріалу, елементів гри) з освітньою метою [1, 2]. Гейміфікація сприяє підвищенню мотивації до навчання, якості та результативності навчання, комунікації суб'єктів навчання, стимулювання продуктивної навчальної діяльності.

Величезного значення на сьогодні візуалізація та гейміфікація набувають для ІТ-освіти України, оскільки метою сучасної ІТ-освіти є не лише надання знань, а, насамперед, розвиток професійних навичок та креативного підходу до вирішення задач, а також формування таких компетентностей і soft skills, як: співробітництво (робота у команді), креативність, творчий підхід, здатність швидко орієнтуватись у мінливих умовах [4].

На сьогодні все більшого розвитку та поширення здобуває концепція «edutainment» («education+entertainment», «навчання+розваги»), яка збільшує мотивацію та інтерес до навчання, стимулює спілкування між всіма учасниками навчального процесу. Згідно статистичних даних Масачусетського технологічного інституту [5], ігри в навчальному процесі можуть використовуватись як: платформа для авторів; система подання матеріалів; симуляція; спосіб почати дискусію на певну тему; введення в

технології; можливість пристати на чужу точку зору; спосіб документування навчання; критика концепцій; завдання для дослідження.

Для забезпечення навчання за такою концепцією часто використовується освітня робототехніка. Наприклад, на кафедрі комп'ютерної інженерії та системного програмування ХНУ для спрощення та інтенсифікації процесу формування алгоритмічного стилю мислення використовуються програмовані конструктори LEGO Mindstorms Education, а для спрощення та інтенсифікації вивчення мов програмування C/C++ використовується платформа Arduino.

Для підтвердження важливості гейміфікації освітнього процесу студентам кожного курсу спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ було запропоновано на вибір можливість вивчення навчальних дисциплін, пов'язаних з програмуванням, за традиційними технологіями та з використанням гейміфікації. Студенти були за бажанням розділені на дві таких групи. Через місяць було проведено зріз знань в студентів обох груп. Успішність і якість результатів навчання суттєво різнилися для цих двох груп студентів – успішність навчальних результатів студентів, які вивчали основи програмування з використанням гейміфікації (та робототехніки), є вищою на 5-10% за різними навчальними дисциплінами, а якість результатів навчання – вищою на 26-30% [2]. Так, проведений експеримент підтвердив позитивну роль гейміфікації у вивченні засад алгоритмізації та програмування, а саме: підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу, підвищення мотивації до навчання, зростання якості та результативності навчання, стимулювання продуктивної навчальної діяльності.

Враховуючи підтвержену експериментально актуальність гейміфікації навчального процесу та демонстрації можливостей та особливостей технології Arduino у розважальний спосіб, метою даного дослідження є, зокрема, підготовка побудови макету, який можна використовувати для демонстрації можливостей платформи Arduino, шляхом порівняння систем стабілізації тіла в просторі.

Дослідження систем стабілізації тіла в просторі

При розробці систем автоматичної стабілізації тіла в просторі, виникає необхідність підтримки параметра стабілізації в діапазоні заданих значень. Теорія автоматичного керування для цієї мети пропонує використовувати різні методи, серед яких математична модель на основі рівняння Ейлера-Лагранжа та PID-регулятор [6-11].

В основі математичної моделі Ейлера-Лагранжа [6-10] лежить система перевернутого маятника (рис.1) – маятник являє собою масу m_p на невагомому стержні довжини l до колеса, колесо – це коло з радіусом r і масою m_w ; також на колесо діє момент потужності двигуна M_k , θ – це кут між маятником і вертикальною прямою, φ – це кут повороту колеса відносно його початкового положення, а r – радіус коліс.

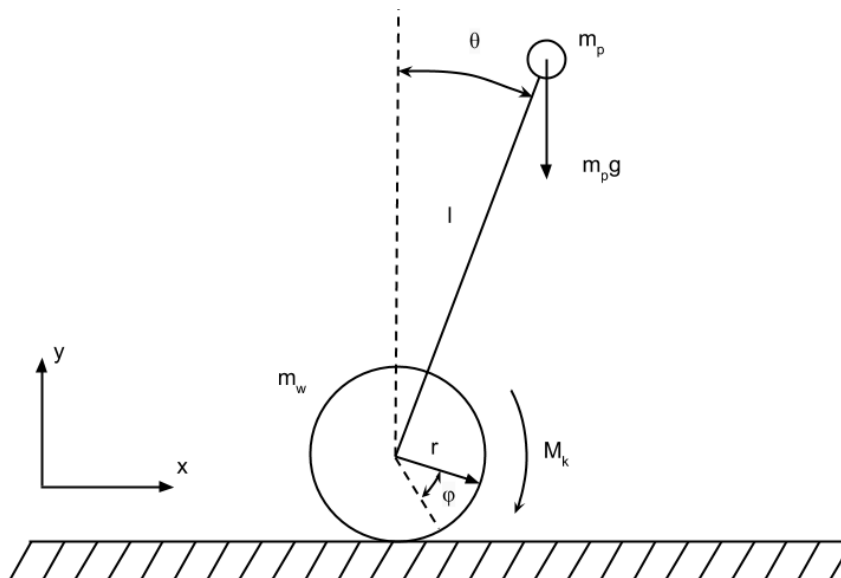


Рис. 1. Перевернутий маятник на колесі

Для аналізу системи використовується рівняння Ейлера – Лагранжа [6-10], де положення центру колеса вказується через кут повороту. Рівняння руху виводиться за допомогою рівняння Лагранжа другого роду, де в якості узагальнених координат використовуються кути повороту колеса та маятника:

$$\begin{cases} r \cos(\theta) L m_p \ddot{\theta} + r^2 (m_p + 2m_w) \dot{\theta} \dot{\varphi} - r \sin(\theta) \dot{\theta}^2 L m_p = M_k \\ \dot{\varphi} \cos(\theta) L m_p r - m_p g L \sin(\theta) + 2m_p L^2 \ddot{\theta} = 0 \end{cases},$$

(1)

Результат моделювання системи представлено на рис. 2-4.

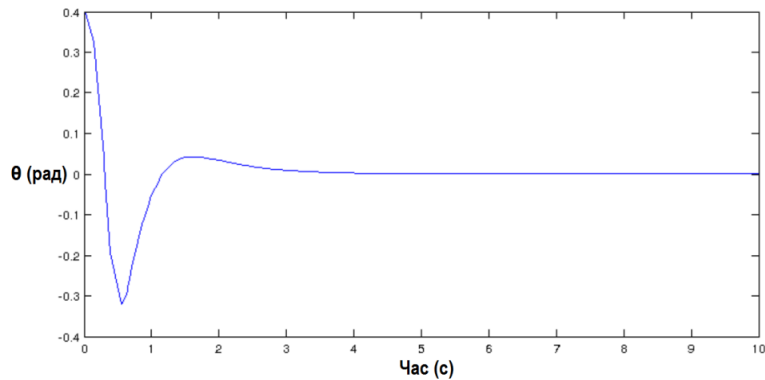


Рис. 2. Графік відхилення маятника від нульового положення

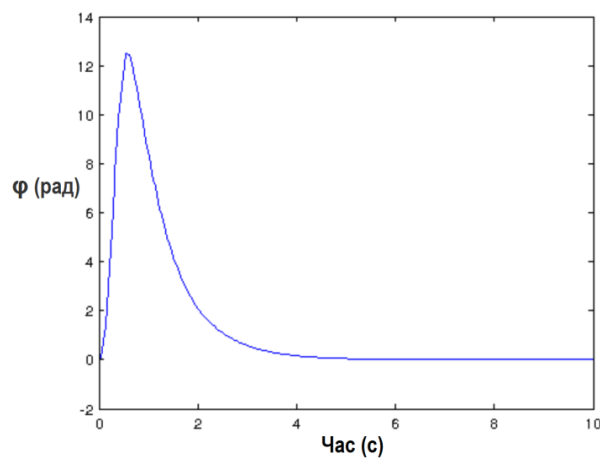


Рис. 3. Графік кута повороту коліс маятника

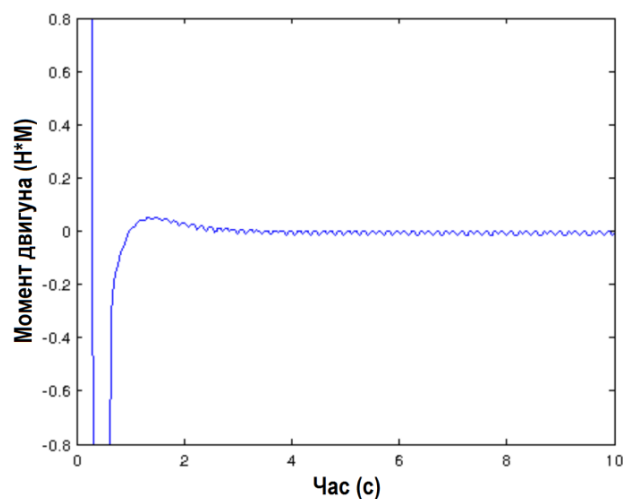


Рис. 4. Графік моменту двигуна

Другий метод стабілізації тіла в просторі – це пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор (PID-регулятор) [11], який використовується для формування керуючого сигналу в системах автоматичного керування. Він складається з трьох складників – пропорційного, інтегрального та диференційного. Кожен з цих елементів виконує своє завдання і по різному впливає на функціонування системи. Середньостатистичний

PID-регулятор оперує комбінацією вхідних керуючих параметрів та сигналами зворотного зв'язку від об'єкту керування. В результаті виходи цих елементів додаються між собою і формують керуючий сигнал, що відповідає за подачу струму на двигун, який обертається з швидкістю, пропорційною поданий напрузі (рис.5) [11].

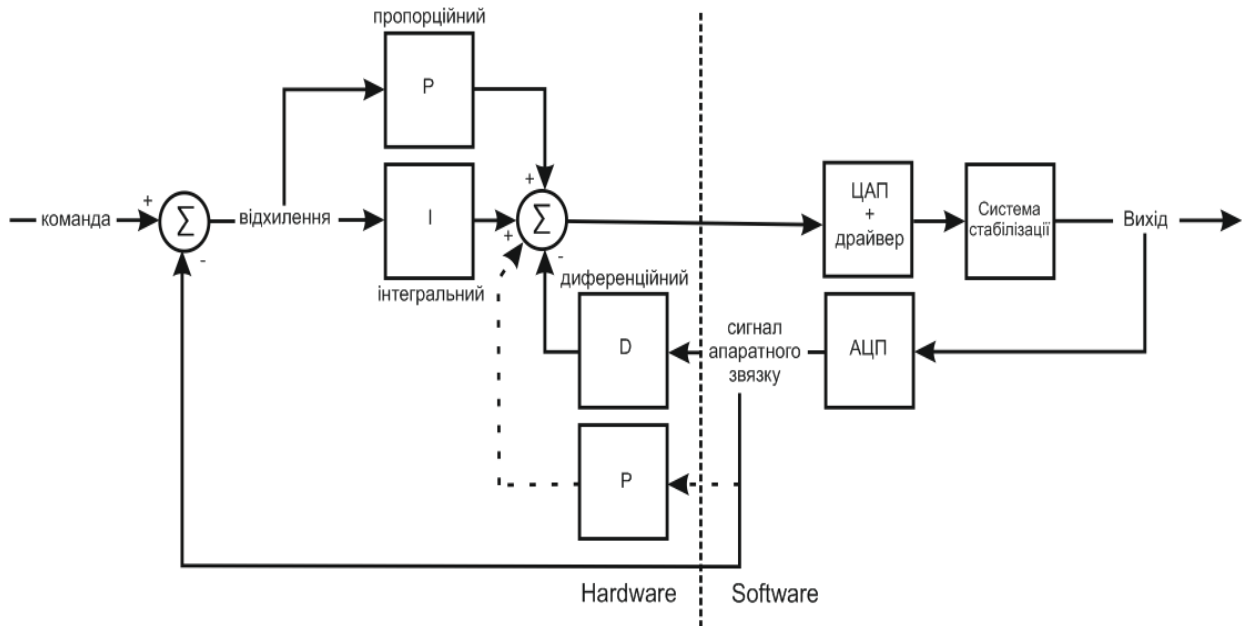


Рис. 5. Схема PID-регулятора [11]

Пропорційна складова формує вихідний сигнал $y(t)$ (рис.6), який протиставляється відхиленню регульованої величини до заданого значення в даний момент часу і збільшується разом з відхиленням. Якщо вхідний сигнал $r(t)$ дорівнює заданому значенню, то вихідний дорівнює нулю. Чим більше коефіцієнт пропорційності між вхідним і вихідним сигналом, тим менше статична помилка $e(t)$, але при надто великому коефіцієнті та за наявності технічних затримок в системі можуть виникнути автоматичні коливання, і система втратить стійкість.

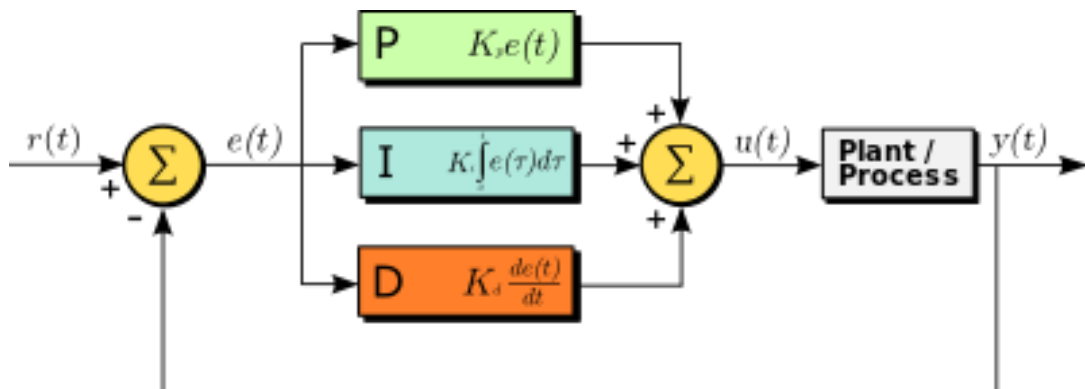


Рис. 6. Схема математичної взаємодії складових PID-регулятора [11]

При малому значенні коефіцієнта пропорційності $K_p = 30$ (рис.7) двигун підходить до потрібного стану досить повільно. Збільшення коефіцієнта до $K_p = 45$ приводить до більш швидкої реакції системи. Однак, якщо і надалі збільшувати коефіцієнт до $K_p = 60$ або $K_p = 110$, то, незважаючи на те, що двигун значно швидше досягає необхідного положення, він здійснює «переліт» (перерегулювання), в результаті чого система не підходить до необхідного положення швидше, ніж при менших коефіцієнтах. Якщо і надалі збільшувати коефіцієнт, настане ситуація, коли система буде нескінченно коливатися навколо заданої точки і ніколи не стабілізується, оскільки двигун «перелітає» необхідне положення при великих коефіцієнтах через затримку реакції на керуючий сигнал.

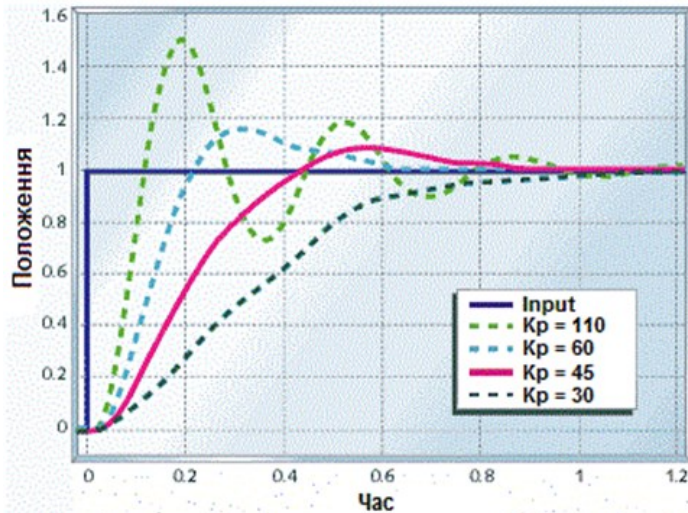


Рис. 7. Пропорційний регулятор

Інтегральна складова прямо пропорційна інтегралу за часом від відхилення регульованої величини. Її використовують для усунення статистичної помилки, що дозволяє регулятору згодом врахувати статичну помилку. При відсутності зовнішніх подразників регульована величина стабілізується на заданому значенні. Проте, інтегруюча складова також може призводити до автоматичних коливань при неправильному виборі коефіцієнта $K_i = 1.8$ (рис.8). Інтегральний регулятор використовується, щоб додати «довготривалої точності» керуючому циклу і завжди використовується разом з пропорційним, оскільки інтегральний регулятор сам по собі знижує стабільність системи або робить її нестабільною. В результаті цього система стабілізується в необхідному стані, навіть при деяких зовнішніх впливах $K_i = 1.4$ (рис.8). Оскільки інтегральний регулятор «запам'ятовує» все, що сталося в попередні моменти часу, це дозволяє системі уникнути довгострокових помилок.

Для того, щоб ще краще стабілізувати попередні два регулятори, потрібно додати в систему додаткову інформацію про поточний стан пропорційного регулятора. Диференціальний регулятор прямо пропорційний темпу зміни відхилення регульованої величини і призначений для протидії відхиленням від цільового значення в майбутньому. Відхилення можуть бути викликані зовнішніми збудниками або затримками впливу регулятора на систему. Даний регулятор сам по собі представляє різницю між попереднім станом системи і поточним, що дає можливість оцінити швидкість зміни стану системи і передбачити, в якому стані вона опиниться в наступний момент часу. Як видно з рис.9, цей підхід суттєво покращує якість стабілізації системи. Графік $K_d = 60$ показує час стабілізації до необхідного положення, дуже близький до межі можливостей системи. Даний результат вдалось отримати за рахунок спільної роботи трьох регуляторів PID-контролера.

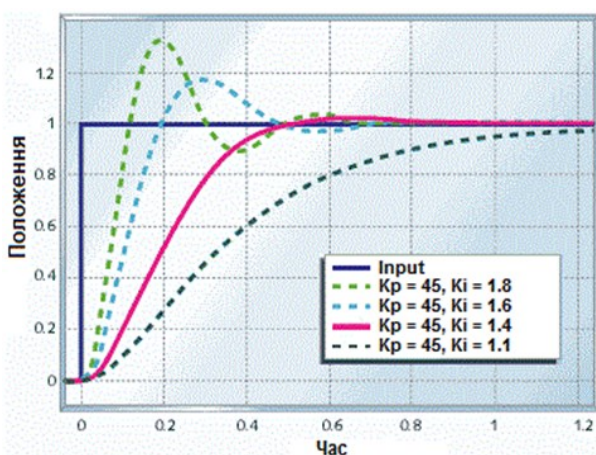


Рис. 8. Пропорційно-інтегральний регулятор

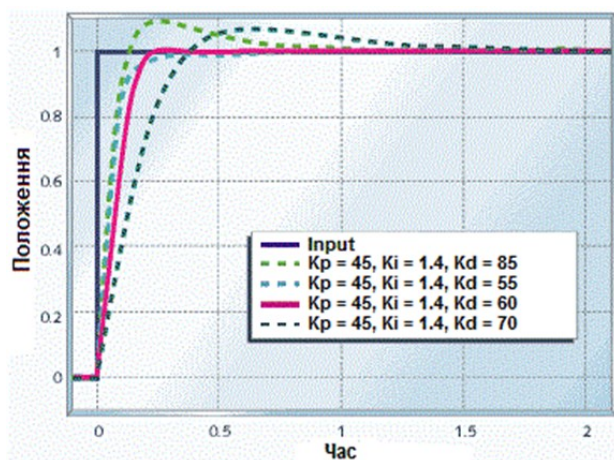


Рис. 9. Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

Висновки. В навчальному процесі спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ викладачами кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування активно використовується гейміфікація при викладанні навчальних дисциплін, пов'язаних з алгоритмізацією та програмуванням, з метою надання якісних знань, формування професійних навичок, формування креативного підходу до вирішення задач, навчання роботі у команді та креативності, формування здатності швидко орієнтуватись у мінливих умовах сьогодення. Тому, актуальною задачею є підготовка побудови макету, який можна використовувати для демонстрації можливостей платформи Arduino в розважальний спосіб.

Проведено порівняння систем стабілізації тіла в просторі, яке показало, що математична модель на основі рівняння Ейлера-Лагранжа є однією із самих надійних і здатна підтримувати високі показники якості стабілізації, але вагомим недоліком даного методу є складність застосування – через незнання характеристик об'єкта стабілізації. Широко поширеним і надійним методом є пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) регулятор, основною перевагою якого є поєднання досить хороших показників якості стабілізації і керування з простою апаратно-програмною реалізацією. Основним недоліком PID-регулятора є посилення високочастотних складових сигналу, що відповідають за помилку – вони містять шуми, через що відношення корисної складової сигналу зменшується, що дестабілізує об'єкт стабілізації. Але, правильно підібравши додаткові параметри (Kp, Ki, Kd), можна зменшити негативний вплив. Відтак, з урахуванням всього вище перерахованого, за основу для побудови системи стабілізації було обрано PID-регулятор.

Література

1. Ткаченко О. Гейміфікація освіти: формальний і неформальний простір. – Актуальні питання гуманітарних наук. – 2015. – № 11. – С. 303–309.
2. Говорущенко Т. О. Роль візуалізації та гейміфікації у вивченні основ алгоритмізації та програмування. – Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – 2018. – №22 (1298). – С. 60-65.
3. Дрібноход Д. Робототехніка як напрям STEAM освіти. – Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «STEM-освіта: стан впровадження та перспективи розвитку». – 2017. – С. 43-46.
4. Поморова О. В., Говорущенко Т. О., Побережний С. Ю., Магдін В. В. Трансфер знань та технологій на прикладі підтримки реалізації студентських стартапів. – Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2016. – № 22 (98). – С.384–391.
5. Games, Simulations, and Tools for Playful, Powerful Learning. Web-site. URL: <https://education.mit.edu/> (Last accessed: February 20, 2020).
6. Формальский А. М. О стабилизации перевернутого маятника с неподвижной или подвижной точкой подвеса. – ДАН. – 2006. – Т. 406. – № 2. – С. 175-179.
7. Арановский С.В., Бирюк А.Э., Никольчев Е.В., Рядчиков И.В., Соколов Д.В. Синтез наблюдателя в задаче стабилизации обратного маятника с учетом ошибки в датчиках положения. – Известия РАН. Теория и системы управления. – 2019. – № 2. – С. 145-153
8. Гусев А., Никольчев Е., Рядчиков И, Соколов Д. Синтез и исследование модели глобального экспоненциально-устойчивого наблюдателя угловой скорости для обратного маятника с маховиком. – Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 3. – С. 129-137.
9. Золотухин Ю., Нестеров А. Управление перевернутым маятником с подвижной точкой подвеса. – Известия Самарского научного центра РАН. – 2018. – № 3. – С. 291-297.
10. Мартыненко Ю. Г., Формальский А. М. Маятник на подвижном основании. – Доклады Академии Наук. – 2011. – Том 439. – № 6. – С. 746-751.
11. PID-регуляторы. Веб-сайт. URL: <https://www.bookasutp.ru/Chapter5.aspx> (Дата обращения 20.02.2020)

References

1. Tkachenko O. Geimifikatsiya osviti: formalnyi i neformalnyy prostir. – Aktualni pytannya humanitarnykh nauk. – 2015. – No. 11. – S. 303–309.
2. Hovorushchenko T. Rol' vizualizatsii ta geymyfikatsiyi u vyvchenni osnov alorytmizatsiyi ta programuvannya. – Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «KhPI». Seriya "Systemnyi analiz, upravlinnya ta informatsiyi tekhnologiyi". – 2018. – No. 22 (1298). – S. 60-65.
3. Dribnohod D. Robototekhnika yak napryam STEAM osvity. – Materialy III Mijnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferenciyi "STEM-osvita: stan vprovadjennya ta perspektyvy rozvytku". – 2017. – S. 43-46.
4. Pomorova O. V., Hovorushchenko T. O., Poberezhnyi S. Yu., Magdin V. V. Transfer znan' ta tekhnologiyi na pryklady pidtrymky realizatsii studentskikh startapiv. – Elektrotekhnichni ta komp'uterni sytemy. – 2016. – No. 22 (98). – S. 384–391.
5. Games, Simulations, and Tools for Playful, Powerful Learning. Web-site. URL: <https://education.mit.edu/> (Last accessed: February 20, 2020).
6. Formal'skiy A. M. O stabilizatsii povernutogo mayatnika s nepodvizhnoy ili podvizhnoy tochkoy podvesa. – DAN. – 2006. – T. 406. – No. 2. – S. 175-179.
7. Aranovskiy S.V., Biruk A.E., Nikul'chev E.V., Ryadchikov I.V., Sokolov D.V. Sintez nabludatelya v zadache stabilizatsii obratnogo mayatnika s uchetom oshibki v datchikakh polojaniya. – Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya. – 2019. – No.2. – S. 145-153.
8. Gusev A., Nikul'chev E., Ryadchikov I., Sokolov D. Sintez i issledovanie modeli global'nogo eksponentsialno-ustoychivogo nabludatelya uglovy skorosti dlya obratnogo mayatnika s makhovikom. – Prikaspiyskiy jurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii. – 2018. – No. 3. – S. 129-137.
9. Zolotukhin Yu., Nesterov A. Upravlenie perevernutym mayatnikom s podvizhnoy tochkoy podvesa. – Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2018. – No. 3. – S. 291-297.
10. Martynenko Yu.G., Formal'skiy A.M. Mayatnik na podvizhnom osnovanii. – Doklady Akademii Nauk. – 2011. – Tom 439. – No. 6. – S. 746-751.
11. PID-regulyatory. Web-site. URL: <https://www.bookasutp.ru/Chapter5.aspx> (Last accessed: February 20, 2020).