

ДОДАТОК А

Апробація результатів

Стаття у журналі «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ
29-го МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО
ФОРУМУ
«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ У XXI СТОЛІТТІ»
16 – 19 квітня 2025 р.

Том 2

КОНФЕРЕНЦІЯ
«АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ
ТА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»

Харків 2025

УДК 004.96:681.51

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНОГО ЦИЛІНДРА

Тарасов А. А.

andrii.tarasov1@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КІТАР
м. Харків, Україна

This article presents a computer simulation of a pneumatic cylinder, showing its main structural parts. The constructed model allows you to visualize the pneumatic cylinder operation process as a component of an electropneumatic system. The results of this work can be used in the educational process in courses that study pneumatic devices and automation tools for mechatronic systems as a visual demonstration of the principles of operation of pneumatic components.

Автоматизація виробничих процесів є ключовим елементом сучасного машинобудування та промисловості. Пневматичні приводи, зокрема пневматичні циліндри, широко застосовуються у виробничих лініях завдяки їхній простоті, надійності та високій швидкодії. Пневматичні циліндри широко застосовуються в автоматичних лініях пакування, збирання, пресування та транспортування деталей. Вони також є невід'ємною частиною сучасних роботизованих систем. В сучасних реаліях, де здебільшого навчання відбувається з використанням засобів дистанційних технологій, важливим і актуальним завданням є створення нових методів викладення теоретичного матеріалу. Особливі труднощі виникають для курсів, що пов'язані з вивченням різноманітних технічних засобів і пристроїв. Дана робота присвячена створенню візуальної моделі пневматичного циліндру, яка дозволяє наочно продемонструвати принцип його дії та конструктивні особливості.

Пневматичний циліндр – це механічний пристрій, що використовує стиснене повітря для створення лінійного руху. Він складається з корпусу, поршня, ущільнювачів та штоку (рис. 1). При подачі повітря в одну з камер поршень рухається у відповідному напрямку, виконуючи робочий цикл.

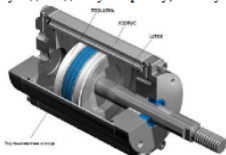


Рисунок 1 – Конструкція пневматичного циліндра

11

Для моделювання пневматичного циліндра було обрано програму Blender через його гнучкість, безкоштовний доступ і широкий набір функцій для анімації механічних систем (рис. 2). Ця програма дозволяє створювати деталізовані тривимірні моделі, а також використовувати вузловий редактор матеріалів та систему ключових кадрів для реалістичної анімації роботи механізму.

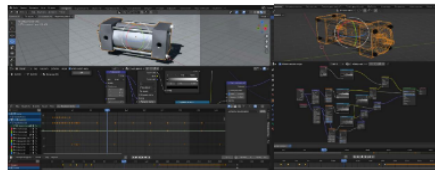


Рисунок 2 – Анімаційна модель циліндра з графовим редактором та часовою шкалою

У експорті Blender можна змінювати геометрію, текстурку та матеріал 3D-моделі пневматичного циліндра, а також налаштовувати освітлення сцени. У даному випадку модель циліндра включає основні конструктивні елементи: корпус, поршень, ущільнювачі та шток. В процесі анімації роботи пневматичного циліндра, для управління ключовими кадрами та налаштування послідовності руху об'єктів, використовується часова шкала (Timeline), за допомогою якої можна задавати положення поршня у певні моменти часу, створюючи реалістичну симуляцію його руху. Налаштування плавності анімації, змінення прискорення та уповільнення руху поршня забезпечують природний рух пневматичного механізму, що дозволяє візуалізувати його роботу з високою точністю.

Список використаних джерел:

1. Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронних систем [Текст] : навч. посіб. / І. Ш. Невлодов, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. - Харків: нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків : Панов А. М. [вид.], 2020. - 255 с. - ISBN 978-617-7859-58-0 ; DOI: 10.30837/978-617-7859-58-0.

2. Електропневмоавтоматичні приводи в автоматизованих системах керування : навч. посіб. / І. Ш. Невлодов, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. П. Новоселов, О. В. Сичова ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків : ХНУРЕ, 2021. - 292 с. - ISBN 978-966-659-332-3 ; DOI: 10.30837/978-966-659-332-3.

12

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| Програмний комітет конференції..... | 3 |
| Комп'ютерно-інтегровані технології радіоелектронного приладобудування..... | 4 |
| РЕА вбудованих систем..... | 19 |
| Фізичні основи процесів в радіоелектроніці, комп'ютерній техніці та приладобудуванні..... | 71 |
| Системи безпеки технологічних та виробничих процесів..... | 120 |
| Іменний покажчик..... | 147 |

«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ В ХХІ СТОЛІТТІ»
Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму

Відповідальні за випуск: О.І. Филипенко
Комп'ютерна верстка: В.С. Романчук

Матеріали збірника публікуються в
авторському варіанті без редагування

| | | |
|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| Підп. до друку | Формат 60x84 1/16 | Спосіб друку - ризографія |
| Умов. друк. арк. 11,6 | Тираж прим. | |
| Зам. № ___-___. | Ціна договірна | |

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Науки, 14

Стаття у збірнику студентських наукових статей «автоматизація та приладобудування» «automation and development of electronic devices»

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)



ЗБІРНИК
студентських наукових статей
«Автоматизація та приладобудування»
«Automation and Development of Electronic Devices»
ADED-2025
(Випуск 1)
[електронне видання]

Харків 2025

Головний редактор Невилюдов Ігор Шакірович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Редакційна колегія: Філіпенко Олександр Іванович, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматизації та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Цюббал Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Андрусович Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету

Косенко Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».

Замірець Микола Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.

Свици Володимир Митрофанович, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «ОС «Світлана Комуніар».

Фомовська Олена Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Кухаренко Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Демська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Фурманова Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, декан факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».

Відповідальний редактор: Євсєєв Владислав В'ячеславович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

УДК004.94
РОЗРОБЛЕННЯ 3D МОДЕЛІ ПНЕВМАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ТИСКУ

A.A. Tarasov

Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: andrii.tarasov1@nure.ua

Анотація: У роботі представлено дослідження пневматичного регулятора тиску, який широко використовується в системах промислової автоматизації. Описано конструкцію та принципи дії одноступінчатого редуктора тиску зі встановленою пружиною та мембраною. Створено тривимірну модель такого регулятора у Blender та проведено її симуляцію, що відтворює роботу пристрою при зміні вхідного тиску. Наведено пояснення фізичних принципів функціонування регулятора, включно з балансом сил пружини та тиску, а також реалізацію цих принципів у моделюванні. Розроблено 3D-модель регулятора, визначено ключові параметри роботи регулятора та підкреслено його практичну цінність у забезпеченні стабільного тиску і підвищенні енергоефективності пневмосистем.

Ключові слова: пневматична система, регулятор тиску, 3D-моделювання, Blender.

PNEUMATIC PRESSURE REGULATOR 3D MODEL DEVELOPMENT

Andriy Tarasov

Kharkiv National University of Radio Electronics
Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky Ave. 14
E-mail: andrii.tarasov1@nure.ua

Annotation. The paper presents a study of a pneumatic pressure regulator, which is widely used in industrial automation systems. The design and principle of operation of a single-stage pressure reducer with a spring and a membrane are described. A three-dimensional model of such a regulator is created in Blender and its simulation is carried out, which reproduces the operation of the device when the input pressure changes. An explanation of the physical principles of the regulator's operation is provided, including the balance of spring and pressure forces, as well as the implementation of these principles in modeling. A 3D model of the regulator is developed, the key parameters of the regulator's operation are determined, and its practical value in ensuring stable pressure and increasing the energy efficiency of pneumatic systems is emphasized.

Key Words: pneumatic system, pressure regulator, 3D modeling, Blender.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Пневматичні системи є невід'ємною частиною сучасної промислової автоматизації, забезпечуючи приводи для швидкого та точного виконання технологічних операцій. В таких системах регулятори тиску відіграють критичну роль, оскільки саме вони підтримують тиск стисненого повітря на заданому рівні для стабільної роботи обладнання. Зниження та стабілізація тиску необхідні, наприклад, для захисту чутливих компонентів, забезпечення повторюваності руху пневмоциліндрів та економії енергії. Регулятори тиску застосовуються у пневмоприводах виробничих ліній, роботизованих комплексах, пневмоінструменті та інших системах.

Стабілізація тиску є важливою для якості та безпеки процесів. Наприклад, підтримання постійного тиску на вході пневмоциліндрів гарантує рівномірність зусилля і швидкості їх руху, що підвищує точність позионування. Водночас застосування регуляторів дозволяє знизити енергоспоживання компресорних установок. Знижуючи тиск до мінімально

достатнього рівня для виконання роботи, можна суттєво зекономити енергію стисненого повітря.

Мета даної роботи полягає в дослідженні принципів роботи і будови пневматичного регулятора тиску, а також оцінці можливості моделювання такого компонента засобами сучасного програмного забезпечення.

Моделювання регулятора у середовищі Blender 3D є доцільним з огляду на впровадження концепцій цифрових двійників та віртуального налагодження систем автоматизації. Візуалізація процесів регулювання тиску дозволяє краще зрозуміти баланс сил усередині пристрою та сприяє навчальному і дослідницькому цілям. Крім того, результати роботи можуть бути корисними при проєктуванні ефективніших пневматичних систем із регуляторами тиску, що забезпечують економію енергії без втрати продуктивності.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Пневматичний регулятор тиску (редуктор тиску) складається з декількох основних частин: корпусу з каналами для входу і виходу повітря, пружного елемента (пружини), чутливого елемента (мембрани або поршня) та клапанного вузла (запірного елемента). Завдяки вхідному отвору регулятора з'єднаний з магістраллю стисненого повітря високого тиску, а вихідний – з пневматичною системою або пристроєм, що потребує зниженого стабільного тиску. На верхній частині корпусу розташований гвинт регулювання з накрученою на нього пружиною.

Нижній кінець пружини тисне на мембрану. Знизу під мембраною знаходиться шток з клапаном, який перекриває канал між вхідною і вихідною камерами. Коли пружина не стиснута, клапан залишається закритим під тиском пружини знизу або власною вагою. При закритті регулювального гвинта пружина стискається і тисне на мембрану, яка передає зусилля на клапан, відчиняючи його – через це повітря починає надходити з входу на вихід.

Далі, поки тиск на виході не досягне встановленого значення, клапан залишається частково відкритим. Як тільки вихідний тиск зростає до заданого рівня, сила від підвищеного тиску під мембраною урівноважує силу пружини, і клапан приривається, встановлюючи рівновагу.

Таким чином, регулятор автоматично підтримує встановлений тиск на виході: коли споживання повітря зростає і тиск падає – клапан знову відкривається під дією пружини, а коли тиск перевищує налаштування – клапан закривається під дією сили від мембрани.

Основні технічні характеристики регулятора у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики пневматичного регулятора тиску

| Характеристика | Значення |
|------------------------------|--|
| Тип конструкції | Одноступінчатий мембранний, самоскидний |
| Максимальний тиск на вході | 10 бар |
| Діапазон вихідного тиску | 0,5 – 8,0 бар |
| Максимальна витрата повітря | 2500 л/хв (при $\Delta P \leq 1$ бар) |
| Точність підтримки тиску | $\pm 0,1$ бар |
| Робоча температура | -10...+60 °C |
| Розмір приєднувальних портів | G 3/8 (DN10) |
| Матеріали | Корпус – алюміній; мембрана – NBR; пружина – сталь |

Як видно з таблиці, регулятор має типові показники для середньорозмірного пристрою, здатного забезпечити стабільний вихідний тиск та ефективну роботу в умовах змінних навантажень.

На рис. 1 подано 3D-модель пневматичного регулятора тиску, створеної у Blender 3D, яка відображає основні конструктивні елементи пристрою.

«AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES»
AED-2025 Part 1.

13

«AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES»
AED-2025 Part 1.

14

На моделі представлено:

- 1 – регулювальний гвинт, розташований у верхній частині моделі, що стискає пружину;
- 2 – пружина, яка впливає на мембрану;
- 3 – мембрана у вигляді тонкого листу, який реагує на зміну сили, передаючи її на клапан;
- 4 – клапанний вузол, що розташований у центральній частині, забезпечує контроль потоку повітря між входом і виходом;
- 5 – патрубки входу/виходу повітря, розташовані з обох боків корпусу;
- 6 – седло, розташоване безпосередньо під мембраною, забезпечує щільне прилягання та герметизацію між мембраною і клапаном;
- 7 – клапан, що інтегровано у клапанний вузол, виконує функцію відкриття та закриття повітряних потоків за допомогою тиску, створеного мембраною.

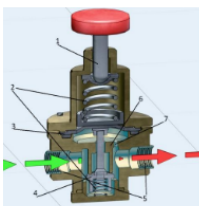


Рисунок 1 – Регулятор тиску пневматичний

Модель частково прозора, з виділенням фрагментом корпусу для демонстрації внутрішніх компонентів. Для симуляції роботи регулятора використовувалися засоби анімації Blender: ключові кадри, фізичні анімації (force fields типу Wind), а також деформації мембрани за допомогою Share Keys. Симуляція відображає процес відкриття та закриття клапана у відповідь на зміну вхідного тиску, а також роботу скидного клапана для випуску надлишкового тиску.

Розроблена 3D-модель дозволила проілюструвати внутрішню будову пневматичного регулятора тиску та його роботу в динаміці. На моделі видно, як регулятор переходить від одного стану рівноваги до іншого при зміні тиску: від повністю закритого клапана до проміжного відкритого положення і назад, залежно від співвідношення сил пружини та тиску під мембраною. Отримана візуалізація узгоджується з теоретичним описом роботи регулятора, що підтверджується балансом сил та відсутністю небажаних коливань завдяки адекватному демпфуванню.

За результатами симуляції встановлено, що налаштування жорсткості пружини має вирішальний вплив на встановлений вихідний тиск. Зі збільшенням тиску пружини відповідне значення вихідного тиску підвищується, що відповідає реальним експериментальним даним.

ВИСНОВКИ. В даній роботі розроблено 3D-модель пневматичного регулятора тиску з одним входом і виходом, яка відтворює основні конструктивні елементи (пружину, мембрану, клапан, корпус) та слугує віртуальним прототипом для дослідження роботи

регулятора. Модель дозволила провести наукову симуляцію роботи регулятора у середовищі Blender за допомогою інструментів анімації та фізики.

Послієно принципи дії регулятора: стабілізація тиску досягається автоматичним балансуванням сил пружини (відповідальною за відкриття клапана) та сили тиску, що діє на мембрану і закриває клапан. Наявність скидного каналу забезпечує безпечне скидання надлишкового тиску.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання побудованої моделі для навчання, оптимізації пневматичних систем та розробки рішень для підвищення енергоефективності за рахунок підтримання мінімально достатнього тиску.

Перспективи подальших досліджень включають розробку більш детальных моделей із врахуванням нелінійностей (тертя, стискуваності повітря) та експериментальну перевірку роботи регулятора в реальних умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Beswick Engineering. The Basics of Pressure Regulators. – Beswick Tech. Article, 2018 (The Basics of Pressure Regulators – Beswick Engineering).
2. Camozzi Automation. Каталог: Підготовка повітря, Серія MX – Регулятори тиску. – Camozzi Ukraine, 2023 (Регулятори тиску з пневматичним керуванням Серія MX – camozzi).
3. Dvořák L., Fojtáček K. Pressure Regulators as Valves for Saving Compressed Air and their Influence on System Dynamics. – EPJ Web of Conferences 92, 02015 (2015) (Pressure Regulators as Valves for Saving Compressed Air and their Influence on System Dynamics | EPJ Web of Conferences).
4. Dudić S., Reljić V., Šešlija D., Dakić N., Blagojević V. Improving Energy Efficiency of Flexible Pneumatic Systems. – Energies 14(7):1819 (2021) (Improving Energy Efficiency of Flexible Pneumatic Systems).
5. Nieman K., Durand H. Study of the Application of Blender for Simulation of a Closed-loop Control. – IFAC-PapersOnLine 58(14):519-524 (2024).
6. Невьодов І. Ш. Застосування цифрових двійників технічних засобів автоматизації для розроблення програмно-технічних комплексів АСУ ТП : Навчальний посібник / І. Ш. Невьодов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 267 с. ISBN 978-617-8059-95-8; DOI: 10.30837/978-617-8059-95-8.
7. Електронізованоавтоматизовані приводи в автоматизованих системах керування : навч. посіб. / І. Ш. Невьодов, Л. О. Кривошляк-Володина, С. П. Новоселов, О. В. Сичова ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 292 с. – ISBN 978-966-659-332-3; DOI: 10.30837/978-966-659-332-3.
8. Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронічних систем [Текст] : навч. посіб. / І. Ш. Невьодов, Л. О. Кривошляк-Володина, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. - Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків : Панов А. М. [внд.]. 2020. - 255 с. - ISBN 978-617-7859-58-0; DOI: 10.30837/978-617-7859-58-0.

Науковий керівник: Сичова Оксана Володимирівна, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки

«AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES»
AED-2025 Part 1.

15

«AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES»
AED-2025 Part 1.

16



[електронне видання]

Відповідальний редактор: д.т.н., проф. Євсєєв В.В.

Рекомендовано рішенням Науково-технічної ради
Харківського національного університету радіоелектроніки
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 5 від 22 травня 2025

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2025) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Вип. 1. – 262с.

COLLECTION OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES» ADED-2025 Part 1 (Key infrastructure 2025) – Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2025.– 262p. with.

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка; 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

ДОДАТОК Б
Демонстраційний матеріал

