

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ РІДИНИ

Анотація. Розроблено лабораторний стенд для дослідження мікропроцесорних систем керування рівнем рідини з урахуванням особливостей пуску та нелінійності характеристики насосної установки. Підтверджено адекватність запропонованої фізичної і комп'ютерної моделей, що дає підстави для її використання при синтезі та дослідженні систем автоматичного керування рівнем рідини. Використання лабораторного стенду в сукупності з адекватною йому імітаційною моделлю дозволяє знизити трудомісткість розробки систем керування для практичних застосувань.

Вступ: Застосування засобів обчислювальної техніки для автоматизації виробничих процесів виводить виробництво на якісно новий рівень, при якому керування здійснюється автоматичними і автоматизованими системами, які охоплюють повний цикл виробництва. Перед початком роботи над новим проектом зазвичай є загальне уявлення про функціонування об'єкта автоматизації. Тому основний акцент робиться на алгоритмічне, апаратне і програмне забезпечення проекту. Алгоритм функціонування регулятора рівня рідини в резервуарі повинен бути достатньо гнучким і містити наступні завдання автоматизації: наповнення або злив до заданого рівня; підтримання рівня рідини; індикація рівня рідини; робота в режимах ручного і автоматичного управління. Отже, ідентифікація об'єкта керування з метою підвищення показників якості системи автоматичного керування є актуальною задачею, що має науковий інтерес та практичне значення.

Метою виконання роботи є розробка лабораторного стенда для дослідження мікропроцесорних систем керування рівнем рідини та комп'ютерної моделі, що враховує особливості пуску та нелінійність характеристики насосної установки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У промисловості важливий контроль рівня рідини в резервуарі, який можна здійснювати шляхом регулювання витрати рідини, щоб отримати відповідний рівень рідини. Для цього необхідно відповідно вибрати режим керування і метод настройки [1]. З поверхневої точки зору, контроль рівня рідини у резервуарі не представляє особливих складнощів [2]. З огляду на різні властивості об'єктів керування аргументується застосування П [2], ПП- [1], ППД- [3, 4] і Фазі-регуляторів [5]. При дослідженні моделей резервуарів для рідини враховуються різні параметри: форма резервуара (циліндрична, конічна); одиночний резервуар або ж вони сполучені; теплові процеси; перемішування вмісту резервуара. Для синтезу системи автоматичного керування, що враховує індивідуальні особливості певної конструкції, рекомендується ідентифікувати об'єкт керування [3, 6-8], отримавши таким чином його наближений опис. Використовуючи математичний опис об'єкта керування

розширюються можливості з використання віртуальних лабораторій [9, 10] для розробки і дослідження систем автоматичного керування цими об'єктами [11]. Відомо, що при перекачуванні забруднених рідин на висоту має місце спорожнення трубопроводу при відключенні насосу внаслідок неможливості встановлення зворотного клапану. В результаті чого при пуску присутнє транспортне запізнення, яке зникає при заповненні трубопроводу. Вказані особливості змушують зменшувати швидкодію системи керування в усталеному режимі з метою виключення автоколивальних режимів при пуску.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження особливостей пуску та нелінійності характеристики насосної установки розроблено лабораторний стенд, який складається з мікропроцесорного регулятора МІК-127 [12], двох ємностей (TANK1 і TANK2), автомобільного насоса склоомивача з двигуном постійного струму номінальною напругою живлення 12 В, gain керуючого сигналу (G), manual control unit (MCU) та level sensor (LS).

Структурна схема лабораторного стенду наведена на рисунку 1.

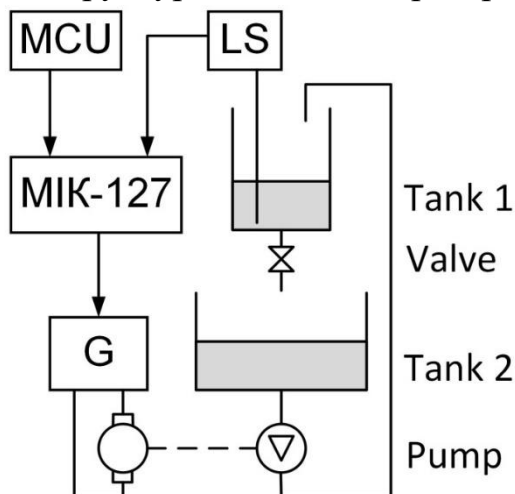


Рисунок 1 – Структурна схема лабораторного стенду для автоматичного керування рівнем рідини

Ємністю 1 є прозора труба довжиною 110 см та внутрішнім діаметром 2.5 см. Рівень рідини вимірюється гідростатичним методом за допомогою сенсору MPX2010DP [13], що являє собою перетворювач диференційного тиску від 0 до 10 кПа в електричний сигнал 0-25 мВ при живленні напругою 10В.

Зовнішній вигляд стенду представлено на рисунку 2.

Мікропроцесорний контролер МІК-127 має широкий вибір структур керування та законів: аналогові та імпульсні ПІД-регулятори, ШІМ-контролери, каскадні контролери, співвідношення параметрів, контролери з корекцією, одно- та двоканальні контролери, контролери із заданою програмою тощо [12]. Контролер програмується за допомогою клавіш на передній панелі або через інтерфейс за допомогою спеціального програмного забезпечення - візуального редактора програм ALDA ALPHA. Як мова програмування система реалізує блок-схему функцій (FBD), яка надає користувачеві механізм програмування візуального об'єкта. Редактор FBD-програм ALPHA має вбудований налагоджувач програм, систему логічного моніторингу стану програми, можливість документування програм, друк, представлення програми в таблиці тощо.

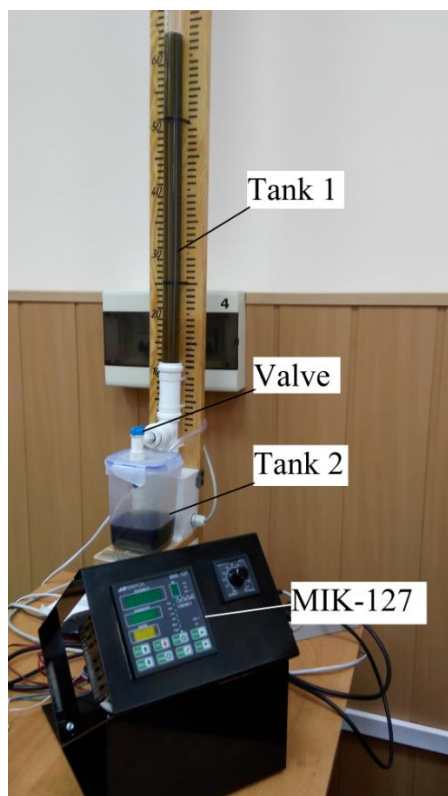


Рисунок 2 – Фото лабораторного стенду для автоматичного керування рівнем рідини

Для дослідження об'єкту системи автоматичного керування рівнем рідини у середовищі ALFA розроблено програму, яка дозволяє встановлювати сигнал керування на аналоговому виході 1 за допомогою блоку ручного завдання. Крім цього, сигнал з давача рівня передається на аналоговий вихід 2, який використовується для запису зміни рівня рідини за допомогою осцилографу. Поточні значення сигналів видаються на передню панель регулятора за допомогою блоку 2.

В ході роботи визначена в табличній формі залежність продуктивності насосу від керуючого сигналу та аналітичний вираз залежності продуктивності витікання рідини від її рівня у ємності 1. Встановлюючи фіксовані значення завдання та фіксуючи проміжок часу, за який рідина підіймається від початкового до кінцевого рівня, отримано експериментальні дані.

З метою визначення залежності продуктивності витікання з баку 1 від рівня рідини у ньому проведено наступний експеримент. В процесі витікання від максимально рівня рідини у баку фіксувалися моменти проходження рівнем рідини відміток кратних 10.

Продуктивність витікання Q_i , середній рівень рідини H_{mid_i} , залежність продуктивності витікання Q від рівня рідини H розраховувалися за формулами (1), де $D = 2,5$ см, H_i - висота стовпчика рідини, що відповідає кожній оцифрованій поділці шкали, t_i - час досягнення кожної оцифрованої поділки шкали

$$Q_i = \frac{(H_{i-1} - H_i) \cdot \pi \cdot D^2}{4 \cdot (t_i - t_{i-1})}, \quad H_{mid_i} = \frac{(H_{i-1} + H_i)}{2}, \quad Q = K\sqrt{H} \quad (1)$$

За результатами експериментів створена комп'ютерна модель об'єкта керування (рис.4) у Matlab/Simulink. Результати розрахунків таблиці 3.1 використано для встановлення параметрів блоку "Pump" (Lookup table). Заповнення трубопроводу при пуску змодельовано блоком транспортного запізнення "Time delay" і перемикачем "Switch". Умовою перемикачання є додатне значення рівня продуктивності на виході блока "Time delay". Таким чином організовано наявність транспортного запізнення при пуску і відсутність його в усталеному режимі. Для підтвердження адекватності розробленої комп'ютерної моделі об'єкта керування фізичному об'єкту (лабораторному стенду) проведено експеримент, в ході якого при

закритому крані зливу рідини протягом певного часу встановлювався фіксований сигнал керування. Після чого кран зливу рідини відкривався.

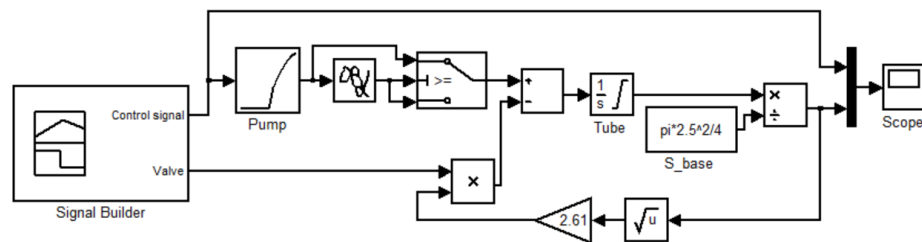


Рисунок 4 - Комп'ютерна модель об'єкта керування

Результати комп'ютерного моделювання показані на рисунках 5, а і 5, б. Осцилограми фізичного експерименту отримані за допомогою цифрового осцилографа OWON PSD 5022S і показані на рисунках 7, а і 7, б.

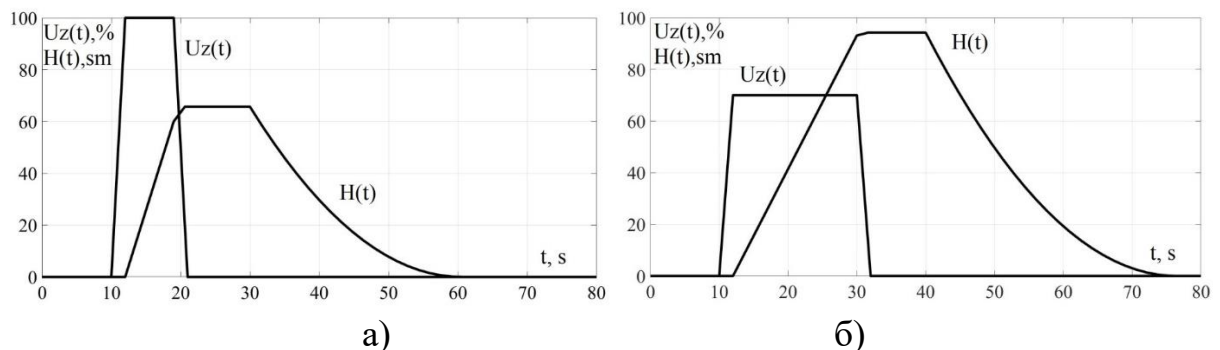


Рисунок 5 - Результати комп'ютерного моделювання при $U_z=100\%$, $t=10$ s (а), при $U_z=70\%$, $t=20$ s (б).

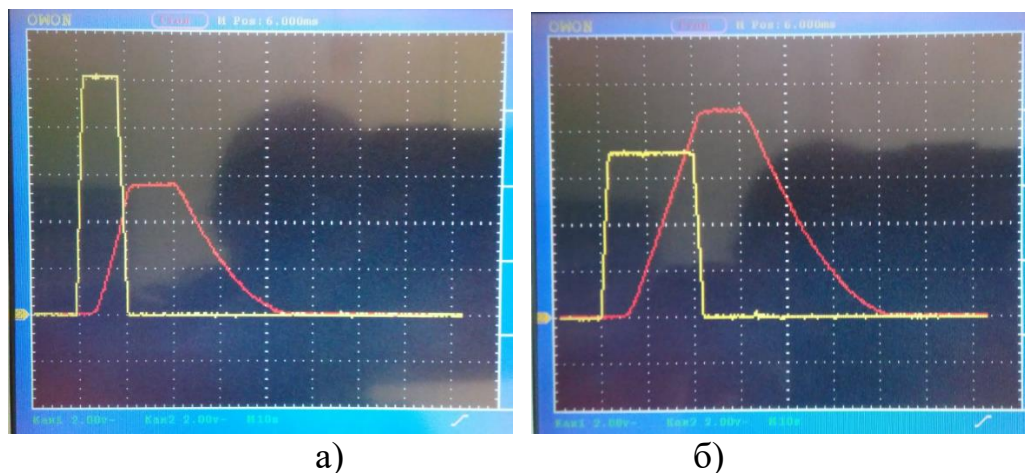


Рисунок 7 - Результати фізичного експерименту при $U_z=100\%$, $t=10$ s (а), при $U_z=70\%$, $t=20$ s (б)

Порівняння результатів комп'ютерного моделювання та фізичного експерименту підтверджує адекватність запропонованої математичної моделі і дає підстави для використання її при синтезі та дослідженні систем автоматичного керування рівнем рідини.

Висновки. Розроблений лабораторний стенд дозволяє досліджувати алгоритми керування рівнем рідини з урахуванням особливостей пуску та нелінійності характеристики насосної установки. Використання лаборато-

рного стенда з адекватною йому імітаційною моделлю, що є комплексним інструментом з розробки, налагодження та оцінки ефективності систем керування рівнем рідини, дозволяє знизити трудомісткість розробки систем керування для практичних застосувань. Подальші дослідження будуть направлені на розробку системи керування, що поєднує стійкість при пуску та високу швидкодію в усталеному режимі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rahmawati, T. A., Fakhriy, N. A., Pratama, G. N. P., Cahyadi, A. I., Herdjunto, S. (2018), A remedy design of PI controller for liquid level control, *International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, Yogyakarta, pp. 661-666. <https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350821>
2. William L. Luyben, (2020) Liquid level control: Simplicity and complexity, *Journal of Process Control*, vol. 86, pp. 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2019.12.008>
3. Vojtesek, Jiri, Spacek, Lubos (2019), Modeling, Simulation And PID Control Of Water Tank Model Using Matlab And Simulink, *ECMS 2019 Proceedings European Council for Modeling and Simulation*. <https://doi.org/10.7148/2019-0177>
4. Patel, K.D., Patil, S. L. (2019), Non-linear tank level control using fractional PI, *3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, Tirunelveli, India, pp. 113-116. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2019.8862629>
5. Ünsal, A., Kabul, A. (2011), Matlab based fluid level control using PID and fuzzy logic controllers, *International Review on Modelling and Simulations*, vol.4, no.6, available at: <https://www.researchgate.net/publication/288642979>
6. Nazarova, O.S., Osadchyy, V.V., Shulzhenko, S.S. (2019), Accuracy improving of the two-speed elevator positioning by the identification of loading degree, *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, pp. 50-53. <http://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896414>
7. Назарова О. С. Ідентифікація кутової швидкості при завадах в оптичній системі енкодера / О.С. Назарова, В. В. Осадчий, І. А. Мелешко, М. О. Олейніков // Вісник НТУ «ХП» - Харків, 2019. – С.65-69. <http://doi.org/10.20998/2079-8024.2019.16.12>
8. Осадчий, В. В. Лабораторный стенд для исследования микропроцессорных систем управления двухмассовым электроприводом / В. В. Осадчий, Е. С. Назарова, В. В. Брылистый, Р. И. Савилов // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2016. – № 22(98). – С. 33-38. <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.22.98.2016.05>
9. Galan, Daniel, Heradio, Ruben, Luis de laTorre, Dormido, Sebastian, Esquembre, Francisco. (2016), Virtual Control Labs Experimentation: The Water Tank System. *IFAC-Papers On Line*, vol. 49, Issue 6, , pp. 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.158>
10. Olejnik, P., Awrejcewicz, J. (2019), A mechatronic experimental system for control of fluid level in LabVIEW, *20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Krakow-Wieliczka, Poland, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765959>
11. Leonow, S., Monnigmann M. (2013), Automatic identification and controller synthesis for fluid level control using soft sensing. *10th IFAC International Symposium on Dynamics and Control of Process Systems Proceedings*, vol. 46, Issue 32, December 2013, pp. 732-737. <https://doi.org/10.3182/20131218-3-IN-2045.00076>
12. Programmable controller MIK-127 http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=266&category_id=115&option=com_virtuemart&Itemid=71
13. 10 kPa On-Chip [Temperature](https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX2010.pdf) Compensated and Calibrated Silicon Pressure Sensors <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX2010.pdf>