



жаль, програма PID Tuner не враховує обмеження, які накладаються кроком квантування, і тому для деяких варіантів обчислення Д-складової алгоритму можна отримати фізично нездійсненні значення параметру  $N$  - Filter Coefficient.

### 7. Висновки

Тестування програми PID Tuner підтвердило її роботоспроможність при визначенні параметрів ПІД-регулятора нелінійної САР при різних значеннях запізнення в каналі регулювання. Дана програма комфортна для використання і може бути рекомендована для підготовки спеціалістів з автоматизації виробничих процесів в отриманні навичок з налаштування параметрів регулятора САР.

### Список використаних джерел

- [1] <https://www.mathworks.com/help/control/ug/getting-started-with-the-control-system-designer.html>
- [2] Karl Johan Astrom and Tore Hagglund. *Advanced PID control*. USA: ISA, 2006.
- [3] Sigurd Skogestad, "Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning" *Journal of Process Control*, no. 13, pp. 291-309, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(02)00062-8)
- [4] Дьяконов В. *Simulink 5/6/7: Самоучитель*. Москва: ДМК-Пресс, 2008.

### References

- [1] <https://www.mathworks.com/help/control/ug/getting-started-with-the-control-system-designer.html>
- [2] Karl Johan Astrom and Tore Hagglund. *Advanced PID control*. USA: ISA, 2006.
- [3] Sigurd Skogestad, "Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning" *Journal of Process Control*, no. 13, pp. 291-309, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(02)00062-8)
- [4] Dyakonov V. *Simulink 5/6/7: Samouchitel*. Moskva: DMK-Press, 2008.

Отримана в редакції 31.01.2022. Прийнята до друку 22.02.2022. Received 31 January 2022. Approved 22 February 2022. Available in Internet 15 March 2022.

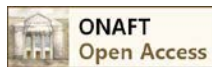
УДК 004.42

## РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

Голубєв Л.П.<sup>1</sup>, Резніков С.А.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", проспект Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна  
ORCID: <sup>1</sup> 0000-0002-2980-8017, <sup>2</sup> 0000-0002-0323-4457  
E-mail: <sup>1</sup> golubevl@ukr.net, <sup>2</sup> reznikov\_sa@ukr.net

Copyright © 2021 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v14i1.2276

**Анотація.** У статті виконано дослідження дозування рідких продуктів. У роботі харчових, текстильних та фасувальних підприємств операції дозування виконуються дуже часто. Тому проблема автоматизації цих операцій стоїть особливо гостро. Автоматизація дозування дозволяє вивільнити робітників для виконання інших операцій, забезпечити більш точне дозування продукту. Авторами розроблено новий підхід до виконання операції порційного дозування рідких продуктів. Він заснований на застосуванні для управління дозуванням мікропроцесорної системи, а як порційний датчик використаний тензодатчик, що забезпечує високу точність вимірювань. В якості мікропроцесорної системи була використана плата Arduino UNO. Розроблено макет автоматизованої системи дозування рідких продуктів. Проектування мікропроцесорної системи управління виконувалось за допомогою системи FIProg, яка дозволяє використовувати засоби візуального програмування, що суттєво прискорює та спрощує процес проектування. Перед початком роботи системи виконується калібрування тензодатчика, встановлення ваги в нульове положення та облік ваги тари. У процесі роботи здійснюється зважування порції рідини і, якщо досягнуто задане значення, припиняється її подача. Інформація про поточне значення ваги рідини, що дозується, і кількість виконаних дозувань відображається на LCD екрані. Розроблена система є універсальною – її можна використовувати для великого спектру рідин, що дозуються, а також, після невеликої доробки, і для сипких продуктів. Невелика вартість



розробленої системи є її безперечною перевагою перед існуючими системами, що забезпечує можливість її використання на різних підприємствах (зокрема ФОП та МП).

**Abstract** .The article studies the issues of liquid products dosage. In food, textile and packaging enterprises, dosing operations are performed very often. Therefore, the problem of automating these operations is particularly acute. Dosing automation allows you to free up workers for other operations, to ensure more accurate dosage of the product. The authors have developed a new approach to the operation of batch dosing of liquid products. It is based on the use of a microprocessor system to control the dosage, and a load cell is used as a portion sensor, which ensures high measurement accuracy. The Arduino UNO board was used as a microprocessor system. A prototype of an automated dosing system for liquid products has been developed. The design of the microprocessor control system was carried out using the FIProg system, which allows the use of visual programming tools, which significantly speeds up and simplifies the design process. Before starting the system, the load cell is calibrated, the balance is set to zero and the tare weight is taken into account. During operation, a portion of the liquid is weighed and, if the set value is reached, its supply is stopped. Information about the current value of the weight of the dosed liquid and the number of doses performed is displayed on the LCD screen. The developed system is universal - it can be used for a wide range of dispensed liquids, and also, after a little modification, for bulk products. The low cost of the developed system is its undoubted advantage over existing systems, which makes it possible to use it at various enterprises (including IE and SE).

**Ключові слова:** дозування, рідкісні продукти, мікропроцесорна система, тензодатчик, FIProg.

**Keywords:** dosing, rare products, microprocessor system, strain gauge, FIProg.

### Вступ

Більшість ТП хімічних, нафтохімічних, харчових, текстильних, парфумерних, лакофарбових, фасувальних (розлив рідких продуктів у тару) та інших виробництв характеризується наявністю операцій, для виконання яких необхідна реалізація автоматичної подачі в об'єкт управління (ОУ) встановлюваних технологічним регламентом доз рідких компонентів. При цьому при проектуванні обладнання необхідно враховувати різноманітність фізико-хімічних властивостей рідини, що дозуються, забезпечувати досить високу точність і широкі діапазони дозування.

Серед зазначених вище виробництв, пов'язаних із завданнями автоматизації процесів дозування рідин, фасувальні виробництва займають особливе місце. Це пов'язано з тим, що в останнє десятиліття в Україні набуває розвитку пакувальна галузь. Утворилася ціла низка підприємств малого та середнього бізнесу, що займаються виробництвом та розфасовкою рідких продуктів у тару. У зв'язку з цим стає надзвичайно актуальною проблема створення високоточного, недорогого, надійного та компактного імпорто-замінного фасувального обладнання, що враховує специфічні умови малих виробництв.

### Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Незважаючи на актуальність проблеми розробки автоматизованих систем дозування рідин у літературі та мережі інтернет автори зазвичай розглядають процеси дозування рідини, враховуючи свої специфічні особливості.

Так у роботі [1] автори розглядають питання дозування рідких продуктів у технологіях видобутку, підготовки, транспорту нафти та газу, а також при виробництві нафтопродуктів, мінеральних добрив, синтетичного каучуку та полімерних матеріалів; підготовки питної води; водо-підготовки на ТЕЦ; очищення промислових стоків та ін.

У роботах В. С. Безменова [2, 3] розглядаються пневматичні системи автоматизованого дозування лакофарбових матеріалів та їх особливості, а також пневмо-електронний дозатор рідких продуктів підвищеної точності.

У роботі [4] розглянуто ковшовий завантажувач-дозатор, який відноситься до об'ємних дозаторів, які не мають аналогів серед конвеєрних завантажувачів. Він дозволяє вирішити проблему адресної подачі порцій сипучих середовищ та продуктів.

У роботі [5] сформована та систематизована база знань у галузі технологій та обладнання для дозування у промисловості, сільському господарстві та соціальній сфері. Сформовано базу даних про дозатори різного типу.

Однак питання розробки універсальної автоматизованої системи дозування рідких продуктів потребує подальшого опрацювання та дослідження. При цьому найбільш ефективним та доцільним є застосування мікропроцесорних систем для автоматизації процесів дозування [6-8].

### Мета і завдання дослідження

Тому метою цих досліджень є розробка мікропроцесорної системи управління процесом дозування рідких продуктів широкого асортименту.

При розробці мікропроцесорної автоматизованої системи дозування рідких продуктів було вирішено такі задачі:

- розроблено структурну схему автоматизованої системи дозування рідких продуктів ;
- здійснено вибір технічних засобів автоматизованої системи дозування рідких продуктів;
- розроблено програмне забезпечення мікропроцесорної системи дозування рідких продуктів;
- розроблено макет автоматизованої системи дозування рідких продуктів;
- виконано тестування розробленої системи.

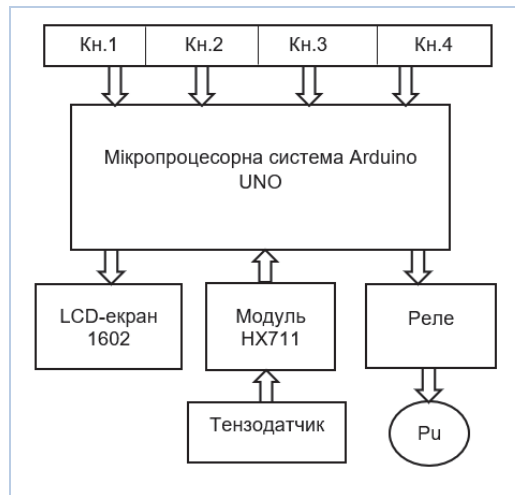
### Результати досліджень

До систем дозування для розфасовки рідких продуктів в тару пред'являються свої специфічні вимоги, до основних у тому числі відносяться такі:



- висока експлуатаційна надійність, широкий діапазон та висока точність дозування у поєднанні з можливістю оперативного пере-налаштування обладнання на різні типи рідин та діапазони дозування;
- можливість плавного регулювання дози у широкому діапазоні;
- можливість оперативного промивання або заміни гідро-комунікацій;
- можливість вбудовування дозатора у конвеєрну лінію;
- можливість побудови багато-струмових та багатоканальних систем дозування;
- компактність, простота та безпека обслуговування;

Для виконання цих вимог було розроблено автоматизовану мікропроцесорну систему дозування рідких продуктів. Структурна схема розробленої системи наведено на рис. 1.



**Рис. 1 – Структурна схема автоматизованої системи дозування рідких продуктів**  
**Fig. 1 – Structural diagram of an automated system for dosing rare products**

Вона включає такі елементи:

- Мікропроцесорна система Arduino UNO;
- Блок управління, що складається із кнопок Кн.1-Кн.4.;
- LCD-екран 1602;
- Модуль HX711 – 3-канальний аналого-цифровий перетворювач;
- Тензодатчик (до 5 кг);
- Реле;
- Електронасос;

Основним чутливим елементом системи є тензодатчик. Тензодатчик ваги та тиску - це пристрій, який може перетворити механічну деформацію тіла на електричний сигнал, який дозволяє визначити рівень розтягування та стиснення конкретного предмета. Він є резистивним перетворювачем і вважається одним з найголовніших складових високоточного вагового обладнання.

Робота датчика ваги заснована на зміні будь-якого фізичного параметра, пропорційно вазі вимірюваного предмета. Параметр залежить від того, який елемент використовується в датчику. Так при зміні навантаження на п'єзокерамічну пластину змінюється напруга, що знімається з електродів на кінцях п'єзо-датчика. При використанні ємнісного датчика змінюється ємність змінного конденсатора. У даній конструкції використовується датчик ваги, виконаний на пружному резисторі і при зміні ваги, змінюється його опір, а, отже, і напруга, що знімається з мостової схеми.

Датчик являє собою прямокутний брусок з алюмінієвого сплаву, з отвором в центрі. На його бічні поверхні нанесені тонко-плівкові резистори, з'єднані по мостовій схемі, тому резистивний датчик має 4 гнучких виведення. Всі елементи датчика залиті епоксидним компаундом. На бруську передбачені отвори для кріплення його до основи і для установки пластини під вимірюваний вантаж. На торцевій стороні датчика нанесено маркування, що вказує максимальну вагу вимірюваного вантажу. Для того щоб резистори змінювали своє опір, тензометричний датчик повинен одним кінцем фіксуватися на підставі, а на іншій його кінець повинен діяти як вантаж так, щоб виникла деформація бруска і, відповідно, плівкових резисторів. Для того щоб перетворити аналоговий сигнал з виходу тензорного датчика в двійковий код, застосовується аналого-цифровий перетворювач (АЦП) HX711.

Інтегральна мікросхема HX711 є аналого-цифровим перетворювачем з частотою дискретизації 24 біт і вбудованим мало-шумливим операційним підсилювачем. Мультиплексор дозволяє вибирати один з двох наявних вхідних каналів. Канал А має програмований вибір коефіцієнта посилення, який може бути 64 або 128. Канал В працює з перед-встановленим коефіцієнтом, рівним 32.



До складу мікросхеми НХ711 входить інтегральний стабілізатор напруги, що виключає необхідність застосування зовнішнього стабілізатора. На вхід синхронізації може бути поданий будь-який імпульсний сигнал від зовнішнього джерела, разом з тим АЦП допускає роботу від вбудованого генератора.

Цей вимірювальний прилад має надзвичайно високу точність аналізу. Чутливість робочих елементів допускає похибку трохи більше 0,02 %, що є досить високим показником. Але деякі пристрої виконуються з ще більшим класом точності. Робота таких моделей ґрунтується на вимірюваннях сили впливу на контакти. Електричний перетворений сигнал є прямо пропорційною величиною сили тиску.

Макетна схема автоматизованої системи дозування рідких продуктів наведена на рис.2.

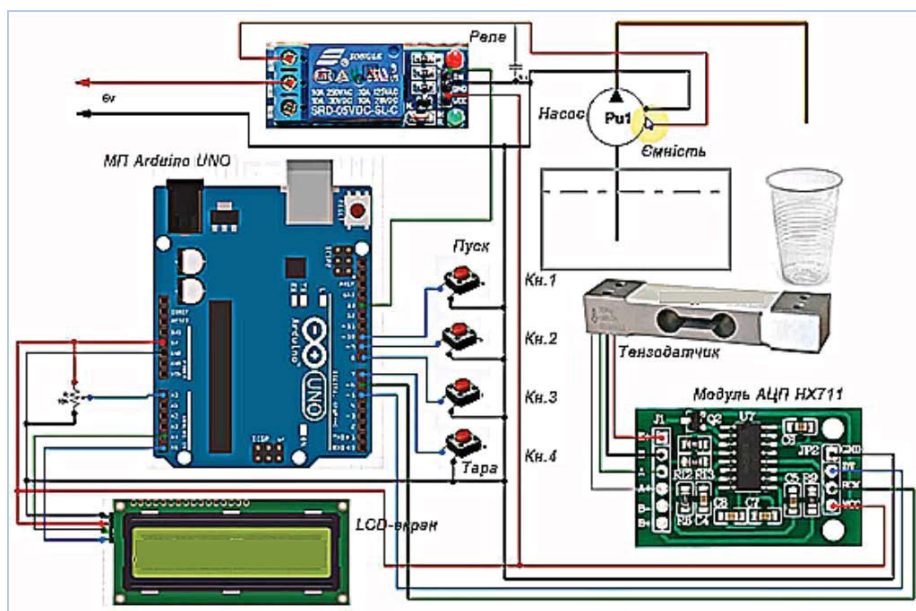


Рис. 2 – Макетна схема автоматизованої системи дозування рідких продуктів  
Fig. 2 – Layout diagram of the automated dosing system of liquid products

Блок управління системою складається з 4 кнопок.

- кнопка Кн.1 призначена для компенсації ваги тари при вимірах;
- кнопка Кн.2 призначена для збільшення ваги дозуючої рідини;
- кнопка Кн.3 призначена для зменшення заданої ваги рідини що дозується;
- кнопка Кн.4 призначена для запуску процесу дозування рідини.

На дисплеї оперативно відображається наступна інформація:

- задана вага рідини що дозується;
- поточна вага рідини що дозується;
- кількість виконаних дозувань;

Алгоритм роботи системи складається з наступних кроків:

1. Перед початком дозування необхідно виконати калібрування системи. Для цього, використовуючи гирю із заздалегідь відомою вагою та за допомогою підстроювального резистора встановлюємо значення чутливого елемента (тензодатчика) відповідно до ваги гирі.

2. Далі необхідно врахувати вагу тари. Для цього натискаємо кнопку «Тара» (Кн.1) та встановлюємо тару на чутливу пластину. При цьому контролюємо, щоб значення ваги на дисплеї дорівнювало нулю. Якщо це не так, повторюємо виконання цього пункту ще раз.

3. Встановлюємо задане значення дози рідини за допомогою кнопок «+» та «-» (Кн.2 та Кн.3 відповідно). Перша кнопка збільшує значення об'єму рідини на 1, а друга відповідно його зменшує на 1.

4. Далі встановлюємо тару на тензодатчик та натискаємо кнопку «Старт» (Кн.4). Починає працювати насос і подавати рідину, що дозується, в ємність. При цьому на екрані відображається об'єм рідини, що дозується. Коли обсяг дозованої рідини буде більшим або дорівнюватиме заданому, насос вимикається, і подача рідини припиняється.

5. На екрані відображається кількість заповнених ємностей. Далі оператор повинен прибрати заповнену задану дозою рідиною ємність, встановити на чутливий елемент нову тару та повторити операцію дозування рідини.

При проектуванні автоматизованої системи дозування рідких продуктів використовувалася програма FIProg. Програма FLProg дозволяє створювати прошивки для плат Arduino за допомогою графічних мов FBD та LAD, які є





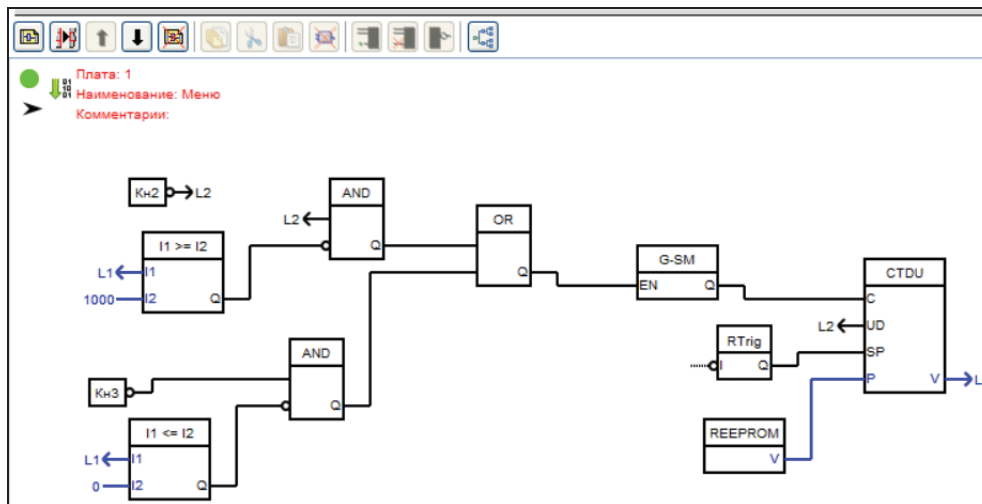
стандартом у галузі програмування промислових контролерів. Робоче вікно програми FLProg мовою FBD складається з кількох полів:

- основне меню програми;
- дерево проекту (складові проекту);
- дерево встановленого обладнання. У ньому представлено обладнання (логічні елементи, суматори, реле часу, генератори), що використовується у проекті. У новому проекті у ньому присутні лише входи та виходи контролера;
- бібліотека блоків. У ній знаходиться обладнання, яке можна застосувати у проекті;
- область схеми, в якій власне і створюється схема.

Проект FLProg являє собою набір плат, на кожній, з яких зібрано закінчений модуль загальної схеми. Для зручності роботи кожна плата має найменування та коментарі.

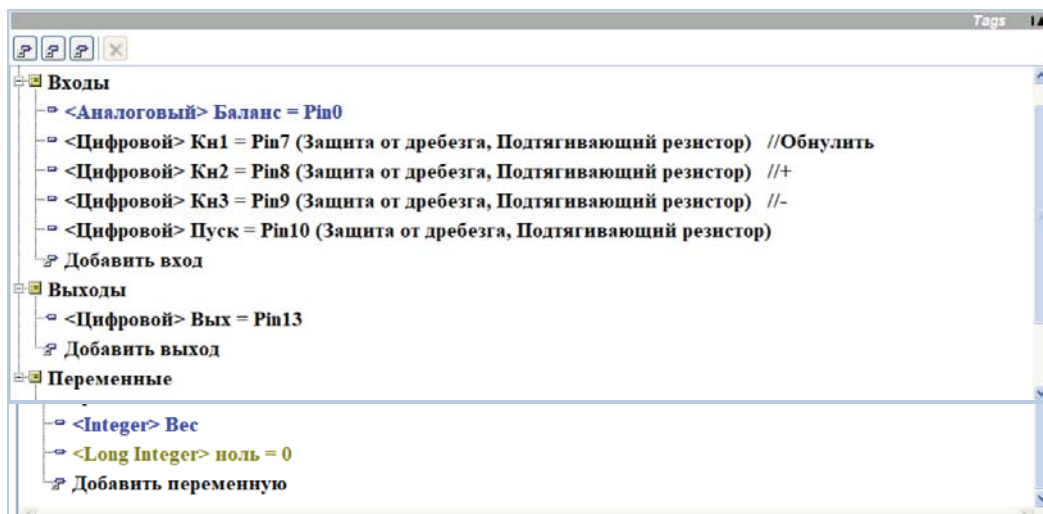
В результаті проектування було розроблено три плати: "Установка", "Терези", "Дозатор".

Після увімкнення Arduino інформація, що записана в EEPROM, відображається на LCD-екрані. При натисканні на Кн.2 інформація надходить на блок компаратора і якщо величина, записана в EEPROM не перевищує встановленого обмеження на значення параметра, що вводиться (у нашому випадку 1000 гр.), то сигнал через логічні елементи «AND» і «OR» надходить на вхід генератора імпульсу «G-SM», який формує одиничний імпульс, що надходить на вхід суматора «CTDU». Суматор виконує операцію підсумовування сигналу з інформацією, записаної в EEPROM. Далі нове значення ваги дози рідини записується в незалежну пам'ять Arduino і відображається на LCD-екрані. Аналогічно працює система при натисканні Кн.3, тільки в цьому випадку виконується зменшення ваги дозованої рідини.



**Рис. 3 – Запис і відображення нового значення ваги рідини, що дозується**  
**Fig. 3 – Recording and displaying a new value of the blood pressure, which should be dosed**

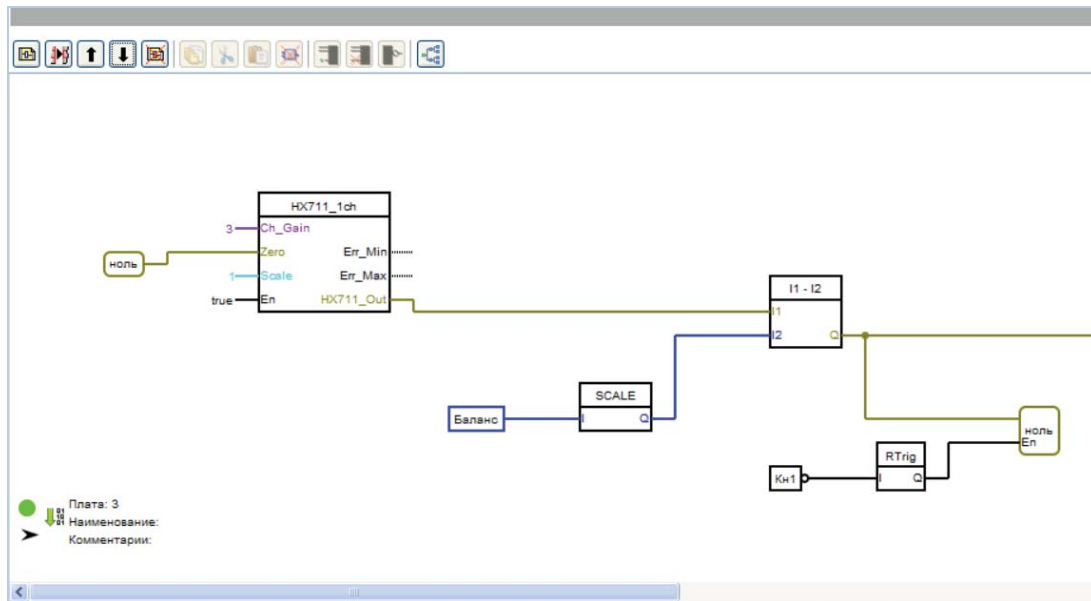
На рис.4 представлені входи та виходи системи.



**Рис. 4 – Входи та виходи системи**  
**Fig. 4 – Inputs and outputs of the system**



На рис.5 представлена плата «Терези».



**Рис. 5 – Розробка плати «Терези»**  
**Fig. 5 – Development of the board "Scales"**

Ця плата виконує такі операції:

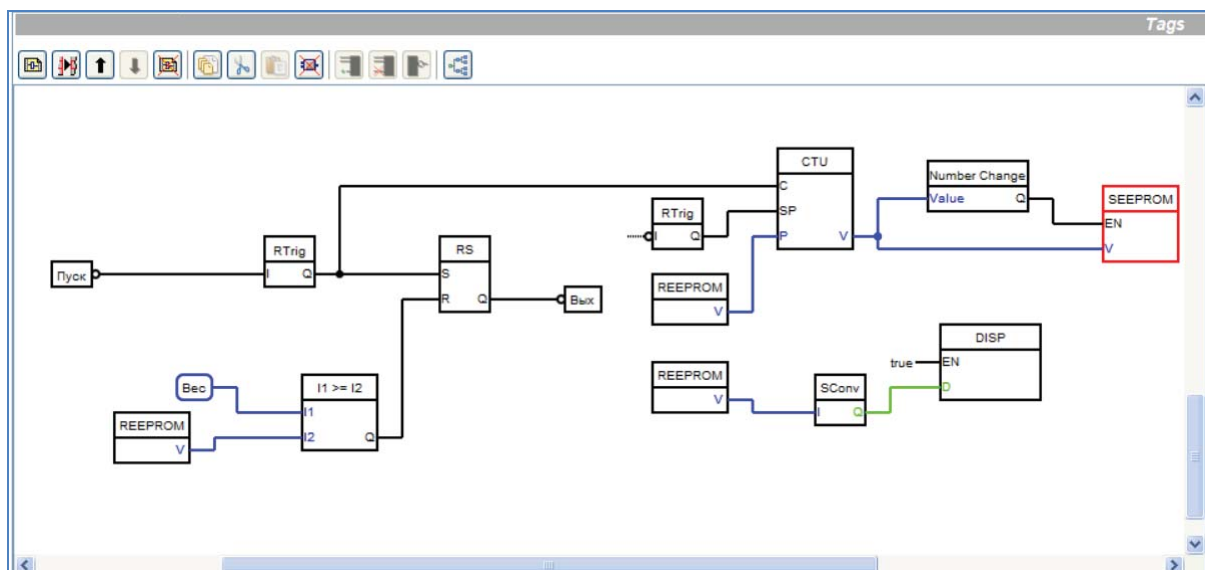
1. встановлення терезів у нульовий стан;
2. облік ваги тари;
3. зважування рідини, що дозується.

1. Спочатку необхідно встановити значення ваг у 0. Оскільки значення опорів, що утворює міст Уілтона на практиці відрізняються, необхідно виконати коригування терезів, встановивши спочатку їх значення в 0. Для цього використовується балансувальний потенціометр. Регулюючи його та спостерігаючи значення напруги на виході ми встановлюємо це значення в 0.

2. Далі, встановивши на ваги тари, натисканням Кн. 1 робимо коригування ваги дозованої рідини на величину ваги тари. Після натискання Кн.1 вага тари зберігається в змінну «Нуль» і значення цієї змінної надходить на вхід Zero елемента HX711\_ch1.

3. Інформація про вагу рідини, що дозується, за відніманням ваги тари записується в змінну «Вага» і передається на плату «Дозатор».

На рис.6 представлена плата «Дозатор».



**Рис. 6 – Розробка плати «Дозатор»**  
**Fig. 6 – Development of the board "Dispenser"**



Ця плата виконує операцію дозування рідини. Для цього за натисканням Кн. «Пуск» включається насос і починається подання рідини в тару. При цьому компаратор «I1>=I2» порівнює значення змінної «Вага», сформованої другою платою із заданим значенням, записаним в EEPROM. Якщо значення змінної «Вага» стає рівним або перевищує записане в незалежній пам'яті, система вимикає насос і подача рідини в тару припиняється. Після того, як операція дозування рідини завершується, збільшується значення лічильника «СТУ», це значення записується в EEPROM і відображається на LCD-екрані.

Після проектування автоматизованої системи дозування рідини у програмі FIProg було виконано генерацію програмного коду для мікропроцесорної системи Arduino UNO та завантаження програмного коду в мікропроцесор.

В результаті виконаних робіт створено макет автоматизованої системи дозування рідких продуктів.

### Висновки

Проведене тестування розробленої автоматизованої системи дозування рідких продуктів підтвердило працездатність системи та правильність прийнятих технічних рішень.

До переваг розробленої системи слід віднести універсальність (система може працювати з різними рідинами), а також після невеликої доробки може виконувати дозування сипких продуктів. Крім цього, великим плюсом цієї системи є її низька ціна, на відміну від присутніх на ринку систем.

### Список використаних джерел

- [1]. Применение массовых расходомеров для жидкостей в установках для точного дозирования химреагентов. Режим доступа: <https://www.massflow.ru/u/www/files/solutions/primenenie-massovyh-rashodomerov-dlya-jidkostey-v-ustanovkah-dlya-tochnogo-dozirovaniya-himreagentov.pdf>
- [2]. Безменов В.С., Ефремов В.А., Дударь А.С. Пневматические системы автоматизированного дозирования лакокрасочных материалов для малых производств // Датчики и системы. - 2012. № 1 (152). С. 38-43.
- [3]. Безменов В.С., Ефремов В.А., Ефремова Т.К., Руднев В.В., Тагаевская А.А. Пневмоэлектронный дозатор жидких продуктов повышенной точности. // Датчики и системы. - 2006. № 9. С. 43- 45.
- [4]. Деева В.С., Романишин А.Е., Слободян С.М. Анализ дозаторов потока неоднородных сыпучих сред, // Вестник Алтайского Государственного аграрного университета. – 2015. - №8. С.135-139
- [5]. Васильев А.С., Шегельман И.Р. Формирование базы знаний о технологиях и оборудовании для дозирования в промышленности, сельском хозяйстве и социальной сфере // Инженерный вестник Дона, №3 (2020) [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6371](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6371)
- [6]. Голубев Л. П. Розробка автоматизованої системи дозування рідких продуктів / Л.П. Голубев, В.О. Суров, І.Л. Ківа // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції молодих учених та студентів 21.04.20, К.: КНУТД, 2020 – С.105
- [7]. Голубев Л.П. Использование микропроцессоров при создании автоматизированных систем управления / Б.В. Можиль, С.Ю. Фетисенко // Технології та дизайн. - 2016. - № 3.
- [8]. Голубев Л.П. Автоматизированное удаленное управление устройствами при помощи Ардуино / В. Г. Столяров, Л. П. Голубев. // Технології та дизайн. - 2016. - № 4

### References

- [1]. Prymenenye massovykh raskhodomerov dlia zhydkostey v ustanovkakh dlia tochnoho dozyrovaniya khymreagentov. Rezhym dostupa: <https://www.massflow.ru/u/www/files/solutions/primenenie-massovyh-rashodomerov-dlya-jidkostey-v-ustanovkah-dlya-tochnogo-dozirovaniya-himreagentov.pdf>
- [2]. Bezmenov V.S., Efremov V.A., Dudar A.S. Pnevmaticheskie sistemy avtomatizirovannogo dozirovaniya lakokrasochnykh materialov dlya malyykh proizvodstv // Datchiki i sistemy. - 2012. # 1 (152). S. 38-43.
- [3]. Bezmenov V.S., Efremov V.A., Efremova T.K., Rudnev V.V., Tagaevskaya A.A. Pnevmoelektronnyy dozator zhidkikh produktov povyishennoy tochnosti. // Datchiki i sistemy. - 2006. # 9. S. 43- 45.
- [4]. Deeva V.S., Romanishin A.E., Slobodyan S.M. Analiz dozatorov potoka neodnorodnykh syipuchih sred, // Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. - #8. S.135-139
- [5]. Vasilev A.S., Shegelman I.R. Formirovaniye bazyi znaniy o tehnologiyah i oborudovaniy dlya dozirovaniya v promyshlennosti, selskom hozyaystve i sotsialnoy sfere // Inzhenernyy vestnik Dona, #3 (2020)
- [6]. Golubev L. P. Rozrobka avtomatizovanoi sistemi dozuvannya rfidnnykh produktiv / L.P. Golubev, V.O. Surov, I.L. Kiva // Materialy Vseukrayinskoyi naukovopraktychnoyi Internet konferentsiyi molodih uchenih ta studentiv 21.04.20, K.: KNU TD, 2020 – S.105
- [7]. Golubev L.P. Ispolzovanie mikroprotsessorov pri sozdaniy avtomatizirovannykh sistem upravleniya / B.V. Mozhchil, E.Yu. Fetisenko // Tehnologiyi ta dizayn. - 2016. - # 3.
- [8]. Golubev L.P. Avtomatizirovannoe udalennoe upravlenie ustroystvami pri pomoschi Arduino / V. G. Stolyarov, L. P. Golubev. // Tehnologiyi ta dizayn. - 2016. - # 4

Отримана в редакції 31.01.2022. Прийнята до друку 23.02.2022. Received 31 January 2022. Approved 23 February 2022. Available in Internet 15 March 2022.