

## ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ ДОЗУВАННЯ РІДИНИ

Петренко Ю. А., Костира Д. А., Аширов Д. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** У роботі проведено аналіз технології дозування рідини. На підставі аналізу публікацій поставлена мета роботи, а саме: розробити технологію синтезу системи дозування рідини, обґрунтувати критерії вибору апаратних та програмних засобів для систем автоматизації дозування рідини, проаналізувати методи прийняття рішень у різних умовах визначеності інформації, розробити модель вибору апаратних і програмних засобів для автоматизації дозування рідини, розробити фізичну модель системи дозування рідини на платформі мікропроцесора Arduino NANO/UNO.

**Ключові слова:** автоматизація технологічних процесів, технології дозування рідини, модель вибору апаратних та програмних засобів, моніторинг якості води, система автоматизації дозування рідини.

### Вступ

На сьогодні на світовому ринку, зокрема й українському, представлена значна кількість різноманітних систем для дозування рідких продуктів. Універсальної технології не існує, оскільки одні й ті самі речовини можна фасувати на різних видах обладнання. І тут перед виробником постає складне завдання: який тип обладнання буде найбільш оптимальним для виконання поставленої мети.

### Аналіз публікацій

Існують дорогі технології дозувальних систем, доступних для виробництва великих обсягів, є більш бюджетні варіанти. Кожна технологія та обрана система автоматизації дозування, незалежно від вартості, має свої переваги й недоліки.

Більш дорога потребує значних вкладень на початкових етапах порівняно з менш якісними. Менш якісне виконання вимагає менших матеріальних витрат на початковому етапі, але призводить до непередбачених витрат на обслуговування й простої в момент несправності [1, 2].

У роботах [3, 4] запропоновані сучасні методи проектування окремих систем автоматизації з використанням новітньої елементної бази.

У розробленні проекту синтезу системи дозування рідини пропонується застосовувати методи прийняття рішення в різних умовах визначеності інформації [5–7].

У роботах [8–12] надані рекомендації щодо застосування програмних засобів у процесі налаштування фізичної моделі системи дозування рідини.

Актуальність роботи полягає в управлінні процесом синтезу системи дозування рідини від проектування до реалізації фізичної моделі.

### Мета та постановка завдання

Метою є розроблення комп'ютерної технології синтезу системи авторизації дозування рідини. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити технологію синтезу системи дозування рідини, обґрунтувати критерії вибору апаратних і програмних засобів для систем автоматизації дозування рідини, провести аналіз методів прийняття рішень у різних умовах визначеності інформації, розробити модель вибору апаратних і програмних засобів для автоматизації дозування рідини, розробити фізичну модель системи дозування рідини на платформі мікропроцесора Arduino NANO/UNO.

### Виклад основного матеріалу

Система автоматизації керування призначена для вирішення загального завдання створення ефективного механізму керування ТП. У зв'язку із цим першим етапом у впровадженні системи є передпроектне обстеження діяльності ТП. Виконується системний аналіз діяльності ТП. Під передпроектним обстеженням розуміється процес збору інформації про структуру й діяльність ТП. Зібрана інформація проходить стадію аналізу й систематизації. На цьому етапі створюються покрокові рекомендації щодо послідовності впровадження системи, які наведено на рис. 1.



Рис. 1. Технологія синтезу системи дозування рідини

На підставі розробленої технології розробляємо функціональну схему системи дозування рідини (рис. 2).

Система складається з диспетчерського пункту, що містить: АРМ диспетчера, на якому розгорнута SCADA-система, HUB – основний вузол мережі, блок живлення, що забезпечує робочу напругу системи.

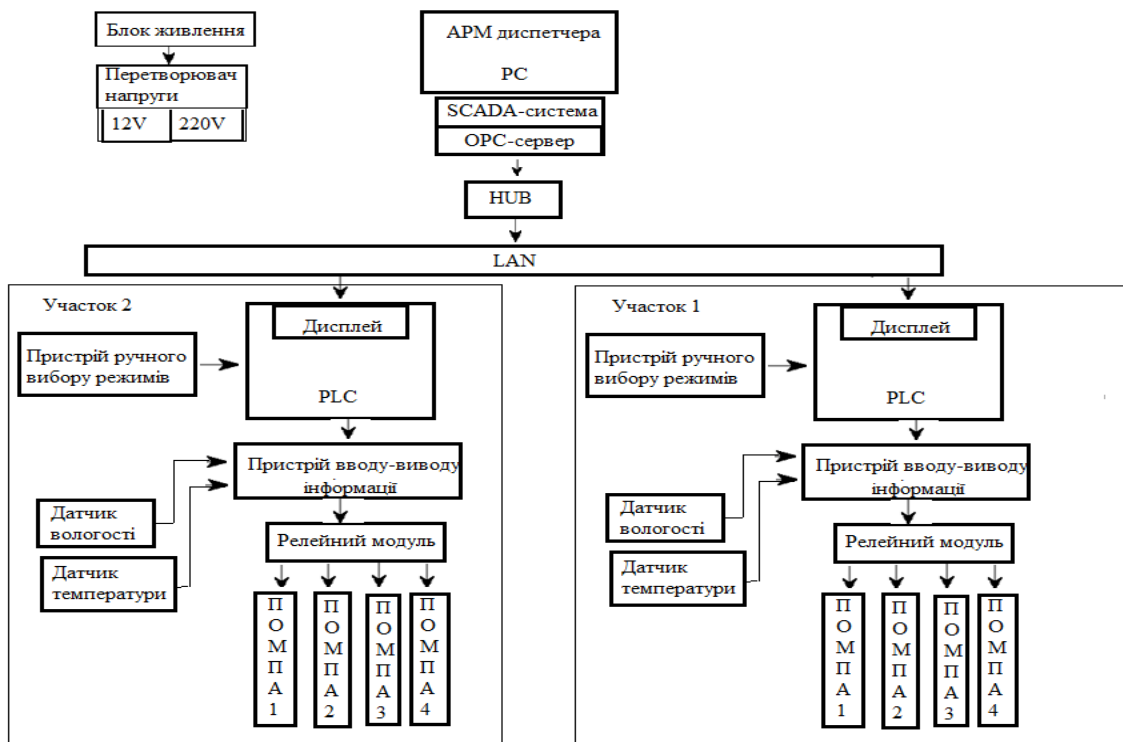


Рис. 2. Функціональна схема системи дозування рідини

Для організації обміну інформації між лініями та зв'язком із місцем АРМ диспетчера існує LAN – локальна мережа.

Основну роботу виконують: релейний модуль у заданому інтервалі часу замикає/розмикає подачу живлення на помпи та PLC – мікропроцесорний пристрій, призначене для збирання, перетворення, оброблення, зберігання інформації та вироблення команд управління, що має кінцеву кількість входів і виходів, підключених до них датчиків, виконавчих механізмів до об'єкта управління, і призначений для роботи в режимі реального часу.

### Обґрунтування критеріїв

Для розроблення апаратної частини, яка буде використовуватися для роботи, необхідно оцінити їхню ефективність за сукупністю основних критеріїв:

– швидкодія –  $B_i$ . Швидкість реакції системи на зовнішні дії або кількість операцій, що здійснює система за одиницю часу

$$\sum_{i=1}^i B_i x_i \rightarrow \max ; \quad (1)$$

– якість документації –  $K_i$ . Це сукупність графічних і текстових документів, необхідних і достатніх для безпосереднього використання на всіх стадіях життєвого циклу продукції, що відповідають державним стандартам

$$\sum_{i=1}^i K_i j_i \rightarrow \max ; \quad (2)$$

– технічна підтримка –  $T_i$ . Компанія повністю бере на себе зобов'язання з організації технічної підтримки обладнання на торгових точках партнерів

$$\sum_{i=1}^i T_i f_i \rightarrow \max ; \quad (3)$$

– надійність –  $N_i$ . Надійність є одним із найбільш важливих показників сучасної техніки. Від неї залежать такі показники, як якість, ефективність, безпечність, ризик, готовність. Техніка може бути ефективною лише за умови, якщо вона має високу надійність. Надійністю називається властивість технічного об'єкта зберігати свої характеристики (параметри) у визначених межах за даних умов експлуатації

$$\sum_{i=1}^i N_i z_i \rightarrow \max ; \quad (4)$$

– ціна –  $C_i$ . Ціна певної кількості товару становить його вартість, тому правомірно говорити про ціну як грошову вартість одиниці товару/цінності

$$\sum_{i=1}^i C_i y_i \rightarrow \min . \quad (5)$$

Також наведемо обмеження для деяких критеріїв. Швидкодія засобу має бути більшою або дорівнювати заданій

$$\sum_{i=1}^i B_i x_i \geq B_{зад} . \quad (6)$$

Ціна має бути меншою або дорівнювати заданій

$$\sum_{i=1}^i C_i y_i \leq C_{зад} . \quad (7)$$

Надійність має бути більшою або дорівнювати заданій

$$\sum_{i=1}^i N_i z_i \geq N_{зад} . \quad (8)$$

Якість документації має бути більшою або дорівнювати заданій

$$\sum_{i=1}^i K_i j_i \geq K_{зад} . \quad (9)$$

Технічна підтримка має бути більшою або дорівнювати заданій

$$\sum_{i=1}^i T_i f_i \geq T_{зад} . \quad (10)$$

Саме ці альтернативи і є рішенням вихідної задачі, оскільки вони найбільше задовольняють вимогам всієї сукупності розглянутих критеріїв та обмежень.

Розроблена модель належить до моделі дискретного програмування з булевими змінними.

Відповідно до розробленої функціональної схеми системи дозування рідини (рис. 2) для програмного забезпечення АРМ диспетчера потрібно обрати SCADA-систему.

Для вибору виду SCADA-системи необхідно оцінити їхню ефективність за сукупністю основних критеріїв. Критерії можуть бути як кількісні, так і якісні [1, 2].

Для формалізації моделі вибору виду SCADA-системи введемо такі позначення:

– якість документації –  $K_i$ . Це сукупність графічних і текстових документів, необхідних і достатніх для безпосереднього використання на всіх стадіях життєвого циклу продукції, що відповідають державним стандартам;

– технічна підтримка –  $T_i$ . Це зобов'язання з організації технічної підтримки обладнання на торгових точках партнерів, що компанія повністю бере на себе;

– надійність –  $N_i$ . Це один із найбільш важливих показників сучасної техніки. Надійністю називається властивість технічного об'єкта зберігати свої характеристики (параметри) у визначених межах за даних умов експлуатації;

– масштабність –  $M_i$ . Це засіб архітектурної композиції, що визначає співвідношення розмірів споруди та його частин, деталей із розмірами людини й навколишнім середовищем;

– відкритість систем –  $O_i$ . Це здатність системи реалізувати відкриті специфікації на інтерфейси, сервіси (послуги середовища) і підтримувані формати даних, достатні для того, щоб дати змогу належним чином розробленому прикладному програмному забезпеченню бути мобільним у широкому діапазоні систем із мінімальними змінами, взаємодіяти з іншими застосуваннями на локальних і віддалених системах, і взаємодіяти з

користувачами в стилі, який полегшує перехід користувачів від системи до системи;

– ціна –  $C_j$ . Ціна певної кількості товару становить його вартість, тому правомірно говорити про ціну як грошову вартість одиниці товару/цінності.

Деякі з наведених показників визначаються якісно, тому їх варто задати лінгвістичними змінними, де  $i$  – порядковий номер елемента множини, а  $n$  – кількість елементів у множині.

Математична модель вибору має такий вигляд.

Розглянемо задачу вибору альтернативи даної множини

$$S_C = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}. \quad (11)$$

Якщо цей вибір здійснюється на основі ступеня відповідності альтернатив деякої сукупності вимог, що визначаються системою  $m$  різних критеріїв  $k_1, k_2, \dots, k_m$ .

У такому випадку кожному критерію може бути поставлена у відповідність нечітка множина.

$$S_{ci} = \{\mu_{k_i}(S_1), \mu_{k_i}(S_2), \dots, \mu_{k_i}(S_n)\}. \quad (12)$$

Тут величина  $\mu_{k_i}(S_j) \in [0,1]$  і оцінкою альтернативи  $S_j$  за критерієм  $k_i$ . Іншими словами, вона є характеристикою ступеня її відповідності вимозі, що визначається аналізованим критерієм  $k_i$ .

Цілком природно, що рішенням вихідної задачі буде така альтернатива  $S$ , яка найбільшою мірою задовольняє вимогам усієї сукупності критеріїв.

Звідси випливає, що вирішальне правило  $D$  вибору найкращої альтернативи може бути представлено як знаходження перетину відповідних нечітких множин:

$$D = M_{k_1} \cap M_{k_2} \cap \dots \cap M_{k_m}. \quad (13)$$

Відповідно до визначення операції перетину нечітких множин функція приналежності шуканого рішення знаходиться як

$$\mu_{S_C D}(S_j) = \min_{i=1, \dots, m} (\mu_{S_C k_i}(S_j)), j = \overline{1, n} \quad (14)$$

Отже, найкращою має бути обрана та з альтернатив, для якої значення функції приналежності виявиться максимальним. Тобто

$$\mu_d(S_j^*) = \max_{j=1, \dots, n} (\mu_{S_C D}(S_j)). \quad (15)$$

Саме ця альтернатива і є рішенням вихідної задачі, оскільки вона найбільше задовольняє вимогам усієї сукупності розглянутих критеріїв.

Відзначимо, що в розглянутій задачі всі критерії  $k_i$  за замовчуванням передбачалися рівноправними, тобто мають однакову важливість. Однак у практиці прийняття рішень нерідко трапляються ситуації, коли потрібно вирішувати багатокритеріальну оптимізаційну задачу в умовах різної важливості критеріїв досягнення максимуму цільової функції.

У подібних випадках кожним критерієм  $k_i$  доцільно поставити у відповідність деякий ваговий коефіцієнт  $\lambda \geq 0$ , зокрема

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1, i = \overline{1, m}. \quad (16)$$

Цілком природно, що більшою є важливість критерію, то більше значення приписується його ваговому коефіцієнту. З урахуванням цього вирішальне правило  $R$  вибору найкращої альтернативи в умовах багатокритеріальної задачі з нерівнозначними критеріями  $k_i$ , які мають вагові коефіцієнти  $\lambda_i$ , використовує процедуру знаходження перетину нечітких множин

$$D = S_{c_{k_1}}^{\lambda_1} \cap S_{c_{k_2}}^{\lambda_2} \cap \dots \cap S_{c_{k_m}}^{\lambda_m}. \quad (17)$$

Значення самих вагових коефіцієнтів визначаються на основі стандартної процедури попарного порівняння критеріїв.

### Розроблення фізичної моделі системи дозування рідини

На підставі розробленої технології синтезу системи дозування рідини та математичних моделей (1)–(10) обрані такі елементи системи дозування рідини (рис. 3).

Побудована фізична модель на платформі мікропроцесора Arduino NANO/UNO, компонентна схема автоматизованої системи дозування рідини зображена на рис. 4.

Багатоканальна система дозування має такі можливості:

- підтримка від 1 до 15 pomp (Arduino NANO / UNO);
- налаштування періоду й часу роботи;

- дисплей із відображенням налаштувань;
- індивідуальна назва кожного каналу;
- зручне управління й налаштування енкодером;
- зберігання налаштувань у незалежній пам'яті;
- налаштування рівня сигналу, що керує;
- налаштування години / хвилини / секунди роботи;
- паралельний режим роботи / черги.

Система керує кількістю pomp PUMP\_AMOUNT, підключених Arduino, починаючи із START\_PIN. На кожен насос заводиться таймер, що вмикає помпу на заданий час через певні проміжки часу. Про-

міжки часу (період роботи) може бути в годинах або хвилинах (налаштування PERIOD).

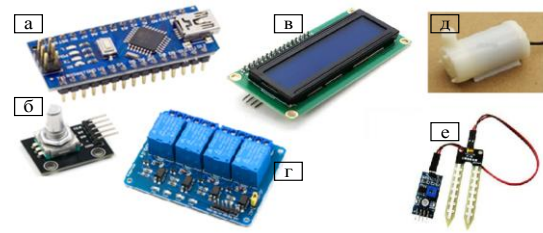


Рис. 3. Обрані технічні засоби: а – Arduino NANO; б – енкодер; в – LCD-дисплей; г – блок-реле; д – помпа; е – датчик вологості ґрунту YL-38

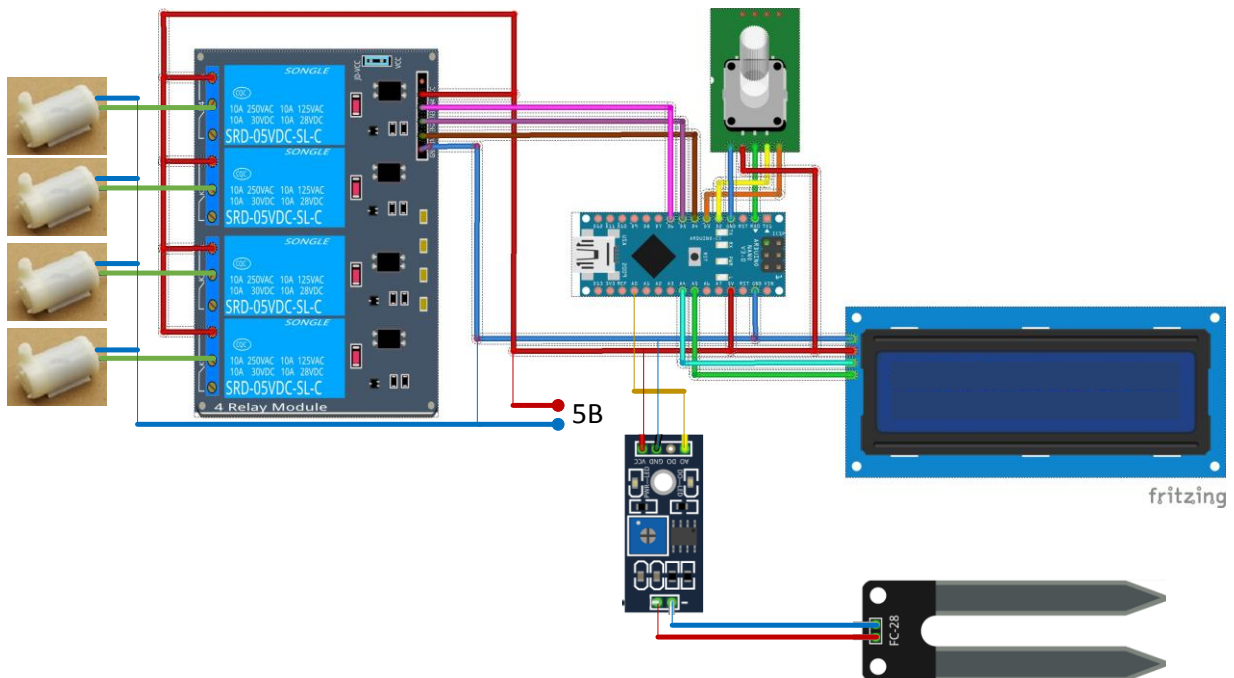


Рис. 4. Компонентна схема автоматизованої системи дозування рідини

Час роботи помпи може бути в хвилинах або секундах (налаштування PUMPING) (рис. 5).



Рис. 5. Процес налаштування

Увімкнення проводиться сигналом рівня SWITCH\_LEVEL. На кожен насос заводиться таймер, який умикає помпу на певний час через задані проміжки часу. Проміжки часу (період роботи) можуть бути в годинах або хвилинах (параметр PERIOD). Час роботи помпи може бути в хвилинах або секундах (параметр PUMPING). Увімкнення проводиться сигналом рівня SWITCH\_LEVEL. 0 – для реле низького рівня (0В, усі сімейні модулі реле), 1 – високого рівня (5В).

Для зміни потрібних параметрів потрібно вибране значення «затиснути ручку енкодера» й обертанням задати потрібне значен-

ня, таким самим чином і здійснюється вибір помпи й стан робота-час.

Так само в кодї прописано запам'ятовування обраних параметрів, тобто можна не боятися випадкового вимкнення системи, під час наступного увімкнення будуть збережені вихідні параметри.

Так само щоб скинути параметри системи, достатньо під час увімкнення системи затиснути кнопку енкодера, тим самим система повернеться до нульових значень.

Вигляд зібраної системи наведено на рис. 6.

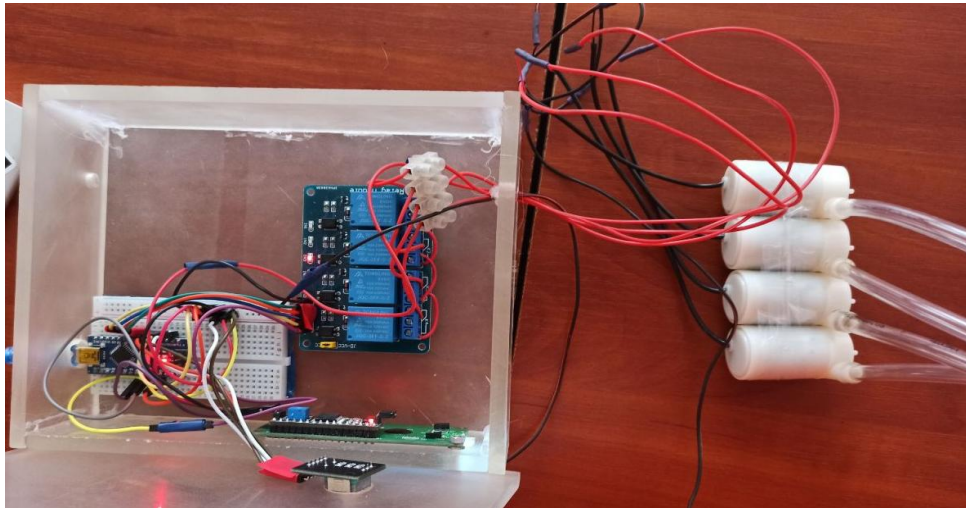


Рис. 6. Вигляд зібраної системи

### Висновки

Розроблена технологія синтезу системи дозування рідини дозволяє визначити особливості проекту синтезу систем автоматизації дозування рідини, розробити моделі вибору апаратних засобів і програмного забезпечення систем автоматизації дозування рідини.

Теоретичні результати підтвердженні побудовою фізичної моделі системи дозування рідини на платформі мікропроцесора Arduino NANO/UNO.

### Література

1. Абракітов В.Е. Автоматизація технологічних процесів: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. 80 с.
2. Гуревич А.Л., Соколов М.В. Автоматическое дозирование жидких сред: учебное пособие. Химия, 1987. 400с.
3. Петренко Ю.А., Михайлова А.І. Технологія та модель компоновки елементів мобільного сенсорного вузла моніторингу поверхневих. Вісник ХНАДУ. 2019. № 87. С. 80–84.
4. Гурко А.Г., Плахтеєв А.П., Плахеев П.А. Повышение точности оценки состояния динамических объектов комплексом MATLAB-Arduino при проектировании кибер-физических систем. Радиоэлектроника, информатика, управление. 2016. № 1. С. 84–91.
5. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. American Elsevier Publ, 1975. 420 p.

6. Раскин Л.Г., Серая О.В. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения: монография. Харьков: Парус, 2008. 352 с.
7. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. Москва: Физматлит, 2002. 256 с.
8. SCADA – системы: взгляд изнутри: веб-сайт. URL: <http://www.scada.ru/publication/book/preface.html/> (дата звернення: 01.06.2020).
9. ТРЕЙС МОУД – интегрированная SCADA и softlogic-система для разработки АСУТП: веб-сайт: URL: <http://adastra.ru/ /tm/tm5/> (дата звернення: 01.06.2020).
10. Evren R. Interactive compromise programming. Journal of the Operational Research Society. 1987. V. 38. No. 2. P. 163–172.
11. International Center of Excellence in Intelligent Robotics and Automation Research (NTU-iCeIRA): веб-сайт. URL: <http://www.iceira.ntu.edu.tw/en/> (дата звернення: 26.09.2020).
12. CNC Controller Market By Hardware – Global Forecast to 2023. URL <http://marketsandmarkets.com> (дата звернення: 01.10.2020).

### References

1. Abrakitov V.E. Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh protsesiv: konspekt lektsiy [Automation of technological processes: lecture notes.]. Kharkiv: KHNUMH im. O.M. Beketova, 2016. 80 s.



2. Gurevich A.L., Sokolov M.V. Avtomaticheskoye dozirovaniye zhidkikh sred: uchebnoye posobiye [Automatic dosing of liquid media: a tutorial.]. Khimiya, 1987. 400s.
3. Petrenko YU.A., Mykhaylova A.I. Tekhnolohiya ta model' komponovky elementiv mobil'noho sensornoho vuzla monitorynhu poverkhnevnykh [Technology and model of layout of elements of mobile sensor node surface monitoring]. Visnyk KHNADU. 2019. No. 87. S. 80–84.
4. Gurko A.G., Plakhteyev A.P., Plakheyev P.A. Povysheniye tochnosti otsenki sostoyaniya dinamichnykh ob"yektov kompleksom MATLAB-Arduino pri proyektirovani kiber-fizicheskikh siste [Improving the accuracy of assessing the state of dynamic objects by the MATLAB-Arduino complex in the design of cyber-physical systems]. Radioelektronika, informatika, upravleniye. 2016. No.1. S. 84–91.
5. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. American Elsevier Publ, 1975. 420 p.
6. Raskin L.G., Seraya O.V. Nechetkaya matematika. Osnovy teorii. Prilozheniya: monografiya [Fuzzy mathematics. Foundations of the theory. Appendices: monograph]. Khar'kov: Parus, 2008. 352 s.
7. Kruglov V.V., Dli M.I. Intellektual'nyye informatsionnyye sistemy: komp'yuternaya podderzhka sistem nechetkoy logiki i nechetkogo vyvoda [Intellectual information systems: computer support for fuzzy logic and fuzzy inference systems]. Moskva: Fizmatlit, 2002. 256 s.
8. SCADA – sistemy: vzglyad iznutri: veb-sayt [SCADA – systems: an inside view: web-site.]. URL: <http://www.scada.ru/publication/book/preface.html> (data zvernennya: 01.06.2020).
9. TREYS MOUD – integrirovannaya SCADA i softlogic-sistema dlya razrabotki ASUTP [TRACE MODE – integrated SCADA and softlogic-system for the development of process control systems] veb-sayt: URL: <http://adastra.ru/tm/tm5/> (data zvernennya: 01.06.2020).
10. Evren R. Interactive compromise programming. Journal of the Operational Research Society. 1987. V. 38. No. 2. P. 163–172.
11. International Center of Excellence in Intelligent Robotics and Automation Research (NTU-iCeIRA): веб-сайт. URL: <http://www.iceira.ntu.edu.tw/en/> (data zvernennya: 26.09.2020).
12. CNC Contoller Market By Hardware – Global Forecast to 2023. URL: <http://marketsandmarkets.com> (data zvernennya: 01.10.2020).

**Петренко Юрій Антонович**, д.т.н., професор, +380973319081, [petrenko.yuriy.an@gmail.com](mailto:petrenko.yuriy.an@gmail.com)  
**Аширов Дмитро Володимирович**, студент, +380636441693, [dimon.ashirov2013@gmail.com](mailto:dimon.ashirov2013@gmail.com)

**Костиця Дар'я Андріївна**, студентка, +380950417399, [daria.kostyria2020@gmail.com](mailto:daria.kostyria2020@gmail.com)  
 Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### Technology of synthesis of the liquid dosing system

**Problem.** *There are a large number of different solutions for dosing liquid products on the world market today. There is no universal technology because the same substances can be dosed on different types of equipment. Thus, the manufacturer faces a difficult task: what type of equipment will be the most optimal for this purpose. These questions are a complex multicriteria scientific task, for the effective solution of which it is necessary to develop a technology for the synthesis of the system of authorization of fluid dosing using methods of multicriteria optimization in different conditions of information certainty.* **Goal.** *To develop the technology of synthesis of the liquid dosing system, which will allow to make a scientifically based decision on the choice of hardware and software for the liquid dosing system in different conditions of information certainty.* **Methodology.** *The criteria for the selection of hardware and software for liquid dosing automation systems have been substantiated in the work. Based on the analysis of existing decision-making methods in different conditions of information certainty, mathematical models of hardware and software selection for fluid dosing automation have been developed, a physical model of liquid dosing system on the Arduino NANO / UNO microprocessor platform has been built.* **Results.** *The developed technology of liquid dosing system allows to determine the features of the project of synthesis of liquid dosing automation systems, develop models of hardware and software selection of liquid dosing automation systems.* **Originality.** *Methods using multi-criteria optimization methods in different conditions of information certainty due to their extension to a new subject area were further developed. Mathematical models of hardware and software selection for fluid dosing automation system have been developed.* **Practical value.** *The theoretical results obtained are confirmed by building of a physical model of the liquid dosing system on the platform of the Arduino NANO / UNO microprocessor.*

**Key words:** *automation of technological processes, liquid dosing technologies, model of hardware and software selection, water quality monitoring, liquid dosing automation system.*

**Petrenko Yuriy Antonovych**, Doctor of Technical Sciences, Professor, +380973319081, [petrenko.yuriy.an@gmail.com](mailto:petrenko.yuriy.an@gmail.com)

**Ashirov Dmitry Vladimirovich**, student, +380636441693, [dimon.ashirov2013@gmail.com](mailto:dimon.ashirov2013@gmail.com)

**Kostyrya Darya Andriivna**, student, +380950417399, [daria.kostyria2020@gmail.com](mailto:daria.kostyria2020@gmail.com)  
 Kharkiv National Automobile Road University, Yaroslava Mudrogo ave., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.