

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.5.017

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.13

ЗАВДАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ  
БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ СУМІШІПлугіна Т.В.<sup>1</sup>, Єфименко О.В.<sup>2</sup>, Руденко Н.В.<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Розглянуто завдання підвищення ефективності функціонування системи виготовлення багатокомпонентної суміші за рахунок моделювання системи управління. Проаналізовано структурні схеми автономного управління багатокомпонентним дозуванням. Обґрунтовано середовище моделювання. Запропоновано алгоритм формування сигналів управління дозаторами, розроблено програму в середовищі Arduino та схема моделювання у Proteus.

**Ключові слова:** ефективність, моделювання, багатокомпонентне дозування, структура, елементна база, блок управління, алгоритм, програма, оптимізація, модель.

**Вступ**

Процеси зважування, дозування та змішування на підприємствах є основоположними й найважливішими. Компоненти цих процесів мають різні фізико-механічні, хіміко-біологічні особливості, проходять різні види обробок і на певних етапах змішуються. Так, наприклад, деякі речовини додаються мікродозаторами наприкінці процесу, після всіх термальних обробок. Інакше під час термообробки їхня структура зруйнується, і додавання стане по суті безглуздом. За умови неправильного або неточного зважування та дозування порушуються закладені рецептурою відсоткові співвідношення компонентів у сумішах, що знижує їхню якість, а в деяких випадках може призвести до небезпечних процесів [1].

Сучасні системи дозування матеріалу базуються на розробці та впровадженні «інтелектуальних» програм. Унаслідок взаємодії вбудованих систем управління та мережних технологій виникла нова технологія управління об'єктами й процесами – кіберфізична система (cyber-physical system, CPS), яка характеризується тісною інтеграцією та координацією між обчислювальними й фізичними процесами за допомогою мережних технологій. Важливим обмеженням продуктивності систем багатокомпонентного дозування є відсутність ефективності в управлінні процесом дозування, а саме функціонування їх виконавчої системи, основною метою якої є реалізація оптимальної схеми обробки рецепту.

Випадковий характер і варіативність рецептури та зовнішніх умов під час експлуа-

тації призводить до необхідності впровадження нових функцій системи подачі її виконавчого механізму, забезпечення адаптації режимів роботи дозаторів на основі інтелектуального управління. Отже, одним із перспективних напрямів удосконалення технічного рівня систем багатокомпонентного дозування є оснащення їх системами CPS. Це дозволить реалізувати адаптивну оптимізацію процесу дозування за критеріями точності, продуктивності, ресурсів на основі моделювання.

**Аналіз публікацій**

Питання вдосконалення роботи елементів подачі виконавчих органів систем багатокомпонентного дозування на основі мехатронної дії виокремлюються в низці робіт [1, 2]. Пропонуються адаптивні алгоритми оптимізації: цикл обробки та параметри рецептури в режимі відповідності за критеріями ресурсу та продуктивності; точності та якості виготовлення суміші.

Проектування CPS потребує наявності більш надійних моделей фізичних процесів, що протікають у системах дозування. Від того, як модель співвідноситься з реальністю, залежить працездатність CPS. У промисловій практиці апаратні та програмні складові багатьох систем дозування досі розробляються окремо, без урахування їхньої взаємодії між собою та зовнішнім середовищем. Після розробки системи управління, перевірки її на моделях, усувається вплив різного роду невизначеностей шляхом використання спеціальних методів настройки.

Цей процес є трудомістким і дорогим, а з ускладненням систем – практично нездійсненним [3].

Альтернативним підходом до проектування CPS є використання технології модельно-орієнтованого проектування з використанням платформи Arduino, яка істотно спрощує розробку CPS. Це залучення дозволяє не тільки спростити процедуру проектування, але й вирішувати досить складні завдання управління. Процес управління реалізується ЕОМ верхнього рівня, платформа Arduino контролює периферію – параметри системи дозування й реалізує протокол обміну доступом до сервера. Протокол обміну даними дозволяє оптимізувати процес взаємодії елементів системи та підвищити якість управління динамічними багатовимірними процесами за рахунок зменшення запізнювання у визначенні стану об'єктів. Виконання попередньої обробки показників датчиків засобами Arduino підвищує гнучкість CPS за рахунок можливості зміни апаратного забезпечення без зміни програмного коду [4].

Протокол може бути модифікований для застосування з іншими середовищами моделювання, наприклад LabVIEW, Proteus, а також реалізований на основі інших платформ (Raspberry та ін.) та мікроконтролерах – PIC, MSP430, MCS51, ARM, MISP тощо. Послідовний обмін може бути побудований з використанням бездротових Bluetooth (HC05 та ін.), WiFi (ESP8266 тощо), XBee та інших модемів. Це розширює сферу застосування пропонованих підходів [5].

#### Мета і постановка завдання

Розробка та вдосконалення систем виготовлення багатокомпонентної суміші є одним з актуальних завдань у виробництві матеріалів і ведеться з метою підвищення продуктивності за умови забезпечення заданої точності рецептури дозування. Мета роботи – підвищення ефективності процесу виготовлення багатокомпонентної суміші шляхом моделювання та аналізу робочого процесу [6].

Завдання роботи: аналіз і структуризація функцій систем дозування; розробка мікроконтролерного блоку керування дозаторами; розробка алгоритму формування керуючих дій; моделювання та аналіз режимів роботи системи дозування для підвищення точності та можливості корегування завдання.

#### Загальне завдання дослідження

Розглянемо комплекс багатокомпонентного дозування КМД 8-1-50 [7] що є надійною сучасною системою дозування та зважування компонентів, що містяться в суміші в невеликих кількостях. Дозування компонентів у КМД 8-1-50 здійснюється за допомогою послідовного спрацьовування пневматичних засувок (1), які представляють компоненти з восьми завантажувальних бункерів (2) у бункер ваговий (3), установлений на трьох тензодатчиках (4). Різні дози компонентів накопичуються у ваговому бункері. Електричний сигнал від датчиків визначає кількість (масу) компонентів. Швидке розвантаження порції компонентів здійснюється шлюзовим затвором (5).

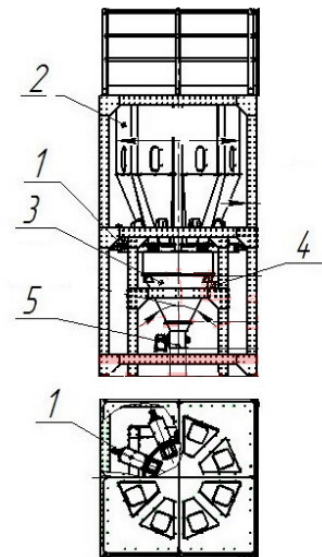


Рис. 1. Комплекс багатокомпонентного дозування

У дозаторах дискретної дії ваговий бункер сприймає одночасно статичне  $G_{ст}$  і динамічне  $P_{ст}$  впливи потоку матеріалу, тому в процесі завантаження стрілка циферблатного показника буде займати положення, яке перевищує оцінку шкали, що відповідає масі матеріалу, який зважується [7]. Однак тому що маса стовпа, що перебуває в повітрі між живильником і рівнем завантаження бункера, завжди більша за динамічний вплив цього ж стовпа, то в разі відсічення матеріалу в заданій точці шкали циферблатного показника буде спостерігатися позитивна погрішність дозування. У цьому випадку для забезпечення необхідної точності дозування команда на відсічення матеріалу подається з попередженням  $Y$  стосовно заданої дози матеріалу. Тоді, з огляду на час запізнювання  $\tau$  у вико-

навчому механізмі дозатора, можна записати такий вираз для динамічної погрішності дозування  $\Delta q$ :

$$\Delta q = (Q_{\text{ср}}T + G_{\text{ср}} - P_{\text{ср}}) - Y, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{ср}}$  – середня продуктивність живильника в період між подачею команди на відключення виконавчого механізму й відсіченням матеріалу.

Оскільки параметри, укладені в дужки, істотно залежать від багатьох випадкових чинників (фізико-механічних властивостей матеріалу, висоти стовпа, тиску повітря в пневматичних живильниках та ін.), то за умови постійного значення  $Y$  динамічна погрішність може приймати неприпустимі значення. Для підвищення точності дозування передбачається режим досипання, коли порції матеріалу, що надходить у ваговий бункер, мають масу, яка дорівнює припустимій погрішності зважування. Крім того, у дозуванні компонентів наростаючим підсумком можна коригувати завдання кожної наступної дози за її масою в попередньому циклі. У цьому випадку щире значення маси  $q_i$  матеріалу в  $i$ -му циклі дозування визначається так:

$$q_i = [q_i \pm \Delta q_{(i-1)}] \pm \Delta q_i, \quad (2)$$

де  $q_i$  – величина заданої дози компонента;  $\Delta q_i$  – погрішність дозування в даному циклі;  $\Delta q_{(i-1)}$  – погрішність дозування в попередньому циклі. За умови такого алгоритму керування сумарна абсолютна погрішність циклів не буде перевищувати абсолютної помилки останнього ( $n$ -го) циклу дозування  $\Delta q_n$ :

$$\sum_{i=1}^n q_i = n \cdot q_n \pm \Delta q_n. \quad (3)$$

Відносна погрішність  $\delta q_n$  характеризується відношенням погрішності останньої дози до заданої маси матеріалу в  $n$  дозах, що містяться в суміші:

$$\delta q_n = \frac{\Delta q_n}{n \cdot q_n}. \quad (4)$$

У дозаторах безперервної дії, призначених для дозування сипучих матеріалів, вантажоприймальними пристроями є стрічкові конвеєри із вбудованою ваговою ролюпопорою. У цьому випадку погрішність автоматичного дозування визначається мінливістю швидко-

сті конвеєра, довжини його завантаження й миттєвого значення навантаження матеріалу на стрічку конвеєра.

Автоматичні конвеєрні ваги бувають дискретної та безперервної дії. Відповідно до принципу дії конвеєрних ваг у них застосовуються дискретні або безперервні, що зважують, підсумовуючі й інтегруючі механізми. Інтегруючі механізми дискретної дії визначають сумарну масу  $G$  матеріалу як суму дискретних значень мас  $\sum_{i=1}^n q_i$  і матеріалу, певних на вагових ділянках стрічки конвеєра за кожний цикл  $T_{\text{в}}$  зважування.

У разі постійної швидкості стрічки конвеєра  $v_k$  отримуємо [7]

$$G = v_k T_{\text{в}} \sum_{i=1}^n q_i. \quad (5)$$

Час  $T_{\text{в}}$  циклу зважування містить у собі постійну часу спрацьовування підсумовуючих і механізмів, що реєструють, а також вагового вантажоприйомного пристрою. Інтегруючі механізми безперервної дії можуть безупинно визначати сумарну масу матеріалу  $G$  як інтеграл від функції  $Q(t)$ , що характеризує залежність продуктивності конвеєра від часу:

$$G = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt, \quad (6)$$

$$Q(t) = q(t)v(t). \quad (7)$$

У логометричній схемі конвеєрних ваг (рис. 2) електричний міст вагочутливого елемента живиться напругою тахогенератора, механічно пов'язаного з фрикційним роликом конвеєра. Тому вихідна напруга вимірювального мосту пропорційна продуктивності:

$$U_{\text{вих}} = k \cdot v_k \cdot q. \quad (8)$$

Тензометричні конвеєрні ваги можуть працювати за компенсаційною схемою, де напруга  $U$  тензорезисторів пропорційна погонному навантаженню  $q$ , вихідний сигнал з потенціометра, пропорційний продуктивності конвеєра на певний момент часу.

У тахометричній схемі ваг (рис. 3) обмотку збудження тахогенератора ТГ підключено до випрямляча, струм у ланцюгу якого пропорційний погонному навантаженню  $q$ . Тому напруга тахогенератора  $U_t$  пропорційна продуктивності ваг  $Q$ .

В аналізі сучасних систем дозування [6], виконаних за структурою «датчик маси – підсилювач – виконавчий механізм», а також на підставі лабораторних досліджень і завод-

ських випробувань систем з такою структурою з'ясовано, що навіть у разі правильного вибору параметрів ланок системи управління (датчика, підсилювача, виконавчого механізму) і високої точності окремої узяті ланки, такі системи управління в динамічному режимі зважування мають низьку точність і не відповідають вимогам дозування компонентів суміші.

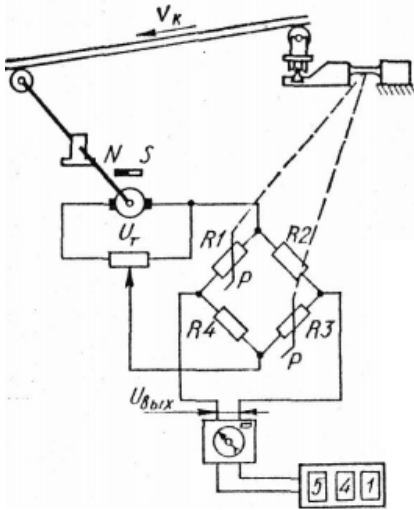


Рис. 2. Логометрична схема тензорезисторних конвеєрних ваг

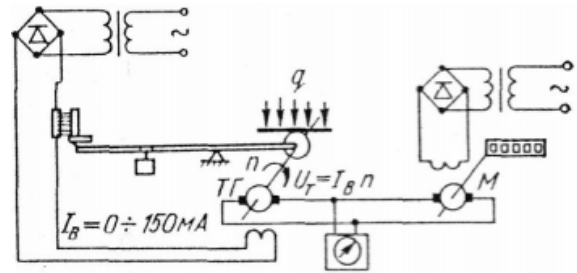


Рис. 3. Тахометрична схема тензорезисторних конвеєрних ваг

Можливість переходу до прогресивніших і економічно доцільніших методів автоматизованого управління пов'язана зі зміною технічної бази будівельного виробництва й комплектування його новітніми засобами мікропроцесорної техніки та програмами моделювання [7].

У моделюванні можливо імітувати інтелектуальні функції, такі як гнучкі замовлення й більш деталізоване керування рухом, роботи з мережі й обробки інформації. Об'єднання цифрових входів і виходів виконавчих пристроїв дозволяє інтегрувати й оптимізувати засоби керування в складі системи [8].

Для реалізації системи управління потрібно: промисловий контролер; модуль управління заслінками дозаторів; модуль збору даних. Схему робочого процесу представлено на рис. 4. Для моделювання роботи запропонованої системи управління обрано симулятор Arduino.

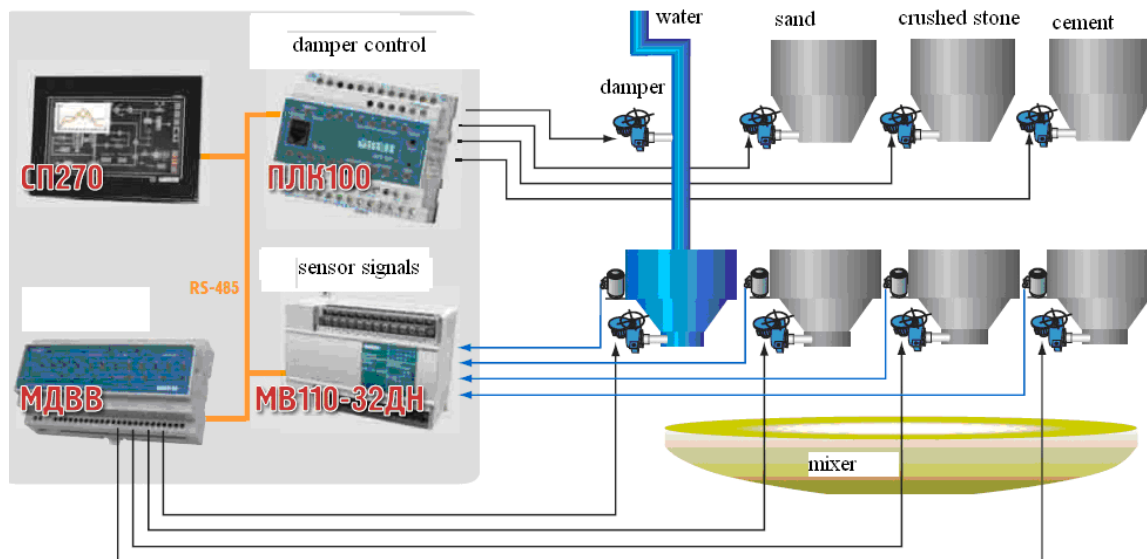


Рис. 4. Схему робочого процесу

За умови багатокомпонентного дозування декілька дозаторів безперервної дії з автоно-

ним керуванням об'єднуються в систему, яка може функціонувати таким чином.

*Варіант 1.* Незв'язне дозування декількох компонентів з продуктивністю, що підтримується в заданому постійному співвідношенні (рис. 5), здійснюється від загального для всіх дозаторів каналу. Сигнал від програмного задатчика, що визначає значення продуктивності всіх компонентів, подається для операцій множення на постійний коефіцієнт ( $0,2 \leq K_m \leq 2$ ) на аналого-множувальні пристрої АМУ, число яких дорівнює числу дозаторів; значення співвідношення можна змінювати зміною коефіцієнтів  $K1 - K3$ .

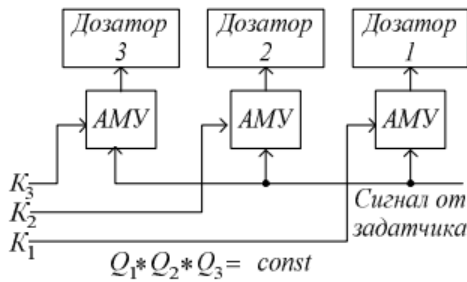


Рис. 5. Структурна схема незв'язного дозування компонентів

*Варіант 2.* Функціональне дозування декількох компонентів з корекцією співвідношення та паралельним з'єднанням дозаторів (рис. 6). Таким способом дозатор 1 основного компонента приймається провідним. На нього поступає сигнал завдання через функційний блок АМУ чи програмний задатчик. Цей же сигнал є вхідним для функціональних блоків відомих дозаторів 2 та 3, на які надходять сигнали, що коригують продуктивність кожного дозатора.

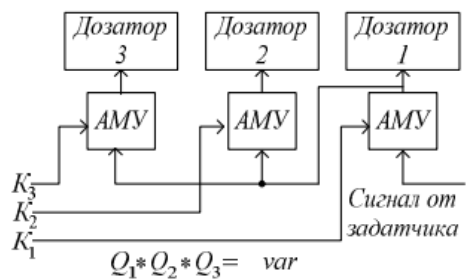


Рис. 6. Схема дозування компонентів з корекцією співвідношення за умови паралельного з'єднання дозаторів

*Варіант 3.* Функціональне дозування декількох компонентів із корекцією співвідношення та послідовним з'єднанням дозаторів (рис. 7). Таким способом у разі трикомпонентного дозування дозатори 2 та 3 приймаються

як відомі, що вмикаються послідовно з провідним дозатором 1 основного матеріалу.

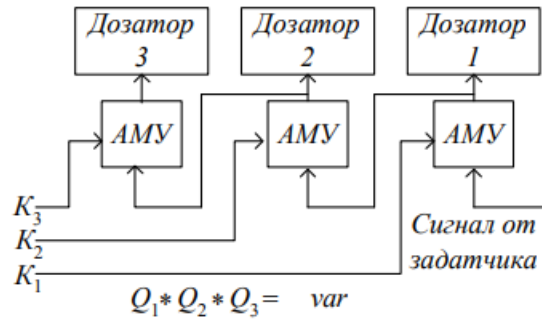


Рис. 7. Схема дозування компонентів з корекцією співвідношення за умови послідовного з'єднання дозаторів

Розглянемо моделювання процесу дозування за першим варіантом – незв'язне дозування декількох компонентів із продуктивністю, що підтримується у заданому постійному співвідношенні.

Для керування електроприводами дозаторів використовуються силові модулі – драйвери, що забезпечують необхідні значення струмів та напруг для обертання електродвигунів дозаторів із заданою швидкістю і в необхідному напрямку.

Логічні сигнали керування цими драйверами формуються блоком керування (рис. 8).

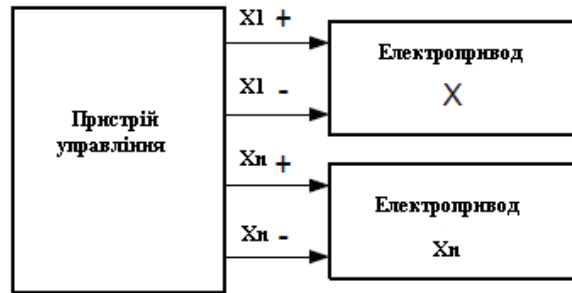


Рис. 8. Мікроконтролерний блок керування

Кількість дозаторів визначає кількість координат управління:  $X_n+$  – відкрити бункер  $n$ ;  $X_n-$  – закрити бункер  $n$ . Формалізуємо опис роботи пристрою керування переміщенням заслінок бункерів по вузлах ( $X+$ ,  $X-$ ).

Для кожного кроку керування формуємо комбінацію керуючих сигналів  $X+$ ,  $X-$  і тривалість кроку  $T$ , с. Тривалість  $T$  визначає час роботи відповідного дозатора. Наприклад, для трьох дозаторів залежно від рецептури формується таблиця векторів роботи елект-



родвигунів. Необхідно виготовити суміш за таким рецептом (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри технологічного процесу

Параметри	Маса матеріалу		
	m1	m2	m3
Рецепт, кг	27	81	99
Міксер, t, с	20		
Нагрів, T, °C	38		
Відвантаження, кг	2/3 від маси		

Таблиця 2 – Сигнали управління дозаторами

Dir	X1+	X1-	X2+	X2-	X3+	X3-	F3+	F3-	N+	N-	D+	D-	T, с
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	20
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	16
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Сигнали управління заслінками дозаторів, двигуна міксера та двигуна модуля відвантаження наведено в табл. 2.

У процесі створення програми визначаються змінні й оператори середовища програмування Arduino, необхідні для реалізації алгоритму функціонування мікроконтролера та формування керуючих дій (рис. 9).

Відповідно до алгоритму роботи створюється текст програми. Унаслідок компіляції програми отримуємо повідомлення про розмір коду для завантаження в пам'ять мікроконтролера (рис. 10).

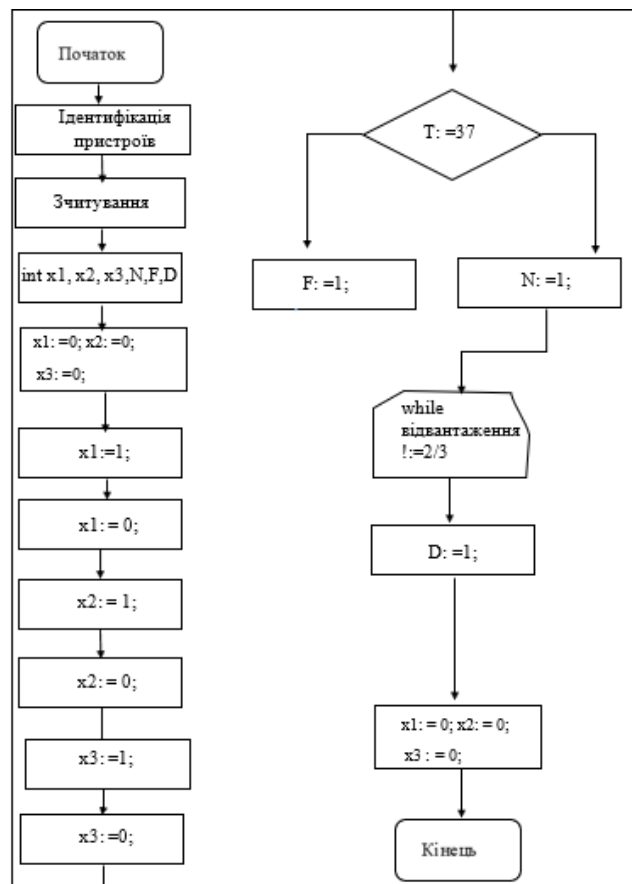


Рис. 9. Схема алгоритму формування керуючих дій

```

Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
KlyatiBunkerі §
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);
//define engines
int x1=7;
int x2=6;
int x3=5;
int N=4;
int F=3;
int D=2;
float temperature=20;
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(x1, OUTPUT);
  pinMode(x2, OUTPUT);
  pinMode(x3, OUTPUT);
  pinMode(N, OUTPUT);
  pinMode(F, OUTPUT);
  pinMode(D, OUTPUT);
}

```

Рис. 10. Вигляд програми й результат компілювання

Підпрограми управління додатковими функціями представлено на рис. 11.

```

KlyatiBunkerі §
  lcd.print("open! ");
  HopperDosing(11, x3);
  delay(1000);
  lcd.clear();

  Heating(F, temperature);

  Mixing(N, 20);

  Shipment(D, 67);
}

static void HopperDosing(int t, int pin) {
  for(int i=0; i<t; i++) {
    digitalWrite(pin, HIGH);
    delay(1000);
  }
  digitalWrite(pin, LOW);
}

```

Рис. 11. Підпрограми управління додатковими функціями

Середовище Proteus [9] дає змогу побудувати схему мікроконтролерного пристрою (рис. 12), зв'язати мікроконтролер з гексфайлом місткості пам'яті програм та викона-

ти моделювання роботи пристрою за заданим алгоритмом. На відміну від аналогічних пакетів програм, наприклад, Electronics Workbench, Multisim, Micro Cap, Tina тощо в розвиненій системі симуляції (інтерактивного налагодження в режимі реального часу) для різних сімейств мікроконтролерів: 8051, PIC (мікрочип), AVR (Atmel) та ін. Proteus має великі бібліотеки компонентів, зокрема периферійні пристрої: світлодіодні та РК індикатори, датчики температури, годинники в режимі реального часу – РТК; інтерактивні елементи введення/виведення (кнопки, комутатори, віртуальні порти та віртуальні вимірювальні прилади); інтерактивна графіка, – що не завжди присутні в інших подібних програмах.

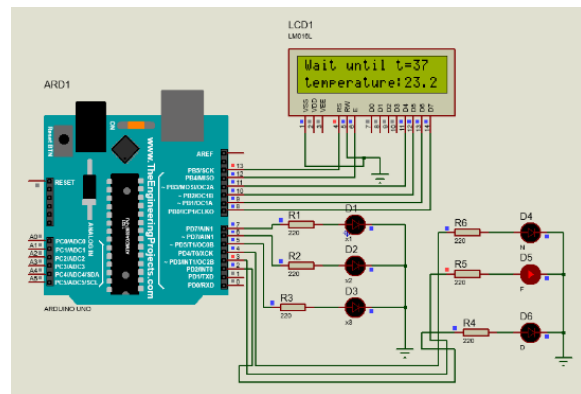


Рис. 12. Схема пристрою в Proteus

На табло виводиться інформація, що відповідає сигналам управління дозаторами за алгоритмом технологічного процесу, що працює за програмою в середовищі Arduino (рис. 13).

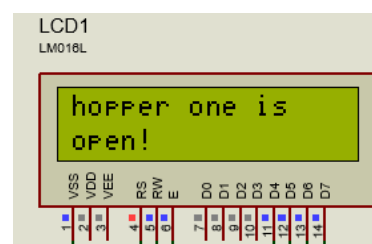


Рис. 13. Індикаторне табло в Proteus

## Висновки

У разі зміни рецептури багатокомпонентного дозування в автономному режимі може змінюватися алгоритм керуючих дій (програмний скетч) залежно від варіанта (схеми) керування дозаторами. Для підвищення точності дозування передбачається режим доси-

панья, коли порції матеріалу, що надходить у ваговий бункер, мають масу, яка дорівнює припустимій погрішності зважування. Крім того, за умови дозування компонентів наростаючим підсумком можна коригувати завдання кожної наступної дози за її масою в попередньому циклі.

Використання готової плати мікроконтролера пристрою із програмою, розробленою в середовищі Arduino, дозволяє реалізувати необхідний алгоритм керування відповідно до вихідних даних. Сумісні програмні симулятори типу Proteus дозволяють перевірити логіку роботи пристрою управління на макеті, що сприяє набуттю практичних навичок програмування й симуляції реальних CPS за рахунок виконання попередньої обробки показників датчиків засобами Arduino, що підвищує гнучкість CPS за рахунок можливості зміни апаратного забезпечення без зміни програмного коду.

### Література

1. Подилпенский В. С., Петренко В. Н. Электромагнитные и киберфизические устройства автоматизации. Київ: Вища школа, 1987. 592 с.
2. Плуґіна Т. В., Єфіменко О. В. Інтелектуальна система контролю якості робочих процесів будівельно-дорожніх машин (БДМ). *Вісник ХНАДУ*. 2019. № 87. Т. 1 С. 66–73. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.87.0.66.
3. Gurko A. G., Plakhteyev A. P., Plakhteyev P. A. Повышение точности оценки состояния динамических объектов комплексом MATLAB-Arduino при проектировании киберфизических систем. *Радиоэлектроника, информатика, управление*. 2016. № 1. С. 84–91. DOI 10.15588/1607-3274-2016-1-10.
4. Zhong R. Y., Xu X., Klotz E., Newman, S. T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*. 2017. Vol. 3, no. 5. P. 616–630. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
5. Henzinger T.A., Ho P.-H., Wong-Toi H. HyTech: A Model Checker for Hybrid Systems. *Software Tools for Technology Transfer* 1:110-122, 1997.
6. Akash Deshpande, Aleks Göllü, Luigi Semenzato. The Shift Programming Language and Run-time System for Dynamic Networks of Hybrid Automata. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-97-7, January 1997, 22 p.
7. Абдулин С. Ф. Системы автоматизации предприятий стройиндустрии: учебное пособие. Омск: СибАДИ, 2007. 643 с.
8. Стеценко І. В. Моделювання систем: навч. посіб. / М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2010. 399 с.
9. Proteus\_vsm\_ru.pdf. URL: [http://proteus\\_vsm\\_ru.pdf.net/](http://proteus_vsm_ru.pdf.net/) (дата звернення 10.10.2019).

### References

1. Podylpenskyi V. S., Petrenko V. N. Elektromahnytnye y ky-berfyzicheskye ustroystva avtomatyky. Kyiv: Vyshcha shkola, 1987. 592 p. [Electromagnetic and cyber-physical devices of automation] [in Ukrainian].
2. Pluhina T. V., Yefymenko O. V. Intelktualna systema kontroliu yakosti robochykh protsesiv budivelnno-dorozhnykh mashyn (BDM). *Visnyk KhNADU*, 2019, no. 87, vol. 1, pp. 66–73. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.87.0.66. [Intelligent control system of quality work processes of construction and road machines (CRM)] [in Ukrainian].
3. Gurko A. G., Plakhteyev A. P., Plakhteyev P. A. Povysheniye tochnosti otsenki so-stoyaniya dinamichnykh ob`yektov kompleksom MATLAB-Arduino pri proyektirovani kiberfizicheskikh system. *Radioelektronika, informatika, upravleniye*, 2016, no. 1, pp. 84–91. DOI 10.15588/1607-3274-2016-1-10. [Improving the accuracy of assessing the state of dynamic objects by the MATLAB-Arduino complex when designing cyber-physical systems]. [in Russian].
4. Zhong R. Y., Xu X., Klotz E. & Newman S. T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, 2017, vol. 3, no. 5. pp. 616–630. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.
5. Henzinger T.A., Ho P.-H. & Wong-Toi H. HyTech: A Model Checker for Hybrid Systems. *Software Tools for Technology Transfer* 1:110-122, 1997.
6. Akash Deshpande, Aleks Göllü & Luigi Semenzato. The Shift Programming Language & Run-time System for Dynamic Networks of Hybrid Automata. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-97-7, January 1997, 22 pp.
7. Abdulyun S. F. Systemy avtomatyky predpriyatiy stroindystry: uchebnoye posobyе. Omsk: SyBADI, 2007, 643 p. [Automation systems for building industry enterprises] [in Russian].
8. Stetsenko I. V. Modeliuvannia system: navch. posib. Cherkasy: ChDTU, 2010, 399 p. [System modeling] [in Ukrainian].
9. Proteus\_vsmru.pdf. URL: [http://proteus\\_vsm\\_ru.pdf.net/](http://proteus_vsm_ru.pdf.net/) (data zvernennia 10.10.2019).

**Плуґіна Тетяна Вікторівна**, к.т.н., доцент, +380(99) 903-38-82, [plutan2016@ukr.net](mailto:plutan2016@ukr.net),  
**Єфіменко Олександр Володимирович**, к.т.н., доцент, +380(95)012-42-62, [khadi.alef@gmail.com](mailto:khadi.alef@gmail.com),  
**Руденко Наталія Всеволодівна**, к.т.н., доцент, +380(68) 349-07-45, [rud\\_nat@ukr.net](mailto:rud_nat@ukr.net),  
 Харківський національний автомобільно-дорожній університет



### The task of modeling a multicomponent mixture preparation system

**Abstract.** The task of modeling the control system for the multicomponent mixture preparation was carried out. The analysis of existing researches and publications is made, in which the **main problem** is highlighted, namely that the variability of the formulation and external conditions during operation leads to the need to introduce new functions of the actuator control system and ensuring the adaptation of dispenser operating modes based on intelligent control. As a **result** of the existing research, the purpose is set, namely: increasing the efficiency of the multicomponent mixture preparing process due to modeling and analysis of the working process. The concept of a multicomponent dosing, set of indicators for assessing the properties of a design system and its total effect have been substantiated. The **results** of the research are as follows: the functions of dosing systems were structured; a microcontroller control unit for dispensers is developed; an algorithm for generating control signals is made; the operating modes of the dosing system to increase the accuracy and possibility of data correction are modelled and analyzed. The **practical value** lies in the fact that the simulation of control systems makes it possible to make adjustments at the design stage. The **originality** lies in the fact that the results of simulation testify to the use of pre-processing of sensor readings using Arduino and Proteus, which enhances CPS flexibility by modifying hardware without changing software code, therefore, optimization and quality monitoring. **Keywords:** efficiency, modeling, multicomponent dosing, structure, element base, control unit, algorithm, program, optimization, model.

**Pluhina Tetiana**, PhD, Associate Professor, tel. +380(99) 903-38-82, plutan2016@ukr.net,  
**Yefymenko Oleksandr**, PhD, Associate Professor, tel. +380(95) 012-42-62, khadi.alef@gmail.com,  
**Rudenko Natalya**, PhD, Associate Professor, tel. +380(68) 349-07-45, rud\_nat@ukr.net, Kharkiv National Automobile Road University, Yaroslava Mudrogo ave., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.

### Задача моделирования системы приготовления многокомпонентной смеси

**Аннотация.** Проведено исследование задачи моделирования системы управления процессом при-

готовления многокомпонентной смеси. Проведен анализ существующих исследований и публикаций, в которых выделена основная проблема, а именно вариативность рецептуры и внешних условий при эксплуатации приводит к необходимости внедрения новых функций системы контроля исполнительного органа, обеспечение адаптации режимов работы дозаторов на основе интеллектуального управления. В результате анализа выделена цель исследования: повышение эффективности процесса приготовления многокомпонентной смеси за счет моделирования и анализа рабочего процесса. Обоснована концепция многокомпонентного дозирования, необходимая и достаточная совокупность показателей, позволяющих оценивать свойства проектируемой системы и ее суммарный эффект. Результатами исследования являются: структурирование функций систем дозирования; разработка микроконтроллерного блока управления дозаторами; разработка алгоритма формирования управляющих сигналов; моделирование и анализ режимов работы системы дозирования для повышения точности и возможности корректировки данных. Оригинальность заключается в том, что полученные результаты моделирования свидетельствуют об использовании предварительной обработки показаний датчиков средствами Arduino и Proteus, что повышает гибкость CPS за счет возможности изменения аппаратного обеспечения без изменения программного кода, значит оптимизации и мониторинга качества.

**Ключевые слова:** эффективность, моделирование, многокомпонентное дозирование, структура, элементная база, блок управления, алгоритм, программа, оптимизация, модель.

**Плугина Татьяна Викторовна**, к.т.н., доцент, +380(99) 903-38-82, plutan2016@ukr.net,  
**Ефименко Александр Владимирович**, к.т.н., доцент, +380(95)012-42-62, khadi.alef@gmail.com.  
**Руденко Наталья Всеволодовна**, к.т.н., доцент, +380(68) 349-07-45, rud\_nat@ukr.net, Харьковський національний автомобільно-дорожній університет, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Харківська область, 61002.