

ДОДАТОК А

Лістинг коду програми

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <AccelStepper.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
const int stepPin1 = 14;
const int dirPin1 = 12;
const int relayPin1 = 25;
const int stepPin2 = 16;
const int dirPin2 = 17;
const int relayPin2 = 4;
const int flowPin = 34;
const int chlorineFlowPin = 18;
const int floatSensorPin = 33;
const int chlorineSensorPin = 32;
volatile int pulseCount = 0;
float totalML = 0;
const float pulsesPerML = 7.5;
const float maxVolume = 29000.0;
bool tankFull = false;
bool messagePrinted = false;
volatile int chlorinePulseCount = 0;
float chlorineDoseDelivered = 0;
const float chlorinePerLiter = 4.17;
const float chlorineTargetDose = (maxVolume / 1000.0) * chlorinePerLiter;
const float chlorinePulsesPerML = 7.5;

unsigned long lastStepTime1 = 0;
unsigned long stepIntervalMicros1 = 1000;
```

```
unsigned long lastStepTime2 = 0;
unsigned long stepIntervalMicros2 = 2500;

bool doseStarted = false;
bool dosingCompletePrinted = false;
bool noWater = false;
void IRAM_ATTR pulseISR() {
    pulseCount++;
}
void IRAM_ATTR chlorineFlowISR() {
    chlorinePulseCount++;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(stepPin1, OUTPUT);
    pinMode(dirPin1, OUTPUT);
    pinMode(relayPin1, OUTPUT);
    digitalWrite(dirPin1, HIGH);
    pinMode(stepPin2, OUTPUT);
    pinMode(dirPin2, OUTPUT);
    pinMode(relayPin2, OUTPUT);
    digitalWrite(dirPin2, LOW);

    pinMode(flowPin, INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowPin), pulseISR, FALLING);
    pinMode(chlorineFlowPin, INPUT_PULLUP);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(chlorineFlowPin), chlorineFlowISR, RISING)
```

```
pinMode(floatSensorPin, INPUT)
digitalWrite(relayPin1, HIGH);
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
}

void loop() {
  unsigned long nowMicros = micros();
  int level = digitalRead(floatSensorPin);
  noWater = (level == 0);

  if (!tankFull && !noWater) {
    digitalWrite(relayPin1, HIGH);
    if (nowMicros - lastStepTime1 >= stepIntervalMicros1) {
      lastStepTime1 = nowMicros;
      digitalWrite(stepPin1, HIGH);
      delayMicroseconds(10);
      digitalWrite(stepPin1, LOW);
    }
  } else {
    digitalWrite(relayPin1, LOW);
  }

  if (tankFull && chlorineDoseDelivered < chlorineTargetDose) {
    if (!doseStarted) {
      Serial.println("Начата дозировка хлорной воды...");
      doseStarted = true;
      digitalWrite(relayPin2, HIGH);
    }
  }
}
```

```
}  
if (nowMicros - lastStepTime2 >= stepIntervalMicros2) {  
    lastStepTime2 = nowMicros;  
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(stepPin2, LOW);  
}  
}  
if (chlorineDoseDelivered >= chlorineTargetDose && doseStarted) {  
    digitalWrite(relayPin2, LOW);  
    if (!dosingCompletePrinted) {  
        Serial.println("Дозировка хлорной воды завершена!");  
        dosingCompletePrinted = true;  
    }  
    doseStarted = false;  
}  
static unsigned long lastPrintMicros = 0;  
if (nowMicros - lastPrintMicros >= 1000000) {  
    lastPrintMicros = nowMicros;  
  
    noInterrupts();  
    int pulses = pulseCount;  
    pulseCount = 0;  
    int chlorinePulses = chlorinePulseCount;  
    chlorinePulseCount = 0;  
    interrupts();  
  
    float mlPerSec = pulses / pulsesPerML;  
    float chlorineMLPerSec = chlorinePulses / chlorinePulsesPerML;
```

```
if (!tankFull && !noWater) {  
    if (totalML + mlPerSec >= maxVolume) {  
        mlPerSec = maxVolume - totalML;  
        totalML = maxVolume;  
        tankFull = true;  
    } else {  
        totalML += mlPerSec;  
    }  
} else {  
    mlPerSec = 0;  
}  
  
if (chlorineDoseDelivered < chlorineTargetDose) {  
    if (chlorineDoseDelivered + chlorineMLPerSec >= chlorineTargetDose) {  
        chlorineMLPerSec = chlorineTargetDose - chlorineDoseDelivered;  
        chlorineDoseDelivered = chlorineTargetDose;  
    } else {  
        chlorineDoseDelivered += chlorineMLPerSec;  
    }  
} else {  
    chlorineMLPerSec = 0;  
}  
  
Serial.print("ШВИДКІСТЬ ВОДИ: ");  
Serial.print(mlPerSec, 2);  
Serial.print(" мл/сек | ОБЪЕМ: ");  
Serial.print(totalML, 1);  
Serial.print(" мл | ШВИДКІСТЬ ПОДАЧІ ХЛОРУ: ");
```

```
Serial.print(chlorineMLPerSec, 2);
Serial.print(" мл/сек | Хлору дозовано: ");
Serial.print(chlorineDoseDelivered, 1);
Serial.print(" / ");
Serial.print(chlorineTargetDose, 1);
Serial.println(" мл");

if (tankFull) {
  Serial.println("Нема води");
} else {
  Serial.println(level ? "Вода є" : "Нема води ");
}
int raw = analogRead(chlorineSensorPin);
float voltage = (raw / 4095.0) * 3.3;
float ppm = (voltage / 3.3) * 15.0;
if (ppm > 14.5) {
  Serial.println("Велика кількість залишкового хлору!");
}
else {
  Serial.print("Chlorine PPM: ");
  Serial.println(ppm, 2);
}

if (!level) {
  Serial.println("Насос вимкнутий");
}

if (chlorineDoseDelivered >= chlorineTargetDose && !dosingCompletePrinted) {
  Serial.println("Дозування рідкого хлору завершено!");
}
```

```
dosingCompletePrinted = true;
}
Serial.println("-----");

if (noWater) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print("No water");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Capacity:");
  lcd.setCursor(9, 2);
  lcd.print(totalML, 1);
  lcd.print("ml");
}
else {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Water speed:");
  lcd.setCursor(13, 0);
  lcd.print(mlPerSec, 2);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("H2O capacity:");
  lcd.setCursor(13, 1);
  lcd.print(totalML, 1);
  lcd.print(" ml");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("Cl delivered: ");
  lcd.setCursor(14, 2);
  lcd.print(chlorineDoseDelivered, 2);
```

```
lcd.setCursor(0, 3);  
lcd.print("Chlorine ppm:");  
lcd.setCursor(14, 3);  
lcd.print(ppm, 2);  
}  
}  
}
```

ДОДАТОК Б
Апробація роботи

РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОЗУВАННЯ ХЛОРАГЕНТУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ

Дерев'янюк Д. І.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: daniil.derevianko@nure.ua

В роботі розглянуто питання автоматизації процесу дозування хлорагенту для підготовки питної води. Проведено аналіз методів визначення якості питної води з використанням автоматизованих пристроїв та проаналізовано існуючі інтелектуальні системи управління дозуванням хлорагенту в питній воді.

Ключові слова: хлорагент, хлор, методи, дозування, питна вода

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR AUTOMATION OF CHLORINE AGENT DOSING FOR DRINKING WATER PREPARATION

Derevianko D.I.

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky ave. 14

E-mail: daniil.derevianko@nure.ua

The paper considers the current issue of automating the process of dosing chlorinating agent for drinking water preparation. An analysis of methods for determining the quality of drinking water using automated devices is carried out and existing intelligent systems for controlling the dosing of chlorinating agent in drinking water are analyzed.

Keywords: chlorinating agent, chlorine, methods, dosage, drinking water

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Забезпечення безпечної та чистої води є головним пріоритетом як для муніципальних систем водопостачання, так і для власників приватних свердловин.

Одним з ефективних методів досягнення цієї мети є використання систем впорскування хлору. Системи дозування хлорагентів – це спеціалізовані установки, призначені для введення хлору в питну воду. Контрольоване дозування хлору відіграє вирішальну роль у дезинфекції води, гарантуючи, що вона не містить забруднюючих речовин, які можуть становити загрозу для життя.

Основною метою додавання хлору до питної води є знищення шкідливих мікроорганізмів, таких як бактерії, віруси та найпростіші. Хлор діє як потужний окислювач, який порушує клітинну функцію цих патогенів, роблячи їх нешкідливими [1].

ВСТУП. Хлор є потужним окислювачем, і концентровані розчини хлору повинні оброблятися та використовуватися лише кваліфікованим персоналом, який має відповідні засоби індивідуального захисту. Також потрібно розуміти, що потрібен хлор, який призначений тільки для питної води, тобто хлор для басейнів не підходить [2]. Завдання дослідження включають аналіз існуючих інтелектуальних систем дозування хлору для підготовки питної води та визначити якими методами можна дізнатися залишок хлору в питній воді.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Методи ідентифікації залишку хлору.

Для початку треба зазначити, що оптимальна доза залишкового хлору становить не більше 0,5 мг/л для водопровідної води та 0,05 мг/л для фасованої питної води.

Перший спосіб – тестові смужки. Це простий та зручний спосіб вимірювання рівня залишкового хлору. Вони постачаються у флаконі та містять реагент, який взаємодіє із залишковим хлором у воді. Щоб виміряти рівень залишкового хлору за допомогою тестових смужок, дотримуйтесь наступних кроків:

- 1) зібрати зразок води;
- 2) занурити тестову смужку у воду і дочекатися рекомендованого часу (зазвичай 15 секунд);
- 3) порівняти колір смужки з таблицею, що додається, щоб визначити рівень залишкового хлору.

Другий метод виявлення залишкового хлору – за допомогою приладу колориметр. Принцип роботи заснований на порівнянні інтенсивності забарвлення проби води з еталонною шкалою. Завдяки виміру інтенсивності фарбування можна дізнатися чи є у воді вміст хімічних речовин, наприклад заліза, хлору марганцю та ін. Щоб виміряти рівень залишкового хлору, потрібно виконати такі дії:

- 1) зібрати зразок води;
- 2) додати до зразка води реагент, який реагує із залишковим хлором;
- 3) вставити зразок у колориметр і зачекати, поки пристрій не виміряє інтенсивність кольору;
- 4) зчитати рівень залишкового хлору, що відображається на пристрої.

Цей метод більш точний за попередній, але колориметри дорожчі та потребують навчання для використання.

Третій метод титрування – це лабораторний метод, що дозволяє визначити рівень залишкового хлору. Для цього використовується хімічний реагент, відомий як індикатор, який взаємодіє із залишковим хлором. Щоб виміряти залишковий хлор за допомогою титрування, треба дотриматись наступних кроків:

- 1) зібрати зразок води;
- 2) додати розчин титранта до зразка води, який реагує з залишковим хлором;
- 3) додати розчин індикатора до зразка води, щоб визначити кінцеву точку реакції;
- 4) записати об'єм титранта, використаного для досягнення кінцевої точки;
- 5) розрахувати рівень залишкового хлору за допомогою формули.

Метод титрування найточніший, але для проведення подібного тесту потрібні кваліфіковані люди та спеціалізоване обладнання [3].

Існуючі інтелектуальні системи дозування хлорагенту для питної води.

Насос-дозатор ВТ РН-RX-CL/M із вбудованим контролером дозволяє точно додавати реагенти на основі рН, RedOx (окисно-відновного потенціалу Rx) або хлору CL. Це програмований дозатор з мікропроцесорним управлінням і вбудованим контролером, продуктивність якого регулюється частотою імпульсів (вприскувань).

Дозатор має два режими дозування: ручний та пропорційний. У ручному режимі продуктивність встановлюється за допомогою кнопок меню в діапазоні від 0 до 100%. Насос буде дозувати із заданою продуктивністю і зупиниться при досягненні значення точки уставки. В пропорційному «PROP» режимі насос працюватиме на максимальній частоті, доки не буде досягнуто цієї точки, після чого почнеться пропорційне дозування.

Мікропроцесор автоматично відстежуватиме продуктивність і зупинить насос на заданій точці. Коли рівень відходить від заданого значення, насос знову починає дозування.

Дозатор виконаний в алюмінієвому корпусі, який покритий двома шарами захисної антикислотної фарби. На панелі управління насоса присутні: 5 сенсорних кнопок управління, меню в базовому і розширеному варіантах і 3 Led-індикатора. Всі програмовані параметри відображаються на рідкокристалічному-дисплеї [4].

На рисунку 1 продемонстровано зовнішні розміри насосів.

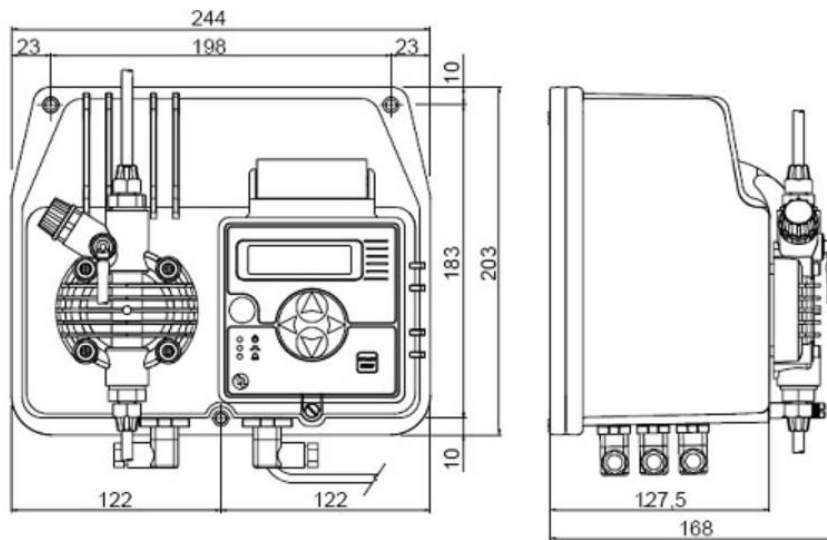


Рисунок 1 – Зовнішні розміри насосів [4]

Переваги насосу дозатора:

- немає потреби у зовнішньому контролері;
- зрозуміле меню налаштувань;
- постійний моніторинг водневого показнику для правильного додавання хлору;
- можна використовувати як в побутових так і в промислових системах.

Недоліки насосу дозатора:

- підходить не для великих об'ємів води;
- має чутливість до занадто забрудненої, жорсткої води.

Наступна система – Oxiperm Pro OCD-162, являє собою установку для виробництва і дозування діоксиду хлору методом, заснованому на реакції між хлоритом натрію і соляною кислотою, що вимагає мінімальної кількості хімікатів і захищає від корозії зі співвідношенням подачі реагентів 1:1 [5].

Пристрій для дезинфекції Oxiperm Pro OCD-162 використовується для виготовлення та дозування розчину діоксиду хлору для дезинфекції питної та технічної води. Принцип отримання діоксиду хлору в реакторі: вода, соляна кислота та хлорит натрію додаються в реактор до заданого рівня. Під час реакції виходить розведений розчин діоксиду хлору.

Далі у реактор подається вода. Готовий розчин з концентрацією діоксиду хлору 2 грами на літр води перетікає в нижній резервуар по трубці (переливною), розташованій в середині хімічного реактора. З дозувального резервуару дозувальний насос подає порцію розчину діоксиду хлору до вузла впорскування, де він впорскується в основний трубопровід для води, яку необхідно продезинфікувати [6].

На рисунку 2 продемонстровано компоненти інтелектуальної системи установки дозування хлорагенту для питної води.

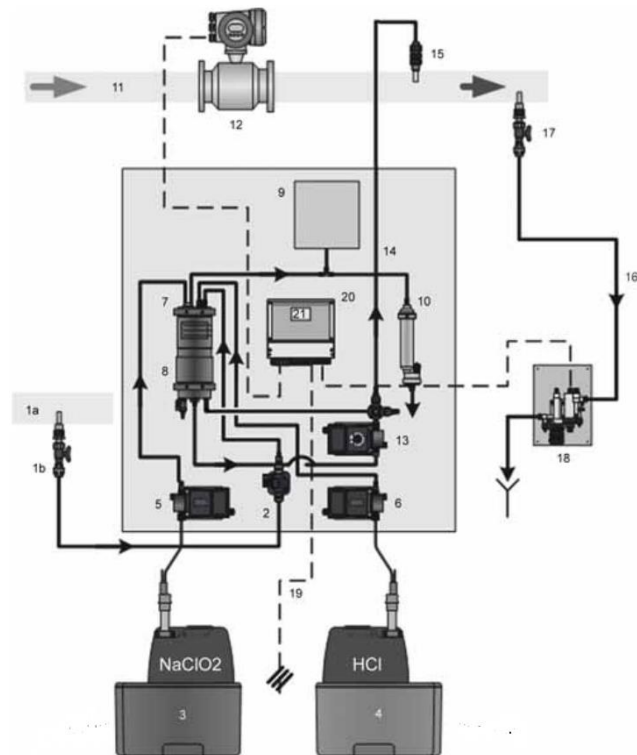


Рисунок 2 – Компоненти системи Oxiperm Pro OCD-162-5 [6]

За рисунком 2 зробимо дві таблиці для аналізу назв компонентів. У таблиці 1 наведені зовнішні компоненти, у таблиці 2 – внутрішні.

Таблиця 1 – Зовнішні компоненти системи [6]

№ компоненту (рисунок 2)	Компонент
1a	Трубопровід розбавляючої води та промивної води
1b	Вузол відбору води, що розбавляє, із запірним краном
3	Контейнер для хлориту натрію з всмоктувальною трубкою та піддоном для збору протікань
4	Контейнер для соляної кислоти
11	Головний трубопровід, в якому проходить дезінфекція
12	Витратомір (імпульсний або аналоговий)
14	Лінія дозування розчину діоксиду хлору
15	Інжекційний клапан для дозованої подачі діоксиду хлору в головний водопровід
16	Лінія (шланг) відбору проби води на вимірювальну осередок
17	Вузол відбору проби води на вимірювальний осередок
18	Вимірювальна комірка для контролю концентрації діоксиду хлору в головному трубопроводі
19	Підключення кабелю живлення

Таблиця 2 – Внутрішні компоненти системи [6]

№ (рисунок 2)	Компонент
2	Електромагнітний клапан для подачі розбавляючої та промивної води
5	Дозувальний насос для хлориту натрію
6	Дозувальний насос для соляної кислоти
7	Реактор з вимикачем
8	Дозувальний резервуар з поплавцевим перемикачем та зливальним краном для діоксиду хлору
9	Об'ємний накопичувач для газоподібного діоксиду хлору
10	Фільтр з активованим вугіллям для газоподібного діоксиду хлору
13	Дозувальний насос для діоксиду хлору з багатофункціональним клапаном
20	Електронний контролер для вимірювання та регулювання концентрації діоксиду хлору
21	Дисплей контролера

Переваги такої системи:

- має високу ефективність знезараження води;
- компактна конструкція для встановлення в обмежених просторах;
- менше споживання реагентів;
- може обробляти до 150 м³ води на годину при концентрації 0,4 мг/л діоксиду хлору.

Недоліки системи:

- висока вартість;
- має вимоги до умов експлуатації;
- потребує регулярного технічного обслуговування при безперервній роботі.

ВИСНОВКИ. Таким чином була зібрана інформація щодо методів вимірювання залишкового хлору та розглянуто існуючі інтелектуальні системи дозування хлорагенту для води. Після проведення аналізу було визначено які бувають інтелектуальні системи та проаналізовано які переваги і недоліки вони мають. Було розглянуто компоненти однієї з інтелектуальних систем що дає змогу робити подальші дослідження таких систем.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Chlorine Injection System for Drinking Water: A Comprehensive Guide. URL: <https://www.racoman.com/blog/chlorine-injection-system-for-drinking-water-a-comprehensive-guide> (дата звернення: 23.04.2025).
2. Chlorine dosing for water-related hazards. URL: <https://www.health.qld.gov.au/public-health/industry-environment/environment-land-water/water/risk-management/plan/manage/chlorine-dosing> (дата звернення: 23.04.2025).
3. How to Measure Residual Chlorine in Water. URL: <https://www.boquinstrument.com/how-to-measure-residual-chlorine-in-water.html> (дата звернення: 24.04. 2025).
4. Насос дозатор ВТ PH-RX-CL/М для контролю рівня pH / ОБП / хлору. URL: https://www.etatron.com.ua/pumps/dosing_pumps/bt/bt_ph_rx_cl_m/ (дата звернення: 24.04.2025).
5. OCD-162-60-P/G2 | Grundfos. URL: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/disinfection-systems/oxiperm/ocd-162-60-pg2-95718458?pumpsystemid=2626239991&tab=documentation> (дата звернення: 24.04.2025).

6. Oxiperm Pro OCD-162. URL: <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature-5903104.pdf> (дата звернення: 25.04.2025).

Науковий керівник: *Сезонова Ірина Костянтинівна, професор кафедри КІТАР, доцент, кандидат технічних наук.*

ДОДАТОК В
Демонстраційний матеріал

