

автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

SCADA резервуарної системи

Назва теми

КвРАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент 3 курсу, група АКІТ<sub>c</sub>-20-1



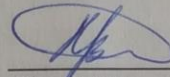
Підпис

Володимир КОЛЕЙКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:

д-р техн. наук, проф.

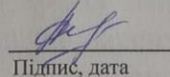


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

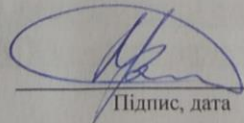


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри автоматизації,  
комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«16» червня 2023 р.

Хмельницький 2023

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою АКІТ та Р

В. Мертисак  
«01» 02 2023р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Колейко Володимир Вячеславович

- 1 Тема роботи: SCADA резервуарної системи  
керівник роботи Мартинюк В.В., д.т.н, професор  
Затверджено наказом по університету від «01» березня 2023р. №5.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 03.06.2023р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина.  
Програмна реалізація SCADA резервуарної системи. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень).
  1. Головна панель SCADA резервуарної системи.
  2. Панель вводу даних SCADA резервуарної системи.
  3. Панель виводу графіків SCADA резервуарної системи.

Завдання отримав \_\_\_\_\_

Науковий керівник \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., к.т.н., доцент каф. АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., к.т.н., доцент каф. АКІТтаР		

7. Дата видачі завдань « 01 » 02 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2023р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	15.03.2023р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2023р.	Виконано
4	Програмна реалізація SCADA резервуарної системи	10.05.2023р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2023р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2023р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2023р.	Виконано

Студент

Підпис

Ноліс В.В.  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

В. Мартинюк  
Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «SCADA резервуарної системи».

Автор роботи: Колейко Володимир Вячеславович

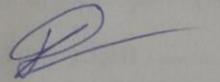
Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 62 с., 18 рис., 1 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

SCADA, РЕЗЕРВУАРНА СИСТЕМА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ  
ДИНАМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ, ПРОГРАМА PROMOTIC.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка SCADA резервуарної системи шляхом розробки алгоритму взаємодії їх системи керування в реальному масштабі часу. У роботі розроблено структурну схему системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи в реальному масштабі часу. Розроблено алгоритм роботи системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи наведено основні технічні характеристики приладів контролю. Розроблено програму роботи системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи.



Підпис студента

15.06.23

Дата

ЗМІСТ	
Вступ.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ	6
1.1. Математична модель резервуарної системи.....	6
1.2. Математична модель динамічної поведінки резервуарів.....	16
1.3. Висновки до першого розділу.....	17
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Розробка SCADA резервуарної системи.....	18
2.2. Редактор додатків.....	19
2.3 Редактор зображень.....	21
2.4. Логіка застосування.....	27
2.5. Прив'язка даних.....	30
2.6. Завантажити/зберегти файл.....	32
2.7. Тренди.....	36
2.8. Висновки до другого розділу.....	38
3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA РЕЗЕРВУАРНОЇ СИСТЕМИ.....	39
3.1. Розробка структурної схеми контуру регулювання резервуарної системи.....	39
3.2. Вибір панелі оператора для інтерфейсу людина машина резервуарної системи.....	46
3.3. Розробка програми роботи системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.....	48
3.4. Висновки до третього розділу.....	50
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	52
ДОДАТКИ.....	57

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Колейко В.В.		15.06.23
Перевір		Мартинюк В.В.		16.06.23
Т.Конт.				
Н.контр.		Корецька Л.О.		16.06.23
Затвер.		Мартинюк В.В.		16.06.23

SCADA резервуарної системи  
Пояснювальна записка

Літера	Аркуш	Аркушів
у	2	60

ХНУ, АКІТс-20-1

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Оптимальний контроль резервуарної системи є складною проблемою через невизначені гідрологічні входи та необхідність адаптації до мінливого середовища та різноманітних цілей контролю.

Мережі розподілу води в усьому світі старіють, і тому краще розуміння факторів, що призводять до виходу з ладу труб, стає все більш корисним. Поломка труби може вплинути на клієнтів і призвести до великих витрат на технічне обслуговування, комерційних, соціальних і екологічних витрат.

Крім того, втрати води через поломку труби та протікання труб часто є критичними в районах з низьким рівнем опадів, і ця проблема може погіршитися з наслідками зміни клімату. Заміна застарілої інфраструктури коштує дорого, тому вкрай бажано зменшити кількість аварій труб і подовжити їх термін служби.

Часто важко визначити точну причину несправності труби, оскільки існує ряд змінних, які слід враховувати, наприклад стан труби (властивості труби, стан ґрунту та корозія) і навантаження (внутрішній і зовнішній тиск і розрядження), які разом призводять до історія збоїв в системі.

Актуальність роботи обумовлена розробкою SCADA резервуарної системи для розуміння впливу гідравлічного тиску на поломки резервуарної системи.

**Метою роботи** є розробка SCADA резервуарної системи шляхом розробки алгоритму взаємодії їх системи керування в реальному масштабі часу.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

					КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		3

- розробити структурну схему системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи в реальному масштабі часу;
- розробити алгоритм роботи системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи;
- розробити програму роботи системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи.

**Об'єктом дослідження** є процес керування SCADA резервуарної системи.

**Предметом дослідження** є SCADA резервуарної системи.

**Методи досліджень.** При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи теорії керування, теорії кіл та методи алгоритмізації та програмування.

**Практична значимість отриманих результатів:**

У роботі розроблена система автоматичного керування SCADA резервуарної системи та програмне забезпечення її роботи. Використання такої системи дозволяє підвищити ефективність роботи SCADA резервуарної системи в автоматизованому режимі.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 2 додатків. Загальний обсяг роботи складає 60 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 16 рисунків, список використаних джерел вміщує 40 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи SCADA резервуарної системи, а також алгоритми керування SCADA резервуарної системи.

У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку SCADA резервуарної системи.

Розроблено принцип роботи SCADA резервуарної системи на рівні структурної схеми.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення SCADA резервуарної системи.

Розроблено структурну схему контуру регулювання системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи я.

Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення SCADA резервуарної системи.

					КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 1.1 Математична модель резервуарної системи

Мережі розподілу води в усьому світі старіють, і тому краще розуміння факторів, що призводять до виходу з ладу труб, стає все більш корисним. Поломка труби може вплинути на клієнтів і призвести до великих витрат на технічне обслуговування, комерційних, соціальних і екологічних витрат.

Крім того, втрати води через поломку труби та протікання труб часто є критичними в районах з низьким рівнем опадів, і ця проблема може погіршитися з наслідками зміни клімату. Заміна застарілої інфраструктури коштує дорого, тому вкрай бажано зменшити кількість аварій труб і подовжити їх термін служби.

Часто важко визначити точну причину несправності труби, оскільки існує ряд змінних, які слід враховувати, наприклад стан труби (властивості труби, стан ґрунту та корозія) і навантаження (внутрішній і зовнішній тиск і розрядження), які разом призводять до історія збоїв в системі.

Рівняння (1.1) умовно описує критичну напругу опору  $S_{crit}$  заглибленої труби, яка має бути більшою за суму прикладених напруг (змінних руйнування), що діють на трубу, щоб запобігти руйнуванню [1]:

$$S_{crit} > S_p + S_s + S_b + S_{res}, \quad (1.1)$$

де  $S_p$  - напруга, пов'язана з тиском;

					КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

$S_b$  - напруга вигину труби;

$S_{res}$  - залишкові напруги.

Ці напруги діють на трубу по поверхні труби та поздовжньо і їх слід аналізувати окремо. Важливо зрозуміти вплив гідравлічного тиску ( $S_p$ ) на поломку труби. Кільцева напруга - це окружна напруга в трубі, яка виникає через гідравлічний тиск і позначається виразом:

$$S_p = pr/t, \quad (1.2)$$

де  $S_p$  - кільцева напруга;

$p$  - внутрішній тиск рідини;

$r$  - радіус труби;

$t$  - товщина труби.

Загалом точкова корозія зменшує товщину труби,  $t$ , що збільшує окружну напругу на трубі [2]. Модель руйнування описує, як труба руйнується, наприклад, поздовжній розрив, окружний розрив тощо.

Найпоширенішим видом руйнування внаслідок гідравлічного тиску є поздовжній розрив, також відомий як розколи або довгі розколи [3]. Кільцева напруга внаслідок внутрішнього тиску (статичного та перехідного), сил розчавлення або, можливо, сил стиснення може призвести до поздовжнього руйнування [4, 5].

Поздовжній розрив зазвичай розвивається між ділянками корозійних точок, коли гідравлічний тиск досягає критичної напруги. Інший поширений вид відмови, який зазвичай вказує на те, що гідравлічний тиск сприяє несправності, - це «викидний отвір».

Продувні отвори або «розривні» режими поломки в трубах із чавуну та м'якої сталі зазвичай виникають через локалізовану точкову

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

7

корозію, яка зменшує товщина труби, а потім внутрішній тиск води «видуває» ослаблену деталь [4].

У літературі повідомлялося про дослідження несправності труб на реальних водопровідних системах [6-8]. В роботі [6] досліджено два окремих випадки перехідного тиску, що спричиняє збій.

Мета обох досліджень полягала в тому, щоб визначити помилку, тобто те, що щось або хтось працював не так, як очікувалося. В одному з випадків досліджувалися два пошкоджені клапани, які вийшли з ладу під час перезапуску системи на трубопроводі Abattemarco в Італії.

В роботі [6] виявили, що тиск двох несправних клапанів було знижено з 40 бар до 25 бар після проектування, мабуть, для зменшення капітальних витрат. Нижчий номінальний тиск здавався достатнім для статичних умов, однак номінальний тиск був ближче до 40 бар, щоб протистояти перехідним тискам. Один із несправних клапанів також мав дефект лиття (помилка при введенні в експлуатацію), а інший клапан мав недостатню опору.

В роботі [7] досліджували прорив чавунної труби діаметром 30 дюймів у Клівленді, США, яка зазнала руйнування з'єднання розтруб-патрубок. Трьома механізмами відмови, дослідженими в ході дослідження, були експлуатаційні навантаження, рух ґрунту та тріщина в дзвоні через обертання з подальшим втомним навантаженням.

В роботі зроблено висновок, що прорив, ймовірно, стався через будівництво бетонного склепіння над трубою, що призвело до додаткового обертового навантаження на трубу. Ця обертова напруга, ймовірно, викликала початкову тріщину в дзвоні, яка зростала з повторним навантаженням, викликаючи розкол. Зміна кольору вздовж поверхні руйнування свідчила про двофазне розщеплення.

В літературі [7] та [6], досліджувалися дві події відмови відповідно. Однак ця дослідження мали на меті зрозуміти, як

розподільна система поводить ся безпосередньо перед виходом з ладу труби, і, зокрема, як гідравлічний тиск сприяє поломці.

На сьогоднішній день не знайдено жодної літератури, яка б описувала дослідження сотень несправностей магістральних трубу великій водорозподільчій системі з використанням бази даних про несправності труб та історичних даних.

SCADA контролює насосні станції, керовані клапани та резервуари в більшості сучасних водопровідних мереж. Причинами проривів труби є корозія, рух ґрунту, підвищений тиск води, зовнішнє навантаження тощо, і реєструється обслуговуючим персоналом.

Загалом існує низька впевненість у причині поривів труб, однак впевненість майже завжди можна підвищити за допомогою ретельного дослідження з використанням даних SCADA.

SCADA контролює насосні станції, керовані клапани та резервуари у всій водопровідній мережі. Користувач SCADA може переглядати тиск на насосній станції, рівні в резервуарах і запущене положення клапана як у режимі реального часу, а також історичні дані.

Якщо час відмови був відомий, можна було б призначити послідовність відмови і, отже, гідравлічний стан для події. У цьому випадку до події відмови застосовували «високий» або «середній» рейтинг достовірності залежно від кількості рядків доказів. Однак, якщо час відмови був невідомий, тоді важко було визначити ситуацію відмови. Для більшості випадків, коли час відмови був невідомий, була зареєстрована ситуація «недостатніх доказів».

Математична модель резервуарної системи формується системою трьох нелінійних диференціальних рівнянь. Побудова математичної моделі резервуарної системи базується на балансах маси та енергії (рівняння неперервності та рівняння Бернуллі).

Рівняння неперервності стосується постійного потоку рідини (часто вважається ідеальною рідиною) у закритій трубі. Рівняння неперервності описує залежність між швидкістю потоку  $v$  і поперечним перерізом  $S$  в певній точці труби (1.3).

$$Q_v = S \cdot v = const, \quad (1.3)$$

де  $Q_v$  - об'ємна швидкість потоку.

Ідеальна рідина є нестисливою, тобто густина її у кожній точці потоку є незмінною. Густина рідини  $\rho$  однакова в кожній точці трубки ( $\rho = \rho_1 = \rho_2$ ). Тому об'ємна швидкість потоку  $Q_v$  однакова в кожній точці труби. Цей висновок зображено на рисунку 1.1.

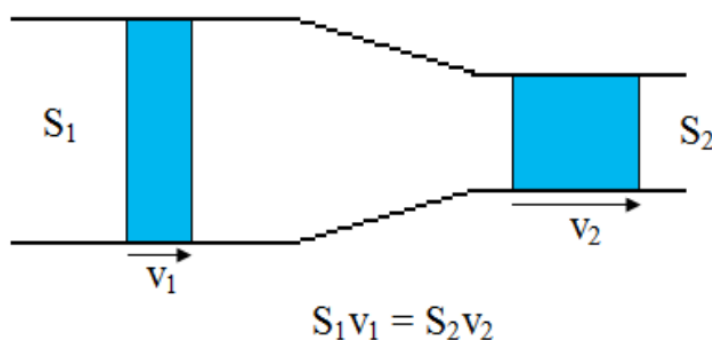


Рисунок 1.1 - Рівняння неперервності

Об'ємна швидкість потоку  $Q_v$  показана двома синіми ділянками. Де площа поперечного перерізу труби менша, швидкість потоку рідини більша.

Рівняння Бернуллі виражає закон збереження механічної енергії для стаціонарного течії ідеальної рідини в горизонтальній трубі. Повна енергія рідини, що тече, визначається сумою кінетичної енергії та

потенціальної енергії тиску. Результиуюча енергія повинна залишатися постійною протягом усього потоку рідини.

Для кінетичної енергії застосовується співвідношення:

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2. \quad (1.4)$$

Для потенціальної енергії тиску застосовується співвідношення:

$$E_P = V \cdot p. \quad (1.5)$$

Для ідеальної рідини, що тече в трубі, діє закон збереження механічної енергії:

$$E_K + E_P = const. \quad (1.6)$$

Якщо ми маємо трубу з більшим поперечним перерізом з одного боку, рідина, що тече з цього боку, має меншу швидкість, але більший тиск. З іншого боку, труба має меншу площу поперечного перерізу. Тут швидкість потоку більша, але тиск знову менший, як зображено на рисунку 1.2.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

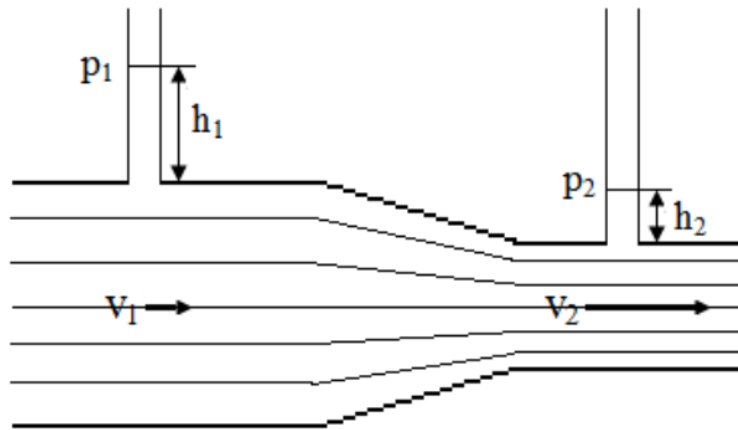


Рисунок 1.2 - Рівняння Бернуллі

Діаграму моделі системи взаємопов'язаних резервуарів можна побачити на рисунку 1.3. На цьому рисунку зображено три сполучені між собою резервуари.

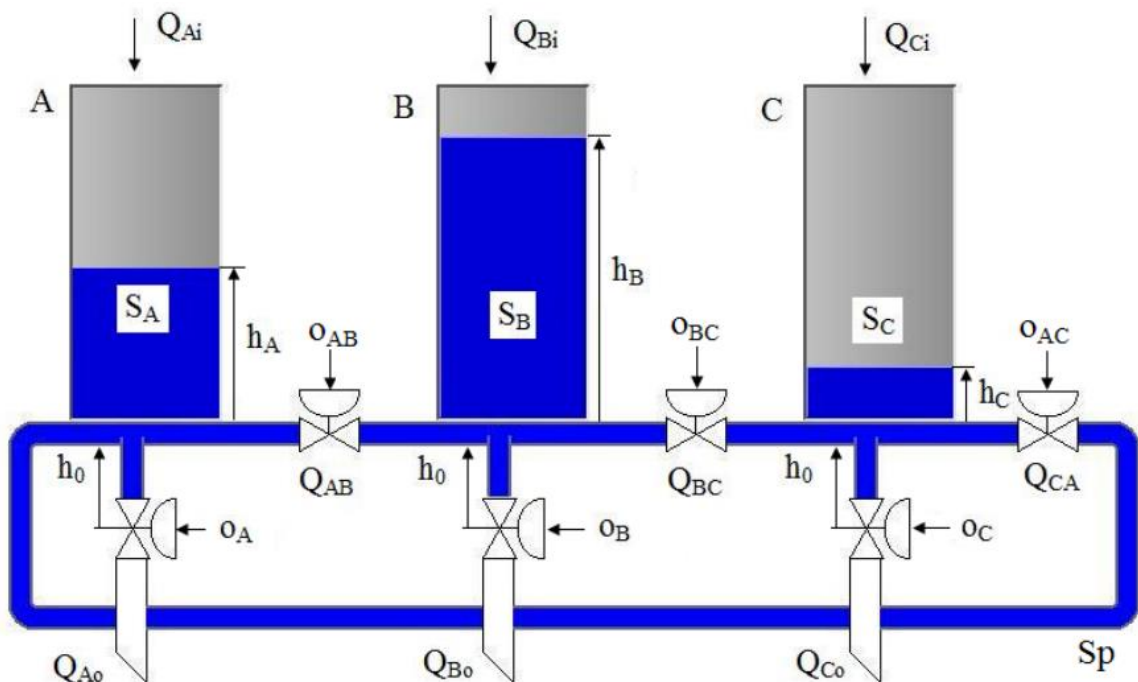


Рисунок 1.3 - Модель резервуарної системи

Резервуари можуть мати будь-яку форму вмісту поперечного перерізу, але ми припускаємо, що вміст поперечного перерізу постійний

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

по всій висоті поверхні. Крім того, вони з'єднані з'єднувальним патрубком зі зливним і проточним клапанами.

На рисунку 1.3 позначені наступні фізичні величини:

$Q_{Ai}$  - об'ємна швидкість потоку води, яка надходить до резервуара А;

$Q_{Bi}$  - об'ємна швидкість потоку води, яка надходить до резервуара В;

$Q_{Ci}$  - об'ємна швидкість потоку води, яка надходить до резервуара С;

$Q_{Ao}$  - об'ємна швидкість потоку води, яка витікає із резервуара А;

$Q_{Bo}$  - об'ємна швидкість потоку води, яка витікає із резервуара В;

$Q_{Co}$  - об'ємна швидкість потоку води, яка витікає із резервуара С;

$Q_{AB}$  - об'ємна швидкість потоку води, між резервуарами А і В;

$Q_{BC}$  - об'ємна швидкість потоку води, між резервуарами В і С;

$Q_{CA}$  - об'ємна швидкість потоку води, між резервуарами С і А;

$O_A$  - відносне відкриття зливного клапану резервуара А;

$O_B$  - відносне відкриття зливного клапану резервуара В;

$O_C$  - відносне відкриття зливного клапану резервуара С;

$O_{AB}$  - відносне відкриття перепускного клапану, між резервуарами А і В;

$O_{BC}$  - відносне відкриття перепускного клапану, між резервуарами В і С;

$O_{CA}$  - відносне відкриття перепускного клапану, між резервуарами С і А;

$S_A$  - площа поперечного перерізу резервуара А;

$S_B$  - площа поперечного перерізу резервуара В;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

13

$S_C$  - площа поперечного перерізу резервуара С;

$S_p$  - площа поперечного перерізу з'єднувальних труб;

$s_v$  - площа поперечного перерізу перепускного клапану;

$s_{prep}$  - площа поперечного перерізу запобіжного клапану;

$h_0$  - висота рівня в трубі від вентиля до дна резервуара;

$h_A$  - рівень води в резервуарі А;

$h_B$  - рівень води в резервуарі В;

$h_C$  - рівень води в резервуарі С.

Рівні в резервуарах можуть змінюватися залежно від об'ємної швидкості потоку води, яка надходить до резервуара ( $Q_{Ai}$ ,  $Q_{Bi}$  та  $Q_{Ci}$ ), об'ємної швидкості потоку води, яка витікає із резервуара ( $Q_{Ao}$ ,  $Q_{Bo}$ , та  $Q_{Co}$ ), а також об'ємних швидкостей потоків води, між резервуарами через спільну трубу ( $Q_{AB}$ ,  $Q_{BC}$  та  $Q_{CA}$ ). Тому, щоб виразити загальну поведінку системи, необхідно виразити витрати через ці окремі клапани.

## 1.2 Математична модель динамічної поведінки резервуарів

У стаціонарному стані маса води, яка надходить до резервуара дорівнює сумі маси води, яка витікає з резервуара та зміни маси води в резервуарі. Масова витрата води виражає масу води, яка проходить через поперечний переріз труби за одиницю часу.

$$F_I = F_O + \frac{dM}{dt}, \quad (1.7)$$

де  $F_I$  - маса води, що надходить до резервуара за секунду;

$F_O$  - маса води, що витікає з резервуара за секунду;

$M$  - маса води в резервуарі.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

14

$$F = \rho \cdot Q, \quad (1.8)$$

де  $\rho$  - густина води;

$Q$  - об'ємної швидкість потоку води, яка надходить до резервуара.

$$M = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot h, \quad (1.9)$$

де  $V$  - об'єм води в резервуарі;

$S$  - площа поперечного перерізу резервуара;

$h$  - висота води в резервуарі.

Підставимо (1.8) та (1.9) у вираз (1.7), тоді отримаємо:

$$\rho \cdot Q_1 = \rho \cdot Q_0 + \frac{d(\rho \cdot S \cdot h)}{dt} = \rho \cdot Q_0 + \rho \cdot S \cdot \frac{d(h)}{dt}. \quad (1.10)$$

Після скорочення на  $\rho$  у лівій і правій частині рівняння (1.10), отримаємо:

$$Q_1 = Q_0 + S \cdot \frac{d(h)}{dt}. \quad (1.11)$$

Об'ємні швидкості потоків води, які витікають із кожного резервуара, можна визначити з наступних виразів:

$$Q_{Ao} = s_V \cdot O_A \cdot (2 - O_A) \cdot \sqrt{\frac{2(h_A + h_0)g}{1 - \left[ \frac{s_V \cdot O_A \cdot (2 - O_A)}{S_A} \right]^2}}; \quad (1.12)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

15

$$Q_{Bo} = s_V \cdot O_B \cdot (2 - O_B) \cdot \sqrt{\frac{2(h_B + h_0)g}{1 - \left[ \frac{s_V \cdot O_B \cdot (2 - O_B)}{S_B} \right]^2}}; \quad (1.13)$$

$$Q_{Co} = s_V \cdot O_C \cdot (2 - O_C) \cdot \sqrt{\frac{2(h_C + h_0)g}{1 - \left[ \frac{s_V \cdot O_C \cdot (2 - O_C)}{S_C} \right]^2}}; \quad (1.14)$$

$$Q_{AB} = \text{sign}(h_A - h_B) \cdot s_V \cdot O_{AB} \cdot (2 - O_{AB}) \cdot \sqrt{\frac{2|h_A - h_B|g}{1 - \left[ \frac{s_V \cdot O_{AB} \cdot (2 - O_{AB})}{S_{AB}} \right]^2}}; \quad (1.15)$$

$$Q_{BC} = \text{sign}(h_B - h_C) \cdot s_V \cdot O_{BC} \cdot (2 - O_{BC}) \cdot \sqrt{\frac{2|h_B - h_C|g}{1 - \left[ \frac{s_V \cdot O_{BC} \cdot (2 - O_{BC})}{S_{BC}} \right]^2}}; \quad (1.16)$$

$$Q_{CA} = \text{sign}(h_C - h_A) \cdot s_V \cdot O_{CA} \cdot (2 - O_{CA}) \cdot \sqrt{\frac{2|h_C - h_A|g}{1 - \left[ \frac{s_V \cdot O_{CA} \cdot (2 - O_{CA})}{S_{CA}} \right]^2}}; \quad (1.17)$$

$$\frac{dh_A}{dt} = \frac{Q_{Ai} - Q_{Ao} - Q_{AB} + Q_{CA}}{S_A}; \quad (1.18)$$

$$\frac{dh_B}{dt} = \frac{Q_{Bi} - Q_{Bo} - Q_{BC} + Q_{AB}}{S_B}; \quad (1.19)$$

$$\frac{dh_C}{dt} = \frac{Q_{Ci} - Q_{Co} - Q_{CA} + Q_{BC}}{S_C}. \quad (1.20)$$

Рівняння (1.12) - (1.20) виведені за умови, що потік рідини через клапан не залежить від напрямку потоку рідини. Рівняння (1.18) - (1.20) є системою звичайних нелінійних диференціальних рівнянь.

Розв'язок системи рівнянь (1.18) - (1.20) полягає у визначенні залежності вихідних величин у часі від залежності вхідних величин у часі. Ми не можемо використати тут аналітичний розв'язок, оскільки

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

його не існує для даних нелінійних рівнянь. З цієї причини був використаний числовий розв'язок методом Рунге–Кутта.

### 1.3 Висновки до першого розділу

1. Математична модель резервуарної системи формується системою трьох нелінійних диференціальних рівнянь. Побудова математичної моделі резервуарної системи базується на балансах маси та енергії (рівняння неперервності та рівняння Бернуллі).

2. У стаціонарному стані маса води, яка надходить до резервуара дорівнює сумі маси води, яка витікає з резервуара та зміни маси води в резервуарі. Масова витрата води виражає масу води, яка проходить через поперечний переріз труби за одиницю часу.

3. Розв'язок системи трьох нелінійних диференціальних рівнянь, якими описується резервуарна система, полягає у визначенні залежності вихідних величин у часі від залежності вхідних величин у часі. Ми не можемо використати тут аналітичний розв'язок, оскільки його не існує для даних нелінійних рівнянь. З цієї причини був використаний числовий розв'язок методом Рунге–Кутта.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

17

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розробка SCADA резервуарної системи

Для створення SCADA резервуарної системи була обрана програма PROMOTIC. PROMOTIC - це комплексна система SCADA, яка дозволяє налаштувати велику кількість пристроїв для створення додатків.

SCADA – це аббревіатура, утворена зі слів «Supervisory Control And Data Acquisition». У перекладі ця фраза означає «Управління Контролем І Збором Даних». Цей термін часто використовується в галузі промислових систем управління, наприклад, моніторинг і керування промисловим обладнанням або процесами.

Таким чином, це система, яка збирає дані з датчиків у реальному часі та надсилає ці дані на центральний комп'ютер, де вони обробляються далі. SCADA не є повноцінною системою управління, а скоріше орієнтована на область диспетчера.

Це може бути програма (програмне забезпечення), яка працює поверх фактичної системи керування. Ці системи зазвичай є програмованими логічними контролерами (ПЛК).

HMI, англійською «Human-Machine Interface», є модифікацією оригінального терміну ЛМІ (людинно-машинний інтерфейс), який використовувався раніше. HMI - це інтерфейс користувача між людиною та машиною (пристроєм), і зазвичай це одна локальна машина або пристрій.

Графічний інтерфейс є зручним для користувача. Це дозволяє оператору знати інформацію про різні стани процесу, дозволяє йому змінювати значення та мати повний огляд і контроль над системою.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Крім того, це дає можливість відображати графіки зміни параметрів системи, які називаються трендами. Ці пристрої можуть бути об'єднані в один пристрій керування.

PROMOTIC базується на об'єктно-орієнтованому програмуванні (ООП - Object-oriented programming). PROMOTIC має відкриту архітектуру та підтримує більшість стандартних програмних інтерфейсів.

PROMOTIC підтримує найпоширеніші системи баз даних (Access, MS SQL), чи інші інтерфейси, наприклад XML, ActiveX, DDE, OPC. За допомогою цієї програми ми також можемо керувати нашими програмами за допомогою Інтернет-браузера.

Уся комунікація базується на протоколі HTTP, який не є перешкодою для більшості брандмауерів, і завдяки з'єднанню з серверами зв'язку ми маємо майже ті самі можливості для роботи програми, що й на ПК, де насправді працює наша програма.

PROMOTIC складається з двох частин:

- редактор додатків;
- редактор зображень.

Програма також містить розділ, що стосується трендів, тривог і подій, розділ, що стосується зв'язку із зовнішніми пристроями, мовні версії та Інтернет.

## 2.2 Редактор додатків

Редактор додатків (рисунок 2.1) є базовою частиною для створення програми в системі PROMOTIC. У редакторі додатків створюється деревоподібна структура об'єктів, яка поступово модифікується (шляхом зміни їх налаштування). Можна призначати

об'єктам типи даних (наприклад, double, string). Кожен об'єкт має подію, де записується алгоритми роботи об'єкта (скрипт).

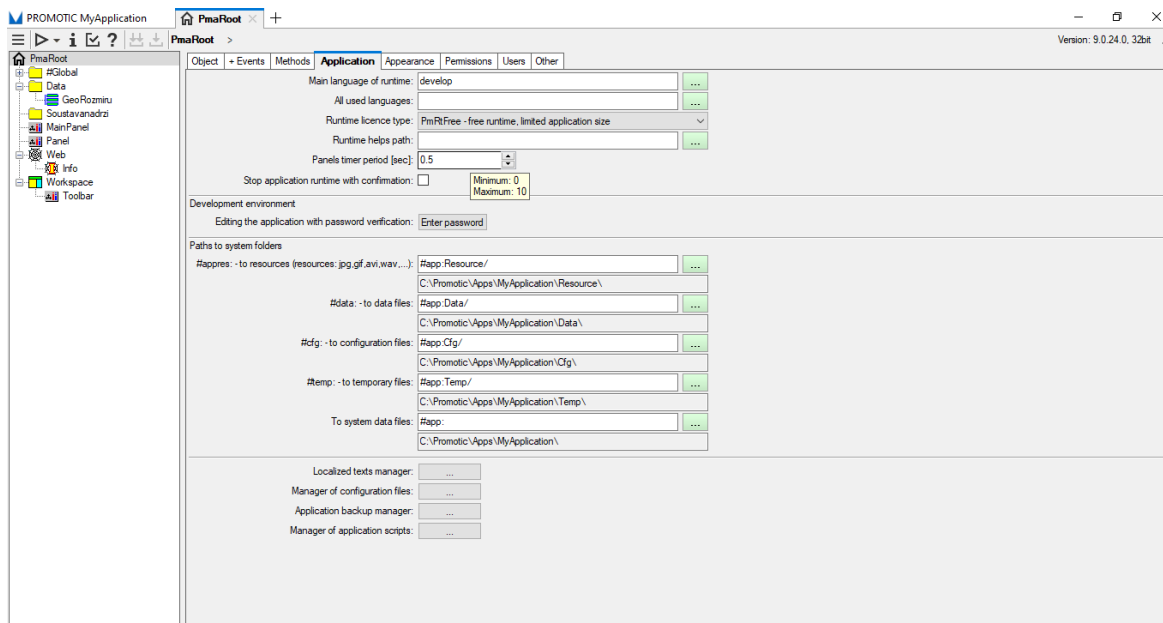


Рисунок 2.1 - Редактор додатків

Ми використовуємо це під час доступу до властивостей або методів об'єкта. Для написання вже згаданих алгоритмів використовується мова Visual Basic, а точніше її скриптова модифікація VBScript. Це дозволить нам створити додаток саме так, як ми його собі уявляємо. Ми не обмежуємося певною сферою уваги, але маємо інструмент для необмежених можливостей розробки додатків.

До цієї частини також входить система INFO. Це інформаційно-діагностична система.

Для налагодження програми використовується система INFO. Це дозволяє нам переглядати всі змінні та важливу інформацію. Завдяки веб-частині PROMOTIC ми також можемо використовувати цю систему для віддаленого налагодження програми через Інтернет.

### 2.3 Редактор зображень

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

20

Редактор зображень використовується для створення графічного зображення (рисунок 2.2) за допомогою графічних елементів.

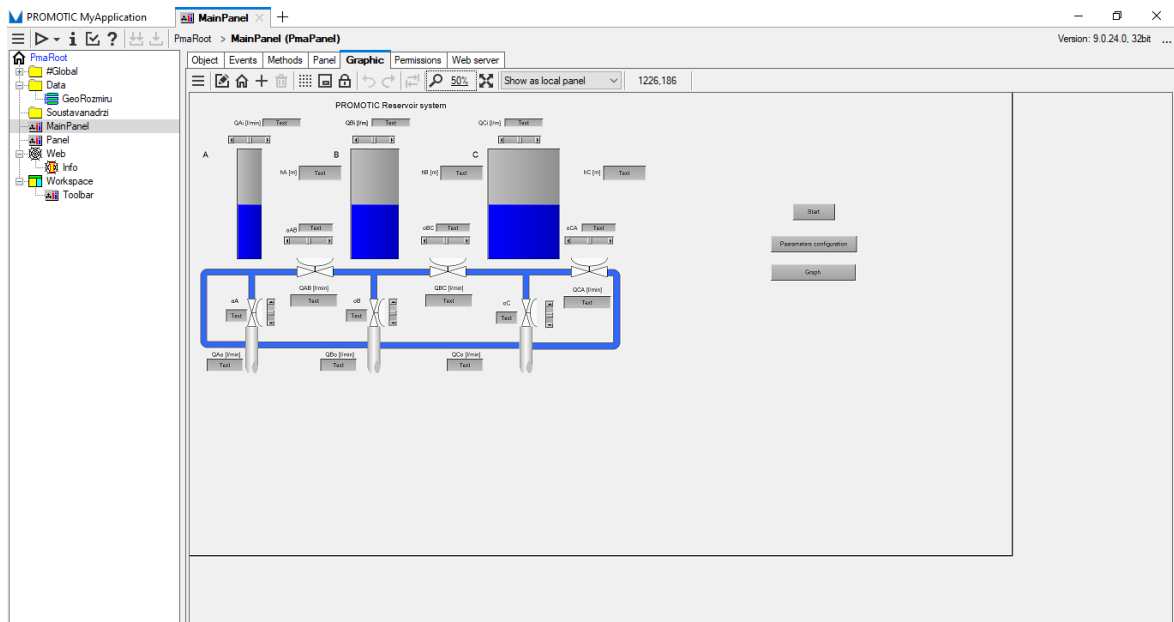


Рисунок 2.2 - Редактор зображень

За допомогою цих графічних об'єктів можна створити будь-який зовнішній вигляд програми, будь то введення даних, керування чи візуалізація даних у трендах. Для цих об'єктів можна зв'язати деякі з їхніх властивостей за допомогою зв'язку даних. Ці властивості містять розмір, значення та колір. Зв'язування даних імені виражає зв'язок змінної з властивістю графічного елемента.

Наприклад, якщо натиснемо один із двох трикутників поруч із важелем, значення зміниться на одну одиницю. На рисунку 2.3 зображено графічне зображення резервуара А. Якщо висота  $h_A$  змінюється, ця зміна відобразиться на дисплеї рівня резервуару.

Для дизайнера підготовлено кілька попередньо визначених типів вікон, подібних до стандартних вікон з Windows, але дизайнер може створювати власні вікна з фіксованим розміром, фіксованим

положенням, без віконних смуг. Він також має можливість вибрати, скільки вікон можна відкрити одночасно.

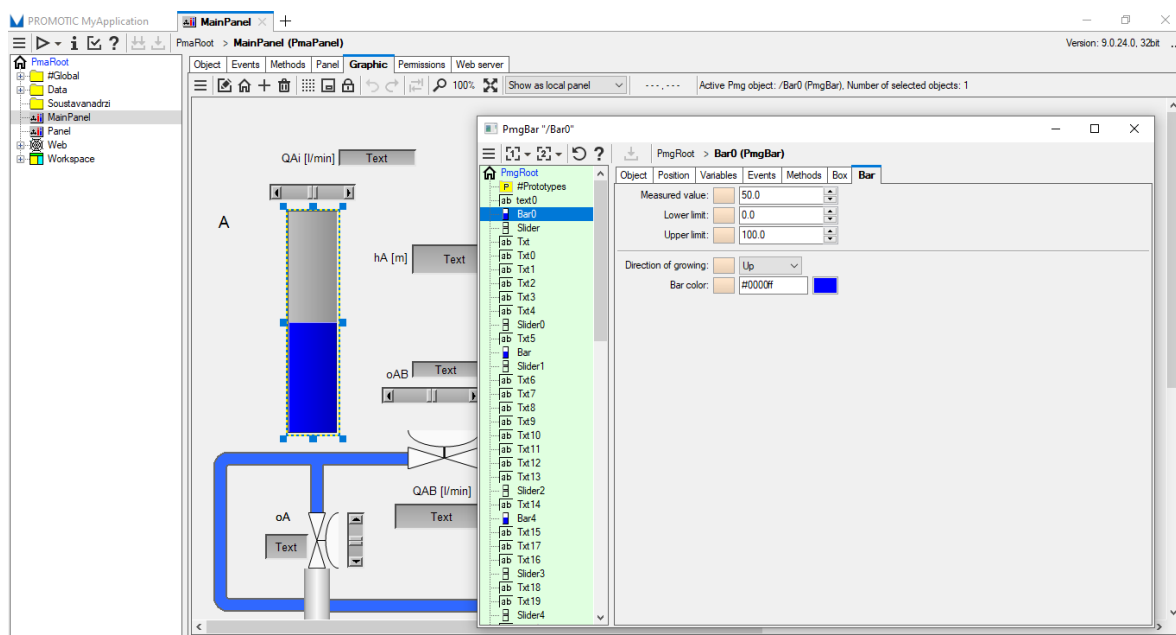


Рисунок 2.3 – Графічне зображення резервуара А

Редактор зображень також підтримує створення власних графічних елементів. В одній із програм векторної графіки SVG (Illustrator, CorelDraw або Inkscape) ми можемо намалювати власний графічний елемент, який потім будемо використовувати при створенні нашої програми.

Є можливість використовувати намальоване зображення або реальний знімок як фон для нашої програми, наприклад фотографію резервуарної системи, яка зображена на рисунку 2.4. Так оператору буде простіше контролювати додаток.

SCADA резервуарної системи призначена для моделювання в режимі реального часу поведінки системи з'єднаних резервуарів.

Основна ідея SCADA резервуарної системи полягає в тому, що SCADA резервуарної системи повинна розрахувати наступні значення висот рівнів у резервуарах з попередніх значень.



Рисунок 2.4 - Фотографія резервуарної системи

Числовий розрахунок системи рівнянь залежить від введених вхідних значень об'ємної швидкості потоку води, яка надходить до резервуарів, відкриття клапанів і геометричних розмірів резервуарів, а також від попередніх значень рівнів води.

Розрахунок виконується за допомогою методу Runge-Kutta RK4 за допомогою VBScript, який викликається при запуску об'єкта таймера. Таймер має фіксований крок, точно заданий заздалегідь, а саме 1 секунду. Розв'язок, який описує математичну модель резервуарної системи, модифікований для опису фактичної поведінки даної системи.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Під час роботи SCADA резервуарної системи можна буде змінювати вхідну подачу води і вихідний відтік води резервуарів, а також розміри відкривання клапанів між окремими резервуарами.

Геометричні розміри резервуарів не можуть бути змінені під час моделювання. Ці змінні можна змінити лише в процесі зупинки SCADA резервуарної системи. Для цього потрібно встановити правильні зв'язки даних для змінних.

Перед початком роботи SCADA резервуарної системи потрібно завантажити значення об'ємної швидкості потоку води, яка надходить до резервуарів та розміри резервуарів. Завантаження значення об'ємної швидкості потоку води, яка надходить до резервуарів та розміри резервуарів здійснюється за допомогою методу IniFileRead і попередньо визначених INI файлів.

У будь-який час під час роботи SCADA резервуарної системи можна зберегти значення вхідної подачі води та геометричні розміри резервуарів у файл. Для цього ми будемо використовувати методи IniFileWrite.

Зміна рівнів води у резервуарах буде чітко відображатися на графіку. Для цієї функції в SCADA PROMOTIC реалізовано розділ файлів Trend. У тренді зберігаються значень вибраних величин на жорсткому диску комп'ютера з даними про час.

Ці значення можна відобразити графічно або в табличному вигляді зміни величин висоти води в резервуарах у часі. Враховуючи, що зміна величин висоти води в резервуарах у часі зберігає відліки часу, є можливість переглядати історію цих змін.

Створення SCADA резервуарної системи можна розділити на три основні частини. Перша частина присвячена створенню деревовидної структури об'єктів і їх подальшій модифікації. Створення деревовидної структури об'єктів здійснюється у редакторі програм.

Друга частина називається Редактор зображень. Використовується для створення графічного зображення з використанням графічних елементів (PmPanels).

Третя область фактично «вдихає» життя в SCADA резервуарної системи. У цій області визначаємо, що об'єкт має робити щосекунди. Що відбувається, коли користувач натискає певну кнопку або рухає повзунок елемента керування.

На практиці цей поділ на три частини є лише формальним. Часто друга і третя частини перекриваються або певна частина зовсім відсутня. Докладний опис створення програми наведено в довідці SCADA PROMOTIC.

В ієрархії дерева ми створимо папку Soustavanadrzi для редагування зображень і папку Data, де будуть зберігатися всі об'єкти PmData для змінних. У мене є 3 об'єкти PmPanel, створені в системній папці. Кожен із цих об'єктів представляє візуальна сторона програми. На 1-й сторінці під назвою Головна сторінка (Рис. 13) показана система з трьох сполучених резервуарів з елементами для керування додатком. Є 3 резервуари для води, сполучні труби, клапани, стрижні, кнопки управління і, звичайно, числові значення показів рівнів води, притоків і відтоків резервуарів.

Вся друга сторінка графічно відображає часові ходи висот рівня. Остання сторінка містить вікна редагування для введення значень. Також є кнопки для збереження та завантаження значень у/з файлу. Ми редагуємо ці візуальні сторінки в редакторі зображень. Робота в цій частині дуже проста. Ми просто завжди вибираємо потрібний елемент з палітри елементів, розміщуємо його на робочому столі, встановлюємо для нього необхідні властивості і призначаємо йому необхідну прив'язку.

Як ми бачимо на рисунку 2.5, розділення даних на логічні одиниці.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

25

Index	Jméno	Dat. typ	Hodnota	Poznámka	Událost
0	dA	Double	Ini Const = 0.1	průměr válcové nádrže A [m]	AfterChange:
1	dB	Double	Ini Const = 0.2	průměr válcové nádrže B [m]	AfterChange:
2	dC	Double	Ini Const = 0.3	průměr válcové nádrže C [m]	AfterChange:
3	d	Double	Ini Const = 0.015	průměr přepouštěcího potrubí mezi nádržemi [m]	AfterChange:
4	dv	Double	Ini Const = 0.005	průměr max. průřezu vypouštěcího ventilu [m]	AfterChange:
5	dp	Double	Ini Const = 0.0075	průměr max. průřezu přepouštěcího ventilu [m]	AfterChange:
6	h0	Double	Ini Const = 0.1	výška dna nádrže nad ventilem [m]	-
7	SA	Double	Ini Expr = Pm("/Dat...	plocha nádrže A [m2]	-
8	SB	Double	Ini Expr = Pm("/Dat...	plocha nádrže B [m2]	-
9	SC	Double	Ini Expr = Pm("/Dat...	plocha nádrže C [m2]	-
10	Sp	Double	Ini Expr = Pm("/Dat...	plocha přepouštěcího potrubí [m2]	-
11	sv	Double	Ini Expr = Pm("/Dat...	plocha vypouštěcího ventilu [m2]	-
12	sprej	Double	Ini Expr = Pm("/Dat...	plocha přepouštěcího ventilu [m2]	-

Рисунок 2.5 - Розділення даних на логічні одиниці

Дані, у сенсі параметрів моделі - це група, що містить геометричні розміри резервуара (geoDimensions) і дані, що стосуються величин, що змінюються в часі, у групи, що містять інформацію про рівні (рівні), інформацію про потоки (потоки) та групу, що містить інформацію про клапани (вентилі).

Наприклад, група даних geoDimensions містить змінні dA, dB, dC, d, dv, dp, h0, SA, SB, SC, Sp, sv і sprej. Порядок має значення під час створення змінних, тому ми повинні бути обережними з їх назвою та порядковим розташуванням, щоб нам не потрібно було знати значення змінної, яке було б визначене під нею в деяких обчисленнях.

Кожному елементу ми призначаємо подвійний тип даних, значення та прив'язку даних. Значення окремих змінних можна знайти в таблицях 2 і 3. Для кожного об'єкта ми маємо можливість заповнити стовпець «Опис», а для змінних - стовпець «Примітка», де ми коротко пишемо, про що ця змінна.

За допомогою цих коментарів ми можемо освіжити нашу пам'ять, якщо ми не користуємося програмою протягом тривалого часу або якщо

хтось інший отримує доступ до програми. У цьому випадку ці коментарі допоможуть йому легше розібратися в питанні.

Папка Data також містить дві інші змінні `cisloStart` і `cisloStop`. Ці об'єкти `PmNumber` використовуються для запуску та зупинки програми за допомогою кнопок «Пуск» і «Стоп».

Також була створена папка Trends, яка займається відображенням висот рівня з можливістю зазирнути в минуле, і папку Casovac, яка містить об'єкт `Timer`. У його випадку ці висоти рівня обчислюються через 1 секунду. Більш детальне пояснення буде зроблено в наступних підрозділах.

## 2.4 Логіка застосування

Коли ми запускаємо програму, ми побачимо головний екран. Натиснувши на кнопку входу в програму, ми потрапляємо на екран головної сторінки, яка зображена на рисунку 2.6.

За допомогою стрижнів ми можемо встановити значення вхідної подачі води, відкриття переливного та зливного клапанів. Звичайно, ці зміни також можна вносити під час роботи програми.

Більше параметрів налаштувань приховано під кнопкою «Параметри», які зображені на рисунку 2.7.

					КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

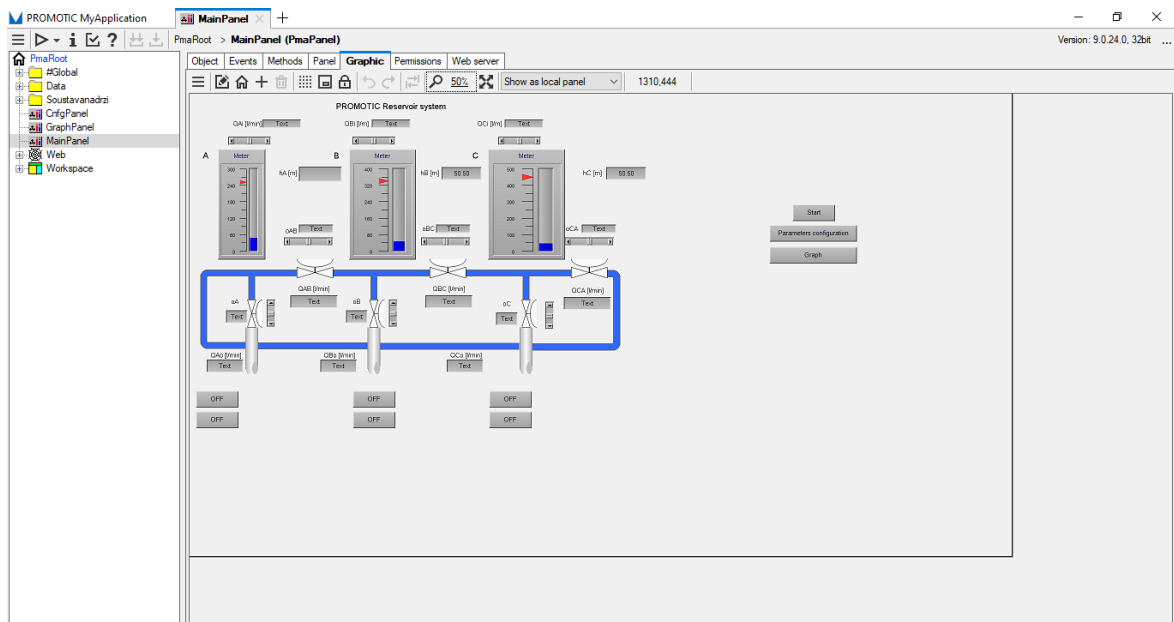


Рисунок 2.6 - Головна сторінка програми

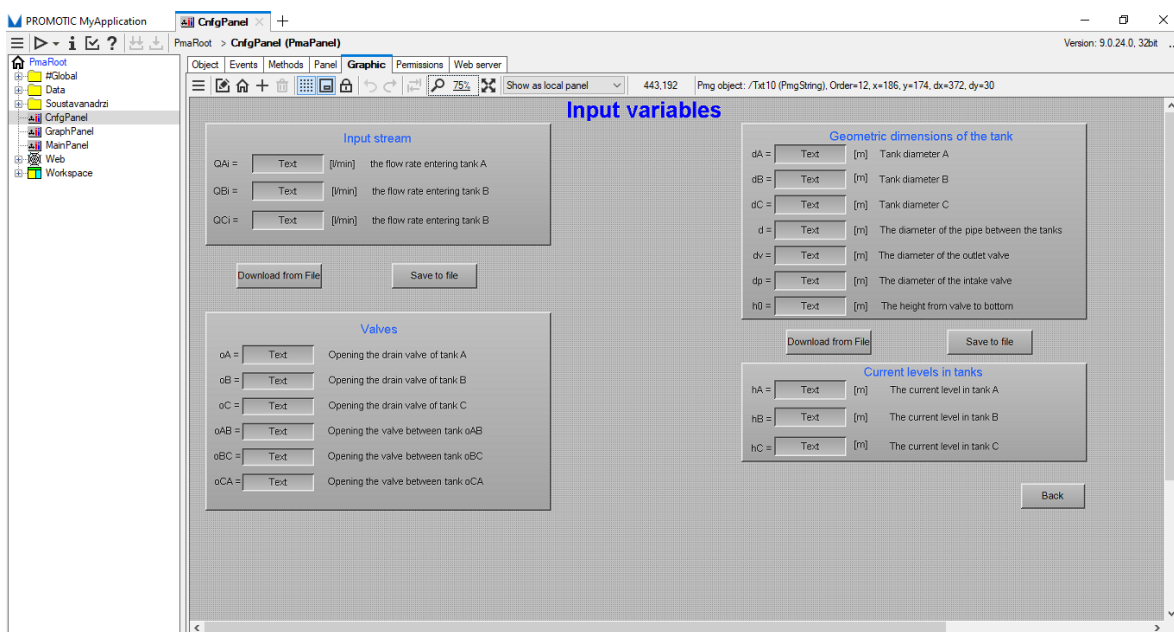


Рисунок 2.7 - Вікно для введення змінних

З'явиться сторінка, де ми знову можемо встановити значення припливів і відкриття клапана. Ці параметри тут мають призначені одиниці вимірювання та значення та чітко відображаються тут у лівому блоці таблиць один під одним.

У правому блоці вводимо геометричні розміри баків. Ми можемо ввести ці розміри лише перед запуском програми, оскільки неможливо змінити геометричні розміри реальних резервуарів під час вимірювання в реальному світі, тому це також заборонено в цій симуляції. Я досяг цього, об'єднавши всю таблицю в один елемент.

При натисканні кнопки Пуск властивість Enabled цього елемента встановлюється на false і геометричні розміри не можуть бути встановлені. Для повноти картини під Геометричними розмірами вказані поточні значення висот окремих водойм.

На цьому дисплеї є ще 4 важливі кнопки. Вони розміщуються попарно під параметрами Вхідний потік і Геометричні розміри. Кожного разу одна кнопка використовується для завантаження значень з файлу, а інша для збереження значень у файлі. Отримання даних про розміри резервуара з файлу працює лише тоді, коли моделювання зупинено. Тому використовується та сама властивість кнопки «Увімкнено», що й для об'єданого елемента «Геометричні розміри».

Щоб додаток працював коректно, нам потрібно забезпечити ще кілька логічних зв'язків, які реалізовані у вигляді простих скриптів. Для запуску програми ми будемо використовувати кнопку Пуск.

Після її натискання запуститься таймер і в ньому почнеться розрахунок системи рівнянь. Після натискання цієї кнопки вона зникає і з'являється кнопка Стоп. Така поведінка відбувається завдяки об'єктам cisloStart і cisloStop. CisloStart і cisloStop є об'єктами з типом даних boolean.

Для першого зі згаданих початкове значення встановлено 1, а для другого - 0. Для подій кнопки «Пуск» ми написали короткий сценарій, який гарантує, що після натискання «Пуск» значення cisloStart змінюється на 0 і значення cisloStop до 1.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Властивість видимості кнопки «Пуск» також пов'язана з `isVisible` зв'язуванням даних. Якщо значення `isVisible` дорівнює 1, кнопка відображається. Якщо значення дорівнює 0, кнопка більше не відображається. Кнопка «Стоп» пов'язана з `isHidden`. Принцип той же, тільки значення змінені.

При натисканні кнопка Зупинити зупиняє об'єкт таймера, а разом з ним і обчислення рівнянь. Систему можна знову запустити кнопкою Пуск. Розрахунок продовжиться від зупинених значень, як у реальній системі.

## 2.5 Прив'язка даних

Програма PROMOTIC дозволяє додати до кожного елемента посилання на дані. Термін зв'язування даних стосується з'єднання елементів. Коли ми змінюємо властивість певного елемента, водночас змінюється властивість іншого елемента, без необхідності писати для нього спеціальний сценарій, який ми мали б запустити згодом.

Як згадувалося, ми можемо призначити прив'язку даних до кожної змінної в папці Data. Для змінних, яким ми хочемо лише ініціалізувати певне значення на початку виконання програми, це легко. Як ми вибираємо Constant як тип прив'язки даних.

Це дещо складніше для змінних, які визначені не як константа, а як вираз. Вираз повинен бути написаний у синтаксисі VBScript. У даній роботі йдеться переважно про змінні SA, SB, SC. Площа резервуарів розраховується за діаметрами окремих резервуарів.

Для цих випадків ми вибираємо тип прив'язки даних Expression. Ми хочемо знову зробити прив'язку під час ініціалізації властивостей. Як ми бачимо на рисунку 2.8, ми вводимо потрібний вираз у поле Значення.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

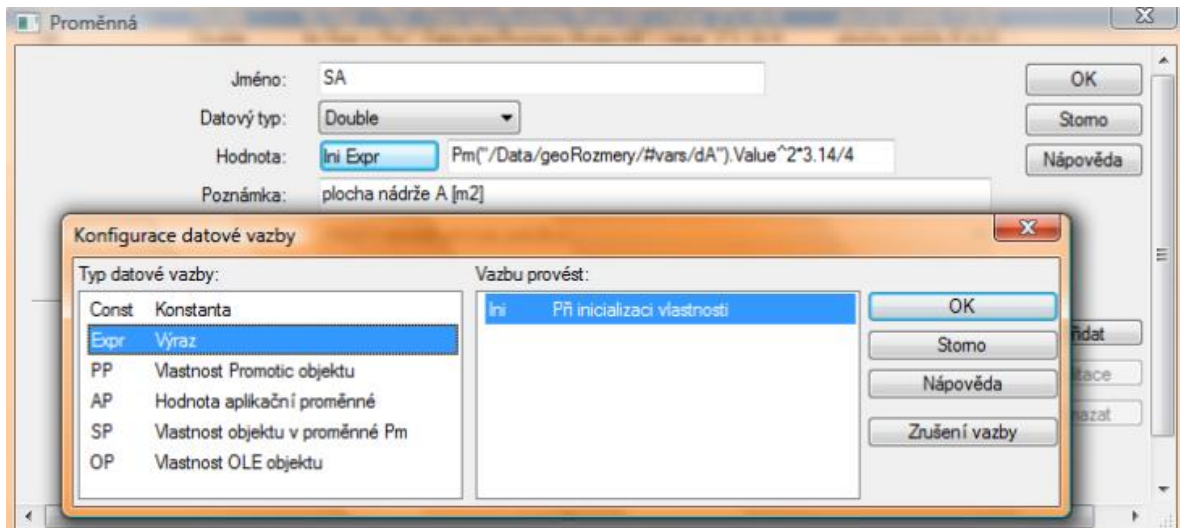


Рисунок 2.8 - Конфігурація прив'язки даних

Оскільки у нас є можливість змінити параметри резервуара перед запуском програми (наприклад, завантажити інші значення геометричних розмірів резервуара), ми повинні переконатися, що ці поверхні також змінюються для нас щоразу. Для цієї ситуації призначена подія `onItemAfterWrite` 4. У нас є три варіанти виклику цієї події. На рисунку 2.9 показано випадок, коли ми викликаємо цю подію кожного разу, коли значення цього елемента змінюється.

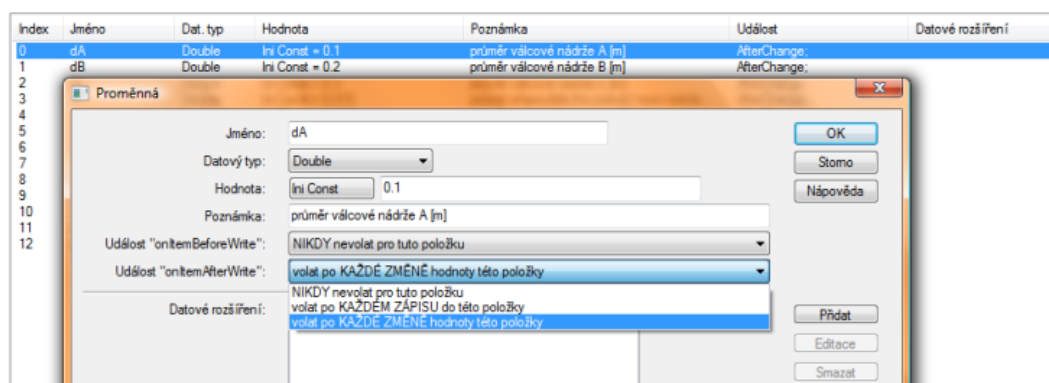


Рисунок 2.9 - Подія `onItemAfterWrite`

У нас є вибір між викликом після кожного запису в цей елемент і вже згаданим викликом після кожної зміни значення цього елемента. Ми

хочемо, щоб подія викликалася кожного разу, коли змінюються значення діаметра бака. Тому ми обираємо цей варіант. Тоді як, якщо ми виберемо опцію після запису, подія буде викликана лише після запису.

На вкладці події на вкладці onItemAfterWrite нам ще потрібно додати короткий сценарій. У цьому випадку це виглядає приблизно так:

```
Dim pi, dA 'створює 2 змінні pi і dA
```

```
p = 3,14
```

```
dA = Pm("/Data/geoDimensions/#vars/dA") 'для dA ми призначаємо шлях, де зберігається фактична змінна dA
```

```
Pm("/Data/geoDimensions/#vars/SA").
```

```
Value=pi*(dA^2)/4 'значення площі резервуара присвоюється властивості 'value' змінної SA
```

## 2.6 Завантажити/зберегти файл

Так як в одному пункті введення написано, що перед запуском програми з файлу будуть зчитуватися значення геометричних розмірів, то цю задачу потрібно вирішити. PROMOTIC використовує стандартні INI-файли Windows для простого налаштування файлів.

INI-файл містить так звані розділи та ключі. У квадратних дужках подається назва розділу. Окремі розділи можуть містити кілька ключів. Ім'я ключа кожного разу починається з нового рядка, і ми призначаємо йому заданий вміст за допомогою знака «дорівнює». Ключі завжди потрапляють у відповідний розділ, створений вище. Розділ закінчується створенням іншого розділу або закінченням файлу. Файл INI для геометричних резервуарів має такий вигляд:

```
[Georozmery]
```

```
dA=0,1
```

```
dB=0,2
```

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

dC=0,3

d=0,015

dv=0,005

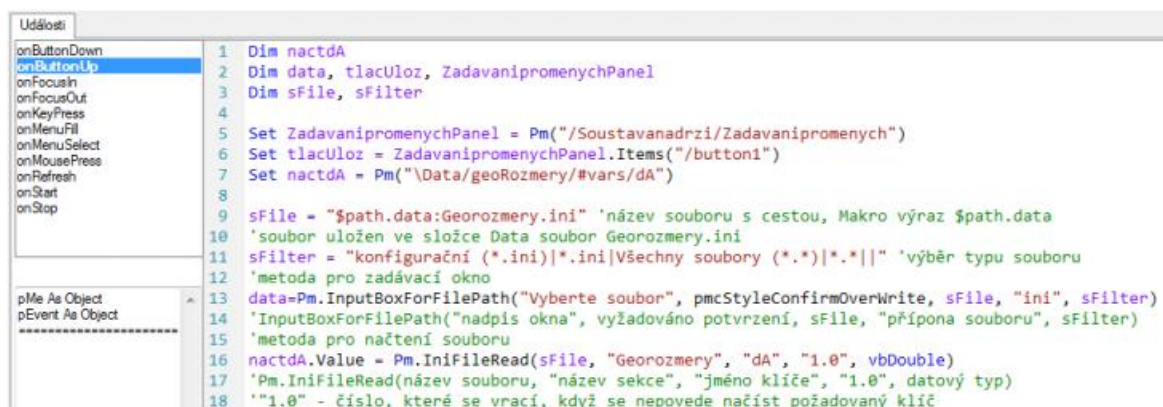
dp=0,0075

h0=0,1

Цей файл містить розділ під назвою Geodimensions, який містить 7 ключів. Як видно з прикладу, ключові значення такі ж, як і в таблиці 3. INI-файл для вхідних трибутарів буде виглядати подібним чином.

Створено 2 кнопки в редакторі зображень на екрані «Введення змінних».

Один називається «Завантажити з файлу», інший - «Зберегти у файл». Значення кнопок відповідає їх назві. Щоб завантажити файл, я додав сценарій (рисунок 2.10), що містить метод IniFileRead, до події onButtonUp 5. Цей метод гарантує, що задані значення завантажуються з файлу Geodimensions в окремі змінні програми.



```
1 Dim nactdA
2 Dim data, tlaclUloz, ZadavanipromenychPanel
3 Dim sFile, sFilter
4
5 Set ZadavanipromenychPanel = Pm("/Soustavanadrzi/Zadavanipromenych")
6 Set tlaclUloz = ZadavanipromenychPanel.Items("/button1")
7 Set nactdA = Pm("\Data\geoRoZmery/#vars/dA")
8
9 sFile = "$path.data:Georozmery.ini" 'název souboru s cestou, Makro výraz $path.data
10 'soubor uložen ve složce Data soubor Georozmery.ini
11 sFilter = "konfigurační (*.ini)|*.ini|Všechny soubory (*.*)|*.*|" 'výběr typu souboru
12 'metoda pro zadávací okno
13 data=Pm.InputBoxForFilePath("Vyberte soubor", pmcStyleConfirmOverWrite, sFile, "ini", sFilter)
14 'InputBoxForFilePath("nadpis okna", vyžadováno potvrzení, sFile, "připona souboru", sFilter)
15 'metoda pro načtení souboru
16 nactdA.Value = Pm.IniFileRead(sFile, "Georozmery", "dA", "1.0", vbDouble)
17 'Pm.IniFileRead(název souboru, "název sekce", "jméno klíče", "1.0", datový typ)
18 "'1.0" - číslo, které se vrátí, když se nepovede načíst požadovaný klíč
```

Рисунок 2.10 - Метод IniFileRead

Сценарій для збереження значень у файлі виглядав би схожим, за винятком того, що використовувався б метод IniFileWrite. Для повноти картини зазначу, що текст програми містить метод InputBoxForFilePath.

Основною функцією цього методу є відображення вікна введення. У цьому вікні користувач може змінити розташування даного файлу та його назву.

Оскільки програма містить кілька коротших сценаріїв і один великий сценарій таймера, мені потрібно було налагодити ці сценарії. PROMOTIC підтримує відладчик MS Office FrontPage 6 за замовчуванням. Однак після інсталяції програми FrontPage на комп'ютері з операційною системою Windows Vista мені не вдалося запустити сценарії налагодження.

PROMOTIC містить компонент системи INFO (рисунок 2.11). Це зведення інформації в спеціальному вікні, яке система дає нам, коли програма працює, і ми можемо її переглянути.

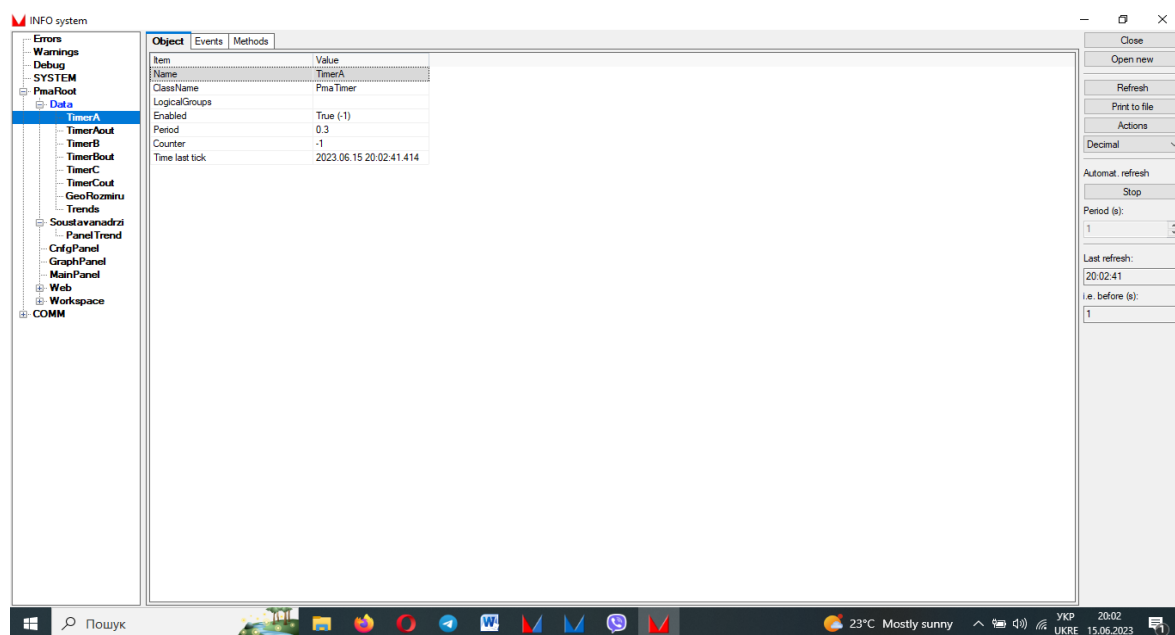


Рисунок 2.11 - Система INFO

Наприклад, він покаже нам, чи вже працює наш таймер, які значення висоти рівня, наскільки великі притоки та відтоки, але він також видасть нам повідомлення, якщо наш написаний сценарій містить

помилку. Якщо під час виконання сценарію виникає помилка, сценарій не завершується, але програма продовжує працювати.

У системі INFO ми дізнаємося інформацію, в події якого об'єкта сталася помилка. Система INFO повідомить нам, у якому рядку сталася помилка, а також ми отримуємо короткий коментар про те, що може бути не так. Так що не дуже зручно, але для простого тюнінгу цілком достатньо.

Основна частина цієї роботи полягає у створенні процедури розрахунку заданої системи звичайних нелінійних диференціальних рівнянь на мові VBScript. Ми маємо реалізувати ці численні розрахунки в режимі реального часу в середовищі PROMOTIC. У події onTick таймера ми створюємо сценарій, який обчислює диференціальні рівняння за допомогою методу Рунге-Кутта. Розмістивши код у події onTick, ми гарантуємо, що ця подія викликається кожного разу, коли таймер спрацьовує. Період тиків встановлюється на 1 секунду.

На початку ми оголошуємо необхідні змінні та призначаємо їм шлях до деревоподібної структури в редакторі програм. Ми ділимо вхідні притоки на число 60000, тому що ми не вводимо притоки в розмірі  $m^3 \cdot c^{-1}$  але в  $l \cdot xv^{-1}$ , але співвідношення враховують розмірність  $m^3 \cdot c^{-1}$ , отже цей перехід.

Як умова, ми дізнаємося, чи працює система і, отже, чи слід запускати таймер і разом з ним обчислення. У цьому стані відбудеться весь чисельний розрахунок. Спочатку ми переписуємо допоміжні обчислення у синтаксисі VBScript. Далі пишемо рівняння у векторній формі. Нарешті, ми приписуємо конкретизоване рівняння для всіх 3 рівнів. Цього разу ми помножимо потоки між резервуарами та вихідні потоки на 60000 і призначимо значення обчислених змінних фактичним змінним у дереві додатків. Нарешті, ми використаємо метод Run, який забезпечить запис значень в історію.

У скрипті додається умова, що якщо висоти рівнів були більше 2 м, то ці висоти встановлюються рівними 2 м. Цим ми висловлюємо, що у нас немає резервуарів з нескінченно великою висотою, але що після досягнення певного значення, рідина витікає через дренажну трубу.

## 2.7 Тренди

Одна частина завдання полягала в тому, щоб створити графік, що показує поточні значення рівнів у водоймах. PROMOTIC використовує для цієї частини систему Trends.

«Тренди» - це збереження вимірених значень заданих величин в історії для подальшої обробки. Ця ділянка має два стани. Ці стани реєструють дані та пізніше обробляють ці дані.

Перший стан - це фактичне збереження даних у потрібний нам файл у пам'яті. Другий стан - обробка цих даних. Ми можемо вибрати формат вихідного файлу для збереження даних.

За замовчуванням PROMOTIC зберігає значення у файлі з форматом двійкового файлу Promotic cyclic. Цей формат є виключно внутрішнім і не може бути прочитаний жодною іншою програмою.

Тому я вважав за краще використовувати файл бази даних Access (резервні копії Database Access) як вихідний формат для зберігання даних. Цей тип файлу підходить для зберігання невеликих обсягів даних. Дані чітко зберігаються в таблиці.

Тому для обробки даних ми не пов'язані лише з програмою PROMOTIC, але ми можемо відображати збережені значення, наприклад, у програмі Microsoft Office Access.

Для відображення часових курсів висот рівнів я використовував об'єкт TrendsView, а саме тип Trend Viewer із заголовком. Цей тип має

ту перевагу, що над графіком ми бачимо числові значення поточних висот із встановленими мінімальними та максимальними значеннями.

У нас також є можливість вимкнути відображення вибраного рівня води тут. Ми можемо прокручувати шкалу часу в минуле. У системі PROMOTIC такий тренд можна створити дуже просто, в редакторі зображень.

Далі ми додаємо метод Run до вихідного коду в подію onTick таймера. Цей спосіб гарантує, що після запуску програми значення висот рівнів з даними часу розрахунку будуть зберігатися в файл group0.mdb кожну секунду. На рисунку 2.12 ми бачимо, як може відобразитися такий графік виглядають висоти рівнів hA, hB, hC.



Рисунок 2.12 - Зразок трендів

## 2.8 Висновки до другого розділу

1. Редактор додатків є базовою частиною для створення програми в системі PROMOTIC. У редакторі додатків створюється деревоподібна структура об'єктів, яка поступово модифікується (шляхом зміни їх

налаштування). Можна призначати об'єктам типи даних (наприклад, double, string). Кожен об'єкт має подію, де записується алгоритми роботи об'єкта (скрипт).

2. Редактор зображень використовується для створення графічного зображення за допомогою графічних елементів. За допомогою цих графічних об'єктів можна створити будь-який зовнішній вигляд програми, будь то введення даних, керування чи візуалізація даних у трендах. Для цих об'єктів можна зв'язати деякі з їхніх властивостей за допомогою зв'язку даних. Ці властивості містять розмір, значення та колір. Зв'язування даних імені виражає зв'язок змінної з властивістю графічного елемента.

3. Для відображення часових курсів висот рівнів використовується об'єкт TrendsView, а саме тип Trend Viewer із заголовком. Цей тип має ту перевагу, що над графіком ми бачимо числові значення поточних висот із встановленими мінімальними та максимальними значеннями. Цей спосіб гарантує, що після запуску програми значення висот рівнів з даними часу розрахунку будуть зберігатися в файл group0.mdb кожену секунду.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

## 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA РЕЗЕРВУАРНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1 Розробка структурної схеми контуру регулювання резервуарної системи

Програма керування розроблена в середовищі програмування CODESYS з використанням ПЛК ABB PM 573 та модуля введення/виведення DA501. Перед написанням алгоритму керування була створена блок-схема структури програми, щоб зробити логіку керування системою зрозумілою та легкою розробкою в майбутньому. Під час написання керуючої програми основними вимогами були критерії простоти, читабельності та точності.

CODESYS (система розробки контролерів) - це інженерне програмне забезпечення IEC61131-3, яке використовують понад 400 виробників ПЛК для своїх контролерів.

CODESYS - це програмне забезпечення для програмування ПЛК з відкритим вихідним кодом, розроблене німецькою компанією з програмного забезпечення 3S - Smart Software Solutions. ABB Automation Builder базується на цьому встановленому програмному забезпеченні. Він пропонує користувачам орієнтовані на практику інтегровані рішення для зручного налаштування програм автоматизації.

Відкриті інтерфейси, комплексні функції безпеки та зручне підключення до хмарної платформи адміністрування роблять CODESYS природною платформою Industry 4.0. Кінцеві користувачі використовують CODESYS для успішного створення складних і простих додатків автоматизації для промислових контролерів, що

використовуються на заводах, мобільних машинах, енергетичних системах і системах автоматизації будівель, а також у багатьох інших областях.

Для керування системою керування також використовувався CODESYS із зазначених причин. Безкоштовна ліцензія та зручний інтерфейс також дозволяють користувачеві створювати алгоритми керування та людино-машинні інтерфейси в одному програмному забезпеченні.

CODESYS підтримує п'ять різних мов програмування ПЛК відповідно до міжнародного промислового стандарту IEC61131-3. Ці мови:

- список інструкцій (IL);
- структурований текст (ST);
- сходова діаграма (LD);
- функціональна блок-схема (FBD);
- послідовна функціональна схема (SFC).

Було вирішено написати керуючу програму на мовах структурованого тексту (ST), оскільки вона синтаксично виглядає як мови програмування високого рівня, наприклад, C та C++. Порівняно з іншими мовами програмування в стандарті IEC61131-1, послідовність і логіку програми, написаної в структурованому тексті, легше читати і розуміти і займати менше місця.

ПД регулятори зазвичай використовуються як регулятори із зворотним зв'язком із замкнутим контуром і зустрічаються в різних схемах сервоприводів.

Пропорційний (P), інтегральний (I) і диференціальний (D) - це три параметри керування контуром ПД, а їхні літери утворюють акронім ПД. Метою всіх схем сервоприводу є утримання системи на контрольному значенні (заданому значенні) протягом тривалого періоду часу.

Контур ПД-регулятора активно керує системою, генеруючи сигнал помилки, який є різницею між опорним значенням і поточним значенням, щоб підтримувати задане значення.

Три елементи керування пов'язані із залежним від часу сигналом помилки, який можна узагальнити таким чином: пропорційний – на основі поточної помилки, інтегральний – на накопиченні попередніх помилок, а похідний – на прогнозі майбутніх помилок. Після цього виходи кожного з контролерів вводяться у зважену суму, яка змінює вихід схеми,  $u(t)$ .

Пристрій керування отримує цей вихідний сигнал, який потім повертає своє значення назад у схему. Це дозволяє процесу активно стабілізувати вихідний сигнал схеми для досягнення та підтримки заданого значення.

Залежно від системних вимог і необхідності, один або кілька елементів керування можуть бути використані в будь-якій сервосхемі (наприклад, P, I, PI, PD або PID). Відносно швидку реакцію з невеликим перевищенням (проходження заданого значення) і дзвінком (коливання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

навколо заданого значення) можна отримати шляхом адекватного регулювання регуляторів у схемі ПД.

Більші пропорційні посилення призводять до більш значних змін у реакції на помилку, що зменшує здатність контролера реагувати на зміни системи. У той час як високе пропорційне посилення може змусити схему швидко реагувати, занадто високе число може спричинити перевищення та коливання навколо значення SP. Якщо пропорційне посилення занадто низьке, контролер не зможе ефективно реагувати на зміни в системі.

Інтегроване керування ефективно збільшує час відгуку схеми, одночасно усуваючи похибку в стаціонарному стані, яку спричиняє строге пропорційне посилення. Високі значення посилення можуть спричинити серйозне перевищення значення, що призведе до коливань і нестабільності через швидку реакцію інтегрального керування. З низьким інтегральним підсиленням схема буде повільніше реагувати на зміни в системі.

На відміну від пропорційного та інтегрального керування, диференційне керування сповільнює реакцію схеми. Таким чином він може частково компенсувати перерегулювання та гасити будь-які коливання, викликані інтегральним і пропорційним керуванням. Схема реагує повільно, коли посилення встановлено занадто високим. Якщо похідна посилення занадто низька.

Для налаштування ПД-регулятора використовувався метод налаштування Зіглера-Ніколса і дотримувались наступних кроків: інтегральне і похідне підсилення встановлюються на нуль перед ручним налаштуванням ПД-регулятора та збільшуються пропорційним підсиленням, поки вихідні коливання не стануть видимими.

Тоді пропорційне підсилення має бути встановлено приблизно на половину цього значення. Інтегрований коефіцієнт підсилення слід підвищувати після налаштування пропорційного підсилення, доки зміщення не буде відрегульовано на часовій шкалі, яка працює для системи.

Якщо це підсилення збільшити занадто сильно, значення буде перевищувати, і схема стане нестабільною. Похідне підсилення можна збільшити після встановлення інтегрального підсилення.

Диференціальне підсилення зменшує перерегулювання та швидко повертає систему. У системі спостерігатиметься значне перевищення, якщо похідна посилення збільшиться занадто сильно (оскільки схема реагує надто повільно). Продуктивність ПД-регулятора можна покращити шляхом регулювання налаштувань підсилення, в результаті чого схема швидко реагує на зміни в системі та ефективно зменшує вібрації.

Процес починається з перемикання ПЛК у робочий стан. Необхідно перевірити польові шини на передачу даних, оскільки між апаратним забезпеченням і ПЛК використовується міст.

Якщо плату збору даних вимкнено або передача даних припинена, можна запобігти виконанню програми. З міркувань безпеки ПЛК має перевірити аварійну (E-stop-B), зупинку (Stop-B) і запуск (Start-B) перед надсиланням або отриманням будь-якої команди чи даних.

Першу аварійну кнопку потрібно перевірити; кнопка повинна бути у відпущеному положенні; якщо аварійна кнопка натиснута, PLC автоматично завершує виконання програми. Також потрібно відпустити кнопку зупинки.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

В іншому випадку ПДД-регулятор не почне виконання, поки не буде відпущена кнопка зупинки. Щоб почати виконання програми, необхідно натиснути кнопку запуску. Інакше виконання програми не почнеться.

Наступним кроком PLC отримує висоту рівня води в резервуарах через датчики рівня 1 і рівня 2 і перевіряє стан переповнення. Як середній, так і верхній баки можна заповнити макс. 25 см, а за нашою логікою 25 см – це межа переповнення, висота понад 25 см в обох резервуарах або лише в одному резервуарі вважається умовою переповнення, і для запобігання затопленню необхідно виконати наступні кроки.

Програма спочатку перевіряє рівень води у верхньому резервуарі; якщо рівень води у верхньому резервуарі перевищує OF\_L (межа переповнення), то програма перевірить висоту води в середньому резервуарі, і якщо висота середнього резервуару також перевищує максимальну межу, програма повинна обчислити об'єм надлишковий об'єм води в обох резервуарах і перевищену кількість води в обох резервуарах необхідно злити із середнього резервуару, відкривши клапан 2 (V2).

Коли рівень у середньому резервуарі досягне розрахункової висоти, буде відкрито клапан 1 (V1), щоб спорожнити верхній резервуар і підтримувати рівень на межі. Припустімо, що рівень води у верхньому резервуарі знаходиться в діапазоні, а програма не визначає умов переповнення.

У цьому випадку алгоритм перевірятиме лише стан середнього бака, а в разі переповнення клапан 2 буде відкритий, а висота підтримуватиметься на обмеженні. Якщо в жодному резервуарі не

виявлено переповнення, тоді ПІД-регулятор (PID\_C\_ON) починає роботу і перевіряє фактичне значення середнього бака.

Щоб досягти заданого значення в середньому резервуарі, клапан 2 має бути закритий, а клапан 1 має бути відкритий, оскільки вихід із верхнього резервуару є входом середнього резервуару.

У разі будь-якої умови, якщо рівень (L) середини перевищує задане значення, тоді клапан 1 повинен негайно закритися, а клапан 2 має бути відкритий за допомогою ПЛК, щоб знизити рівень до заданого значення, поки рівень у другому резервуарі не досягне рівня. досягає мети. І клапан 1, і клапан 2 повинні бути закриті, якщо задане значення підтримується в резервуарі 2.

На наступному кроці ПІД-регулятор перевіряє рівень води у верхньому резервуарі, і якщо висота не відповідає заданому значенню, насос працює до досягнення задане значення.

При досягненні потрібного рівня у верхньому резервуарі виконання програми завершується; якщо виявлено, що рівень у верхньому резервуарі перевищує задане значення 1, тоді клапан 1 повинен бути відкритий.

Надлишок води необхідно злити в резервуар 2 для підтримки рівня в контрольному значенні. Якщо надмірна кількість води надходить до резервуара 2, рівень у резервуарі 2 буде вищим за задане значення. У цьому стані клапан 2 має відкриватися автоматично, щоб досягти заданого значення. Коли бажане задане значення досягнуто на обох баках, потім програма припиняє виконання. Повну логіку роботи системи можна побачити на блок-схемі нижче на рисунку 3.1.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

45

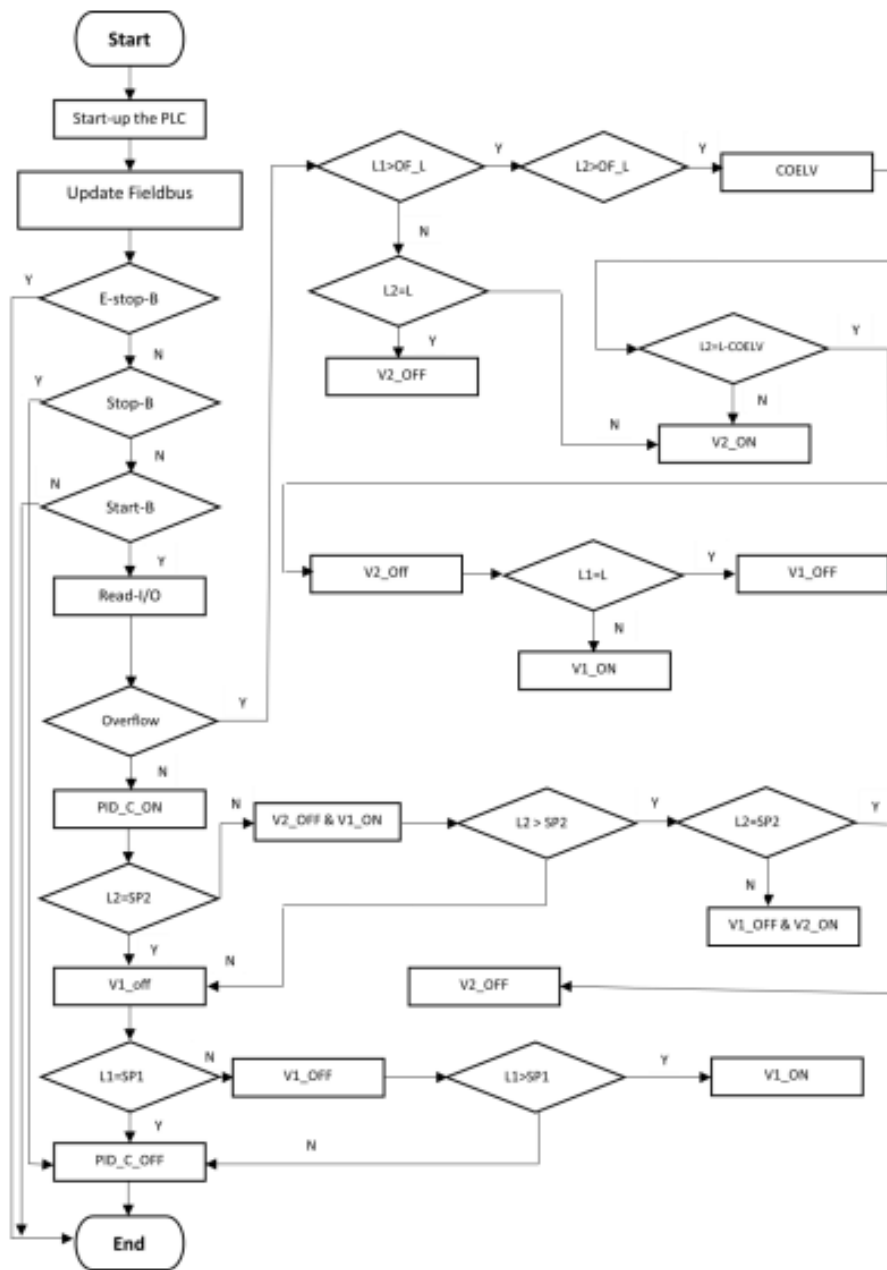


Рисунок 3.1 – Блок схема програмного забезпечення

### 3.2 Вибір панелі оператора для інтерфейсу людина-машина (ІЛМ) резервуарної системи

Панелі керування CP600-еСо поєднують у собі передові технології та високу продуктивність із приголомшливим дизайном. Вони були

створені, щоб забезпечити виняткове співвідношення ціна/продуктивність для вимогливих програм.

Програмне забезпечення РВ610-В призначене для роботи на панелях керування СР600-еСо. Основна мета ІЛМ в нашій системі - дозволити користувачеві керувати дистанційно без взаємодії з системою керування, що безпечніше та економить час.

Крім того, за допомогою ІЛМ користувач може окремо встановлювати задані значення баків, змінювати параметри PID, переглядати рівень кожного бака на екрані ІЛМ як у візуальному режимі, так і в значеннях, перевіряти час роботи системи за попередні дні, і порівняйте фактичну висоту з висотою, яку візуально вимірюють датчики рівня.

Через технічні можливості, ціну та доступність було вирішено використовувати АВВ СР610 ІЛМ для візуального керування нашою системою керування, щоб зменшити вартість і час компіляції проекту. Нижче наведено технічні можливості СР610.

1. Працює з РВ610 Panel Builder 600.
2. Повна підтримка векторної графіки. Графічні об'єкти SVG, прозорість і альфа-змішування підтримуються.
3. Керує видимістю та прозорістю будь-якого об'єкта на екрані, а також переміщуєте, повертайте та змінюйте його розмір. Характеристики основних і складних предметів можна змінювати.
4. Шрифти TrueType використовуються в багатомовних програмах. Щоб відповідати світовим вимогам, легко створюйте, встановлюйте та обслуговуйте програми багатьма мовами.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

47

5. Дані можуть бути представлені декількома способами, включаючи гістограми, числа, текст, аналогові датчики та візуальні зображення.

6. Збір і реєстрація даних, представлення тенденцій, обробка тривоги, планувальник і тимчасові дії (щоденні та тижневі розклади, виняткові дати), рецепти, безпека та адміністрування користувачів, електронна пошта та канали RSS - лише деякі з найсучасніших можливостей CP600.

7. Доступно багато комунікаційних драйверів, деякі з яких можуть спілкуватися з багатьма драйверами.

8. Можливість клієнт-сервер дозволяє здійснювати віддалений моніторинг і контроль.

9. За допомогою програмного забезпечення PB610-B ви можете симулювати як онлайн, так і офлайн.

10. Мова сценаріїв має велику потужність для автоматизації програм CP600. Хороший налагоджувач сценаріїв підвищує продуктивність розробки програм.

11. Символи та об'єкти у векторному форматі.

Основна ідея полягала в тому, щоб підключити всі вхідні та вихідні сигнали безпосередньо до модулів введення/виведення ПЛК без використання карти збору даних. Проте, через вищу (200-600 кГц) робочу частоту датчиків рівня, було вирішено використовувати карту збору даних RT-DAC/USB2, для перетворення 200-600 кГц в 0-10 В для ПЛК.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

48

Максимальна робоча частота ПЛК АВВ АС500 становить 50 кГц, що не застосовується до робочої частоти датчиків рівня цільової системи керування. Перш ніж прийняти рішення про використання карти збору даних між ПЛК і системою керування, було проведено дослідження та проаналізовано провідних постачальників ПЛК.

У результаті з'ясувалося, що більшість моделей ПЛК та їхні загальні модулі вводу/виводу працюють в межах 0–50 кГц, що не підходить для цього проекту. Для більш високих частот виробники пропонують більший діапазон спеціальних модулів введення/виведення, які коштують більше грошей і часу доставки.

RTDAC/USB2 - це багатофункціональна цифрова та аналогова плата вводу/виводу для збору даних у реальному часі та керування ними в середовищах Windows.

Усі плати створено як версія OMNI, що означає, що карти можна переконфігурувати без будь-яких змін у апаратному забезпеченні, щоб представити нові функції для всіх входів і виходів.

Стандартна конфігурація мікросхеми FPGA отримує сигнали від інкрементних кодерів і створює ШІМ-виходи, типові для додатків мехатронного керування, і оснащена універсальними цифровими входами/виходами, аналого-цифровими та цифро-аналоговими перетворювачами, частотомірами, таймерами, хронометрами та лічильниками.

Модуль ПЛК АВВ РМ573 підтримує як послідовний, так і Ethernet-інтерфейс зв'язку. У цій дипломній роботі як послідовний, так і Ethernet протоколи зв'язку використовуються для з'єднання між ПЛК і ПК.

Для з'єднання ПЛК і ПК за допомогою протоколу Ethernet необхідно налаштувати IP-адресу. Вибрати «Інструменти» -> «Конфігурація IP» на верхній панелі інструментів і натисніть «Сканувати», щоб дослідити IP-адресу підключеного пристрою.

Після цього вкажіть IP-адресу, клацнувши правою кнопкою миші на програмованому пристрої в дереві проекту та вибравши «Параметри зв'язку». З міркувань безпеки необхідно призначити однакову маску підмережі для ПЛК і ПК. Якщо процес призначення маски підмережі та IP-адреси завершено, програму можна завантажити на ПЛК, і програму можна запустити, натиснувши кнопку «Запустити» на апаратному забезпеченні ПЛК або натиснувши кнопку «Онлайн» -> «Вхід» -> «Запустити» на програмному забезпеченні.

Щоб підключити ПЛК ABB AC500 до НМІ ABB CP610, на обох пристроях використовується вбудований інтерфейс TCP/IP на основі порту Ethernet, а для зв'язку між панеллю та ПЛК використовується протокол ABB CODESYS Ethernet.

Важливо, щоб IP-адреси ПЛК і панелі входили в одну групу IP, включаючи маски підмережі. Для ПЛК IP-адресу можна налаштувати, як зазначено в попередньому параграфі. Тим не менш, для панелі CP610 відповідну IP-адресу потрібно налаштувати безпосередньо в параметрах системи панелі в апаратному забезпеченні або на веб-сторінці

### 3.3 Висновки до третього розділу

1. Програма керування розроблена в середовищі програмування CODESYS з використанням ПЛК ABB PM 573 та модуля введення/виведення DA501. Перед написанням алгоритму керування

була створена блок-схема структури програми, щоб зробити логіку керування системою зрозумілою та легкою розробкою в майбутньому. Під час написання керуючої програми основними вимогами були критерії простоти, читабельності та точності.

2. Контур ПД-регулятора активно керує системою, генеруючи сигнал помилки, який є різницею між опорним значенням і поточним значенням, щоб підтримувати задане значення.

3. Три елементи керування пов'язані із залежним від часу сигналом помилки, який можна узагальнити таким чином: пропорційний – на основі поточної помилки, інтегральний – на накопиченні попередніх помилок, а похідний – на прогнозі майбутніх помилок. Після цього виходи кожного з контролерів вводяться у зважену суму, яка змінює вихід схеми.

4. Через технічні можливості, ціну та доступність було вирішено використовувати АВВ СР610 ІЛМ для візуального керування нашою системою керування, щоб зменшити вартість і час компіляції проекту.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ

Арк.

51

## ВИСНОВКИ

В процесі розробки SCADA резервуарної системи була обрана програма PROMOTIC. PROMOTIC - це комплексна система SCADA, яка дозволяє налаштувати велику кількість пристроїв для створення додатків.

В першому розділі була розглянута математична модель резервуарної системи.

У другому розділі проведено розробку SCADA резервуарної системи в програмному середовищі PROMOTIC.

Розроблено принцип роботи SCADA резервуарної системи на рівні структурної схеми.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення SCADA резервуарної системи.

Розроблено блок-схему контуру регулювання SCADA резервуарної системи.

Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення системи автоматичного керування електричним двигуном для водопостачання.

Програма керування розроблена в середовищі програмування CODESYS з використанням ПЛК ABB PM 573 та модуля введення/виведення DA501. Перед написанням алгоритму керування була створена блок-схема структури програми, щоб зробити логіку керування системою зрозумілою та легкою розробкою в майбутньому. Під час написання керуючої програми основними вимогами були критерії простоти, читабельності та точності.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 A. Amirat, A. Mohamed-Chateauneuf, K. Chaoui, Reliability assessment of underground pipelines under the combined effect of active corrosion and residual Stress, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 83 (2006) 107-117.

2 M. Ahammed, R. E. Melchers, Reliability of underground pipelines subject to corrosion, Journal of Transportation Engineering, 120 (1994) 989-1002.

3 S. A. Andreou, D.H. Marks, R.M Clark, A new methodology for modeling break failure patterns in deteriorating water distribution Systems: Theory, Advances in Water Resources, 10 (1987) 2-10.

4 J. M. Makar, R.Desnoyers, S.E McDonald, Failure modes and mechanisms in grey cast iron pipes, in Proc. International Conference on Underground Infrastructure Research, A.A. Balkema Publishers, Kitchener, Ontario, 2001 pp. 303-312.

5 B. Rajani, J. Makar, A methodology to estimate remaining service life of grey cast iron water mains," Canadian Journal of Civil Engineering, 27 (2000) 1259-1272.

6 M. Ivetic, Forensic transient analyses of two pipeline failures, Urban Water Journal, 1 (2004) 85-95.

7 B. Rajani, J. Lewandowski, A. Margevicius, Failure analysis of cast iron trunk main in Cleveland, Ohio, Journal of Failure Analysis and Prevention, 12 (2012) 217-236.

8 J. M. Makar, A preliminary analysis of failures in grey cast iron water pipes, Engineering failure analysis 7 (2000) 43-53

					КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

9 R. Das, S. Dutta, A. Sarkar and K. Samanta, “Automation of Tank Level Using PLC and Establishment of HMI by SCADA,” IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), vol. 7, pp. 61-67, 2013.

10 M. F. Rahmat and S. M. Rozali, “Modelling and Controller Design for a Coupled Tank Liquid Level System: Analytysis & Comparison,” Jurnal Teknologi, pp.113 – 41, 2008.

11 P. Panchal, A. Patel, and J. Barve, “PI control of level control system using PLC and LabVIEW based SCADA,” in 2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC). IEEE, 2015, pp. 1196 - 1201.

12 D. Engin and M. Engin, “Auto-tuning of PID parameters with programmable logic controller,” in 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA). IEEE, 2013, pp. 1469 - 1474.

13 A. Lukman, O. Abisoye, J. Agajo, A. Ajao, A. F. Salami and M. B. Muazu,

14 “Automated Multiple Water Tanks Control System Using ATMEGA and FPGA

15 Technology,” presented at the IEEE 1st International Conference on Mechatronics, Automation and Cyber-Physical Computer System, Owerri, Nigeria, Mar. 2019.

16 A. Smolov, “Controlling of multitank system using Raspberry Pi”, M.S. thesis, Dep. Comp. Sys., Tallin University of Technology, 2017.

17 Peng Jiang, etal, “Design of a Water Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks”, Sensors 2009, 9, 6411-

6434; doi: 10.3390/s90806411.

18 Akyildiz, L.F, “Wireless Sensor Networks: A Survey”. Computer Network. 2002, 38, 393–422.

19 IP SCADA: The Missing Link, SkyWave Mobile Communication, IP SCADA Feature for ISat Data PRO.

20 Can We Learn from SCADA Security Incidents?, Enisa, October, 2013.

21 A. J. Whittle, et al, ”Sensor Networks For Monitoring And Control Of Water Distribution Systems”, The 6th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure Hong Kong 9-11 December, 2013.

22 Srirangarajan, S, et al, (2010) “Water Main Burst Event Detection and Localization,” Proc. ASCE 12th Water Distribution Systems Analysis Conference (WDSA'2010), Tucson, pp.1324-1335.

23 Tullis, J.P. (1989), “Hydraulics of pipelines: Pumps, valves, cavitation, transients”. New York: Wiley-Interscience.

24 Pearson, D., et al, (2005) “Searching for N2: How does pressure reduction reduce burst frequency?” Proc. Intl. Water Assoc. Leakage Conference, p13.

25 Misiunas, D., et al, (2005), “Burst Detection and Location in Water Distribution Networks,” Water Science and Technology: Water Supply, 5(3–4), 71–80.

26 Bergant, A., et al, (2008) “Parameters Affecting Water -Hammer Wave Attenuation, Shape and Timing –Part 1: mathematical tools,” Journal of Hydraulic Research, 46(3), 373–381.

					КРБАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

27 Dijkstra E.W. (1959) "A Note on Two Problems in Connection with Graphs," Numerische Mathematik, 1, 269–271.

28 Abdullah, M.A.B.2008. Water level in tank using level sensor and PID controller. University Malaysia Pahang Faculty of Electrical & Electronics Engineering).Pahang. Accessed 10.3.2012.

29 Bischoff, H. & Hofmann, D. Terzi, E.V 1997. Process Control System. Denkendorf. Festo Didactic GmbH & Co.

30 Cooper, D J. 2006. Controlguru Practical Process Control. Connecticut, United States of America. Accessed 24.2.2012. <http://www.controlguru.com/>.

31 Dunning, G.2006.Introduction Programmable Logic Controllers. Accessed 24.3.2012. <http://processcontrol.analog.com/en/programmable-logiccontrollers/segment/pcia.html?gclid=CJqiqpXZgrACFcQtmAodaU-rsg>

32 Gould, L.S. 2006 Programmable Logic Controllers Transformed. Automotive Design & Production. ABI/Inform Global, 56-58.

33 Hasim, N.B.2008.Water Level and Temperature Control Using Programmable Logic Controller (PLC). University Teknikal Malaysia.Melaka.Accessed 14.3.2012

34 Ismail, M.H.B. 2008. Rain-water PLC based detector and valve switcher. University Malaysia Pahang. Pahang.1-13

35 Jack, H. 2012. Automating Manufacturing Systems with PLC-s. Accessed 16.3.2012.[http://engineeronadisk.com/V2/book\\_PLC/engineeronadisk-78](http://engineeronadisk.com/V2/book_PLC/engineeronadisk-78).

36 Synchrony.2001. Trends in SCADA for Automated Water Systems. Accessed 3.4.2012. [http://www.sunapsys.com/trends\\_SCADA.pdf](http://www.sunapsys.com/trends_SCADA.pdf).

37 K. Åström and T. Hägglund, PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), 1995.

38 H. Aslan, T. Akgu" n, Baraj Yo" netim SCADA Sistemi (Dam Management SCADA System), Bilesim Otomas-yon Dergisi, (September 2010), 8–13.

39 J.D. Klipsch, T.A. Evans, Reservoir operations modeling with Hec-ResSim, Proceedings of the Third Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference (3rd FIHMC), Reno, NV, April 2–6, 2006, pp. 1–8.

40 The SCADA system applications in management of Yuvacik Dam and Reservoir. Available from:

[https://www.researchgate.net/publication/271936431\\_The\\_SCADA\\_system\\_applications\\_in\\_management\\_of\\_Yuvacik\\_Dam\\_and\\_Reservoir](https://www.researchgate.net/publication/271936431_The_SCADA_system_applications_in_management_of_Yuvacik_Dam_and_Reservoir).

## ДОДАТКИ

# Додаток А

## Головна панель SCADA резервуарної системи

The screenshot displays the SCADA Main Panel for a reservoir system. The interface includes a menu bar with options like 'MainPanel', 'Events', 'Methods', 'Panel', 'Graphics', 'Permissions', and 'Web server'. The main area shows a detailed piping diagram with three tanks (A, B, C) and various valves and pumps. The tanks are labeled with '1000000' and '2000000'. The diagram includes flow indicators and control elements. The software version is 3.0.24.0.1304. The title bar indicates 'MainPanel (MainPanel)'.

№	П.п.	Ім'я	Дія	Статус	Датум	Підпис	Підпис	Підпис	Підпис
1	1	Системний адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
2	2	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
3	3	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
4	4	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
5	5	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
6	6	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
7	7	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
8	8	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
9	9	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				
10	10	Адміністратор	Адміністратор	Активний	2020.02.01				

**КБ ПАКІТ, 2020040.01.02.ПЗ**

SCADA резервуарної системи

МДП

# Додаток Б Панель вводу даних SCADA резервуарної системи

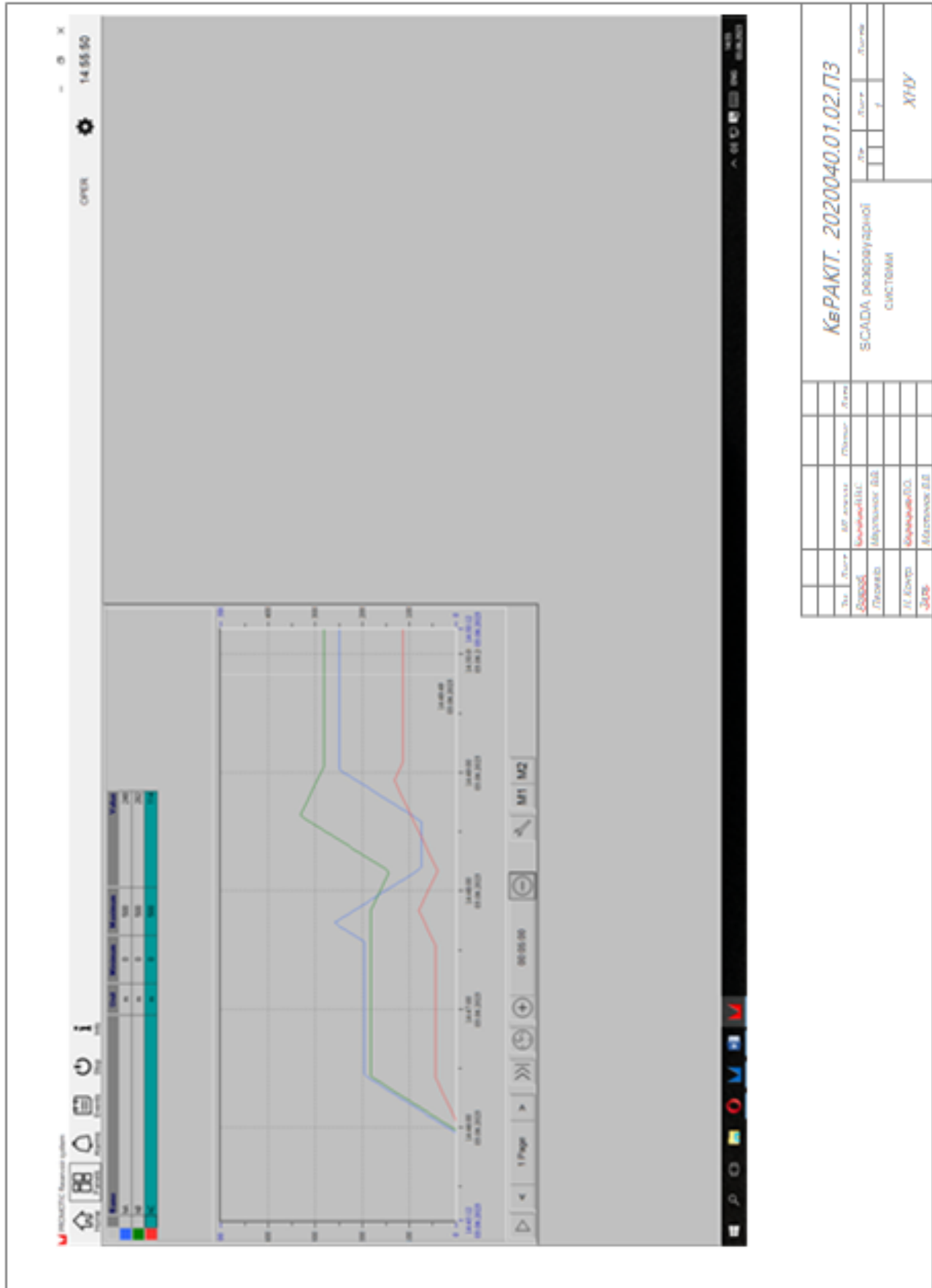
The screenshot displays the SCADA software interface for a reservoir system. The main window is titled 'Input variables' and contains several sections for data entry:

- Input streams:** Contains three rows of input fields labeled 'QA', 'QB', and 'QC'. Each row has a 'Text' field, a 'Unit' dropdown, and a 'Value' input field. Below these are buttons for 'Download from File' and 'Save to file'.
- Geometric dimensions of the tanks:** Contains six rows of input fields labeled 'dA', 'dB', 'dC', 'hA', 'hB', and 'hC'. Each row has a 'Text' field, a 'Unit' dropdown, and a 'Value' input field. Below these are buttons for 'Download from File' and 'Save to file'.
- Current levels in tanks:** Contains three rows of input fields labeled 'MA', 'MB', and 'MC'. Each row has a 'Text' field, a 'Unit' dropdown, and a 'Value' input field. Below these are buttons for 'Download from File' and 'Save to file'.
- Values:** Contains six rows of input fields labeled 'vA', 'vB', 'vC', 'vAB', 'vBC', and 'vCA'. Each row has a 'Text' field, a 'Unit' dropdown, and a 'Value' input field. Below these are buttons for 'Download from File' and 'Save to file'.

The interface also includes a top menu bar with options like 'Object', 'Events', 'Methods', 'Panel', 'Graphics', 'Permissions', and 'Web server'. A status bar at the bottom shows 'Version 3.0.24.0.133M'.

№	Ім'я	Вид	Тип	Значення
1	QA	Flow rate	l/min	0
2	QB	Flow rate	l/min	0
3	QC	Flow rate	l/min	0
4	MA	Level	m	0
5	MB	Level	m	0
6	MC	Level	m	0
7	vA	Flow rate	l/min	0
8	vB	Flow rate	l/min	0
9	vC	Flow rate	l/min	0
10	vAB	Flow rate	l/min	0
11	vBC	Flow rate	l/min	0
12	vCA	Flow rate	l/min	0
<b>КБРАКІТ. 2020040.01.02.ПЗ</b>				
SCADA резервуарної системи				
СІМІОН				
МНУ				

Додаток В  
 Панель виводу графіків SCADA резервуарної системи



КВРАКІТ. 2020040.01.02.П3

№	Пункт	ВР	Адрес	Помилка	Датум
1	Відомості	0000000000	0000000000		
2	Відомості	0000000000	0000000000		
3	Відомості	0000000000	0000000000		
4	Відомості	0000000000	0000000000		
5	Відомості	0000000000	0000000000		
6	Відомості	0000000000	0000000000		
7	Відомості	0000000000	0000000000		
8	Відомості	0000000000	0000000000		
9	Відомості	0000000000	0000000000		
10	Відомості	0000000000	0000000000		

SCADA резервуарної системи

ХНУ

Ім'я користувача:  
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:  
1015620881

Дата перевірки:  
16.06.2023 06:25:47 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
16.06.2023 06:30:37 EEST

ID користувача:  
100005862

Назва документа: Koleyko

Кількість сторінок: 60 Кількість слів: 10254 Кількість символів: 76175 Розмір файлу: 2.41 MB ID файлу: 1015268066

371 слово позначене як "вилучене" та не враховується у підрахунку слів

## 4.48% Схожість

Найбільша схожість: 1.91% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1008414868)

3.26% Джерела з Інтернету 112 ..... Сторінка 62

3.19% Джерела з Бібліотеки 13 ..... Сторінка 63

## 0% Цитат

Цитати 12 ..... Сторінка 64

Посилання 1 ..... Сторінка 64

## 0% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

0% Вилучення з Інтернету 7 ..... Сторінка 65

0% Вилученого тексту з Бібліотеки 7 ..... Сторінка 65

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 17

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 3.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 11%

ID: 116572 Назва: БКР SCADA резервуарної системи Додано в БД: 2023-06-16 Автора: Володимир КОЛЕЙКО Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	62398	561	2311 (4%)	34 (6%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Нааявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Колейко Володимир Вячеславович

Тема: SCADA резервуарної системи

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 60

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: SCADA резервуарної системи

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи SCADA резервуарної системи, а також алгоритми керування SCADA резервуарної системи.

У другому розділі проведено аналіз вимог технічного завдання на розробку SCADA резервуарної системи.

Розроблено принцип роботи SCADA резервуарної системи на рівні структурної схеми.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення SCADA резервуарної системи.

Розроблено структурну схему контуру регулювання системи автоматичного керування SCADA резервуарної системи я.

Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення SCADA резервуарної системи.

4. Позитивні сторони роботи: SCADA резервуарної системи розроблена в програмному середовищі PROMOTIC.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється огляду існуючих технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (3,75/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Майдан Павло Сергійович, к.т.н, доцент  
каф. машин і апаратів електромеханічних  
та енергетичних систем, ХНУ

"15" 06 2023 р.

Майдан (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартиноку В.В.

Колейко В.В.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи АКІТс-20-1

### ЗАЯВА

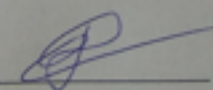
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2023

дата

  
підпис

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системною виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: SCADA резервуарної системи

Автор: Колейко Володимир Вячеславович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, доктор технічних наук, професор.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданій поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 4,48% і адресується до 125 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 16.06.2023р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Валерій МАРТИНЮК