

## ПРИНЦИП ПОБУДОВИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РОБОТИ РОЗУМНОЇ ТЕПЛИЦІ

Ю.С.Клушин, М.А.Цап'як

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра електронних обчислювальних машин  
E-mail: [mikletsapiak@gmail.com](mailto:mikletsapiak@gmail.com), [Yurii.S.Klushyn@lpnu.ua](mailto:Yurii.S.Klushyn@lpnu.ua)

© Клушин Ю.С., Цап'як М.А., 2021

Кіберфізична система – це механізм, що контролюється або відстежується комп'ютерними алгоритмами і тісно пов'язаний з інтернетом і взаємодією з фізичним світом. Система описує поєднання між собою трьох основних компонентів : фізичного світу, програмного алгоритму і інтернету. На основі цих компонентів розроблено принципи побудови системи контролю роботи розумної теплиці, описане середовище розробки з його функціями і можливостями. Запропоновано алгоритми запуску і налаштування програми з поясненнями ключових моментів в роботі системи. Дана система спрямована на покращення ефективності процесу вирощування овочевих культур. Система є простою в використанні. Всі програмні засоби взаємодіють між собою за чітко визначеними протоколами і тому не виникає збоїв в роботі системи. Однією з особливостей даної системи є швидкодія опитування давачів, що є актуальним в даний час. Система складається з простого користувачького інтерфейсу, який може бути модифікований за вимогами користувача.

Ключеві слова: кіберфізична система, розумна теплиця, алгоритм, віддалений контроль, функціональні блоки, промисловий контролер, програмно- логічне керування.

### Вступ

Від першої відомої оранжереї, побудованої римлянами майже два тисячоліття тому, до гідропонічних теплиць Другої світової війни та появи на сучасному ринку розумних теплиць. Теплиці, перетворились впродовж століття від дослідницьких об'єктів та експериментальної технології вирощування, у реальний метод великомасштабного виробництва продуктів харчування. На цьому історія не закінчується. Цілком можна стверджувати, що протягом 50-ти років у галузі парникового виробництва відбулося більше інновацій, ніж цілих 2000 років до цього. При тому багато нововведень з'явилися лише за останні декілька років.

Сучасні теплиці дозволили виробникам по всьому світу вирощувати продукти цілий рік, використовуючи значно менше ресурсів для кожної рослини, ніж це було раніше. Теплиці мають все краще технічне оснащення і використовують світлодіодні лампи та автоматизовані системи управління, щоб ідеально визначити умови доквілля для росту тих чи інших продуктів харчування. Оскільки ринок розумних парникових середовищ продовжує розширюватись і розвиватись, постійно з'являються нові технології, які формують майбутнє виробництво.

З огляду на те, що автоматизація теплиць набирає своїх темпів, відповідно і збільшується кількість компаній, які пропонують свої послуги. З збільшенням конкуренції набуває розвитку устаткування. Теплиці створюються переносними, легкими, потужнішими. Найбільш провідні компанії дільби до створення футуристичних теплиць, які можуть генерувати воду з повітря, а висадка насіння повністю автоматизована. Роль людини в аграрній промисловості відходить на другий план і звичні “буденні” процеси відходять на другий план, і стають повністю автоматизованими.

Багато розробників на даний момент займаються благодійними проектами. Їхні головне завдання забезпечити свіжими продуктами людей, які проживають в неродючих зонах. А завдяки споживанню свіжих продуктів покращується імунітет людини, що в свою чергу робить її стійкішою до зовнішніх подразників.

Актуальність вибору даної теми полягає у тому, що харчування людей є невід’ємною частиною життя. Доступ до свіжих продуктів впливає безпосередньо на здоров’я людей. Для отримання свіжих продуктів, споживачі витрачають велику кількість ресурсів і коштів, що в більшій частці випадків зводиться до споживання низькоякісних і не якісних продуктів.

Метою роботи було розробити кіберфізичну систему контролю роботи розумної теплиці, яка керує підігрівом, вентиляцією і поливом. Зробити її простою в використанні і зрозумілою для кінцевого користувача.

Сучасні розробки в плані побудов роботи розумних теплиць на ринку присутні в різних варіаціях. Аналогів даної системи, як таких нема. Наближеним можна вважати розробку компанії SmartEP. Дана система також володіє віддаленим контролем, але через політику конфіденційності в користувачі мають обмеження в використанні.

Науково-технічна новизна даного проекту полягає в самих його можливостях, це популярний напрямок створення кіберфізичної системи, яка дає доступ до : підігріву, поливу і вентиляцією теплиці, а найголовніше з можливістю розширювати функціонал програми.

Проблеми та їх вирішення. Проблема полягає в співіснуванні і комунікації всіх компонентів системи між собою. Її вирішення полягає в моделі побудови системи. Використання якісного програмного забезпечення, надійного алгоритму роботи і передачу даних по незалежних каналах, щоб позбутись завад на лініях зв’язку. Використання американських контролерів збільшило надійність і безвідмовність системи.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Кіберфізичні системи – це інтелектуальні системи, у які входять мережі фізичних та обчислювальних компонентів, що інженерно взаємодіють. Вони проникають у всі сфери життєдіяльності людини : виробництво, будівництво, транспорт, енергетику, медицину тощо, де забезпечують нові функціональні можливості для покращення якості життя, досягнення технічного прогресу в різних сферах і тому істотно впливають на світову економіку. Основою розроблення різних моделей кіберфізичних систем є наявність засобів вимірювання та їх програмного забезпечення. Засоби необхідні для контролю параметрів технологічних процесів та навколишнього середовища[1].

Малопотужна широкопугва мережа (LoRaWAN) – це тип бездротової телекомунікаційної широкопугвої мережі, призначеної для того, щоб дозволити комунікацію на великій відстані з низькою швидкістю передачі даних. Швидкість передачі даних коливається від 3.3 кбіт/с до 50 кбіт/с на канал[2].

При побудові системи контролю використовують два рівні керування : нижній рівень і верхній рівень.

До нижнього рівня належить:

- Безперервне регулювання технологічних параметрів (температура, вологість, тиск..),
- Програмно-логічне керування різними механізмами (реле, двигуни);

До верхнього рівня належить : *SCADA*(Supervisory Control And Data Acquisition) або *HMI*(Human-machine interface) – його суть полягає в ідентифікації ситуації на об'єкті і видачі завдання на нижній рівень.

*SCADA*-система повинна забезпечувати наступні функції :

1. *HMI* – людинно-машинний інтерфейс в *SCADA* – системах реалізується у вигляді мнемосхем. На мнемосхемах відображається основне обладнання, сигнали, стан регулюючих органів та інші частини системи. Оператор може перемикається між ними і працювати з тими чи іншим елементом технологічного процесу, тобто з тією чи іншою мнемосхемою. Мнемосхема – основний посередник при передачі інформації від системи оператору або інженеру;

2. Збір і архівація всіх даних, які приходять від контролерів – обмін даними здійснюється через поєвну шину. Польова шина складається з інтерфейсу і протоколу. Таким чином комп'ютер зі встановленою *SCADA* повинен мати відповідні порти і підтримувати протоколи обміну даних за допомогою яких «спілкується» контролер, встановлений на нижньому рівні системи;

3. Відображення даних та оповіщення про події в системі – після збереження даних в одному місці їх потрібно виділяти з даних безпосередньо інформацією. Один з кращих способів реалізації є тренди(графік залежності від часу);

4. Ведення журналу подій – в системі завжди відбуваються події, оператор зобов'язаний виконувати дії на аварійні події згідно з інструкцією, яка може бути надана самою системою. Кожна подія архівується системою і може бути переглянута в довільному часовому проміжку;

5. Розмежування прав користувачів – система надає доступ до себе користувачам з різними правами. Користувач повинен пройти авторизацію Це допомагає контролювати користувачів і захистити систему від зламів;

6. Реалізація системи звітності – система повинна формувати звіти у вигляді таблиць, графіків, діаграм;

Промисловий контролер – керуючий пристрій (контроле від англ. Control – керувати), що застосовується в промисловості та інших галузях за умовою застосування та завданням, близьким до промислових. Застосовується для автоматизації технологічних процесів[3].

Контролер Honeywell HC900 c30 – даний гібридний контролер є розробкою американської компанії Honeywell. Контролер розроблений на базі 32-розрядного мікропроцесора NS9750 ARM9. HC 900 і являє собою вдосконалений контролер, який реалізує контурне і логічне управління. Він має модульну конструкцію, що дозволяє задовольнити вимоги управління та збору даних для широкого діапазону технологічного обладнання. Ця потужна об'єднана система спільно з поліпшеною технологією управління, розробленою в компанії Honeywell, надає користувачеві ідеальне рішення задачі управління процесом. Можливість з'єднання з мережею Ethernet, дозволяє, крім того, забезпечити доступ до мережі з використанням ряду програмних засобів HMI / SCADA.

### Постановка задачі

Метою статті є розроблення принципів побудови кіберфізичної системи контролю роботи розумної теплиці. Спираючись на запропоновані принципи розробити оригінальну кіберфізичну систему контролю роботи розумної теплиці і показати ефективність такої системи.

### Алгоритм створення кіберфізичної системи контролю роботи розумної теплиці

При розробці оригінальної системи роботи розумної теплиці, потрібно приділити велику увагу вибору технології, яку можна використати в побудові системи. Потрібно переглянути популярні програми для розробки, сучасні контролери для програмування і відібрати давачі з високою надійністю. Спираючись на даний аналіз вибрати такі компоненти, які зможуть задовільнити вимоги системи.

На основі проведеного аналізу та досліджень, в якості контролера обрано Honeywell HC900 c30 [3]. На рис. 1. зображено алгоритм роботи програми.

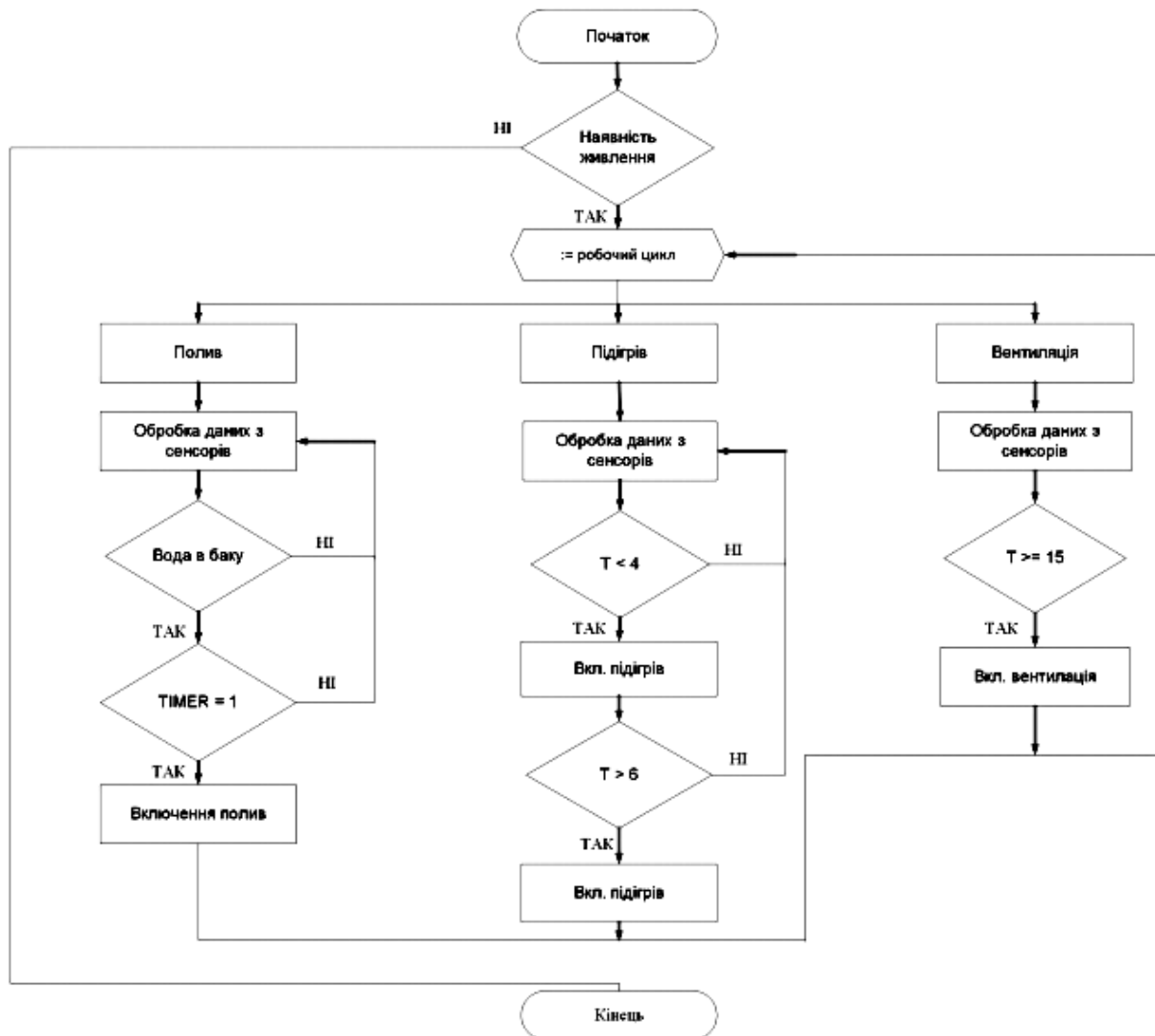


Рис.1. Алгоритм роботи системи

Можливості контролера[3],[6] :

- Архітектура без резервування і з резервуванням.
- ПІД-регулювання з удосконаленим автонастроюванням Accutune III.
- Настроюваний пул пам'яті рецептів дозволяє виділяти пам'ять для рецептів, профілів завдань, послідовностей і розкладів, щоб краще задовольняти ваші потреби.
- До 1920 сигналів за допомогою виносних вх./вхд.;

- Програмування булевої логіки;
- Асортимент з понад 100 алгоритмів;
- Вдосконалені математичні функції з плаваючою точкою;
- Великий моніторинг тривожної сигналізації і подій;
- До 960 ізольованих аналогових входів;
- Виносні шасі вх./вхд. з підключенням дротовими або волоконно-оптичними кабелями для збільшення дистанції;
- Установка/Витяг вх./вих. при включеному електроживленні;
- Світлодіодні індикатори вкл./викл. на дискретних вх./ вхд.;
- Графічне конфігурація функціональних блоків – 400, 2000 або 5000 блоків;
- Швидке оновлення – 27 мс. для логічних сигналів, 0,5 сек для аналогових;
- Відкритий інтерфейс 10MB або 10/100MB Ethernet використовуючи Modbus/TCP;
- Тимчасова зв'язок через Ethernet;
- Повідомлення про тривожні події по електронній пошті з пріоритетом;
- Програматори завдань лінійної зміни/витримки;
- Планувальники завдань з декількома виходами;
- Давачі послідовності з 16 виходами кожен.

Для реалізації програмної частини проекту використовуємо :

1. Конфігураційне програмне забезпечення "Hybrid Control Designer".
2. Користувачський інтерфейс WinCC 6.0.
3. Обмін даними між середовищами OPC- сервер.

Конфігураційне програмне забезпечення "Hybrid Control Designer" використовується для конфігурації гібридного контролера HC900 і операторського інтерфейсу який працює на ПК з Windows. Програма використовує графічні символи і лінії з'єднання для створення необхідних алгоритмів управління. Меню в програмному забезпеченні передбачені для вибору дисплеїв операторського інтерфейсу, конфігурації доступу до екранів і клавіші оператора. Закінчена конфігурація завантажується в систему управління через спеціалізований комунікаційний порт контролера.

Для розробки простого користувачського інтерфейсу було розроблена SCADA система на базі WinCC 6.0. WinCC (Windows Control Center) – система HMI, програмне забезпечення для створення людино-машинного інтерфейсу, складова частина сімейства систем автоматизації Simatic, вироблених компанією Siemens AG. Працює під управлінням операційних систем сімейства Microsoft Windows і використовує базу даних Microsoft SQL Server (починаючи з версії 6.0)[4].

### **Створення апаратної частини системи**

На рис.2. подано функціональну схему системи контролю роботи розумної теплиці.

Система, що розробляється, складатиметься з контролера HC900 c30, який передає і отримує дані з пристрою оператора, через мережевий кабель Ethernet 10/100 Base-T. Отримується інформація з сенсорів вологості і температури T3110, сенсор температури T-1088/2. Контроль виконавчих механізмів здійснюється за рахунок реле RT78625. Живиться контролер від блоку живлення PRO ECO 120W 24V 5A. Робоча напруга сенсорів становить +24 В постійного струму.

### **Створення програмної частини системи інтерфейсу**

При розробці програмного забезпечення використано програму Hybrid Control Designer. Детальніше про програму зображено на рис.3. Безпосередньо перед підготовкою розробки системи вирішено, чим вона повинна керувати:

- Полив;
- Підігрів;
- Вентиляція.

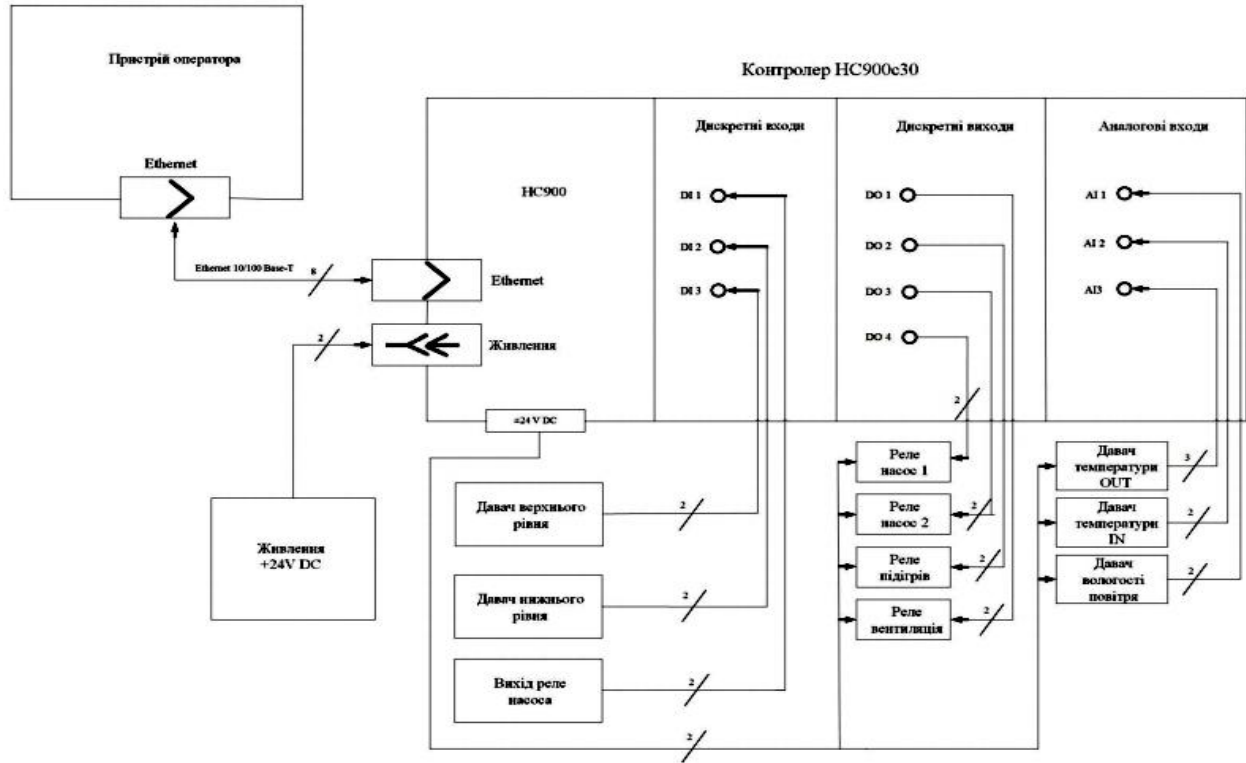


Рис.2. Функціональна схема системи контролю роботи розумної теплиці

### ЛОГІКА КОРТРОЛЮ І ПОДАЧІ ВОДИ

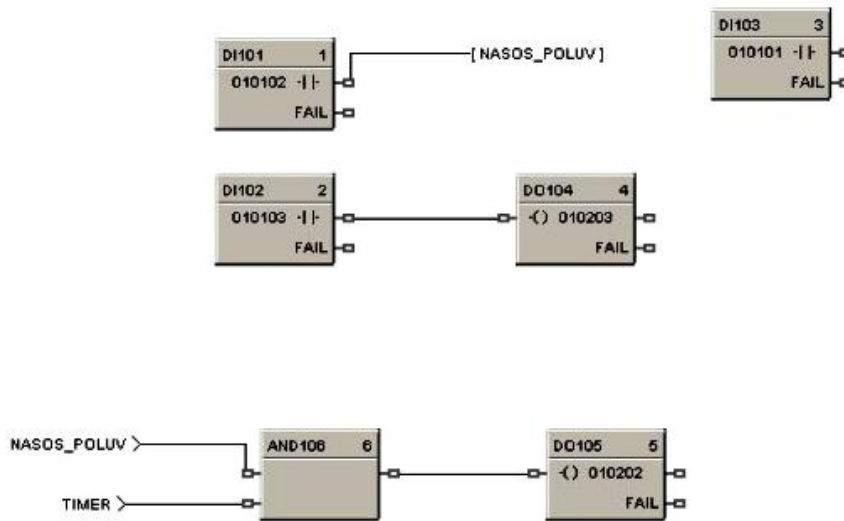


Рис.3.Реалізація поливу.

Розпочнемо з реалізації системи поливу. Для того, щоб забезпечити постійний доступ води до теплиці, потрібно закачати воду в резервуар. Отже, нам знадобиться сенсор рівня води і реле, для контролю даного процесу. Після того, як ми забезпечили наявність води в резервуарі, потрібно доставити воду теплицю, для поливу живності. Нам знадобиться реле, для контролю роботи насоса, який буде транспортувати води.

Коли вже відомо, що ми використовуємо в даній системі, приступаємо до розробки програми.

Сенсор рівня води працює наступним чином. Реалізація таймеру зображена на рис. 4. Він використовує реле, як перебуває в одному з двох положень. Перше положення – насос (закачування води в резервуар) вимкнено і сигнал поступає на дискретний вхід **DI101**. Друге положення – насос увімкнений і вода надходить в резервуар. Це відображено включенням дискретного входу **DI102**. Що в свою чергу подає сигнал на дискретний вихід **DO104**, який подає сигнал на реле. Реле відповідає за запуск насосу в робочий режим. **DI103** – вихід з реле подається на вхід контролера, для того, щоб система розуміла, що насос перебуває в робочому режимі. З блоку **DI101** виходить тег **NASOS\_POLUV**. Даний тег являє собою логічний сигнал високого рівня, іншими словами лог. “1”. Цей тег порівнюється з тегом **TIMER**, детальніше про нього описано нижче, по логіці логічного “і”. Коли ми отримали на вхід **тільки** дві лог. “1” запускається полив в теплиці. При всіх інших варіантах система знаходиться в режимі очікування.

Для запуску таймеру потрібно на блок **PTMR114** подавати лог. “0”. Сам по собі **PTMR114** являє періодичний таймер. Який в свою чергу має **RST** – скид і **EVENT** – подію. Коли ми на **RST** отримали 0, то на **EVENT** отримаємо 1, що в свою чергу запустить інший блок. За допомогою даного блоку можна задавати тиждень, день і годину коли буде відбуватись подія. Також є можливість задати період за який буде тривати сам цикл та проміжок часу за який відбудеться зміна стану події. На рис. 5 зображений загальний вигляд періодичного таймеру.

## РЕАЛІЗАЦІЯ ПОЛИВУ

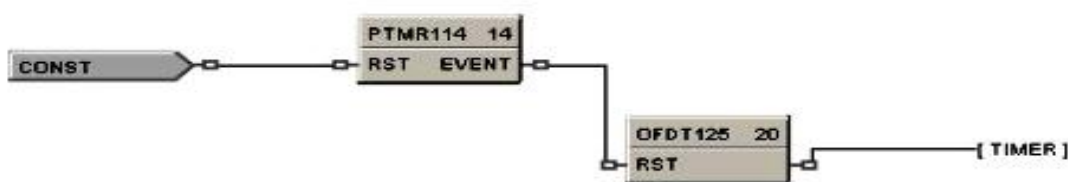


Рис.4.Реалізація таймеру включення поливу.

Коли ми отримали сигнал з таймеру в дію вступає блок **OFD125**. Даний блок – це таймер затримки виключення. Для чого він нам потрібен? Оскільки періодичний таймер генерує сигнал на один цикл програми, нам потрібно затримати його, на такий період часу, на який буде працювати полив в теплиці. Тепер детальніше про логіку роботи блоку.

- Якщо на вхід поступає 1, то на виході 0;
- Якщо на вході була 1, а пізніше став 0, тоді таймер затримки почав працювати;
- Якщо вхід 0 і таймер 0, тоді вихід 0.

В кінцевому результаті тег **TIMER** передає сигнал на вхід логічного блоку, який показано на рис. 6.

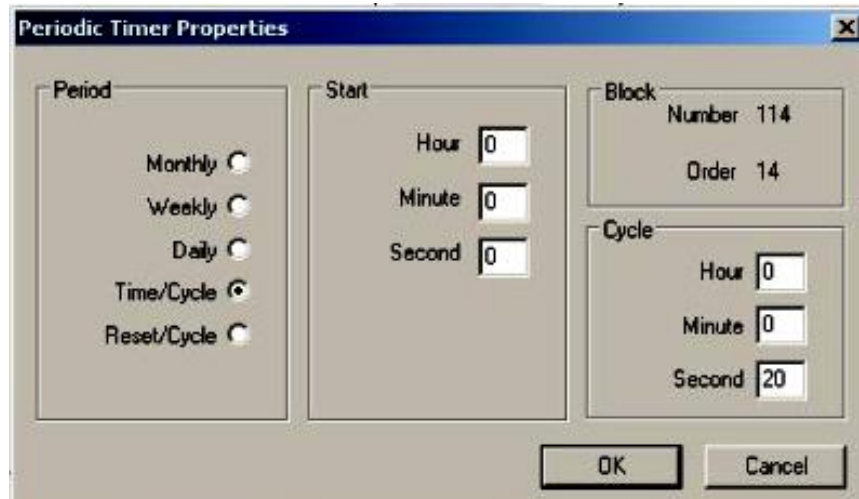


Рис.5. Вигляд періодичного таймеру.

### Повідомлення про помилку

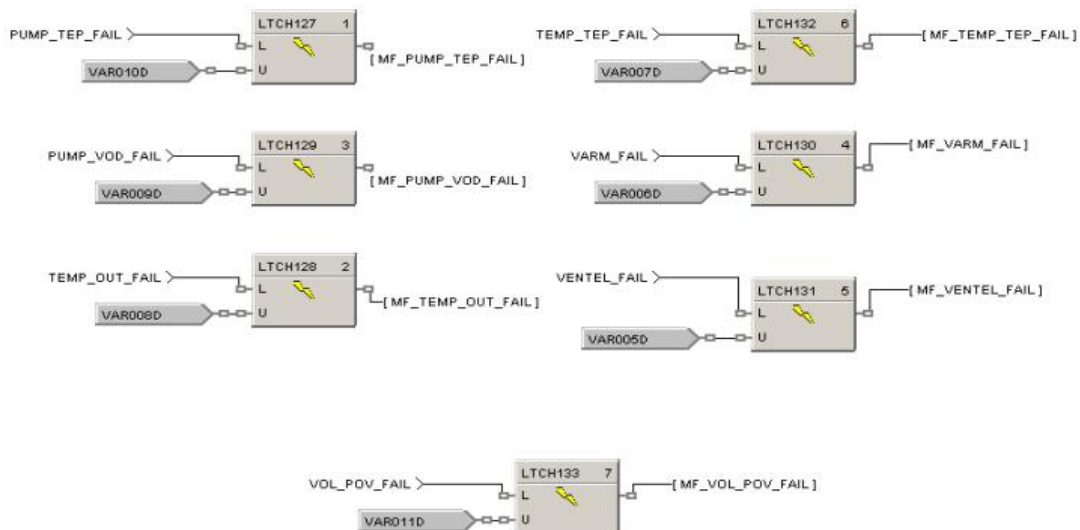


Рис.6. Вигляд сповіщень про помилку.

Велику увагу було приділено системі сповіщення про помилку. Дана система сигналізує про обрив сигналу на лінії, чи про несправність сенсора. Система сигналізує оператора про помилку наступним чином. Блок з надписом помилка світиться активним зеленим кольором і в той же час надсилається повідомлення про помилку на електронну пошту.

Дана підсистема працює з дискретними сигналами. Якщо відбувся надрив чи ми отримали некоректні дані з сенсора, оператор заразу бачить, який елемент системи вийшов з ладу.

### **Розробка користувацького інтерфейсу системи**

Користувацький інтерфейс розроблений завдяки WinCC 6.0. Для забезпечення обміну інформацією між програмним забезпеченням системи і користувацьким інтерфейсом використано OPC-сервер[5]. Даний сервер, являє собою своєрідний міст передачі даних між двома програмами.



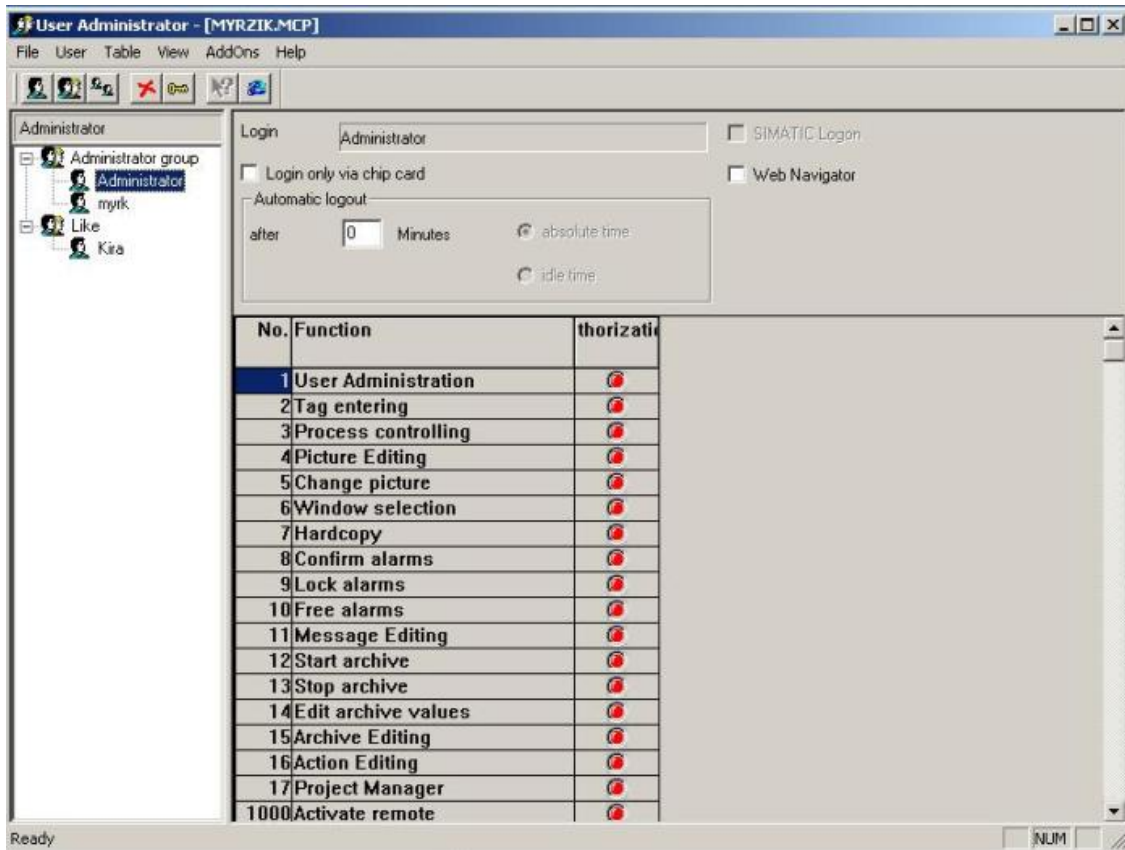


Рис.7. Налаштування прав користувачів.

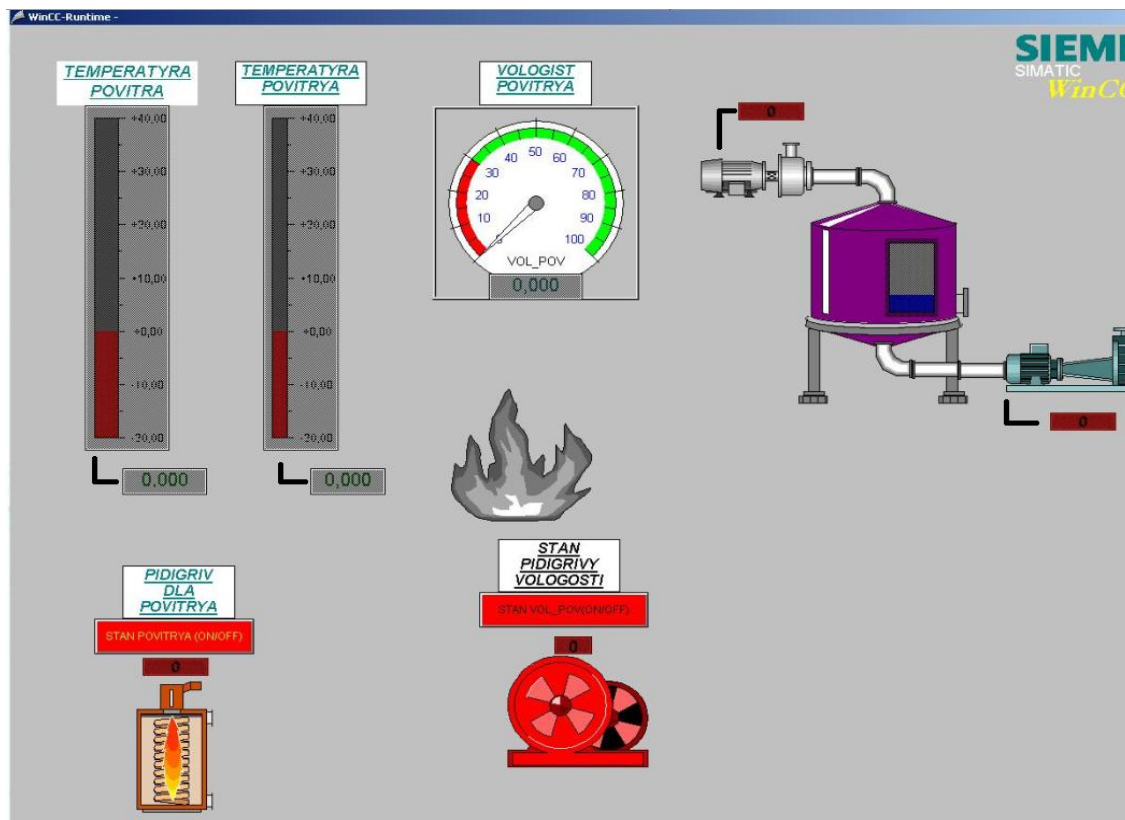


Рис.8. Загальний вигляд інтерфейсу системи.

Програмне забезпечення формує Excel таблицю в яку надходять дані в реальному часі. Дані розбиваються на теги. OPC – сервер обробляє їх і передає SCADA системі.

Вхід в систему розпочинається з вводу пароля користувачем. Для того, щоб захистити її від несанкціонованого проникнення зловмисниками. Враховується ще такий фактор, як рівні доступу до інформації. Тобто на рівні адміністратора, ми маємо доступ до будь-якої дії в системі, а рівень користувача дозволяє тільки перегляд інформації.

На рис.7 та рис. 8 можна побачити, що адміністратор отримує доступ до всієї системи. Він може змінити свій пароль або використати вже наданий йому. Необхідно відкрити права адміністратора, натиснути на користувачів і змінити право доступу до системи, якщо цього потребують обставини.

Головний екран користувацького інтерфейсу містить ключові компоненти, такі як : відображення температури в теплиці і зовні, відображення відносної вологості повітря в теплиці, статус активності поливу, відображення рівня води, а також відображення активних елементів вентиляції і підігріву.

Всі графічні компоненти на рисунку є активними. Мають два кольори для відображення статусу роботи. Зелений колір означає, що елемент системи знаходиться в роботі. Також над кожним елементом є вікно статусу роботи, яке містить кольорову і текстову індикацію. Тобто коли елемент активний, він підсвічується червоним кольором і відображає 1. Але коли елемент не активний, він підсвічується червоним кольором і його статус змінюється на 0.

### Висновок

В даній статті було розглянуто принцип побудови кіберфізичної системи контролю роботи розумної теплиці. Особливість цієї технології полягає в надійності і якості компонентів системи. Дана система спрямована на покращення і оптимізацію процесу вирощування овочевих культур. Система є простою в використанні. Всі програмні засоби взаємодіють між собою за чітко визначеними протоколами і тому не виникає збоїв в роботі системи. Однією з особливостей даною системи є швидкодія опитування давачів, що є актуальним в даний час. OPC – сервер забезпечує обмін інформацією між контролером Honeywell і SCADA системою, що в свою чергу покращило продуктивність системи. Перехід системи з сплячого режиму (режим очікування) в активний (режим роботи) займає 4,2 секунди.

1. *Mykyuchuk M. M., Stadnyk B. I., Yatsyshyn S. P., Lutsyk Ya. T. (2017). Measuring Smart Means for Cyber-Physical Systems. Measuring Technology and Metrology: Issue 77, pp. 3–17.*

2. *Official site Wikipedia. – Available at : [https://wikipedia.org/wiki/Low-power-\\_wide-area\\_network](https://wikipedia.org/wiki/Low-power-_wide-area_network) (Accessed 22 September 2021.)*

3. *Honeywell HC900c30 working. – Available at: <https://honeywell.com/energy/wadata/public/site/universalnye/PLK/HC900%Hybrid%Controller%20Specification/pdf> (Accessed 22 September 2021).*

4. *WinCC communication guide. – Available at: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/667/12535667/att\\_75788/v1/Communicationr.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/667/12535667/att_75788/v1/Communicationr.pdf) (Accessed 22 September 2021).*

5. *OPC server. – Available at: – [https://uk.wikipedia.org/wiki/OLE\\_for\\_process\\_control](https://uk.wikipedia.org/wiki/OLE_for_process_control) (Accessed 23 September 2021).*

6. *Controller Honeywell. – Available at: URL:<http://honeywellproces.com.ua> (Accessed 24 September 2021).*

**PRINCIPLE OF CONSTRUCTION OF CYBERPHYSICAL SYSTEM OF CONTROL  
OF WORK OF THE SMART GREENHOUSE**

**Y.Klushyn, M.Tsapiak**

Lviv Polytechnic National University,

Computer Engineering Department

*Authors` e-mail: mikletsapiak@gmail.com, Yurii.S.Klushyn@lpnu.ua*

© Klushyn Y., Tsapiak M., 2021

**A cyberphysical system is a mechanism that is controlled or tracked by computer algorithms and is closely linked to the Internet and interaction with the physical world. The system describes a combination of three main components: the physical world, the software algorithm and the Internet. Based on these components, this article presents a method of building a control system for a smart greenhouse, describes the development environment with its functions and capabilities, provides a detailed description of launching and configuring the program with explanations of key points in the system. This system is aimed at improving and optimizing the process of growing vegetables. The system is easy to use. All software interacts with each other according to clearly defined protocols and therefore there are no system failures. One of the features of this system is the speed of the survey of sensors, which is relevant today. The system consists of a simple user interface that can be modified according to user requirements.**

**Keywords: cyberphysical system, smart greenhouse, algorithm, remote control, functional units, industrial controller, software and logic control.**