

## КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПОЛИВУ З ДИСТАНЦІЙНИМ УПРАВЛІННЯМ

А. Я. Грицик, Ю. С. Клушин

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних обчислювальних машин  
E-mail : [artemhrytsyk1998@gmail.com](mailto:artemhrytsyk1998@gmail.com), [Yurii.S.Klushyn@lpnu.ua](mailto:Yurii.S.Klushyn@lpnu.ua)

©Грицик А. Я., Клушин Ю.С. 2021

У сучасних реаліях темп життя людей набагато вищий, ніж 30 років тому, і він все ще зростає. При цьому кількість інформації також зростає. Цю інформацію слід обробляти постійно, щодня, щойно вона надходить. Обсяги виробництва також не стоять на місці. Такий живий ритм життя вимагає послідовності та безперервності процесу. І ці процеси має забезпечити людина.

У цій статті описана система поливу, яка повинна автоматизувати процес вирощування рослин. Також проводиться аналіз нової галузі, кібер-фізичних систем. Проведено аналіз сучасних систем автономного зрошення, принципів їх побудови та організації роботи. Запропоновано спосіб впровадження системи, що забезпечує можливість постійного моніторингу середовища вирощування та дає можливість впливати на нього. Зроблено вибір компонентів для побудови системи. Описано алгоритм роботи програми. Проведено аналіз взаємозв'язку між компонентами системи та взаємовідносинами користувача з системою.

**Ключові слова:** автономний полив, дистанційне управління, кіберфізична система, сенсори, мікроконтролер.

### Вступ

В наш час розвиток промисловості напряму залежить від автоматизації виробництва. Він забезпечується шляхом систематичного та постійного впровадження нових технологій у процес виробництва, а також розвитком цих самих технологій. Прогрес виробничих і технологічних процесів та їх автоматизації вимагають та спричиняють також удосконалення підсистем, які підтримують ці процеси, а саме: вчасне постачання ресурсів, швидке та безперебійне виконання поставлених задач, забезпечення економічності, постійності і надійності [1]. Як наслідок зростає значимість інформації, яка в свою чергу стає більш точною та здатна відобразити процеси у всій їхній повноті. Така інформація дає волю своєму власникові, адже ще донедавна основним компонентом у будь-якому процесі була людина, без неї не відбувалося нічого. Не секрет, що господарство доволі не вигідна справа. Однією з основних причин є часові затрати на систематичний догляд за культурами. Є певні правила якими повинні керуватися господарі при догляді за рослинами (час поливу та його інтервали, обсяг і температура води). Якісний полив – це клопіткий процес. Варіантом для спрощення цього процесу є побудова кіберфізичної системи поливу, яка працюватиме віддалено та не потребуватиме частоті людської присутності і суттєвих фізичних навантажень. Така система є невіддільною частиною сьогоденного інтелектуального, а згодом і звичайного сучасного господарства. Кіберфізична система (КФС) – це система, яка взаємодіє з фізичним світом, збирає інформацію про нього і здатна у певній мірі впливати на нього. Основою КФС є наявність засобів вимірювання та програмного забезпечення, яке ними оперує. Національний інститут стандартів та технологій США (NIST) визначає КФС так: «Кіберфізичні

системи можуть бути визначені як розумні системи, які складаються з обчислювальних компонент (як апаратних так і програмних) і з фізичних компонент, що спільно інтегровані та взаємодіють між собою з метою відображення змінного стану реального світу; ці системи можуть бути різних рівнів складності (як високого так і низького) та сполучатися у багаточисельних просторових та часових масштабах, також пов'язуються мережею, яка здійснює об'єднання обчислювальних та фізичних компонент» [2]. Основне призначення КФС автономного поливу з дистанційним управлінням – це автоматизація та спрощення консервативних операцій. Розвиток галузі кіберфізичних систем є однією з найактуальніших тем сьогодення, причиною тому є жвавий ріст популярності галузі як за кордоном так і в Україні.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

На рисунку 1 наведено узагальнену структуру КФС [3].

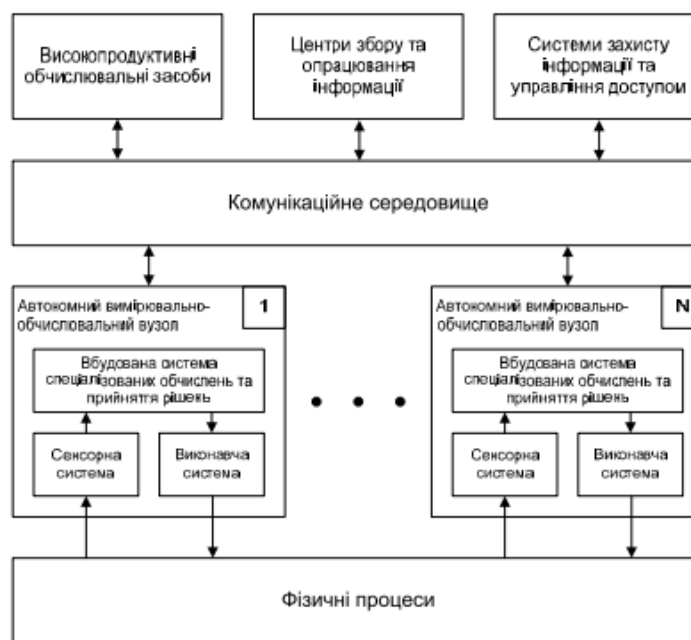


Рис. 1 Узагальнена структура КФС

Тобто КФС включає в себе множину вузлів, які здійснюють виміри та обчислення отриманих даних і взаємодіють із середовищем комунікації, яке з'єднує їх із засобами збору інформації (які можуть здійснювати їхнє тривале зберігання) та із засобами обчислення. Все це відбувається під контролем засобів безпеки. Основою розроблення різних моделей кіберфізичних систем є наявність засобів вимірювання та їх програмного забезпечення. Засоби необхідні для контролю параметрів технологічних процесів та навколишнього середовища[4].

Автоматизовані системи поливу – це комплекс пристроїв, для здійснення регуляції подачі та об'єму води з метою скорочення трудових, часових та грошових витрат.

Завдяки автоматизації процес поливу значно спрощується: людині більше не потрібно тягати шланг та поливальницю, вручну регулювати тиск і об'єм рідини, а також відпадає потреба в частій присутності на місці посадки. Автоматизований полив має ряд переваг. Система економить воду та ефективніше доставляє її до рослин, вода рівномірно доставляється і розподіляється по ґрунту. Зрошення відбувається в безпосередній близькості до рослин, а при потребі вода доставляється під сам корінь. Подача води регулюється потребами рослини. Таким чином рослина отримує вологу своєчасно та в тій кількості, яка їй необхідна. Подача води під корінь робить можливим зрошення із збереженням цілісності і декоративності культури. Автоматичний поли-

вання можна налаштувати як для городу і квітника, так і для чагарників і дерев при цьому врахувавши особливості та вимоги до поливу кожної з рослин. Таким чином не настане перезволоження землі або недолив води.

Види автоматизації поливу:

1) Цілком автономна система.

Така система створюється на основі керуючого модуля та множини датчиків, які насилають сигнали керуючому модулю про стан середовища, керуючий модуль в свою чергу на основі цих даних вмикає чи вимикає виконавчі механізми. Наприклад при сухому ґрунті на певній ділянці, керуючий модуль включає реле, яке запускає полив у цій ділянці. Виключення поливу відбудеться при намоканні датчика. Цілком автономна система працює самостійно і втручання людини не потрібне, але надійність такого підходу та його ефективність не є високими[5].

2) Автоматизована система з можливістю управління.

В такій системі датчики збирають відомості про середовище та передають їх на операційний вузол. Операційний вузол здатен працювати самостійно, як повністю автономна система, а також може зв'язуватися із оператором (господарем) через GSM модуль СМС-повідомленням, або через інші засоби зв'язку, і отримувати від нього відповідні вказівки через цей модуль. Після цього операційний вузол подає сигнали на виконавчі механізми.

3) Автоматичний погодинний полив

Така система здійснює полив за вказаними інтервалами або годинами. Така система застосовується для поливу газонів. Є простою в реалізації, але абсолютно неефективною при застосуванні для поливу «вибагливих» культурних рослин, так як потрібно налаштувати індивідуальний, непогодинний підхід до кожної рослини чи зони поливу, чого система не дозволяє.

Автоматизована система з можливістю управління є найефективнішою. Діло в тім, що власнику достатньо отримувати відомості про стан середовища вирощування і вручну віддалено здійснити запуск поливу чи відкласти його, при цьому опираючись на дані прогнозу погоди чи власний досвід. Також при неможливості керування власником, система зможе автоматично здійснити поливання, якщо цю функцію не відключати.

Недоліки автоматизованої система з можливістю управління:

- Щоб система працювала як слід і розвинена інфраструктура поливу;
- Апаратура повинна бути здатною безперебійно працювати значний час;
- Потрібно постійно контролювати роботу підсистеми поливу і системи в цілому. Причину цього є те, що одна відмова дорівнює втраті врожаю та втраті рослинності ;
- Кожна культура вимагає індивідуального підходу. При налаштуванні системи доведеться вводити множину параметрів для різних рослин;
- Через замерзання води зимою система може вийти із ладу, якщо з неї не злити воду (спільний для всіх трьох систем недолік)[6].

### **Аналіз існуючих систем автономного поливу**

Для проектування системи автоматизованого зрошення слід вивчити існуючі системи, які автоматизують цей процес. Сьогодні існують різні системи від різних фірм, але вибір не є надто широким. Також такі системи можна придбати зазвичай тільки у великих спеціалізованих магазинах або на замовлення. Найвідоміші виробники систем автоматизації поливу: Agras, EuroPoliv, Анджіо, EuroPoliv, AquaSmart, Hunter Industries, Cuba [7]. Системи поливу, які виробляються цими фірмами, бувають у всіх раніше описаних видах. Але всі ці системи мають спільний недолік – ціну. Найдешевші з них, які, тим не менш, не дешеві, є системами автоматичного погодинного поливу, тобто здійснюють полив за таймером, а це неефективно при вирощуванні культурних рослин. А ціни більш функціональних систем різко зростають по мірі підвищення складності системи.

### Мета статті

Неуважний та невчасний догляд обертається для власника розсади доволі неприємністю, а часто збитками збитками. Для вирішення цієї проблеми слід використати систему автоматизації зрошення. Розглянути проблему застосування кіберфізичної системи як засобу для контролю вирощування культурних рослин. Розробити кіберфізичну систему для спостереження за навколишнім середовищем вирощування культур у режимі реального часу на базі аналогових сенсорів.

### Результати досліджень

Перед побудовою цієї системи слід врахувати, що потреба в доставці води до культур значно залежить від погодних умов середовища вирощування рослин. Тобто, як не можна здійснювати полив при високих температурах, щоб не зігнила рослинність, так і при низьких, щоб рослина не замерзла; так само краще не поливати у дощову погоду. І тому система повинна бути в змозі передбачати погодні зміни. Для цього слід оснастити систему барометром для передбачення опадів, а також термометром для визначення температури повітря. Таким чином можна буде запобігти втратам і не нашкодити насадженням.

Для розв'язання завдання спроектовано кіберфізичну систему яка працюватиме в автономному режимі і забезпечуватиме можливість дистанційного ручного керування поливом. Для загального ознайомлення з приладом, а також для визначення основних функціональних компонентів виробу і взаємозв'язків між ними розроблено схему електричну структурну. На рисунку 2 зображено схему електричну структурну.

На структурній схемі зображені всі основні вузли виробу, стрілками позначено напрямок ходу процесів передачі інформації між вузлами.

Систему складають такі вузли:

- операційний вузол;
- генератор тактових імпульсів;
- вузол програмування;
- пам'ять, вузол скиду;
- вузол управління поливом, вузол зв'язку;
- пристрій управління;
- вузол вимірювання атмосферного тиску;
- вузол вимірювання вологості ґрунту;
- вузол вимірювання температури повітря;
- вузол вимірювання вологості повітря.

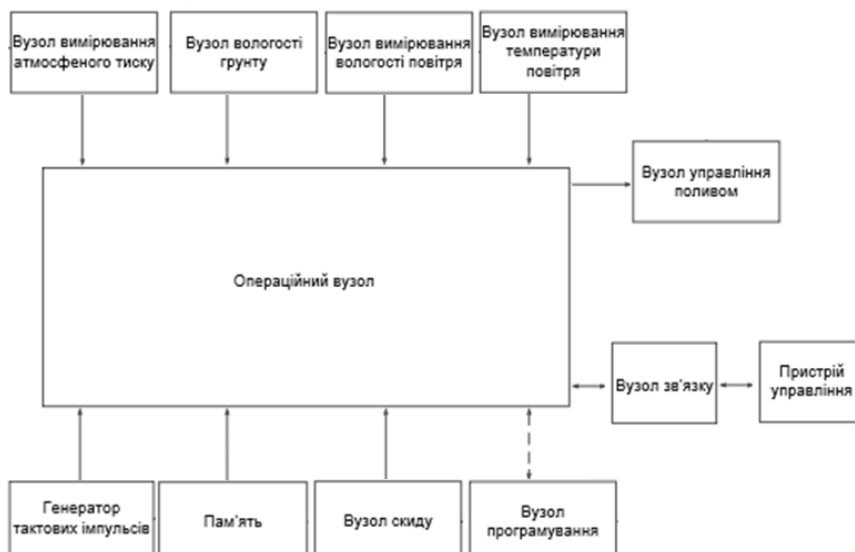


Рис. 2 Схема електрична структурна

Центральним елементом системи є операційний вузол, який збирає інформацію від вузлів вимірювання параметрів навколишнього середовища та передає цю інформацію на пристрій управління через вузол зв'язку; також взаємодіє із пам'яттю, яка зберігає команди, програми і прошивку системи. Операційний вузол програмується вузлом програмування, а його переналаштування до «налаштувань за замовчуванням» виконується вузлом скиду.

Згідно з функціональною схемою центральний вузол потребує немало портів вводу/виводу щоб працювати з усіма під'єднаними до нього вузлами. Задля спрощення побудови системи потрібно використовувати мікроконтролер, який вже матиме вбудовані мікропроцесор, порти вводу/виводу, пам'ять, вузол скиду та вузол синхронізації.

Також до уваги слід взяти те, що потрібно застосувати перевірений мікроконтролер задля забезпечення безперебійної роботи.

Для визначення тактової частоти роботи обчислювального вузла до нього підключається генератор тактових імпульсів. Генератор тактових імпульсів – це прилад, який генерує електричні тактові імпульси заданої частоти з метою синхронізації процесів та сигналів в цифрових пристроях.

Вузли збору параметрів про стан навколишнього середовища здійснюють збір відповідної інформації. Ця інформація та передається на операційного вузла та представляється на пристрої управління. Для зв'язку операційного вузла із пристроєм управління використовується вузол зв'язку.

Для керування системою користувач через вузол управління подає команди на обчислювальний вузол, який в свою чергу впливає на вузол управління поливом.

Вузлом скиду здійснюється очищення системи від попереднього програмного забезпечення («прошивки»). А вузлом програмування система «прошивається» по-новому.

Система управління поливом являє собою сукупність апаратних та програмних засобів, які насамперед націлені на економічність, тобто на зниження можливих витрат (вода, час) користувача.

Для роз'яснення процесів, які відбуваються у пристрої, а також для ознайомлення з принципами роботи системи побудовано схему електричну функціональну. Схему електричну функціональну зображено на рисунку 3.

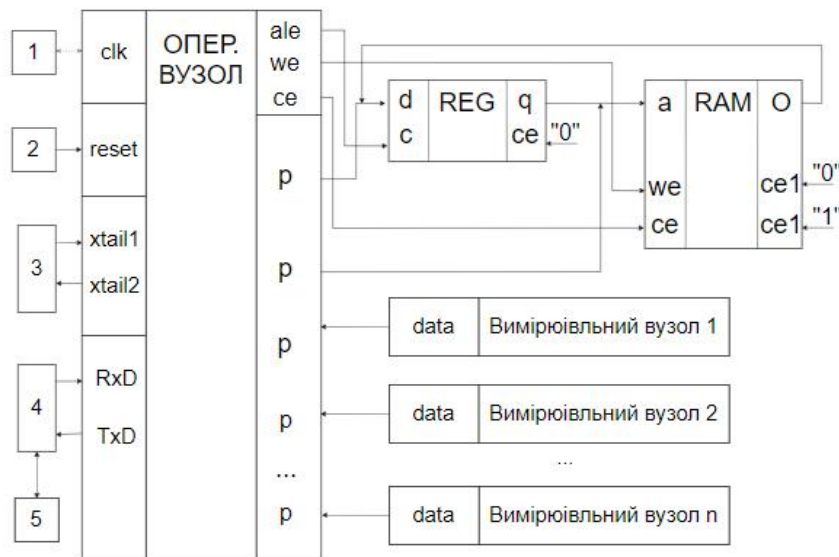


Рис. 3 Схема електрична функціональна

На цій схемі продемонстровано всі основні частини виробу, стрілками позначаються напрямки передачі інформації між вузлами. Обчислювальний вузол одержує інформацію від вузлів вимірювання стану навколишнього середовища. Цю інформацію він передає на вузол управління. На основі цієї інформації вузол управління подає команди на обчислювальний вузол, який взаємодіє вузлом для управління поливом; так самим здійснюється дистанційне включення/виключення поливу. Між обчислювальним вузлом та вузлом управління стоїть вузол зв'язку,

який забезпечує. Передачу інформації між цими вузлами. Сам обчислювальний вузол керується генератором тактових імпульсів і прошивкою записаною в пам'ять. Переналаштування системи здійснюється за допомогою вузла скиду, який очищує пам'ять, і вузла програмування.

В якості вузла зв'язку можна використати плати розширення такі як GSM-модулі або Wi-Fi модулі. В першому випадку «спілкування» користувача із системою буде виконуватися SMS-повідомленнями; також можна розробити ПЗ для спілкування через популярні месенджери, наприклад telegram, що значно спрощує і прискорює роботу, а також дає можливість зручнішого моніторингу виконаних дій. У другому випадку, при реалізації спілкування через інтернет, звертання до плати здійснюється через локальний сервер на платі розширення, в такому випадку спілкування відбувається швидше ніж через SMS-повідомлення чи той же telegram, але таке спілкування обмежується покриттям інтернету, яке не настільки поширене як покриття мобільного зв'язку.

### Побудова алгоритму роботи програми

На рисунку 4 зображено алгоритм роботи програми.

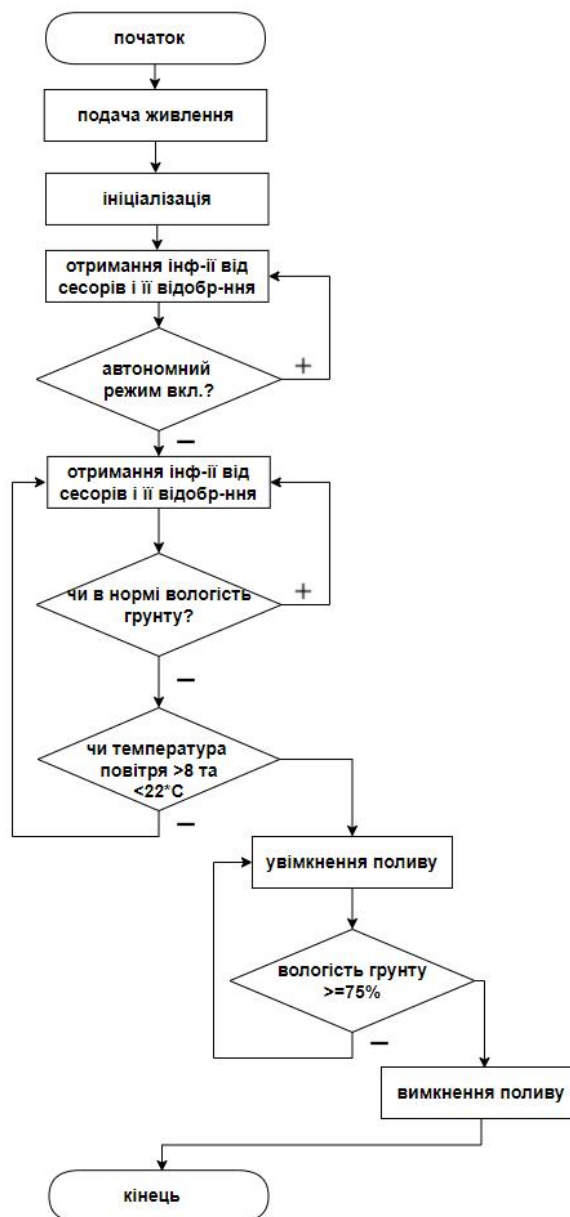


Рис. 4 Алгоритм роботи програми

Після запуску, система зчитує показники датчиків про стан навколишнього середовища. Система здатна здійснювати полив автоматично, але тільки при умові, що користувач це дозволив; тобто на пристрої управління користувач вмикає або вимикає автономний режим, при цьому зчитування показників та вивід даних буде здійснюватися у будь-якому із випадків. При дозволеному поливі (автономний режим) система здійснює полив тільки при заданих параметрах. Наприклад, якщо вологість ґрунту вище 65% або температура повітря нижче 8 градусів за Цельсієм – то полив не увімкнеться. Ці параметри вказані як приклад, так як вимоги до вирощуванні різних рослин – різні. Вологість ґрунту не повинна перевищувати 60 ... 70% повної вологоємності при вирощуванні овочевих культур, 70 ... 80% – зернових культур і 80 ... 85% – трав [8]. Після включення поливу здійснюється перевірка параметрів і коли вологість ґрунту зміниться – полив вимкнеться.

### Реалізація системи

Згідно з функціональною схемою, центральний вузол вимагає багато портів вводу-виводу для роботи з усіма підключеними вузлами. Для спрощення побудови системи краще було б використовувати мікроконтролер, в якому вже буде вбудований мікропроцесор, порти вводу-виводу, пам'ять, вузол скидання і вузол синхронізації. Також слід враховувати, що для безперебійної роботи нам необхідно використовувати перевірений мікроконтролер, а саме Arduino UNO. Причина такого вибору полягає в тому, що він має всі перераховані вище компоненти і його легко використовувати в проектах, пов'язаних з Інтернетом речей і кіберфізичними системами.

Мікроконтролер складається з обчислювального блоку (процесора), який призначений для виконання операцій з числами (послідовність таких операцій- це програми), модуля пам'яті (32 kB Flash (пам'ять програми) і 2 kB RAM), який зберігає записану програму та інші команди мікроконтролера і з портів вводу-виводу, а також містить тактовий генератор.

На платі є: 14 цифрових входів/виходів, 6 аналогових входів, кварцовий резонатор частотою 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для програмування всередині схеми і кнопка скидання. Для роботи пристрою достатньо подати живлення від адаптера змінного / постійного струму або іншого джерела живлення, наприклад від акумулятора, або через USB-порт комп'ютера.

Тактовий генератор (або кварцовий резонатор) призначений для генерування певної кількості імпульсів за одну секунду, за рахунок яких працює мікроконтролер. Частота тактового генератора плати становить 16 МГц. Це означає, що мікроконтролер здатний виконувати до 16 000 000 операцій в секунду.

На платі є кнопка RESET (вбудований вузол скидання) – при натисканні кнопки скидання мікроконтролер переміщується у вихідне положення, з якого він почав свою роботу

Крім того, ця плата споживає невелику кількість енергії, навіть якщо до неї підключено багато інших вузлів. Тому її доцільно використовувати в системах, які працюють цілодобово, а також зручно використовувати її на батарейках.

Коли зрошувальна система працює автономно, без підключення до постійного джерела живлення, можна використовувати зарядні пристрої для телефонів з вихідною напругою 5,5 В, коли Arduino живиться через USB-роз'єм, а також акумулятори зі струмом не менше 500 мА або мережеві адаптери. з вихідною напругою від 7 до 12 В при живленні Arduino через роз'єм живлення. Виводи Arduino виводять до 40 мА, а загальний струм, який може випромінювати мікроконтролер, не повинен перевищувати 200 мА, щоб він не згорів.

В якості вузла зв'язку виступає модуль Wi-Fi ESP8266. Це невелика плата з вбудованим мікроконтролером, чіпом пам'яті, кварцовим резонатором, антеною, надрукованою на платі, двома світлодіодами, які сигналізують про поточний стан і прогрес, і вісьмома контактами для підключення, два з яких є цифровими вихідними контактами, які підтримують широтно – імпульсну модуляцію схожу на цифрові виходи Arduino. Максимальна швидкість передачі даних становить 4,5 Мбіт/с. Завдяки всьому цьому, на основі цього модуля можна будувати різні проекти кібер-

фізичних систем та Інтернету речей навіть без використання інших контролерів, але разом з іншими контролерами (разом з Arduino) ми можемо будувати набагато складніша та цікаві проекти.

Модуль Wi-Fi ESP8266 дозволяє отримати доступ до операційного вузла через комп'ютер або інші засоби, які можна підключити до мережі. Взаємодія користувача з системою реалізується через веб-сервер завдяки можливостям модуля Wi-Fi, що дозволяє на його основі створити локальний веб-сервер.

Для відображення стану системи використовується програма «Blynk». Ця програма була розроблена спеціально для використання в проектах Інтернету речей. При використанні програми робота з системою стає приємною та легкою, оскільки користувачеві не потрібно проходити авторизацію та підключатися до локальної мережі, де розташований Wi-Fi модуль. Користувач також може налаштувати те, що він хоче бачити в інтерфейсі. Підключення Blynk до системи здійснюється під час написання програмного коду, шляхом підключення програми Blynk до локальної мережі. Тому користувач не зможе випадково відключитися від системи. Але при зміні пароля локальної мережі система перестане відповідати на запити програми (такі зміни використовуються дуже рідко). Таким чином досягається хороший рівень користувацького досвіду.

Завдяки використанню таких компонентів запропонована система відрізняється від доступних на ринку аналогів своєю ціною. Побудова контролера управління поливом з урахуванням підключення до нього датчиків обійдеться приблизно в 1000 гривень, що в 1,5 рази менше ніж ціна за таймер поливу, і в 2 рази менше ніж ціна за такий самий як запропонована система контролер поливу із обширнішим функціоналом.

### Висновок

Здійснено аналіз відносно нової галузі – кіберфізичних систем, проаналізовано сучасні системи автоматизації поливу. Здійснено вибір компоненти для реалізації системи з управлінням поливом, проведено аналіз взаємозв'язку компонентів системи, а також зв'язку користувача із.

Система вимірює 4 різні параметри: Температура повітря, атмосферний тиск, вологість повітря, вологість ґрунту. Описано роботу та відношення компонентів системи поливу, розроблено схеми електричну структурну та електричну функціональну.

Така система автоматизації поливу значно спрощує зрошення і дозволяє ефективно використовувати ресурси та час. Її можна застосовувати як для прикореневого поливу окремих нив, так і для організації трубової системи зрошення середніх масштабів; крім того можна застосувати систему для поливання газонів та польових насаджень.

1. Wang Chun Zhi I; Yatsyshyn S. Lysa O.; Midyk A-V. *Cyber-physical systems and their software* School of Computer Science, Hubei University of Technology, China; [Online] Available at: <http://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/sep/14522/0064.pdf> (Accessed: 22 November 2021).

2. *Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems. Workshop Report, Energetics Incorporated Columbia, Maryland. 2013* [Online] Available at: <https://www.nist.gov/system/files/documents/el/CPS-WorkshopReport-1-30-13-Final.pdf> (Accessed: 22 November 2021).

3. Melnyk A. O. *Cyberphysical systems: problems of creation and directions of development* / Melnyk A. O. // *Bulletin of Lviv Polytechnic National University "Computer systems and networks"*. – 2014. – № 806. – P. 154–161. [Online] Available at: <http://csn.lpnu.ua/ua/magazine/details/v2016> (Accessed: 22 November 2021).

4. Mykyychuk M. M., Stadnyk B. I., Yatshyshyn S. P., Lutsyk Ya. T. (2017). *Measuring Smart Means for Cyber-Physical Systems. Measuring Technology and Metrology: Issue 77*, pp. 3–17. [Online] Available at: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/sep/14522/0064.pdf> (Accessed: 22 November 2021).

5. *Remontu.ua* [Online] Available at: <https://remontu.com.ua/vidi-i-sposobi-polivu-roslin-v-teplycyax> (Accessed: 22 November 2021).

6. *AquaPrise* [Online] Available at: <https://www.aquaprice.com.ua/ua/brands/> (Accessed: 22 November 2021).



7. *Artproject* [Online] Available at: <https://ap-n.com/avtomatizacija-poliva/> (Accessed: 22 November 2021).
8. *Mse-Online* [Online] Available at: <http://mse-online.ru/osushitelnye-melioracii/optimalnaya-vlazhnost-pochvy.html> (Accessed: 22 November 2021).

## CYBERPHYSICAL SYSTEM OF WATERING WITH REMOTE CONTROL

A.Hrytsyk, Y.Klushyn

Lviv Polytechnic National University,  
Computer Engineering Department

© Hrytsyk A., Klushyn Y., 2021

**Abstract:** In today's reality, the pace of people's lives is much higher than it was 30 years ago and it is still growing. At the same time, the amount of information also growing. This information should to be processed constantly, daily, as soon it is received. Production volumes are also not standing still. Such a lively pace of life requires process consistency and continuity. And these processes must be provided by man.

This article describes the system of watering which should automate the process of growing plants. Also the analysis of a new branch, cyber-physical systems is carried out. The analysis of modern systems of autonomous irrigation, principles of their construction and organization of their work are committed. A method of implementing a system that provides the possibility of constant monitoring of the growing environment and provides an opportunity to influence it is suggested. The choice of components for system construction is made. The algorithm of the program operation is described. An analysis of the relationship between system components and the user's relationship with the system is performed.

**Index Terms:** autonomous watering, cyber-physical system, microcontroller, remote control, sensors.