

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ
ПРОМИСЛОВОЇ ТЕПЛИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ
ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

С .А. Шворов, доктор технічних наук, професор

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

Н. А. Пасічник, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

А .О. Дудник, кандидат технічних наук, доцент

В. О. Мірошник, кандидат технічних наук, доцент

Ю. Л. Цицюрський, інженер

Р. Ф. Поліщук, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: ozon.kiev@gmail.com

Анотація. У статті представлено підхід щодо використання сучасних технологій Інтернету речей для керування процесами енергозабезпечення теплиць, у тому числі на основі використання біогазових електростанцій, що є нині актуальним завданням. Метою роботи є розробка інтелектуальної системи керування енергозабезпеченням промислової теплиці при сумісному використанні централізованих джерел енергозабезпечення та місцевих, реалізованих на базі біогазової установки. Для досягнення поставленої мети у роботі використано програмне забезпечення Cisco packet tracer, яке необхідне при формуванні «комплексу розумної теплиці», оскільки ця версія включає численні пристрої Інтернету речей, за допомогою яких можна моделювати реальну мережу енергозабезпечення теплиці. Особливістю системи є впровадження процесів інтелектуального керування процесами енергозабезпечення на основі використання продукційних правил. Про увесь стан комплексу з теплиці та біогазового виробництва персонал буде повідомлено через ІОТ-сервер, який адміністрація може контролювати віддалено через свій смартфон. У статті наведено проект моделювання такої системи, який виконується за допомогою інструмента візуального моделювання під назвою Cisco package Tracer. Керування системою організовано з використанням спеціального модулю керування, адаптованого під рішення Інтернету-речей, що може отримувати інформацію не тільки від сенсорів, а і від веб-сервісів. Модуль керування дозволяє впроваджувати складні сценарії, що критично важливо виходячи з урахування біологічної складової об'єктів керування тепличних господарств. Гнучкість і масштабованість є двома основними характеристиками представленого прототипу «комплексу на базі розумної теплиці», оскільки пристрої та служби можна змінювати, додавати або видаляти.

Масштабованість перевіряється шляхом додавання нових систем, що можна здійснити в режимі симуляції.

Ключові слова: *Інтернет речей, теплиця, альтернативне енергоживлення комплексу*

Актуальність. Біогазове виробництво є актуальним трендом як для зеленої енергетики, так і сільськогосподарського виробництва взагалі і особливо для тепличних господарств, де можливо досягнути максимального економічного ефекту виробництва. Це обумовлено тим, що технології закритого ґрунту потребують як електричну енергію для освітлення, тепло для підігрівання, так і CO_2 для підживлення рослин, що утворюється при спалюванні газу в когераційних установках. Крім того, як показано в роботі D.A.Meza-Carhuamasa та інші [1], нині широко проводяться дослідження щодо можливості використання в якості добрив твердих і рідких фракцій продуктів, які утворюються в біогазових установках (БГУ) при генерації біогазу,

Специфікою біогазового виробництва на території України є тривалий зимовий період, коли необхідно витратити енергію передусім на підтримку процесу газоутворення М. Spodoba та О. Spodoba (2023) [2]. В актуальному тренді енергоефективності, що реалізується в Україні, концепції енергоефективних громад, показаних в роботі S. A. Shvorov [3], пропонується запровадити ринкові умови щодо вибору залучення зовнішніх та внутрішніх джерел електроенергії. На рис. 1 показано зміну добової вартості електричної енергії для комерційних споживачів впродовж тижня. З приведених даних видно, що впродовж тижня тричі вартість електричної енергії кілька годин була низькою і відповідно було доцільним її використання для енергозабезпечення теплиці. У багатьох випадках зміна вартості електроенергії носить випадковий характер і відповідно для прийняття рішення про залучення комерційної енергії потрібно врахувати багато факторів таких, як температура в теплиці, температура зовнішнього середовища, рівень сонячного випромінювання тощо.

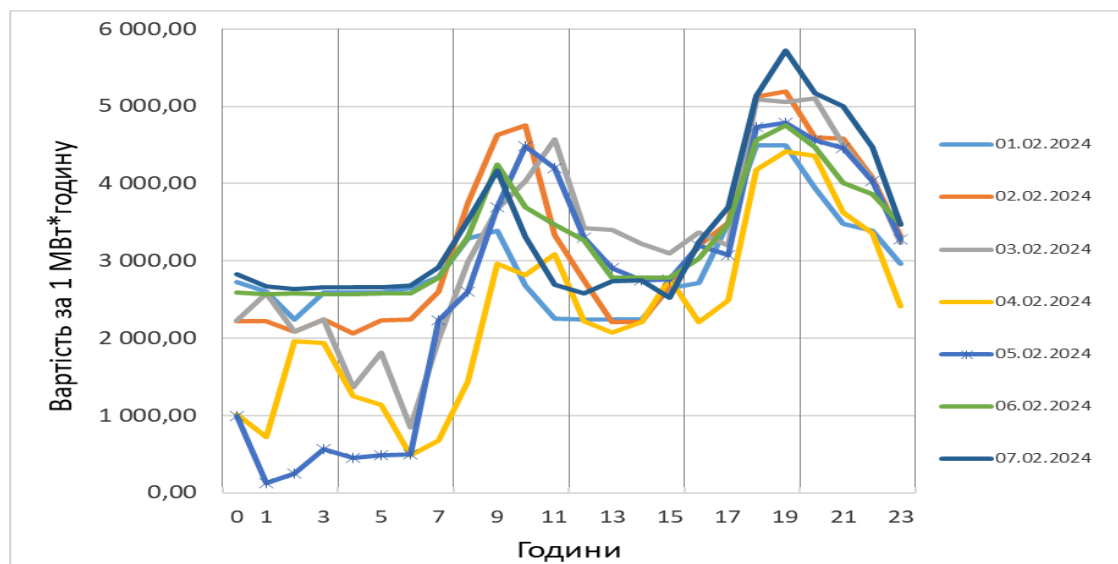


Рис. 1. Залежність вартості комерційної електроенергії в період 1-7 лютого 2024 року (<https://www.oree.com.ua/index.php/pricectr>).

Технічна реалізація збору інформації на сучасному технічному рівні можлива завдяки впровадженню технологій Інтернету речей (IoT), які в свою чергу добре інтегруються до технологій BigData для керування складними бізнес процесами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Використання IoT при виробництві біогазу досліджувалися в роботах Р. Ону та інші [4], а поєднання тваринницької ферми та БГУ в роботі S. V. Akram and A. Joshi [5], де показано певні складнощі в поєднанні обладнання різних розробників. У роботах S.A.Tanveer та інші [6] та O.K.T. AL sultan and A.R.Suleiman [7] приведено позитивний досвід використання ПЗ Cisco Packet Tracer, до якого добре інтегровано велику кількість сенсорів та комунікаційних компонентів. А в роботі B.Ratnala [8] показано, що саме Cisco Packet Tracer є ідеальним методом побудови функціонального моделювання для Інтернету речей. З урахуванням того що Cisco Packet Tracer для наукових та освітніх потреб є безкоштовним, для досліджень було обрано саме це програмне забезпечення.

Метою дослідження є розробка інтелектуальної системи керування енергозабезпеченням промислової теплиці при сумісному використанні централізованих джерел енергозабезпечення та місцевих, реалізованих на базі БГУ.

Матеріали і методи дослідження. Обґрунтування моделі системи енергозабезпечення для промислової теплиці здійснювалось за допомогою

програмного забезпечення Cisco Packet Tracer. Для демонстрації логіки взаємодії між окремими компонентами системи модель теплиці умовно поділяється на три блоки, з подальшим зведенням їх у загальну схему.

Перший компонент моделі системи складається з умовної теплиці, обладнаної автоматизованими системами зашторювання та фрамуг, а також інтегрованими датчиками температури та вологості (рис. 2).

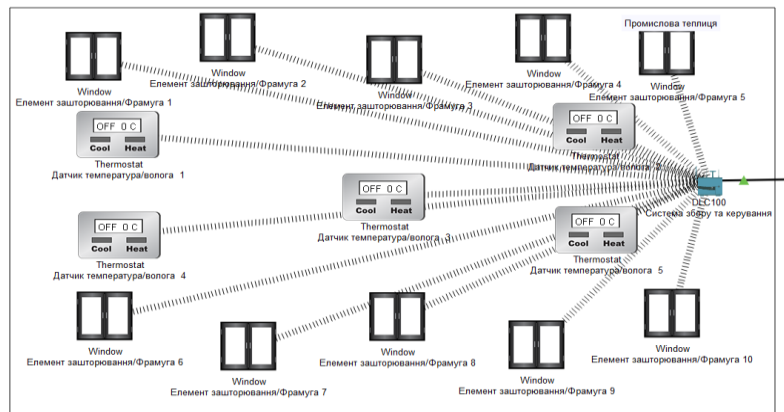


Рис. 2. Умовна модель промислової теплиці

Центральним елементом цього блоку є пристрій дистанційного керування, що виконує функції збору даних від датчиків та управління механізмами відкриття та закриття, забезпечуючи автоматизацію регулювання мікроклімату всередині теплиці. Основна мета цього блоку полягає у створенні оптимальних умов для росту та розвитку рослин, що досягається шляхом точного контролю внутрішнього середовища.

Автоматизація процесів у теплиці дозволяє не тільки підтримувати необхідний рівень вологості та температури, але й оптимізувати споживання водних та енергетичних ресурсів, знижуючи витрати та вплив на довкілля. Інтелектуальне керування системами зашторювання та вентиляції на основі даних від датчиків дозволяє адаптувати тепличні умови до зовнішніх змін клімату та специфічних вимог культивованих культур, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню ефективності аграрного виробництва.

У другому блоці моделі основна увага приділена пункту керування, який виступає як вузловий елемент для агрегації, обробки зібраних даних та управління

на основі отриманої інформації (рис. 3). Цей блок включає комутатор, що з'єднує систему збору даних із теплиці з хмарним сховищем для резервного копіювання, серверною для аналізу даних, а також персональний комп'ютер технолога з відповідним програмним забезпеченням для оптимізації технологічних процесів. Важливою частиною цього блоку є також мобільний пристрій, який забезпечує можливість дистанційного моніторингу та аварійного управління системою.

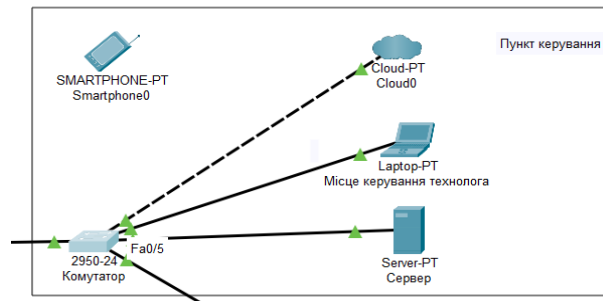


Рис. 3. Пункт керування

Застосування комутатора як центрального вузла для інтеграції компонентів пункту керування забезпечує високий рівень надійності та ефективності управління даними. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни умов у теплиці та адаптувати управлінські стратегії для забезпечення оптимального росту та розвитку рослин, водночас мінімізуючи ресурсні витрати та підвищуючи ефективність аграрного виробництва.

Основою загальної моделі є блок системи енергозбереження, який втілює передові підходи до управління енергопостачанням теплиці з акцентом на оптимізацію споживання та використання альтернативних джерел енергії. Цей блок має за мету забезпечити баланс між економічною ефективністю та екологічною стійкістю, використовуючи інтелектуальну систему автоматичного керування (ІСАК) джерелами енергії на основі реальних даних про ціни на електроенергію та наявності біогазу як альтернативного джерела (рис. 4).



Рис. 4. Система енергозабезпечення

Основою інтелектуальної системи керування є база знань, тому що всі алгоритми функціонування системи ґрунтуються на її знаннях. Серцем системи енергозбереження є продукційні правила агрегації управлінських рішень на сервері та інтеграції з хмарним сховищем. Це дозволяє системі відстежувати актуальні ціни на електроенергію та автоматично керувати переключенням між мережевим живленням та системою спалювання біогазу. Алгоритм дії системи базується на порівнянні поточної ціни на електроенергію з заданими користувачем параметрами: якщо ціна перевищує встановлений поріг протягом заданого часового періоду, система ініціює перехід на спалювання біогазу, що забезпечує енергією теплицю, тим самим знижуючи залежність від зовнішнього постачання та витрати на електроенергію.

На відміну від традиційних систем, де вибір джерела енергії часто залишається статичним або вимагає ручного втручання, запропонована модель реалізує динамічне керування, здатне адаптуватися до змінних умов ринку в реальному часі без постійного моніторингу з боку оператора. Це досягається за рахунок автоматизованого збору даних та аналізу, що значно підвищує ефективність управління енергоресурсами.

Таким чином, блок системи енергозбереження є ключовим елементом моделі, що демонструє інноваційний підхід до керування енергопостачанням в аграрному секторі, забезпечуючи не тільки економічну вигоду, але й сприяючи сталому розвитку завдяки оптимальному використанню альтернативних джерел енергії.

У процесі розробки моделі системи енергозабезпечення для промислової теплиці детально розглядалися три ключові блоки: автоматизація умовної теплиці, пункт керування та систему енергозбереження, використовуючи програмне забезпечення Cisco Packet Tracer. Кожен блок був реалізований з огляду на його вклад в загальну ефективність та стійкість системи, від точного моніторингу мікроклімату до інтелектуального керування енергетичними потоками. Після проектування моделі системи енергозабезпечення теплиці, наступним кроком є програмування та налаштування ключових компонентів системи, що забезпечують її функціональність. Для цього було використано два основні методи: налаштування через графічний інтерфейс користувача (GUI) вкладки Config та через інтерфейс командного рядка (CLI). Ці підходи дозволяють ефективно керувати маршрутизаторами, шлюзом та сервером IoT, які є важливими елементами у забезпеченні стабільного та безперебійного енергозабезпечення теплиці.

Шлюз та сервер IoT були налаштовані для взаємодії з аутентифікаційним сервісом, що дозволяє не тільки здійснювати контроль за станом підключених до сервера IoT пристроїв через інтернет, але й впроваджувати комплексні правила та умови для автоматизованого управління розумними об'єктами в теплиці. Це включає програмування логіки реагування на певні умови, такі як зміни температури чи вологості, що можуть вимагати автоматизованого втручання, наприклад, активації системи зашторювання або подачі біогазу для генерації тепла та електроенергії.

Результати досліджень та їх обговорення. У цій частині дослідження пропонується графічний інтерфейс системи керування та збору інформації, який ефективно відображає всі компоненти першого блоку, включно з датчиками температури та системами зашторювання (рис. 5). Особлива увага зосереджена на інтерфейсі одного з термостатів, що ілюструє деталі програмування, задіяного для його роботи. Також на зображенні представлено систему зашторювання, інтегровану в автоматизовану систему керування, з варіантом ручного регулювання через користувацький інтерфейс. Така можливість ручного керування надає системі важливу гнучкість, дозволяючи оператору швидко адаптуватися до змін умов

вирощування, що є критичним для забезпечення оптимального мікроклімату в теплиці та ефективного управління ресурсами.

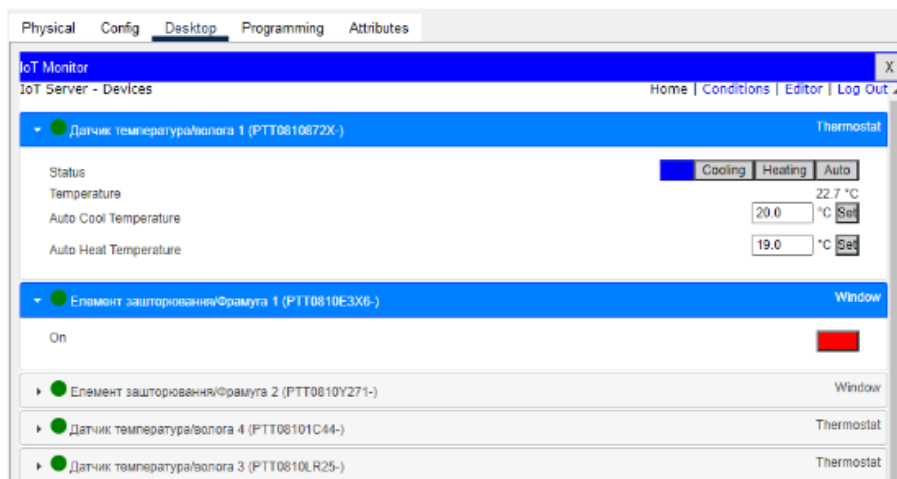


Рис. 5. Підключені пристрої умовної моделі промислової теплиці

На рис. 6 відображено процес графічного програмування системи автоматичного регулювання зашторювання на основі даних, отриманих від термостата. Показано інтерфейс, де вибраний конкретний термостат, і задані параметри температури, при досягненні яких система зашторювання активується для внесення корективів у мікроклімат теплиці. Цей механізм забезпечує динамічне регулювання умов всередині теплиці, реагуючи на зміни температури, що сприяє створенню ідеального середовища для росту та розвитку рослин. Вибір конкретної системи зашторювання, яка повинна відреагувати на зміни, демонструє гнучкість та точність управління системою, дозволяючи оптимізувати використання природного освітлення та підтримувати необхідний рівень температури без зайвого енергоспоживання.

Цей блок включає імпорт необхідних бібліотек для роботи з HTTP запитами (для взаємодії з хмарним сервісом) та SNMP протоколом (для управління мережевими пристроями). Використання SNMP (Simple Network Management Protocol) та HTTP дозволяє ефективно інтегрувати мережеві компоненти з веб-сервісами.

При цьому визначаються основні конфігураційні параметри для взаємодії з хмарним сервісом і мережевим обладнанням через SNMP. Описані параметри

включають URL хмарного сервісу для отримання інформації про ціни на енергію та OID (Object Identifier) для специфічних дій над об'єктами у мережі (рис. 7).

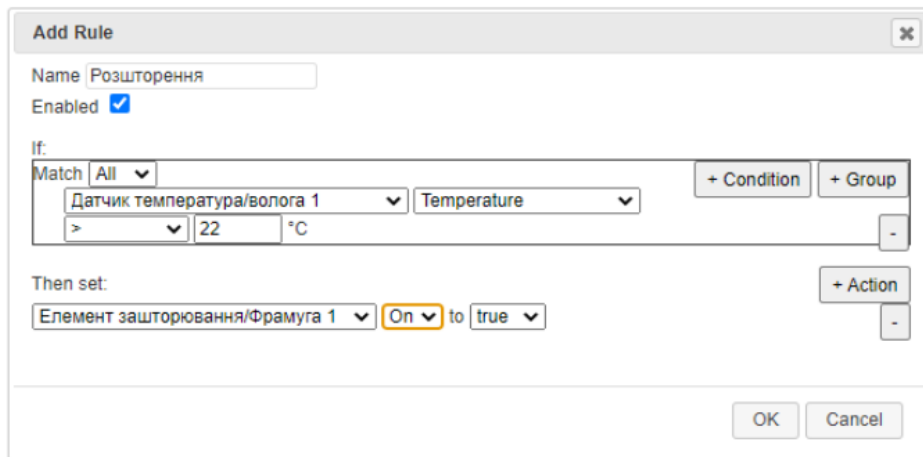


Рис. 6. Графічне програмування автоматичного регулювання зашторювання від зміни вимірюваної величини термостатом

```
4
5 # Параметри для запиту до хмарного сервісу
6 CLOUD_SERVICE_URL = "http://example.com/api/energyPrice"
7
8 # Параметри SNMP для керування пристроями
9 AUTOMAT_OID = "1.3.6.1.4.1.9.9.999" # OID для автомата споживання
10 BIOGAS_OID = "1.3.6.1.4.1.9.9.199" # OID для системи подачі газу
11 SNMP_TARGET = "192.168.1.2" # IP адреса Home Gateway
12 COMMUNITY_STRING = "public"
13
```

Рис.

7. Конфігурація параметрів

Блок програмного коду (рис. 8) відіграє ключову роль у динамічному управлінні станами пристроїв в автоматизованій системі. Він використовує SNMP (Simple Network Management Protocol) – стандартизований протокол для моніторингу та управління пристроями в IP-мережах. SNMP дозволяє здійснювати зміни в конфігурації мережевих пристроїв віддалено, що є ідеальним для сценаріїв, де потрібно швидко реагувати на зміни умов або даних. Функція «**set_device_state**» приймає OID (Object Identifier) – унікальний ідентифікатор, який вказує на конкретний параметр або стан пристрою, який потрібно змінити, та значення стану, на яке потрібно цей параметр встановити.

```
13
14 def set_device_state(oid, state):
15     """
16     Відправлення SNMP команди для зміни стану пристрою
17     """
18     errorIndication, errorStatus, errorIndex, varBinds = next(
19         setCmd(SnmpEngine(),
20               CommunityData(COMMUNITY_STRING),
21               UdpTransportTarget((SNMP_TARGET, 161)),
22               ContextData(),
23               ObjectType(ObjectIdentity(oid), Integer32(state)))
24     )
25     if errorIndication:
26         print(errorIndication)
27     elif errorStatus:
28         print('%s at %s' % (errorStatus.prettyPrint(),
29                             errorIndex and varBinds[int(errorIndex) - 1][0] or '?'))
30
```

Рис. 8. Функція для зміни стану пристрою

При виклику функція формує SNMP «set» запит, використовуючи бібліотеку `pySNMP`, і відправляє його на цільовий пристрій, що дозволяє, наприклад, активувати або деактивувати систему подачі біогазу або автомат споживання без необхідності фізичного доступу до них. Цей підхід забезпечує високу гнучкість та ефективність управління інфраструктурою. У цьому фрагменті програмного коду розкривається суть інтелектуальної системи керування енергоспоживанням, розробленої для промислових теплиць. Використовуючи API для періодичного отримання даних про ціни на електроенергію, система аналізує отриману інформацію, щоб автоматизувати процес вибору між традиційним електропостачанням та альтернативними джерелами енергії, такими як система подачі біогазу.

Основна логіка фрагменту програми «**check_energy_price()**» (рис. 9) включає в себе циклічний запит до хмарного сервісу для визначення актуальної ціни на електроенергію.

За допомогою порогових значень «**price_threshold**» та «**consecutive_threshold**» програма визначає, коли ціна на електроенергію перевищує економічно неефективний рівень, вимагаючи зміни джерела енергопостачання. Введення логіки відстеження послідовності запитів, які перевищують поріг, дозволяє уникнути частих перемикань між джерелами енергії внаслідок короткотривалих коливань цін, мінімізуючи знос обладнання та забезпечуючи більш стабільне та передбачуване управління ресурсами.

```
30
31 def check_energy_price():
32     """
33     Періодичний запит ціни на електроенергію та керування пристроями
34     """
35     price_threshold = 4
36     consecutive_threshold = 3
37     consecutive_high = 0
38     consecutive_low = 0
39
40     while True:
41         response = requests.get(CLOUD_SERVICE_URL)
42         if response.status_code == 200:
43             price_data = response.json()
44             current_price = price_data['price']
45             if current_price > price_threshold:
46                 consecutive_high += 1
47                 consecutive_low = 0
48             else:
49                 consecutive_low += 1
50                 consecutive_high = 0
51
52             if consecutive_high >= consecutive_threshold:
53                 set_device_state(AUTOMAT_OID, 0) # Вимкнути автомат
54                 set_device_state(BIOGAS_OID, 1) # Ввімкнути систему біогазу
55             elif consecutive_low >= consecutive_threshold:
56                 set_device_state(AUTOMAT_OID, 1) # Ввімкнути автомат
57                 set_device_state(BIOGAS_OID, 0) # Вимкнути систему біогазу
58         else:
59             print("Error retrieving energy price data")
60
61         time.sleep(60) # Чекати 1 хвилину перед наступним запитом
62
63 if __name__ == "__main__":
64     check_energy_price()
65
```

Рис. 9. Фрагмент програми керування енергоспоживанням

Функції «set_device_state (AUTOMAT_OID, state)» відіграють ключову роль у керуванні фізичними пристроями системи, активуючи або деактивуючи автомат споживання та систему подачі біогазу на основі аналізу цінової інформації. Вибір протоколу SNMP для цих цілей обумовлений його універсальністю та широкою підтримкою в обладнанні, що дозволяє ефективно інтегрувати мережеве обладнання різних виробників в єдину систему керування.

Логіка взаємодії:

1. Моніторинг цін на електроенергію: система автоматично запитує актуальні дані про ціни на електроенергію через заданий хмарний сервіс. Це забезпечує постійний аналіз ринкової ситуації та дозволяє оперативно реагувати на зміни;

2. Відстеження послідовних запитів: алгоритм аналізує послідовність отриманих значень цін, порівнюючи їх із заданим порогом. Введення механізму відстеження кількості послідовних запитів, які перевищують порогове значення, має на меті запобігти частому перемиканню системи між режимами споживання через короткочасні коливання цін. Це дозволяє уникнути зайвого зносу обладнання та оптимізувати його експлуатаційний цикл;

3. Інтелектуальне керування пристроями: за допомогою SNMP протоколу система керує станом підключених пристроїв (автомат споживання та система подачі газу) на основі аналізованих даних. Рішення про вмикання або вимикання пристроїв приймається з урахуванням стратегії попередження частих перемикачів, забезпечуючи ефективне та економічне використання енергетичних ресурсів.

Параметри порогових значень та кількості послідовних запитів задаються відповідальною особою або визначаються інтелектуальною системою підтримки економічного енергозабезпечення. Це дозволяє системі бути максимально адаптованою до специфіки експлуатації та ринкових умов, забезпечуючи оптимальне співвідношення між економією коштів на енергоспоживання та забезпеченням необхідного рівня енергопостачання для потреб теплиці.

Важливою функцією програмного забезпечення Cisco Packet Tracer є можливість працювати як в режимі реального часу, так і в режимі симуляції. Цей режим є вкрай корисним для комп'ютерного моделювання щодо сценаріїв роботи системи для досягнення максимального економічного ефекту. Модуль керування дозволяє впроваджувати складні сценарії, що критично важливо, виходячи з урахування біологічної складової об'єктів керування тепличних господарств. На рис. 10 показано імітацію роботи системи, яка мала переключитися зі споживання газу від біогазової установки при умові низької вартості енергії ($\leq 3\ 000$ грн/МВт) від центральної мережі електропостачання.

Імітуючи програмними засобами зміни температурних показників у теплиці можна моделювати роботу системи і на базі отриманого досвіду її навчати. Такі рішення є перспективними для керування системою енергопостачання з урахуванням випадкових змін вартості електроенергії для досягнення максимального прибутку.

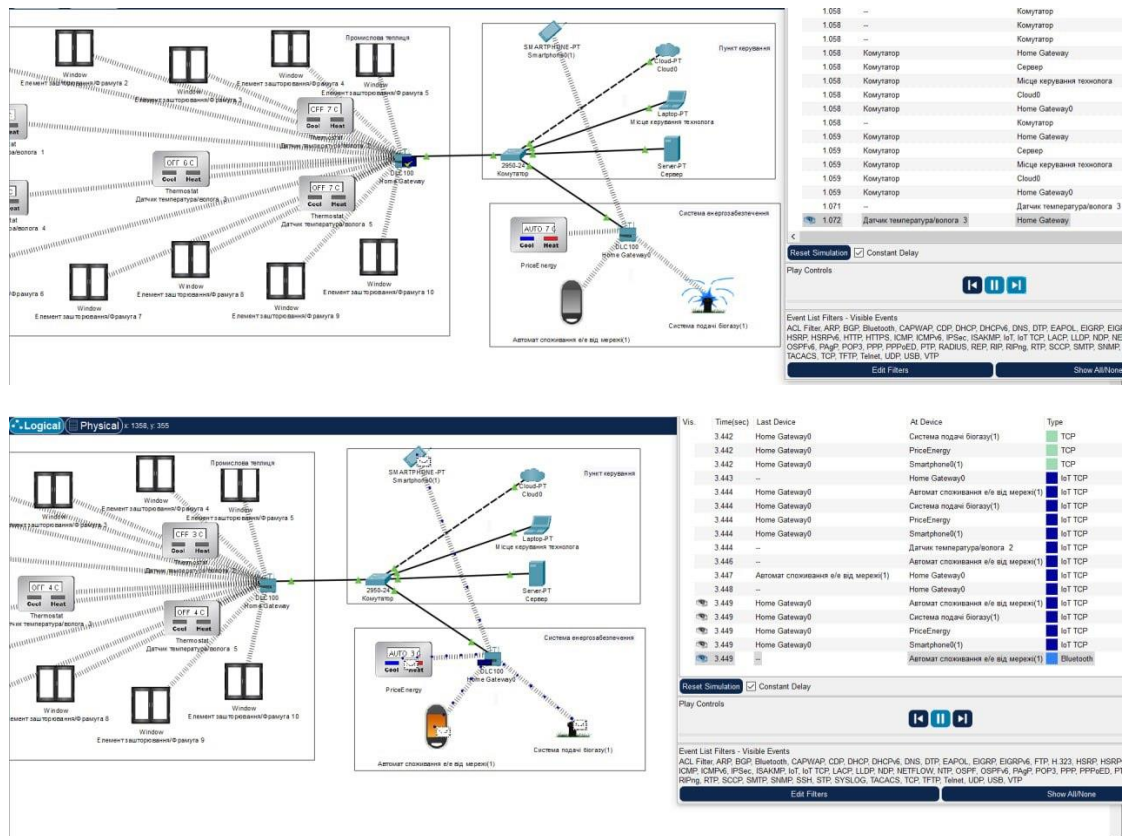


Рис. 10. Інтерфейси Cisco packet tracer в режимі симуляції. Верхній екран – вартість електрики 7 000 грн/МВт енергоживлення від БГУ, знизу відповідно вартість 3 000 грн/МВт і енергоживлення від зовнішніх джерел

Висновки і перспективи. У статті розроблені методичні засади побудови інтелектуальної системи керування енергозабезпеченням промислової теплиці при сумісному використанні централізованих джерел енергозабезпечення та місцевих, реалізованих на базі БГУ. Запропоновано використання програмного забезпечення Cisco packet tracer для представлення «комплексу розумної теплиці», оскільки ця версія включає численні пристрої Інтернету речей, за допомогою яких можна моделювати реальну мережу, включаючи її компоненти, пристрої та протоколи. Фізичний робочий простір у системі трасування пакетів дозволяє будувати топологію та фізично розташовувати пристрої інтелектуальної системи.

Реалізовано прототип моделювання «комплексу розумної теплиці» на основі Інтернету речей, у якому різні служби відстежуються та контролюються через графічний інтерфейс веб-сторінки на смартфонах, ноутбуках і ПК.

Гнучкість і масштабованість є двома основними характеристиками представленого прототипу «комплексу на базі розумної теплиці», оскільки пристрої

можна змінювати, додавати або видаляти. Масштабованість перевіряється шляхом додавання нових підсистем.

References

1. D. A. Meza-Carhuamaca, M. V. Gavilan-Quispe, E. F. Zevallos-Jara and E. N. Gabriel-Campos (2023). "Automated Biogas Production for Electricity Supply at CEPAP," *2023 6th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE)*, Suzhou, China, 470-476, doi: 10.1109/RCAE59706.2023.10398829.
2. M. Spodoba and O. Spodoba (2023). "Mathematical Model of Changes in Energy Costs for Thermostabilization of the Substrate and Objects in a Biogas Reactor," *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 1-6, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402431.
3. S. A. Shvorov, N. A. Pasichnyk, O. A. Opryshko, D. S. Komarchuk, A. O. Dudnyk and F. V. Hluhan (2022). "The Methodological Foundations of Building an Energy Efficient Community," *2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 297-300, doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9766956.
4. P. Onu, C. Mbohwa and A. Pradhan (2023). "Artificial intelligence-based IoT-enabled biogas production," *2023 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)*, Rome, Italy, 1-6, doi: 10.1109/ICCAD57653.2023.10152349.
5. S. V. Akram and A. Joshi (2022). "IoT based Intelligent Cattle Shed Management," *2022 International Interdisciplinary Humanitarian Conference for Sustainability (IIHC)*, Bengaluru, India, 628-632, doi: 10.1109/IIHC55949.2022.10060386.
6. S. A. Tanveer, N. M. S. Sree, B. Bhavana and D. H. Varsha (2022). "Smart Agriculture System using IOT," *2022 IEEE World Conference on Applied Intelligence and Computing (AIC)*, Sonbhadra, India, 482-486, doi: 10.1109/AIC55036.2022.9848948.
7. O. K. T. AL sultan and A. R. Suleiman (2021). "Simulation of IoT Web-based Standard Smart Building Using Packet Tracer," *2021 7th International Engineering Conference "Research & Innovation amid Global Pandemic" (IEC)*, Erbil, Iraq, 48-53, doi: 10.1109/IEC52205.2021.9476125.
8. B. Ratnala, T. Anuradha, V. Maddali and H. V. Chintalapudi (2023). "Designing Smart Room Using Cisco Packet Tracer Simulator," *2023 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, India, 183-188, doi: 10.1109/ICSSIT55814.2023.10061048.

INTELLIGENT ENERGY SUPPLY MANAGEMENT SYSTEM OF INDUSTRIAL GREENHOUSE USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES

**S. Shvorov, O. Opryshko, N. Pasichnyk, A. Dudnyk, V. Miroshnyk,
Y. Tsitsyurskii, R. Polishchuk**

Abstract. *The article presents an approach to the use of modern technologies of the Internet of Things to manage the energy supply processes of greenhouses, including, based*

on the use of biogas power plants, which is an urgent task today. The aim of the work is the development of an intelligent energy supply management system for an industrial greenhouse with the combined use of centralized sources of energy supply and local sources implemented on the basis of a biogas plant. To achieve the goal, the Cisco packet tracer software was used in the work, which is necessary for the formation of a "smart greenhouse complex", since this version includes numerous Internet of Things devices, which can be used to simulate a real greenhouse energy supply network. A feature of the system is the implementation of intelligent management of energy supply processes based on the use of production rules. The staff will be informed about the entire state of the greenhouse and biogas production complex via the IOT server, which the administration can control remotely via their smartphone. The article presents a simulation project of such a system, which is performed using a visual simulation tool called Cisco package Tracer. System management is organized using a special management module adapted to Internet of Things solutions, which can receive information not only from sensors, but also from web services. The control module allows you to implement complex scenarios, which is critically important based on the consideration of the biological component of greenhouse management objects. Flexibility and scalability are the two main characteristics of the presented prototype "complex based on a smart greenhouse", since devices and services can be changed, added or removed. Scalability is tested by adding new systems, which can be done in simulation mode.

Key words: *Internet of things, greenhouse, alternative energy supply of the complex*