

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.536.5:631.445.5

ПОГОДЖЕНО

Директор ІНН енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ІНН)

В.В. Каплун
(ПШБ)

(підпис)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. Г.І. Мартиненка
(назва кафедри)

В.Н. Лисенко
(ПШБ)

(підпис)

«__» _____ 2023 р.

«__» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.2067"С".2021.12.08.024.ПЗ

на тему «**РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ
У БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ**»

Спеціальність: 151– «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління
технологічними процесами у галузях АПК
(назва)

Гарант освітньої програми

(підпис)

В.В. Коваль, д.т.н., професор
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

(підпис)

В.В. Якушов
(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

(підпис)

С.А. Шворов, д.т.н., проф.
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2023

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І. Мартиненка

В.П. Лисенко

2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Якушову Владиславу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

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

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління технологічними процесами у галузях АПК

Тема магістерської роботи **«РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ У БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ»**,

затверджена наказом ректора НУБІП України від 08.12.2021 року №2067 «С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.05.2023 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як об'єкта автоматизації.
2. Математичне моделювання температурного режиму в біогазовій установці.
3. Розробка методів і засобів для визначення стабільних островів теплової енергії.
4. Моделювання та дослідження нечіткого регулятора в середовищі Matlab.
5. Обґрунтування вибору алгоритму керування та засобів його реалізації.
6. Схеми системи автоматики.

Дата видачі завдання «10» грудня 2021 року

Керівник магістерської роботи

(Підпис)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Шворов С.А.

(Прізвище та ініціали)

Якушов В.В.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

НУБІП України

Вступ 4

РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу виробництва біогазу як

об'єкта автоматизації 7

1.1. Стан автоматизації технологічного процесу із зображенням
функціональної схеми автоматизації 7

1.2. Методика впровадження територіальних енергетичних комплексів
на місцевій сировині для урбанізованих територій 13

1.3. Інтерпретація даних щодо наявної та перспективної кількості
біомаси в містах 18

РОЗДІЛ 2. Математичне моделювання температурного режиму в

біогазовій установці 28

2.1. Аналіз фізико-хімічних процесів, що протікають в об'єкті
автоматизації 28

2.2. Математичний опис теплових процесів в біореакторі 32

2.3. Аналіз динаміки та визначення передаточної функції об'єкта
керування 37

РОЗДІЛ 3. Розробка методів і засобів для визначення стабільних
островів теплової енергії 40

РОЗДІЛ 4. Моделювання та дослідження нечіткого регулятора 59

4.1. Аналіз особливостей нечіткого управління САК 59

4.2. Моделювання та дослідження нечіткого регулятора в середовищі
Matlab 65

Висновки 74

Література 75

НУБІП України

ВСТУП

НУВБІП України

Актуальність теми. У сучасному розвитку сільського уряду

важливим є питання збільшення енергетичних ресурсів та переробки промислових відходів.

НУВБІП України

За даними статистики щорічно країни ЄС виробляють побутові та сільськогосподарські відходи в об'ємах 100-120 млн т нафтового еквіваленту

(н. е.). З них 50-60 млн т н. е. можуть бути утилізовані в віддаленій

НУВБІП України

перспективі, а зараз 15-20 млн т н. е. Аналогічні показники для альтернативних джерел енергії становлять (млн т н. е.): геотермальна енергія — 3-7,5, сонячна енергія — 10-20, енергія вітру — 6-10 (1).

Загальне виробництво первинної енергії з біогазу в країнах ЄС в 2012

р. становило понад 12 млн т н.е. (еквівалент 18,8 млрд м³ ПГ-природного

НУВБІП України

газу). Загальна кількість біогазових установок в 2014 р. перевищувала 13800 одиниць.

Домінуючим напрямом енергетичного використання біогазу є

виробництво електроенергії з подальшим постачанням до електричної мережі.

НУВБІП України

За останнє десятиліття почали швидко розвиватися проекти виробництва біометану з подальшим закачуванням у мережі ПГ. Звичайно, біометан подається у розподільчі мережі під тиском нижче 16 бар.

Нині БМ (біометан) виробляється у 15 європейських країнах. Подача

БМ у мережу відбувається в 11 країнах (Австрія, Чехія, Німеччина, Данія,

НУВБІП України

Фінляндія, Франція, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Швеція,

Великобританія). У 12 європейських країнах (Австрія, Чехія, Німеччина,

Данія, Фінляндія, Франція, Угорщина, Ісландія, Італія, Нідерланди, Швеція,

Великобританія) біометан використовується як моторне паливо (в тому числі

НУВБІП України

у вигляді суміші з ПГ), а також для виробництва тепла (в чистому виді або в суміші з ПГ).

На сьогодні загальна кількість біометанових станцій у європейських країнах досягла 250 од., з яких 200 станцій подають БМ в мережу ПГ.

Дорожня карта з виробництва біогазу в країнах ЄС показує можливість виробництва біогазу в 27 країнах ЄС в 2020 р. в обсязі, еквівалентному 29,43 млн. т н.е. (еквівалент 36,29 млрд м³ природного газу). Для цього достатньо

буде використовувати 35% усіх гнойових відходів тваринницьких ферм і вирощувати енергетичні культури під біогаз на 5% сільськогосподарських земель. При цьому приблизно 3/5 обсягу біогазу планується виробляти з

енергетичних культур, 1/5 – із гною, і ще 1/5 – з інших відходів і побічних

продуктів промисловості та сільського господарства. За оцінками аналітиків, ринок біогазу продовжить стрімко розвиватися, замішуючи інші енергоносії в загальній структурі енергетичного балансу країн.

Для України найнагальнішою проблемою є необхідність скоротити витрати на енергію, а саме постачання природного газу, що, в свою чергу, виводить на низку видів економіки на ниві виживання.

Внаслідок кількох років виснаження витрати на енергоносії зросли в кілька разів, що поставило на бік виживання не тільки сільськогосподарський виробник, але й ряд районів національної економіки.

Зниження споживання енергії може бути досягнуте за рахунок впровадження принципу нових технологій.

Україна має значний потенціал альтернативних джерел енергії (ВДЕ).

Класифікація таких джерел енергії та установок для їх використання:

1) Енергія сонця: рідинні сонячні колектори; збірники повітряних гелів, фотоелектричні батареї.

2) Енергія вітру: вітряні електростанції; вітряні турбіни.

3) Енергія Землі: гравітаційна енергія; приливні станції; геотермальна енергія; геотермальні установки.

4) Біологічна енергія: біогазові установки.

Одним з таких джерел є використання технологій для отримання альтернативних джерел енергії, серед яких належне місце були прийняті технології для виробництва газоподібного органічного палива.

Найбільш відомою і перевіреною у всьому світі технологією отримання газоподібного палива є анаеробне перетравлення органічної маси з викидом біогазу 55 - 70% метану, від 30 до 45% діоксиду вуглецю і менше 1% інших газів (сірководень, азот, ароматичні вуглеводні і т. д.).

Біомаса на сьогоднішній день є четвертою за величиною в світі, хоча в даний час вона забезпечує лише 14% світового споживання первинних носіїв.

Біомаса, на відміну від традиційних «вичерпних» мінералів, які швидко розширюються, є джерелом постійно зростаючої енергії.

Згідно з дослідженнями, технічно здійсненний потенціал виробництва біогазу з відходів гною в тваринницьких фермах України становить 1718,6 тис. тон в рік. Для досягнення таких результатів при утилізації відходів використовуйте БГУ.

В Україні на базі тваринницьких комплексів (село Оленівка, Дніпропетровська область, село В. Крупіл і Терезине Київської області) побудовано і функціонує 3 великих БГУ і багато невеликих БГУ.

Однак методи анаеробної переробки біомаси в нашій країні вкрай обмежені. Основною причиною цього є відсутність розвитку енергетичних питань: високі витрати на температурну стабілізацію і нагрів субстрату, неналежне використання біогазу, надмірне використання електроенергії для власних потреб БГУ.

В ході магістерської дисертації проводиться дослідження технологічного процесу в БГУ, параметри робочого обладнання та технологічний процес утилізації органічних відходів сільськогосподарських підприємств шляхом анаеробної ферментації у біореакторі для виробництва біогазу здійснюються

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ
ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ1.1. Стан автоматизації технологічного процесу із зображенням
функціональної схеми автоматизації

Біогазова установка являє собою систему обробки та знезараження біологічних відходів і отримання двох кінцевих продуктів біогазу та високоякісних органічних біологічних добрив. Біогазова установка побудована з одного або декількох реакторів стічних вод.

Основою роботи БГУ є біологічні процеси ферментації і розкладання органічних речовин під впливом утворюючих метан бактерій в анаеробних умовах, які характеризуються відсутністю вільного кисню, високої вологості і температурного середовища 15-20°C для психрофільних, 30-40°C для мезофільних і 50-70°C для термофільних бактерій.

Анаеробна ферментація проводиться в герметичному контейнері - реакторі, зазвичай циліндричному в формі горизонтального або вертикального розташування. Для ефективної ферментації в порожнині реактора необхідно підтримувати постійну температуру відповідно до прийнятого режимом ферментації: мезофільних або термофільних і проводити регулярне змішування засвоюється сировини.

Слід зазначити, що мезофільний режим вимагає менше тепла, але розкладання органічних речовин при такій температурі відбувається повільніше і не повністю.

Термофільна переробка сировини вимагає більшої кількості тепла, більш високій швидкості розкладання, збільшення виходу біогазу і найменш небезпечного для навколишнього середовища. Однак цей режим трохи складніше для реалізації і контролю.

В процесі ферментації відбувається викид біогазу, який містить 40-70% метану, 30-60% діоксиду вуглецю, близько 1% сірководню і невелика кількість азоту і водню. Об'ємне тепло спалювання біогазу становить близько 22 МДж.

Щоб максимізувати продуктивність установки, необхідно постійно змішувати субстрат і годувати свіжим. Установка оснащена спеціальною програмою мікшування і подачі, яка налаштовується для кожної підкладки окремо.

Всі процеси управляються автоматично. Основне обладнання включає сепаратор, що відокремлює біомасу від установки до твердої і рідкої фракції.

Система контролю і безпеки обладнання надзвичайно важлива, оскільки БГУ все ще є газовим об'єктом, що вимагає обов'язкового контролю за безпекою операцій. Тільки в усьому комплексі вищевказаних умов БГУ буде забезпечувати високу продуктивність газових і якісних добрив, принесе значні економічні, екологічні та естетичні вигоди для підприємства.

Біогазова установка не споживає енергію ззовні, а, навпаки, працює з виробництвом енергії. З енергії, виробленої для потреб самої біогазової установки, вона складає всього 10-15% взимку, а влітку - всього 5%.

Біогазові ємності закачуються в BSU за допомогою насосів або доставляються вантажівками в бункер-завантажувачі. Свіжа сировина потрібно подавати в реактор невеликими порціями кілька разів на день. Земляні або підземні камери бродіння метану (горизонтальні, вертикальні) виготовляються зі сталі, заливаються бетоном або монтуються з бетонних блоків невеликого розміру. На вибір матеріалу впливає його вартість, а також оціночна вартість внутрішнього тиску. Реактор являє собою газонепроникний, повністю герметичний резервуар. Ця конструкція ізольована, оскільки всередині резервуара необхідно зафіксувати температуру мікроорганізмів.

(зазвичай 35-37°C). У середині реактора знаходиться змішувач, призначений для повного змішування вмісту реактора з урахуванням того, що:

1. Використання реактора регулюється температурою і температурою бактерій для життя.

2. Газові бульбашки - це винні матері, які можуть бути закладені на поверхню, і процес накопичення біогазу стає ефективним.

3. Видалення перев'язувального матеріалу на поверхні біомаси.

Перемішування виконується механічними мішалками або ж шляхом нагнітання (під тиском) біогазу в резервуар, що викликає виникнення бульбашок, які переміщують матеріал в камері.

Оптимальна температура для біомаси зберігання мезофільних ферментів складу становить близько 35-37°C. Тому всі БГУ мають обігрівальні пристрої. Найчастіше застосовуються водяні нагрівачі, а іноді теплообмінники. З метою підтримання відповідної температури всередині камери сировину перед завантаженням підігрівають шляхом розбавлення

гарячою водою або ж в теплообмінниках. Джерелом теплової енергії є частина (25 – 35%) виробленого біогазу, інша частина, що залишилась, використовується для виробництва електроенергії або теплопостачання господарських приміщень. Витрати тепла для підтримання процесу ферментації залежать від ефективності метанової ферментації, а також

конструкційного вирішення ферментаційного резервуару (теплова ізоляція).

У біогазовій установці газ, призначений для виробництва електричної енергії, необхідно відділити від баластних речовин, таких як вода та сірководень (допустимий вміст H_2S 1000 – 2000 мг/м³). Для осушення біогазу

використовують адсорбуючий метод або метод конденсації. Необхідність видалення сірководню виникає у зв'язку з його сильними корозійними властивостями, особливо при використанні біогазу для живлення газових двигунів. Сірководень звичайно видаляють шляхом біологічного окислення, додаючи 2 – 8% повітря до необробленого біогазу. У деяких випадках виникає

необхідність видалення двоокису вуглецю фізико-хімічним шляхом, проте це необхідне лише тоді, коли до біогазу висуваються вимоги підвищеної якості.

Резервуари для біогазу повинні бути обладнані наступними елементами:

- манометрами;
- механізмом перекривання полум'я, який запобігає його поширенню за межі установки;

- пристроєм, що служить для спалювання надлишку біогазу у випадку аварії установок, що його використовують.

Виробництво електроенергії відбувається у комбінованих системах для виробництва електричної енергії та теплоти або ж у газових генераторах

електричного струму. Вода, яка використовується для охолодження генератора, може спрямовуватися у теплообмінник і служити джерелом енергії для підгріву матеріалу, що завантажується. Електрична енергія, котра

виробляється у комбінованих системах або ж в генераторах електричного струму, може використовуватися на власні господарські потреби або продаватися в енергетичну мережу.

Один кубічний метр біогазу дозволяє виробляти:

- 1 кВт·год електричної енергії (при коефіцієнті корисної дії системи 30%);

- 5 кВт·год теплової енергії (при коефіцієнті корисної дії системи 70%).

У комбінованих системах вироблення електроенергії і тепла: 2 кВт·год електричної енергії та 6,3 кВт·год теплової. Зараз у світі існує ряд технічних рішень та установок, що дають можливість проведення професійної метанової ферментації (виробництво біогазу) із виділень тварин.

Виробництво біометану стрімко розвивається у країнах ЄС, яка може бути досить хороша, щоб передумати в Україні, як наступних факторів:

1. Висока енергетична інтенсивність економіки України в порівнянні зі світовими показниками. Високе споживання природного газу, в тому числі на потреби відсталих промислових підприємств.

2. Критична залежність України від нестабільних доставок газу із зовнішніх ринків, у тому числі з Росії.

3. Високі та нестабільні ціни на природний газ, тенденції до їх збільшення для всіх категорій споживачів.

4. Високий потенціал виробництва біогазу з відходів АПК.

5. Великий потенціал виробництва біогазу при використанні вільних орних родючих земель для вирощування сировинних енергетичних культур за їх потенційно меншої собівартості (в порівнянні з виробництвом західних країн).

6. Розвиток транспортної інфраструктури ПГ, яка включає магістральні трубопроводи, що з'єднують Україну з країнами Європи, а також мережі розподільчих трубопроводів, які забезпечують велику частину населення України природним газом.

7. Традиції використання ПГ на транспорті, розвинута мережа газових заправних станцій (АГНКС).

Існує ряд технічних рішень і установок, які дозволяють професійно управляти ферментацією метану (виробництво біогазу) з екстрактів тварин

(рис.1.1). У колекцію входять органічні відходи ферми (2). З нього вихідний

субстрат з глибокої помпою (3) наносять на сепаратор грубих включень і змішування підкладки (4), а потім з дозуючим насосом (5) в метановий слово, забезпечений термостатичною системою, змішування, примусової евакуації і

розвантаження. З резервуара для метану рідкі органічні добрива виводяться

через вхід для води (7). Їх відторгнення можна використовувати для

поверхневого і внутрішнього шкірного введення в культивування основних культур. Для отримання твердих добрив, які більш зручні для зберігання і

транспортування, суміш подається в концентратор-змішувач (8), де його

доводять до пастоподібного стану. Компост даної вологості виходить шляхом

змішування з сорбентом - торфом, тирси тощо. Газ накопичується в газовому балоні низького тиску (10).

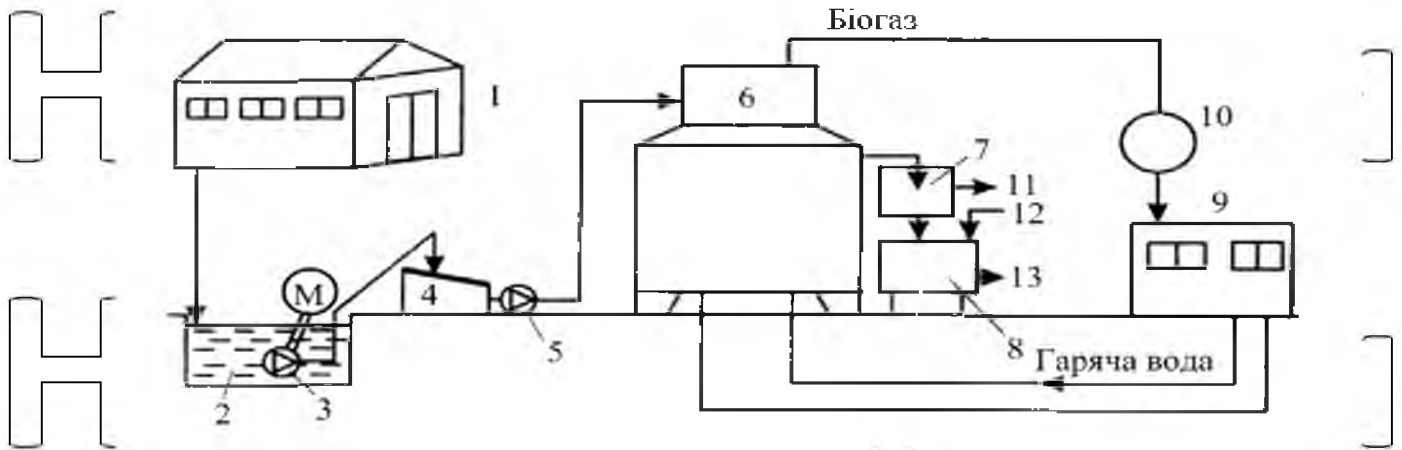


Рис. 1.1. Технологічна схема типової біогазової установки:

1 - ферма; 2 - збірник; 3 - заглиблена помпа; 4 - відокремлювач грубих включень та змішувач субстрату; 5 - помпа - дозатор; 6 - метантенк; 7 - гідро затвор; 8 - концентратор - змішувач; 9 - блок - контейнер; 10 - газгольдер; 11 - рідкі добрива; 12 - сорбенти; 13 - тверді добрива.

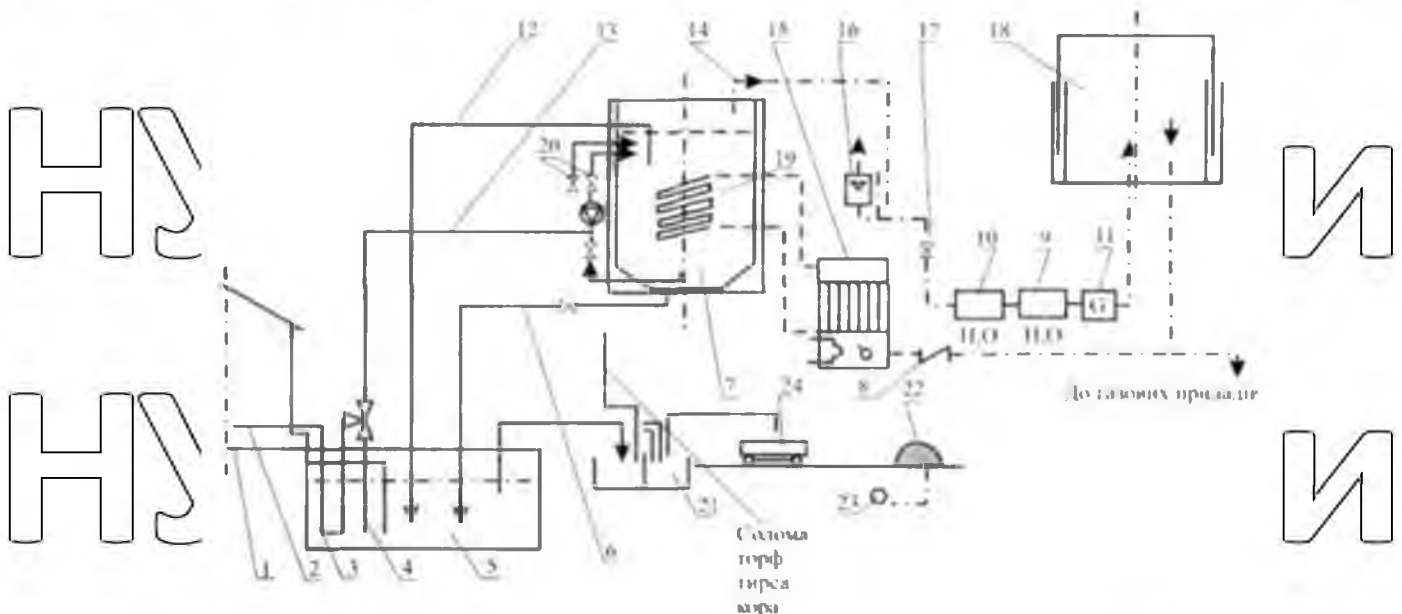


Рис. 1.2. Схема біогазової установки з компостуванням:

1 - ферма; 2 - трубопровід для гнізда корівників; 3 - попередній резервуар; 4 - трубопровід подачі; 5 - резервуар для оброблених німф; 6 - дренажний трубопровід; 7 - ферментаційна камера; 8 - вимикач полум'я; 9 - десульфуранти; 10 - дегідратор; 11 - газовий лічильник; 12 - верхня частина маси; 13-трубопровід; 14 - трубопровід газу; 15 - водогрійний котел; 16 - запобіжник; 17 - вимикач полум'я; 18 - газовий резервуар; 19 - обігрівач; 20 - змішувальні трубопроводи; 21 - осередки для гною; 22 - компостній платформа; 23 - вентилятор; 24 - трактор з навітакуванням + розкидач гною.

Близько 30% газу витрачається на підтримання температурного режиму в резервуарі метану. Пристрій працює в автоматичному режимі, оснащений системою керування і контролю. Експозиція процесу ферментації складає 6 - 12 діб.

1.2. Методика впровадження територіальних енергетичних комплексів на місцевій сировині для урбанізованих територій

Номенклатура місцевих ресурсів для енергозабезпечення, зазвичай, є обмеженою і складається з фотогальванічних елементів, котлів на твердому паливі та біогазових реакторів. Застосування вітрової генерації для урбанізованих територій є обмеженим, оскільки, обумовлене притаманним для вітряків акустичним забрудненням місцевості. Розвиток сонячної генерації є очікуваним в перспективі, оскільки, енергія від неї припадає, як правило, на пікові години навантаження мережі та відповідно її вартість максимальна [3]. Попри значний розвиток в світі впродовж останнього десятиріччя, принциповим недоліком такої генерації є неможливість керування джерелом енергії, мінливість сонячної активності та відсутність її у темний час доби. Одним з можливих джерел тепла та електрики для урбанізованої місцевості може бути переробка побутових відходів, тобто целюлозовмісних матеріалів, а також гілля та хмизу з парків та скверів, тощо. Такі джерела можуть бути ефективними якщо сировина пройшла попередню підготовку та обробку – роздільне збирання, сортування та досушування [4]. Перспективним є використання спеціальних пелет для спалювання, але вихідна біомаса має вологість 40-70%, в той час, як для пелет вологість має складати не більше 10%, що потребує витрат енергії знижуючи сумарну ефективність такого палива [5]. Також, до недоліків такої генерації в мегаполісах слід віднести негативний вплив на довкілля, за рахунок того, що

деревина у місті впродовж вегетації накопичує шкідливі речовини притаманні для міста важкі метали тощо. Біогазові реактори позбавлені цих принципових недоліків притаманних сонячній генерації та ТЕС.

Накопичування сировини впродовж року можливе, в тому числі, при використанні спеціалізованих пелет для біогазових установок, які за рахунок спеціальних домішок оптимізовані для виробництва біогазу [6].

Тобто, виходячи з аналізу літературних джерел, найбільш перспективним для доповнення існуючої енергосистеми урбанізованих територій є біогазові реактори, проте залишаються невирішені питання щодо

сировини, оскільки, для енергоефективної громади доцільно використовувати саме місцеві ресурси. Підходи запропоновані в роботі [2] адаптовані саме під сільську місцевість для якої доцільно використовувати ГІС-технології для

пошуку перспективної сировини, а саме, маргінальні землі для вирощування енергетичних культур. Враховуючи щільність населення та вартість земель в урбанізованій місцевості та, зокрема, мегаполісах, прослідковується те що, наявність в необхідній кількості доступних вільних земель для аграрного виробництва малоімовірна.

Оскільки, традиційні підходи щодо аналізу можливої сировини для біогазових реакторів мало прийнятні для урбанізованих територій, авторами було висунуто гіпотезу про доцільність ідентифікації перспективної сировини по опосередкованим ознакам. До таких ознак можна віднести фіксацію викидів метану, як наслідок розкладання органічних залишків які для місцевої сировини у виробничих масштабах мають сезонний характер.

Методика експерименту. В рамках експерименту, визначали просторово-часові зміни вмісту метану (CH_4) в атмосфері на території України у 2020 році. Наразі картографування вмісту CH_4 у глобальному масштабі можливе тільки за допомогою супутникових даних. Для цього було

використано дані супутникового моніторингу, що проводиться в рамках першої місії присвяченої моніторингу повітря Sentinel-5P за програмою Європейського Союзу (ЄС) по спостереженню за Землею Copernicus. Метою

місії Sentinel – 5P, яка стартувала з 2017 року, є проведення вимірювань з високим просторово-часовим розрізненням, для аналізу хімічного складу атмосфери Землі, а також моніторингу змін клімату та прогнозування.

У якості корисного навантаження космічного апарату (КА) Sentinel – 5P використовується спектрометр TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument). Варто зазначити, що значення CH_4 з КА Sentinel – 5P узгоджені з еталонними вимірюваннями глобальних наземних мереж TCCON (Total Carbon Column Observing Network) та NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change), а також з супутниковими даними GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite). Відповідно документації ЄКА по даним CH_4 , середнє відхилення складає близько 1,5% (24 ppb), що вказує про високу надійність даних.

Концентрація газів у атмосфері вимірюється шляхом безперервного сканування спектрометром TROPOMI в ультрафіолетовому, видимому, ближньому та короткохвильовому інфрачервоному спектрах. А на основі характеристик їх поглинання на певних довжинах хвиль світла моделюється концентрація кожного атмосферного газу [7]. Як результат, ЄКА надає в загальний доступ набори даних що дозволяють представити щоденне покриття всієї Земної кулі з роздільною здатністю 7x7 км по забруднювачам та парниковим газам у атмосфері у форматі netcdf, як продукт Level 2 (L2) в якому пікселі визначаються широтою та довготою, утворюючи нерегулярну сітку. Для проведення аналізу за тривалий період часу, проводили перетворення даних до Level 3 (L3), що здійснювалось з використанням інструментів HARP [8] інстальованих на хмарній платформі.

В експерименті було використано набори даних щодо CH_4 з спектрометру TROPOMI за 2020 рік, отримані з колекції даних Google Earth Engine, як продукт Level 3 (L3) у вигляді стеку зображень.

Використовуючи інструментарій GEE, по даним кожного місяця 2020 року було проведено медіанну оцінку та і реалізовано можливість побудови графіку концентрації CH_4 у точці з буфером 20 км. Як приклад на рис. 1.3.

приведено графік змін кількості метану в повітрі впродовж 2020 року для селища Красилівка Броварського району київської області (координати шир. 50.54° , довг. -30.89°). Для зручності сприйняття інформації було розроблено веб-додаток в якому концентрація реагенту закодовано з допомогою кольорової палітри, інтерфейс якого приведено на рис. 1.4. За даними авторів такий підхід вперше для наукових потреб використовується в Україні.

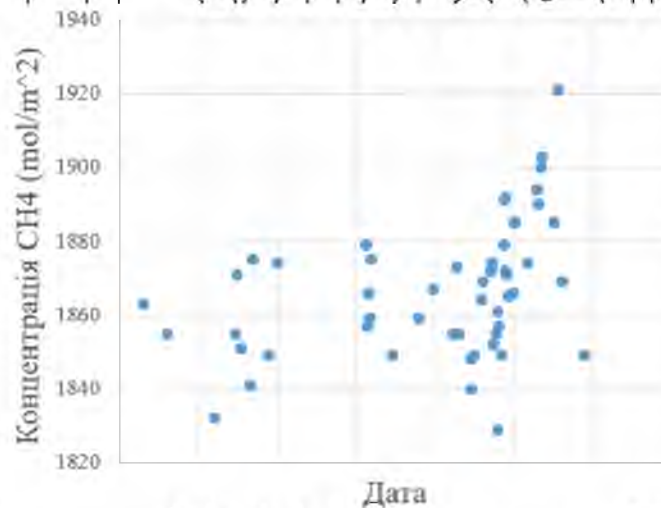


Рис. 1.3. Графік зміни кількості метану в атмосфері впродовж 2020 року для селища Красилівка (Київська область)

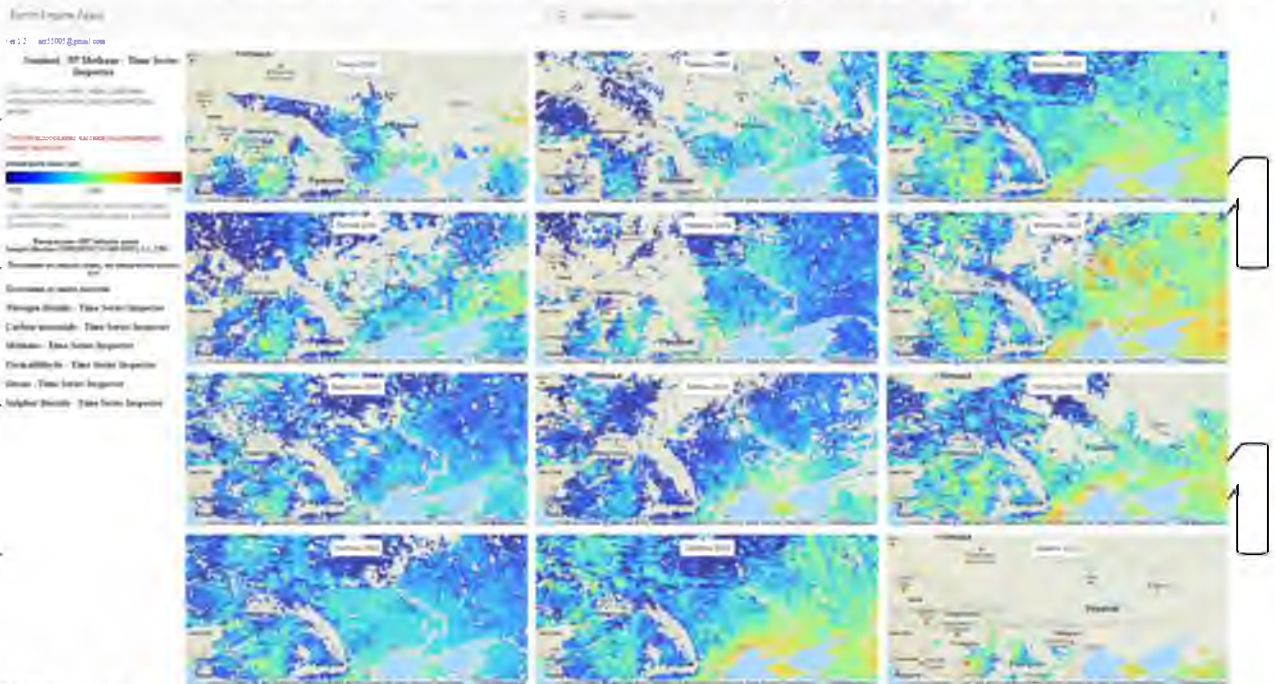


Рис. 1.4. Інтерфейс веб-додатку. Просторово-часові зміни вмісту метану в атмосфері за 2020 рік

Розроблений веб-додаток дозволяє візуально представити дані за кожен місяць та визначити концентрацію в атмосфері CH_4 . Додатково було створено аналогічні веб-додатки, які відображають концентрацію наступних речовин: NO_2 , CO , O_3 , SO_2 , формальдегіди, викиди яких сприяють глобальним змінам клімату.

Отримані результати. На рис. 1.5 візуально представлено просторово-часовий розподіл метану в атмосфері у 2020 році в Київській області за 2020 рік, що відображає динаміку змін вмісту метану.

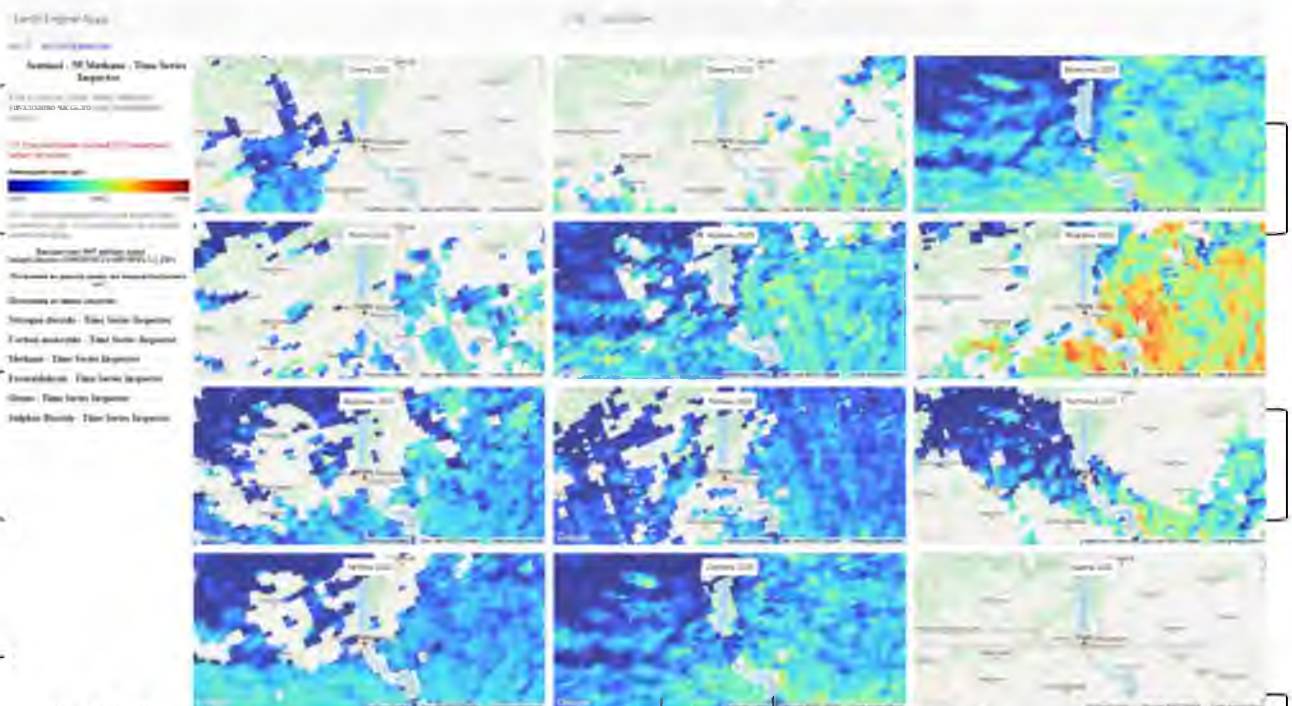


Рис. 1.5. Київська область. Просторово-часові зміни вмісту метану в атмосфері за 2020 рік

Виходячи з представлених результатів спостерігається пік концентрації метану у даному регіоні в жовтні, що, ймовірно, носить сезонний характер. Таке становище не можна пояснити регулярним вивезенням на звалища (полігони побутових відходів) органічних відходів, в тому числі харчових. На думку авторів, вплив внаслідок розкладання побутових органічних відходів на вміст метану в атмосфері також мав був зафіксований у весняний період у зв'язку з подібними сприятливими умовами для гниття органіки.

Подібна ситуація спостерігається у південній частині України, зокрема на узбережжі Чорного та Азовського морів (рис. 1.4). Ймовірно це може бути наслідком різноманітних чинників місцевої специфіки, такого як, гниття водоростей на узбережжях після сезонного цвітіння води пік якого зазвичай у серпні-вересні.

Оскільки для Київської області цього не спостерігається то сезонний характер можна пояснити лише масовим гниттям органіки яке відбувається саме в жовтні. На думку авторів мова йде про гниття органічних решток, а саме опалого листя, скошеної трави та зрізаних гілок з парків, скверів та рекреаційних зон. Причому, що листопад більшості листяних дерев та кущів на Київщині припадає саме на жовтень.

1.3. Інтерпретація даних щодо наявної та перспективної кількості біомаси в містах

При виборі об'єктів досліджень в якості зразку парку було обрано ботанічний сад Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), колекція якого містить майже весь спектр рослин для озеленення міст півночі України (рис. 1.6). Окрім традиційних для озеленення міст дерев та кущів в ботсаду є і перспективні для озеленення ліани. Моніторинг ботсаду НУБіП проводили з висоти 100 м. з використанням гексакоптеру DJI Matrice 600, сенсорна система Slantrange 3. Для позиціонування використовувались засоби штатного D3 Slantview, з його допомогою також обчислювали і вегетаційні індекси запропоновані розробниками обладнання Slantrange.



Рис. 1.6. Дослідні ділянки ботанічного саду НУБіП, де:

1 – трава, 2 – крона дерева із додатковою ліаною, 3 – крона дерева.

Введення до колекції цих рослин обґрунтовано тим, що в частині мегаполісів України через зростання кількості населення при комерційному будівництві житлових комплексів спостерігається збільшення висотності новобудов, так і максимізація кількості будов на території комплексу. За досвідом Іспанії, викладеним в роботі Jaume Marfà Magre et al. (2019) в [19] та Китаю, представлені в Zhiwen Gao et al (2021) в [20], саме ліани можуть ефективно використовуватись для озеленення таких об'єктів.

В якості дослідних зразків міських скверів було вибрано 2 ділянки вздовж вулиці Прилуки між вулицями Чорнобильська та Миколи Ушакова в місті Києві. Вибір саме цієї локації було обумовлено тим, що поруч знаходяться квартали спроектовані за часів СРСР та сучасні новобудови, представлені на рис. 1.7 відповідно ліворуч та праворуч.



Рис. 1.7. Фото ландшафту вул. Прилузна м. Київ (дата зйомки 05.2019 р., отримана з сервісу Google maps)

За часів СРСР щільність забудови була значно нижчою завдяки чому було більше місця для розташування зелених насаджень. Супутниковий знімок зазначених ділянок наведено на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Дослідні ділянки на супутникових знімках від сервісу Google Earth, де 1 – будинки часів СРСР, 2 – новобудови (04.03.2019 р.)

Мультиспектральні супутникові дані отримувались з інтернет-сервісу EO Browser від супутника Sentinel-2 (L2A). Використовувались фотознімки ділянок виконані в безхмарну погоду. Атмосферна корекція та обчислення вегетаційного індексу NDVI здійснювались постачальниками даних. Для

проведення досліджень приймалися дані отримані при максимальній кількості біомаси в парках та скверах, а саме з червня по вересень.

Перерахунок спектральних даних збережених у вигляді монохромних та кольорових зображень форматів .bmp та .jpeg здійснювалась в ПЗ MathCad за методикою описаною в роботі M. Dolia et al (2019) в [21]. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали з допомогою спеціалізованого програмного забезпечення OriginPro 8/Sp4 (розробник Origin Lab Corporation).

Отримані результати та обговорення. *Парк.* На рис. 1.9 та 1.10 представлено розподіл інтенсивності складових кольору для відповідних спектральних каналів Stantrange 3. Розмір дослідної ділянки складав 50×50 пікселів. Апроксимацію експериментальних даних здійснювали з використанням рівняння для Гаусівського розподілу.

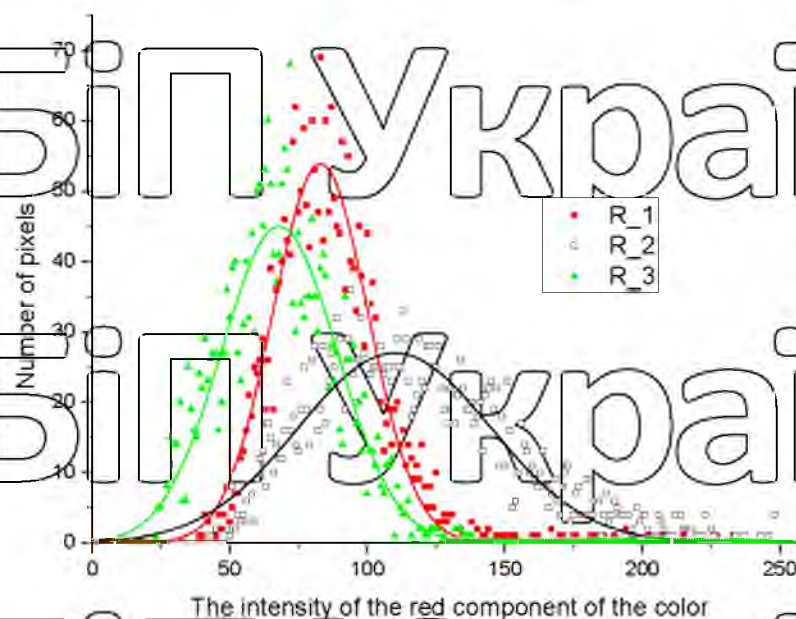


Рис. 1.9. Залежність кількості пікселів від інтенсивності складових кольору для червоного каналу, де:

1 – трава, 2 – крона дерева із ліаною, 3 – крона дерева

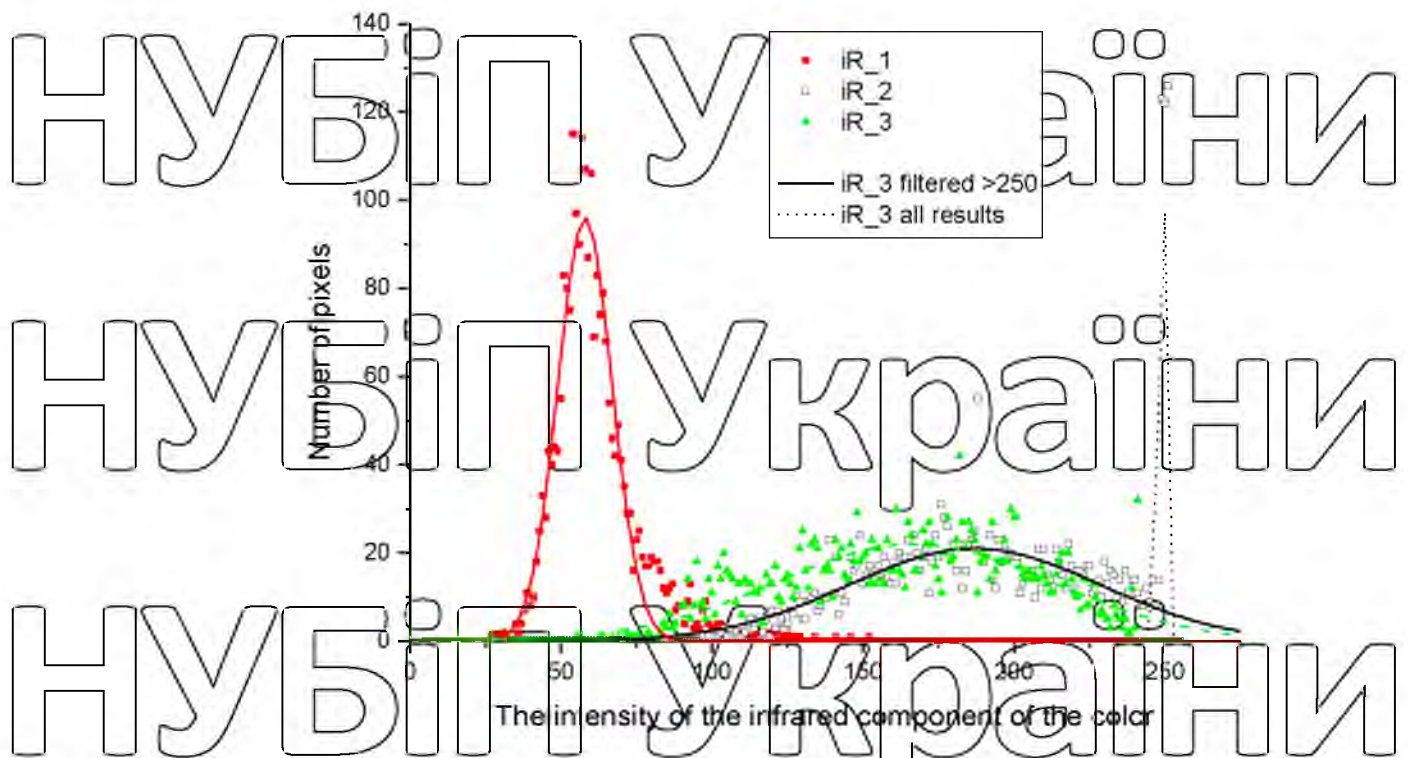


Рис. 1.10. Залежність кількості пікселів від інтенсивності складових кольору

для інфрачервоного каналу, де:

1 – трава, 2 – крона дерева із ліаною, 3 – крона дерева

При статистичному аналізі було встановлено, що розподіл

інтенсивності складових кольору пікселів для трави (1) та крони дерева (3)

добре описуються Гаусівською залежністю (R^2 0,96 та 0,8 відповідно), що

підтверджує результати отримані Yaokai Liu et al (2012) в [22] при

повітряному моніторингу рослинних насаджень. Для зразку крони дерева із

ліаною, якщо розглядати усі дані (iR_3 all results) R^2 становить 0.34, а якщо

відкинути пікселі, інтенсивність складових кольору яких перевищує 255, то R^2

0.8 як і для крони дерева без ліани. Ймовірно це пояснюється саме наявністю

ліани в кроні дерева, що необхідно враховувати при ідентифікації біологічних

об'єктів в місті. Якщо у видимому діапазоні відрізнити траву від крони дерева

проблематично: максимум розподілу для ділянок 1, 2 та 3 становить 83, 110 та

68 відповідно, то в інфрачервоному каналі ситуація з ідентифікацією інша і

максимумами розподілу становлять 58, 167 та 187 відповідно.

Однією з переваг системи Slantrange є фірмове програмне забезпечення, для обробки даних Slantview, а також вегетаційні індекси власного виробництва: Stress, Veg. fraction, Yield potential. При проведенні дослідження, на прикладі стандартних вегетаційних індексів, як-от різні варіації NDVI, було встановлено, що дані обчислені ПЗ Slantview при побудові карти розподілу відрізняються від розрахункових по даним безпосередньо по спектральним каналам. На рис. 1.11 наведено інтерфейси знімків та карти програми Slantview для розподілу індексу RedNDVI для дослідної ділянки парку.

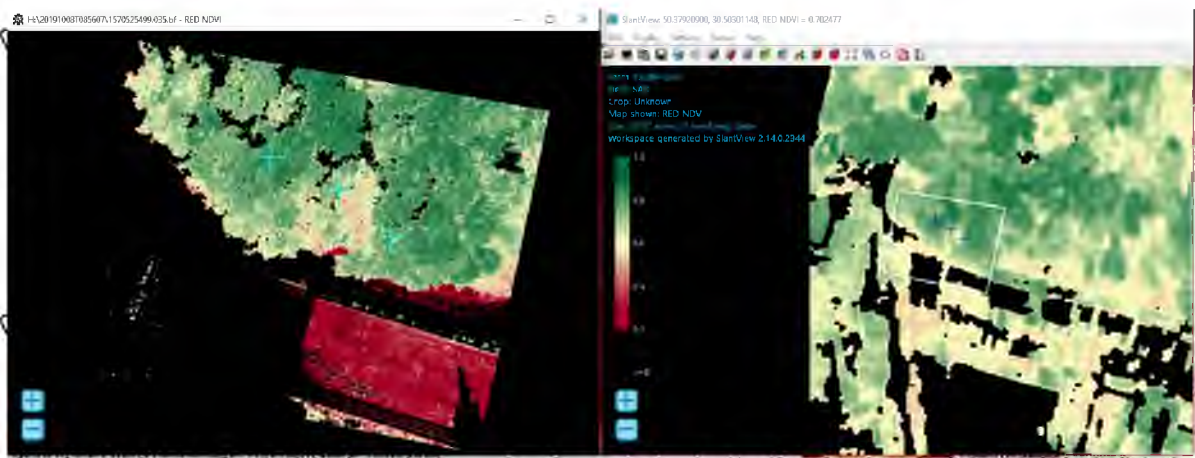


Рис. 1.11. Інтерфейси програми Slantview для вікон знімків (зліва)

та карти (справа)

Для обох інтерфейсів використовується єдина палітра для кодування даних. У вікні карти розшифрування палітри знаходиться в лівій частині інтерфейсу. Результати декодування палітри для різних інтерфейсів мали принципову різницю, як-от на прикладі першої ділянки середнє значення індексу RedNDVI становить близько 0,22 (кодування відтінками червоного кольору), що відповідає розрахункам, а у вікні карт середнє значення індексу становить $0,68 \pm 0,01$ тобто відрізняється в 3 рази. Така різниця в результатах, на думку авторів, пояснюється використанням вбудованої системи фільтрації ділянок розпізнаних як ґрунт, тінь тощо. В таблиці 1.1 приведено результати

величин вегетаційних індексів для дослідних ділянок обчислених засобами ПЗ Slantview.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 1.1.

Величини вегетаційних індексів для дослідних ділянок розраховані з використанням ПЗ Slantview

	1	2	3
Stress	0.35±0.01	0.20±0.01	0.28±0.02
Veg. fraction	0.85±0.04	0.98±0.01	0.95±0.03
Yield potential	0.55±0.03	0.76±0.02	0.67±0.02
Red NDVI	0.68±0.02	0.80±0.02	0.85±0.01

Якщо для ділянки, що відповідає кроні дерева із ліаного по каналам Green, RedEdge та iRed при піксельному аналізі зображення фіксується наявність додаткового об'єкту (рис. 1.10), якому по каналу RedEdge відповідає

біля чверті площі крони, то для карти розподілу обчислених ПЗ Slantview

такого не фіксується. Тобто вибірковість результатів моніторингу була втрачена – наявність двох окремих розподілів, які відповідають різним біологічним об'єктам не фіксувалась.

Слід відзначити, що для парків, де за діючими законодавством можливо використовувати БПЛА, для оцінки горизонтальної проекції крони дерев доцільно використовувати інфрачервоний діапазон (RedEdge та iRed).

Проте стосовно ліан, з використанням системи Slantrange, оцінка біомаси буде ускладнена оскільки завдяки особливостям конструкції спектральний

комплекс розраховано саме на моніторинг горизонтальних поверхонь. Для

ліан, які мають істотну вертикальну проекцію ймовірно доцільно використовувати БПЛА з рухомою камерою, такі як DJI Phantom 4 multispectral, що в роботі Run Yu et al (2021) в [23] використовувався саме для

оцінки вертикальної проекції дерев.

Сквери. Можливість ідентифікувати рослинність в місті по супутниковим знімкам в оптичному діапазоні, а саме відрізнити дерева та кущі від трави на газонах показана в роботі N. Pasiornyk et al (2021) в [16], де було відмічена низька вибірковість порівняно з інфрачервоним діапазоном.

Попри це наявність доступних та безкоштовних даних є принципово важливим для дослідників і відповідно є сенс адаптувати технології інтерпретації саме цих даних. Було висунуто гіпотезу можливості ідентифікації біомаси дерев та кущів, базуючись на відмінностях у стійкості багаторічних рослин із глибокою кореневою системою у порівнянні із одно-, дворічними травами газонів. Архів дає можливість отримати дані за кілька років і відповідно є можливість отримати дані за посушливий період, коли трава перебуває у пригніченому стані. На рис. 1.12 представлено знімки дослідних ділянок, отримані за сприятливих умов (2017 рік) та за умов посухи (2018 рік).



Рис. 1.12. Супутникові знімки дослідної ділянки скверів міста 08.10.2017 (зліва) та 06.08.2018 (справа) за нормальних та засушливих умов відповідно

На рис. 1.13 та 1.14 наведені результати досліджень ділянок візуально ідентифікованих як крона дерев та газон відповідно.

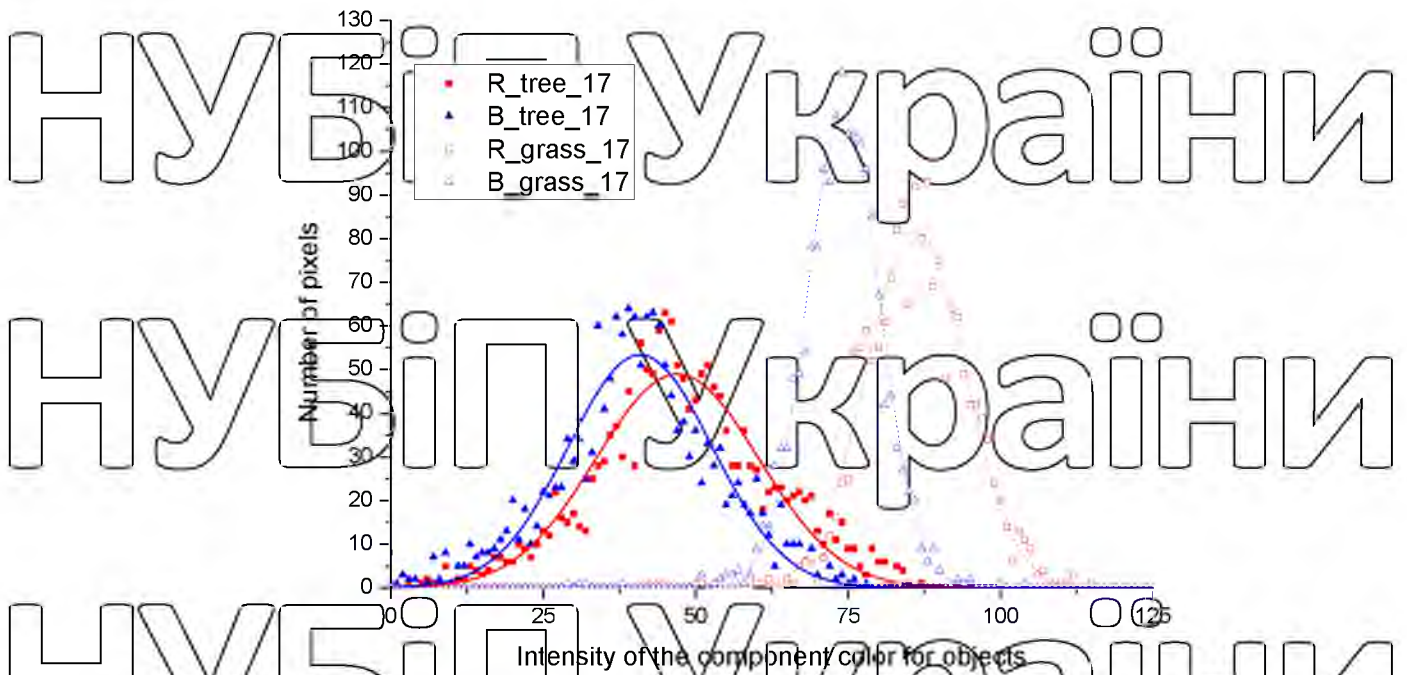


Рис. 1.13. Залежність кількості пікселів від інтенсивності червоної (R) та синьої (B) складових кольору для візуально ідентифікованих ділянок крон дерев та трави, сфотографовані 08.10.2017 р.

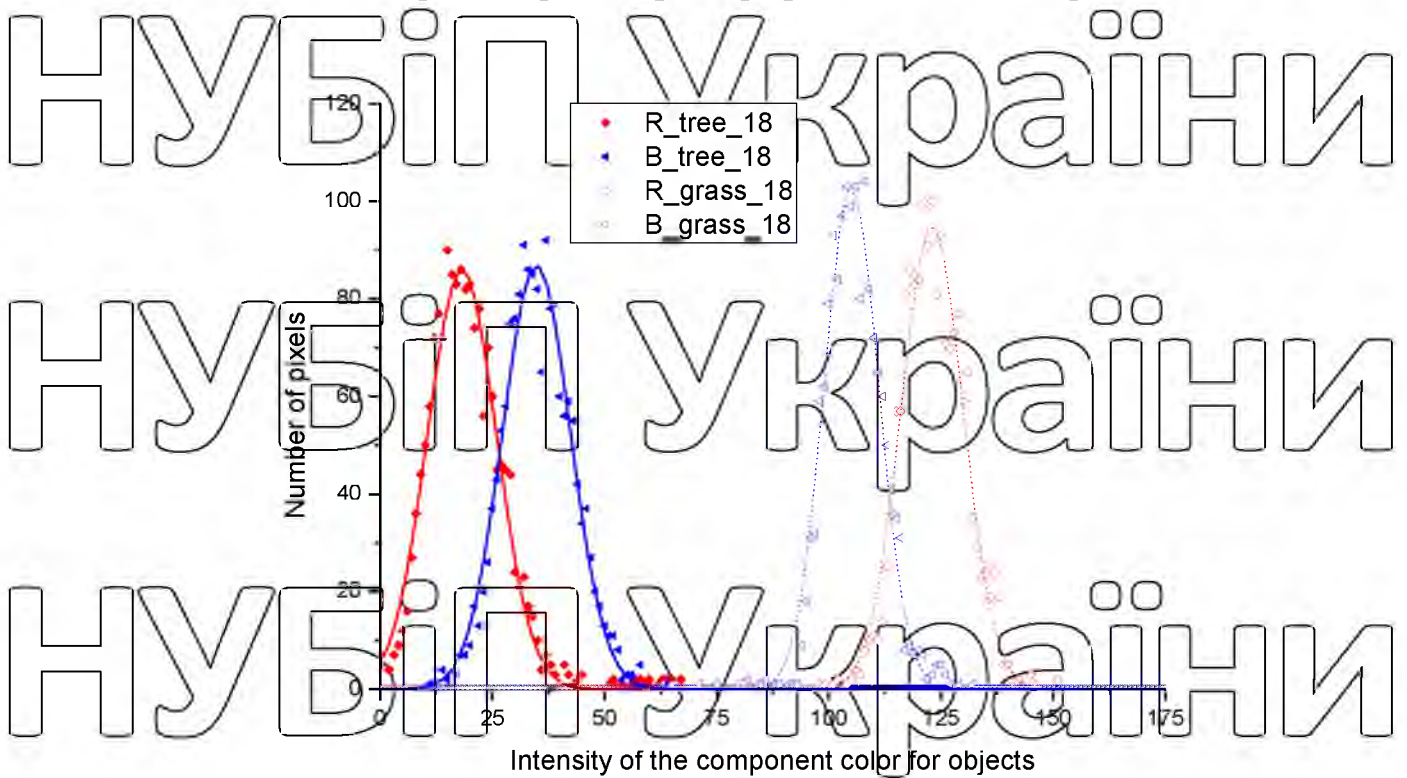


Рис. 1.14. Залежність кількості пікселів від інтенсивності червоної (R) та синьої (B) складових кольору для візуально ідентифікованих ділянок крон дерев та трави, сфотографовані 06.08.2018 р.

Максимуми розподілу по червоному каналу для ділянки крони дерева при зйомці в 2017 та 2018 становили 18 та 42 відповідно. Поясненням такої різниці є відсутність атмосферної корекції знімків, оскільки вони не розглядалися розробниками сервісу як ті, що будуть використовуватись для спектральних досліджень. З цієї причини за потреби є можливість здійснювати обробку даних для кожного знімку персонально, що можливо здійснити орієнтуючись зокрема на дахи будівель чи асфальтовані дороги.

Якщо в 2017 році, при сприятливих умовах, розподіли для інтенсивності складових кольору мали близькі значення, то в умовах посухи 2018 рік, коли трава на газонах вигоріла різниця була істотною і відповідно з'явилась можливість отримати дані з високою вибірковістю. Аналогічні результати, які підтверджують ці висновки, були отримані і для сервісу EO Browser представлені на рис. 1.15.



Рис. 1.15. Розподіл індексу NDVI для дослідних ділянок в нормальних сприятливих кліматичних умовах (2017 рік) та при недостатньому зволоженні (2018 рік) зліва та справа відповідно

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В
БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВІ2.1. Аналіз фізико-хімічних процесів, що протікають в об'єкті
автоматизації

Розрізняють шість видів ферментації біомаси, що проходять одночасно або послідовно: амонієва; азотна; така, що вивільняє азот, якій підлягають азотні складові сировини; окислювальна, кислотна, метанова, якій піддаються вуглеводні із сировини, зокрема целюлоза.

Особливої уваги заслуговує метанова ферментація, що вивільнює горючий газ метан, а також амонієва, продуктом якої є аміак у вигляді розчинних амонієвих солей.

Розпад целюлози у процесі метанового бродіння протікає наступним

чином:



де p – кількість молекул або глюкозних залишків; H_2O – вода, $(C_6H_{10}O_5)$ – целюлоза, CO_2 – двоокис вуглецю, CH_4 – метан, $[J]$ – енергія (тепло).

У результаті розкладу вуглеводнів органічної речовини виникають низькомолекулярні сполуки. Розклад твердих складових сировини проходить тим швидше, чим нижчий ступінь їх полімеризації. Такі речовини, як цукор, крохмаль, геміцелюлоза, піддаються швидкому розпаду в анаеробному процесі (без доступу кисню), утворюючи відповідні органічні кислоти:

оцтову, олійну, молочну тощо. При швидкому накопиченні цих кислот у бродильному середовищі настає уповільнення ферментації. Високополімерні речовини розкладаються повільніше, а згадані органічні кислоти утворюються

більш поступово. Це явище є сприятливим, оскільки подібний перебіг ферментації дозволяє отримувати досить велику кількість метану безперервно та рівномірно.

Метанізація цукрів у бродильному середовищі протікає за двома способами, кожен з яких включає по три фази.

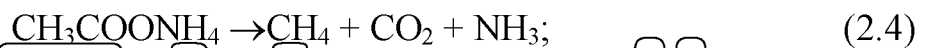
- утворення кислоти – цукор біохімічно перетворюється на жирову кислоту:

$$(C_6H_{10}C_5)n + 7nH_2O \rightarrow 6nCH_3COOH; \quad (2.2)$$

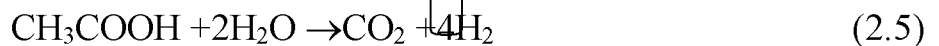
- утворення солі – жирова кислота реагує з основними компонентами з утворенням солі жирової кислоти:



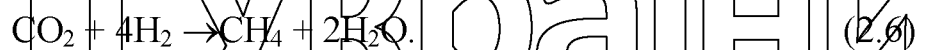
утворення метану – сіль жирової кислоти розпадається з виділенням двоокису вуглецю та метану:



утворення газів – жирова кислота розпадається на двоокис вуглецю та водень:



утворення метану – двоокис вуглецю та водень сполучаються, утворюючи метан.



Не вся органічна сировина потребує проходження трьох фаз ферментації. Багато відходів, наприклад виділення тварин, відразу після появи

містять велику кількість частково розкладеної речовини, що підлягає проходженню наступних фаз процесу ферментації. Водночас деякі органічні сполуки рослин (наприклад лігнін) і всі неорганічні складові не піддаються

зброджуванню. Вони являють собою інертну в цьому процесі масу та утворюють шлам, здатний засмітити систему. Близько 95% маси, якою

заповнений біогазогенератор при зброджуванні, складає вода.

Ефективний перебіг метанової ферментації органічних речовин потребує виконання чотирьох основних умов: безкисневої атмосфери;

відповідної температури або лужній маси; або лужній реакції середовища; присутності бактерій, що виробляють метан.

Дуже важливим фактором ефективного протікання процесу ферментації є температура маси, що зброджується. Метанова ферментація починається при температурі 6°C. При нижчій температурі виділення метану припиняється. Одночасно із зростанням температури швидко збільшується кількість газу, що виділяється. Так, при температурі 30°C виділення біогазу відбувається в 12 разів швидше, ніж при температурі 10°C.

При використанні мезофільних бактерій раціональним температурним режимом вважають 30-35°C, термофільних бактерій – 55-60°C. Термофільні бактерії більш продуктивні, ніж мезофільні. Вони протягом часу експозиції (12-14 днів) мінералізують стільки ж органічних речовин, скільки мезофільні бактерії за 21-36 днів. Завдяки цьому при однаковій кількості виробництва

біогазу за день місткість ферментаційних резервуарів може бути значно меншою. Час експозиції залежить також від виду матеріалу, що завантажуються. Органічні речовини розпадаються з різною швидкістю. Найдовший час експозиції буде при підвищеному вмісті целюлози та геміцелюлози, більш короткий – у випадку наявності в сировині білків та

жирів, а найкоротший – для добу. У випадку вмісту речовин, що важко розкладаються (таких як целюлоза, геміцелюлоза та лігнін), можна застосовувати двоступеневу ферментацію. Прискорити процес можна шляхом подрібнення або розведення маси. Разом з тим, враховуючи підтримання

більш високої температури маси, що бродить, витрати теплової енергії при реалізації термофільних процесів є значно вищими. При низькій температурі навколишнього середовища та недостатній ізоляції резервуару витрати теплової енергії можуть бути настільки великими, що біогазу, який виробляється, не вистачить для обігрівання бродильної маси. У зв'язку із цим

в європейських кліматичних умовах ферментаційні камери звичайно працюють у мезофільному діапазоні температур, тобто при 35 – 37°C.

Суттєве значення в процесі бродіння мають мікроорганізми. Для забезпечення метанової ферментації необхідна наявність в речовині метаногенних організмів, а саме *Bacillus perfringens*. Ці мікроорганізми розвиваються лише у сприятливих умовах – в анаеробному середовищі у лужній реакції при температурі 6-70°C. Для поліпшення протікання ферментації необхідне прищеплення відповідних колоній бактерій. Бажано також стимулювати початок ферментації шляхом додавання вже ферментованого субстрату, тобто прищепити сировині бактерії відповідного штаму, які реалізують цей процес. З метою уніфікації температури органічної

речовини, що піддається ферментації, а також розповсюдження мікроорганізмів в біомасі проводять систематичне її перемішування. Перемішування зароджуваної речовини попереджає місцеву ферментацію, що викликається патогенами. Ферментація біомаси, як правило, проходить три етапи: гідролізу, кислої та метанової ферментації. Через те, що процес відбувається завдяки бактеріям, їм необхідно створити відповідні умови, а саме:

- температуру, оптимальну для даного штаму бактерій;
- час експозиції, визначений за часом притоку сировини до

біогазового реактору (його підбирають так, щоб попередити вимивання бактерій з місткості);

- відповідне завантаження порцією додаткових матеріалів (надто високе призводить до перевантаження системи, а надто мале – до згасання

реакції);

- вміст інгібіторів процесу, таких як антибіотики або засоби охорони рослин. Важливими умовами є збереження постійної температури під час протікання процесу в усьому об'ємі резервуару.

Всі побудовані на даний момент біогазові установки, як господарські, так і промислові, відрізняються великим різноманіттям специфічних виробничих, технологічних та технічних рішень.

2.2. Математичний опис теплових процесів в біореакторі

Моделює мий об'єкт (рис. 2.1) складається з чотирьох ємностей здатних акумулювати теплоту (корпус резервуара, біомаса, теплоносій, поверхневий підігрівач) і має бути описаний рівнянням четвертого порядку.

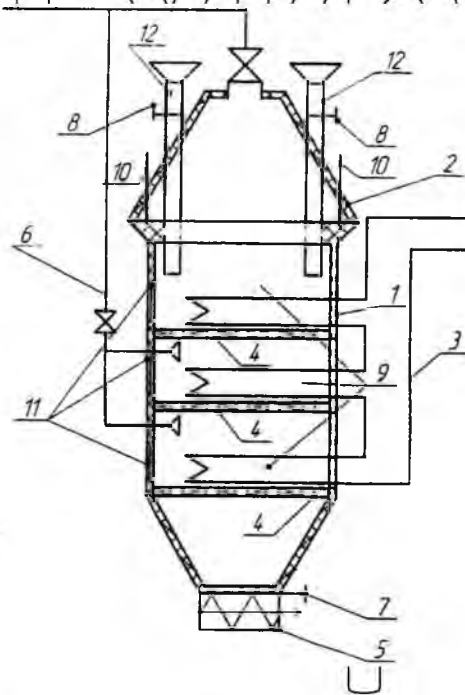


Рис. 2.1. Біогазовий реактор з безпервним циклом бродіння:

1 – корпус, 2 – ковпак, 3 – підігрівач, 4 – решітка, 5 – шнек виводу біодобрив, 6 – труба виводу біогазу, 7, 8 – заслінки, 9 – резервуар, 10 – напрямні ковпака, 11 – оглядові вікна, 12 – отвір для завантаження субстрату

Для пониження порядку диференціальних рівнянь приймаємо такі спрощення і припущення:

- теплоємність стінки нагрівача можна розподілити порівну між теплоносієм і субстратом (одну половину додати до ємності субстрату, другу ємності теплоносія),

- теплову ємність стінки корпусу також можна віднести до субстрату, враховуючи масу останнього

За таких умов біореактор можна представити, як двоємісний об'єкт і описати його двома диференціальними рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} Mc \cdot Cc \cdot \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + Cc \cdot Gc \cdot H \frac{\partial \theta}{\partial x} &= \alpha \cdot f \cdot (t - \theta) - K \cdot F \cdot (\theta - t_3), \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

$$\left. \begin{aligned} Mt \cdot Ct \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} + Ct \cdot Gt \cdot H \frac{\partial t}{\partial x} &= \alpha \cdot f \cdot (t - \theta), \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

де:

θ, t, t_3 – температура субстрату, теплоносія і зовнішнього середовища,

$Mc \cdot Cc, Mt \cdot Ct$ – теплова ємність субстрату і теплоносія,

$Cc \cdot Gc, Ct \cdot Gt$ – тепловий еквівалент субстрату і теплоносія,

α, K – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до субстрату і коефіцієнт теплопередачі крізь стінку корпусу,

f, F – поверхня нагрівача і корпусу.

Оскільки для стабілізації температури теплоносія і субстрату як регулюємі параметри використовують їхні вихідні значення ($t_{вих}, \theta_{вих}$), то

приймаючи мінімальне значення змінення температури t і θ в напрямку руху,

тобто $\frac{\partial \theta}{\partial x} \cong \frac{\Delta \theta}{\Delta x} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{H}$; $\frac{\partial t}{\partial x} \cong \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{t_2 - t_1}{H}$, систему (1) – (2) можна представити у

вигляді:

$$\left. \begin{aligned} Mc \cdot Cc \cdot \frac{d\theta}{d\tau} &= Cc \cdot Gc \cdot (\theta_1 - \theta_2) + Kt \cdot Ft \cdot (\bar{t}_T - \theta_c) - Kk \cdot Fk \cdot (\bar{\theta} - t_3) \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

$$\left. \begin{aligned} Mt \cdot Ct \cdot \frac{dt_2}{d\tau} &= Ct \cdot Gt \cdot (t_1 - t_2) - Kt \cdot Ft \cdot (\bar{t}_T - \theta_c) \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

де:

Mc, Gc – маса субстрату і пропускна здатність реактора відповідно кг, кг/с, відповідно;

Mt, Gt – маса теплоносія в теплообміннику і його витрати кг, кг/с,

Cc, Ct – питома теплоємність субстрату і теплоносіїв,

Kt, Kk – коефіцієнт теплопередачі теплообмінника і корпусу Вт/м²·°C,

Ft, Fk – поверхня теплообміну теплообмінника і корпусу м²,

t_1, θ_1 – температура теплоносія і субстрату на виході $^{\circ}\text{C}$, t_3 – температура зовнішнього середовища $^{\circ}\text{C}$, $\bar{t} = 0.5 \cdot t_1 + 0.5 \cdot t_2$; $\bar{\theta} = 0.5 \cdot \theta_1 + 0.5 \cdot \theta_2$ – середні значення температур $^{\circ}\text{C}$.

Основні розрахунки виконаємо в середовищі MathCad.

Вхідні параметри:

- Температура теплоносія (води в трубопроводі) $^{\circ}\text{C}$: $t_1 = 90$
- Температура субстрату, $^{\circ}\text{C}$: $t_2 = 15$
- Температура зовнішнього середовища, $^{\circ}\text{C}$: $t_3 = 10$
- Коефіцієнти теплопередачі теплообмінника, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$: $K_t = 154$
- Коефіцієнт теплопередачі стінок біореактора (0,8013), $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$: $K_k = 1,2$
- Маса теплоносія в теплообміннику, кг : $M_t = 300$
- Маса субстрату в біореакторі, кг : $M_c = 10000$
- Питома теплоємність субстрату, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$: $C_c = 4200$
- Питома теплоємність теплоносія, $\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$: $C_t = 4190$
- Пропускна здатність біореактора, $\text{кг}/\text{с}$: $G_c = 0,01$
- Витрати теплоємності в теплообміннику, $\text{кг}/\text{с}$: $G_t = 0,012$
- Поверхня теплообміну в теплообмінника, м^2 : $F_t = 3$
- Поверхня теплообміну стінок біореактора, м^2 : $F_k = 16$
- Час проходження анаеробного бродіння субстрату в біореакторі (при повному завантаженні реактора), кг : $t = 0 \dots 200$

Розрахунок:

1. Розрахуємо допоміжні коефіцієнти:

$$a_1 := \frac{G_c C_c + 0.5(K_t \cdot F_t + K_k \cdot F_k)}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 5.88 \times 10^9$$

$$b_2 := \frac{G_t \cdot C_t - 0.5 \cdot K_t \cdot F_t}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 1.676 \times 10^4$$

$$T_1 := \frac{M_c \cdot C_c}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 1.4 \times 10^{10}$$

$$T_2 := \frac{M_t \cdot C_t}{0.5 \cdot K_t \cdot F_t} = 4.19 \times 10^8$$

$$A := T1 \cdot T2 = 5.866 \times 10^{18}$$

$$B := a1 \cdot T1 + a2 \cdot T2 = 8.232 \times 10^{19}$$

$$D := (a2 + b2) \cdot t1 + (a2 \cdot b2) \cdot \theta1 + a2 \cdot Kk \cdot Fk \cdot tz = 4.22 \times 10^9$$

$$B1 := (a1 + a2 + T1) \cdot 2 + (b1 \cdot b2 + 1) \cdot 2 = 1.971 \times 10^{14}$$

$$D1 := (a1 \cdot b1 + 1) \cdot t1 + (a1 + b1 + a1 \cdot a2) \cdot \theta1 + a1 \cdot Kk \cdot Fk \cdot tz = 3.112 \times 10^{21}$$

$$C1 := [(a1 \cdot a2 + 1) + (b1 \cdot b2)] \cdot 2 + (b1 \cdot b2) = 4.927 \times 10^{14}$$

Знаходимо корені характеристичного рівняння:

$$r1 := \frac{-B + \sqrt{B^2 - 2 \cdot A \cdot C1}}{4 \cdot A} = -3.508 + 3.24i \times 10^{-3}$$

$$r2 := \frac{-B - \sqrt{B^2 - 2 \cdot A \cdot C1}}{4 \cdot A} = -3.508 - 3.24i \times 10^{-3}$$

Для створення моделі в системі Simulink MATLAB використовуємо

систему рівнянь рівняння:

$$\begin{cases} McCc \frac{d\theta_2}{d\tau} = CcGc(\theta_1 - \theta_2) + KtFt(\bar{t}_7 - \bar{\theta}_c) - KkFk(\bar{\theta} - t_2); \\ MtCt \frac{dt_2}{d\tau} = CtGt(t_1 - t_2) - KtFt(\bar{t}_7 - \bar{\theta}_c); \end{cases}$$

За допомогою блоків Constant введемо необхідні дані для вирішення системи рівнянь (3.20), значення параметрів M_c , M_t , G_c , G_t , C_c , C_t , K_t , K_k , t_1 , θ_1 , t_c , t_c .

Використовуючи блоки Sum і Product сформуємо праві частини рівнянь. Для обчислення використаємо додаткові блоки Gain. Результати

обчислень правих частин рівнянь посилаємо на блоки розв'язку цих рівнянь

Integrator. Початкові значення для цих блоків по обчисленню, візьмемо

$t_1 = 90^\circ\text{C}$ – початкова температура теплоносія і $\theta_1 = 15$ – початкова температура теплоносія субстрату. Якщо ми помилилися спочатку з вибором величин цих

параметрів, то пізніше їх можна виправити. Початкове нульове значення цих параметрів може призвести до помилки.

Для виведення результатів обчислень температури θ_1 і θ_2 використаємо блоки осцилографів Scope, значення виводимо через блоки Display. В якості сталої часу об'єкту вибираємо, раніше визначений час стабілізації процесу – 16 год., для кращої наочності беремо більший час 22–23 годин, перевівши в секунди - час моделювання дорівнює $t=80000$ с. Для цього в параметрах моделювання Simulation→Simulation Parameters у вікні Stoptime введемо число 80000 секунд. Такий самий час треба встановити і на вкладці параметрів General блоку Scope у вікні команди Time range.

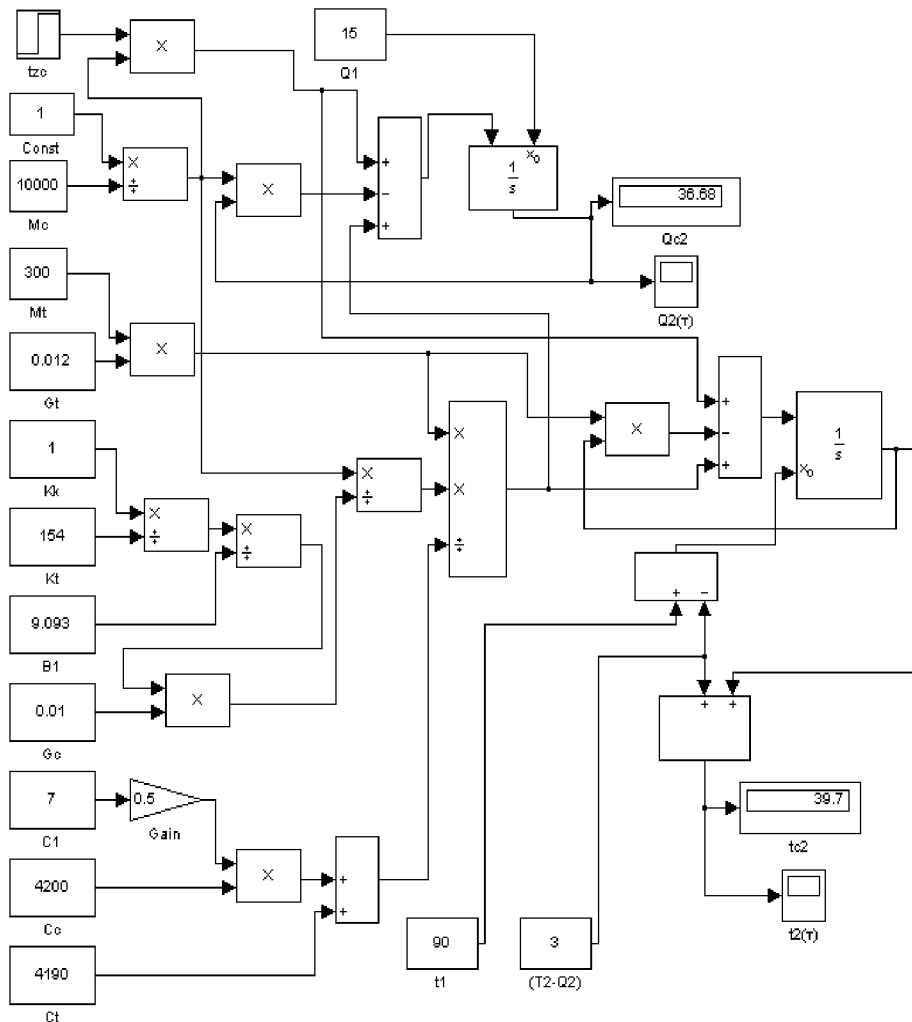


Рис. 2.2. Схема моделі нагрівання субстрату (θ) при охолодженні теплоносія (t) в блоках SimulinkMATLAB

Для запуску моделі клацнемо мишкою на кнопці запуску, або виконаємо команду *Start* меню *Simulation*. Щоб побачити результати обчислень двічі клацаємо на блоках *Scope(Q2(x), t2(x))* і побачимо вікна графіків цих блоків. Якщо масштаб виведення невірний, то клацнувши на кнопці меню *Autoscale*, автоматично встановимо масштаб осі.

На рис. 2.3 показані розгінні криві зміщення в часі температури теплоносія (А) і субстрату (Б).

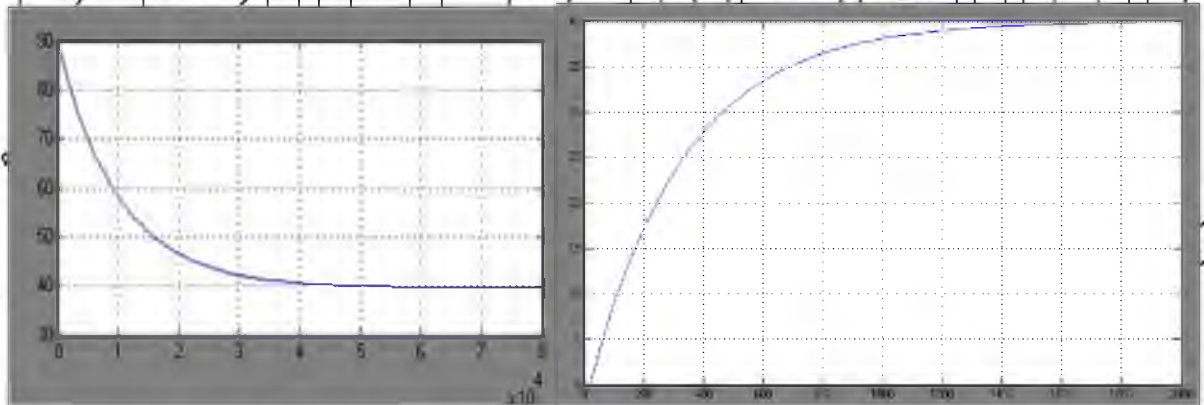


Рис. 2.3 Розгінні характеристики в часі температури теплоносія (а) і субстрату (б)

2.3. Аналіз динаміки та визначення передаточної функції об'єкта керування

Для підігрівання субстрату і підтримання його температури на потрібному рівні в біореакторах встановлюють нагрівальні пристрої. В першому наближенні припустимо прийняти для розрахунків потреб в теплі таку величину: 1кг субстрату нагрівається на 1°C при передачі йому 4200 Дж тепла. Теплота витрачається на підігрів маси і компенсацію теплових втрат. До теплообмінників систем біоконверсії висувуються такі вимоги: вони повинні бути компактні і не забирати простір реактора; їх повернення повинна мати мінімальну шорсткість і забезпечити налипанню

часток середовища; повинні гнучко керуватися ззовні і мати невелику теплову інерційність.

Мезофільний режим зброджування, як це підтверджено численними дослідженнями і практикою експлуатації установок, протікає найбільш інтенсивно в температурному інтервалі 32...42°C. При цьому найбільш

активно «працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. Підгрівання і підтримування стабільної температури зброджування здійснюється, як правило, прокачуванням нагрітої води через спеціальні

теплообмінники, що змонтовані в біогазовій установці. Нагріту воду одержують у котельному агрегаті, використовуючи для його роботи частину виробленого біогазу, витрати якого складають 30 – 40% загального виходу.

Отже, визначення складових теплового балансу біогазової установки та тепловтрат через захисні конструкції при різних режимах зброджування залежно від зовнішніх температур є актуальною задачею.

Величина тепловтрат із внутрішнього середовища Q_v (Вт) характеризується термічним опором матеріалу захисних конструкцій, різницею температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем реактора та обчислюються за формулою

$$Q_v = \alpha_T * (T_b - T_z) n_1 * F_b * \eta_n$$

де $\alpha_T = \frac{1}{R}$ коефіцієнт теплопередачі захисних конструкцій реактора, Вт/(М²*°С);

R - термічний опір теплопередачі матеріалу захисної конструкції та тепловіддачі з обох боків захисних конструкцій, (М²*°С)/Вт;

$(T_b - T_z)$ - розрахункова різниця між внутрішньою та зовнішніми температурами, °С;

n_1 - поправний множник, що враховує зменшення розрахункової різниці температур для захисних конструкцій біогазової установки (для даного випадку $n=1$);

F_b - площа поверхні захисної конструкції біогазовою установкою, м² ($F_b=1\text{м}^2$);

η_p – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, можна помірно замінюватись від впливу сонячного випромінювання, інфільтрації та ексільтрації $\eta_p = 1$.

З рівняння теплового балансу по загальновідомій методиці визначимо передаточну функцію об'єкта. По каналу регулювання температури біогазова установка являє собою інерційну ланку першого порядку і ланкою чистого запізнення:

$$W(s) = \frac{K_0}{T_0 s + 1} e^{-s\tau_0}$$

Визначимо передаточну функцію нашого об'єкту керування, відповідні коефіцієнти візьмемо з додатку 1 таблиця 1:

$$W_{ov}(s) = \frac{0.2}{320 * s + 1} e^{-s20}$$

Для підтвердження аналітично отриманих даних постійної часу та часу запізнення із експериментальними даними побудуємо нормовану розгінну характеристику. Із розгінної характеристики, що на рис. 2.2 визначаємо дані таблиці 2.1 для передаточної функції об'єкта керування. Для цього через кожні 50 секунд вимірювали температуру повітря з 0 до 37 °С

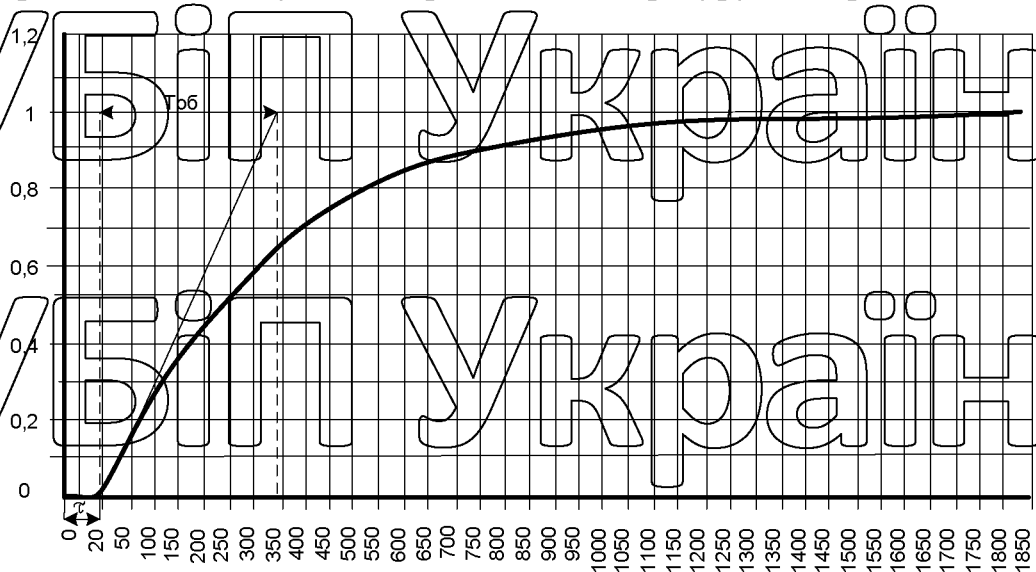


Рис. 2.4. Розгінна нормована характеристика об'єкта керування

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАБІЛЬНИХ
ОСТРОВІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Питання оцінки теплових просторів для раціонального використання енергетичних ресурсів традиційно досліджувалось, передусім, для технологій закритого ґрунту, де також спостерігались нерівномірність теплових полів.

Так, в сучасних промислових теплицях висота може складати до 6 м, а площа

кілька гектарів, завдяки чому їх тепловий простір є неоднорідним і типовими рішеннями для врахування цього є створення розгалуженої системи як провідних сенсорів по об'єму, показане в роботі V. Lysenko (2019) в [13], так і

безпроводних сенсорів, показаних в роботі Ee Ping Kho (2022) в [14]. Проте,

попри намагання зробити систему з сенсорів максимально дешевою з

урахуванням кількості потрібних сенсорів, вартість та складність системи виявилась високою. З метою підвищення достовірності результатів в роботах

V.Lysenko (2020) в [15] та Elad Levintal (2022) в [16] було запропоновано

спеціальні самохідні роботи для дослідів конфігурації температурних полів

теплиці. Окремо в алгоритми керування опаленням теплиць вбудовували

можливість адаптації до змін навколишнього середовища, так в роботі

A.Dudnyk (2018) в [17] враховували прогноз для вибору оптимальної тактики

опалення приміщення. Тобто навіть для об'єму теплиць тепловий простір є

нерівномірним, при цьому є готові рішення щодо керування опалення в

умовах невизначеності обумовленими впливом навколишнього середовища.

При літературному пошуку використання теплових островів міста в

аспекті урбанізованого міського господарства виявити не вдалось, що

ймовірно пояснюється відносно низькою вартістю енергоресурсів в попередні

десятиріччя, проте таке питання досліджувалось стосовно міських парків. В

оглядовій роботі Sophie A.Nitoslawski (2019) в [18] присвяченій трендам

розвитку міських парків та скверів показано, що саме зелені насадження є

найбільш ефективними щодо зниження негативного впливу викидів тепла містом стосовно якості життя його мешканців. Тото зелені насадження здатні споживати теплові викиди міста, відповідно це може бути використано і для виробництва рослинницької продукції. Міські земельні ресурси принципово відрізняються від сільської місцевості зокрема рівнем забруднення важкими металами що досліджувалось в S.Joimel (2016) в [19]. Забруднення не рівномірне, оскільки обумовленими як дією промислових підприємств так і концентрацією автомобільного транспорту на двигунах внутрішнього згорання, тому частина території мегаполісу непридатна для виробництва продовольства з екологічних причин. Хоча, така рослинна сировина може використовуватись для виробництва біогазу як додатковий компонент для інтенсифікації бродіння гною від великої рогатої худоби V.M.Polishchuk (2021) в [20] так і в якості пелет для бродіння разом із пташиним послідом V.M.Polishchuk (2021) в [21].

Для міських лісів проводились дослідження щодо моделювання теплових островів в залежності від особливостей забудови та рельєфу місцевості Ji Liu (2019) в [22]. Окрім загальної площі зелених насаджень в роботі Qiu Kuanbiao (2019) в [23] показано вплив на зниження температури геометрії парків та щільність сумарного куполу рослин. Це дещо протирічить даним A.Onishi (2010) який в [24] засвідчив, що на зниження температури на пакувальних майданчиках машин приблизно однаково впливало як озеленення суто травою так і сумісно травою та деревами, проте в його досліджах кількість дерев не перевищувала 30% від загальної площі. Альтернативою травам та деревам в озелененні є ліани, які мають певні переваги при щільній висотній забудові. Перспективі зелених фасадів створених з використанням ліан показано в роботі A.M.Hunter (2014) в [25] де доведено можливість їх використання для зокрема для зниження температури фасадів будівель влітку. Аналогічні результати було отримано і H.Yin (2017) в [26] де показано можливість зниження пікових температур міських островів тепла при критичних навантаженнях влітку. Слід відзначити, що цікавість до озеленення міст з

використанням саме ліан пояснюється їх кращим впливом на очищення повітря міст у порівнянні з традиційними деревами як показано в оглядовій роботі K. V. Abhijith (2017) в [27]. Методики моніторингу теплових островів міста мають ширшу ніж для тепличних господарств номенклатуру засобів.

Для масштабу окремої вулиці доцільними є наземні дослідження з тепловізійною камерою, методика розроблена Esraa Elmarakby (2022) в [28] вимірів передбачає зустрічні виміри з різних кінців вулиці, що забезпечить високу точність та вибірковість проте це важко реалізувати для масштабу міста. Для окремого району ефективною є використання БПЛА з

спеціалізованими тепловізійними камерами, як показано в статті Garegin Terapoyan (2021) в [29], проте за чинним законодавством польоти БПЛА над містом дещо обмежені на законодавчому рівні. При дослідженні міських теплових полів з використанням БПЛА передусім їх розглядали в критичні сезони року щодо максимальних температур, в аспекті міського сільського господарства більш важливими є періоди мінімальних температур, при яких експлуатація найбільш розповсюджених малогабаритних акумуляторних БПЛА дещо обмежена.

Альтернативою БПЛА щодо отримання масштабних даних є супутникові технології, при цьому для оцінки островів тепла використовують як опосередковані так і прямі методики вимірювання. Впровадження опосередкованих методів пояснювалось порівняно незначною кількістю супутників оснащених спеціалізованим обладнанням а також неможливістю їх роботи у хмарну погоду. Умовно опосередковані методики можна поділити на 2 групи а саме оцінки динаміки змін вегетаційних індексів та фіксації освітлення, яке має відповідати локації промислових об'єктів та місць компактного проживання населення міст. Підходи щодо супутникового моніторингу динаміки змін стресових станів насаджень для міст для Індії представлено в роботі Vijay Halder (2021) в [30] та оцінки площі дерев та газонів на прикладі Києва (України) представлено в роботі N. Pasichnyk (2021) в [31]. Недоліком таких методів є складність ідентифікації рослин що

перебувають в тіні від висотної забудови притаманної особливо новим районам сучасних мегаполісів. Незалежно від пори року використання нічних супутникових знімків дозволяє оцінити не тільки (ідентифікувати локації стабільних викидів тепла показані в роботі Yeran Sun (2020) в [32] а і заданими Di Yang (2020) в [33] потенціал викидів CO₂, що є особливо важливим для живлення рослин. Нічна супутникова зйомка потребує супутників із високою роздільною здатністю спектрального сенсорного обладнання на геостационарних орбітах, які станом на 2021 рік недоступні на більшості території України. Слід відзначити, що цілодобова зйомка для моніторингу теплових островів міст має високий потенціал для наукового та практичного використання оскільки в роботі Yue Chang (2021) в [34] по дослідженням Бостону (США) було встановлено що частина теплових островів міста має принципову добову специфіку. Методики непрямих вимірів можуть використовуватись одночасно і доповнювати одна-одну для підвищення точності та вибірковості як показано на прикладі Гонконгу в роботі Yuanhao Zheng (2021) в [35] проте враховуючи регіональну специфіку взимку на території України вони обмежено придатні.

Прямі виміри теплових параметрів поверхні можливо здійснювати з використанням таких супутників як EOS (TERRA, AQUA), METOP, Suomi-NPP, Landsat досвід використання яких щодо моніторингу теплових полів представлено в Sorin Cheval (2022) в [36], TC Chakraborty (2021) в [37], та Terence Darlington Mushore (2017) в [38]. У порівнянні з БПЛА супутникові платформи мають нижчу роздільну здатність знімків та не можуть працювати при наявності хмар, проте саме з їх використанням легко забезпечити серії дослідів і за рахунок великої площі охоплення здійснити калібрування даних базуючись на наземні вимірювання.

Таким чином, виходячи з аналізу літератури для моніторингу температурних полів міста з огляду на розвиток міського сільського господарства можна зробити такі узагальнення:

При використанні островів тепла обумовлених специфікою об'єктів урбанізованих територій навіть при забрудненні ґрунтів можливо вирощування технічних культур зокрема для виробництва біогазу;

При виборі оптимальних локацій для розташування посадок зелених насаджень для виробництва біомаси слід враховувати сезонну специфіку теплових островів, коли надлишковий нагрів поверхні спостерігається лише завдяки природним чинникам;

Для визначення стабільних локацій теплових островів впродовж року в умовах України з адміністративно-організаційних причин доцільно використовувати дані спеціалізованих супутників із тепловим каналом вимірювання.

Методика експерименту

Об'єкт досліджень. Дослідження проводились в м. Києві, найбільшому мегаполісі України. Перелік загальнодоступних для цієї території супутників із наявним тепловим каналом вимірювань в складі сенсорного обладнання приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Супутники для визначення LST (Land Surface Temperature)

Супутник	Сенсор	Просторове розрізнення LST, м	Часові серії LST
Landsat	TM	120	Миттєво
	ETM	60	
	IRS	100	
NOAA	AVHRR	1100	Миттєво
EOS (Terra, Aqua)	MODIS	1000	За день
		1000	За 8 днів
EOS (Terra)	ASTER	25600	За місяць
		90	Миттєво
METOR	AVHRR-3	1100	За 10 днів

Для наукових та практичних досліджень регіонального масштабу найбільшу цінність становлять дані температури земної поверхні середнього масштабу. Для проведення дослідження актуальними є дані КА Landsat 8 та 9, оскільки, мають допустиме просторове розрізнення та актуальні на теперішній час. Загалом дані про температуру земної поверхні можна

отримати з 1982 (від початку роботи КА Landsat-4). Крім того, при кількісному аналізі даних теплового інфрачервоного датчика для оцінки температури Геологічна служба США рекомендує використовувати дані Landsat 8 Band 10, доступ до таких даних можливий з використанням спеціалізованого EO браузеру інтерфейс якого представлено на рис. 3.1.

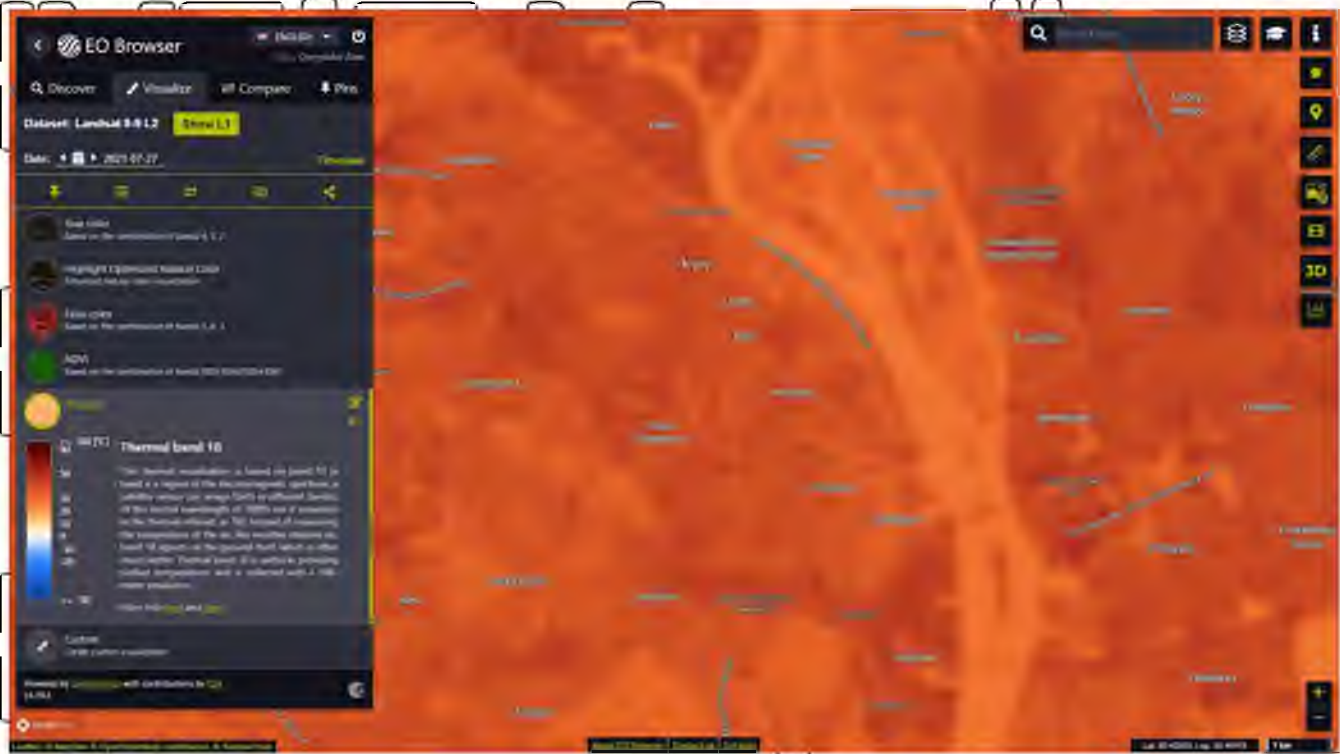


Рис. 3.1 Інтерфейс EO Browser для карти розподілу теплових полів

м. Київ на 2021.07.27

Означений інтерфейс передбачає єдину шкалу для індикації температури поверхні від -50 до $+100$ °C, завдяки чому візуально у умовах міста вкрай важко виділити теплові аномалії, оскільки діапазон розподілу температур в місті навіть в літні місяці не перевищує 25 °C. На сайті передбачено можливість завантаження даних супутникові зйомки для їх подальшої обробки в спеціалізованих GIS системах, таких як QGIS, для якої створені спеціальні plugin такі як Q-LIP, для обробки даних від Landsat, запропоновані Vostain та Sebbah (2021) в [39]. З використанням QGIS для карти розподілу теплових полів було запроваджено іншу палітру кольорів, яка налагоджується за час викодичи з максимальної та мінімальної температури.

Було обрано ділянки які належали до усього спектру температур зафіксованих на супутниковому тепловому знімку приведеному на рис. 3.2.

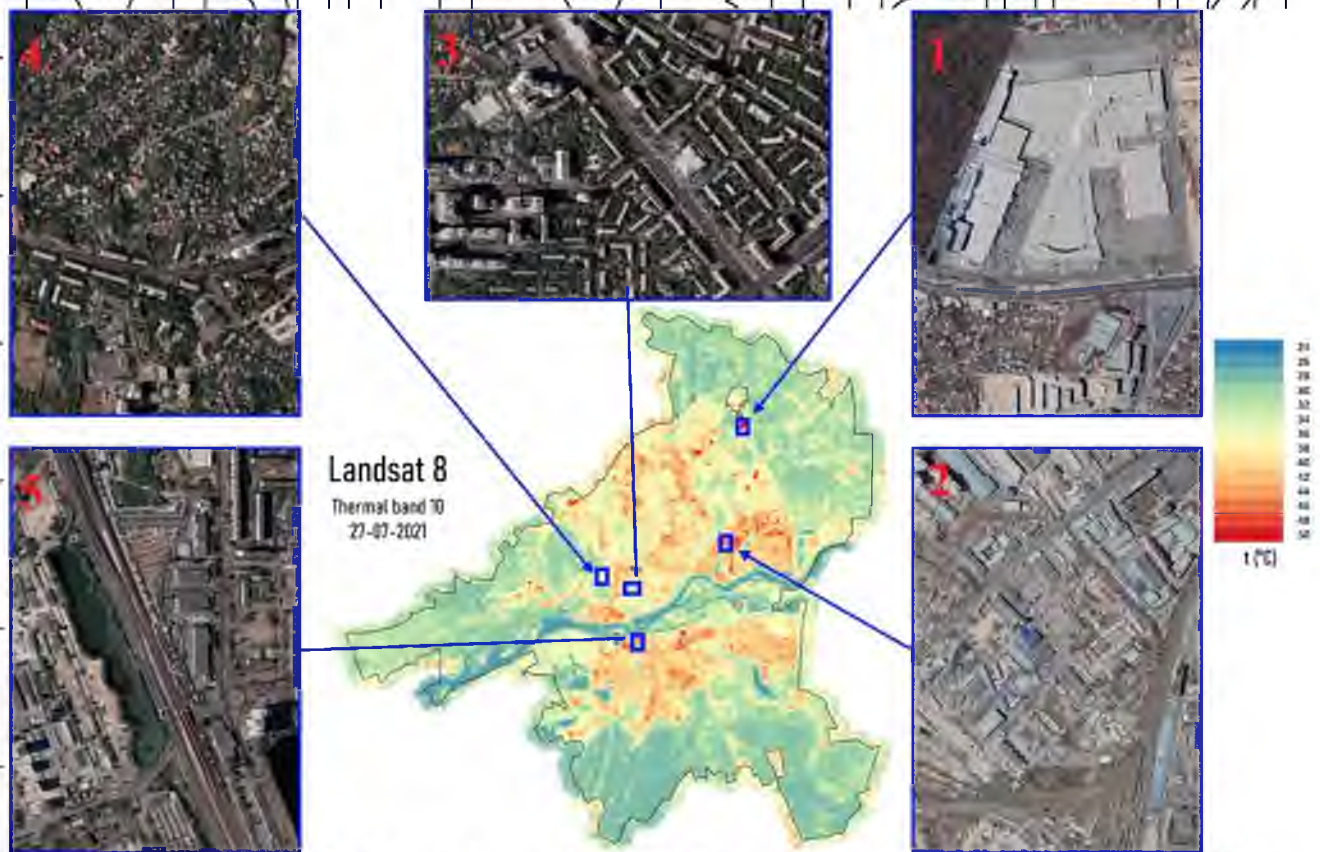


Рис. 3.2 Карта розподілу температури поверхні для м. Києва на 2021.07.27

Для проведення досліджень було вибрано 5 характерних ділянок міста стосовно теплових островів визначених в літку 2021 року.

1. Розміри дослідних ділянок (50×70 пікселів) було вибрано виходячи з габаритів теплового острова обумовленого функціонуванням торговельно-розважального центру «Lavina Mall», який є найбільшим в Україні.

Центр збудовано в 2016 році на околиця м. Київ.

2. Ділянка в Подільському районі, що характеризується комплексом виробничих та складських приміщень.

3. Ділянка поблизу Торгового центру «Дім меблів» в Печерському районі, яка характеризується забудовою радянських часів із сучасними торговельними майданчиками на підземних ярусах та станцією метро «дружби народів».

4. Ділянка в Голосіївському районі здебільш приватного сектору з низькою концентрацією населення та великими зеленими зонами парків та присадибних господарств.

5. Ділянка в Дарницькому районі, частина якої займає масив металевих гаражів для легкових автомобілів а також озеро (Нижній Тельбін).

Під час попередніх досліджень було виявлено теплові острови, але цілком можливим є випадковий характер цих проявів тому разові досліді є неприйнятними для побудови стратегії щодо міського сільського

господарства. Якщо для разових досліджень використання спеціалізованого

програмного забезпечення (QGIS чи його аналогів) доцільно для серійних дослідів доцільно розробити спеціалізоване програмне забезпечення. Оскільки міське сільське господарство потребує залучення фахівців з різних галузей, а

саме агрономів, агрохіміків, біологів тощо у яких цілком можливі обмежені

знання щодо використання універсальних GIS систем тому, на думку авторів,

перспективними є використання web-інтерфейсів аналогічних EO-Browser.

Розробки програмного забезпечення для дослідження температурних островів щодо потреб міського сільського господарства.

Алгоритм для запропонованого web додатку представлено на рис. 3.

Додатково в описі призначення блоків програми приведено і основні програми коди (виділено курсивом):

1. Підготовка даних:

1.1 - Завантаження колекції LANDSAT 8 (load)

Завантаження колекції LANDSAT 8 в яку входять дані після атмосферної корекції датчиків Landsat 8 OLI/TIRS. Тобто містять 3 видимих, 2 ближніх інфрачервоних (VNIR) та 2 короткохвильові інфрачервоні (SWIR)

діапазони, оброблені до ортовипрямленого поверхневого відбиття, крім того і

дві теплові інфрачервоні (TIR) діапазони, оброблені до ортовиправленої

яскравості.

```
var dataset = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")
```

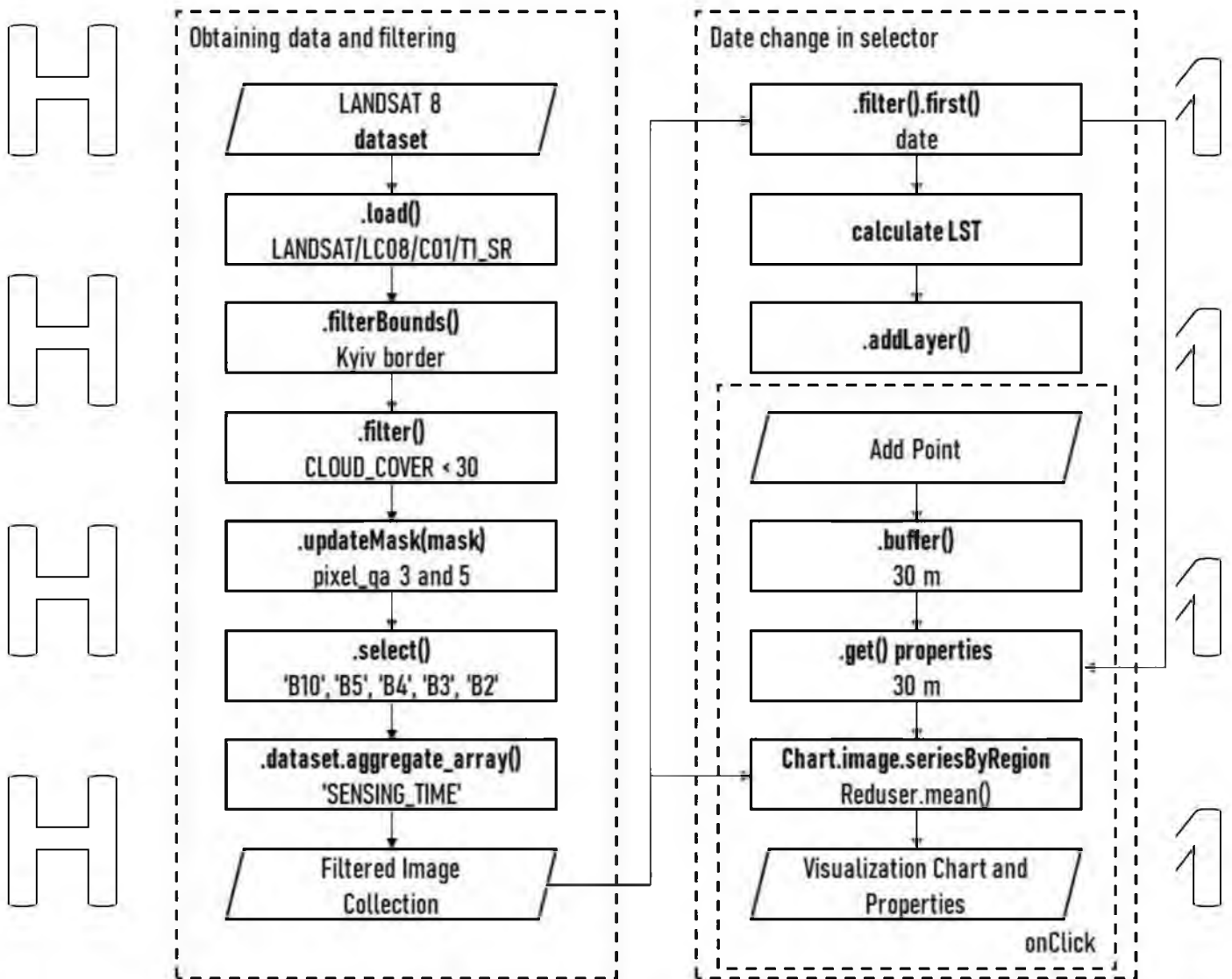


Рис. 3.3. Блок-схема алгоритму web-додатку щодо визначення стабільних островів теплової енергії

1.2 - Фільтр колекції по території інтересу (`filterBounds`)

Застосування фільтру до колекції за перетином з заданою територією інтересу. Екземпляри колекції що не перетинають задану територію виключаються з колекції.

- `.filterBounds(geometry)`

1.3 - Фільтр колекції по показнику хмарності (`filter`)

Застосування фільтру до колекції по метаданим. Менші за вказане значення обраного показника виключаються з колекції.

- `.filter(ee.Filter.lt("CLOUD_COVER", 30))`

1.4 - Маскування хмарності та тіні хмар на всіх екземплярах колекції (updateMask)

Застосування до колекції функції маскування на основі каналу pixel_qa даних Landsat 8, в якому біти 3 та 5 - це тінь хмари та хмара відповідно. 8-бітний канал pixel_qa описує якість пікселів у сцені та дозволяє визначити їх придатність для використання.

- `function maskL8sr(col) {`
- `var cloudShadowBitMask = (1 << 3)`
- `var cloudsBitMask = (1 << 5)`
- `var qa = col.select('pixel_qa')`
- `var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)`
- `.and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0))`
- `return col.updateMask(mask) }`

1.5 - Вибір необхідних каналів (select)

Вибір необхідних для подальших розрахунків каналів, а саме B2 (синій, 0,452-0,512 мкм), B3 (зелений, 0,533-0,590 мкм), B4 (червоний, 0,636-0,673 мкм), B5 (ближній інфрачервоний 0,851-0,879 мкм) та B10 (тепловий інфрачервоний, 10,60-11,19 мкм).

- `var col = dataset.map(function(image) {`
- `return image.select('B10', 'B5', 'B4', 'B3', 'B2')})`

1.6 - Отримання списку дати та часу зйомки доступних знімків

`(dataset.aggregate_array)`

Створення масиву з елементами дата та час зйомки всіх доступних знімків по території інтересу для подальшої його передачі в селектор вибору дати.

- `var allDates = ee.List(dataset.aggregate_array('SENSING_TIME')).sort().`

`reverse()`

2. Зміна дати в селекторі

Для ідентифікації стабільних теплових островів міста доцільно вивчати зміни показників щонайменше впродовж року, проте для вимірів придатні лише ділянки знімків позбавлені хмар,

система автоматично відфільтровує знімки хмарність яких перевищує 30%. Оскільки на цей час є певний дефіцит спектральних даних, передбачено можливість експертної оцінки придатності теплової зйомки коли додатковим шаром висвітлюється знімок у видимому діапазоні для ідентифікації накладання хмар.

2.1 - Вибір екземпляру в колекції (**filter().first()**)

Застосування фільтру до колекції по даті та часу зйомки для отримання конкретного екземпляру.

- `.filterMetadata('SENSING_TIME', 'equals', date).first()`

2.2 - Розрахунок LST (**calculate LST**)

Підхід для аналізу теплових інфрачервоних спостережень базується на використанні одного каналу B10 Landsat 8, що перераховується в LST.

Випромінювальна здатність Landsat 8 по району інтересу оцінюється на основі діапазонів видимого та ближнього інфрачервоного діапазону Landsat.

Враховуючи рослинний покрив, випромінювальна здатність Landsat з поправкою на рослинність оцінюється за коефіцієнтом випромінювання голого ґрунту та коефіцієнтом випромінювання рослинності.

- `var ndvi = image.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');`
- `var thermal = image.select('B10').multiply(0.1)`
- `var minndvi = ee.Number(ndvi.reduceRegion({reducer: ee.Reducer.min(), geometry: geometry, scale: 30, maxPixels: 1e9}).values().get(0));`
- `var maxndvi = ee.Number(ndvi.reduceRegion({reducer: ee.Reducer.max(), geometry: geometry, scale: 30, maxPixels: 1e9}).values().get(0));`
- `var fv = (ndvi.subtract(minndvi).divide(maxndvi.subtract(minndvi))).pow(ee.Number(2)).rename('FV');`
- `var EM = fv.multiply(ee.Number(0.004)).add(ee.Number(0.986)).rename('EMM');`
- `var LST = thermal.expression('(Tb/(1 + (0.00115 * (Tb / 1.438)) * log(Ep))))', {Tb: thermal.select('B10'), 'Ep': EM.select('EMM')}).rename('B10');`

2.3 - Візуалізація шарів (**addLayer**)

Land_Surface_Temperature_Landsat_8_band_10 – відображає розраховане по обраному екземпляру колекції теплове випромінювання поверхні, до якого застосовується палітра за замовчуванням (мінімальне значення – 10 °С, максимальне значення 30 °С);

True_Color_Landsat_8_bands_4_3_2 - композит видимих ділянок електромагнітного спектру у відповідних каналах червоного, зеленого та синього кольорів, в результаті чого виходить відображення природного кольору.

3. *Вибір контрольної точки на дослідній ділянці. (onClick)*

При попередньому тестуванні програми було виявлено методичні складнощі щодо визначення оптимального діапазону температур для його подальшого кодування у вигляді палітри кольорів. Для літніх місяців мінімальну температуру визначали виходячи з архівних даних метеоспостережень температури води в річці Дніпро в м.Київ, а максимальну визначали в експертному режимі. Для зимових місяців такий підхід щодо визначення нижньої межі температурного діапазону виявився неприйнятним.

Для полегшення роботи оператора до програми було додано додатковий модуль вибору контрольної точки (коло радіусом 30 м) яка встановлювалась безпосередньо на карті з допомогою миші (рис. 4) При виборі контрольної точки оператор отримував значення її температури. Зміна контрольної точки відбувалась при наступному подвійному натисканні лівої клавіші миші в полі карти.

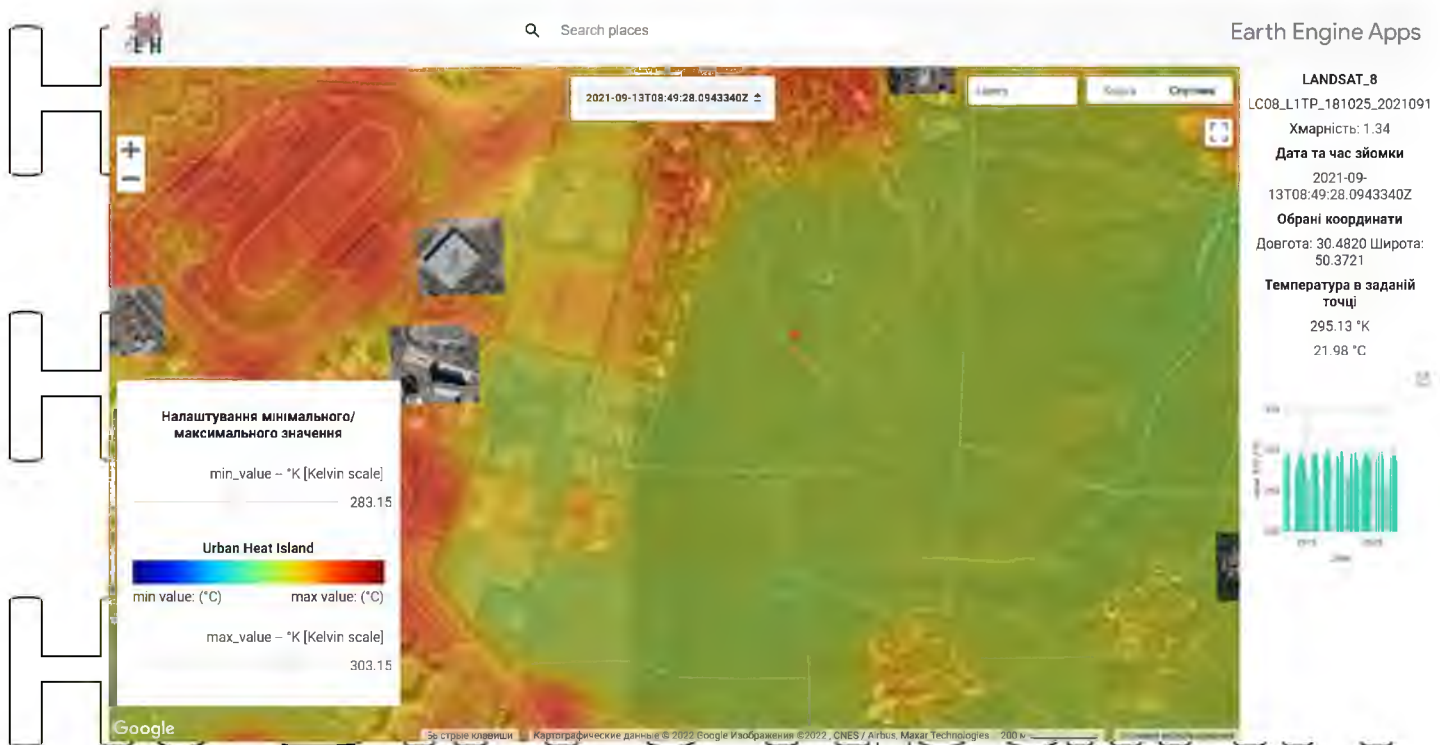


Рис. 3.4. Інтерфейс програми щодо дослідження теплових полів із встановленням контрольної точки (червоне коло) та її характеристик щодо координат, величини температури та графіку зміни температури з наявних в архіві даних попередніх спостережень (права частина інтерфейсу)

3.1 - Отримання координат точки (add point)

Оператор подвійним натисканням лівої клавіші миші вказує дослідну ділянку, яка виділяється колом червоного кольору.

- `Map.onClick(function(coords), ...)`
- `var click_point = ee.Geometry.Point(coords.lon, coords.lat);`

3.2 - Отримання та виведення характеристик (.buffer)

По ділянці території інтересу заданою точкою розраховується середнє значення температури в $^{\circ}\text{K}$ та $^{\circ}\text{C}$.

- `var value = (LST).reduceRegion(ee.Reducer.mean(), click_point, 30).get('B10')`

3.3 - Побудова графіку (.get() properties)

По ділянці території інтересу заданою точкою приводиться графік зміни показника за весь обраний період. Для обчислення даної статистики кластеризації зображень застосовується оператор згортки `reduce()`.

- ```
var chart = ui.Chart.image.seriesByRegion({imageCollection: dataset2,
regions: click point.buffer(30), reducer: ee.Reducer.mean(), band: 'B10',
scale: 30, xProperty: 'system:time_start' }) .setOptions({ titlePosition:
'none', legend: {position: 'none'}, hAxis: {title: 'Date'}, vAxis: {title: 'value
B10 (°K)}, series: {0: {color: '23cba7'}} }) .setChartType('ColumnChart');
```

### 3.4 Формування серії зображень по регіону (*Chart.image.seriesByRegion*)

Кодування інформації щодо розподілу температури поверхні у вигляді палітри кольорів

### 3.5 Формування вихідної графічної інформації (*Visualization Chart and Properties*).

Готові дані, які за потреби можуть бути експортовані до інших програмних продуктів.

**Статистична обробка результатів для дослідних ділянок.** Оскільки в межах ділянки, яка складається з кількох сотень точок температура поверхні може істотно відрізнятись тому карту розподілу, закодовану у вигляді кольорової палітри, обробляли в математичному пакеті MathCad за методикою описаною в D.Komarshuk (2020) в [40] та N.A.Pasichnyuk (2021) в [41]. Методику декодування даних було модифіковано і замість кольорової моделі RGB використовували альтернативну модель кольороутворення HSL.

Оскільки розглядали систему кодування інформації у вигляді палітри тому для кольорової моделі HSL розглядали один параметр **Hue** (is a degree on the color wheel from 0 to 360), замість 3 притаманних для кольорової моделі RGB, що полегшало обробку даних.

### Отримані результати та обговорення.

Температурна карта міста Київ від 23.01.2021 свідчить, що в межах міста зафіксована з допомогою супутника Landsat 8, різниця становить біля 5 °C (рис. 3.5). При цьому для частини об'єктів Pechersk, Podol, Tsimbal

описується нормальним розподілом (по аналогії з роботою D.Komarchuk (2020) в [40] було обрано модель Gauss рівняння (1)) із коефіцієнтом детермінації  $R^2$  більшим ніж 0,96

$$N = Ae^{-\frac{(t-t_c)^2}{2w^2}} \quad (3.1)$$

Де:  $N$  – кількість пікселів (мінімальних ділянок зображення);

$A$  – амплітуда;

$t$  – температура ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $t_c$  – середнє значення температури ( $^{\circ}\text{C}$ );

$w$  – стандартне відхилення (відповідає значенню  $A/2$ ).

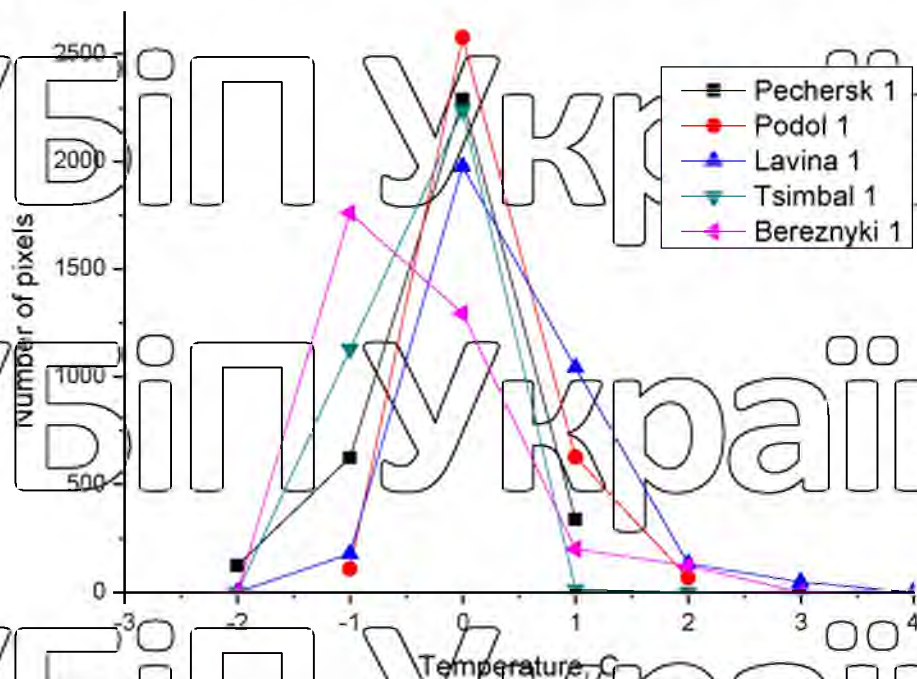


Рис. 3.5 Розподіл температури для послідних об'єктів в м. Києві від 23.01.2021

Для ділянок Lavina та Bereznyki ситуація інша, що ймовірно можна пояснити наявністю на ділянці об'єктів і принципово різним тепловим випромінюванням. Якщо на ділянці Lavina кількість ділянок з мінімальною та максимальною температурою приблизно однакова, то для локації Bereznyki ситуація інша – кількість ділянок з мінімальною температурою в кілька разів вища. Причиною цього, на думку авторів, є наявність значної кількості води (низька температура) на локації Bereznyki а максимальні температури є наслідком функціонування торгівельно-офісних споруд із значними

викидами тепла. З огляду на перспективи урбанізованого сільського господарства стабільна різниця в 3-5 °С взимку є важливим чинником стосовно можливості культивування не морозостійких рослин в означених локаціях.

Окрім зимових місяців для рослинництва визначальними є весняно-осінній періоди стосовно розвитку процесів вегетації а також літній період стосовно посухи. Виходячи з результатів січневого моніторингу дослідні ділянки були поділено на дві групи а саме Pechersk, Podol, Tsymbal та Lavina, Bereznyki (рис. 7). Оскільки для моніторингу у весняно-осінній період діапазон температури становив 5-25 °С, а в літній 30-50 °С для оцінки островів тепла розглядали не абсолютне значення температур а саме різницю між мінімальною та максимальною температурою по карті. Отримані результати для першої групи ділянок приведено на рис. 3.6.

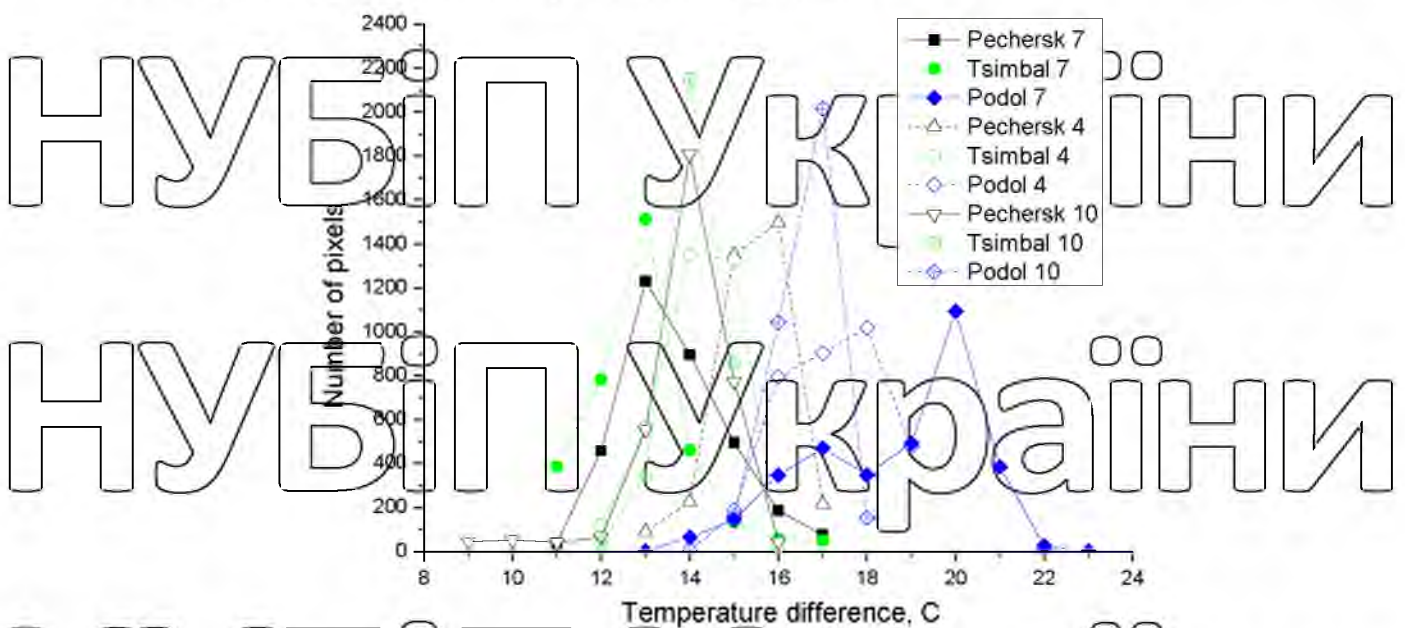


Рис. 3.6. Розподіл різниці температур для дослідних об'єктів в м. Києві для 06.04.2021, 15.10.2021 та 01.07.2021

При статистичному аналізі було встановлено що характер розподілу не змінився і коефіцієнт детермінації  $R^2$  для ділянок Pechersk та Tsymbal, незалежно від пори року, перевищує 0,98. Для обох ділянок мінімальне значення стандартного відхилення було зафіксовано в січні і становило біля 0,5°C а максимум в липні біля 1°C. На відміну від попередніх ділянок в групі

для ділянки Podol величина  $R^2$  в липні було зафіксовано в 0,51, а в квітні 0,8 в той час як в січні і жовтні вона по аналогії з попередніми ділянками становила 0,98. Для цієї ділянки мінімум стандартного відхилення було зафіксовано в січні та жовтні 0,46°C та 0,59 °C відповідно, проте в квітні та липні він зріс до 1,4 °C та 1,9 °C відповідно. Тобто якщо для ділянок житлового масиву з парковими зонами зростання стандартного відхилення в літку у порівнянні із зимовим спостереженням відбулось в 2 рази то для промислової зони Podol зростання відбулось в 4 рази, а в квітні відбулось трикратне зростання.

Ймовірним поясненням цього є недостатній рівень озеленення промислових майданчиків та плоскі бетонні та металеві дахи будівель притаманні саме промисловим та складським будівлям.

Більша концентрація нежитлових приміщень притаманна другій групі а саме ділянкам Bereznyki та Lavina, результати досліджень яких представлено на рис. 3.7

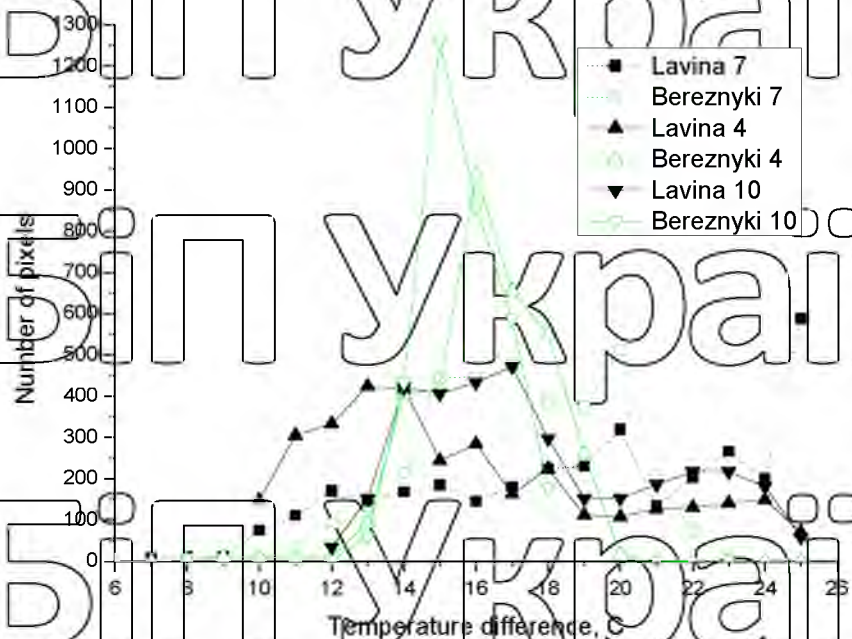


Рис. 3.7. Розподіл різниці температур для дослідних об'єктів

в м. Києві для 06.04.2021, 15.10.2021 та 01.07.2021

Для ділянки Bereznyki величина  $R^2$  для січня, квітня, жовтня та липні становила 0,97, 0,94, 0,88 та 0,88 відповідно. Стандартне відхилення



мінімальне в січні  $0,5^{\circ}\text{C}$  та максимальне в липні  $2,8^{\circ}\text{C}$ , в квітні та жовтні  $1,7^{\circ}\text{C}$  та  $1,2^{\circ}\text{C}$  відповідно. Таке зростання стандартного відхилення має сезонний характер і в цілому пов'язане з появою аномально теплих ділянок які і

призвели до зростання цього показнику. При аналізі фотознімку було виявлено велику кількість закритих металевих гаражів для легкового

транспорту які завдяки поганій вентиляції сильно нагрівались вдень. Такий тепловий острів в місті може бути нейтралізований за рахунок

конструкційних рішень таких як нанесення відбиваючого покриття (фарби) на дах цих споруд з листового заліза.

Для ділянки Lavina результати були принципово інші. Величина  $R^2$  для січня, квітня, жовтня та липні становила  $0,99$ ,  $0,54$ ,  $0,38$  та  $0,57$  відповідно, тобто нормальний розподіл спостерігався лише в січні. Така ситуація може

пояснюватись лише наявністю кількох стабільних джерел викидів тепла техногенного характеру. Для споруди сучасного торгівельно-розважального

центру притаманно розміщення систем вентиляції та кондиціонування на даху, вплив якого і було зафіксовано при супутниковому моніторингу. Навіть в січні різниця температури на цій ділянці становила  $4^{\circ}\text{C}$ , що цілком може

бути використано для потреб міського сільського господарства. Тобто на

прикладі комплексу Lavina було виявлено ділянку яка має стабільні викиди тепла техногенного характеру впродовж року. Розвиток на її базі

рослинницьких практик може бути цілком виправданим як з енергетичних та

логістичних питань так і покращити екологію навколишнього середовища.

Оскільки площа теплових викидів взимку відносно мала і дах має горизонтальну проекцію тому використання традиційних ліан, спрямованих

на вертикальні поверхні обмежено. Альтернативним озелененням можуть

стати однорічні сланкі культури такі як тикви, дині тощо, які не потребують

розгалуженої кореневої системи і мають велику площу листя тобто здатні затемнити будову при критичних перегрівках.

Висновки:

- Встановлено, що теплові острови міста цілком придатні для впровадження практики урбанізованого аграрного виробництва стосовно збільшення вегетативного періоду.

- На базі програмних продуктів від постачальників безкоштовних даних супутникового моніторингу було створено спеціалізоване програмне рішення для урбанізованого аграрного призначення.

Вдалось виявити ділянки із стабільними викидами тепла обумовлені дією сучасного торгівельно-розважального центру Lavina і запропоновано нетрадиційні культури для озеленення адаптовані до його конструкції.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 4

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

## 4.1. Аналіз особливостей нечіткого управління САК

Поняття "fuzzy logic" (в перекладі з англійської - нечітка, розмита логіка) введено американським математиком Л.А. Заде, який запропонував теорію нечітких множин, на основі якої можна побудувати нечіткі аналоги всіх математичних понять і створити необхідний формальний апарат для моделювання людських міркувань і людського способу вирішення завдань. Нечітка множина - сукупність елементів довільної природи, щодо яких не можна з повною визначеністю стверджувати - чи належить той чи інший елемент даній множині[8].

Теорія нечітких множин має справу з "людськими знаннями", зазвичай називають експертною інформацією. Характерним для нечіткого управління є безпосереднє використання якісно сформульованих експертних знань для генерації управляючих впливів на об'єкт управління. Знання про взаємодію нечіткого регулятора з об'єктом (процесом) управління подаються у формі правил виду: **ЯКЩО** (вихідна ситуація), **ТО** (відповідна реакція). Такі правила відповідають простій формі людських взаємодій. При цьому аналізовані параметри розглядаються в якості лінгвістичних змінних, які оцінюються якісними термами.

В теорії нечітких множин ключову роль відіграють поняття лінгвістична змінна, лінгвістична величина і функція належності  $\mu^T(x)$ . Математично нечітка множина визначається як безліч впорядкованих пар виду  $\{x, \mu^T(x)\}$ , де  $x \in X$ , а функція визначає ступінь належності елемента (лінгвістичної змінної) нечіткій множині (терму) в формі чисельного значення в діапазоні  $[0, 1]$ . Нечітка множина повністю описується функцією належності. За допомогою функцій належності окреслюють діапазони зміни якісно описаної фізичної величини. Функції належності лінгвістичних

величин, як правило, перекривають один одного, тому для однієї і тієї ж лінгвістичної змінної ці функції можуть повідомляти різні "ступені істинності" лінгвістичних величин, що відрізняються від чуля.

Переклад поточних значень вхідних змінних нечіткого регулятора в лінгвістичні величини істинності називають процедурою фазифікації. У нечіткому регуляторі на основі сформульованих правил (бази знань) типу ЯКЩО-ТО, здійснюється формування логічного рішення у вигляді нечіткої множини в формі результуючої функції належності. Отримання для заданої функції належності вихідної лінгвістичної змінної єдиного кількісного значення керуючого впливу на виході нечіткого регулятора і процедуру генерування вихідної величини (керуючого впливу на об'єкт управління) називають дефазифікація.

В даний час спостерігається інтенсивний розвиток і практичне застосування нечітких систем для цілей управління та регулювання багатьох технічних об'єктів. Переваги нечіткої логіки, які явно проявляються в нечіткому управлінні, полягають перш за все в тому, що нечітка логіка дозволяє вдало представити мислення людини, а саме способи прийняття рішень людиною, і способи моделювання складних об'єктів засобами природної мови [5].

Природна мова формувалася протягом сотень років не тільки як засіб спілкування людей, але і як структура, що відображає об'єктивний світ. Пізнання світу спирається на мислення, а мислення, в свою чергу, неможливо без певної знакової системи. Найбільш потужною системою такого роду і є природна мова, яка представляє остаточну, найбільш потужну і головну реалізацію людського мислення. Воно здатний оперувати з суперечливими, складними і багатозначними поняттями.

В ході прийняття рішення зазвичай людина легко опановує ситуацію, розділяючи її на події, знаходить рішення в складних ситуаціях шляхом застосування для окремих подій відповідних правил прийняття рішення. Рішення приймається не на основі уніфікованих вартісних критеріїв, а з

використанням великої кількості вартісних критеріїв, що нерідко суперечать один одному. У разі неповної інформації можлива допомога в ухваленні рішення з використанням висновків. У нечіткому управлінні вводяться подібні

методи прийняття рішень, властиві людині, в формі розподілених по окремим станах і цілям правил управління і нечітких висновків. Людина в щоденній

діяльності ніколи не користується формальним моделюванням на основі математичних виразів. Мова, яку використовує людина - це нечітка природна мова. Отримана модель не є уніфікованою: вона або описує властивості

фрагментів об'єкта, або є набором кількох локальних моделей, поставлених в певні умови. Самі локальні моделі не використовують числових значень.

Володіючи деякою спільністю, вони прості для розуміння на якісному рівні.

При нечіткому управлінні за цим зразком створюють модель дій оператора за допомогою висловлювань типу ЯКЩО-ТО, використовуючи звичайні слова.

Замість того щоб вибудовувати ланцюжок числових значень, людина проводить нечіткі межі типу "малий", "середній", "великий" і т.п.

Застосування теорії нечітких множин при проектуванні регулятора дозволяє підвищувати їх "інтелект", компетентність, наблизитися до інтелекту

людини. "Збільшення людяності" нечітких регуляторів є однією з

центральної проблем в сучасній теорії і техніці автоматичного управління.

Виділяють три особливості нечіткого управління.

1) Перша полягає в тому, що правила нечіткого управління, будучи умовними висловлюваннями типу ЯКЩО-ТО є логічними. Логічне

управління означає, що логіку управління експерта легко уявити, і різноманітним вхідним умовам можна поставити у відповідність деяку дію.

Для реального обладнання це не тільки використання при управлінні повної інформації на відміну від класичної теорії управління, а й зміна режимів

управління в залежності від умов, наприклад, часу і значень параметрів. У

багатьох видах реального обладнання необхідно приділяти особливу увагу різним режимам роботи, наприклад, процедурі запуску. В цьому випадку для

автоматизації зручно використовувати нечітке управління, оскільки можна

описати правила в формі ЯКЩО-ТО однаковим способом мислення і для режиму запуску, і для режиму нормальної роботи.

2) Друга особливість - паралельне управління. Самі нечіткі методи управління істотно різняться. Традиційні методи управління - це або класичні, або сучасні методи, в яких узагальнене правило управління представляється за

допомогою однієї формули, в той час як при нечіткому управлінні використовується велике число приватних правил. Кожне правило діє в певній області інформаційного простору, використовуваного при управлінні. Для

кожної локальної області розподіленого інформаційного простору доцільно

створювати окремі правила управління. Крім того, якщо є багато регульованих величин, для кожної з них можна створити окремі правила управління. Аналогічно, якщо є багато задач управління, для кожної мети

бажано створювати правила. При нечіткому управлінні необхідність в цільових функціях і в рішенні задач оптимального управління відпадає, тому можна успішно справлятися з усім різноманіттям задач управління.

3) Третя особливість нечіткого управління полягає в тому, що є можливість організувати управління в формі діалогу з оператором, оскільки правила управління записуються словами в вигляді виразів ЯКЩО-ТО.

Вихідною передумовою до формування системи управління на базі теорії нечітких множин є те, що стан складної системи розглядається як лінгвістичні змінні, які оцінюються якісними термами (засобами природної мови). Кожен

терм розглядається як нечітка множина і формалізується за допомогою відповідної функції приналежності. Формування керуючого впливу

здійснюється на підставі певного набору правил (лінгвістичні правила управління), що встановлюються засобами природної як мови зв'язок між станом динамічної системи і керуючим впливом в САК. Визначення

конкретного значення керуючого впливу здійснюється шляхом реалізації

процедури переходу від результуючої функції належності, яка описує лінгвістичну змінну до конкретного числового значення. В результаті неточність (нечіткість) опису динамічної поведінки об'єкта компенсується

вищим за рівнем алгоритмом управління завдяки врахуванню, в тому числі, і якісних ознак динамічної поведінки об'єкта управління[7]. Очевидно, що для реалізації управління на базі теорії нечітких множин і нечіткої логіки необхідно пристрій, що формує керуючі впливи на об'єкт управління - нечіткий регулятор, який працює на базі нечіткої логіки.

Нечіткі регулятори розглядаються як одна з базових моделей регуляторів інтелектуальних систем управління (поряд з нейронними регуляторами і генетичними алгоритмами). При цьому наголошується, що значним обмеженням практичного застосування регуляторів інтелектуальних систем управління є відсутність формальних підходів, притаманних теорії автоматичного управління, для вирішення завдань аналізу та синтезу систем управління. Проте наголошується, що нечіткі регулятори мають найбільші "здібності" до формалізації процесів проектування[15].

Схема системи автоматичного управління на базі нечіткої логіки (системи управління з нечітким регулятором) приведена на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Схема роботи нечіткого регулятора

Нечіткий регулятор включає три основні блоки - блок фазифікації, блок формування логічного рішення і блок дефазифікації.

У блоці фазифікації вхідні лінгвістичні змінні  $x_i, i = \overline{1, n}$ , такі як похибка системи  $e$ , швидкість зміни (перша похідна) похибки  $\dot{e}$ , прискорення (друга похідна) похибки  $\ddot{e}$ , якісно характеризуються терм-множинами (лінгвістичними величинами). Функція належності визначає ступінь

належності кожного елемента  $u$  множині  $U$  числом між 0 і 1, яке називають ступенем істинності даної лінгвістичної змінної даному терму. Діапазони зміни вхідних змінних і поточні значення вхідних змінних перераховуються (відображаються) на єдину універсальну множину  $U_i = [0, L_i - 1]$ , де  $L_i$  - число, що відповідає кількості термів кожної лінгвістичної змінної  $x_i, i = \overline{1, n}$ .

Як правило, кількість термів для кожної лінгвістичної змінної вибирається одним і тим же. Таким чином, для кожного поточного значення вхідної змінної визначається ступінь приналежності (величина істинності) до тих термів, які характеризують конкретну лінгвістичну змінну. Так як функції

належності зазвичай перекривають один одного, то для однієї і тієї ж вхідної змінної кілька функцій належності можуть повідомляти різні величини істинності, що відрізняються від нуля.

У блоці формування логічного рішення на основі матриці знань (бази правил) записуються лінгвістичні правила виду ЯКЩО (вихідна ситуація), ТО (відповідна реакція), які разом зазвичай називають робочим правилом. Взаємодія між вхідними і вихідними функціями належності типу ЯКЩО-ТО позначається як імплікація (логічна зв'язка). Імплікація (активізація) - це етап нечіткого виведення, що представляє собою процедуру знаходження ступеня істинності кожного з висновків логічних правил виду ЯКЩО-ТО, які є нечіткими лінгвістичними висловлюваннями в формі лінгвістичних змінних. Частина ЯКЩО (передумови або умови) означає поєднання логічних операцій, а частина ТО (рішення, висновок). Зазвичай є просте зазначення лінгвістичної величини для вихідної дії (керуючого впливу на об'єкт управління) нечіткого регулятора. Відповідним формулюванням правил досягається результат, при якому для будь-якої лінгвістичної величини керуючого впливу, як мінімум, одне з правил виявляється прийнятним.

Найбільш часто використовується "мінімаксий" метод логічного рішення, коли спочатку функції належності частини ТО кожного з правил об'єднуються з величиною істинності частини ЯКЩО (при цьому функція належності частини ТО обмежується величиною істинності частини ЯКЩО - це "міні" -



операція), а потім з обмежених функція належності частини TO шляхом взаємного накладення вибирається результуюча функція належності з максимальною величиною істинності ("максі" - операція). Ця результуюча функція належності визначає собою поточний вплив бази правил. Процедура обробки бази правил з формуванням результуючої функції належності представляє собою логічне рішення для розрахунку вихідної величини.

#### 4.2. Моделювання та дослідження нечіткого регулятора в середовищі Matlab

Першим вагомим кроком в даному напрямку з'явилася теорія нечітких множин, винайдена Заде. Його робота "Fuzzy Sets", що опублікувалася в 1965 році в журналі "Information and Control", дала основи моделювання розумової діяльності людини і була першим підготовком до розповсюдження нової математичної теорії. Він же і запропонував назву для нової галузі науки - "fuzzy logic" (fuzzy - нечіткий, розмитий, м'який).

У США розповсюдження нечіткої логіки йде по шляхом розповсюдження систем, що нада великому бізнесу і військовим. Нечітка логіка використовується при розрахунку нових ринків, біржовій грі, оцінці політичних рейтингів, виборі мінімальної цінової стратегії і т.п. Виникли і комерційні системи масового використання.

Загальна будова мікроконтролера, що має нечітку логіку. Вона містить у своєму складі нижче перераховані складові [15]:

- блок фазифікації;
- базу знань;
- блок рішень;
- блок дефазифікації.

Блок фазифікації перетворює чіткі величини, виміряні на виході об'єкта управління, у нечіткі величини, що перелічені лінгвістичними змінними в базі знань.

Блок рішень використовує нечіткі умовні (if - then) правила, описані в базі знань, для переробки нечітких вхідних даних у необхідні управляючі впливи, що мають також нечіткий характер.

Перерахуємо відмітні плюси fuzzy-систем у порівнянні з іншими:

- можливість оперувати вхідними даними, вказаними нечітко:

наприклад, що безперестанку змінюються в часі значення (динамічні задачі), дані, що неможливо задати однозначно (результати статистичних опитувань, рекламні компанії і т.д.);

- можливість нечіткої формалізації вимог оцінки і порівняння:

оперування критеріями "більшість", "можливе", "переважно" і т.д.;

- можливість виконання добрих оцінок як вхідних даних, так і

отриманих результатів ви оперуєте не тільки власними даними, але їхнім ступенем вірогідності і її розподілом;

Враховуючи всі ці плюси маємо висновок про доцільність

використання нечіткої логіки в системі керування.

Спроекуємо нечіткий регулятор, що буде працювати в системі управління за рахунок середовища Matlab. Для цього скористаємося бібліотекою Fuzzy Logic Toolbox [9]. Для самого процесу проектування

скористаємося графічним середовищем, що поставляється разом з Matlab – Fuzzy Inference System (FIS) [9],[15].

Спочатку потрібно спроектувати загальну структуру нечіткого регулятора. До неї відноситься кількість входів та виходів. Дана структура зображена на рисунку 5.1.

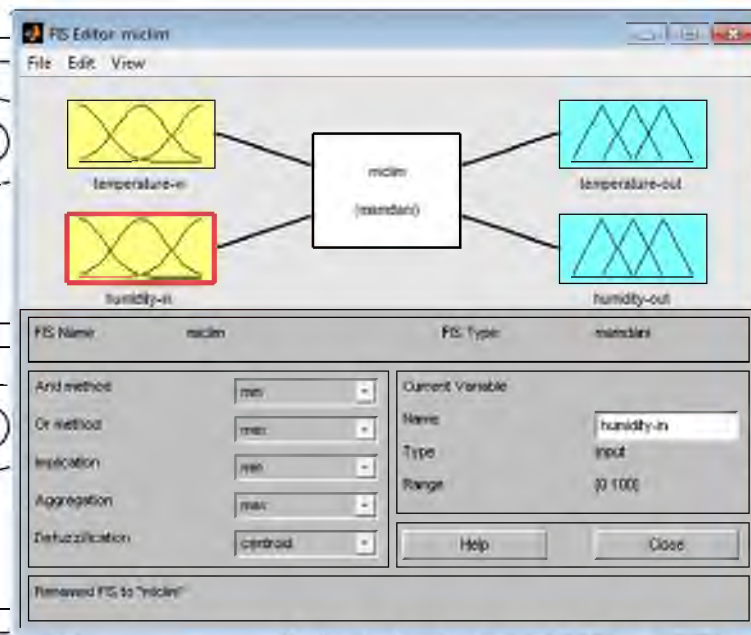


Рис. 5.1. Структура нечіткого регулятора

Як видно з рисунку, регулятор має 3 входи (temperature-in та humidity-in), перший передає значення температури, другий – вологості відповідно, а третій – фази росту. Присутні також два виходи (temperature-out та humidity-out). Ці виходи несуть інформацію про прийняте нечітким регулятором рішення щодо управління температурним режимом в біогазовій установці.

Наступним кроком моделювання нечіткого регулятора в середовищі Matlab.

Функція належності вхідного сигналу temperature-in зображена на рис. 4.2.

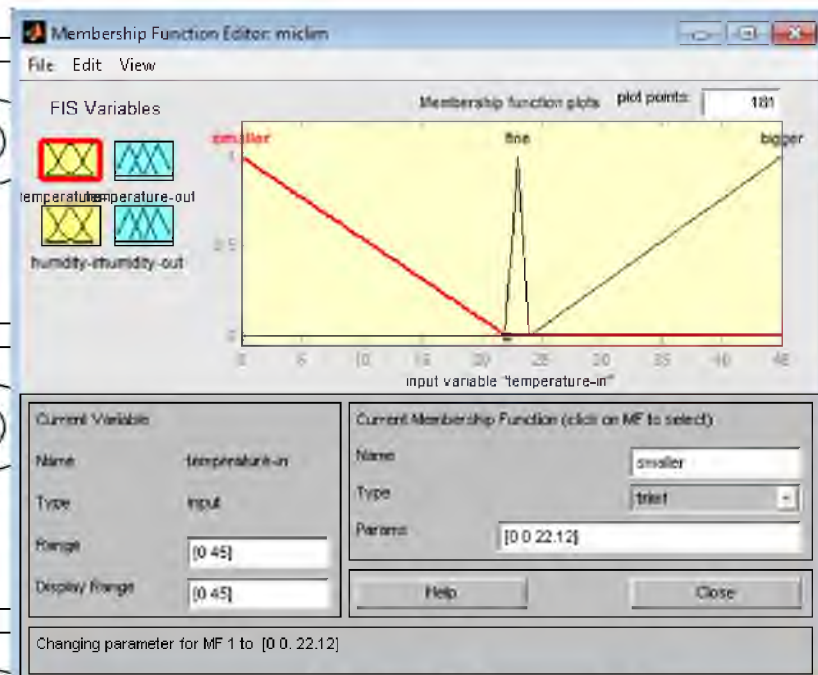


Рис. 4.2. Функція належності вхідного сигналу temperature-in.

Функція належності вхідного сигналу humidity-in зображено на рис.

4.3:

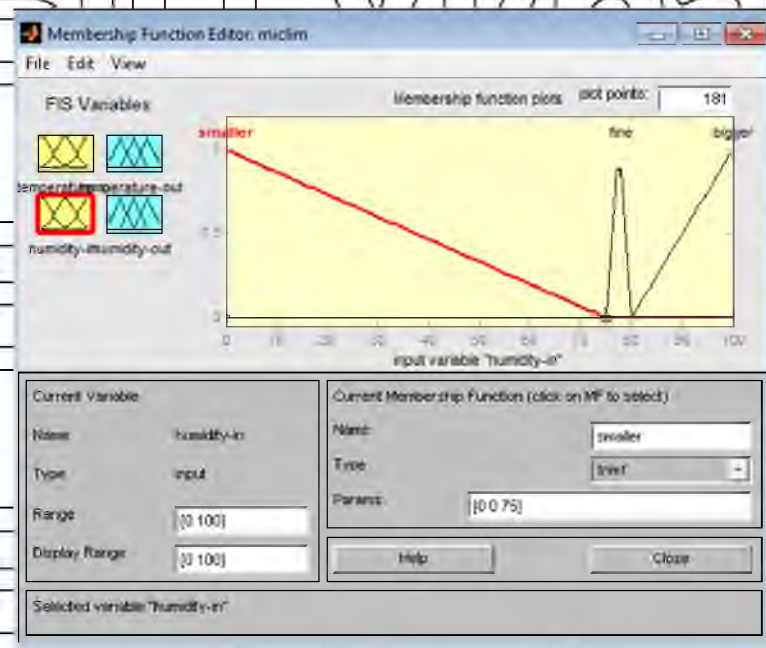


Рис. 4.3. Функція належності вхідного сигналу humidity-in

Наступними спроектовано функції належності виходів регулятора.

На рис. 4.4 зображено функцію належності виходу temperature-out:

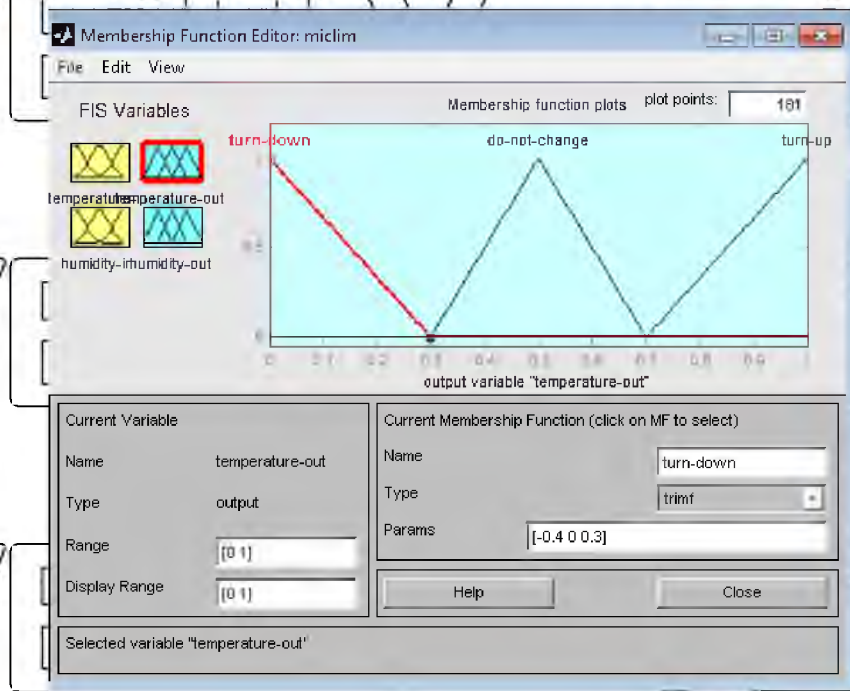


Рис. 4.4. Функція належності вхідного сигналу temperature-out

На рис. 4.5 зображено функцію належності виходу humidity-out:

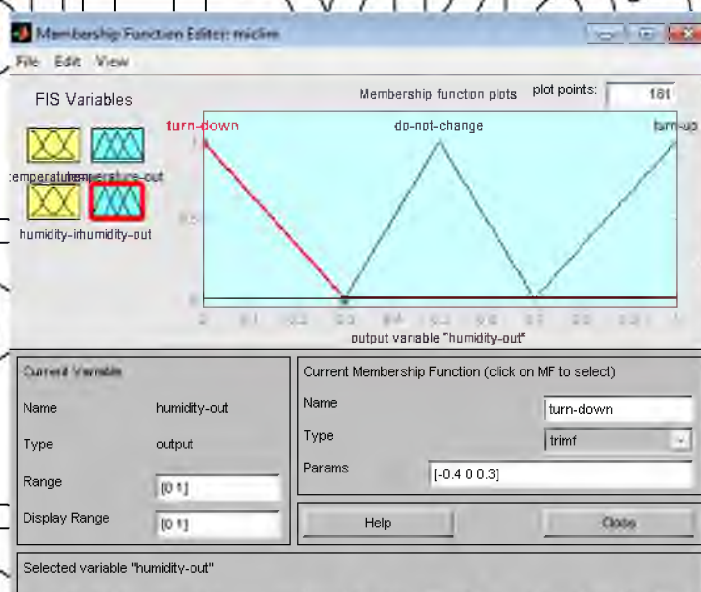


Рис. 4.5. Функція належності вхідного сигналу humidity-out

Наступним кроком моделювання нечіткого регулятора є складання правил (бази знань), за якими буде працювати регулятор. На рис. 4.6 зображено вікно з усіма такими правилами.

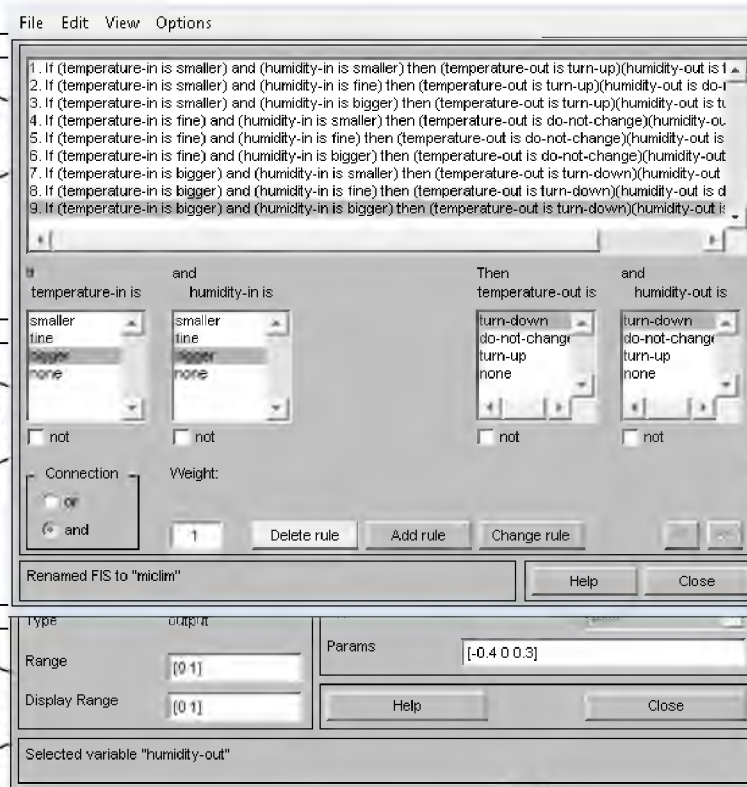


Рис. 4.6. Правила, що використовуються в нечіткому регуляторі

Для того, щоб випробувати в дії спроектований регулятор використаємо Simulink [3],[24]. Тестова система зображена на рисунку 4.7,

Зображення сигналів тестової системи на рисунках 4.8, 4.9:

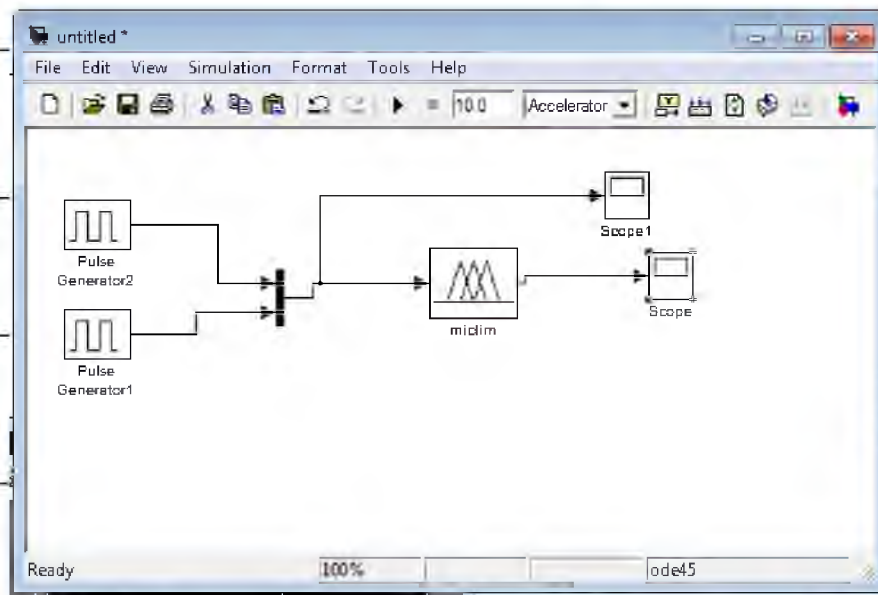


Рис. 4.7. Структура тестової системи

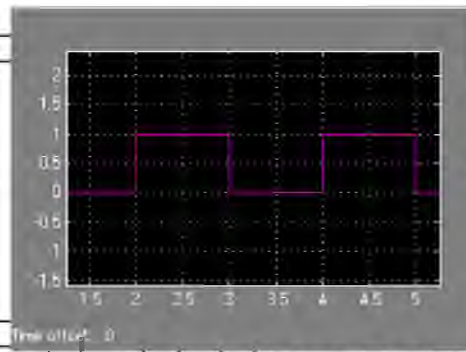


Рис. 4.8. Зображення сигналу тестової системи на вході нечіткого регулятора

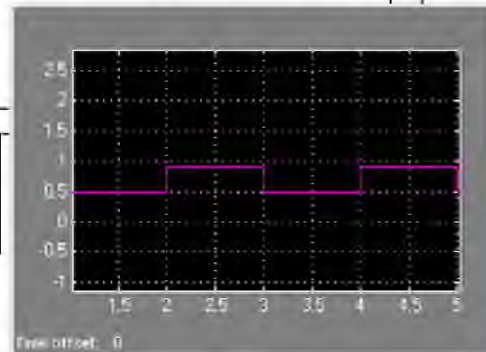


Рис. 4.9. Зображення сигналу тестової системи на виході нечіткого регулятора

В результаті можна перевірити наш регулятор на практиці.

Результати перевірки показано на рисунках 4.10, 4.11 та 4.12:

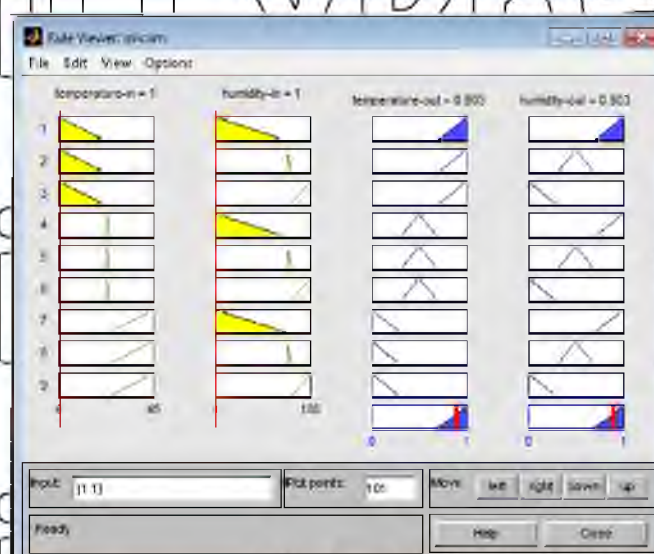


Рис. 4.10. Результат перевірки низьких значень

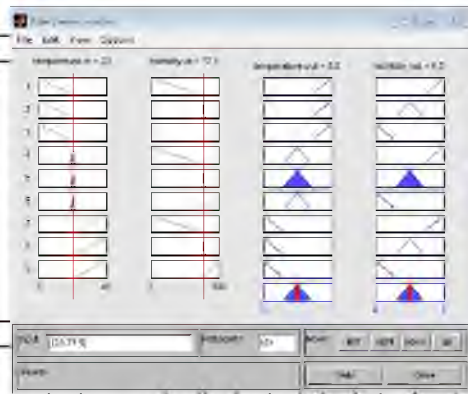


Рис. 4.11. Результат перевірки середніх значень

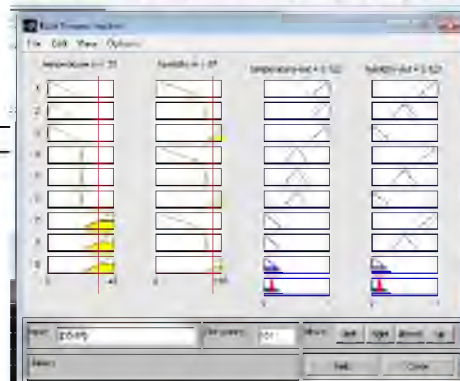


Рис. 4.12. Результат перевірки високих значень

Проаналізувавши вище подані рисунки, можемо зробити висновок про коректну роботу нечіткого регулятора та його повну придатність для роботи в системі управління, що розробляється. На рис. 4.13 зображено вхідні та вихідні параметри регулятора

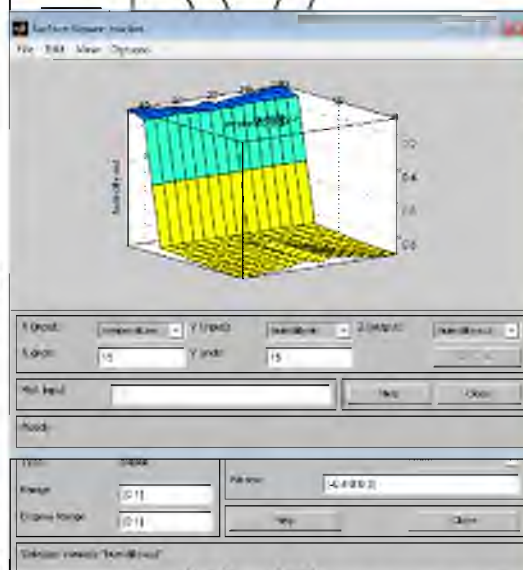


Рис. 4.13. Зображення параметрів регулятора у вигляді поверхні



Зображення структурної схеми нечіткого регулятора у блоці Simulink представлено на рисунку 5.14.

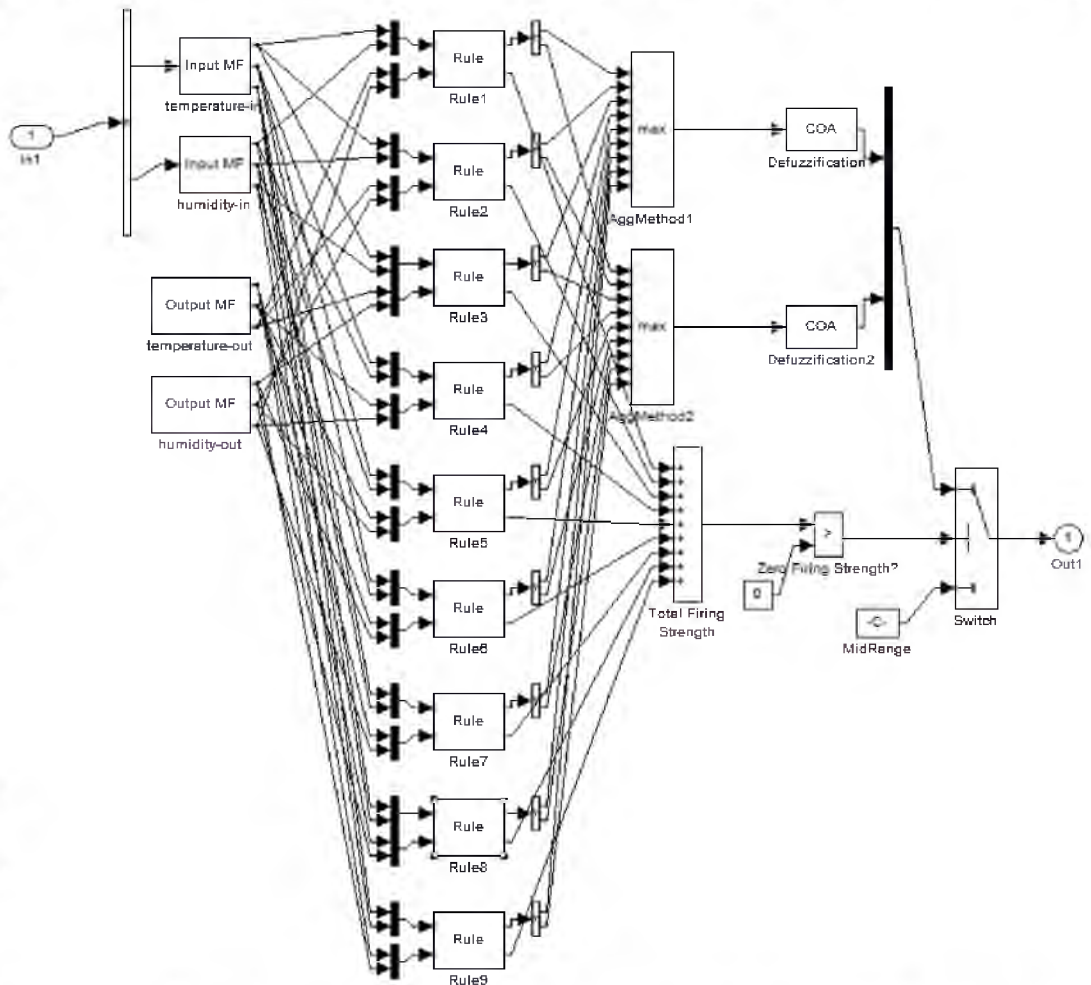


Рис. 4.14 Структурна схема нечіткого регулятора в блоці Simulink

Використання нечіткого регулятора дає значну гнучкість управління та можливість для створення складних ситуативних механізмів управління температурним режимом в біогазовій установці для вирощування різноманітних культур. При цьому можна враховувати необхідну кількість впливових факторів, інтегруючи їх як входи до нечіткого регулятора, і відповідним чином модифікуючи базу знань.

## ВИСНОВКИ

# НУБІП України

У даній магістерській роботі розглянута біогазова установка як технологічний об'єкт управління для виробництва біогазу. Розроблена система автоматичного управління температурою процесу анаеробного бродіння у реакторі з метою підвищення ефективності функціонування даного об'єкта і покращення виробництва.

За результатами проведеного дослідження у магістерській роботі, були

сформовані висновки:

Після проведеного аналізу стану сучасних технологій утилізації відходів сільськогосподарського виробництва встановлено, що найбільш енергозберігаючим є перероблення органіки на біогаз, яке дозволяє децентралізувати енергоспоживання та отримати екологічно якісні добрива.

На сьогоднішній день існує багато технологічних рішень для проектування біогазової установки, але відсутні науково-обґрунтовані рекомендації параметрів автоматизації та вибору робочих органів для нагрівання субстрату з метою температурної стабілізації анаеробного процесу при безперервній

подачі сировини до реактора установки.

Розрахунок математичних та створення імітаційних моделей дозволяє отримати температурні показники проходження процесу анаеробного бродіння у віртуальному режимі, що в свою чергу дає можливість вибрати оптимальний режим отримання біогазу спостерігаючи за результатами зміни вхідних параметрів.

Виконаний розрахунок економічної ефективності впровадження розробленої САУ для модернізованої установки показує, що термін окупності становить 1 рік і 3 місяці, а чистий прибуток складає 61061 грн. Такі

результати є підтвердженням того, що розроблена автоматизація установки на основі сучасних технологій є економічно вигідною

# НУБІП України

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гелетуха Г.Г., Марценюк З.А. Энергетический потенциал биомассы в Украине // Промышленная теплотехника. – 1998. – № 4. – С. 52–55.
2. Гелетуха Г.Г., Копейкін К.О. Біогаз зі звалищ. Перспективи використання в Україні // Зелена енергетика – 2002. – №1. – С. 13–16.
3. Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз: Теория и практика. /Пер. с нем. М. И. Серебрянного – М.: Колос, 1982. – 148 с.
4. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки. /Пер. с англ. М.: Агрпроомиздат, 1987. – 152 с.
5. Мовсесов Г. Е. Биогазовые установки для переработки органических отходов фермерских хозяйств // Сотрудничество для решения проблем отходов. Материалы IV Международной конференции. – Х.: ЭкоИнформ, 2007. – С. 176–179.
6. Матвеев Ю. Біогазові установки Данії // Зелена енергетика – 2004. – № 2. – С. 11–13.
7. Идентификация математической модели и исследование различных режимов метаногенеза в мезофильной бреде / Компьютерные исследования и моделирование // С. А. Королев, Д. В. Майков. – Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калащникова. – Россия – Ижевск: 2012. – №1, С. 131-141.
8. Ратушняк Г.С., Джеджула В.В. Інтенсифікація виробництва та підготовка біогазу до використання в теплотехнічному обладнанні // Вентиляція теплогазопостачання. – 2005 – № 8. – С. 52 – 60.
9. Біопалива (технології, машини і обладнання) Підручник / В. Дубровін, М. Корчемний, І. Масло, О. Шептицький, А. Гжибек, та інші. – К.ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256с.:іл. 157.
10. ТУ "Біогаз метантенків." ТУУ-204. 14069366–13–97.
11. Сербін В.А. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії в системах ТГВ: Навч. посібник – Макіївка: ДонДАБА, 2003. – 153 с.
12. Закон України « Про альтернативні джерела енергії» Офіц. текст л на 20.02.2003 – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=555-15>
13. V.Lysenko, I.Bolbot, T.Lendiel (2019). Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. Tekhnichna Elektrodynamika. 78-81. doi:10.15407/techne2019.02.078
14. Vitalii Lysenko, Andrii Zhylytsov, Ihor Bolbot, Taras Lendiel, Vitalii Nalyvaiko (2020). Phytomonitoring in the Phytometrics of the Plants. E3S Web of Conferences. 154. 07012. doi:10.1051/e3sconf/202015407012
15. A.Dudnyk, V.Lysenko, N.Zaets, D.Komarchuk, T.Lendiel and I.Yakymenko (2018), "Intelligent Control System of Biotechnological Objects with Fuzzy Controller and Noise Filtration Unit," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), 586-590, doi:10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007

16. V.M.Polishchuk, S.A.Shvoro, I.V.Flonts, T.S.Davidenko, Ye.O. Dvornyk (2021) Increasing the Yield of Biogas and Electricity during Manure Fermentation Cattle by Optimally Adding Lime to Extruded Straw. *Problemele Energeticii regionale*. 1. Iss. 49. pp. 73-85, doi:10.52254/1857-0070.2021.1-49.02

17. N. Pasichnyk, D. Komarchuk, O. Opryshko, S. Shvoro, V. Reshetiuk and B. Oksana, "Technologies for Environmental Monitoring of the City," 2021 *IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, 2021, pp. 40-43, doi:10.1109/CADSM52681.2021.9385213

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України