

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет

Навчально-науковий інститут Холоду, кріотехнологій та екоенергетики
ім.Мартинівського В.С.

Кафедра Екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему Дослідження очищення газових викидів мікроводоростями

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Телендій К.О.

(прізвище, ініціали)

Керівник к.т.н, доцент, Шпирко Т.В.

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2024 р., протокол № _____

Завідувач кафедри ЕВтаПТ _____
(назва кафедри) (підпис)

Олексій ГАРКОВИЧ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут Холоду, кріотехнологій та екоенергетики

Кафедра Екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к.б.н., доц.

_____ **О.Л. Гаркович**

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Телендій Карини Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження очищення газових викидів мікробіодоростями»

керівник проекту (роботи) Шпирко Т.В., к.т.н, доц.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “13”06 2024 року №249-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 29.11.24.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) зробити літературний огляд та пошук технологічних схем і сучасних рішень для очищення газових викидів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) ситуаційні схеми, таблиці та схеми, що відображають хід виконання дипломної роботи

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Характеристика підприємств які забруднюють повітря та мікроводоростей	Шпирко Т.В., к.т.н., доц.	14.08.24	14.09.24
2. Методики виявлення забруднюючих елементів в повітрі	Шпирко Т.В., к.т.н., доц.	14.09.24	15.10.24
3. Процес біологічної обробки газових викидів та виробництво біогазу	Шпирко Т.В., к.т.н., доц.	15.10.24	10.11.24
4 Охорона праці та ЦЗ	Гаркович О.Л., к.б.н., доц.	10.11.24	26.11.24

7. Дата видачі завдання _____
 Керівник _____ Тетяна ШПИРКО
 Завдання прийняв до виконання _____ Карина ТЕЛЕНДІЙ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Характеристика підприємств які забруднюють повітря та мікроводоростей	14.09.24	
2	Методики виявлення забруднюючих елементів в повітрі	15.10.24	
3	Процес біологічної обробки газових викидів та виробництво біогазу	10.11.24	
4	Охорона праці та ЦЗ	26.11.24	
5	Оформлення результатів виконаної роботи	29.11.24	

Здобувач вищої освіти _____ Карина ТЕЛЕНДІЙ
 Керівник роботи _____ Тетяна ШПИРКО

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач вищої освіти Карина ТЕЛЕНДІЙ _____

ПІБ

Підпис

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до магістерської роботи містить стр. – 89, рис.– 12, табл. - 4, формул – 1, література - 19

Тема: Дослідження очищення газових викидів мікроводоростями

Мета: Дослідження очищення газових викидів за допомогою зелених мікроводоростей та використання їх біомаси

Робота магістра складається з наступних **розділів:**

У першому розділі розглянуто морфологічні, культуральні ознаки мікроводоростей. Визначено вплив газових викидів на навколишнє середовище.

У другому розділі розглянуто методики виявлення забруднюючих речовин в повітрі.

У третьому розділі розглянуто процес біологічно очищення газових викидів і обладнання для її очищення.

Ключові слова: мікроводорості, забруднюючі речовини, біогаз, викиди, теплова електростанція.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВ ЯКІ ЗАБРУДНЮЮТЬ ПОВІТРЯ ТА МІКРОВОДОРОСТЕЙ	8
1.1 Вплив газових викидів на навколишнє середовище	11
1.2 Систематичне положення та поширення	16
1.3 Морфолого-цитологічні ознаки	18
1.4 Культуральні ознаки	20
1.5 Комплексне використання мікробіодоростей	22
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ВИЯВЛЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПОВІТРІ	27
2.1 Організація спостережень за станом атмосфери	28
2.2 Обладнання стаціонарних і маршрутних постів	31
2.3 Сучасні підходи та засоби для спостереження за станом атмосферного повітря	33
2.4 Організація постійного контролю за забрудненням повітря	37
РОЗДІЛ 3. ПРОЦЕС БІОЛОГІЧНОЇ ОБРОБКИ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ТА ВИРОБНИЦТВО БІОГАЗУ	40
3.1 Пристрої для очищення газових викидів	40
3.2 Механізм переміщення забруднюючих сполук	48
3.3 Виробництво біогазу	51
3.4 Анаеробне зброджування	54
3.5 Попередня обробка водоростей для виробництва біогазу	55
3.6 Майбутня перспектива	59
РОЗДІЛ 4. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ	62
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	65
5.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів	65
5.2. Вимоги до території, робочих місць, організації безпечного руху працівників і транспорту	67
5.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря.	71
5.4. Освітлення, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення.	74
5.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації	77
ВИСНОВОК	85
Список літератури	87

ВСТУП

Забруднення атмосфери промисловими викидами є тривалою й актуальною проблемою, що впливає на зміни клімату, здоров'я людей та біорізноманіття. Хоча щороку рівень забруднення повітря в Україні знижується на кілька відсотків, техногенне та антропогенне навантаження на атмосферу залишається значно вищим, ніж у багатьох інших країнах. Основними джерелами забруднення є розвиток індустріалізації, діяльність підприємств добувної та переробної промисловості, енергетики та транспорту.

В національній доповіді про стан довкілля України за 2020 рік, найбільша частка газових викидів (38,8%) припадає на переробну промисловість, зокрема металургію (32,6%). Постачання електроенергії, газу та кондиціонованого повітря займає 37,9%, а видобувна промисловість – 16,3%. Інші сектори, як-от сільське господарство, транспорт та складські господарства, забезпечують меншу частку викидів. У 2020 році на одного жителя України припадало 53,6 кг забруднюючих речовин, що становило 3,8 т/м² [1].

Виробництво електроенергії та тепла на теплових електростанціях (ТЕС) супроводжується значними викидами парникових газів, переважно CO₂. У період з 1990 по 2016 роки загальні викиди парникових газів коливалися в межах 26,7–34,7%, а викиди CO₂ зросли з 95,9 до 272,7 млн тон. Основним джерелом таких викидів є вугільні електростанції, які забезпечують 13–19% загального обсягу парникових газів.

Для зниження рівня забруднення пропонується встановлення обладнання для біологічного очищення газових викидів за допомогою мікроводоростей. Зокрема, мікроводорості *Chlorella vulgaris* здатні ефективно поглинати CO₂ та світло для виробництва біомаси, яка може бути використана в біоенергетиці. Такий підхід дозволяє перетворити газові викиди на біопаливо, зменшуючи вплив на атмосферу[2].

Мікроводорості *Chlorella vulgaris* мають низку переваг: швидкий ріст навіть у жорстких умовах, висока продуктивність, значний вміст білків (понад 45%),

вуглеводів (30–35%), ліпідів (7–10%) та інших цінних речовин, включаючи вітаміни й амінокислоти. Використання цих водоростей є перспективним напрямком у боротьбі зі змінами клімату та підвищенням ефективності використання ресурсів.

Актуальність проекту. Проект є актуальним, щорічне зростання обсягів газових викидів підсилює потребу у впровадженні нових методів очищення

Новизною даного проекту є розробка технології очищення газових викидів через безперервне культивування мікроводоростей, які поглинають вуглекислий газ

Мета і задачі дослідження. Метою є дослідження та створення технологічних підходів до культивування мікроводоростей із залученням газових викидів, що утворюються під час експлуатації теплових електростанцій.

Об'єктом дослідження є очищення газових викидів мікроводоростями.

Предмет дослідження: чинники, які впливають на ефективність очищення газових викидів за допомогою мікроводоростей.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВ ЯКІ ЗАБРУДНЮЮТЬ ПОВІТРЯ ТА МІКРОВОДОРОСТЕЙ

Підприємства, які забруднюють атмосферне повітря, належать до різних галузей промисловості. Вони є джерелами викидів шкідливих речовин, таких як пил, гази, аерозолі, які негативно впливають на навколишнє середовище та здоров'я людей. Основними є:

1. Енергетика

- **Теплові електростанції (ТЕС):** Викиди оксидів сірки (SO_2), азоту (NO_x), вуглекислого газу (CO_2), твердих часток (пилу) через спалювання викопного палива.
- **Котельні установки:** Забруднення від спалювання вугілля, мазуту, природного газу.

2. Металургійна промисловість

- **Чорна металургія:** Під час виплавки сталі, чавуну утворюються значні викиди пилу, діоксиду сірки, окисів азоту, вуглекислого газу.
- **Кольорова металургія:** Викиди фтористих сполук, важких металів (ртуть, кадмій, свинець).

3. Хімічна промисловість

- Виробництво добрив, пестицидів, пластмас, фармацевтичних засобів спричиняє викиди аміаку, діоксидів сірки, азоту, органічних сполук, летких органічних речовин (ЛОР).
- Виробництво кислот (сірчаної, азотної): Викиди діоксидів сірки, азоту.

4. Цементна та будівельна промисловість

- Пил цементу, окиси азоту, викиди вуглецю під час виробництва цементу та будівельних матеріалів.

5. Транспорт

- Викиди вуглекислого газу (CO_2), оксидів азоту (NO_x), твердих часток (сажі), летких органічних речовин (ЛОР) від автомобільного, залізничного, морського транспорту.

6. Нафтохімічна промисловість

- Викиди бензолу, толуолу, формальдегіду, діоксинів, сірчистих сполук під час переробки нафти і виробництва пального.

7. Деревообробна та целюлозно-паперова промисловість

- Забруднення сірководнем, діоксидом сірки, органічними речовинами, леткими органічними сполуками.

8. Сільське господарство

- Викиди аміаку, метану (CH_4), летких органічних речовин від тваринництва, розкладання органічних добрив.

9. Виробництво продуктів харчування

- Викиди діоксиду вуглецю, аміаку, органічних сполук (етанол, метанол) у процесах ферментації, сушки, спалювання відходів.

10. Гірничодобувна промисловість

- Видобування вугілля, руд: пил, газу (вуглекислий газ, метан), дрібні частинки важких металів.

Наслідки забруднення:

1. Зниження якості повітря, підвищення концентрації токсичних речовин.
2. Вплив на здоров'я: захворювання органів дихання, серцево-судинні хвороби.
3. Кліматичні зміни: парникові гази спричиняють глобальне потепління.

Завдяки стрімкому розвитку біотехнологій з'являються нові можливості для використання біологічних об'єктів не лише у виробництві різної продукції, але й для екологічного очищення довкілля від промислових забруднень. Мікроскопічні водорості мають широкий спектр застосування: їхні продукти використовують у фармацевтиці, харчовій індустрії, косметології, медицині, як барвники та корм для тварин [3].

Сьогодні екологи все більше досліджують здатність водоростей очищувати стічні води та газові викиди, аби запропонувати економічно й екологічно вигідні способи захисту природи від забруднення. Мікрководорості є відновлюваними, стійкими та економічно вигідними джерелами біопалива, біоактивних лікарських речовин та харчових інгредієнтів. Біопаливо на основі водоростей — чудова альтернатива рідкому викопному паливу завдяки своїй доступності, відновлюваності та екологічним перевагам.

Водорості також можуть використовувати атмосферний CO₂ для синтезу вуглеводів, ліпідів та інших біоактивних сполук. Вони існують у формі мікроскопічних клітин або колоній, які можуть бути як прокаріотичними (наприклад, ціанобактерії), так і еукаріотичними, до яких належать зелені водорості, з яких виділено й ідентифіковано понад 40 000 видів. Синьо-зелені водорості, що містять хлорофіл, є одними з найдавніших фотосинтетиків на Землі, про що свідчать їхні залишки в докембрійських відкладах.

Їхня активність поступово сприяла формуванню кисневої атмосфери, що забезпечила умови для розвитку рослинного і тваринного світу.

Очищення повітря від шкідливих речовин, таких як вуглекислий газ (CO₂), оксиди азоту, сполуки сірки та важкі метали, може здійснюватися різними видами

водоростей завдяки їх здатності поглинати ці забруднювачі та перетворювати їх на органічні речовини через фотосинтез. Ось деякі водорості, які ефективно очищають повітря:

1. *Chlorella vulgaris* – відома здатністю активно поглинати CO₂ і виділяти кисень, має високий рівень продуктивності біомаси, тому широко застосовується для очищення повітря в промислових умовах. Вона також здатна фіксувати важкі метали та шкідливі сполуки, що знижує рівень забруднення.

2. *Spirulina platensis* – ефективно поглинає CO₂ і азот, виділяючи велику кількість кисню. Завдяки своїм властивостям, спіруліну застосовують у біореакторах для очищення повітря і підвищення його якості.

3. *Scenedesmus obliquus* – водорість, яка добре засвоює вуглекислий газ і важкі метали, що робить її перспективною для очищення промислових газових викидів. Scenedesmus також використовується для видалення аміаку та оксидів азоту.

4. *Nannochloropsis* – має здатність інтенсивно фіксувати CO₂, завдяки чому може застосовуватися для зменшення викидів вуглекислого газу. Вона також здатна адаптуватися до умов із високим вмістом забруднювачів.

5. *Dunaliella salina* – відома своїми адаптаційними здібностями до різних стресових умов, включаючи забруднене середовище. Вона фіксує вуглекислий газ і може накопичувати антиоксиданти, що захищають її від шкідливих сполук в повітрі.

6. *Anabaena* (синьо-зелена водорість) – ця ціанобактерія має здатність до азотфіксації, що корисно для зниження концентрації оксидів азоту в повітрі. Вона також поглинає CO₂ і виробляє кисень.

Ці водорості використовуються в різних системах очищення повітря, таких як фотобіореактори, де вони поглинають CO₂ та інші забруднюючі речовини.

1.1 Вплив газових викидів на навколишнє середовище

Сьогодні актуальною є проблема модернізації енергетичних процесів в Україні. Найпоширенішими виробниками електроенергії є теплові електростанції,

тому питання їх екологічної безпеки залишається важливим і актуальним. Внаслідок повного згоряння палива під час роботи ТЕС у повітряному середовищі, серед димових газів виділяються: вуглекислий газ (CO_2), водяна пара (H_2O), азот (N_2), оксиди сірки (SO_2 та SO_3), оксиди азоту (NO , NO_2 та N_2O), а також зола, яка потрапляє в атмосферу. Наявність шкідливих газоподібних продуктів горіння органічних палив у повітрі призводить до руйнування озонового шару, утворення фотохімічних туманів, ерозії ґрунтів, знищення флори та розвитку різноманітних захворювань у людей. Охорона атмосферного повітря є актуальною проблемою охорони навколишнього середовища, оскільки забруднене повітря має найбільшу просторову мобільність порівняно з іншими компонентами середовища. Під час роботи ТЕС основна частина відходів часто кілька разів перевищує кількість використаного палива. Вплив теплових електростанцій (ТЕС) на навколишнє середовище класифікують за такими аспектами:

- фізичні впливи, до яких належать: шумове забруднення, електромагнітне, радіаційне, теплове забруднення;

- прямі впливи, пов'язані з внесенням або вилученням із природного середовища різноманітних компонентів (викиди токсичних речовин та хімічне забруднення);

- непрямі впливи, такі як: гравітаційне осаджування аерозольних частинок і твердих сполук, хімічні реакції шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферу та гідросферу.[4]

Під час функціонування ТЕС утворюються викиди димових газів, які є головним джерелом забруднення атмосфери, ґрунтів, водних ресурсів та негативно впливають на флору й фауну. Найбільшу загрозу становлять зола, двоокис сірки, оксиди азоту (NO_x) та вуглекислий газ, що сприяє парниковому ефекту.

Зола складається з твердих частинок негорючі компоненти вугілля, такі як оксиди кремнію, заліза, алюмінію, магнію, кальцію, сірки та інші, серед яких можуть бути незначні кількості миш'яку та важких металів (свинцю, ванадію, хрому, цинку).

Важкі метали та їх сполуки виділяються з великою поширеністю та токсичністю, і багато з них здатні накопичуватись у живих організмах. Вони широко використовуються в промисловості, тому, незважаючи на наявність очисних заходів, вміст важких металів у стічних водах залишається високим. Також ці метали потрапляють у навколишнє середовище через побутові стоки, дим та пилові частинки промислових підприємств. Багато металів формують стійкі органічні сполуки з високою розчинністю, що сприяє їхньому переміщенню в природних водах. До важких металів відносять понад 40 хімічних елементів, через їх токсичність, стійкість та здатність накопичуватися в навколишньому середовищі контроль здійснюється лише над кількома елементами. Концентрація часток РМ є поширеним непрямим показником рівня забруднення повітря. На відміну від інших забруднювачів, вони мають шкідливий вплив на здоров'я великої кількості людей різних вікових груп.

Основними складовими зважених часток є нітрати, аміак, сульфати, хлорид натрію, саже, пил та вода. Вони складаються з суміші органічних і неорганічних сполук, що знаходяться в повітрі у вигляді зважених часток. Частки діаметром менше 10 мкм (\leq РМ10) можуть проникати глибоко в легені та осідати в них. Частки діаметром менше 2,5 мкм (\leq РМ2.5) мають ще більший негативний вплив на здоров'я, оскільки можуть проникати через аерогематичний бар'єр у легенях і потрапляти в кров. Постійний контакт з такими частками збільшує ризик розвитку серцево-судинних і респіраторних захворювань, а також раку легень.[5]

Приземний озон (O_3) є однією з основних складових фотохімічного смогу. Він утворюється в результаті фотохімічної реакції, що відбувається в атмосфері під дією сонячного світла на забруднене повітря, яке містить оксиди азоту (NO_x), що виділяються в атмосферу внаслідок діяльності двигунів внутрішнього згорання та викидів промислових підприємств. Перевищення допустимої концентрації озону в повітрі (60 мкг/м^3) негативно впливає на здоров'я людини, викликаючи порушення дихання, розвиток астми, зниження функції легень та призводить до їх захворювань. При неповному згоранні виділяються вуглеводні (метан, етан), поліциклічні

вуглеводні (зокрема, бензопірен $C_{10}H_{12}$), формальдегід (НСОН), оксиди ванадію (V). Вуглеводні мають негативний канцерогенний ефект на здоров'я людини та належать до газів, які спричиняють «парниковий ефект». Крім того, важливою проблемою є викиди використаної води у вигляді зливів, оскільки для повного технологічного циклу ТЕС використовують значну кількість води, яка після використання повертається назад до водосховищ. Вода приносить в це джерело велику кількість тепла, що створює теплове забруднення і призводить до загибелі флори та фауни у водосховищах, посиленого випаровування з поверхні води, змінює гідрологічні характеристики стоку, збільшує розчинність порід, ускладнює їх санітарний стан і погіршує мікроклімат в окремих районах. Також варто відзначити шумове забруднення, яке зростає з розвитком енергетики та збільшенням потужностей установок, особливо негативно впливаючи на людей, що живуть поблизу ТЕС. Шум як форма забруднення довкілля став проблемою, яка була визнана лише в середині 1980-х років. Електромагнітний вплив ТЕС на навколишнє середовище проявляється через електромагнітні поля (ЕМП), що виникають через повітряні лінії високої напруги. ЕМП у високих дозах також можуть негативно впливати на здоров'я людини. Одним з непрямих впливів є гравітаційне осадження аерозолів, оскільки частки аерозолів осідають на літо- і гідросферу під дією сили тяжіння. Збільшення концентрації твердих часток і газів (SO_2 , NO_2 , озону) в атмосфері спричиняє значне зростання кількості гострих і хронічних захворювань серед людей. У 2019 році показник смертності через викиди ТЕС склав 5000 смертей, порівняно з 3300 у 2018 році. Найбільше постраждали від діяльності ТЕС такі регіони, як Львівська, Дніпропетровська, Київська та Донецька області, де рівень смертності коливається від 230 до 430 випадків відповідно. Газові викиди від вугільних ТЕС завдають найбільшої шкоди дихальним шляхам людини, збільшуючи кількість хворих на бронхіт і астму серед дітей та дорослих. За даними досліджень, в Україні під вплив газових викидів від діяльності вугільних ТЕС перебувають 8,7 мільйонів людей, що значно перевищує норми, затверджені Всесвітньою організацією охорони здоров'я. В таблиці 1.1 показано склад забруднень під час роботи ТЕС в залежності від виду палива, що використовується у виробництві електрики:

Таблиця 1.1 – Характеристика складу викидів ТЕС в залежності від виду палива [6]

Вид палива	Газоподібні викиди	Аерозолі	Домішки
Вугілля	NO, NO ₂ , SO ₂ , SO ₃ , CO ₂ , HCl, Hg (пари), As (пари), H ₂ S, NH ₃	⁴⁰ K, ²²⁶ Ra, ²³² Th, летка зола, сажа, формальдегіди, бензопірен	As, Cd, Pb, Ti, Cr, Na, Ni, V, Cu, Zn, Mn, Mo, Sb, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,
Мазут	NO, NO ₂ , SO ₂ , CO, CO ₂ , Hg (пари), вуглеводні	Зола (V ₂ O ₅), формальдегіди, бензопірен, сажа	As, Cd, Pb, Ti, Cr, Na, Ni, V, Cu, Zn, Mn, Mo, Sb
Газ	NO, NO ₂ , SO ₂ , CO, CO ₂ , вуглеводні	-	-

Аерозольні частинки існують як окремі елементи, але агломерати. Агломерати зазвичай складаються з електрично заряджених дрібних частинок, які перебувають у складі диму. Аерозолі складаються з порожнистих крапель, з газом, та з порожнистих частинок, що містять речовину — наповнювач (наприклад, зола або частинки оксиду алюмінію в продуктах горіння твердих ракетних палив). Густина частинок може значно відрізнятись від густини початкового матеріалу через наявність порожнин всередині частинок. Аерозолі поділяються на моно дисперсні, які складаються з частинок одного розміру, і полідисперсні, що включають частинки різних розмірів. Основним джерелом викиду газу є котлоагрегати ТЕС. Вид палива, що виділяє сірку під час горіння, включає нафтопродукти та вугілля. Тривалість існування сірки у вигляді діоксиду в атмосфері становить 15–20 діб (якщо в атмосфері немає домішок аміаку та інших сполук), після чого за наявності кисню відбувається перетворення SO₂ у SO₃, що при взаємодії з водою утворює сірчану кислоту, яка потрапляє в літосферу і гідросферу у вигляді осадів.

Концентрація викидів азоту залежить від виду палива і умов горіння.[8]

Під час процесу спалювання палива більшість вуглецю викидається як CO₂. Викиди CO₂ при стаціонарному спалюванні палива є результатом вивільнення вуглецю при його горінні і залежать від вмісту вуглецю в самому паливі. Вміст вуглецю в паливі є хімічною характеристикою, властивою кожному виду палива і залежить від умов його спалювання. Середнє значення CO₂, яке утворюється при згорянні 1 кг вугілля на українських ТЕС, становить близько 2 кг.[9]

Загалом, щороку в результаті роботи ТЕС в атмосферу викидається від 13 до 19% парникових газів, основними з яких є CO₂, N₂O та CH₄. Фахівці пояснюють це двома факторами: великою кількістю вугілля, що споживається для отримання електроенергії, і високими питомими витратами палива під час роботи ТЕС.

1.2 Систематичне положення та поширення

Ось систематичне положення та коротка інформація про поширення основних водоростей, очищаючих повітря [10]:

1. *Chlorella vulgaris*

Систематичне положення:

Царство: Рослини (*Plantae*)

Відділ: Зелені водорості (*Chlorophyta*)

Клас: Трепаносмохлоридні водорості (*Trebouxiophyceae*)

Рід: Хлорела (*Chlorella*)

Поширення: Прісноводна водорість, зустрічається в різних водоймах, ґрунтах, на поверхні вологих каменів і навіть у повітрі. Застосовується в біореакторах по всьому світу для очищення повітря і води.

2. *Spirulina platensis*

Систематичне положення:

Царство: Бактерії (*Bacteria*)

Відділ: Ціанобактерії (*Cyanobacteria*)

Клас: Ціанофіцієві (*Cyanophyceae*)

Рід: Спіруліна (*Spirulina*)

Поширення: Розповсюджена в теплих солоних водоймах тропічних і субтропічних зон. Промислово вирощується в спеціальних біореакторах для біомаси та очищення повітря.

3. *Scenedesmus obliquus*

Систематичне положення:

Царство: Рослини (*Plantae*)

Відділ: Зелені водорості (*Chlorophyta*)

Клас: Зеленуваті водорості (*Chlorophyceae*)

Рід: Сценедесмус (*Scenedesmus*)

Поширення: Прісноводна водорість, поширена в озерах, річках і штучних водоймах по всьому світу, часто використовується для фіксації важких металів та очищення стічних вод.

4. *Nannochloropsis* (найчастіше використовується вид *Nannochloropsis oculata*)

Систематичне положення:

Царство: Хромальвеолати (*Chromalveolata*)

Відділ: Охрофітові водорості (*Ochrophyta*)

Клас: Евсигмофіцієві (*Eustigmatophyceae*)

Рід: Нанохлоропсис (*Nannochloropsis*)

Поширення: Переважно морська водорість, зустрічається в океанах і солоних водоймах, адаптована до високих рівнів солоності та забруднених умов, особливо ефективна для біопалива.

5. *Dunaliella salina*

Систематичне положення:

Царство: Рослини (*Plantae*)

Відділ: Зелені водорості (*Chlorophyta*)

Клас: Зеленуваті водорості (*Chlorophyceae*)

Рід: Дуналієлла (*Dunaliella*)

Поширення: Переважно солоні водойми в прибережних регіонах, включаючи озера з високим вмістом солі. Добре пристосовується до стресових умов.

6. *Anabaena* (поширений вид *Anabaena variabilis*)

Систематичне положення:

Царство: Бактерії (*Bacteria*)

Відділ: Ціанобактерії (*Cyanobacteria*)

Клас: Ціанофіцієві (*Cyanophyceae*)

Рід: Анабеана (*Anabaena*)

Поширення: Прісноводні водойми, часто у ставках та озерах. Ця водорість здатна фіксувати атмосферний азот, що робить її корисною в біологічних процесах очищення води й повітря.

1.3 Морфолого-цитологічні ознаки

Основні морфологічні та цитологічні ознаки водоростей, які часто використовуються для очищення повітря та води [10]:

Chlorella vulgaris

Морфологія: Одноклітинна мікроводорість округлої форми діаметром 2-10 мкм.

Цитологія: Має щільну клітинну стінку, хлоропласти, багаті на хлорофіл *a* і *b*, який забезпечує фотосинтез. Відсутність жгутиків і інших органел руху. Розмножується автоспорами, що утворюються в материнській клітині.

Spirulina platensis

Морфологія: Мультиклітинна ниткоподібна водорість, утворює спіральні нитки довжиною 5-10 мкм.

Цитологія: Клітинна стінка тонка, складається з пептидоглікану. Клітини багаті на хлорофіл *a*, фікобілінові пігменти (фікоціанін і фікоеритрин), що забезпечує зелено-синій колір. Розмноження відбувається шляхом фрагментації ниток.

Scenedesmus obliquus

Морфологія: Клітини часто розташовані в колоніях по 4, 8 або 16 клітин. Окремі клітини еліптичні, розміром 2-10 мкм.

Цитологія: Клітинна стінка міцна, містить целюлозу. У клітинах є чашоподібний хлоропласт з хлорофілами *a* і *b*. Розмножується автоспорами.

Nannochloropsis oculata

Морфологія: Одноклітинна сферична водорість розміром 2-5 мкм.

Цитологія: Клітинна стінка гладка, відсутність жгутиків. Хлоропласт містить хлорофіл *a* і фукоксантин, який додає жовтувато-зелений колір. Розмноження здебільшого відбувається простим поділом.

Dunaliella salina

Морфологія: Одноклітинна водорість овальної або грушоподібної форми, розміром 5-25 мкм.

Цитологія: Клітинна стінка тонка, що дозволяє легко адаптуватися до змін солоності. Має великий хлоропласт із високим вмістом каротиноїдів, особливо бета-каротину. Володіє двома жгутиками для пересування.

Anabaena variabilis

Морфологія: Нитчаста ціанобактерія, утворює довгі ланцюжки, які містять вегетативні клітини і гетероцисти для азотфіксації.

Цитологія: Клітинна стінка складається з пептидоглікану. Хлорофіл *a* і фікобіліни надають синьо-зелений колір. Гетероцисти — це спеціалізовані клітини для фіксації азоту, що дозволяє їм виживати в азотодефіцитному середовищі. Розмножується шляхом фрагментації ниток.

Ці водорості характеризуються різноманітними формами клітин і спеціалізованими структурами, які адаптують їх для фотосинтезу, поглинання вуглекислого газу та інших функцій очищення середовища.

1.4 Культуральні ознаки

Chlorella vulgaris – термофільна водорість. Найоптимальнішим для культивування є коливання температури в межах 26-30 °С. Водорість витримує перепад температури в 4-5 °С. Ріст уповільнюється й зовсім припиняється при 5-10°С. Морфологія хлорели також залежить від температури. Виявлено, що при підвищенні температури, клітини зменшуються в об'ємі, а метаболізм стає інтенсивнішим: пришвидшується гідроліз солей в культуральному середовищі, збільшується концентрація сірководню. Криві росту для *C.vulgaris*, що культивувалися при різних температурах, представлені на рис. 1.1. Найоптимальнішим діапазоном рН для культивування *Chlorella vulgaris* є 7,5-8,0. Графік залежності росту *Chlorella vulgaris* (вмісту хлорофілу) від різних значень рН представлено на рис. 1.2.

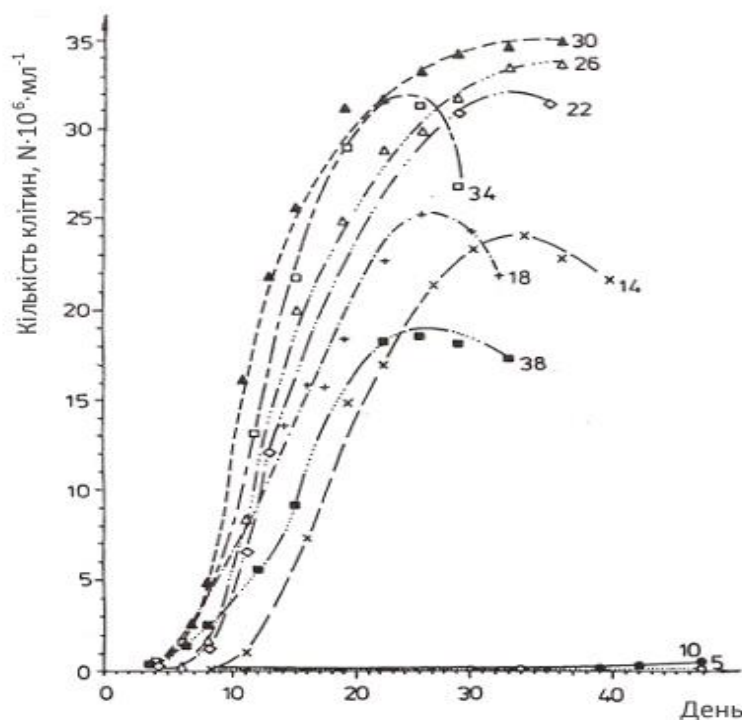


Рисунок 1.1 - Криві росту для *C.vulgaris*, що культивувалися при різних температурах

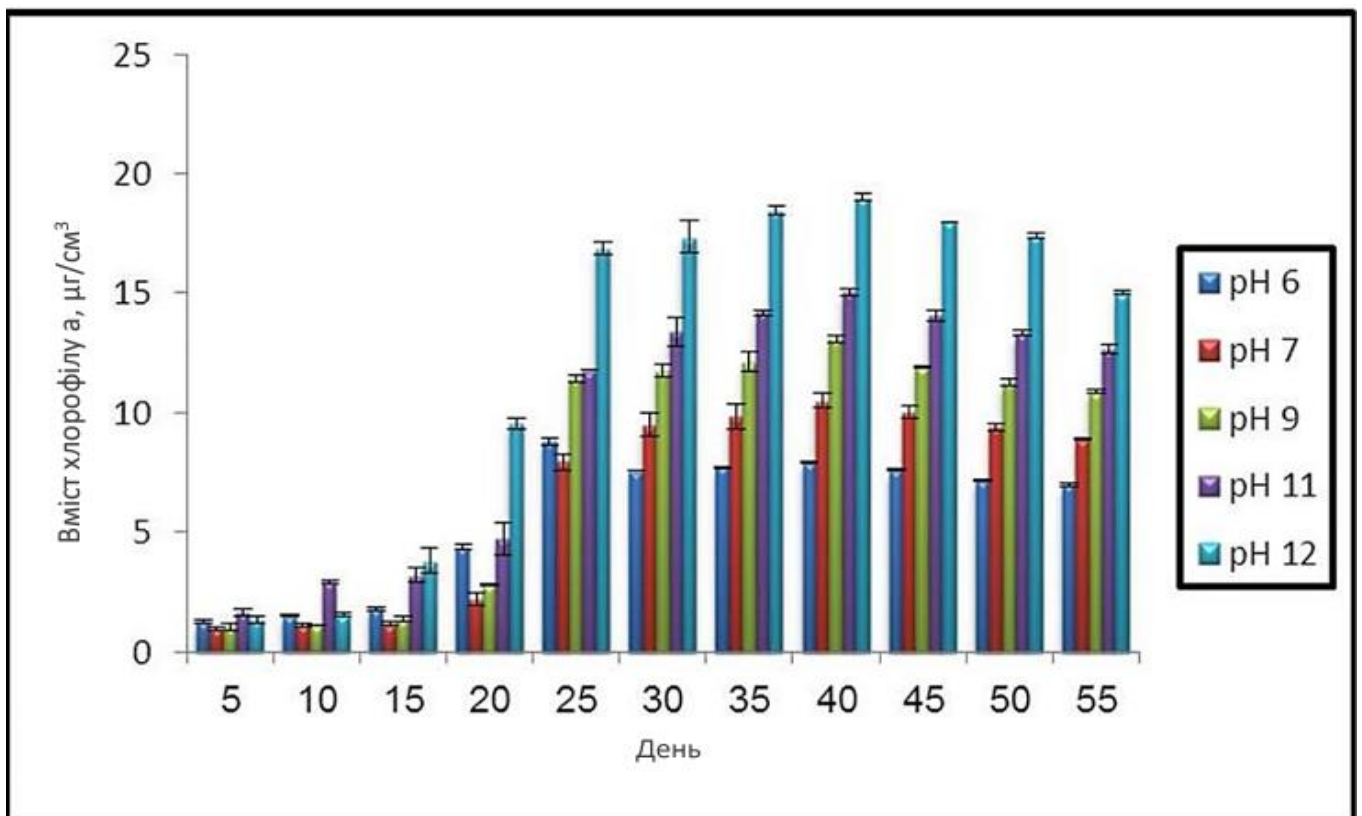


Рисунок 1.2 – Графік залежності росту *Chlorella vulgaris* (вмісту хлорофілу) від різних значень рН

Spirulina platensis

Оптимальні умови зростання: Зростає в лужному середовищі (рН 8-10) при температурі 35-40°C.

Поживне середовище: Потребує середовища з високим вмістом бікарбонату натрію, азоту, фосфору та калію.

Особливості культивування: Може культивуватися в відкритих водоймах, оскільки потребує високої концентрації лугу, що пригнічує ріст інших мікроорганізмів.

Scenedesmus obliquus

Оптимальні умови зростання: Оптимальна температура — 20-30°C, рН 7-8.

Поживне середовище: Може використовуватися як для органічного, так і неорганічного середовища; потребує джерел азоту, фосфору та вуглецю.

Особливості культивування: Добре росте у відкритих водоймах та фотобіореакторах, здатна адаптуватися до різних умов освітлення.

Nannochloropsis oculata

Оптимальні умови зростання: Вимагає температури близько 25-30°C, рН 7-8.

Поживне середовище: Потребує багатого на азот середовища; адаптується до середовищ з високим вмістом солей.

Особливості культивування: Культивується у відкритих ставках і біореакторах, добре переносить солонуваті умови.

Dunaliella salina

Оптимальні умови зростання: Здатна вижити в умовах з високою солоністю (до 30%), оптимальний рН — 7-8.

Поживне середовище: Потребує середовища з високою концентрацією солей і джерел азоту та фосфору.

Особливості культивування: Культивується у спеціалізованих відкритих системах з високим вмістом солей; добре адаптується до умов високого освітлення.

Anabaena variabilis

Оптимальні умови зростання: Оптимальний ріст при температурі 25-30°C, рН 7-8.

Поживне середовище: Потребує неорганічного джерела азоту, оскільки здатна до азотфіксації.

Особливості культивування: Може рости у прісній воді та за умов низького вмісту азоту; легко адаптується до різних середовищ і використовується у фотобіореакторах та відкритих водоймах. Культурні особливості цих водоростей роблять їх придатними для застосування в різних екологічних технологіях завдяки їх здатності адаптуватися до спеціальних умов вирощування та ефективно засвоювати вуглець та інші поживні речовини з середовища [10].

1.5 Комплексне використання мікрводоростей

1. *Chlorella vulgaris*

Основні застосування:

Біопаливо:

Chlorella vulgaris, завдяки високому вмісту ліпідів (до 30-40%), є

перспективним джерелом біодизеля. Це один із найбільш вивчених видів водоростей для виробництва біопалива завдяки здатності швидко розмножуватися і накопичувати енергетичні ресурси в клітинах.

Очищення води та повітря:

Ця водорість може ефективно очищати воду від забруднювачів, таких як важкі метали, азот і фосфор, завдяки своїй здатності до абсорбції цих сполук. Вона також може поглинати вуглекислий газ (CO₂) і фіксувати його в процесі фотосинтезу, що робить її важливою для боротьби з глобальним потеплінням.

Фармацевтика та косметологія:

Chlorella є джерелом багатьох біоактивних сполук, таких як хлорофіл, антиоксиданти, амінокислоти, вітаміни, що робить її цінною у виробництві добавок для підвищення імунітету, а також у косметичних засобах для поліпшення стану шкіри.

Корм для тварин:

Водорості використовуються як високоякісна добавка до корму, оскільки вони містять важливі поживні речовини, що сприяють поліпшенню здоров'я та продуктивності тварин.

Переваги:

Швидкий ріст і високий вихід біомаси.

Можливість вирощування в різних умовах без необхідності у великих земельних площах.

Низькі витрати на вирощування при належному управлінні процесом.

Spirulina platensis

Основні застосування:

Харчова промисловість:

Spirulina відома своєю високою харчовою цінністю: вона багата на білки, вітаміни групи B, омега-3 жирні кислоти і мінерали. Вона використовується як натуральна дієтична добавка, у тому числі в органічних продуктах і суперфудах.

Біоремедіація:

Spirulina може очищати воду від забруднюючих сполук, таких як важкі метали

та надмірні кількості азоту і фосфору. Це дозволяє зменшити навантаження на екосистеми, очищаючи водойми від токсичних речовин.

Біопаливо:

Спіруліна має потенціал у виробництві біодизеля завдяки своїм ліпідам. Крім того, цей вид водорості може використовуватися для очищення газів, зокрема CO₂, у великих промислових комплексах, знижуючи викиди парникових газів.

Фармацевтичні та медичні застосування:

Спіруліна містить антиоксиданти, які можуть бути використані для лікування або профілактики різних захворювань, таких як серцево-судинні хвороби, діабет та інші. Крім того, вона має протизапальні властивості.

Переваги:

Висока біологічна активність.

Легкість у вирощуванні та економічність.

Полегшення очищення стічних вод завдяки здатності до абсорбції токсинів.

Scenedesmus obliquus

Основні застосування:

Очищення стічних вод:

Scenedesmus облікує забруднювачі, такі як азот і фосфор, що дозволяє значно знижувати рівень цих елементів у воді. Це важливо для збереження екосистем та поліпшення якості води.

Виробництво біопалива:

Високий вміст ліпідів робить ці водорості придатними для отримання біодизеля. Оскільки вони можуть рости в різних середовищах, це забезпечує високу ефективність виробництва палива.

Фіксація CO₂:

Scenedesmus активно поглинає CO₂, що дозволяє використовувати ці водорості для зменшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері.

Переваги:

Спеціалізовані на поглинанні азоту та фосфору, що важливо для боротьби з еутрофікацією водних екосистем.

Швидкий ріст і здатність до зниження рівня забруднення в воді.

Nannochloropsis oculata

Основні застосування:

Біопаливо:

Містить велику кількість олій (до 60%), що робить її одним з перспективних кандидатів для виробництва біодизеля. Ці водорості також можна використовувати для виготовлення біогазу.

Аквакультура:

Використовується як корм для риб і молюсків у морських фермах, вона містить високу кількість омега-3 які важливі для здоров'я морських організмів.

Фармацевтика:

Олії з *Nannochloropsis* можуть бути використані для виробництва дієтичних добавок, що містять омега-3.

Переваги:

Високий вміст олії.

Простота вирощування в штучних умовах.

Підходить для виробництва палива, кормів і біоактивних добавок.

Dunaliella salina

Основні застосування:

Каротиноїди:

Dunaliella salina є основним джерелом бета-каротину, який використовується в харчовій промисловості, косметології і фармацевтиці завдяки своїм і протизапальним властивостям.

Біопаливо:

Містить значну кількість ліпідів, що можуть бути використані для виробництва біодизеля.

Фіксація CO₂:

Як і інші водорості, *Dunaliella* здатна поглинати вуглекислий газ, що робить її важливою в боротьбі з глобальним потеплінням.

Переваги:

Високий вміст бета-каротину. Можливість вирощування в умовах з високою концентрацією солі, що робить її стійкою до екстремальних умов.

Швидка реакція на зміни в умовах середовища.

Anabaena variabilis

Основні застосування:

Азотфіксація:

Anabaena використовується для покращення родючості ґрунтів завдяки здатності фіксувати атмосферний азот, що важливо для сільського господарства.

Переваги:

Важлива для відновлення родючості ґрунтів. Використовується для очищення води та боротьби з токсичними елементами. Мікродорості мають широкий спектр застосувань, від біопалива та харчових добавок до очищення води і повітря, фіксації CO₂ та поліпшення родючості ґрунтів. Їхнє використання в різних галузях дозволяє знизити навантаження на природні ресурси, зменшити забруднення навколишнього середовища і забезпечити сталий розвиток у майбутньому.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ВИЯВЛЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПОВІТРІ

Системи моніторингу забруднення атмосферного повітря в розвинених країнах створені на основі рекомендацій ООН, які були розроблені в 70-х роках ХХ століття. Кожна країна самостійно визначає перелік забруднюючих речовин для контролю.

В Україні спостереження за забрудненням атмосфери проводяться з 60-х років ХХ століття. Моніторинг рівня забруднення повітря в містах та населених пунктах здійснюється відповідно до ДСТУ «Охорона природи. Атмосфера. Правила контролю якості повітря в населених пунктах». Процес моніторингу передбачає контроль за поширенням шкідливих домішок як в атмосфері, так і в інших частинах екосистеми, таких як гідросфера, літосфера та біосфера.

Для ефективного проведення моніторингу необхідно:

1. Мати інформацію про джерела забруднення атмосфери, з урахуванням розвитку регіону.
2. Мати характеристики забруднювачів (токсичність, фізико-хімічні властивості).
3. Метеорологічні дані.
4. Використовувати результати попередніх досліджень (ретроспективний аналіз).
5. Збирати інформацію про рівень забруднення атмосфери в інших регіонах та країнах.

Моніторинг стану повітря, включаючи контроль рівня забруднювачів, таких як радіонукліди, здійснюється такими установами:

- Український гідрометеорологічний центр (УкрГМЦ), який веде спостереження за атмосферними умовами в Україні. Координація і контроль діяльності УкрГМЦ здійснюється Департаментом з питань цивільного захисту та ДСНС України.
- Державна санітарно-епідеміологічна служба, яка знаходиться під контролем Міністерства охорони здоров'я України.

Мережу спостережень представляє Український гідрометеорологічний центр, який здійснює моніторинг якості повітря в містах і зонах, де є вплив забруднюючих джерел, надаючи також дані про метеорологічні умови та концентрацію шкідливих речовин. Призначення УкрГМЦ для організації мережі станцій моніторингу було обумовлене схожими принципами формування моніторингових і гідрометеорологічних мереж.

Контроль за рівнем забруднення також здійснюється Мінекоресурсів (Державна екологічна інспекція України), яка відповідає за дотримання норм ГДВ підприємствами, впровадження заходів з охорони повітря і забезпечення відповідності вимогам проектування, розміщення та введення в експлуатацію нових об'єктів.

2.1 Організація спостереження за станом атмосфери

Існуюча система моніторингу забруднення атмосферного повітря складається з стаціонарних, маршрутних та пересувних (підфакельних) пунктів спостереження. Пункт спостереження – це визначене місце (точка на території), де встановлюється павільйон або автомобіль, оснащений необхідними приладами для вимірювання (рис.2.1.).



а



б

Рис. 2.1. Пости спостережень: а – павільйон, б – автомобіль.

На пунктах спостереження проби повітря можуть бути відібрані як вручну, так і автоматизовано, з використанням системи типу АНКОС-АГ (рис.2.2). Ця система призначена для постійного моніторингу змін у характеристиках забруднення та метеорологічних параметрів повітря, оснащена автоматичними системами відбору проб і приладами для автоматичного вимірювання забруднюючих речовин (газоаналізаторами).



Рис. 2.2 Автоматична станція контролю забруднень АНКОС

Система АНКОС включає в себе:

- павільйон;
- пристрій з комплектом метеорологічних датчиків;
- обладнання для опалення, вентиляції, освітлення, кондиціонування та пожежогасіння;
- газоаналізatori.

Мережа спостережень за станом атмосферного повітря включає стаціонарні, маршрутні та підфакельні пости.

Стаціонарний пост використовується для постійного відбору проб повітря з метою подальшого лабораторного аналізу та безперервного моніторингу вмісту забруднювальних речовин за допомогою автоматичних газоаналізаторів. Стаціонарні пости поділяються на опорні та неопорні. Опорні пости призначені для виявлення довготривалих змін рівня основних забруднювачів (пил, CO, SO₂, NO₂) і специфічних речовин. Кількість таких постів визначається залежно від чисельності населення, рельєфу території та промислових об'єктів. В Україні оцінка рівня забруднення проводиться на 166 стаціонарних постах у 54 містах, а також на 2 станціях для транскордонного спостереження.

Маршрутні пости застосовуються для регулярного відбору проб повітря в фіксованих точках місцевості, особливо в районах, де не можна або недоцільно встановлювати стаціонарні пости. Такі пости використовуються для детального вивчення стану забруднення в окремих районах, наприклад, у нових житлових зонах. Відбір проб здійснюється за допомогою спеціально обладнаних автомобілів,

які рухаються за визначеним маршрутом, з продуктивністю близько 5000 проб на рік. Спостереження проводяться у вибраних точках, і відбір проб має здійснюватися в певний час доби, згідно з розробленою схемою.

Підфакельні пости розташовуються під факелами викидів на певних відстанях від джерела, щоб визначити зону впливу конкретного джерела промислових забруднень. Проби беруться в точках, де перетинаються переважаючі напрямки вітру з радіусами від 0,2 до 20 км, а також на межі санітарно-захисної зони. Відбір проб здійснюється за допомогою спеціально обладнаних машин.

Спостереження на стаціонарних постах проводяться за різними програмами: повною, неповною, скороченою або добовою, що дозволяє відстежувати динаміку забруднення повітря та виявляти території, де спостерігається підвищення рівня забруднення. Відповідно до цих програм здійснюється моніторинг таких забруднювачів, як пил, CO, CO₂, SO₂, NO_x, а також інших речовин, концентрація яких перевищує гранично допустимі значення.

2.2 Обладнання стаціонарних і маршрутних постів

На стаціонарних постах, що обладнані утепленими павільйонами, засоби вимірювання розміщуються в комплексних лабораторіях типу «Пост», «Пост-1», «Пост-2» або у новій модифікації «ПОСТ-2а», яка відрізняється вищою продуктивністю та рівнем автоматизації (рис.2.3).



Рис. 2.3. «ПОСТ-2а».

Найсучаснішим є комплекс «ПОСТ-2а», тоді як найпоширенішим є «ПОСТ-2», що складається з дюралевого каркасу (розміри 3х3х8 м) та оснащений приладами для автоматичного контролю концентрації шкідливих речовин. До них належать газоаналізатори ГМК-3 (для CO₂) та ГПК-1 (для SO₂), які дозволяють автоматично визначати і записувати концентрацію речовин протягом доби на діаграмну стрічку. Також у комплект входять прилади для автоматичного та ручного відбору проб повітря на вміст газоподібних сумішей, сажі та пилу (ЕА-1, ЕА-2, ЕА-2С і автоматичний пробовідбірник «Компонент») та прилади для оцінки метеопараметрів, зокрема анеморумбограф М63МР, а також датчики температури та вологості.

Лабораторія «ПОСТ-2» обслуговується оператором, який реєструє значення температури, вологості та тиску. Обслуговування здійснюється 2-4 рази на день по півгодини, при цьому одночасно контролюється концентрація двох забруднюючих речовин, відбирається 38 проб і здійснюється контроль 7 метеопараметрів. Продуктивність лабораторії досягає 50 тис. проб на годину, а середній термін служби обладнання складає 10 років.

На маршрутних та підфакельних постах рівень забруднення атмосфери та вимірювання метеопараметрів здійснюється в лабораторії «Атмосфера-ІІ», що розташована в автофургоні на шасі УАЗ. У приладовому відсіку на висоті 2,6 м встановлені прилади для відбору проб на газові домішки, сажу і пил,

газоаналізатори, вимірювальний пульт М-49 (або М-47) та пульт управління. На даху автофургона розташовані датчики швидкості та напрямку вітру, виносна штанга для датчиків температури та вологості, а також анеморумбометр для безперервного автоматичного запису швидкості та напрямку вітру. У 2005 році ЗАТ «Украналіт» розробило автоматичний пост спостереження за станом атмосферного повітря «Атмосфера-10» (рис.2.4.).

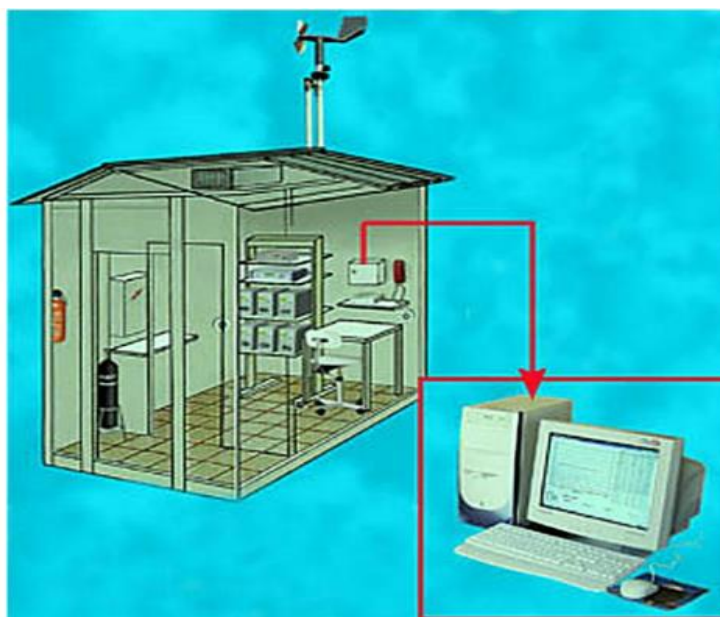


Рис. 2.4. Автоматичний пост спостереження «Атмосфера-10».

2.3 Сучасні підходи та засоби для спостереження за станом атмосферного повітря

Для оцінки рівня забруднення атмосфери використовуються різноманітні методи: лабораторні методи (які відзначаються високою точністю та є необхідними для глибоких досліджень) і позалабораторні методи — експресні та автоматизовані, що забезпечують безперервний моніторинг забруднення повітря. Для визначення концентрацій більшості забруднюючих речовин (ЗР) в атмосфері зазвичай використовуються лабораторні методи.

При лабораторному екологічному контролі ЗР у повітрі, як у фонових районах, так і в населених пунктах і промислових викидах, зазвичай застосовуються технології з розділеними етапами відбору проб та вимірювання показників. Найбільш поширені методи контролю — це лабораторний аналіз із використанням стандартизованих та інших офіційних методик вимірювань (МВВ).

Для аналізу забрудненого повітря в основному використовуються спектральні та хроматографічні методи, а електрохімічні методи застосовуються рідше, хоча їх популярність останнім часом зростає. Ці методи вимагають спеціального обладнання, такого як універсальні лабораторні прилади (хроматографи,

спектрофотометри тощо). Шкідливі речовини в атмосфері визначаються за допомогою конкретних методів аналізу, наведених у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Методи контролю забруднення повітря

Методи визначення	Назва показників
Газова хроматографія	Сірководень (H ₂ S), метиламін (CH ₃ NH ₂), анілін (C ₆ H ₅ NH ₂), акролеїн (C ₃ H ₄ O), метанол (CH ₃ OH), 3,4-бензпірен (C ₁₈ H ₁₂), хлоропрен (C ₄ H ₅ Cl), бензол,
Турбідиметрія(Метод вимірювання каламутності)	Сульфатна кислота, сульфати
Фотометрія(Оптичний аналіз)	Фосфатна кислота, фенол, метанол, формальдегід, карбонові кислоти C ₄ -C ₉ , оксиди нітрогену, аміак, хлориди, ціанід водню, діоксид сірки, сірководень, свинець, селен.
Атомно-абсорбційний аналіз	Залізо(Fe), кадмій(Cd), кобальт(Co), магній(Mg), манган(Mn), мідь(Cu), нікель(Ni), ртуть(Hg)
Потенціометричний аналіз	Борна кислота, фторид водню

У числі універсальних приладів для лабораторного аналізу, на яких реалізується близько 100 методик вимірювання забруднювальних речовин атмосфери (у процентному співвідношенні від загальної кількості), присутні такі типи засобів:

- **Фотометри та спектрофотометри** — близько 50% (понад 60 методик);
- **Хроматографи (ГХ, ГРХ, РХ)** — близько 20% (приблизно 30 методик);
- **Атомно-абсорбційні спектрометри** — близько 10% (приблизно 15 методик);
- **Потенціометричні прилади** — близько 4% (5 методик);
- **Флуориметри та титратори** — приблизно 2,5% (по 3 методики);
- **Кулонометри та вагові прилади** — приблизно 1,5% (по 2 методики);
- **Інші (хромато-мас-спектрометри, рентгено-флуоресцентні та електрометричні прилади тощо)** — менше 1% (по 1-2 методики).

Можна зробити висновок, що завдяки трьом типам лабораторних вимірювальних приладів — фотометрам, хроматографам і ААС-спектрометрам — вирішується близько 80% основних екоаналітичних завдань контролю забруднення повітря, що виконуються в лабораторних умовах.

Типи засобів позалабораторних вимірювань:

- **Стаціонарні засоби безперервного контролю** (автоаналізатори, системи моніторингу);
- **Портативні засоби контролю** (газоаналізатори, газосигналізатори, індикаторні трубки, тест-системи, вимірювальні комплекти);
- **Мікроапаратура** (сенсори).

Серед промислових газоаналізаторів, за винятком приладів для аналізу викидів автотранспорту, найпоширенішими є автоматичні прилади для контролю повітря в робочих зонах і викидів різних виробництв та теплоенергетичних

установок. Найчастіше контролюють наступні забруднюючі речовини (за частотою контролю):

1. **Оксид вуглецю (CO)** — більше 16 типів приладів (65%);
2. **Діоксид сірки (SO₂)** — близько 15 типів (16%);
3. **Оксид азоту (NO)** — близько 14 типів (58%);
4. **Діоксид азоту (NO₂)** — близько 8 типів (33%);
5. **Кисень (O₂)** — близько 7 типів (30%);
6. **Сірководень (H₂S)** — близько 6 типів (25%);
7. **Діоксид вуглецю (CO₂)** — близько 5 типів (21%);
8. **Сума оксидів азоту (NO_x)** — близько 4 типів (15%);
9. **Хлор (Cl₂), аміак (NH₃)** — по 2 типи (8%);
10. **Органічні та інші речовини** — кілька типів (12%).

Газоаналізатори атмосферного повітря переважно орієнтовані на контроль **SO₂** (30%), оксидів азоту та ртуті (по 23%), озону (18%) та інших менш значущих речовин, таких як сірководень, сірковуглець, аміак, вуглеводні, пил і інші. Також до цієї групи належать засоби для фіксації метеопараметрів (температури, швидкості та напрямку вітру).

Вітчизняні газоаналізатори для автотранспортних викидів зазвичай вимірюють вміст оксиду вуглецю (100%), вуглеводнів (100%), діоксиду вуглецю (30%), оксидів азоту і сірки (по 15%), а також (рідше) димність і число обертів двигуна.

Останнім часом для кількісних вимірювань повітря стали використовувати набори готових реактивів, які раніше застосовувалися лише для води. Такі набори є допоміжними засобами екоаналітичного контролю. Прикладом таких засобів для первинного (польового) контролю атмосфери є вимірювальні комплекти (ВК), які включають стандартне обладнання, витратні матеріали, приладдя та документацію для проведення кількісного аналізу забруднюючих речовин як у лабораторії, так і на місці — за допомогою портативного фотометра типу КФК-5м (вартість 460-520

доларів). Вимірювальні комплекти поділяються на **комплект-методику** (для реалізації одного методу) та **комплект-лабораторію** (для виконання кількох методик по групах речовин, наприклад, фенолів, оксидів азоту тощо).

2.4 Організація постійного контролю за забрудненням атмосферного повітря

Моніторинг повітря може проводитися за допомогою портативних газових аналізаторів з індикаторними трубками або автоматичних пристроїв, що працюють у безперервному чи періодичному режимі. Оскільки дискретні спостереження ускладнюють встановлення зв'язку між забрудненням і метеорологічними умовами, а також неможливо визначити добовий хід концентрації домішок, для моніторингової мережі використовуються автоматичні газоаналізatori, які фіксують добовий хід концентрації і записують дані на діаграмну стрічку. Ці пристрої також потрібні для наукових досліджень, таких як спектральний аналіз. Автоматичні контролери поділяються на газоаналізatori і газосигналізатори. Обидва типи пристроїв забезпечують швидке вимірювання вмісту забруднювачів і подають сигнал (світловий або звуковий) у разі перевищення норм забруднення. Газоаналізатор — це пристрій для автоматичного вимірювання вмісту одного або кількох компонентів газової суміші (рис.2.5.).



Рис.2.5 - Газоаналізатор GC 866

Газоаналізатор має здатність селективно виявляти та визначати конкретну речовину навіть за присутності інших компонентів. Деякі з них працюють у безперервному режимі, інші – циклічно. Газоаналізатори дозволяють вимірювати вміст речовин у межах 0,5–5 ГДК з похибкою $\pm 25\%$. Газосигналізатор – це пристрій, що видає сигнал, коли концентрація певної речовини досягає заданого рівня. Вони не є високочутливими та не підходять для аналізу, а лише для сигналізації.

Газоаналізатори поділяються за типом сигналу. Одними з найбільш поширених є газоаналізатори, що реєструють зміни оптичних характеристик системи. Наприклад, фотометричні газоаналізатори працюють на основі зміни кольору індикаторної речовини. Існують пристрої, де реакція відбувається між речовиною в повітрі та розчином реактиву, або коли реактив просякнута паперова чи волоконна стрічка. Інколи для цього застосовують індикаторний порошок. Однією з переваг фотометричних газоаналізаторів є здатність одночасно визначати кілька різних речовин за допомогою різних індикаторних реакцій. Вони також мають високу чутливість і специфічність, а також є безпечними для роботи з вибухонебезпечними речовинами. Проте рідинні газоаналізатори мають громіздку конструкцію, тому популярнішими є стрічкові та порошкові газоаналізатори.

Електрохімічні газоаналізатори, серед яких амперометричні, потенціометричні, кондуктометричні та кулонометричні, працюють на основі різних електрохімічних реакцій. Кондуктометричні газоаналізатори змінюють свою електропровідність залежно від того, чи є речовина в повітрі електролітом. Проте вони не є селективними і потребують частої заміни розчину електроліту. Кулонометричні газоаналізатори виявляють речовини, які є окисниками або відновниками, шляхом вимірювання зміни сили струму під час електродних реакцій. Це дозволяє, наприклад, визначати вміст SO_2 та H_2S у повітрі.

Іонізаційні газоаналізатори використовують полум'я або радіоактивне випромінювання для іонізації молекул газів, що проходять через детектор, і вимірювання іонного струму, який залежить від концентрації цих молекул. Вони мають високу чутливість і широкий діапазон вимірюваних концентрацій, а також швидко реагують на зміни.

Полуменеві іонізаційні газоаналізатори використовуються для визначення загального вмісту органічних речовин, де струм пропорційний кількості органічних молекул у газовому потоці. Такі пристрої мають високу чутливість і використовуються для аналізу вуглеводнів та інших органічних речовин.

Деякі газоаналізатори, як наприклад хемілюмінесцентні, флуоресцентні та лазерні аналізатори, використовують світлове випромінювання для виявлення забруднювачів у повітрі, таких як NO, NO₂, O₃, SO₂, метан тощо. Хемілюмінесцентні аналізатори реєструють інтенсивність випромінювання під час хімічної реакції, флуоресцентні — на основі флуоресценції речовин після впливу ультрафіолетового випромінювання, а лазерні газоаналізатори використовують лазерне випромінювання для селективного визначення метану.

Магнітні газоаналізатори використовують пульсуюче магнітне поле для виявлення парамагнітних газів, таких як O₂. Принцип їх роботи полягає у вимірюванні термомагнітної конвенції, що пропорційна концентрації парамагнітних речовин.

Сигналізатори, зокрема термохімічні та іскрові, використовуються для виявлення горючих та вибухонебезпечних газів. Термохімічні сигналізатори визначають концентрацію CO та H₂ в димових викидах через зміну температури при горінні газів, а іскрові сигналізатори використовують електричні іскри для виявлення таких речовин у повітрі.

РОЗДІЛ 3.

ПРОЦЕС БІОЛОГІЧНОЇ ОБРОБКИ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ТА ВИРОБНИЦТВО БІОГАЗУ

Традиційним вважається використання мікроорганізмів для очищення повітря, але останнім часом активно використовують мікроводорості, тому що вони швидко набирають біомасу і їх можна потім використовувати для отримання біогазу. Процес біологічної обробки повітря ґрунтується на здатності водоростей, мікроорганізмів перетворювати забруднюючі речовини на вуглекислий газ та воду. Ці реакції включають обробку різних органічних сполук вуглецю, таких як ароматичні, аліфатичні, гетероциклічні, ациклічні та інші. Крім органічних сполук, мікроорганізми також здатні утилізувати аміак, окислювати оксид сірки (SO₂) і диметилсульфоксид. Є відомості про ефективність окислення забруднюючих сполук аеробними вуглецевими бактеріями.

3.1 Пристрої для очищення газових викидів

Очищення газових відходів є ключовим етапом для промислових підприємств, які викидають токсичні та біологічно активні речовини в атмосферу. Застосовують різні сорбенти, такі як деревне вугілля, водні розчини, на них формуються біоплівки аеробних мікроорганізмів, здатних розкладати ці забруднювачі. Часто застосовують синтетичні матеріали, подрібнену деревину, кору дерев, торф або ґрунт. Газоподібне забруднене повітря пропускається через шар цього матеріалу, який зволожується, що дозволяє створити біоплівку для ефективного очищення. Також для очищення використовуються спеціальні установки, де гази проходять через рідину в спеціальних камерах для інтенсивного газо- і водообміну. Після цього промивну воду очищають за допомогою біологічного розкладу.

Для біологічного очищення газів використовуються : біологічні фільтри, біологічні скрубери та біореактори з промивними шарами.

Порівняльна характеристика типів установок для біологічної очистки газоповітряних викидів наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння установок для біологічної очистки газових викидів

Назва установки	Активний елемент	Режим	Етапи очищення повітря	Джерело мінеральних солей
Біоскрubber	Вода, активний мул	Присутня циркуляція води	Абсорбція водою в абсорбері, біологічне очищення мікроорганізмами в аеротенку з активним мулом	Збагачення води мінеральними солями
Біофільтр	Мікроорганізм и, зафіксовані на природних матеріалах	Відсутня циркуляція води	Поглинання забруднювачів фільтруючим матеріалом, біологічне руйнування мікроорганізмами	Внесення до матеріалу фільтруючого шару
Біореактор з омивним шаром	Мікроорганізм и, закріплені на штучних і синтетичних носіях	Присутня циркуляція води	Транспортування через плівку з мікроорганізмами, очищення за допомогою біологічного шару	Збагачення води мінеральними солями

Спеціалісти з Чилі розробили прототип очищення повітря в приміщенні, який використовує мікроорганізми для вловлювання та розкладання забруднюючих речовин з ефективністю понад 90%. У дослідженні, опублікованому в *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, вчені продемонстрували, що система може працювати протягом восьми місяців без втрати ефективності.

Оскільки потреба в кращій ізоляції та енергоефективності в будівлях зростає, відсутність повітряного потоку призвела до погіршення якості повітря в приміщенні, що створює ризик для здоров'я людей і навколишнього середовища. Системи біофільтрації, які пропускають повітря через тонку плівку, що містить іммобілізовані бактерії та грибки, пропонують потенційно недороге та ефективне рішення.

Альберто Вергара-Фернандес, засновник дослідницької групи зелених технологій в Університеті де лос Андес у Чилі та відповідний автор дослідження, пояснив обґрунтування дослідження.

«Першою мотивацією був пошук системи очищення, яку було б легко встановити і яка не залежала б від нових труб і установок для її використання. Крім того, її можна застосовувати в різних закритих середовищах, від побутових до промислових, за тим же принципом.»

Дослідження було зосереджено на видаленні двох речовин, що викликають особливе занепокоєння у внутрішніх приміщеннях: летких органічних сполук (ЛОС), які можуть походити від будівельних матеріалів і побутових виробів, таких як фарба, і поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) від спалювання деревини.

Сучасні методи видалення цих забруднюючих речовин здебільшого обмежені технікою адсорбції, яка використовує фільтр з активованим вугіллем для уловлювання домішок. Однак Вергара-Фернандес пояснює ключову проблему цих систем — забруднюючі речовини накопичуються на активованому вугіллі та утворюють нові відходи, які потребують утилізації.

Пояснюючи переваги нової прототипної системи, він сказав: «Основна відмінність пов'язана зі здатністю знищення забруднюючих речовин, а не з їх перенесенням на іншу фазу, з якої вони також повинні бути усунені.

Враховуючи деградацію забруднень і не тільки адсорбція, термін служби опори значно довший, зберігаючи її високу ефективність видалення».

Дослідники використовували гриб *Fusarium solani* та бактерію *Rhodococcus erythropolis* для вирощування початкової мікробної популяції для системи. Після восьми місяців безперервної роботи з повітря було виловлено інші види, що продемонструвало потенціал прототипу щодо утримання бактерій і грибків, що переносяться повітрям.



Рисунок 3.1 - Прототип пристрою радіально-поточної біоочищення.

Вергара-Фернандес пояснила, як висока спеціалізація мікробної флори, що розвивається в біореакторі, сприяла ефективності системи очищення. «Одним з головних висновків стала можливість розробки вузькоспеціалізованого мікробного

консорціуму, який дозволяє отримати високу елімінаційну здатність за дуже короткі періоди часу роботи, зберігаючи хорошу елімінаційну здатність».

Хоча було проведено низку попередніх досліджень з використанням біологічних методів для очищення забруднювачів у приміщенні в лабораторних умовах, комерційні системи не були розгорнуті у великих масштабах, можливо, через великі розміри, необхідні для досягнення прийнятної ефективності видалення.

Вергара-Фернандес і команда сподіваються, що вони зможуть продовжувати розвивати свої дослідження для вирішення цієї проблеми.

Він пояснив: «Основними проблемами та обмеженнями системи очищення, над якою ми зараз працюємо, є зменшення розмірів обладнання, яке входить до складу системи. Ми розробляємо гібридну систему, яка поєднує фізико-хімічні та біологічні технології. , з метою зменшення вхідних потоків до біологічної системи» [13].

Варшава є одним із найбільш забруднених міст Європи, і якість повітря в польській столиці залишає бажати кращого. Особливо це стосується дітей, оскільки майже третина варшавських дитячих садків розташована в районах з високим рівнем забруднення.

Для часткового вирішення цієї проблеми було створено інноваційний дитячий ігровий майданчик з біореакторами, які очищують повітря. На майданчику встановлені дерев'яні опори, покриті ізоляційною мембраною. Між стовпами розміщені біореактори зі скла, заповнені живими культурами зелених водоростей. Ці водорості можуть очищати до 200 літрів забрудненого повітря за хвилину. Покрівля конічної форми забезпечує циркуляцію повітря і природну вентиляцію майданчика. Для роботи системи використовується електроенергія, що генерується від сонячної енергії та кінетичної енергії, що з'являється під час ігор, бігу та стрибків дітей.

Водорості для біореакторів були обрані не випадково: молекули забруднювачів і вуглекислий газ, що містяться в повітрі, є їжею для водоростей. Поглинаючи ці речовини, водорості виділяють кисень, який покращує якість повітря на майданчику. Крім того, на майданчику встановлена система моніторингу, яка

вимірює рівень забруднення повітря. Цей майданчик стане «лабораторією» для вивчення можливостей біотехнологій у очищенні міського повітря протягом наступних місяців.



Рис. 3.2 – Дитячий майданчик

Проблема забрудненого повітря та його шкідливого впливу на здоров'я дітей стає все більш актуальною. За статистикою, 93% дітей у світі проживають у районах з небезпечним рівнем забруднення повітря. Саме тому проєкти, подібні до варшавського майданчика з біореакторами, мають велике значення. Використання біотехнологій для очищення повітря потребує подальшого розвитку та вдосконалення.[14].

Британські науковці пропонують використовувати водорості для очищення повітря та збагачення його киснем, стверджуючи, що водні рослини можуть бути більш ефективними за дерева. Мікрowodорості є крихітними, але потужними фотосинтезуючими організмами, які споживають енергію сонця і поглинають вуглекислий газ та інші шкідливі гази.

"Клітини мікрowodоростей ростуть на поверхні біогелю з великою площею поглинання", — пояснюють винахідники. Лондонські вчені вирішили скористатися цією здатністю водоростей для очищення повітря, "поселивши" їх клітини на поліетиленові завіси.

"Забруднене повітря надходить знизу, піднімається вгору і починає взаємодіяти з клітинами водоростей, які поглинають всі шкідливі частки, а потім виділяють кисень", — розповідає Марко Полетто, співзасновник компанії.

Клітини водоростей не тільки поглинають вуглекислий газ, але й використовують його для росту і накопичення біомаси, яку можна застосувати у виробництві косметичних засобів, ліків або навіть їжі, додає Клаудія Паскоро, співзасновниця компанії.

Біомасу водоростей збирають кожні два тижні. Основною перевагою таких очищувачів повітря є їх компактність — їх можна розміщувати на стінах багатоповерхівок чи заводів. Винахідники стверджують, що два квадратні метри таких завіс еквівалентні великому дереву, але займають в десять разів менше місця.

Біо-завіси вже були встановлені на стінах автостоянки в австрійському Лінці та в Дубліні, в Ірландії. Вартість квадратного метра полотна варіюється від 300 до 2000 євро, залежно від складності конструкції.[15].

Молодий стартап із Лілля розробив очищувач повітря, який наразі проходить випробування в міському метро. Використовуючи мікродорості, цей пристрій здатний вловлювати CO₂, леткі органічні сполуки, оксиди азоту і дрібні частинки. Обробка до 700 м³ повітря на годину Компанія Bioteos, що базується в Ліллі, розробила пристрій для вирішення цієї проблеми. Це очищувач повітря з мікродоростей, здатний вловлювати CO₂, леткі органічні сполуки, оксиди азоту і дрібні частинки розміром від 2,5 до 10 мікрон. Пристрій, випробуваний минулої весни на станції метро в Ліллі, має форму алюмінієвих резервуарів заввишки 2,3 м, ємністю 100 л, що містять 350 г мікродоростей. За словами представників керівництва, один резервуар може обробляти до 700 м³ повітря на годину. «Крім того, що вони захоплюють багато вуглекислого газу, набагато більше, ніж будь-яка інша рослина на землі, вони також мають властивість використовувати певні атмосферні забруднювачі для розвитку. Наприклад, оксиди азоту або оксиди сірки, а також формальдегіди», - говорить Ромен Бахо, співзасновник компанії.

На своєму сайті компанія Bioteos стверджує, що мікродорості забезпечують 75% кисню на Землі і вчетверо ефективніші у фотосинтезі, ніж дерева. Фактично, 1 кг мікродоростей може вловлювати 2 кг CO₂. За принципом дії повітря надходить у резервуар зверху, а потім опускається під дією вентиляторів високого тиску. Потім це повітря вступає в контакт із мікродоростями і дає змогу забруднювальним речовинам розчинитися в розчині. Наприкінці ланцюжка повітря виходить, пройшовши через ультрафіолетову лампу для повної стерилізації. Слід зазначити, що пристрій Bioteos було протестовано одночасно з пристроєм Terraos, іншої компанії в регіоні. Компанія Atmo Hauts-de-France, яка відповідає за ці випробування, винесе свій вердикт під час оцінки на початку 2023 року. Однак компанія Bioteos не змусила себе чекати і розробила іншу версію свого очищувача, яка менш галаслива і може застосовуватися в таких просторах, як освітні аудиторії та робочі кабінети.[16].

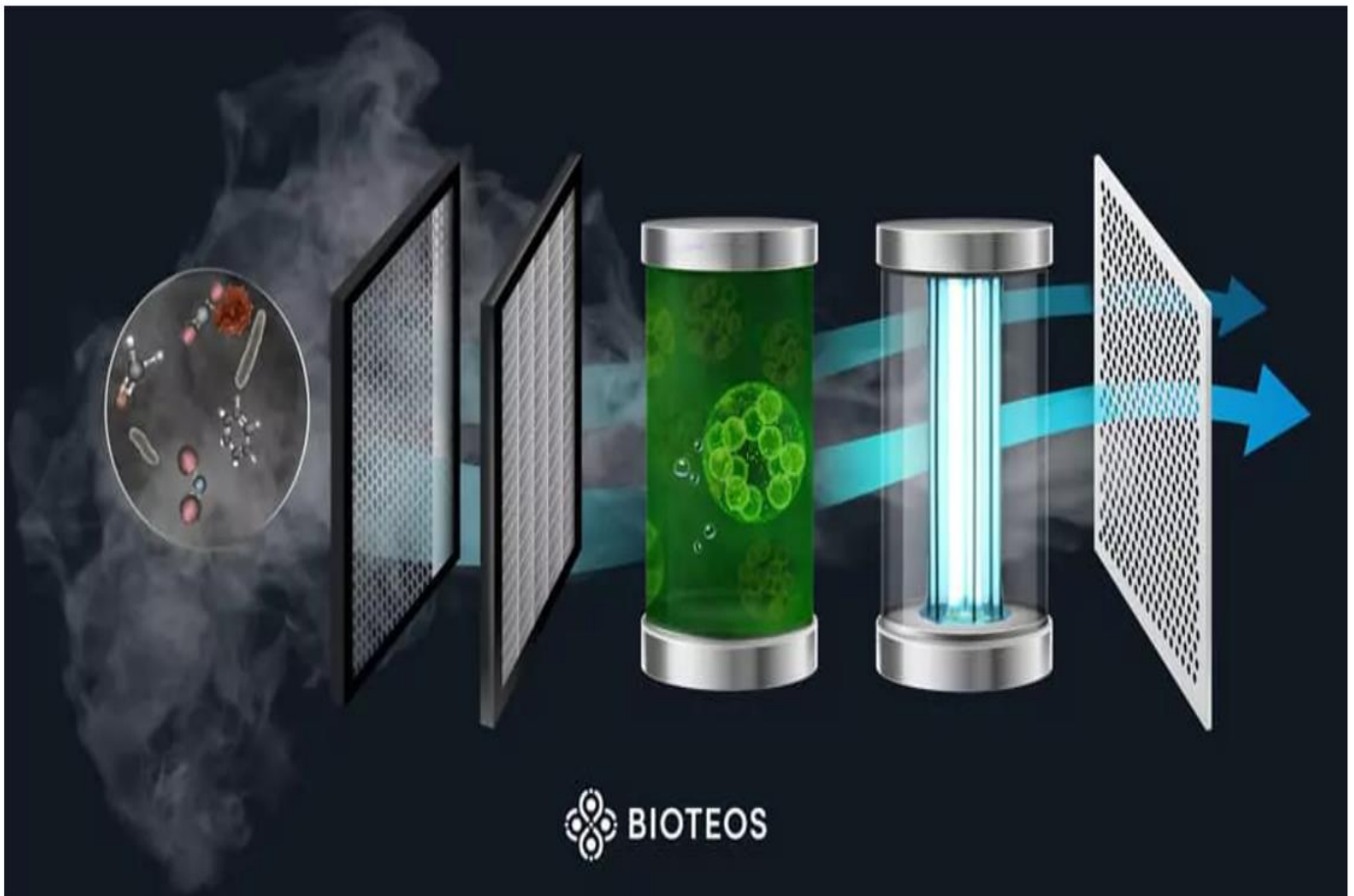


Рис.3.3 – Очисник повітря

3.2 Механізм переміщення забруднюючих сполук

Здатність мікроорганізмів деградувати органічні речовини визначається співвідношенням біологічного споживання кисню (БСК) до хімічного споживання кисню (ХСК).

БПК визначає загальну потребу в кисні для біотрансформації, Хімічне споживання кисню (ХСК) відображає процес окиснення речовин до вуглекислого газу та води. Якщо співвідношення біологічного споживання кисню (БСК) до ХСК перевищує 50%, органічні сполуки здатні розкладатися біохімічним шляхом. Для ефективного

мікробіологічного видалення компонентів газових забруднень необхідна життєздатна популяція мікроводоростей, що робить підбір культур мікроорганізмів ключовим фактором для переробки забруднюючих речовин і їхніх домішок. Найчастіше застосовуються адаптований активний мул, біоплівки або специфічні культури бактерій, такі як синьогнійні та цвілеві гриби. [17].

Популяції мікроорганізмів, необхідні для конкретних методів очищення, формуються шляхом селективного відбору природних штамів безпосередньо з місця забруднення. Це має важливе значення, оскільки штамми, пристосовані до певного виду забруднень, часто виявляються поблизу джерел шкідливих викидів. В інших випадках потрібно поступово адаптувати мікроводорості та активний мул до дії забруднюючих речовин, у процесі чого організми синтезують ферменти для розкладання частинок викидів.

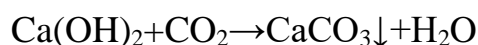
Для оцінки ефективності поглинання водоростями газів проведено дослідження. Для проведення експерименту були застосовані матеріали та обладнання: киснева подушка, газоаналізатор універсальний УГ-2 для визначення складу і концентрації газів у повітрі, акваріум з чистою водою, водорості *Chlorella vulgaris* та *Anabaena variabilis*. Повітря було взяте з зони автодороги на розі Богдана Хмельницького та вул. Мечникова І.І.

У кисневу подушку закачали повітря, зібране із зони автомагістралі, де можливий високий вміст вуглекислого газу та інших забруднювачів. За допомогою газового аналізатора УГ-2 визначили склад і концентрацію газів у повітрі. Підготували акваріум із чистою водою і розмістили в ньому водорості. Повітря із кисневої подушки пропустили через воду акваріуму та вивели трубку на поверхню, насичуючи воду цим повітрям залишили систему на 24 години. Через добу провели якісну реакцію на наявність вуглекислого газу з вапняною водою. Для перевірки хімічного складу повітря, акваріум щільно накрили кришкою з картону і вивели трубку назовні та закрили пробкою на добу. Перевірений хімічний склад повітря на газоаналізаторі наведений в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Фактичний вміст шкідливих речовин у повітрі, мг/м³

Речовина	ГДКм.р.	Стан повітря на автомагістралі	Стан повітря після дослідження
Пил	0,5	0,7	0
Аміак	0,2	0,1	0,01
Діоксид азоту	0,085	0,097	0,01
Формальдегід	0,035	0,038	0
Оксид азоту	0,4	0,6	0,01
Оксид вуглецю (IV)	5,0	9,0	0
Оксид сірки (IV)	0,5	0,57	0,1

Як тільки пропустили повітря крізь воду акваріуму, відібрали аліквоту і додали вапняної води (якісна реакція на CO₂). Вода помутніла, випав осад.



Через добу експеримент повторили, в пробірці спостерігали слабку опалесценцію, відбулося поглинання CO₂.

Отже, у воді після добового контакту з водоростями було зафіксовано зниження концентрації вуглекислого газу, що свідчить про його поглинання водоростями в процесі фотосинтезу. Отримані результати підтверджують, що водорості здатні ефективно поглинати вуглекислий газ та, та інші гази із забрудненого повітря. Це доводить їх роль у природному очищенні середовища та регуляції газового складу атмосфери. Таким чином, водорості є високоефективними організмами для поглинання CO₂ та інших газів, і їхня швидкість залежить від оптимізації середовища та виду рослин.

Процес біотрансформації забруднюючих сполук мікроорганізмами включає п'ять основних етапів взаємодії ксенобіотиків:

1. Переміщення до клітини через розчинення, конвекцію та дифузю.
2. Переміщення всередину клітини: Молекули, що не мають заряду і відштовхують воду, зокрема n-алкани і галогеновані бензоли, проникають через мембрани клітини.

Швидкість їх дифузії збільшується в водному середовищі, що дозволяє ефективно переносити ці сполуки в клітину. Транспортування органічних молекул через мембрани, що мають жирові властивості залежить від їх хімічної структури — довші вуглецеві ланцюги або фенільні групи сприяють більшій проникності.

3. Початковий етап: Біохімічні трансформації ксенобіотиків розпочинаються з того, що коли мікроорганізми під впливом ферментів перетворюють забруднювачі на проміжні сполуки. Ці сполуки потім входять у основні метаболічні шляхи катаболізму або анаболізму, що дозволяє організму використовувати їх для синтезу необхідних компонентів.

4. Основні метаболічні процеси: Проміжні продукти, утворені в результаті первинної атаки, інтегруються в основний метаболізм і окислюються. В процесі цього ксенобіотики можуть бути повністю мінералізовані, перетворюючись на прості неорганічні продукти, такі як CO_2 .

5. Транспортування очищених продуктів з клітини: Продукти, як-от CO_2 , виводяться з клітини через дифузію або пасивний транспорт. Якщо ксенобіотик не повністю мінералізується, то кінцеві продукти можуть виводитись активним транспортом. Активний транспорт є маловідомим для продуктів неповного розпаду, але існують системи для транспортування токсичних сполук, таких як толуол, у бактерій, що мають стійкість до цих речовин.

Ключовим фактором біодоступності є здатність ксенобіотика вступати в реакції на етапах підготовчого і центрального метаболізму, що залежить від властивостей самих забруднювачів та особливостей мікроорганізмів[19].

3.3 Виробництво біогазу

Біогаз — це горючий і їдкий газ, який виробляється з будь-якої біомаси органічних відходів, включаючи відходи лігноцелюлози, відходи трави та листя,

водний сміття, відходи мікроорганізмів, тверді побутові відходи та макроводорості. Зазвичай склад біогазу визначається біомасою, що використовується в процесі анаеробного зброджування, а також його робочими умовами, включаючи рН, температуру, тиск і лужність, однак CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2 , вода та сліди сірководню (H_2S), який зазвичай зустрічається в біогазі. Біогаз, вироблений з відходів водоростей, привертає увагу через високу частку летких твердих речовин, що забезпечує великомасштабне виробництво відновлюваної енергії з низьким викидом вуглецю та впливом на навколишнє середовище, будучи економічно життєздатним. Серед цих водних відходів мікроводорості є сировиною третього покоління у виробництві біогазу на основі швидкозростаючих одноклітинних організмів у солоних, солонуватих і прісних водах (рис.3.4.). Мікроводорості — це одноклітинні фотоавтотрофні організми, які переважно складаються з води, мають високу швидкість розмноження, що призводить до високого захоплення вуглецю, тому є цінною сировиною для виробництва біогазу. Мікроводорості забезпечують конкурентну перевагу у вигляді вищого врожаю з одиниці площі завдяки вищій швидкості росту. Мікроводорості, що утворюються в стічних водах як культуральне середовище, зменшують потребу в прісній воді, і цей тип мікроводоростей не конкурує і, отже, не впливає на харчові культури, якщо їх вирощувати на необробній землі.

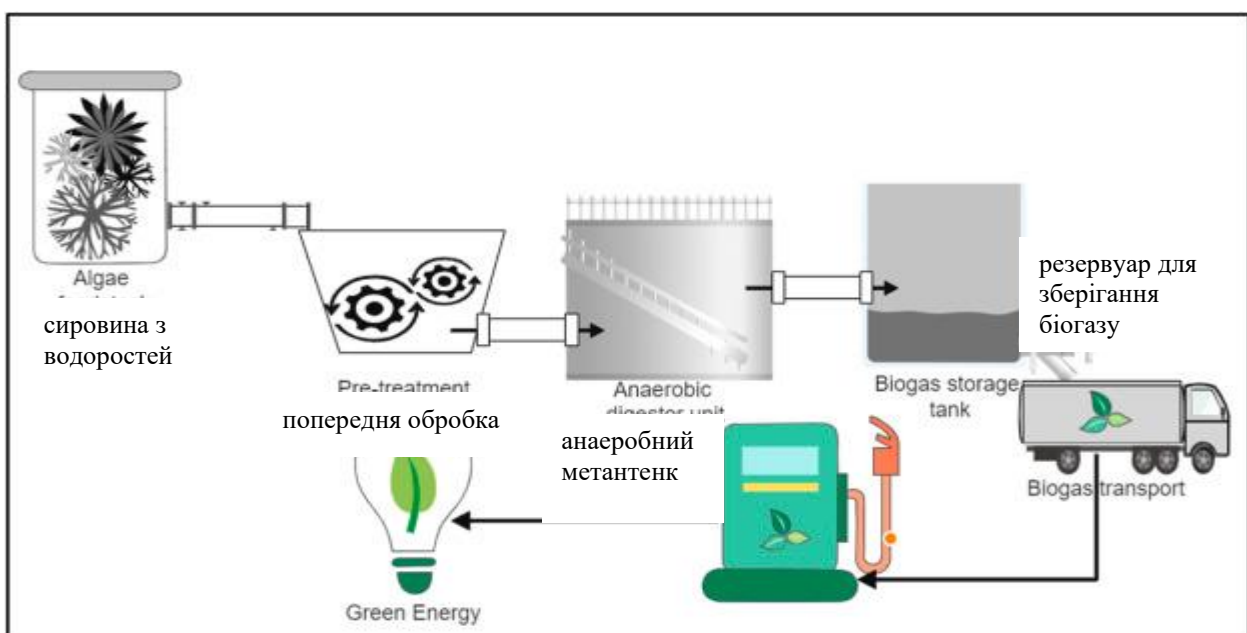


Рисунок 3.4 - Виробництво біогазу з водоростей

На рисунку показано кілька етапів виробництва біогазу з використанням водоростей, включаючи етап попередньої обробки водоростями та етап анаеробного зброджування, починаючи з анаеробного зброджування в анаеробній установці для створення дигестату та біогазу. CO₂ вводиться в ставки як джерело вуглецю для розвитку водоростей. У той час як олія, виготовлена з водоростей, переетерифікується за допомогою синтез-газу для отримання необхідного метанолу, водоростям для процвітання CO₂. Анаеробний реактор (біореактор) використовує мікроорганізми для розщеплення мулу або гною за відсутності кисню. Безперервні паралельні процеси, такі як гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез, перетворюють вихідний матеріал (вуглеводи, ліпіди та білки) на вуглекислий газ і метан. Для ефективного перетворення біомаси, що посилює виробництво біоенергії, безпосередньо перед етапом анаеробного зброджування проводиться попередня обробка вихідного матеріалу, що спонукає целюлозну біомасу виробляти велику кількість целюлози, перетворюючи її за допомогою ферментативних процесів у вуглеводні полімери. ферментовані цукру. В результаті вуглеводів, ліпідів і білків, які містяться в біомасі водоростей, які розкладаються на вуглекислий газ і метан для виробництва високоякісних добрив і багатого метаном біогазу, лігноцелюлозні субстрати мають обмежений потенціал до біологічного розкладання. Як ефективний засіб від світової енергетичної кризи, біогаз продемонстрував значний потенціал як відновлюване джерело енергії як для приватного, так і для промислового використання. Використання ресурсів біомаси як відновлюваної сировини для виробництва електроенергії, бензину, хімікатів і водню набуло популярності через зростання екологічних і політичних проблем щодо забруднення та глобального потепління. Виробництво біопалива, теплове застосування, наприклад освітлення, опалення та приготування їжі, а також виробництво електроенергії є основними способами використання біогазу. Щороку з використанням біогазу виробляється понад 7000 мегават електроенергії[20].

3.4 Анаеробне зброджування

Одним із найбільш інтригуючих підходів до виробництва біогазу є анаеробне зброджування водоростей, таких як морські водорості, які також використовуються для очищення стічних вод. Органічний компонент біомаси, який включає рослини, водорості та інші мікроби, можна перетворити на біогаз, суміш CH_4 і CO_2 , шляхом анаеробного зброджування. Під час процесу також утворюється дигестат, корисне органічне добриво, яке може замінити штучні добрива в сталому сільському господарстві. Анаеробне зброджування пропонує кращий метод валоризації вологого матеріалу з високим вмістом вологи, такого як водорості. Бактерії перетворюють органічні субстрати на різноманітні гази за допомогою серії процесів, відомих як анаеробне зброджування, які відбуваються без присутності кисню. Здебільшого він складається з газів вуглекислого газу (CO_2) і метану (CH_4), з дуже невеликою кількістю кисню (O_2), азоту (N_2), аміаку (NH_3), галогенованих вуглеводнів, силоксанів і сірководню (H_2S). Анаеробний розпад активує низку спеціалізованих бактерій з утворенням газу метану, CO_2 , води, сірководню та аміаку. На додаток до біогазу CO_2 , мікрководорості забезпечують одночасну біоремедіацію дигестату та багатого поживними речовинами рідкого дигестату, який є результатом анаеробного зброджування. Використання мікрководоростей для відновлення азоту зі стоків АД та покращення біогазу нещодавно привернуло більше уваги досліджень. Дослідження показали, що спільне культивування бактерій і мікрководоростей може більш ефективно виробляти біомасу та виводити більше поживних речовин, ніж мікрководорості, вирощені окремо. Метаболізм різних мікробів одночасно обмежує один одного в процесі, що призводить до складної екосистеми. Найкращою стратегією максимізації процесу анаеробного зброджування є вибір критичних робочих параметрів. Небажане утворення сульфідів, надмірна солоність і наявність компонентів лігніну можуть мати негативний вплив на швидкість виробництва біогазу з водоростей. Проте, використовуючи низку методів попередньої обробки, таких як механічне, термічне, мікрохвильове, ферментативне та каталітичне опромінення, швидкість виробництва

біогазу може зрости . Сучасні дослідження зосереджені на використанні мікроводоростей для покращення біогазу, отриманого зі свинячих стічних вод, оброблених анаеробним зброджуванням. Було продемонстровано, що мікроводорості видаляють понад 99% H_2S з біогазу, і доведено, що видалення мікроводоростей CO_2 і H_2S є потенційною технікою для підвищення якості біогазу[20] .

3.5 Попередня обробка водоростей для виробництва біогазу

Попередня обробка виконується різними методами, включаючи механічні методи, ультразвукові методи, термічні методи, мікрохвильові методи та комбіновані методи; хоча це дорогий процес, який потребує енергії, важливо покращити розчинність біомаси та зруйнувати її клітинну стінку, що допомагає отримати внутрішні компоненти, такі як ліпіди та білки з мікроводоростей. Для попередньої обробки використовуються різні методи, включаючи механічні, термічні, ультразвукові, мікрохвильові та гібридні методи. Попередня обробка мікроводоростей підвищує продуктивність біоенергії, скорочуючи час обробки та покращуючи якість кінцевої поглиненої речовини. Метою попередньої обробки мікроводоростей є вивільнення простіших білків і ліпідів шляхом видалення складних полісахаридів клітинної стінки та перетворення їх на прості мономери. Декілька змінних значно зменшують або навіть запобігають утворенню біогазу в процесах, опосередкованих мікроводоростями, шляхом перетравлення метану. Відсутність співвідношення вуглецю та азоту в перетравленій сировині є одним із обмежувальних факторів разом із целюлозою та геміцелюлозою , які є шкідливими для анаеробних бактерій . Тим не менш, полімерні органічні компоненти, такі як клітинні стінки, поліфеноли, целюлозні волокна та лігнін, мають нижчу здатність до біологічного розкладання через низьку бактеріальну ефективність, яку зменшують за рахунок гідролізу, що покращує розчинність водоростей . Вибір методів попередньої обробки визначається хімічним складом водоростей, оскільки використання низькоенергетичних методів обробки

призводить до зниження врожаю, енергетичний баланс процесу повинен бути позитивним, щоб він мав практичний вплив. Вибір методу попередньої обробки в основному визначається вартістю операції.

1.Механічні методи:

Для біомаси мікродоростей механічна попередня обробка включає фізичні методи, включно з подрібненням, які спрямовані на зменшення розміру або розрив клітинних стінок шляхом фізичного пошкодження (ультразвук, мікрохвильова піч). Кавітація, створена попередньою обробкою звуковою хвилею, спричиняє розрив клітинної стінки, що призводить до розриву водневих зв'язків у макромолекулах, змінюючи їхні структури, хоча не всі хімічні зв'язки розриваються.

Механічна попередня обробка з використанням лез, ножів і молотків збільшує виробництво біогазу шляхом перетворення чистої біомаси лігноцелюлози, не створюючи будь-яких небезпечних бічних потоків, і, таким чином, підходить для промислового застосування. Кінцевий розмір частинок становив від 1 до 2 мм, а найпопулярніші методи включали різання та подрібнення. Лізис клітин і розчинення полімерної мережі викликані теплом, що утворюється під час руху полярних молекул під час попередньої мікрохвильової обробки. Крім того, ультразвукова техніка генерує хвилі тиску, які збуджують розчин і викликають гідромеханічні напруги зсуву, які змінюють структурний склад. Попередня обробка полегшує розщеплення мікроорганізмів і ферментів під час анаеробного зброджування, і вона працює без використання хімічних або ферментативних добавок, що призводить до більш високої швидкості розсіювання енергії та витрат на спеціалізоване обладнання, що збільшує капітальні та експлуатаційні витрати. Як мікрохвильова, так і ультразвукова методика є механічною обробкою, і ефективність попередньої мікрохвильової (МВ) обробки залежить від щільності використовуваної біомаси, рівня радіації та біохімічного складу субстрату. Ці методи забезпечують кращу ефективність нагрівання завдяки прямому контакту зі стінками, що призводить до розриву водневих зв'язків. Незважаючи на те, що електрична енергія перетворюється на тепло рівною мірою в вихідній сировині, це вимагає значного введення енергії, високої потужності опромінення та тривалого періоду

опромінення. Ультразвук менш ефективний при виробництві метану з мікроводоростей *Monographidium* sp. і *Stigeoclonium* sp. ніж механічна та термічна попередня обробка AD. Незважаючи на те, що білки та вуглеводи склали більшу частину біомаси та клітинної стінки, вони були більш розчинними. Існував лінійний зв'язок між надходженням енергії та кількістю розчинної хімічної потреби в кисні (sCOD), що виділяється, коли надходження ультразвукової енергії було збільшено для *S. obliquus* і *C. sorokiniana*. Вибраний штам мікроводоростей, властивості клітинних стінок і загальна вартість і енергетичні потреби процесу анаеробного зброджування є факторами, що впливають на ефективність і використання підходу до обробки ультразвуком. Повідомляється, що УЗД для великомасштабного виробництва біогазу є можливим методом і може запропонувати кращу ефективність попередньої обробки з точки зору розпаду клітинної стінки. Коли субстрат має значний вміст волокон і погано розкладається, механічна попередня обробка руйнує його, що підвищує виробництво біогазу та прискорює розкладання .

2. Ферментативні та каталітичні методи:

Ферменти діють як каталізатори та прискорюють хімічні реакції, не змінюючи балансу реакції, і часто зустрічаються в природі як білки. Ферментативна попередня обробка виявилася успішною в руйнуванні клітинних стінок, вивільненні розчинних органічних речовин для обробки та посиленні виробництва біогазу під час анаеробного зброджування. Целюлаза, -амілаза, -глюкозидаза, ендо-ксилаза, маргінальна лакказа, лакказопероксидаза та пероксидаза марганцю є популярними варіантами ферментативної попередньої обробки, тоді як ці ферменти розбирають полімерні структури целюлози та геміцелюлози, у результаті чого утворюються побічні продукти целобіоза, глюкоза, арабіноза, і ксилоза. Основною перевагою ферментативної попередньої обробки є її цілеспрямований вплив на деполімеризацію голоцелюлози без втрати цукру. Крім того, стадія синтезу водню є бактеріальною попередньою обробкою для метаногенезу. Подібні бактерії, які беруть участь у діяльності анаеробного зброджування, також генерують побічні продукти під час DF, включаючи ЛЖК, етанол і молочну кислоту. Ферментативна попередня обробка біомаси водоростей вимагає великих інвестицій у промислових

масштабах, і ідеальним рішенням є пошук мікроорганізмів, які надлишково експресують гени, що кодують ферменти .

Завдяки мінімальному споживанню енергії, високому виходу зброджених цукрів, що вивільняються з біомаси за м'яких робочих налаштувань, відсутності проблем з ерозією та невеликій кількості побічних продуктів, попередня обробка ферментами вважається екологічно чистою процедурою. Можна розрізнити дві категорії ферментних процесорів на основі походження ферментів, які класифікуються як ендогенні ферменти або комерційні екзогенні ферменти. Процес може постраждати від вартості комерційного виробництва ферментів, а поєднання ультразвукової обробки та ферментативної обробки було більш ефективним, ніж ферментативна, окремо, у руйнуванні клітинної стінки *S. quadricauda*. N-волокна, N-трубки та N-листи з наночастинок застосовуються в біоенергетичному секторі для підвищення ефективності каталізу та модифікації вихідної сировини, покращуючи кінетику реакції за рахунок посилення каталітичної активності мікроорганізмів . Крім того, це сприяє розчиненню сировини, хімічній зміні органічних сполук і вивільненню біополімерних компонентів, таких як вуглеводи та білки.

3. Термічні методи:

Термічна попередня обробка необхідна для розчинення субстратної цитомембрани, прискорюючи процеси гідролізу та вихід біогазу. Процедури термічної попередньої обробки ефективно пошкоджують клітини водоростей, споживаючи при цьому менше енергії. Для того, щоб розчинити водневі зв'язки, які зберігають механічну міцність біомаси, температура додається до її поверхонь шляхом теплообміну під час термообробки, що збільшує виробництво біогазу. Температури, що перевищують ідеальний діапазон, однак, як правило, є корозійними та прискорюють виробництво інгібіторних сполук, що знижує ефективність біоконверсії . Гідротермальний метод є типом термічної попередньої обробки, який може також видалити більшу частку геміцелюлози та певну кількість лігніну з лігноцелюлозних матеріалів шляхом їх розкладання на розчинні фракції, а також відчуження стійкого розташування. Піроліз — це термічне розкладання біомаси в інертному середовищі при високих температурах 400–600 °C. Піроліз біомаси водоростей дав стабільні та

сприятливі результати на відміну від інших методів перетворення, що може призвести до їх комерціалізації. Біомаса нагрівається при температурах нижче 100 °C під час термічного процесу, тоді як вона потребує вищих температур під час попередньої гідротермальної обробки з подальшим підвищенням тиску. Існує позитивний зв'язок між розчиненням біомаси, на який впливають температура та час, і виходом метану, причому температура іноді має більший вплив на термічну попередню обробку[20].

3.6 Майбутня перспектива

Визначення екологічно чистого джерела транспортного палива є однією з основних проблем за останні роки. У зв'язку з виробництвом біопалива з використанням сировини, отриманої від експлуатації орних земель, можуть виникнути такі труднощі, як зростання цін на продукти харчування та дефіцит. Водорості є нейтральною альтернативою традиційній сільськогосподарській сировині, яку можна знайти поблизу водойм і використовувати як сировину для виробництва біогазу. Оскільки зростання водоростей є сезонним, стійкий метод виробництва енергії з біомаси водоростей вимагає штучних відкритих резервуарів або фотобіореакторів. Можливість виробництва мікрководоростей для зменшення викидів парникових газів, одночасно забезпечуючи біопродукти з доданою вартістю, такі як біогаз, підвищила привабливість галузі в останні роки. Необхідно провести додаткові дослідження методу перетворення дигестатів у тверду або напівтверду форму, яка має менший об'єм, ніж рідкий дигестат, і може бути використана для різноманітних застосувань, включаючи біодобрива. Однак інтеграція чистих технологій, таких як анаеробне зброджування та виробництво мікрководоростей, необхідна для концентрації та відновлення поживних речовин із добрив, повторного використання всіх компонентів гною та отримання додаткової цінності. Крім того, цей процес уловлює CO₂ під час створення біомаси, яка потім може бути перетворена на біопаливо або продукти з доданою вартістю, допомагаючи зменшити глобальне потепління. Мікрководорості використовують 1800 г CO₂ для створення 1

кг біомаси, таким чином поглинаючи вуглекислий газ, і технологія мікрободоростей вважається важливим інструментом у модернізації систем виробництва біогазу. Таким чином, це робить його перспективним ресурсом для вирішення як екологічних, так і енергетичних проблем. Мікрободорості також мають низку помітних переваг перед іншими енергетичними культурами, включаючи кращу фотосинтетичну ефективність, нижчу потребу у використанні води та відсутність вимоги до ріллі.

Заявлене виробництво біогазу та біометану може зрости майже вдвічі до 2030 року та більш ніж у чотири рази до 2050 року. Статистичний звіт ЄБА за 2020 рік демонструє величезне зростання біометану та обіцяє декарбонізацію газової промисловості. Це показує, що біогаз і біометан можуть мати значний вплив на декарбонізацію паливної промисловості, дозволяючи використовувати відновлювані гази для опалення, промисловості та транспорту. Базуючись на дослідженні ЄВА, рис.3.3 показує зростання кількості біогазових установок у Європі між 2009 і 2020 роками. Необхідність виявити відповідну біомасу, яка може підтримувати великомасштабне виробництво біогазу, викликана очікуванням, що це розширення буде постійно зростати протягом наступних років (рис.3.5).

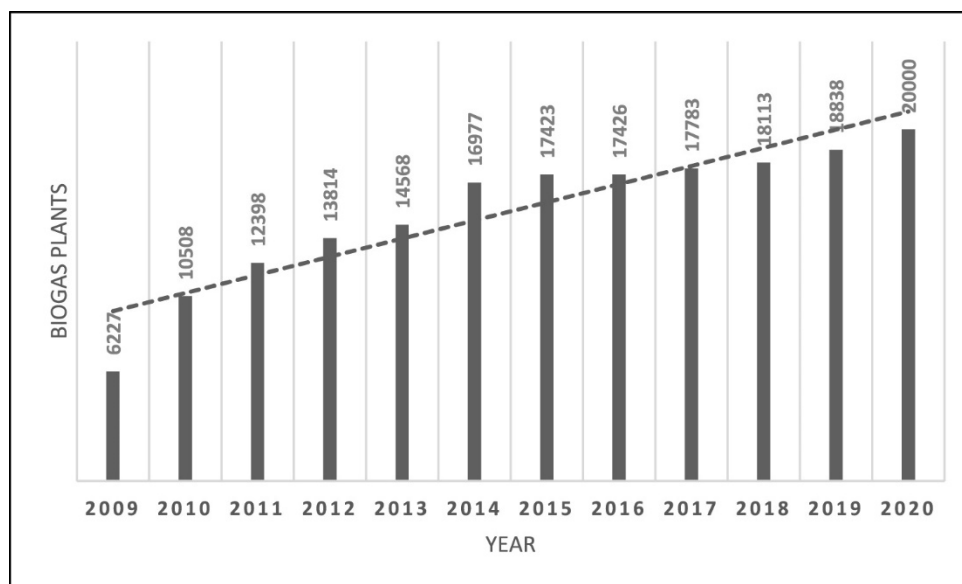


Рисунок 3.5 - Розвиток біогазових установок Європи (2009–2020 рр.)

Тривають дослідження та розробки для комерціалізації лабораторного вирощування мікрободоростей для виробництва біогазу. Через обмеження, такі як вибір варіацій для більшого виробництва біомаси, вибір системи росту мікрободоростей, якість і

кількість перероблених і відновлених водоростей на біологічній основі, робочі змінні та інші зовнішні фактори. З іншого боку, існують проблеми, які стримують використання біопалива, отриманого з видів водоростей, і роблять його лише частково комерціалізованим, наприклад, висока вартість виробництва та обмеження на вирощування, збирання та переробку. Біогаз у великих кількостях міститься в таких місцях, як звалища, очисні споруди, тваринницькі та сільськогосподарські відходи. У результаті вже докладаються зусилля для диверсифікації дешевих енергетичних культур, таких як водорості та інші види рослин, які можна вирощувати на маргінальних землях для сприяння виробництву біогазу[20].

РОЗДІЛ 4

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Метою державної політики України у сфері цивільного захисту є забезпечення належного рівня безпеки для населення, територій, матеріальних і культурних цінностей, а також навколишнього середовища від негативних наслідків надзвичайних ситуацій, відповідно до науково обґрунтованих критеріїв прийнятності ризику.

Очищення газових викидів за допомогою мікроводоростей може мати тісний зв'язок з питаннями запобігання та мінімізації надзвичайних ситуацій, а також з підтриманням здорового стану довкілля. Так, мікроводорості (наприклад, *Chlorella vulgaris*) використовуються для поглинання вуглекислого газу і деяких інших токсичних речовин, знижуючи навантаження на атмосферу. Це зменшує ймовірність надзвичайних ситуацій, пов'язаних із погіршенням якості повітря, які можуть спричинити загрози здоров'ю населення та погіршення екологічного стану регіону.

Методи очищення води і контролю за евтрофікацією водойм теж можуть бути вдосконалені завдяки впровадженню технологій біоочищення з використанням мікроводоростей. Крім покращення якості атмосферного повітря, вирощування мікроводоростей на об'єктах енергетики може знизити навантаження на водні ресурси, оскільки частина біомаси зможе стати ресурсом для відновлюваної енергетики (біопаливо), зменшуючи залежність від забруднюючих енергоресурсів, зокрема, вугілля.

Для розрахунку біогазу, який можна отримати з водоростей, потрібно врахувати кілька важливих факторів:

1. **Вид водоростей** – різні види водоростей мають різний хімічний склад і, відповідно, різну здатність до вироблення біогазу.

2. **Вихід біогазу на одиницю біомаси** – це кількість метану (CH₄), яку можна отримати з одиниці маси водоростей після процесу анаеробного бродіння.
3. **Кількість біомаси водоростей** – кількість доступної біомаси, яку можна використовувати для виробництва біогазу.

Кроки для розрахунку

1. Визначення виходу біогазу з водоростей

Загалом, біогаз, отриманий із водоростей, містить метан (CH₄), вуглекислий газ (CO₂) та інші компоненти, але основним є метан. Для водоростей типовий вихід біогазу знаходиться в межах 200-600 м³/т сухої біомаси залежно від виду водоростей і умов процесу.

Оцінка виходу метану може бути заснована на наступних даних:

- Вихід метану з водоростей коливається від 50 до 80% від загального обсягу біогазу.
- Якщо з 1 т біомаси водоростей виходить 300 м³ біогазу, то з цього обсягу можна отримати приблизно 150-240 м³ метану.

2. Розрахунок біомаси водоростей

Потрібно знати, скільки біомаси водоростей планується зібрати для процесу бродіння. Для прикладу, розглянемо випадок, коли ми використовуємо 10 тонн водоростей.

Формула для розрахунку:

Обсяг біогазу (м³)=Маса органічних відходів (кг)×Потенціал біогазу (м³/кг) (1)

Якщо ми маємо 10 тонн водоростей і вихід біогазу складає 300 м³/т, то:

$$300 \text{ м}^3/\text{т} \times 10 \text{ т} = 3000 \text{ м}^3$$

4. Розрахунок обсягу метану

Якщо з цього обсягу біогазу метан становить 60%, то:

$$3000 \text{ м}^3 \times 0.60 = 1800 \text{ м}^3$$

Таким чином, з 10 тонн водоростей можна отримати приблизно 1800 м³ метану.

Ці розрахунки є орієнтовними і можуть варіюватися в залежності від виду водоростей, умов вирощування та технології обробки.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів

Охорона праці — це система соціально-економічних, правових, лікувально-профілактичних, гігієнічних та організаційно-технічних засобів і заходів, які спрямовані на захист життя, здоров'я та працездатності людини під час виконання трудових обов'язків. Роботодавець зобов'язаний створювати умови праці на кожному робочому місці згідно з чинним законодавством і забезпечувати дотримання всіх вимог, що стосуються прав працівників у сфері охорони праці.

Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при видобутку біогазу охоплює різні аспекти, пов'язані з технологічними процесами, умовами роботи і впливом на навколишнє середовище та здоров'я людей. Ось основні фактори, які можуть бути потенційно небезпечними або шкідливими:

1. Вибухова небезпека

Біогаз складається в основному з метану (CH_4), який є горючим і вибухонебезпечним газом. Накопичення метану в закритих або погано провітрюваних приміщеннях може призвести до вибуху в разі іскріння або контакту з відкритим вогнем.

Ризики:

Вибух при витoku метану.

Іскри або статичні електричні заряди можуть спричинити займання.

Заходи безпеки:

Встановлення системи моніторингу метану в повітрі.

Використання вибухозахищених електричних приладів і апаратів.

Регулярна перевірка та технічне обслуговування біогазових установок.

2. Токсичні викиди та забруднення

При видобутку біогазу та його очищенні можуть виникати токсичні гази, такі як

сірководень (H_2S), аміак (NH_3), а також органічні сполуки, що є побічними продуктами ферментації.

Ризики:

Викиди сірководню, який є отруйним газом, що має запах тухлих яєць і може спричинити серйозні отруєння при високих концентраціях.

Викиди аміаку можуть спричинити подразнення дихальних шляхів і слизових оболонок.

Заходи безпеки:

Очищення біогазу від сірководню та аміаку.

Встановлення систем фільтрації та скрубберів для усунення токсичних газів.

Застосування засобів індивідуального захисту, таких як респіратори і вентиляція.

3. Екологічні ризики

При неконтрольованому видобутку та зберіганні біогазу можливі викиди метану в атмосферу, що сприяє парниковому ефекту і зміні клімату.

Ризики:

Утечі метану можуть збільшити викиди парникових газів в атмосферу.

Неправильне зберігання або транспортування біогазу може спричинити забруднення ґрунтів і водних ресурсів.

Заходи безпеки:

Встановлення герметичних контейнерів і трубопроводів для транспортування біогазу.

Використання технологій, що мінімізують втрати метану в атмосферу.

Моніторинг екологічних показників на місцях видобутку та зберігання.

4. Забруднення водних ресурсів

Біогазові установки використовують органічні відходи для отримання метану, що може супроводжуватися утворенням стічних вод, які можуть забруднювати навколишні водні ресурси.

Ризики:

Потрапляння забруднених вод у річки та озера призведе до забруднення води органічними речовинами, важкими металами або хімічними сполуками.

Заходи безпеки:

Встановлення систем очищення стічних вод перед скиданням у природні водні ресурси. Використання замкнутих водообігів для мінімізації витрат води.

5. Небезпека для здоров'я працівників

Процес видобутку біогазу супроводжується роботою з органічними відходами та біологічними агентами, які можуть бути шкідливими для здоров'я людей, особливо для працівників, що працюють без відповідного захисту.

Ризики:

Контакт з патогенними мікроорганізмами, що містяться в органічних відходах.

Небезпека розвитку інфекційних захворювань через погане санітарно-гігієнічне обслуговування.

Погіршення здоров'я працівників через тривалий вплив токсичних газів.

Заходи безпеки:

Встановлення спеціальних зон для роботи з відходами з біогазових установок.

Використання засобів індивідуального захисту, таких як маски, костюми.

Підготовка персоналу з питань безпеки праці.

6. Шумове забруднення

У деяких біогазових установках працюють потужні компресори, насоси та інше обладнання, яке може генерувати високий рівень шуму.

Ризики:

Постійний високий рівень шуму може призвести до порушень слуху у працівників та погіршення психоемоційного стану.

Заходи безпеки:

Встановлення шумозахисних бар'єрів.

Використання шумоізолюючих матеріалів для обладнання.

Організація спеціальних зон для технічного обслуговування.

5.2. Вимоги до території, робочих місць, організації безпечного руху працівників і транспорту

Організація безпечної роботи на підприємствах, які займаються видобутком біогазу, вимагає створення умов, що забезпечують безпеку працівників, охорону навколишнього середовища, а також ефективну та безпечну організацію руху працівників і транспорту. Нижче наведено основні вимоги до території, робочих місць, а також організації руху працівників і транспорту:

1. Вимоги до території підприємства

Територія, на якій здійснюється діяльність з видобутку біогазу, повинна бути розподілена таким чином, щоб забезпечити:

- **Зонування території:** виділення окремих зон для небезпечних робіт, технічного обслуговування, складів і адміністративних будівель. Небезпечні зони (де можливі вибухи, витоки газів тощо) повинні бути чітко позначені та обмежені для входу сторонніх осіб.
- **Відстані безпеки:** робочі місця повинні розташовуватися на достатній відстані від потенційно небезпечних об'єктів (системи зберігання біогазу, вентиляційні системи, газові резервуари). Це забезпечить зниження ризиків у разі аварійних ситуацій.
- **Захист від викидів:** на території повинні бути передбачені засоби для збирання, утилізації та контролю за викидами небезпечних газів і відходів. Це включає системи вентиляції, скидання стічних вод і відведення газів у безпечні зони.
- **Утримання території в чистоті:** необхідно забезпечити регулярне прибирання території для уникнення накопичення небезпечних відходів, забруднень або аварійних ситуацій.

2. Вимоги до робочих місць

Робочі місця повинні бути обладнані відповідно до вимог безпеки праці, з урахуванням специфіки роботи з біогазом та іншими потенційно небезпечними речовинами:

- **Освітлення:** робочі місця мають бути забезпечені належним освітленням, яке дозволяє безпечно проводити роботи, особливо в темний час доби чи при роботі в закритих приміщеннях.
- **Вентиляція:** у місцях, де зберігаються або обробляються органічні відходи, а також в зонах виробництва біогазу, повинна бути організована ефективна вентиляція для попередження накопичення небезпечних газів, таких як метан, сірководень та інші токсичні сполуки.
- **Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):** на робочих місцях повинні бути доступні засоби індивідуального захисту для працівників, зокрема респіратори, захисні костюми, рукавички, захист для очей та слуху, в залежності від характеру робіт.
- **Розміри робочих місць:** робочі місця повинні бути достатньо просторими для вільного переміщення працівників, а також для розміщення необхідного обладнання.
- **Зручність доступу до обладнання:** всі контрольні пункти та обладнання повинні бути легкодоступними для проведення технічного обслуговування і швидкого реагування в разі надзвичайних ситуацій.

3. Організація безпечного руху працівників

Рух працівників на території підприємства має бути організований таким чином, щоб мінімізувати ймовірність аварій та травм:

- **Чітке маркування та освітлення шляхів руху:** всі проходи та проїзди повинні бути чітко позначені, вільні від перешкод і забезпечені належним освітленням.

- **Розподіл руху пішоходів і транспорту:** на території повинні бути визначені окремі маршрути для пішоходів та транспорту, що дозволить уникнути аварій та забезпечить безпечний рух працівників і транспорту.
- **Регулярне навчання та інструктажі:** працівники повинні регулярно проходити інструктажі з безпеки, особливо з питань руху по території та взаємодії з транспортними засобами.
- **Безпека при виконанні робіт:** для працівників, які виконують роботи на висоті або в небезпечних зонах, повинні бути створені умови для забезпечення безпеки (захисні огороження, системи для роботи на висоті, обмеження доступу сторонніх осіб до небезпечних територій).

4. Організація безпечного руху транспорту

Безпечний рух транспорту на території підприємства, де видобувається біогаз, має важливе значення для запобігання аварій та забезпечення безпеки працівників:

- **Розподіл маршрутів:** територія повинна бути організована так, щоб рух транспорту здійснювався по чітко визначених маршрутах, що дозволяє зменшити ризик аварій, особливо з пішоходами та іншими транспортними засобами.
- **Обмеження швидкості:** на території підприємства повинна бути обмежена швидкість руху транспорту, щоб знизити ймовірність ДТП.
- **Паркувальні місця та завантаження/розвантаження:** паркування транспорту та здійснення операцій завантаження/розвантаження повинні проводитись у спеціально відведених місцях, щоб не блокувати рух інших транспортних засобів і не створювати небезпеки для працівників.
- **Використання спецтехніки:** на території можуть використовуватися спеціальні транспортні засоби для транспортування біогазових відходів чи обслуговування технологічного обладнання. Вони повинні мати відповідні сертифікати і технічні умови для безпечної експлуатації.

5. Контроль за дотриманням безпеки руху

Для забезпечення безпеки руху працівників та транспорту необхідно:

- Вести моніторинг стану шляхів та маркування території.
- Призначати відповідальних осіб за організацію руху та контроль за безпекою.
- Встановити систему відеоспостереження та сигналізації для своєчасного виявлення порушень та аварійних ситуацій.

5.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря.

Забезпечення належних умов праці на підприємствах, що займаються видобутком біогазу, вимагає дотримання суворих нормативів щодо мікроклімату та чистоти повітря. Це необхідно для здоров'я працівників, забезпечення ефективності виробничих процесів та зниження ризиків виникнення аварій, пов'язаних із токсичними чи шкідливими викидами. Для цього важливо контролювати параметри мікроклімату та якість повітря на робочих місцях. Розглянемо основні аспекти забезпечення нормативних значень цих показників.

1. Показники мікроклімату

Мікроклімат на підприємстві визначається як сукупність температурних, вологісних, швидкісних та інших параметрів, що впливають на комфорт і здоров'я працівників. Основними показниками мікроклімату є:

- **Температура повітря:** Температура на робочих місцях повинна бути в межах, які відповідають вимогам санітарних норм. Вона залежить від виду робіт та специфіки підприємства, але зазвичай для промислових об'єктів вона коливається від 18°C до 22°C у зимовий період і до 28°C у літній.
- **Вологість повітря:** Вологість повітря повинна підтримуватись в межах 40-60%. Висока вологість може сприяти розвитку мікроорганізмів, а низька — призводить до сухості повітря, що негативно впливає на здоров'я працівників.

- **Швидкість руху повітря:** Для забезпечення нормальних умов праці швидкість повітря на робочих місцях не повинна перевищувати 0,5 м/с. Вища швидкість повітря може викликати дискомфорт і навіть застудні захворювання.
- **Рівень шуму:** За стандартами шум на робочих місцях не повинен перевищувати 85 дБ, оскільки постійний високий рівень шуму може призвести до втрати слуху та інших захворювань.
- **Рівень освітленості:** Освітлення робочих зон повинно відповідати нормам. На робочих місцях повинна бути достатня кількість світла для безпечного виконання робіт. Для приміщень повинна бути розроблена система загального і місцевого освітлення.

Для підтримання нормального мікроклімату необхідно:

- Регулярно контролювати температуру, вологість і швидкість руху повітря.
- Використовувати вентиляційні системи для підтримки оптимального повітряного обміну та зниження рівня забруднення.
- Приділяти увагу утепленню та терморегулюванню виробничих приміщень.

2. Чистота повітря на робочих місцях

Чистота повітря має вирішальне значення для забезпечення безпеки працівників, оскільки на підприємствах з видобутку біогазу можливе утворення шкідливих газів і забруднень. Основні фактори, які впливають на чистоту повітря:

- **Викиди токсичних газів:** Під час роботи з біогазом можуть виникати викиди метану, сірководню, аміаку та інших токсичних газів. Вони повинні бути ретельно контролювані та утилізовані за допомогою спеціальних систем вентиляції та очищення.
- **Концентрація пилу та часток:** Виробничі процеси можуть супроводжуватися утворенням пилу або аерозолів. Для їх зниження слід використовувати

ефективні фільтраційні системи, а також проводити регулярне прибирання території.

- **Кислотність і лужність повітря:** Нормативи встановлюють допустимі рівні концентрації різних хімічних сполук у повітрі. Якщо на підприємстві відбувається виділення аміаку, сірководню чи інших летючих сполук, повинна бути організована система їх нейтралізації.
- **Вентиляція:** Встановлення систем ефективної вентиляції на всіх робочих місцях, де утворюються шкідливі гази, є обов'язковим. Система повинна бути розрахована на постійне відведення забрудненого повітря і подачу свіжого.

Для забезпечення чистоти повітря на підприємствах необхідно:

- Встановлювати моніторингові системи для регулярного контролю концентрації токсичних газів, пилу та інших забруднювачів.
- Використовувати фільтраційні та очищувальні установки (наприклад, біофільтри, біоскрубери), що дозволяють ефективно очищати повітря від забруднень.
- Забезпечити належний рівень вентиляції в усіх виробничих приміщеннях, де відбуваються потенційно небезпечні процеси.

3. Технічне забезпечення для підтримки мікроклімату та чистоти повітря

- **Вентиляційні системи:** Система вентиляції повинна забезпечувати постійну циркуляцію повітря, щоб уникнути накопичення небезпечних газів, пилу та інших шкідливих сполук.
- **Моніторинг якості повітря:** Регулярні вимірювання концентрації газів (метан, сірководень, аміак) та інших забруднювачів у повітрі.
- **Фільтрація та очищення:** Використання біофільтрів, скрубберів та інших очищувальних установок для зменшення рівня забруднень.
- **Контроль температури та вологості:** Автоматичні системи контролю мікроклімату в приміщеннях для підтримання комфортних і безпечних умов праці.

4. Навчання та інструктажі працівників

- **Навчання з питань безпеки:** Працівники повинні регулярно проходити інструктажі з безпеки щодо роботи в умовах з підвищеною токсичністю повітря.
- **Засоби захисту:** Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, такими як респіратори, захисні костюми та інші засоби для роботи в забруднених або важких умовах.

5.4. Освітлення, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення.

Освітлення на робочих місцях є важливим фактором, який безпосередньо впливає на продуктивність праці, збереження здоров'я працівників та безпеку виконання робіт. Нормовані показники освітлення визначаються на основі санітарних норм і вимог безпеки для конкретних видів діяльності, з огляду на тип робіт, характеристики виробництва, а також специфіку середовища, де ці роботи виконуються.

1. Нормовані показники освітлення

Нормативні вимоги до освітлення визначаються відповідними стандартами і регламентують мінімальні рівні освітленості для різних типів робіт та приміщень. Основними параметрами, що визначають нормовані показники освітлення, є:

- **Рівень освітленості (люкси):** Це кількість світлового потоку, що потрапляє на одиницю площі робочої поверхні. Для різних типів робіт і приміщень встановлені мінімальні вимоги щодо рівня освітленості:
 - Для загальних робіт у виробничих приміщеннях: від 200 до 500 люкс.
 - Для робіт високої точності (наприклад, монтаж і ремонт) — не менше 1000 люкс.

- Для складних виробничих операцій, які потребують високої концентрації уваги (наприклад, електроніка, фармацевтичні підприємства) — від 1500 до 2000 люкс.
- Для громадських приміщень, коридорів — від 100 до 300 люкс.
- **Рівномірність освітлення:** Освітлення повинно бути рівномірним на всій робочій площі, щоб не виникало сильно виражених тіней або яскравих зон, що можуть призвести до втоми очей або помилок під час роботи.
- **Колірна температура:** Освітлення повинно забезпечувати необхідну кольорову температуру в залежності від виду робіт. Для офісних та виробничих приміщень колірна температура світла зазвичай становить від 3000 до 5000 К, щоб підтримувати комфорт для працівників.
- **Коефіцієнт кольорового відтворення (Ra):** Цей показник відображає здатність джерела світла відтворювати кольори об'єктів у порівнянні з природним світлом. Мінімальний Ra для виробничих і робочих приміщень зазвичай становить не менше 80.

2. Засоби і заходи для забезпечення нормованих показників освітлення

Для забезпечення нормованих показників освітлення використовуються різноманітні технічні рішення та заходи:

2.1. Вибір типу освітлювальних пристроїв

- **Лампи розжарювання:** Використовуються на тих робочих місцях, де необхідна м'яка світлова атмосфера, але їх ефективність знижена порівняно з іншими джерелами світла.
- **Люмінесцентні лампи:** Використовуються для освітлення виробничих та складських приміщень, оскільки мають високу енергоефективність і довгий термін служби.
- **СВД (світлодіоди):** Є сучасними джерелами світла, що забезпечують високу енергоефективність, довгий термін служби та можливість регулювання освітленості.

- **Металогалогенні лампи:** Використовуються для освітлення великих просторів, таких як склади або цехи, оскільки вони мають високу інтенсивність світлового потоку.

2.2. Системи управління освітленням

- **Автоматичне регулювання освітленості:** Для оптимізації енергоспоживання можуть застосовуватись автоматичні системи, що регулюють рівень освітленості в залежності від часу доби, природного освітлення або конкретних потреб робочих процесів.
- **Диммери (регулятори освітлення):** Дозволяють регулювати рівень яскравості світла для зниження енергоспоживання або забезпечення оптимальних умов для певних робіт.
- **Рухомі датчики:** Можуть бути встановлені для автоматичного вмикання і вимикання освітлення в залежності від присутності людей у приміщенні.

2.3. Організація освітлення

- **Правильне розташування джерел світла:** Для уникнення тіней і бликів джерела світла повинні бути розташовані так, щоб забезпечити рівномірне освітлення всіх робочих поверхонь.
- **Зонування освітлення:** У випадку наявності різних робочих зон з різною інтенсивністю робіт, доцільно застосовувати зональне освітлення (наприклад, підвищену яскравість для місць, де виконуються точні роботи).
- **Використання природного світла:** Встановлення вікон або світлових ліхтарів для забезпечення природного освітлення. Це дозволяє не лише знизити енергоспоживання, але й поліпшити атмосферу на робочому місці.

2.4. Регулярне технічне обслуговування освітлювальних систем

- **Чистка освітлювальних приладів:** Регулярне очищення ламп і світильників від пилу та бруду для забезпечення їх ефективної роботи.

- **Перевірка та заміна ламп:** Регулярна перевірка стану ламп і світильників, а також своєчасна заміна несправних елементів для підтримання необхідного рівня освітленості.

3. Контроль за рівнем освітленості

Для забезпечення відповідних умов праці важливо регулярно проводити моніторинг рівня освітленості в робочих зонах. Для цього використовуються спеціальні прилади, такі як **люксметри** або **світлові датчики**, які дозволяють вимірювати освітленість на різних робочих поверхнях.

У разі виявлення відхилень від нормативів повинні бути вжиті негайні заходи для коригування освітлення: або заміною ламп, або налаштуванням систем освітлення.

5.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації

Шум та вібрація є одними з основних фізичних факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників, їх працездатність, а також безпеку на виробництві. Підвищений рівень шуму та вібрацій може призвести до порушень слуху, нервової системи, а також загальної фізичної та психологічної втоми. Тому для забезпечення комфортних та безпечних умов праці важливо вживати заходи, що сприяють зниженню рівня шуму і вібрацій до нормативних значень.

1. Нормовані показники шуму та вібрацій

1.1. Нормативи шуму

- Для різних типів приміщень і видів робіт встановлені максимальні рівні шуму (в дБА) на робочих місцях. Згідно з нормами, максимальні рівні шуму на робочих місцях не повинні перевищувати:
 - Для загальних робіт — 85 дБА (де довготривала робота).

- Для робіт, що потребують особливої уваги, таких як контроль та ремонт електронних пристроїв — не більше 60–65 дБА.
- Для робіт в цехах, де працюють важкі машини, рівень шуму не повинен перевищувати 90–95 дБА.

1.2. Нормативи вібрації

- Вимоги до рівнів вібрації для робочих місць визначаються на основі періоду дії вібрацій та інтенсивності їх впливу на людину:
 - Для загальних робіт, які вимагають тривалого перебування людини в зоні дії вібрацій, максимальні рівні вібрації на робочих місцях повинні бути не більше ніж 0,2 м/с².
 - Для робіт, де вібрації короткочасні або слабо виражені, нормативи можуть бути вищими (до 0,4 м/с²).

2. Заходи та засоби для зниження рівнів шуму

2.1. Шумоізоляція

- **Шумоізоляція приміщень:** Для зменшення рівня шуму в приміщеннях використовують шумоізоляційні матеріали на стінах, стелях, підлогах, а також у дверях і вікнах. Це можуть бути спеціальні акустичні панелі, теплоізоляційні та звукопоглинальні матеріали, які поглинають звукові хвилі.
- **Шумозахисні кабінки та кожухи:** Для зниження рівня шуму від окремих машин чи устаткування використовуються спеціальні звукоізоляційні кожухи або кабінки для працівників.

2.2. Звукові бар'єри та екранування

- **Бар'єри та екрани:** Встановлення бар'єрів або екранів між джерелами шуму та робочими місцями (наприклад, для захисту від шуму від вентиляційних систем або важкої техніки).

- **Поглинання звуку:** Використання спеціальних матеріалів для підлоги та стін (наприклад, шумопоглинальних плит, пористих поверхонь), що знижують рівень відбитого звуку.

2.3. Акустичне проектування

- **Розташування робочих місць:** Правильне розташування робочих місць у приміщеннях, де шум з інших джерел буде мінімально впливати на працівників. Також можна використовувати розмежування робочих зон.
- **Звукове планування:** Окремі зони з високим рівнем шуму (наприклад, зони роботи з важким обладнанням) можуть бути розділені від тихих робочих зон.

2.4. Персональні засоби захисту

- **Навушники та беруші:** Для зниження впливу шуму на працівників, що працюють у зонах з підвищеним рівнем шуму, використовуються навушники чи беруші з відповідним ступенем шумозахисту (як правило, з рівнем захисту від 25 до 35 дБА).
- **Шумозахисні шоломи та маски:** У випадках, де шум критичний для здоров'я, застосовуються додаткові засоби захисту для голови та органів слуху.

3. Заходи та засоби для зниження рівня вібрації

3.1. Віброізоляція обладнання

- **Віброізоляційні підкладки та амортизатори:** Для зменшення вібрації від обладнання застосовуються віброізоляційні матеріали, які поглинають коливання та знижують їх передачу через підлогу або інші конструкції.
- **Антивібраційні підставки та прокладки:** Встановлення спеціальних підставок або прокладок для обладнання, що мінімізує вплив вібрацій на поверхню та працівників.

3.2. Використання антивібраційних рукавичок та взуття

- Працівники, які працюють з обладнанням, що генерує сильні вібрації (наприклад, пневматичні молотки, верстати), повинні використовувати спеціальні **антивібраційні рукавички** та **взуття**, які знижують передачу вібрацій від інструментів до рук і тіла..

3.3 Технічне удосконалення обладнання

- **Модернізація або заміна обладнання:** Встановлення нових, менш вібруючих машин або заміна старих верстатів і механізмів на сучасніші знижує рівень вібрацій на робочому місці.
- **Регулювання роботи машин:** Регулярна перевірка і налаштування машин для зниження небажаних вібрацій, які можуть виникати через неправильне встановлення або зношення частин механізмів.

3.4. Правильне розташування робочих місць

- **Розташування вібраційно небезпечних робочих місць:** Окремі робочі зони, де генеруються сильні вібрації, повинні бути відокремлені від загальних робочих площ, а працівники, які працюють у таких зонах, повинні мати відповідні засоби захисту.

4. Контроль рівнів шуму та вібрацій

4.1. Регулярний моніторинг

- Для забезпечення відповідності нормам рівнів шуму та вібрацій на робочих місцях проводяться регулярні вимірювання. Це включає використання спеціальних приладів, таких як **децибелометри** для шуму та **вібраційні датчики** для вібрацій.

4.2. Виявлення джерел підвищеного рівня шуму та вібрацій

- Проведення регулярних аудітів робочих місць для виявлення джерел, що створюють надмірні рівні шуму та вібрації, і вжиття заходів для їх зниження.

5.8. Забезпечення пожежовибухобезпеки

Виробництво біогазу включає процеси, що можуть створювати потенційні загрози для безпеки через наявність горючих газів, таких як метан, які є основними складовими частинами біогазу. Метан є дуже вибухонебезпечним і може утворювати вибухові суміші з повітрям. Тому особливу увагу необхідно приділяти заходам щодо запобігання загорянням, вибухам і мінімізації ризиків для працівників і навколишнього середовища.

1. Нормативно-правові вимоги до пожежовибухобезпеки

Забезпечення пожежної та вибухової безпеки при виробництві біогазу регулюється рядом нормативних актів, серед яких:

- **Правила пожежної безпеки** на підприємствах, які обробляють горючі речовини (зокрема, біогаз).
- **Норми вибухопожежної безпеки** для підприємств із високим ризиком вибухів.
- **Державні стандарти (ДСТУ)**, що регулюють технічні умови щодо безпеки устаткування та процесів, пов'язаних з виробництвом біогазу.

2. Основні ризики та небезпечні фактори при виробництві біогазу

2.1. Вибухонебезпечні газові суміші

- Біогаз складається головним чином з метану (CH_4), який є високо вибухонебезпечним, особливо при концентраціях від 5% до 15% у повітрі.

- Інші компоненти біогазу, такі як вуглекислий газ (CO₂), не є вибухонебезпечними, однак вони можуть створювати ситуації з низьким рівнем кисню, що також може бути небезпечно для людей.

2.2. Наявність пожежонебезпечних матеріалів

- При зберіганні та транспортуванні біогазу можуть використовуватися резервуари та труби, які можуть піддаватися механічним пошкодженням, що призводить до витоків газу і потенційних загроз.
- Біогазові установки можуть використовуватися в приміщеннях з іншими пожежонебезпечними речовинами, що збільшує загальний рівень безпеки.

2.3. Неправильна вентиляція

- Погано спроектована або недостатня вентиляція може сприяти накопиченню метану в приміщеннях, що збільшує ризик вибуху навіть від незначної іскри або нагріву.

3. Заходи для забезпечення пожежовибухобезпеки

3.1. Проектування і будівництво установок

- **Зона безпеки:** При проектуванні біогазових установок необхідно враховувати створення зон безпеки навколо обладнання, що працює з горючими газами. Це включає вибір матеріалів для будівництва та оснащення приміщень вибухостійкими матеріалами та конструкціями.
- **Нормативне розташування:** Всі резервуари для зберігання біогазу повинні бути розташовані в зонах, що забезпечують безпеку у разі витoku газу.
- **Пожежонебезпечні зони** повинні бути чітко визначені на підприємстві, і до таких зон повинні застосовуватися спеціальні вимоги для робочих, обладнання та електричних систем.

3.2. Контроль за концентрацією метану

- **Системи детекції та моніторингу:** Необхідно встановити сучасні датчики для виявлення концентрації метану в повітрі на всіх критичних ділянках (резервуари, компресори, трубопроводи, приміщення з високою концентрацією біогазу). Це дозволяє своєчасно виявляти можливі витоки та попереджати вибухи.
- **Автоматичні системи аварійного відключення:** Якщо концентрація метану перевищує допустимий рівень, система повинна автоматично зупиняти процеси, які можуть сприяти вибуху, та активувати вентиляційні системи для швидкого розбавлення газу.

3.3. Вентиляція і вентиляційні системи

Природна вентиляція: У приміщеннях, де може накопичуватися метан, необхідно забезпечити природну вентиляцію для запобігання накопиченню газу. Вентиляційні отвори мають бути розміщені таким чином, щоб гарантувати рівномірний потік повітря і запобігти потраплянню вибухонебезпечних сумішей.

- **Механічна вентиляція:** У разі необхідності, наприклад, у закритих приміщеннях, повинні використовуватися потужні вентиляційні системи для швидкого виведення метану з приміщень.

3.4. Запобігання витокам біогазу

- **Технічне обслуговування та контроль герметичності:** Регулярне обслуговування і перевірка герметичності всіх трубопроводів і резервуарів для біогазу. Для цього застосовуються методи візуального огляду, а також перевірка за допомогою спеціальних детекторів витоків.
- **Запобіжні клапани:** Використання запобіжних клапанів для запобігання надмірному тиску в резервуарах і трубопроводах, що може призвести до витоку газу.

3.5. Пожежогасіння та засоби для боротьби з вибухами

- **Протипожежне обладнання:** Обладнання, що працює з біогазом, повинно бути оснащено системами автоматичного гасіння пожеж, такими як спринклери або системи подачі інертних газів для загасання.
- **Місця для гасіння вибухів:** У разі вибуху або сильної пожежі на підприємстві повинні бути забезпечені резервні джерела енергії для роботи аварійних систем вентиляції та пожежогасіння, а також спеціальні засоби для нейтралізації вибухових газів.

3.6. Навчання і підготовка персоналу

- **Пожежно-рятувальні навчання:** Працівники, які працюють в зонах підвищеного ризику вибухів та пожеж, повинні проходити регулярне навчання з пожежної безпеки та дій у випадку витоку біогазу.
- **Інструктажі та плани евакуації:** Кожен працівник повинен бути ознайомлений з планами евакуації, схемами розташування засобів пожежогасіння, а також зі спеціальними заходами у разі витоку метану.

4. Регулярний моніторинг і технічне обслуговування

- **Перевірка систем детекції газу:** Регулярні перевірки датчиків метану та інших токсичних газів для їх працездатності та своєчасної заміни.
- **Аудит безпеки:** Проведення регулярних аудитів з оцінки пожежної та вибухової небезпеки на підприємстві, виявлення нових потенційних загроз та вдосконалення заходів для їх мінімізації.

ВИСНОВОК

У роботі розглянуто вплив промислових підприємств, на стан атмосферного повітря та роль мікроводоростей у зменшенні негативного впливу газових викидів. Проаналізовано методи моніторингу забруднень, сучасне обладнання для їх виявлення та реєстрації, а також перспективи біологічного очищення атмосферного повітря.

Основні висновки:

1. Встановлено, що промислові підприємства є значним джерелом забруднення атмосферного повітря, і мікроводорості можуть відігравати ключову роль у зменшенні негативного впливу газових викидів через їх здатність до біологічного очищення.
2. Проаналізовано сучасні методи моніторингу забруднень, які включають використання спеціалізованого обладнання для виявлення та реєстрації шкідливих речовин, що є необхідним етапом для ефективного контролю стану повітря.
3. Досліджено механізм поглинання вуглекислого газу хлорофілвмісними мікроводоростями, а також особливості їх внутрішньої будови, що забезпечують ефективність цих процесів у природних і штучних умовах.
4. Надано характеристику поширення мікроводоростей та визначено їхнє значення у різних сферах, включаючи екологічні, промислові та енергетичні застосування.
5. Встановлено, що Сульфур є важливим макроелементом для розвитку клітин *S. vulgaris*, оскільки його дефіцит гальмує основні фізіологічні процеси, тоді як оптимальна концентрація сприяє підвищенню продуктивності клітин, збільшенню вмісту білків та жирних кислот.
6. Під час експерименту встановлено, що концентрація CO₂ зменшується у великій кількості та виділяється багато O₂, що сприяє покращенню повітря.

Таким чином, запропоновані методи та технології можуть значно зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище та сприяти сталому розвитку.

Список літератури

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/>
2. Вольчин І. А. - Викиди діоксиду вуглецю на українських вугільних теплових електростанціях, Гапонич Л. С. (2018). Каталог Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: <http://search.nbuv.gov.ua/publ/REF-0000710686>
3. Das P., Aziz S. S., Obbard J. P. Two phase microalgae growth in the open system for enhanced lipid productivity. *Renewable Energy*. 2011. Vol. 36, no. 9. P. 2524–2528. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148111000784?via%3Dihub>
4. Фахразієв І. З., Зацаринна Ю. Економічні та технологічні переваги використання газотурбінних установок на ТЕС. *Вісник Казань*, 2013 року. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-i-tehnologicheskie-preimuschestva-ispolzovaniya-gazoturbinnih-ustanovok-na-tes>
5. Nedellec V., Rabl A. Costs of Health Damage from Atmospheric Emissions of Toxic Metals: Part 2-Analysis for Mercury and Lead. *Risk Analysis*. 2016. Vol. 36, no. 11. P. 2096–2104. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/risa.12598>
6. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2017 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyshha-v-ukrayini/>
7. Енергетична безпека України: методологія системного аналізу та стратегічного планування: аналіт. доп. / [Суходоля О. М., Харазішвілі Ю. М., Бобро Д. Г., Сменковський А. Ю., Рябцев Г. Л., Завгородня С. П.] ; за заг. ред. О. М. Суходолі. – Київ : НІСД, 2020. – 178 с. URL: <https://niss.gov.ua/publikacii/analitichni-dopovidi/energetichna-bezpeka-ukraini-metodologiya-sistemnogo-analizu-ta>

8. Volchyn I., Haponych L. CARBON DIOXIDE EMISSIONS AT THE UKRAINIAN PULVERIZED-COAL THERMAL POWER PLANTS. Scientific Works of National University of Food Technologies. 2018. Vol. 24, no. 6. P. 131–142. URL: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-617>
9. Guiry, M. D., & Guiry, G. M. "AlgaeBase: World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway." URL: <http://www.algaebase.org>.
10. Лекція «Моніторинг довкілля» URL: <https://goo.su/NUGpm58>
11. . Біологічна очистка та дезодорація газоповітряних викидів : навч. посіб. / О. В. Шестопапов, Г. Ю. Бахарєва, О. М. Філенко та ін.– Х.: НТУ «ХП», 2015. – 116 с. URL:<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/ec54f1bd-92af-46a3-82e0-cb73d3aaeb10/content>
12. Стаття «Нові дослідження для свіжого повітря: використання мікробів для видалення забруднюючих речовин у приміщенні» URL:<https://phys.org/news/2023-12-fresh-air-harnessing-microbes-indoor.html>
13. Стаття «Дитячий майданчик із водоростями очищатиме повітря, працюючи від енергії сонця і руху дітей» URL: <https://www.epochtimes.com.ua/novi-tehnologiyi-ta-vidkryttya/dytyachyy-maydanchyk-iz-vodorostyamy-ochyshchatyme-povitrya-pracyuyuchy-vid-energiyi-soncyu-i-ruhu-139031>
14. Стаття «Водорості допоможуть очистити повітря» URL:<https://podrobnosti.ua/2298137-vodorost-dopomozhut-ochistiti-povtrja.html>
15. Carl Safi, Bachar Zebib, Othmane Merah, Pierre-Yves Pontalier, Carlos Vaca-Garcia. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*. Renewable and Sustainable Energy. 2014. № 35. С. 265–278.
16. Біотехнології в екології : навч. посібник / А.І. Горова, С.М. Лисицька, Б 63 А.В. Павличенко, Т.В. Скворцова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 184 с
17. Проектні рішення у розробці апаратів біологічної очистки газоподібних викидів: монографія / Л. В. Кричковська, Л. А. Васьковець, І. В. Гуренко та ін.; за ред. Л. В. Кричковської. – Харків: НТУ «ХП», 2014. – 208 с URL:

<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e235470d-c5e5-4724-b3a4-8f7a95b30400/content>

18. Біологічні методи охорони навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами. Монографія / В. П. Шапорев, О. В. Шестопапов, О. О. Мамедова, Г. Ю. Бахарєва та ін. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – 116 с.

19. Стаття «Виробництво біогазу з водоростей з упором на робочі умови та механізми перетворення» URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023>