

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Міністерства освіти і науки України  
Інститут нафтогазової інженерії  
Кафедра технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці

Медвідь Марія Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК \_\_\_\_\_  
(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

### Боротьба з викидами метану в енергетичному секторі

(назва роботи)

Технології захисту навколишнього середовища

(назва освітньої програми)

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ М.М. Медвідь

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник

Коцюбинський Андрій Олегович,  
к.фіз-мат.н., доцент кафедри ТЗБП

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

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут нафтогазової інженерії  
Кафедра технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці  
ОПП Технології захисту навколишнього середовища

Затверджую  
зав. кафедри ТЗБП  
Галина ГРИЦУЛЯК  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Медвідь Марії Миколаївні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Європейський досвід застосування хімічних реагентів у системах  
очистки питної води

керівник роботи: Коцюбинський Андрій Олегович,  
к.фіз-мат.н., доцент кафедри ТЗБП

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання керівника)

затверджені наказом університету від “ \_\_\_ ” жовтня 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін здачі закінченої роботи “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки

---

---

---

---

---

5. Перелік текстового та графічного матеріалу в презентації

---

---

---

---

---

---

---



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- AGMP** – Антропогенні викиди метану від нафтогазових операцій
- ALS** – Artificial Lift Systems (системи штучного підйому)
- АГРС** – автоматична газорозподільна станція
- АТ** – Акціонерне товариство
- ВТВ** – виробничо-технологічні витрати
- ГВП** – глобальний потенціал потепління
- ГПА** – газоперекачувальний агрегат
- ГПЗ** – газопереробний завод
- ГПУ** – газопромислове управління
- ГРП** – гідророзрив пласта
- ГРС** – газорозподільна станція
- ДКС** – дотискна компресорна станція
- ДПГГК** – дільниця з підготовки газу та газового конденсату
- ЄБРР** – Європейський банк реконструкції та розвитку
- ЄС** – Європейський Союз
- КС** – компресорна станція
- LDAR** – Leak Detection and Repair (виявлення та усунення витоків)
- НВВ** – Національно визначений внесок
- НПЗ** – нафтопереробний завод
- ОГТСУ** – Оператор газотранспортної системи України
- OGMP** – Oil & Gas Methane Partnership
- ООН** – Організація Об'єднаних Націй
- ПГ** – парникові гази
- РКЗК** – Рамкова Конвенція про зміну клімату
- CO<sub>2</sub>** – діоксид вуглецю (вуглекислий газ)
- СОУ** – Стандарт Організації України
- ТДПУ** – тимчасова дослідно-промислова установка
- УКПГ** – установка комплексної підготовки газу
- УКПНГ** – установка комплексної підготовки нафти і газу
- УПГ** – установка підготовки газу
- УПГГК** – управління з переробки газу та газового конденсату
- УППГ** – установка попередньої підготовки газу
- УППНГ** – установка попередньої підготовки нафти і газу
- GWP** – Global Warming Potential (глобальний потенціал потепління)
- IPCC** – Intergovernmental Panel on Climate Change
- UNEP** – United Nations Environment Programme (Програма ООН з охорони навколишнього середовища)

## РЕФЕРАТ

### Магістерської роботи на тему: «Боротьба з викидами метану в енергетичному секторі»

Виконала студент: Медвідь Марія Миколаївна

Магістерська робота складається з 96 листів друкованого тексту, 5 рисунків, 1 таблиць і налічує 41 джерел використаної літератури.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** МЕТАН, ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ, OGMP 2.0, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕКТОР, МОНІТОРИНГ, НЕКОНТРОЛЬОВАНІ ВИТОКИ, ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ, НАФТОГАЗОВИЙ СЕКТОР, ГАЗОВИДОБУВАННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

**Об'єкт дослідження:** викиди метану на об'єктах видобутку та наземної інфраструктури енергетичного сектору.

**Мета дослідження:** проаналізувати джерела викидів метану в енергетичному секторі, дослідити методи їх моніторингу та кількісного визначення, розробити практичні рекомендації щодо скорочення викидів метану на підприємствах нафтогазової галузі відповідно до вимог міжнародної системи звітності OGMP 2.0.

**Предмет дослідження:** методи моніторингу, обліку та скорочення викидів метану від об'єктів видобутку природного газу, підготовки та транспортування вуглеводнів.

**Методи дослідження:** аналіз звітних матеріалів АТ Укргазвидобування щодо виробничо-технологічних витрат і нормативних втрат газу, вивчення екологічної звітності, аналіз даних Національного кадастру викидів парникових газів, дослідження системи звітності OGMP 2.0, застосування методів прямих вимірювань викидів метану на виробничих об'єктах.

Метан є другим за значимістю парниковим газом, потенціал глобального потепління якого в розрахунку на двадцять років перевищує вплив діоксиду вуглецю у вісімдесят три рази. Енергетичний сектор, зокрема нафтогазова галузь, є одним з найбільших антропогенних джерел викидів метану в атмосферу.

У магістерській роботі проведено комплексний аналіз проблеми викидів метану на об'єктах АТ Укргазвидобування. Досліджено основні категорії джерел викидів, включаючи спалювання на факелах, неконтрольовані витоки через негерметичність обладнання, стравлювання

газу при технологічних операціях. Проаналізовано міжнародну систему звітності OGMP 2.0, до якої долучилася Група Нафтогаз у 2020 році.

Проведено детальну оцінку викидів метану на чотирьох основних активах компанії з експлуатаційним фондом понад дві з половиною тисячі свердловин. За результатами звітування за 2023 рік загальний обсяг викидів метану становив три тисячі сімсот п'ятдесят сім метричних тонн. Найбільший внесок дає стравлювання газу при ремонтах та технологічних операціях.

**Результати досліджень:** проаналізовано структуру викидів метану на об'єктах АТ Укргазвидобування, виявлено основні джерела викидів, сформовано звіт OGMP 2.0 за 2023 рік. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення системи моніторингу та впровадження програм виявлення і усунення витоків. Обґрунтовано економічну ефективність заходів зі скорочення викидів через зменшення втрат природного газу та відповідність міжнародним екологічним стандартам.

## ABSTRACT

**Master's thesis on the topic: "Combating Methane Emissions in the Energy Sector"**

**Performed by student: Medvid Mariia Mykolaivna**

**The master's thesis consists of 96 pages of printed text, 5 figures, 1 tables, and includes 41 sources of literature.**

**KEYWORDS:** METHANE, GREENHOUSE GAS EMISSIONS, OGMP 2.0, ENERGY SECTOR, MONITORING, FUGITIVE EMISSIONS, EMISSION SOURCES, OIL AND GAS SECTOR, GAS PRODUCTION, ENVIRONMENTAL SAFETY

**Object of research:** methane emissions at production facilities and surface infrastructure of the energy sector.

**Research objective:** to analyze methane emission sources in the energy sector, investigate methods for their monitoring and quantification, develop practical recommendations for reducing methane emissions at oil and gas industry enterprises in accordance with the requirements of the international OGMP 2.0 reporting system.

**Subject of research:** methods of monitoring, accounting, and reducing methane emissions from natural gas production, hydrocarbon preparation, and transportation facilities.

**Research methods:** analysis of reporting materials of JSC Ukrgezvydobuvannya on production and technological gas consumption and standard gas losses, study of environmental reporting, analysis of National Greenhouse Gas Inventory data, investigation of the OGMP 2.0 reporting system, application of direct methane emission measurement methods at production facilities.

Methane is the second most significant greenhouse gas, with a global warming potential over a twenty-year period that exceeds the impact of carbon dioxide by eighty-three times. The energy sector, particularly the oil and gas industry, is one of the largest anthropogenic sources of methane emissions into the atmosphere.

The master's thesis conducted a comprehensive analysis of the methane emissions problem at JSC Ukrgezvydobuvannya facilities. The main categories of emission sources were investigated, including flaring, fugitive emissions through equipment leakage, and gas venting during technological operations. The international OGMP 2.0 reporting system, which the Naftogaz Group joined in 2020, was analyzed.

A detailed assessment of methane emissions was conducted at the company's four main assets with an operational fund of over two and a half thousand wells. According to the 2023 reporting, the total volume of methane emissions amounted to three thousand seven hundred fifty-seven metric tons. The largest contribution comes from gas venting during repairs and technological operations.

**Research results:** the structure of methane emissions at JSC Ukrgezvydobuvannya facilities was analyzed, main emission sources were identified, and an OGMP 2.0 report for 2023 was compiled. Recommendations for improving the monitoring system and implementing leak detection and repair programs were developed. The economic efficiency of emission reduction measures through decreased natural gas losses and compliance with international environmental standards was substantiated.

## **ЗМІСТ**

### **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

#### **ВСТУП**

### **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИКИДІВ МЕТАНУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ**

- 1.1. Метан як парниковий газ та його вплив на зміну клімату
- 1.2. Міжнародні ініціативи та регуляторні вимоги щодо скорочення викидів метану
- 1.3. Джерела викидів метану в нафтогазовій галузі
- 1.4. Огляд систем звітності та моніторингу викидів метану (OGMP 2.0)

### **РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ТА КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ МЕТАНУ**

- 2.1. Класифікація джерел викидів метану на об'єктах видобутку та транспортування
- 2.2. Технології та обладнання для виявлення витоків метану
- 2.3. Методології кількісного визначення обсягів викидів метану
- 2.4. Системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів

### **РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ВИКИДІВ МЕТАНУ НА ОБ'ЄКТАХ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ**

- 3.1. Характеристика основних джерел викидів метану в Україні
- 3.2. Аналіз даних звітності OGMP 2.0 та національного кадастру викидів
- 3.3. Оцінка викидів метану на об'єктах видобутку та наземної інфраструктури
- 3.4. Виявлені проблеми та недоліки існуючої системи обліку викидів

### **РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ МЕТАНУ НА ГАЗОРОЗПОДІЛЬЧІЙ СТАНЦІЇ**

- 4.1. Характеристика об'єкта дослідження – газорозподільча станція на території університету
- 4.2. Методика проведення вимірювань викидів метану
  - 4.2.1. Застосування переносного аналізатора метану
  - 4.2.2. Застосування газового хроматографа
- 4.3. Результати експериментальних досліджень
  - 4.3.1. Виявлені джерела витоків метану
  - 4.3.2. Кількісна оцінка обсягів викидів метану
- 4.4. Аналіз отриманих даних та порівняння з нормативними показниками

### **РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ МЕТАНУ**

- 5.1. Технологічні рішення для зменшення викидів на об'єктах видобутку та розподілу газу
- 5.2. Програми виявлення та усунення витоків (LDAR)

5.3. Модернізація обладнання та інфраструктури

5.4. Економічна ефективність заходів зі скорочення викидів метану

## РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО БОРОТЬБИ З ВИКИДАМИ МЕТАНУ

6.1. Удосконалення системи моніторингу та звітності

6.2. Впровадження найкращих доступних технологій

6.3. Рекомендації щодо зменшення витоків на газорозподільчих станціях

6.4. Організаційні заходи та підготовка персоналу

6.5. Інтеграція вимог OGMP 2.0 у корпоративні практики

6.6. Рекомендації щодо зменшення викидів метану для АТ

"Укргазвидобування"

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИКИДІВ МЕТАНУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ**

### **1.1. Метан як парниковий газ та його вплив на зміну клімату**

Зміна клімату є однією з найбільш актуальних глобальних проблем сучасності, вирішення якої визначає подальшу долю людства. Антропогенні викиди парникових газів в атмосферу призводять до підвищення середньої температури на планеті, що супроводжується екстремальними погодними явищами, танненням льодовиків, підвищенням рівня Світового океану та іншими небезпечними наслідками.

Метан є найпростішим за хімічним складом аліфатичним вуглеводнем, який становить основну складову частину природного газу. Метан набуває статусу парникового газу після його потрапляння в атмосферу в результаті витрат та втрат природного газу, а також його неповного спалювання. Саме тому питання контролю та скорочення викидів метану набуває особливої актуальності в контексті боротьби зі зміною клімату.

Відповідно до даних звіту Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату, метан є парниковим газом, вплив однієї тонни викидів якого перевищує вплив однієї тонни викидів діоксиду вуглецю у двадцять сім – тридцять разів у розрахунку на сто років. У розрахунку на двадцять років коефіцієнт потенціалу глобального потепління метану є ще вищим і становить вісімдесят – вісімдесят три одиниці. Це означає, що тонна метану за двадцять років нагріває атмосферу у вісімдесят три рази більше, ніж тонна вуглекислого газу.

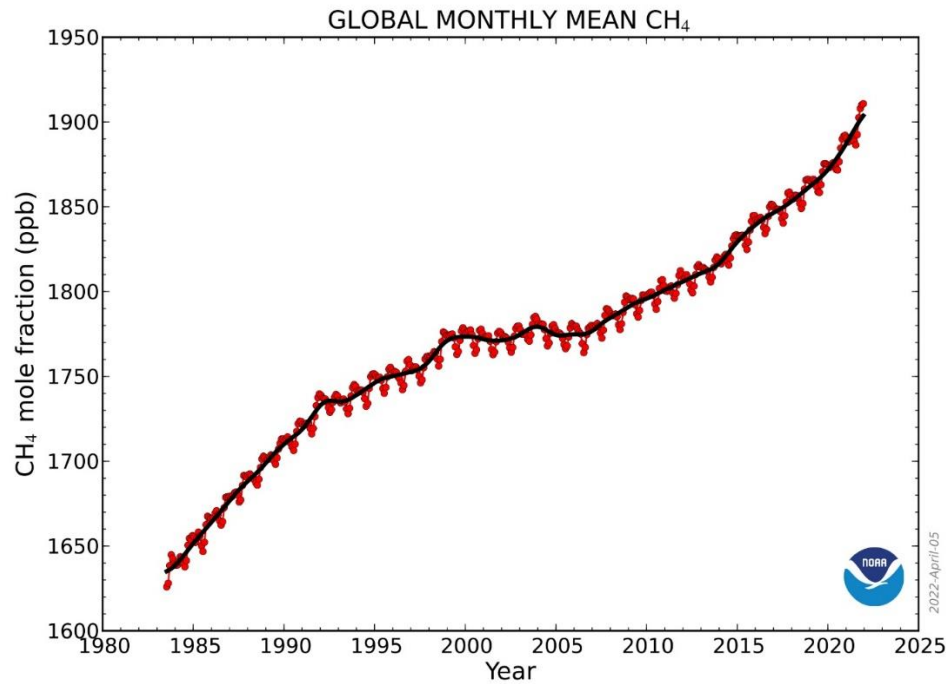


Рис. 1.1 Тенденція CH<sub>4</sub>: Цей графік показує глобально усереднену, середньомісячну кількість атмосферного метану, визначену з морських поверхневих точок з 1983 року. Значення за останній рік є попередніми. (Глобальна лабораторія моніторингу NOAA)

Ця унікальна особливість метану робить боротьбу з його викидами надзвичайно важливою для досягнення короткострокових кліматичних цілей. Враховуючи відносно короткий час перебування метану в атмосфері, який становить близько дванадцяти років порівняно зі століттями для діоксиду вуглецю, скорочення викидів метану може дати швидкий та відчутний ефект у боротьбі зі зміною клімату.

У травні двох тисяч двадцять першого року Програма Організації Об'єднаних Націй з охорони навколишнього середовища та Коаліція з питань клімату та чистого повітря опублікували звіт щодо глобальних викидів метану, де наголошується на необхідності впровадження термінових заходів для їх скорочення. За даними цього звіту, основними джерелами антропогенних викидів метану є сільське господарство, яке продукує близько сорока відсотків від загального обсягу емісії. Енергетичний сектор, до якого входять нафтогазова промисловість та вугільна промисловість, відповідає приблизно за тридцять п'ять відсотків викидів. Сектор відходів генерує близько двадцяти відсотків викидів метану, а решта п'ять відсотків припадає на інші джерела.

За різними оцінками, одним з найбільших джерел викидів метану є нафтогазовий сектор, адже викиди метану виникають по всьому ланцюжку

створення доданої вартості. Метан потрапляє в атмосферу на всіх етапах виробничого процесу, починаючи від видобутку та закінчуючи системою передачі і розподілу кінцевим споживачам. При цьому п'ятдесят чотири відсотки викидів метану становлять неконтрольовані витоки, які відбуваються внаслідок недосконалості обладнання, зносу інфраструктури та технологічних особливостей виробничих процесів.

Відповідно до звіту Програми ООН з охорони навколишнього середовища та Коаліції з питань клімату та чистого повітря, зменшення техногенних викидів метану на сорок відсотків до дві тисячі тридцятого року сприятиме досягненню цілей Паризької угоди щодо обмеження глобального потепління до півтора градусів Цельсія порівняно з доіндустріальним рівнем. Це амбітне, але досяжне завдання потребує скоординованих зусиль на міжнародному, національному та корпоративному рівнях.

У зв'язку з цим питання скорочення викидів та витоків метану в нафтогазовому секторі економіки набуває надзвичайної актуальності та потребує комплексного підходу. Такий підхід повинен включати удосконалення систем моніторингу та обліку викидів, що дозволить отримати точну картину масштабів проблеми. Необхідним є також впровадження сучасних технологій виявлення та усунення витоків, які базуються на новітніх досягненнях науки і техніки. Модернізація застарілого обладнання та інфраструктури також відіграє ключову роль у зменшенні викидів метану. Нарешті, розробка та впровадження ефективних регуляторних механізмів створює необхідні стимули для підприємств енергетичного сектору активно займатися скороченням викидів.

За даними останнього Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів за період з тисяча дев'ятсот дев'яностого по дві тисячі дев'ятнадцятий роки, частка викидів метану у загальній структурі викидів парникових газів в Україні складає двадцять один відсоток без урахування сектору землекористування, зміни в землекористуванні та лісового господарства. Це робить метан другим за величиною парниковим газом після діоксиду вуглецю в структурі національних викидів.

У дві тисячі дев'ятнадцятому році викиди метану в Україні склали шістдесят дев'ять цілих вісім десятих мільйона тонн в еквіваленті діоксиду вуглецю, що майже на шістдесят два відсотки менше порівняно з рівнем тисяча дев'ятсот дев'яностого року. Водночас ці викиди на тринадцять відсотків перевищують показник дві тисячі п'ятнадцятого року. Незважаючи на загальний тренд падіння викидів метану з тисяча дев'ятсот дев'яностого року до дві тисячі п'ятнадцятого року, починаючи з дві тисячі шістнадцятого

року спостерігається їх щорічне зростання. Ця тенденція викликає занепокоєння та вимагає активних дій з боку держави та бізнесу.

Найбільше викидів метану в Україні спостерігається в енергетичному секторі, який відповідає за шістдесят шість відсотків від загального обсягу емісії цього парникового газу. Найбільшими джерелами викидів метану в енергетиці є видобуток вугілля, процеси виробництва, транспортування, зберігання, розподілу та споживання нафти і природного газу. Саме тому енергетичний сектор має стати пріоритетною сферою для впровадження заходів зі скорочення викидів метану.

Сектор енергетики в Україні включає викиди від спалювання вуглецевмісних палив, а також витоки парникових газів при видобутку, переробці, зберіганні, транспортуванні та споживанні палива. У останньому звітному році викиди парникових газів в енергетиці сягнули близько двохсот дев'ятнадцяти мільйонів тонн в еквіваленті діоксиду вуглецю. Структура викидів за видами парникових газів демонструє певну динаміку. Якщо у тисяча дев'ятсот дев'яностому році викиди діоксиду вуглецю, метану та оксиду азоту склали відповідно вісімдесят одну цілу сім десятих відсотка, сімнадцять цілих шість десятих відсотка та нуль цілих сім десятих відсотка від загальних викидів в енергетичному секторі, то у дві тисячі дев'ятнадцятому році частка викидів діоксиду вуглецю скоротилася до сімдесяти восьми цілих двох десятих відсотка, а метану зросла до двадцяти одної цілої однієї десятої відсотка. Це свідчить про більш повільне скорочення викидів метану порівняно з іншими парниковими газами.

Майже вісімдесят відсотків викидів парникових газів в енергетиці відбуваються внаслідок спалювання вуглецевмісних палив. При цьому вивільняється практично лише діоксид вуглецю, в той час як викиди метану та оксиду азоту складають менше одного відсотка. Натомість метан становить близько дев'яноста п'яти відсотків витоків парникових газів при видобутку, переробці, зберіганні, транспортуванні та споживанні природного газу. У дві тисячі дев'ятнадцятому році витоки парникових газів становили майже сорок вісім мільйонів тонн в еквіваленті діоксиду вуглецю, або близько двадцяти двох відсотків всіх викидів парникових газів в секторі енергетики.

При цьому витоки парникових газів при транспортуванні, розподілі та споживанні природного газу перевищують тридцять три мільйони тонн в еквіваленті діоксиду вуглецю, що на сорок п'ять цілих вісім десятих відсотка менше за рівень викидів тисяча дев'ятсот дев'яностого року, але на вісім цілих чотири десятих відсотка вище за викиди у дві тисячі дев'ятнадцятому

році. Такі коливання свідчать про нестабільність ситуації та необхідність посилення контролю за витоками.

Слід зазначити, що невизначеність оцінки витоків метану є досить високою і складає двадцять три цілих шість десятих відсотка. Ця невизначеність пов'язана передусім з недостатньою точністю коефіцієнтів викидів метану при споживанні природного газу промисловими установками та електростанціями. На додачу, розрахунок витоків метану для газорозподільних мереж ускладнюється відсутністю достовірної статистики щодо втрат у споживачів газу, реального стану газопроводів та ефективності газового обладнання, зокрема котлів. Таким чином, методологія оцінки викидів парникових газів у цьому секторі потребує подальшого вдосконалення та розробки більш точних методів вимірювання.

Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що метан є потужним парниковим газом, скорочення викидів якого може дати швидкий та значний ефект у боротьбі зі зміною клімату. Енергетичний сектор, зокрема нафтогазова галузь, є одним з основних джерел викидів метану як у світі загалом, так і в Україні зокрема. Це робить енергетичний сектор пріоритетною сферою для впровадження комплексних заходів зі скорочення емісії парникових газів, що включають технологічні, організаційні та регуляторні інструменти. Успішна реалізація цих заходів дозволить Україні виконати свої міжнародні зобов'язання в рамках Паризької угоди та внести вагомий вклад у глобальні зусилля з боротьби зі зміною клімату.

## **1.2. Міжнародні ініціативи та регуляторні вимоги щодо скорочення викидів метану**

Глобальна проблема зміни клімату вимагає скоординованих міжнародних зусиль та створення дієвих механізмів регулювання викидів парникових газів. Протягом останніх десятиліть світова спільнота докладає значних зусиль для формування системи міжнародних угод та ініціатив, спрямованих на обмеження антропогенного впливу на клімат. Особливу увагу в цьому контексті привертають викиди метану, скорочення яких може дати швидкий та відчутний ефект у боротьбі з глобальним потеплінням.

Фундаментальним міжнародним документом у сфері боротьби зі зміною клімату є Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, прийнята у тисяча дев'ятсот дев'яносто другому році. Конвенція встановила базові принципи міжнародного співробітництва у сфері клімату та створила інституційну основу для подальших переговорів. Україна ратифікувала Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату у тисяча дев'ятсот

дев'яносто шостому році, взявши на себе зобов'язання щодо обмеження викидів парникових газів та регулярної звітності про їх обсяги.

Наступним важливим кроком у розвитку міжнародного кліматичного режиму стало прийняття Кіотського протоколу у тисяча дев'ятсот дев'яносто сьомому році, який вперше встановив юридично обов'язкові цільові показники скорочення викидів для розвинених країн. Хоча Кіотський протокол не виділяв метан як окремий пріоритет, він заклав основу для системи обліку та звітності щодо всіх основних парникових газів, включаючи метан.

Якісно новий етап міжнародного кліматичного співробітництва розпочався з підписанням Паризької угоди у грудні дві тисячі п'ятнадцятого року. Паризька угода встановила амбітну мету утримати зростання глобальної середньої температури значно нижче двох градусів Цельсія порівняно з доіндустріальним рівнем та докладати зусиль для обмеження підвищення температури до півтора градусів Цельсія. Для досягнення цих цілей всі країни-учасниці зобов'язалися розробити та подати свої Національно визначені внески, які визначають конкретні зобов'язання щодо скорочення викидів парникових газів.

Україна ратифікувала Паризьку угоду у вересні дві тисячі шістнадцятого року. Оновлений Національно визначений внесок України передбачає скорочення викидів парникових газів до дві тисячі тридцятого року на тридцять п'ять відсотків порівняно з рівнем тисяча дев'ятсот дев'яностого року. Особливу увагу в Національно визначеному внеску приділено енергетичному сектору, який є основним джерелом викидів парникових газів в Україні. Зокрема, передбачається зменшення втрат природного газу під час транспортування на вісімдесят відсотків у дві тисячі тридцятому році порівняно з дві тисячі п'ятнадцятим роком, що має стати вагомим внеском у досягнення загальнонаціональної цілі.



Рис. 1.2. Саміт присвячений підписанню Паризької кліматичної угоди 12 грудня 2015 року.

Усвідомлюючи особливу роль метану як потужного, але короткоживучого парникового газу, міжнародна спільнота ініціювала низку спеціалізованих ініціатив, спрямованих саме на скорочення його викидів. Однією з найбільш значущих є Глобальне зобов'язання щодо метану, оголошене на Конференції сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату у Глазго в листопаді дві тисячі двадцять першого року. До цієї ініціативи приєдналися понад сто п'ятдесят країн, включаючи Україну, які зобов'язалися спільно скоротити глобальні антропогенні викиди метану щонайменше на тридцять відсотків до дві тисячі тридцятого року порівняно з рівнем дві тисячі двадцятого року. [1]

Глобальне зобов'язання щодо метану передбачає не лише встановлення кількісних цілей, але й розвиток міжнародного співробітництва у сфері моніторингу викидів, обміну технологіями та найкращими практиками скорочення емісії метану. Особлива увага приділяється трьом основним секторам, що є найбільшими джерелами викидів метану: енергетичному сектору, сільському господарству та управлінню відходами. Для енергетичного сектору пріоритетними напрямками визначено зменшення витоків при видобутку, транспортуванні та розподілі природного газу,

модернізацію застарілої інфраструктури та впровадження систем виявлення і усунення витоків.

Європейський Союз займає провідні позиції у розробці та впровадженні політик скорочення викидів метану. У жовтні дві тисячі двадцятого року Європейська Комісія представила окрему Стратегію ЄС зі скорочення викидів метану, яка визначає комплексний підхід до вирішення цієї проблеми як на території Європейського Союзу, так і на глобальному рівні. Стратегія охоплює всі основні сектори економіки, що генерують викиди метану, з особливим акцентом на енергетичному секторі, який відповідає за значну частку емісії в Європі.

Стратегія Європейського Союзу базується на трьох основних принципах. По-перше, вона передбачає покращення системи вимірювання, звітності та верифікації викидів метану для отримання більш точної та повної картини їх обсягів та джерел. По-друге, Стратегія спрямована на цільове скорочення викидів метану у ключових секторах через впровадження найкращих доступних технологій та практик. По-третє, Стратегія передбачає посилення міжнародного співробітництва, оскільки значна частина викидів метану, пов'язаних зі споживанням енергії в ЄС, відбувається за межами Європейського Союзу при видобутку та транспортуванні імпортованих енергоносіїв.

Для енергетичного сектору Стратегія ЄС встановлює низку конкретних вимог та рекомендацій. Зокрема, передбачається обов'язковий моніторинг та звітність щодо викидів метану для всіх операторів нафтогазового сектору, включаючи імпортерів енергоносіїв. Планується поступова заборона рутинного спалювання супутнього газу на факелах та практики вентиляції метану в атмосферу, крім випадків, коли це необхідно з міркувань безпеки. Стратегія також передбачає впровадження обов'язкових програм виявлення та усунення витоків на всіх об'єктах видобутку, транспортування та зберігання природного газу.

Логічним продовженням Стратегії стала розробка конкретних регуляторних інструментів. Європейський Парламент та Рада Європейського Союзу активно працюють над прийняттям Регламенту щодо скорочення викидів метану в енергетичному секторі. Цей Регламент передбачає внесення змін до Регламенту про заснування Агентства Європейського Союзу з питань співпраці органів регулювання енергетики та встановлює чіткі вимоги до операторів нафтогазового сектору щодо моніторингу, звітності та скорочення викидів метану. [2]

Проект Регламенту встановлює поетапне впровадження вимог. На першому етапі всі оператори нафтогазового сектору в ЄС повинні будуть

впровадити системи моніторингу викидів метану та регулярно звітувати про їх обсяги. На другому етапі вводяться обов'язкові програми виявлення та усунення витоків з використанням сучасних технологій, включаючи інфрачервоні камери та інші методи дистанційного виявлення. На третьому етапі планується встановлення жорстких обмежень на спалювання газу на факелах та вентиляцію метану, з поступовою заборонаю цих практик, крім випадків, коли це необхідно з міркувань безпеки.

Важливою особливістю Регламенту є поширення його вимог не лише на операторів, що діють на території ЄС, але й на постачальників природного газу з третіх країн. Починаючи з певної дати, імпортери природного газу в Європейський Союз повинні надавати докази того, що газ, який вони постачають, відповідає стандартам ЄС щодо викидів метану. Це створює додаткові стимули для газовидобувних компаній у країнах-експортерах, включаючи Україну, впроваджувати заходи зі скорочення викидів метану для збереження доступу до європейського ринку.

Для України регуляторні вимоги Європейського Союзу набувають особливого значення у зв'язку з її членством у Договорі про Енергетичне співтовариство та Угодою про асоціацію з ЄС. Договір про Енергетичне співтовариство, до якого Україна приєдналася у дві тисячі одинадцятому році, передбачає поступове наближення енергетичного законодавства України до законодавства Європейського Союзу. Угода про асоціацію між Україною та ЄС, ратифікована у дві тисячі четвертому році, також містить положення щодо співпраці у сфері енергетики та довкілля.

Внаслідок цих міжнародних зобов'язань, після ухвалення Регламенту щодо скорочення викидів метану в енергетичному секторі в ЄС, через деякий час він має стати частиною законодавства України або принаймні увійти до порядку денного діалогу Україна - ЄС у сфері енергетики та боротьби зі зміною клімату як законодавство, яке ЄС вимагатиме від України на шляху до членства. Це означає, що українські нафтогазові компанії повинні вже зараз готуватися до виконання цих вимог, впроваджуючи системи моніторингу та звітності викидів метану, а також заходи з їх скорочення.

Паралельно з регуляторними ініціативами розвиваються і добровільні програми співпраці між урядами, міжнародними організаціями та бізнесом. Однією з найбільш успішних є Партнерство у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору другого покоління, запущене Програмою ООН з навколишнього середовища у дві тисячі двадцятому році. Ця ініціатива об'єднує провідні нафтогазові компанії світу, які зобов'язуються впроваджувати найкращі практики моніторингу та скорочення викидів метану.

Партнерство у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору другого покоління є якісно новим етапом розвитку цієї ініціативи. На відміну від попередньої версії, яка базувалася переважно на розрахункових методах оцінки викидів, нова система передбачає перехід до методів, заснованих на прямих вимірюваннях. Це дозволяє значно підвищити точність обліку викидів та забезпечити більшу прозорість звітності. Компанії-учасниці зобов'язуються поетапно впроваджувати систему звітності, рухаючись від базового рівня, який використовує стандартні коефіцієнти викидів, до найвищого рівня, який базується на безперервному моніторингу всіх джерел викидів.

Система звітності Партнерства передбачає п'ять рівнів деталізації звітності, від найпростішого до найбільш детального. Перший рівень базується на загальних оцінках викидів на рівні компанії з використанням стандартних коефіцієнтів. Другий рівень передбачає звітність на рівні окремих активів з використанням більш точних коефіцієнтів. Третій рівень вимагає детальної звітності за типами джерел викидів на кожному активі. Четвертий рівень базується на вимірюваннях викидів від основних типів обладнання. П'ятий, найвищий рівень передбачає безперервний моніторинг всіх значущих джерел викидів з використанням прямих вимірювань. [3]

Наприкінці дві тисячі двадцятого року Група Нафтогаз України, до складу якої входить АТ Укргазвидобування, долучилася до Партнерства у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору другого покоління. Це рішення стало важливим кроком у підготовці українських нафтогазових компаній до виконання майбутніх регуляторних вимог Європейського Союзу та демонстрацією прагнення відповідати найвищим міжнародним стандартам у сфері екологічної відповідальності. Участь у Партнерстві передбачає щорічну звітність про викиди метану та поступове підвищення рівня деталізації цієї звітності.

У травні дві тисячі двадцять першого року Програма ООН з охорони навколишнього середовища за підтримки програми ЄС Горизонт дві тисячі двадцять створила Міжнародний центр спостережень за викидами метану. Цей центр покликаний збирати та перевіряти дані звітності компаній та країн, надаючи міжнародному співтовариству більш глибоке розуміння проблеми глобальних викидів метану. Центр також замовляє дослідження щодо вимірювання викидів метану у виробничих ланцюжках вугільного та нафтогазового секторів, що дозволяє отримати більш точні дані та удосконалити методи вимірювання.

Міжнародний центр спостережень за викидами метану працює у тісній координації з національними урядами, міжнародними організаціями та

приватним сектором для розвитку глобальної системи моніторингу викидів метану. Центр створює спільноту вчених у країнах, що розвиваються, задля напрацювання світового досвіду та спроможності вимірювати викиди метану, зокрема від енергетичного сектору. Він також працює з урядами з питань управління викидами метану для досягнення цілей Паризької угоди.

На національному рівні в Україні також відбувається формування регуляторної бази для моніторингу та скорочення викидів парникових газів. У грудні дві тисячі дев'ятнадцятого року було прийнято Закон України про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів, який встановив правову основу для створення національної системи обліку викидів. У вересні дві тисячі двадцятого року Кабінет Міністрів України затвердив Порядок здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів, який деталізує процедури обліку та звітності.

У червні дві тисячі двадцять першого року Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України видало наказ, яким затвердило Методичні рекомендації з оцінки викидів парникових газів за видами діяльності установок. Ці методичні рекомендації надають детальні інструкції щодо розрахунку викидів парникових газів, включаючи метан, від різних типів промислових установок. Вони базуються на кращих міжнародних практиках та узгоджуються з методологіями, що використовуються в Європейському Союзі.

Таким чином, міжнародні ініціативи та регуляторні вимоги щодо скорочення викидів метану формують комплексну систему, яка охоплює як обов'язкові, так і добровільні механізми. Паризька угода та Глобальне зобов'язання щодо метану встановлюють загальні цілі на глобальному рівні. Стратегія ЄС та відповідні регламенти створюють конкретні регуляторні вимоги для енергетичного сектору. Добровільні ініціативи, такі як Партнерство у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору другого покоління, надають інструменти та платформи для впровадження найкращих практик.

Для України виконання міжнародних зобов'язань щодо скорочення викидів метану є не лише екологічним імперативом, але й економічною необхідністю. Європейський Союз є ключовим торговельним партнером України в енергетичній сфері, і збереження доступу до європейського ринку вимагає відповідності екологічним стандартам ЄС. Крім того, впровадження заходів зі скорочення викидів метану може принести пряму економічну вигоду через зменшення втрат природного газу та підвищення ефективності виробничих процесів. У цьому контексті участь українських нафтогазових

компаній у міжнародних ініціативах та підготовка до виконання майбутніх регуляторних вимог є стратегічно важливим напрямком розвитку галузі.

### **1.3. Джерела викидів метану в нафтогазовій галузі**

Нафтогазова галузь характеризується складним та розгалуженим виробничим ланцюгом, що охоплює всі етапи від пошуку та розвідки родовищ вуглеводнів до постачання кінцевому споживачу. На кожному з цих етапів виникають специфічні джерела викидів метану, які різняться за своїм характером, інтенсивністю та можливостями контролю. Розуміння природи та особливостей цих джерел є критично важливим для розробки ефективних стратегій скорочення викидів парникових газів у галузі.

За походженням викиди парникових газів у нафтогазовій галузі можна розділити на дві основні групи. Перша група включає викиди від спалювання природного газу та інших вуглеводневих палив у технологічних установках, енергетичному обладнанні та на факелах. Ці викиди характеризуються утворенням переважно діоксиду вуглецю, оксидів азоту та невеликої кількості метану внаслідок неповного згоряння. Друга група охоплює супутні летучі викиди, що вивільняються від будь-якої діяльності з природним газом, окрім його спалювання в якості палива. До цієї групи належать неконтрольовані витоки через негерметичність обладнання, технологічні стравлювання, витрати на власні потреби та інші види емісії метану безпосередньо в атмосферу.

Виробничий ланцюг нафтогазової галузі традиційно поділяється на сектори апстрім, мідстрім та даунстрім. Сектор апстрім охоплює всі види діяльності, пов'язані з пошуком, розвідкою та видобуванням вуглеводнів, включаючи буріння свердловин, експлуатацію родовищ та первинну підготовку продукції. Сектор мідстрім включає транспортування природного газу магістральними газопроводами, його зберігання в підземних сховищах та компримування на компресорних станціях. Сектор даунстрім охоплює розподіл газу споживачам через газорозподільні мережі, його переробку на газопереробних заводах та кінцеве споживання. Кожен з цих секторів має специфічні джерела викидів метану, що потребують різних підходів до їх кількісного визначення та скорочення.

На етапі пошуку та розвідки родовищ основним джерелом викидів метану є випробування свердловин та їх освоєння. При бурінні розвідувальних свердловин та проведенні випробувальних робіт для оцінки продуктивності пласта значні обсяги природного газу можуть бути стравлені в атмосферу або спалені на факелі. Особливо інтенсивні викиди виникають при освоєнні свердловин методом гідророзриву пласта, коли в процесі виносу пропанту та технологічних рідин разом з ними виділяються великі

обсяги газу. Хоча ці операції є тимчасовими та не проводяться на постійній основі, вони можуть давати значний внесок у сумарні викиди на стадії розвідки родовища.

Етап видобутку природного газу характеризується найбільшою різноманітністю джерел викидів метану. Головним джерелом є експлуатаційні свердловини, з яких природний газ надходить на поверхню. У процесі експлуатації свердловин виникають технологічні витрати газу на продування свердловин та шлейфів, що необхідно для видалення рідини та забезпечення стабільної роботи. При проведенні капітальних та поточних ремонтів свердловин, геологічних та газодинамічних досліджень відбувається стравлювання газу, обсяги якого залежать від тиску в пласті, дебіту свердловини та тривалості робіт. [4]

Особливу проблему становить експлуатація виснажених родовищ, де знижений пластовий тиск не забезпечує самовиливу газу на поверхню. Для підтримання продуктивності таких свердловин використовуються різні методи штучного підйому рідини, включаючи періодичні продування стиснутим газом, установку плунжерних підйомників та інші технології. Ці процеси супроводжуються додатковими витратами та втратами природного газу. Альтернативні технології, такі як системи штучного підйому рідини з використанням насосів або компресорів, дозволяють значно скоротити ці втрати, проте вимагають додаткових капітальних вкладень.

Установки підготовки газу та газового конденсату є наступною ланкою виробничого ланцюга, де відбуваються значні викиди метану. На цих установках здійснюється сепарація газу від рідини, осушка газу для видалення вологи, очищення від сірководню та діоксиду вуглецю, стабілізація газового конденсату. Кожен з цих процесів має свої специфічні джерела викидів. У сепараторах під час їх продування для видалення накопичених рідини та забруднень відбувається викид газу в атмосферу. При заправці метанольних пристроїв, що використовуються для запобігання гідратуутворенню, також виникають втрати метану.

Установки гліколевої осушки газу є одним з найбільш інтенсивних джерел викидів метану на об'єктах підготовки. Принцип роботи цих установок базується на абсорбції вологи з газового потоку триетиленгліколем або іншими гліколями. У процесі регенерації насиченого вологою гліколю шляхом його нагрівання разом з водяною парою виділяється значна кількість метану, який був розчинений у гліколі. Традиційно цей газ викидається в атмосферу через вентиляційну трубу регенератора. Сучасні технології дозволяють вловлювати ці викиди та направляти газ на корисне

використання, проте на багатьох існуючих установках такі системи не встановлені.

Ємності для зберігання нестабільного газового конденсату та нафти також є джерелом викидів метану. При закачуванні рідини в ємність з неї витісняється газова фаза, яка містить значну кількість метану. Аналогічно, при відкачуванні рідини з ємності в неї надходить повітря, яке потім виноситься разом з газовою фазою при наступному заповненні. Процес дегазації нестабільного конденсату, коли розчинений у ньому газ виділяється при зниженні тиску та підвищенні температури, призводить до додаткових викидів. Використання ємностей з понтонами, що плавають на поверхні рідини, або установок вловлювання парів дозволяє суттєво скоротити ці викиди.

Неконтрольовані витоки через негерметичність обладнання та комунікацій становлять значну частку викидів метану на об'єктах видобутку та підготовки газу. Ці витоки виникають через ущільнення запірної арматури, фланцеві з'єднання трубопроводів, сальникові ущільнення насосів та компресорів, запобіжні клапани та інші компоненти обладнання. Інтенсивність витоків залежить від тиску газу, стану ущільнювальних елементів, якості монтажу та технічного обслуговування обладнання. Особливістю цих джерел є їх велика кількість, географічне розосередження та варіабельність рівня емісії від однотипних компонентів.

Пневматичні пристрої та контрольно-вимірювальні прилади, що використовують природний газ як робоче тіло, є ще одним джерелом постійних викидів метану. Ці пристрої широко застосовуються для управління запірною арматурою, регулювання рівня рідини в ємностях, підтримання тиску та інших технологічних параметрів. У процесі роботи пневматичних пристроїв природний газ періодично або постійно випускається в атмосферу. Заміна пневматичних приводів на електричні або використання систем із замкненим циклом газу дозволяє повністю виключити ці викиди.

Спалювання природного газу на факелах є однією з найбільш видимих форм викидів у нафтогазовій галузі. Факельні установки призначені для безпечного спалювання надлишкового газу в аварійних ситуаціях, при пусках та зупинках обладнання, а також для утилізації супутнього нафтового газу там, де відсутня інфраструктура для його збору та використання. Хоча основна частина метану при спалюванні на факелі перетворюється на діоксид вуглецю, неповне згоряння призводить до прямого викиду метану в атмосферу. Ефективність спалювання залежить від конструкції факельної установки, швидкості вітру, складу газу та режиму роботи.

Транспортування природного газу газозбірними мережами та магістральними газопроводами супроводжується специфічними джерелами викидів метану. При проведенні ремонтних робіт на ділянках газопроводів необхідно спорожнювати ремонтвану ділянку, що призводить до втрат газу. Після завершення ремонту ділянка продувається для видалення повітря перед її поверненням в експлуатацію, що також супроводжується втратами. Запірна арматура на газопроводах, особливо при високих тисках, є джерелом постійних витоків через штоки кранів та інші ущільнення. Пневматичні приводи запірної арматури споживають газ для свого функціонування.

Компресорні станції, що забезпечують транспортування газу магістральними газопроводами та його дотискання на виснажених родовищах, є одними з найбільших споживачів природного газу в галузі. Газотурбінні газоперекачувальні агрегати спалюють природний газ для привода відцентрових компресорів, що створює викиди діоксиду вуглецю та оксидів азоту. Поршневі газоперекачувальні агрегати, що працюють на природному газі, також споживають значні обсяги палива. Крім викидів від спалювання, на компресорних станціях виникають витoki метану через системи ущільнення компресорів.

Відцентрові компресори високого тиску обладнуються системами ущільнення вала, що запобігають витoku газу в місці проходження обертового вала через корпус компресора. Найпоширенішими є системи ущільнення типу газ-масло, в яких частина стиснутого газу проходить через лабіринтові ущільнення і потім вловлюється в масляній системі або викидається в атмосферу. Сучасні системи сухих газових ущільнень дозволяють практично повністю виключити ці втрати, повертаючи газ назад у технологічний процес. Поршневі компресори мають ущільнення штоків поршнів, через які також відбуваються витoki газу, інтенсивність яких зростає зі збільшенням зносу ущільнювальних елементів.

Підземні сховища газу, що використовуються для забезпечення сезонної нерівномірності споживання, також є джерелом викидів метану. При закачуванні газу в сховище та його відбиранні працюють потужні компресорні станції, на яких виникають всі описані вище джерела викидів. Крім того, можливі витoki газу через недостатньо герметичні свердловини та через геологічні порушення в покриві сховища. Моніторинг цілісності сховищ та своєчасний ремонт дефектних свердловин є важливими заходами для мінімізації цих втрат.

На етапі розподілу газу споживачам через газорозподільні станції та мережі виникають свої специфічні джерела викидів. Газорозподільні станції обладнуються пунктами підігріву газу для запобігання його

переохолодженню при зниженні тиску в регуляторах. Підігрів здійснюється за допомогою вогневих підігрівачів, що спалюють природний газ. Системи одоризації, що додають до газу речовини з характерним запахом для виявлення витоків, також споживають невеликі кількості газу. При обслуговуванні обладнання газорозподільних станцій та ремонті газопроводів виникають технологічні витрати на продування та випорожнення обладнання.

Газорозподільні мережі, особливо в населених пунктах, мають розгалужену структуру з великою кількістю споживачів. Застаріла інфраструктура, значна частина якої експлуатується понад нормативні терміни, характеризується підвищеним рівнем витоків газу через корозію труб, пошкодження при проведенні земляних робіт, недостатню герметичність з'єднань. Модернізація газорозподільних мереж із заміною сталевих труб на сучасні поліетиленові, що мають значно вищу корозійну стійкість та герметичність, є ефективним, але капіталоемним заходом скорочення викидів.

Переробка природного газу на газопереробних заводах з виділенням газового конденсату, зріджених вуглеводневих газів, гелію та інших компонентів супроводжується специфічними викидами. Технологічні процеси низькотемпературної сепарації, ректифікації, абсорбції вимагають використання значних кількостей енергії, яка часто отримується від спалювання природного газу в печах та котлах. Втрати газу виникають при пусках та зупинках технологічних установок, продуванні апаратів, через системи аварійного скидання надлишкового газу на факел. Герметизація обладнання та впровадження систем вловлювання та повернення газу в процес дозволяють скоротити ці викиди.

Кінцеве споживання природного газу в промисловості, енергетиці та комунально-побутовому секторі також може супроводжуватися викидами метану, хоча їх інтенсивність зазвичай значно нижча, ніж на етапах видобутку та транспортування. Неповне згоряння газу в котлах, печах та інших пальникових пристроях призводить до викиду невеликих кількостей метану. Витоки з внутрішніх газопроводів споживачів, газового обладнання та побутових приладів також вносять свій внесок у загальний баланс викидів. Підтримання обладнання в справному стані та своєчасна заміна застарілих газових приладів є важливими заходами на цьому етапі.

Окрему категорію становлять викиди від законсервованих та ліквідованих свердловин і родовищ. Навіть після припинення експлуатації свердловини можуть залишатися джерелами витоків метану, якщо їх ліквідація проведена неякісно. Міграція газу з пласта через негерметичну

цементацію обсадних колон або через порушення цілісності самих труб може призводити до виходу метану на поверхню. Належна ліквідація свердловин із установкою надійних цементних мостів та контролем якості робіт є важливою для запобігання таким довготривалим викидам.

Таким чином, джерела викидів метану в нафтогазовій галузі є надзвичайно різноманітними та охоплюють весь виробничий ланцюг від свердловини до кінцевого споживача. Вони включають як організовані джерела, де викиди відбуваються через спеціально призначені для цього пристрої та в певні моменти часу, так і неорганізовані джерела у вигляді дифузних витоків через численні компоненти обладнання. Для ефективного скорочення викидів необхідний комплексний підхід, що поєднує модернізацію технологій, впровадження найкращих практик експлуатації, систематичний моніторинг та своєчасне усунення витоків. Розуміння структури та механізмів виникнення викидів на кожному етапі виробничого процесу є необхідною основою для розробки цільових програм їх скорочення та досягнення поставлених кліматичних цілей. [5]

#### **1.4. Огляд систем звітності та моніторингу викидів метану (OGMP 2.0)**

Ефективне управління викидами метану в нафтогазовій галузі неможливе без надійної системи їх вимірювання, обліку та звітності. Протягом останніх років міжнародна спільнота докладає значних зусиль для створення уніфікованих стандартів та методологій, які б дозволили компаніям та країнам отримувати точну інформацію про обсяги викидів та відстежувати прогрес у їх скороченні. Однією з найбільш комплексних та передових систем такого типу є Партнерство у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору версії 2.0, яке представляє якісно новий підхід до моніторингу та звітності викидів у галузі.

Історія створення системи звітності для нафтогазового сектору бере свій початок у дві тисячі четвертому році, коли Програма ООН з навколишнього середовища разом з провідними міжнародними нафтогазовими компаніями ініціювала перше Партнерство у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору. Ця початкова версія програми базувалася переважно на добровільних зобов'язаннях компаній звітувати про свої викиди метану та впроваджувати заходи з їх скорочення. Методологія обліку викидів у першій версії програми спиралася в основному на розрахункові методи з використанням стандартних коефіцієнтів емісії, які застосовувалися до обсягів видобутку, переробки та транспортування газу.

Проте з часом стало очевидним, що розрахункові методи не забезпечують достатньої точності оцінки викидів. Численні дослідження, проведені з використанням прямих вимірювань викидів на об'єктах

нафтогазової промисловості, виявили значні розбіжності між розрахунковими та фактичними обсягами емісії метану. Зокрема, з'ясувалося, що неконтрольовані витіки, які раніше вважалися незначними, насправді можуть давати набагато більший внесок у загальні викиди, ніж передбачалося стандартними коефіцієнтами. Крім того, варіабельність викидів від однотипних об'єктів виявилася набагато вищою, ніж припускалося, що робило усереднені коефіцієнти малопридатними для точної оцінки на рівні окремих компаній та активів.

У відповідь на ці виклики, у листопаді дві тисячі двадцятого року Програма ООН з навколишнього середовища запустила оновлену версію програми під назвою Партнерство у боротьбі з викидами метану від нафтогазового сектору 2.0. Ця нова версія представляє фундаментальну зміну парадигми в підході до моніторингу та звітності викидів метану. Головною відмінністю стає поступовий перехід від розрахункових методів до методів, заснованих на прямих вимірюваннях викидів на джерелах. Система передбачає поетапне підвищення точності звітності через впровадження все більш досконалих методів кількісного визначення викидів.

Ключовою інновацією системи ОГМП 2.0 є запровадження п'ятирівневої шкали звітності, яка дозволяє компаніям поступово рухатися від базових методів оцінки до найбільш передових підходів на основі безперервного моніторингу. Перший рівень звітності базується на загальних оцінках викидів на рівні компанії з використанням стандартних коефіцієнтів емісії, що публікуються міжнародними організаціями. Цей рівень є найпростішим у впровадженні, проте дає найменш точні результати. Він може використовуватися компаніями на початковому етапі приєднання до програми або для тих активів, де впровадження більш досконалих методів поки неможливе.

Другий рівень звітності передбачає деталізацію оцінок на рівні окремих активів компанії з використанням більш специфічних коефіцієнтів емісії. На цьому рівні компанія повинна окремо звітувати про викиди від кожного свого підприємства або виробничого об'єкта, використовуючи коефіцієнти, що відповідають конкретним технологіям та умовам експлуатації цих об'єктів. Це дозволяє врахувати специфіку різних активів та отримати більш диференційовану картину розподілу викидів у компанії. Другий рівень також є розрахунковим, проте вже вимагає більш детального збору даних про виробничі процеси та обладнання на кожному активі. [6]

Третій рівень звітності представляє перший крок до використання вимірювальних методів. На цьому рівні компанія повинна звітувати про викиди від кожного активу з деталізацією за типами джерел. Методологія

ОГМП 2.0 виділяє тринадцять основних категорій джерел викидів, що охоплюють весь спектр емісії в нафтогазовій галузі. До них належать стаціонарні джерела спалювання, спалювання на факелах з неповним згорянням, неконтрольовані витоки на компонентах та обладнанні, пневматичне обладнання з приводом від природного газу, ущільнення валів відцентрових компресорів, ущільнення штоків поршневих компресорів, установки гліколевої осушки, ємності для зберігання рідин, розвантаження рідин зі свердловин, стравлювання попутного нафтового газу, освоєння свердловин методом гідророзриву пласта, стравлювання та інші джерела.

Для кожної з цих категорій джерел методологія ОГМП 2.0 визначає прийнятні методи кількісного визначення викидів на різних рівнях звітності. На третьому рівні для більшості категорій все ще дозволяється використання розрахункових методів, проте коефіцієнти емісії мають бути більш специфічними та відповідати конкретним типам обладнання та режимам його роботи. Водночас для деяких категорій джерел на третьому рівні вже рекомендується або вимагається використання прямих вимірювань. Зокрема, це стосується спалювання на факелах, де рекомендується встановлення витратомірів для точного обліку обсягів газу, що направляється на спалювання.

Четвертий рівень звітності вимагає використання прямих вимірювань для всіх основних категорій джерел. На цьому рівні компанія повинна провести детальну інвентаризацію всього обладнання на своїх активах та впровадити програми регулярного вимірювання викидів від різних типів джерел. Для неконтрольованих витоків це передбачає впровадження програм виявлення та усунення витоків з використанням спеціального обладнання, такого як інфрачервоні камери для візуалізації метану, портативні газоаналізатори або акустичні детектори. Для організованих джерел викидів рекомендується встановлення постійних систем вимірювання або проведення періодичних кампаній вимірювань з використанням мобільного обладнання.

П'ятий, найвищий рівень звітності передбачає впровадження систем безперервного моніторингу викидів метану на всіх значущих джерелах. Цей рівень вимагає встановлення стаціонарних вимірювальних систем, що автоматично відстежують концентрацію метану в різних точках об'єкту та передають дані в централізовану систему обліку. Такий підхід дозволяє не лише точно кількісно визначати викиди, але й оперативно виявляти аномальні ситуації, такі як раптові витоки або несправності обладнання. П'ятий рівень є найбільш ресурсоємним у впровадженні, проте забезпечує максимальну точність та надійність даних про викиди.

Важливою особливістю системи ОГМП 2.0 є гнучкість у виборі рівнів звітності для різних активів та категорій джерел. Компанія не зобов'язана одразу переходити на найвищий рівень звітності для всіх своїх об'єктів. Натомість вона може поступово впроваджувати більш досконалі методи, починаючи з найбільш значущих активів та категорій джерел. Методологія дозволяє компанії звітувати на різних рівнях для різних активів одночасно, що робить систему доступною як для великих міжнародних корпорацій, так і для менших регіональних компаній. Однак від компаній вимагається демонструвати поступовий прогрес у підвищенні рівня звітності з часом.

Для забезпечення прозорості та можливості порівняння даних різних компаній, система ОГМП 2.0 передбачає незалежну верифікацію звітності. Компанії, що приєдналися до програми, повинні щорічно подавати свої звіти про викиди метану до Міжнародного центру спостережень за викидами метану, створеного в рамках Програми ООН з навколишнього середовища. Центр перевіряє повноту та послідовність поданих даних, а також відповідність використаних методів кількісного визначення викидів вимогам методології. Результати звітності компаній публікуються у відкритому доступі, що дозволяє зацікавленим сторонам відстежувати прогрес галузі у скороченні викидів метану.

Міжнародний центр спостережень за викидами метану виконує також функцію технічної підтримки компаній-учасниць програми. Центр розробляє та публікує детальні методичні посібники щодо вимірювання викидів від різних типів джерел, організовує навчальні заходи для фахівців компаній, сприяє обміну найкращими практиками між учасниками. Центр також координує дослідницькі проекти, спрямовані на розробку нових методів та технологій вимірювання викидів метану, включаючи використання супутникових даних, аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів та інших інноваційних підходів.

Формат звітності ОГМП 2.0 структурований таким чином, щоб забезпечити максимальну деталізацію інформації при збереженні зручності її подання та аналізу. Річний звіт компанії включає загальну інформацію про активи, що охоплюються звітністю, детальний опис методів кількісного визначення викидів для кожної категорії джерел, кількісні дані про викиди в метричних тоннах метану з розбивкою за активами та категоріями джерел, інформацію про заходи зі скорочення викидів, що були впроваджені протягом звітного року, та плани подальшого підвищення рівня звітності та скорочення емісії.

Особливу увагу в методології ОГМП 2.0 приділено питанню невизначеності оцінок викидів. Визнається, що будь-який метод кількісного

визначення викидів має певну похибку, яка може бути більшою або меншою залежно від використаних підходів та якості вихідних даних. Компанії заохочуються до проведення аналізу невизначеності своїх оцінок та подання цієї інформації разом з основними даними про викиди. Це дозволяє більш коректно інтерпретувати результати та відстежувати динаміку викидів з урахуванням можливих похибок вимірювань.

Впровадження системи звітності ОГМП 2.0 вимагає значних організаційних та технічних зусиль від компаній-учасниць. Необхідно створити внутрішні процедури збору та обробки даних про викиди, забезпечити навчання персоналу методам вимірювання та розрахунку емісії, придбати або орендувати спеціальне вимірювальне обладнання, впровадити інформаційні системи для консолідації даних з різних об'єктів. Проте ці інвестиції окупаються через отримання точної інформації про джерела та обсяги викидів, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо пріоритетних заходів з їх скорочення.

Досвід компаній, що вже впровадили звітність ОГМП 2.0, показує, що перехід на більш досконалі рівні моніторингу часто призводить до виявлення раніше невідомих джерел викидів або до з'ясування того, що реальні викиди від певних джерел значно відрізняються від розрахункових значень. Це створює можливості для цільового впровадження заходів зі скорочення емісії саме там, де вони дадуть найбільший ефект. Крім того, регулярний моніторинг дозволяє оперативно виявляти та усувати несправності обладнання, що призводять до аномальних витоків, запобігаючи як втратам цінного продукту, так і негативному впливу на довкілля.

Станом на дві тисячі двадцять четвертий рік до програми ОГМП 2.0 приєдналися понад сімдесят нафтогазових компаній з різних регіонів світу, включаючи як великі міжнародні корпорації, так і національні компанії країн, що розвиваються. Сумарно ці компанії відповідають за значну частку світового видобутку нафти та газу, що робить програму потужним інструментом глобальних зусиль зі скорочення викидів метану. Участь у програмі стала важливим елементом корпоративної соціальної відповідальності та екологічної звітності багатьох компаній, демонструючи їхнє прагнення до прозорості та відповідального ставлення до клімату.

Для України участь національних нафтогазових компаній у програмі ОГМП 2.0 набуває особливого значення в контексті європейської інтеграції та підготовки до виконання майбутніх регуляторних вимог Європейського Союзу. Методологія ОГМП 2.0 значною мірою узгоджується з підходами, що закладаються в проєкті Регламенту ЄС щодо скорочення викидів метану в енергетичному секторі. Компанії, що вже впровадили звітність за

стандартами ОГМП, матимуть значні переваги при адаптації до європейських вимог, оскільки вони вже матимуть налагоджені системи моніторингу та обліку викидів.

Крім основної системи звітності для компаній, ОГМП 2.0 також включає компонент з підтримки урядів у розробці національних політик та регуляторних механізмів щодо викидів метану. Програма надає технічну допомогу країнам у створенні національних систем обліку викидів, розробці стандартів та нормативів для нафтогазової галузі, підготовці фахівців у сфері моніторингу та верифікації емісії парникових газів. Це сприяє формуванню глобальної екосистеми управління викидами метану, в якій взаємодіють міжнародні організації, уряди, приватний сектор та наукова спільнота.

Розвиток системи ОГМП 2.0 продовжується, з постійним удосконаленням методології на основі нових наукових даних та практичного досвіду компаній-учасниць. Зокрема, активно розробляються методи інтеграції даних дистанційного зондування, отриманих з супутників та літальних апаратів, з наземними вимірюваннями для покращення повноти та точності обліку викидів. Досліджуються можливості використання штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації обробки великих обсягів даних моніторингу та виявлення аномалій. Ці інновації обіцяють зробити систему моніторингу викидів ще більш ефективною та доступною. [7]

Таким чином, система звітності та моніторингу ОГМП 2.0 представляє найбільш комплексний та передовий на сьогодні інструмент для управління викидами метану в нафтогазовій галузі. Її ключовими перевагами є гнучкість, що дозволяє компаніям різного масштабу та рівня розвитку приєднуватися до програми, поступовість переходу до більш досконалих методів моніторингу, прозорість та можливість верифікації даних, узгодженість з іншими міжнародними стандартами та ініціативами, фокус на безперервному покращенні через впровадження найкращих практик та технологій. Для компаній, що прагнуть продемонструвати своє лідерство у сфері екологічної відповідальності та підготуватися до майбутніх регуляторних вимог, участь у програмі ОГМП 2.0 є стратегічно важливим кроком на шляху до сталого розвитку галузі.

## **РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ТА КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ВИКИДІВ МЕТАНУ**

### **2.1. Класифікація джерел викидів метану на об'єктах видобутку та транспортування**

Ефективне управління викидами метану вимагає чіткої систематизації джерел емісії. Така класифікація є основою для розробки методів вимірювання викидів та визначення пріоритетних напрямків впровадження заходів з їх скорочення. За характером виникнення викиди поділяються на організовані та неорганізовані. Організовані джерела характеризуються наявністю спеціально призначених для випуску газу пристроїв: димові труби, факельні установки, вентиляційні системи. Неорганізовані джерела не мають чітко визначених точок випуску – емісія відбувається через множинні витоки на ущільненнях арматури, фланцевих з'єднаннях, сальниках насосів і компресорів. За регулярністю виникнення викиди класифікуються на постійні, періодичні та епізодичні. Постійні викиди відбуваються безперервно при роботі обладнання (витоки через ущільнення, емісія від пневматичних пристроїв). Періодичні викиди виникають через певні проміжки часу у зв'язку з циклічністю процесів. Епізодичні викиди пов'язані з ремонтами, пусками та зупинками обладнання, аварійними ситуаціями.

#### **Класифікація за методологією OGMP 2.0**

Методологія OGMP 2.0 виділяє тринадцять основних категорій джерел викидів метану. Стаціонарні джерела спалювання включають котли, печі, газотурбінні та газопоршневі двигуни. Неповне згоряння природного газу призводить до викиду невеликої кількості метану. [8]

Спалювання на факелах охоплює всі види факельних установок. Ефективність спалювання залежить від конструкції пальника, швидкості вітру, складу газу. При неоптимальних умовах значна частина метану може не згоряти і потрапляти в атмосферу. Ефективність факелів коливається від дев'яноста п'яти до дев'яноста дев'яти відсотків.

Неконтрольовані витоки на компонентах обладнання є однією з найбільш значущих категорій. Вона включає витоки через ущільнення запірної арматури, фланцеві з'єднання, сальники насосів, запобіжні клапани. Кількість потенційних точок витоків на типовому об'єкті може вимірюватися тисячами. Пневматичне обладнання використовує енергію стиснутого газу для виконання механічної роботи: пневматичні клапани-регулятори, приводи запірної арматури, пневматичні насоси. Пристрої високого стравлювання випускають весь використаний газ в атмосферу після кожного циклу.

Викиди від компресорів включають емісію через системи ущільнення валів відцентрових компресорів та ущільнення штоків поршневих

компресорів. Інтенсивність витоків зростає зі збільшенням зносу ущільнювальних кілець. Установки гліколевої осушки є одним з найбільш інтенсивних джерел організованих викидів. При регенерації гліколю виділяється розчинений у ньому метан, який традиційно викидається через вентиляційну трубу регенератора. Ємності для зберігання рідин включають резервуари для нестабільного конденсату та сирої нафти. Викиди виникають при закачуванні рідини внаслідок витіснення газової фази та через дихальні клапани при зміні температури. Розвантаження рідин зі свердловин стосується операцій з видалення накопиченої рідини для відновлення продуктивності свердловин. Традиційні методи включають продування або стравлювання газу в атмосферу. Освоєння свердловин після гідророзриву пласта супроводжується значними викидами газу, які можуть тривати від кількох годин до кількох діб. [9]

Стравлювання є збірною категорією і включає всі види навмисного випуску газу: продування газопроводів перед ремонтом, випорожнення ділянок газопроводів, стравлювання при регулюванні режимів, викиди при геологічних дослідженнях свердловин. Категорія інші джерела призначена для викидів, що не вписуються в попередні категорії.

На об'єктах видобутку найбільш значущими є неконтрольовані витoki на компонентах обладнання, викиди від пневматичних пристроїв, емісія від установок гліколевої осушки та стравлювання при технологічних операціях. На об'єктах транспортування основними джерелами є викиди від компресорних станцій, включаючи спалювання паливного газу, витoki через системи ущільнення та стравлювання при ремонтах.

Для ефективного управління викидами необхідно проводити детальну інвентаризацію джерел на кожному об'єкті. Інвентаризація включає визначення всіх категорій джерел, підрахунок кількості компонентів обладнання, характеристику режимів роботи та оцінку обсягів викидів. Результати дозволяють визначити пріоритетні напрямки впровадження заходів зі скорочення викидів. [10]

Таким чином, класифікація джерел викидів метану є фундаментальною основою для побудови системи управління емісією парникових газів. Детальна класифікація OGMP 2.0 забезпечує уніфікований підхід до обліку викидів та створює основу для визначення найбільш ефективних заходів зі скорочення емісії.

## **2.2. Технології та обладнання для виявлення витоків метану**

### **Технології виявлення витоків метану**

Виявлення витоків метану на об'єктах нафтогазового комплексу є критично важливою задачею для ефективного управління викидами парникових газів. Вибір оптимальної технології залежить від специфіки об'єкта, доступних ресурсів та вимог до точності.

### **Традиційні методи виявлення**

Традиційні методи базуються на використанні портативних детекторів. Каталітичні сенсори реагують на наявність горючих газів, але не дозволяють визначити точне місце витoku без детального обстеження. Інфрачервоні детектори мають вищу селективність і дозволяють виявляти метан на фоні інших газів, проте процес все ще вимагає значних затрат часу на обстеження великих об'єктів. Революційним кроком стало впровадження інфрачервоних камер для візуалізації метану. Ці спеціалізовані тепловізори формують зображення, на якому метан відображається як темна хмара. Оператор може бачити витoki газу в режимі реального часу, що дозволяє швидко обстежувати великі площі та виявляти навіть незначні витoki з безпечної відстані.

Переваги інфрачервоних камер очевидні: значно підвищується швидкість обстеження, покращується безпека персоналу, камера дозволяє виявляти витoki в важкодоступних місцях. Сучасні камери мають високу чутливість від кількох грамів на годину. Важливим обмеженням є те, що камера виявляє лише факт наявності витoku, але не вимірює його інтенсивність.

### **Кількісне визначення та інші методи**

Для кількісного визначення інтенсивності витоків використовуються пристрої типу Hi Flow Sampler, що вимірюють об'ємну витрату газу. Акустичні детектори базуються на виявленні ультразвукових шумів при витоканні газу під тиском. Вони можуть виявляти витoki на відстані до кількох десятків метрів, але їх ефективність знижується при високому рівні фонового шуму.

Лазерні методи використовують настроювані діодні лазери для дистанційного вимірювання концентрації газу на відстані до кількох сотень метрів. Мобільні лабораторії представляють собою спеціально обладнані транспортні засоби з високочутливими аналізаторами, які рухаються вздовж газопроводів, безперервно забираючи проби повітря.

### **Авіаційні та супутникові методи**

Авіаційні методи включають використання вертольотів, літаків або безпілотних літальних апаратів з спеціальними сенсорами. Вони дозволяють швидко покривати великі території, виявляючи аномальні зони з підвищеною

концентрацією метану. Безпілотні літальні апарати стають популярними завдяки нижчій вартості експлуатації.

Супутникові методи використовують дані дистанційного зондування Землі з космосу. Спектрометри вимірюють поглинання сонячного випромінювання атмосферою, отримуючи карти розподілу концентрації метану з просторовою роздільністю від кількох кілометрів до кількох сотень метрів. Системи безперервного моніторингу є стаціонарними комплексами, що працюють в автоматичному режимі. Вони включають мережу сенсорів метану, пристрої збору даних, програмне забезпечення для аналізу та системи тривожної сигналізації. Це дозволяє оперативно виявляти аномальні викиди.

Програми LDAR представляють собою систематичний підхід до управління неконтрольованими викидами. Типова програма включає створення переліку обладнання, встановлення графіку періодичних обстежень, визначення порогових значень витоків, організацію процесу ремонту та ведення бази даних з результатами. [11]

Періодичність обстежень визначається категорією обладнання. Для критичних компонентів встановлюються кварталні або місячні обстеження, для менш критичного обладнання достатні піврічні або річні перевірки. Документування результатів дозволяє аналізувати проблемні типи обладнання та ефективність заходів.

### **Штучний інтелект та перспективи**

Технології штучного інтелекту знаходять широке застосування у системах виявлення витоків. Алгоритми можуть автоматично аналізувати зображення з камер, виявляючи витoki без участі оператора. Системи навчаються розпізнавати характерні патерни, фільтрувати помилкові спрацювання та пріоритизувати виявлені витoki.

Таким чином, сучасний арсенал технологій для виявлення витоків метану є надзвичайно різноманітним. Від простих портативних детекторів до складних систем безперервного моніторингу з використанням супутникових даних та штучного інтелекту - кожна технологія має свою нішу застосування. Ефективна програма управління викидами зазвичай комбінує декілька методів, використовуючи їх сильні сторони та компенсуючи обмеження. [12]

## **2.3. Методології кількісного визначення обсягів викидів метану**

Кількісне визначення викидів метану є критично важливим для управління емісією парникових газів, розробки стратегій їх скорочення та звітності перед регулюючими органами та міжнародними ініціативами. Існує кілька принципово різних підходів до кількісного визначення викидів, кожен

з яких має свої переваги, обмеження та сфери застосування. Вибір методології залежить від доступності даних, вимог до точності, можливостей проведення вимірювань та специфіки джерел викидів.

Розрахункові методи базуються на використанні коефіцієнтів емісії, які застосовуються до даних про рівень активності. Коефіцієнт емісії представляє собою типове значення викидів парникового газу на одиницю активності. Наприклад, для стаціонарних джерел спалювання коефіцієнт може виражатися в кілограмах метану на кубічний метр спаленого газу. Рівень активності - це кількісна характеристика процесу, що призводить до викидів: обсяг спаленого палива, кількість переробленого газу, число циклів роботи обладнання. Викиди розраховуються як добуток коефіцієнта емісії на рівень активності. [13]

Коефіцієнти емісії можуть бути різного рівня деталізації. Загальні або типові коефіцієнти представляють усереднені значення для певного типу обладнання або процесу без урахування специфічних умов експлуатації. Вони зазвичай публікуються міжнародними організаціями, такими як Міжурядова група експертів зі зміни клімату, на основі узагальнення великої кількості вимірювань. Застосування загальних коефіцієнтів є найпростішим методом оцінки викидів, проте точність таких оцінок обмежена через велику варіабельність реальних викидів.

Специфічні для країни або регіону коефіцієнти розробляються на основі досліджень, проведених у конкретних умовах, і краще відображають місцеву специфіку обладнання, технологій, паливно-енергетичних ресурсів. Такі коефіцієнти підвищують точність оцінок порівняно із загальними коефіцієнтами. Специфічні для установки коефіцієнти визначаються на основі вимірювань, проведених на конкретному обладнанні певного об'єкта. Вони забезпечують найвищу точність серед розрахункових методів, проте вимагають проведення спеціальних вимірвальних кампаній.

Для неконтрольованих витоків на компонентах обладнання розроблені спеціальні підходи до розрахунку викидів. Один з поширених методів базується на класифікації компонентів за типами та застосуванні середніх коефіцієнтів емісії для кожного типу. Компоненти поділяються на категорії: клапани, фланцеві з'єднання, насоси, компресори, запобіжні пристрої, відбірні пристрої, інші з'єднання. Для кожної категорії визначається усереднений коефіцієнт емісії на один компонент, який помножується на кількість компонентів даного типу на об'єкті.

Більш досконалим є метод кореляції екранування та вимірювання, який враховує, що більшість компонентів не мають витоків або мають незначні витoki, в той час як невелика кількість компонентів може давати значні

викиди. Метод передбачає періодичне обстеження всіх компонентів за допомогою портативних детекторів або інфрачервоних камер. Компоненти класифікуються за діапазонами вимірної концентрації метану. Для кожного діапазону концентрацій визначається кореляція з масовою інтенсивністю витоку. Загальні викиди розраховуються як сума добутків кількості компонентів у кожному діапазоні на відповідну інтенсивність витоку.

Методи прямого вимірювання забезпечують найвищу точність кількісного визначення викидів, проте вимагають спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу. Для організованих джерел з чітко визначеними точками випуску застосовуються витратоміри для вимірювання об'ємної витрати газу та газоаналізатори для визначення концентрації метану. Масова інтенсивність викиду розраховується як добуток об'ємної витрати на концентрацію і густину метану. Для стаціонарних джерел можуть встановлюватися постійні вимірювальні системи, що забезпечують безперервний облік викидів.

Для вимірювання викидів від неорганізованих джерел використовуються різні підходи. Метод замкненої камери або колпака передбачає встановлення герметичної камери над джерелом витоку для уловлювання всього газу, що виділяється. В середині камери встановлюється вентилятор для перемішування повітря і сенсор для вимірювання концентрації метану. За швидкістю зростання концентрації розраховується інтенсивність витоку. Метод має обмеження через можливий вплив камери на умови витікання газу. [14]

Метод Hi-Flow Sampling використовує спеціальний пристрій, що створює контрольоване розрідження навколо місця витоку і засмоктує газ разом з навколишнім повітрям. Вимірюється об'ємна витрата засмоктуваного повітря та концентрація метану в ньому, що дозволяє розрахувати інтенсивність витоку. Пристрій калібрується на відомих витоках для забезпечення точності вимірювань. Перевагою методу є можливість швидкого вимірювання без тривалої підготовки, проте точність залежить від правильності позиціонування пристрою відносно витоку.

Методи оберненого моделювання викидів базуються на вимірюванні концентрації метану в повітрі на деякій відстані від джерела і використанні моделей атмосферної дисперсії для оцінки інтенсивності джерела. Вимірювання можуть проводитися за допомогою стаціонарних або мобільних сенсорів, розміщених з підвітряного боку від об'єкта. Модель враховує метеорологічні умови, рельєф місцевості, характеристики джерел та розраховує поле концентрацій, яке найкраще відповідає вимірним значенням. Метод дозволяє оцінювати сумарні викиди від об'єкта або групи

джерел, проте має значну невизначеність через складність атмосферних процесів.

Балансовий метод кількісного визначення викидів застосовується для оцінки втрат газу на основі різниці між обсягом газу, що надійшов на об'єкт, і обсягом газу, що покинув об'єкт у вигляді товарної продукції або був використаний на власні потреби. Цей метод часто застосовується для оцінки втрат газу в газотранспортних системах, де є точний облік газу на вході і виході системи. Різниця між вхідним і вихідним балансом за вирахуванням технологічних витрат на власні потреби дає оцінку втрат. Проте балансовий метод не дозволяє розділити втрати на викиди метану та втрати через інші причини, такі як похибки вимірювань. [15]

Масові балансові методи використовуються для складних технологічних установок, де відбувається переробка газу з виділенням різних компонентів. На основі матеріального балансу установки та хімічного складу вхідної і вихідної продукції розраховується кількість метану, що була втрачена в процесі. Цей метод вимагає детальних даних про всі потоки речовин на установці та їх склад.

Невизначеність оцінок викидів є важливою характеристикою, яка має враховуватися при інтерпретації результатів. Невизначеність виникає з декількох джерел: варіабельність коефіцієнтів емісії, похибки вимірювань рівня активності, похибки вимірювального обладнання при прямих методах, неповнота даних про обладнання. Кількісна оцінка невизначеності проводиться з використанням статистичних методів та методів монте-карло моделювання. Для розрахункових методів невизначеність зазвичай складає від п'ятдесяти до двохсот відсотків. Для методів прямих вимірювань невизначеність може бути знижена до десяти-двадцяти відсотків.

Ієрархія методів кількісного визначення викидів, визначена методологією ОГМП 2.0, відображає поступовий перехід від менш точних розрахункових методів до методів на основі вимірювань. Перший рівень використовує загальні коефіцієнти емісії для основних категорій джерел. Другий рівень застосовує більш специфічні коефіцієнти з урахуванням типу обладнання та умов експлуатації. Третій рівень вимагає детальної інвентаризації обладнання та використання специфічних для установки коефіцієнтів або обмеженої кількості вимірювань. Четвертий рівень базується на систематичних прямих вимірюваннях від основних джерел. П'ятий рівень передбачає безперервний моніторинг всіх значущих джерел.

Узгодженість методів кількісного визначення викидів з різними системами звітності є важливою для забезпечення можливості порівняння даних. Методологія ОГМП 2.0 узгоджена з міжнародними стандартами

обліку викидів парникових газів, включаючи Керівні принципи МГЕЗК для національних кадастрів парникових газів, стандарти ISO для кількісного визначення викидів, протоколи обліку викидів Світового ресурсного інституту. Проте між різними методологіями можуть існувати деякі відмінності в деталях, що вимагає уважності при порівнянні результатів.

Документування методів кількісного визначення викидів є обов'язковою вимогою для забезпечення прозорості та можливості верифікації звітності. Документація має включати опис використаних методів для кожної категорії джерел, джерела коефіцієнтів емісії або опис вимірювань, дані про обладнання та рівні активності, розрахунок невизначеності, обґрунтування вибору методів. Така документація дозволяє зовнішнім верифікаторам перевірити правильність розрахунків та оцінити якість даних.

Таким чином, методології кількісного визначення обсягів викидів метану охоплюють широкий спектр підходів від простих розрахунків з використанням стандартних коефіцієнтів до складних систем безперервного моніторингу. Вибір оптимальної методології є компромісом між точністю, вартістю та практичною здійсненністю. Поступовий перехід до методів на основі вимірювань дозволяє підвищувати точність обліку викидів відповідно до зростання технічних можливостей та вимог регулювання.

#### **2.4. Системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів**

Системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів є інтегральною частиною глобальних зусиль з протидії зміні клімату. Ці системи забезпечують прозорість та підзвітність дій урядів та компаній щодо скорочення викидів, створюють основу для торгівлі квотами на викиди, дозволяють відстежувати прогрес у досягненні кліматичних цілей. Розвиток таких систем відбувається як на міжнародному, так і на національному рівнях, поступово підвищуючи вимоги до точності та повноти звітності.

Міжнародна система звітності про викиди парникових газів базується на вимогах Рамкової конвенції ООН про зміну клімату. Країни-сторони Конвенції зобов'язані регулярно подавати національні кадастри антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами всіх парникових газів. Для розвинених країн встановлена вимога щорічного подання кадастрів, для країн, що розвиваються, періодичність може бути меншою. Кадастри складаються відповідно до Керівних принципів МГЕЗК, що забезпечує уніфікований підхід та можливість порівняння даних різних країн.

Структура національного кадастру викидів організована за секторами економіки: енергетика, промислові процеси та використання продукції, сільське господарство, землекористування та лісове господарство, відходи. Для кожного сектору викиди розраховуються для окремих категорій джерел з використанням встановлених методологій. Передбачається ретроспективний розрахунок викидів за всі роки, починаючи з базового року, що дозволяє відстежувати довгострокові тренди. Для України базовим роком є тисяча дев'яност дев'яностий, що відповідає вимогам Кіотського протоколу.

Система верифікації національних кадастрів включає технічний огляд звітів експертами РКЗК ООН. Експерти перевіряють повноту охоплення джерел викидів, правильність застосування методологій, узгодженість даних за різні роки, обґрунтованість використаних коефіцієнтів та припущень. За результатами огляду підготовлюється звіт з рекомендаціями щодо покращення якості кадастру. Країни повинні враховувати ці рекомендації при підготовці наступних звітів. Такий процес забезпечує поступове підвищення якості національних кадастрів.

На рівні Європейського Союзу діє система торгівлі квотами на викиди парникових газів, яка вимагає від підприємств певних секторів економіки проводити моніторинг та звітувати про свої викиди. Методологія моніторингу визначена Регламентом ЄС про моніторинг та звітність викидів парникових газів. Підприємства повинні розробити план моніторингу, затверджений компетентним органом, який детально описує методи кількісного визначення викидів від кожного джерела. План переглядається та актуалізується при зміні обладнання або технологічних процесів. [16]

Звітність у рамках системи торгівлі квотами ЄС подається щорічно і підлягає обов'язковій верифікації незалежною акредитованою організацією. Верифікатор перевіряє, чи дотримувалося підприємство затвердженого плану моніторингу, чи правильно застосовувалися методи кількісного визначення викидів, чи були використані вимірювальні прилади належної точності та регулярно калібровані, чи правильно розраховані викиди. Тільки після позитивного висновку верифікатора звіт може бути прийнятий регулюючим органом.

Міжнародний стандарт ISO чотирнадцять тисяч шістьдесят чотири надає керівництво щодо кількісного визначення, моніторингу та звітності викидів парникових газів на рівні організацій. Стандарт застосовується компаніями добровільно для організації внутрішньої системи обліку викидів або для підготовки до участі в обов'язкових системах звітності. ISO чотирнадцять тисяч шістьдесят чотири визначає принципи належної звітності: релевантність, повнота, послідовність, точність, прозорість.

Релевантність означає, що звітність має відображати викиди, які відповідають цілям та потребам користувачів інформації.

Повнота передбачає облік всіх джерел викидів в межах встановлених організаційних та операційних кордонів. Організація має визначити, які об'єкти та види діяльності включаються до звітності. Послідовність означає використання однакових методів та припущень для розрахунку викидів за різні періоди, що дозволяє коректно порівнювати дані та відстежувати тренди. Якщо методи змінюються, необхідно перерахувати викиди за попередні періоди для забезпечення порівнянності.

Точність означає мінімізацію систематичних та випадкових похибок у розрахунках викидів настільки, наскільки це практично можливо. Організація має використовувати найбільш точні методи, доступні за розумної вартості. Прозорість вимагає документування всіх припущень, методів, джерел даних таким чином, щоб зовнішні користувачі могли зрозуміти, як були розраховані викиди. Документація має бути достатньо детальною для можливості відтворення розрахунків.

Протокол обліку парникових газів, розроблений Світовим ресурсним інститутом та Світовою радою бізнесу зі сталого розвитку, є широко визнаним стандартом для корпоративного обліку викидів. Протокол визначає три сфери охоплення викидів. Сфера один включає прямі викиди від джерел, які належать організації або контролюються нею: спалювання палива в котлах та печах, робота транспортних засобів компанії, викиди від технологічних процесів. Сфера два охоплює непрямі викиди від споживання придбаної електроенергії, тепла або пари.

Сфера три включає всі інші непрямі викиди, що виникають у ланцюгу створення вартості організації за межами сфери два. Це можуть бути викиди від видобутку та транспортування придбаного палива, викиди від використання проданої продукції, викиди від утилізації відходів, ділові поїздки працівників, переміщення працівників між домом та роботою. Облік викидів сфери три є добровільним, проте дозволяє отримати повнішу картину кліматичного впливу організації.

Система моніторингу, звітності та верифікації викидів в Україні регулюється Законом про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів. Закон встановлює вимоги для операторів установок, викиди яких перевищують певні порогові значення. Оператори зобов'язані розробляти плани моніторингу викидів, щорічно подавати звіти про викиди, забезпечувати верифікацію звітів акредитованими органами. Методологія моніторингу та звітності узгоджена з вимогами Регламенту ЄС, що сприяє гармонізації української системи з європейськими підходами.

План моніторингу викидів описує методи кількісного визначення викидів для кожного джерела на установці, характеристики вимірювального обладнання, процедури забезпечення якості даних, розподіл відповідальності за моніторинг. План затверджується компетентним органом після перевірки його відповідності методологічним вимогам. Зміни в плані моніторингу можливі лише після погодження з компетентним органом. Це забезпечує стабільність методів обліку та можливість відстеження реальних змін викидів.

Річний звіт про викиди подається оператором установки до тридцять першого березня наступного за звітним року. Звіт включає кількісні дані про викиди парникових газів з розбивкою за джерелами, опис змін в установці або методах моніторингу, інформацію про заходи з контролю якості та забезпечення якості даних, оцінку невизначеності даних про викиди. Звіт подається в електронній формі через спеціалізовану інформаційну систему, що забезпечує централізоване збереження та обробку даних.

Верифікація звіту про викиди проводиться акредитованим органом з верифікації, який є незалежним від оператора установки. Верифікатор перевіряє відповідність звіту затвердженому плану моніторингу, правильність застосування методів кількісного визначення викидів, достовірність вихідних даних, правильність розрахунків. Верифікація включає аналіз документації, візити на установку для огляду обладнання та інтерв'ю з відповідальним персоналом, перевірку процедур забезпечення якості. За результатами верифікації видається висновок про рівень впевненості у даних звіту.

Акредитація органів з верифікації здійснюється національним органом з акредитації відповідно до міжнародного стандарту ISO чотирнадцять тисяч шістьдесят п'ять. Стандарт визначає вимоги до компетентності персоналу верифікаторів, процедур проведення верифікації, незалежності та неупередженості. Акредитовані органи підлягають регулярному нагляду для підтвердження відповідності вимогам. Така система забезпечує довіру до результатів верифікації з боку регулюючих органів та громадськості.

Інформаційні системи відіграють ключову роль у функціонуванні систем моніторингу, звітності та верифікації. Централізовані бази даних дозволяють збирати звіти від всіх операторів, проводити автоматизовані перевірки повноти та узгодженості даних, генерувати зведену звітність на національному рівні. Системи забезпечують доступ до даних для різних користувачів з відповідними рівнями прав: оператори можуть вводити та редагувати свої дані, верифікатори мають доступ до даних установок, які вони перевіряють, регулюючі органи бачать всі дані.

Забезпечення якості та контроль якості є невід'ємними компонентами систем моніторингу викидів. Забезпечення якості включає планування та впровадження процедур, які запобігають виникненню помилок: регулярна калібрування вимірювальних приладів, навчання персоналу, використання стандартних форм та шаблонів, багаторівнева перевірка розрахунків. Контроль якості передбачає виявлення та виправлення помилок після їх виникнення: перевірка балансів матеріальних потоків, порівняння з даними попередніх періодів, аналіз аномальних значень.

Управління невизначеністю даних про викиди є важливим аспектом забезпечення якості звітності. Оператори установок повинні оцінювати невизначеність розрахунків викидів та вживати заходів для її зменшення. Якщо невизначеність перевищує встановлені порогові значення, необхідно переходити на більш точні методи моніторингу. Оцінка невизначеності проводиться з урахуванням похибок вимірювального обладнання, варіабельності параметрів процесу, похибок вибірки при аналізі палива або матеріалів.

Таким чином, системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів є комплексними механізмами, що забезпечують надійний облік викидів на рівні установок, організацій та країн. Ці системи постійно розвиваються, підвищуючи вимоги до точності та прозорості даних. Гармонізація національних систем з міжнародними стандартами сприяє створенню глобальної інфраструктури для відстеження прогресу у досягненні кліматичних цілей та забезпечує можливість участі в міжнародних механізмах торгівлі квотами на викиди.

## **РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ВИКИДІВ МЕТАНУ НА ОБ'ЄКТАХ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ**

### **3.1. Характеристика основних джерел викидів метану в Україні**

Нафтогазовий комплекс України є одним з найбільших джерел викидів метану в країні, відповідаючи за значну частку емісії цього парникового газу в енергетичному секторі. Згідно з даними Національного кадастру антропогенних викидів парникових газів, у дві тисячі дев'ятнадцятому році викиди метану в енергетичному секторі становили шістьдесят шість відсотків від загального обсягу викидів цього газу в Україні. При цьому лівова частка припадає саме на діяльність, пов'язану з видобутком, переробкою, транспортуванням та розподілом природного газу.

Структура викидів метану в нафтогазовому секторі України має свої специфічні особливості, зумовлені технічним станом інфраструктури, структурою виробництва та історично сформованими технологічними підходами. За даними останнього Національного кадастру, витоки парникових газів при транспортуванні, розподілі та споживанні природного газу перевищують тридцять три мільйони тонн еквівалента діоксиду вуглецю, що на сорок п'ять кома вісім відсотків менше за рівень викидів тисяча дев'ятсот дев'яностого року, але на вісім кома чотири відсотки вище за викиди у дві тисячі вісімнадцятому році.

Основні джерела викидів метану в українському нафтогазовому секторі можна класифікувати за сегментами виробничого ланцюга. Сегмент видобутку природного газу включає операції на газових та газоконденсатних родовищах, де відбувається експлуатація свердловин, збір та первинна підготовка продукції. В Україні видобуток газу здійснюють декілька компаній, проте найбільшим виробником є Акціонерне товариство Укргазвидобування, що забезпечує понад сімдесят відсотків національного видобутку. Компанія розробляє сто сорок одне родовище з експлуатаційним фондом близько трьох тисяч свердловин. [17]

На об'єктах видобутку Укргазвидобування викиди метану виникають з різних джерел. Найбільш значущими є неконтрольовані витоки через негерметичність обладнання та комунікацій. З урахуванням великої кількості об'єктів видобутку та підготовки газу, протяжності шлейфових газопроводів, що перевищує вісім тисяч кілометрів, сумарні витоки від цього джерела є суттєвими. Особливу проблему становить застаріле обладнання на об'єктах, що експлуатуються понад нормативні терміни, де рівень негерметичності може бути підвищеним.

Технологічні витрати газу на продування свердловин та шлейфів складають значну частку викидів на об'єктах видобутку. Згідно з

внутрішньою звітністю компанії, у дві тисячі двадцять третьому році втрати газу на продування свердловин становили близько сімдесяти семи тисяч кубічних метрів, а на продування шлейфів - близько двадцяти трьох тисяч кубічних метрів. Ці операції є необхідними для підтримання працездатності свердловин, особливо на виснажених родовищах, де накопичення рідини на вибої може призводити до зниження або повної зупинки припливу газу.

Викиди від установок підготовки газу включають емісію від технологічного обладнання: сепараторів, де відбувається відділення рідини від газу, установок осушки газу для видалення вологи, систем стабілізації газового конденсату. При обслуговуванні та ремонтах цього обладнання виникають технологічні витрати на продування апаратів, заправку метанольних пристроїв, стравлювання при зупинках та пусках. За даними звітності, такі витрати у дві тисячі двадцять третьому році становили близько п'яти тисяч кубічних метрів.

Окрему категорію становлять викиди при геологічних та газодинамічних дослідженнях свердловин, а також при проведенні капітальних ремонтів, кушового об'єднання, гідророзриву пласта та інших операцій з інтенсифікації видобутку. Хоча ці операції є періодичними, їх внесок у загальний баланс викидів може бути значним. У дві тисячі двадцять третьому році стравлювання газу під час таких робіт становило близько тридцяти чотирьох тисяч кубічних метрів при капітальних ремонтах та близько одинадцяти тисяч кубічних метрів при геологічних дослідженнях. [18]

Компресорні станції дотискання на виснажених родовищах є потужними споживачами природного газу та джерелами викидів метану. Ці станції призначені для підтримання тиску в системі збору газу з свердловин, пластовий тиск яких недостатній для транспортування продукції до центральних пунктів збору. Компресорні станції обладнуються газотурбінними або газопоршневими агрегатами, які спалюють природний газ як паливо. У дві тисячі двадцять третьому році витрати паливного газу на компресорних станціях Укргазвидобування становили близько чотирьохсот двадцяти мільйонів кубічних метрів.

Викиди метану від компресорних станцій виникають не лише від неповного згоряння палива в двигунах, але й від систем ущільнення компресорів, неконтрольованих витоків на обладнанні, технологічних стравлювань при пусках та зупинках. Для відцентрових компресорів з системами ущільнення типу газ-масло характерні постійні втрати газу через ущільнення вала. Поршневі компресори мають витoki через ущільнення

штоків поршнів, інтенсивність яких зростає зі збільшенням зносу ущільнювальних елементів.

Сегмент переробки газу та газового конденсату представлений підприємствами, що здійснюють виділення цінних компонентів з природного газу та газового конденсату. Управління з переробки газу та газового конденсату Укргазвидобування експлуатує газопереробні заводи та установки стабілізації конденсату. Викиди метану на цих об'єктах пов'язані зі спалюванням паливного газу в технологічних печах, факельним господарством, неконтрольованими витоками на численному технологічному обладнанні, емісією від ємностей зберігання продукції.

За даними внутрішньої звітності, у дві тисячі двадцять третьому році витрати паливного газу на об'єктах переробки становили близько тридцяти трьох мільйонів кубічних метрів. Значна частина викидів на переробних підприємствах пов'язана з втратами, що виникають у процесі виділення важких вуглеводнів та неуглеводневих компонентів з природного газу. Ці втрати, що класифікуються як зменшення об'єму газу, у дві тисячі двадцять третьому році становили близько тридцяти семи мільйонів кубічних метрів.

Сегмент транспортування природного газу в Україні представлений магістральними газопроводами та системою підземних сховищ газу, що експлуатуються Оператором газотранспортної системи України. Хоча ці об'єкти не входять до складу Укргазвидобування, вони є важливою ланкою національного нафтогазового комплексу та суттєвим джерелом викидів метану. Витоки при транспортуванні та зберіганні газу виникають через неконтрольовані втрати на обладнанні компресорних станцій, технологічні витрати при ремонтах газопроводів, викиди від приводів газоперекачувальних агрегатів. [19]

Згідно з даними Національного кадастру викидів, у дві тисячі дев'ятнадцятому році витоки парникових газів при транспортуванні природного газу становили значну частку від загальних викидів у нафтогазовому секторі. Невизначеність оцінки цих витоків є досить високою і складає близько двадцяти чотирьох відсотків, що пов'язано з недостатньою достовірністю коефіцієнтів викидів та обмеженістю даних про фактичний технічний стан обладнання. Ця невизначеність підкреслює необхідність впровадження більш досконалих методів обліку викидів на об'єктах транспортування.

Сегмент розподілу газу споживачам через газорозподільні мережі також є джерелом викидів метану. В Україні функціонує розгалужена мережа газорозподільних станцій та розподільних газопроводів, що доставляють газ промисловим, комунальним та побутовим споживачам. Викиди на цьому

етапі пов'язані з витоками на газорозподільних станціях, втратами в розподільних мережах через корозію та механічні пошкодження труб, витратами газу на підігрівачах газорозподільних станцій, технологічними втратами при ремонтах.

Особливу проблему становить застарілість газорозподільної інфраструктури, значна частина якої експлуатується понад тридцять років. Старі сталеві газопроводи піддаються інтенсивній корозії, що призводить до підвищеного рівня витоків. Модернізація газорозподільних мереж із заміною сталевих труб на сучасні поліетиленові є важливим напрямком скорочення викидів метану, проте вимагає значних капітальних вкладень та реалізується повільними темпами через обмеженість фінансових ресурсів.

Аналіз динаміки викидів метану в українському нафтогазовому секторі показує складну картину. З одного боку, спостерігається довгостроковий тренд зниження викидів порівняно з базовим тисяча дев'ятсот дев'яностим роком, що пов'язано передусім зі зменшенням обсягів видобутку та споживання газу. З іншого боку, починаючи з дві тисячі шістнадцятого року можна спостерігати щорічне зростання викидів метану, незважаючи на відносну стабільність обсягів виробництва.

Таке зростання викидів на фоні стабільного видобутку свідчить про погіршення питомих показників емісії, що може бути пов'язано з подальшим старінням інфраструктури, виснаженням родовищ, що вимагає більше енергії для видобутку того самого обсягу газу, недостатніми темпами модернізації обладнання та впровадження сучасних технологій зниження викидів. Ця тенденція підкреслює актуальність завдання активізації зусиль щодо скорочення викидів метану в нафтогазовому секторі України.

Таким чином, характеристика основних джерел викидів метану в Україні показує, що вони розподілені по всьому виробничому ланцюгу нафтогазового комплексу від свердловини до кінцевого споживача. Найбільш значущими є витoki при транспортуванні та розподілі газу, викиди від компресорних станцій, неконтрольовані витoki на об'єктах видобутку та переробки. Ефективне скорочення викидів вимагає комплексного підходу, що охоплює модернізацію інфраструктури, впровадження найкращих доступних технологій, систематичний моніторинг та усунення витоків.

### **3.2. Аналіз даних звітності OGMP 2.0 та національного кадастру викидів**

Порівняльний аналіз даних звітності за міжнародною ініціативою OGMP 2.0 та Національним кадастром антропогенних викидів парникових газів виявляє суттєві відмінності як у методологічних підходах, так і в кількісних оцінках викидів метану. Ці розбіжності обумовлені різними

цілями систем звітності, рівнем деталізації обліку, методами кількісного визначення викидів та повнотою охоплення джерел емісії. Розуміння цих відмінностей є важливим для коректної інтерпретації даних та вдосконалення національної системи обліку викидів.

Національний кадастр викидів парникових газів складається відповідно до вимог Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Керівних принципів МГЕЗК. Для нафтогазового сектору викиди метану обліковуються в категорії один Б два - витoki від нафти та природного газу. Ця категорія включає викиди при розвідці, видобутку, переробці, транспортуванні, зберіганні та розподілі природного газу. Розрахунок викидів базується переважно на використанні стандартних коефіцієнтів емісії, застосованих до даних про обсяги видобутку, переробки та транспортування газу. [20]

За даними останнього Національного кадастру за дві тисячі дев'ятнадцятий рік, витoki парникових газів при виробництві, транспортуванні та споживанні природного газу становили близько сорока восьми мільйонів тонн еквівалента діоксиду вуглецю, з яких витoki при транспортуванні, розподілі та споживанні - тридцять три мільйони тонн. Ці оцінки базуються на використанні коефіцієнтів емісії з Керівних принципів МГЕЗК з певними адаптаціями для національних умов. Невизначеність таких оцінок оцінюється на рівні двадцяти чотирьох відсотків.

Звітність OGMP 2.0, навпаки, орієнтована на детальний облік викидів на рівні окремих активів компанії з використанням більш досконалих методів кількісного визначення. У дві тисячі двадцять третьому році Укргазвидобування подало звіт за рівнем L3, який передбачає деталізацію викидів за тринадцятьма категоріями джерел для кожного з основних активів компанії. До звітності були включені чотири найбільші філії: Газопромислове управління Шебелинкагазвидобування, Газопромислове управління Полтавагазвидобування, Газопромислове управління Львівгазвидобування та Управління з переробки газу та газового конденсату.

Загальний обсяг викидів метану від цих чотирьох активів за звітом OGMP 2.0 у дві тисячі двадцять третьому році становив шість тисяч чотириста сім тонн метану або сто шістдесят тисяч сто вісімдесят тонн еквівалента діоксиду вуглецю, використовуючи коефіцієнт потенціалу глобального потепління двадцять п'ять для метану. Це значення включає лише викиди від об'єктів видобутку, компримування та переробки газу, що належать Укргазвидобуванню, і не охоплює викиди від магістрального транспортування та розподілу газу, які здійснюються іншими операторами.

Розподіл викидів між основними активами показує значну нерівномірність. Газопромислове управління Шебелинкагазвидобування, як

найбільший виробник газу в компанії, має найвищі абсолютні викиди - три тисячі сімсот п'ятдесят сім тонн метану. Газопромислове управління Полтавагазвидобування звітує про чотириста сім тонн, Газопромислове управління Львівгазвидобування - дві тисячі сто сорок п'ять тонн, Управління з переробки газу та газового конденсату - двісті шістьдесят шість тонн метану.

Аналіз структури викидів за категоріями джерел виявляє домінування викидів від категорії стравлювання-інше, яка включає технологічні операції з продування свердловин та обладнання, стравлювання при ремонтах, геологічних дослідженнях. Ця категорія забезпечує п'ять тисяч шістьсот тридцять два тонни метану або вісімдесят вісім відсотків загальних викидів від чотирьох активів. Такий високий внесок технологічних стравлювань є специфікою українських об'єктів видобутку, де експлуатується значна кількість виснажених родовищ, що вимагають частих втручань для підтримання продуктивності свердловин.

Другою за значущістю категорією є неконтрольовані витоки на компонентах та обладнанні, які становлять чотириста п'ятдесят п'ять тонн метану або сім відсотків загальних викидів. Ця категорія включає дифузні витоки через ущільнення арматури, фланцеві з'єднання, сальники насосів та компресорів. Відносно невисока частка цих викидів у загальному балансі може свідчити про недооцінку даного джерела, оскільки розрахунки базуються на загальних коефіцієнтах емісії без систематичних вимірвальних кампаній для виявлення фактичних витоків.

Викиди від стаціонарних джерел спалювання, що включають котли, вогневі підігрівачі, газотурбінні та газопоршневі двигуни, становлять чотирнадцять тонн метану. Це лише 0.2 відсотки загальних викидів, що є логічним, враховуючи високу ефективність згоряння сучасного обладнання. Викиди від спалювання на факелах з неповним згорянням становлять п'ятдесят дев'ять тонн або один відсоток. Відносно низькі викиди від факелів свідчать про обмежене використання факельних установок на об'єктах видобутку компанії.

Викиди від ємностей для зберігання рідин становлять триста сорок п'ять тонн метану, що складає п'ять відсотків загальних викидів. Ця категорія включає емісію при дегазації нестабільного конденсату та витіснення газової фази при заповненні ємностей. Основний внесок дає Газопромислове управління Шебелинкагазвидобування, де зберігаються значні обсяги газового конденсату перед його транспортуванням на переробку. Впровадження систем вловлювання парів на цих ємностях могло б суттєво скоротити викиди. [21]

Порівняння інтенсивності викидів між різними активами показує суттєві відмінності. Якщо розрахувати питомі викиди на одиницю видобутого газу, то найвищі показники спостерігаються у Газопромисловому управлінні Львівгазвидобування. Це може бути пов'язано з особливостями родовищ, що розробляються цією філією, технічним станом обладнання або специфікою технологічних процесів. Детальний аналіз причин таких відмінностей міг би виявити можливості для цільового впровадження заходів зі скорочення викидів.

Важливою проблемою при порівнянні даних OGMP 2.0 та Національного кадастру є різниця в периметрі звітності. Національний кадастр охоплює всі викиди від нафтогазового сектору країни, включаючи викиди від компаній-операторів, незалежних виробників, газотранспортної системи, газорозподільних мереж. Звітність OGMP 2.0 від Укргазвидобування покриває лише частину цих викидів - від об'єктів видобутку та переробки, що належать компанії. Для повного порівняння необхідно було б агрегувати звіти OGMP 2.0 від усіх операторів нафтогазового сектору.

Методологічні відмінності також ускладнюють пряме порівняння. Національний кадастр використовує переважно розрахункові методи рівня один або два за класифікацією МГЕЗК, застосовуючи стандартні коефіцієнти емісії. Звітність OGMP 2.0 рівня L3 вимагає більшої деталізації та використання специфічніших коефіцієнтів або обмежених вимірювань. При переході на рівень L4, який передбачає систематичні прямі вимірювання викидів, можна очікувати виявлення суттєвих розбіжностей з розрахунковими оцінками.

Аналіз невизначеності оцінок викидів показує, що для Національного кадастру невизначеність витоків при транспортуванні та розподілі газу оцінюється на рівні двадцяти чотирьох відсотків. Для звітності OGMP 2.0 компанія не надала детальної оцінки невизначеності, проте можна припустити, що вона також є значною через використання переважно розрахункових методів. Зниження невизначеності вимагає переходу до методів прямих вимірювань та систематичних програм виявлення і усунення витоків.

Часова динаміка викидів, відображена в Національному кадастрі, показує тренд зниження з тисяча дев'ятого року, проте з ознаками стабілізації та навіть зростання в останні роки. Звітність OGMP 2.0 від Укргазвидобування поки охоплює лише один звітний рік, що не дозволяє аналізувати динаміку. Накопичення даних за кілька років дозволить

відстежувати ефективність впроваджених заходів зі скорочення викидів та виявляти тренди на рівні окремих активів та категорій джерел.

Розбіжності між даними різних систем звітності виявляють необхідність гармонізації підходів до обліку викидів. Ідеальним було б узгодження методології Національного кадастру з вимогами OGMP 2.0 та іншими міжнародними стандартами, що забезпечило б сумісність даних та можливість їх взаємної верифікації. Поступовий перехід компаній на вищі рівні звітності OGMP 2.0 з використанням прямих вимірювань дозволить підвищити точність як корпоративної звітності, так і національних оцінок викидів.

Таким чином, аналіз даних звітності OGMP 2.0 та національного кадастру викидів виявляє як спільні риси, так і суттєві відмінності. Обидві системи фіксують значні обсяги викидів метану від нафтогазового сектору України та визнають необхідність їх скорочення. Проте детальність, повнота охоплення та методи кількісного визначення різняться, що призводить до обмеженої порівнянності результатів. Подальший розвиток обох систем у напрямку підвищення точності, прозорості та сумісності даних є важливим завданням для забезпечення ефективного управління викидами метану.

### **3.3. Оцінка викидів метану на об'єктах видобутку та наземної інфраструктури**

Детальна оцінка викидів метану на об'єктах видобутку та наземної інфраструктури Акціонерного товариства Укргазвидобування була проведена в рамках підготовки звіту ОГМП 2.0 за дві тисячі двадцять третій рік. Ця робота охопила чотири основні активи компанії, що забезпечують левову частку національного видобутку природного газу: Газопромислове управління Шебелинкагазвидобування, Газопромислове управління Полтавагазвидобування, Газопромислове управління Львівгазвидобування та Управління з переробки газу та газового конденсату.

Газопромислове управління Шебелинкагазвидобування є найбільшим активом компанії з видобутку понад сорока відсотків блакитного палива в Україні. Управління розробляє п'ятдесят сім нафтогазоконденсатних родовищ у східній частині країни з експлуатаційним фондом тисяча шістсот сорок чотири свердловини. Загальна кількість виробничих об'єктів, включаючи установки комплексної підготовки газу, установки підготовки газу, дотискні компресорні станції та газорозподільні станції, становить сто одну одиницю. Протяжність міжпромислових трубопроводів та шлейфів перевищує чотири тисячі кілометрів.

За результатами оцінки, загальний обсяг викидів метану від об'єктів ГПУ Шебелинкагазвидобування у дві тисячі двадцять третьому році

становив три тисячі сімсот п'ятдесят сім метричних тонн. Структура викидів за категоріями джерел виявляє, що найбільший внесок дають викиди категорії інше - три тисячі триста сорок два тонни або вісімдесят дев'ять відсотків від загального обсягу. Ця категорія включає стравлювання газу при різних технологічних операціях: капітальних та поточних ремонтах свердловин, геологічних дослідженнях, продуванні апаратів та комунікацій.

Викиди від спалювання на факелах з неповним згорянням становлять п'ятдесят одну тонну або один кома чотири відсотка. Факельні установки на об'єктах ГПУ Шебелинкагазвидобування використовуються для утилізації газу при продуванні свердловин та шлейфів. Хоча більша частина газу згоряє, неповнота процесу спалювання призводить до викидів метану в атмосферу. Ефективність факелів залежить від їх конструкції, швидкості вітру, вологості газу та інших факторів.

Неконтрольовані витоки на компонентах та обладнанні оцінюються на рівні дев'ятнадцять тонн або 0.5 відсотка. Ця оцінка базується на обліку витоків через запобіжні пристрої, засоби вимірювальної техніки, ущільнення обладнання та комунікацій. Проте слід зазначити, що повна інвентаризація всіх компонентів обладнання на об'єктах управління ще не завершена, тому реальні викиди від неконтрольованих витоків можуть бути вищими за наведену оцінку.

Викиди від ємностей для зберігання рідин становлять триста сорок чотири тонни або дев'ять кома два відсотка. Ці викиди виникають при дегазації нестабільного газового конденсату в ємностях та при передавлюванні конденсату в конденсатопровід. Процес дегазації є неминучим при зниженні тиску конденсату, що містить розчинені легкі вуглеводні, включаючи метан. Застосування систем вловлювання парів могло б суттєво скоротити ці викиди, проте така модернізація вимагає капітальних вкладень.

Викиди від стаціонарних джерел спалювання на об'єктах ГПУ Шебелинкагазвидобування є мінімальними - один кома один тонна. Це пов'язано з тим, що більшість теплової енергії для технологічних потреб забезпечується компресорними станціями, викиди від яких обліковуються окремо. Котли та вогневі підігрівачі на установках підготовки газу працюють періодично і споживають відносно невелику кількість паливного газу.

Газопромислове управління Полтавагазвидобування розробляє сорок три родовища вуглеводнів у східній та центральній частині України з експлуатаційним фондом сімсот вісімдесят дев'ять свердловин. Управління експлуатує шістдесят один виробничий об'єкт різних типів. Загальна протяжність міжпромислових трубопроводів та шлейфів становить близько

чотирьох тисяч кілометрів. Загальний обсяг викидів метану від об'єктів ГПУ Полтавагазвидобування у дві тисячі двадцять третьому році оцінюється у чотиреста сім метричних тонн.

Структура викидів ГПУ Полтавагазвидобування відрізняється від ГПУ Шебелинкагазвидобування. Неконтрольовані витоки на компонентах обладнання становлять триста сорок сім тонн або вісімдесят п'ять відсотків від загального обсягу. Така висока частка неконтрольованих витоків може бути пов'язана з особливостями обліку на цьому активі або з реальним технічним станом обладнання. Для уточнення оцінки необхідне проведення систематичних обстежень об'єктів з використанням інфрачервоних камер для виявлення витоків.

Викиди від стаціонарних джерел спалювання становлять дев'ять тонн або два відсотки. Викиди категорії інше, що включають стравлювання при технологічних операціях, оцінюються у сорок шість тонн або одинадцять відсотків. Викиди від спалювання на факелах становлять п'ять тонн або один відсоток. Відносно невеликі викиди від факелів можуть свідчити про ефективну роботу факельних установок або про меншу інтенсивність операцій, що супроводжуються спалюванням газу.

Газопромислове управління Львівгазвидобування розробляє сорок одне газове, газоконденсатне та нафтогазоконденсатне родовище. Експлуатаційний фонд свердловин складає п'ятсот тридцять дев'ять одиниць. Загальна кількість виробничих об'єктів становить шістдесят дев'ять одиниць. Протяжність трубопроводів, що обслуговуються управлінням, перевищує тисячу п'ятсот кілометрів. Загальний обсяг викидів метану від об'єктів ГПУ Львівгазвидобування у дві тисячі двадцять третьому році становив дві тисячі сто сорок п'ять метричних тонн.

Особливістю структури викидів ГПУ Львівгазвидобування є домінування викидів від ємностей для зберігання рідин - п'ятсот вісімдесят дві тонни або двадцять сім відсотків. Це пов'язано з видобутком значної кількості газового конденсату на родовищах регіону та необхідністю його зберігання перед відправкою на переробку. Викиди категорії інше становлять тисячу чотиреста вісімдесят дев'ять тонн або шістдесят дев'ять відсотків, що включає стравлювання при капітальних ремонтах свердловин та інших технологічних операціях. [22]

Неконтрольовані витоки на компонентах обладнання оцінюються у сорок чотири тонни або два відсотки. Викиди від стаціонарних джерел спалювання становлять один кома п'ять тонни через роботу котелень та вогневих підігрівачів. Особливістю ГПУ Львівгазвидобування є наявність електростанцій власних потреб на деяких об'єктах, що працюють на

природному газі. Витрати паливного газу такими електростанціями обліковуються окремо і становили близько чотирнадцяти мільйонів кубічних метрів у дві тисячі двадцять третьому році.

Управління з переробки газу та газового конденсату здійснює переробку продукції, видобутої іншими підрозділами компанії. До складу управління входять відділення переробки газового конденсату і нафти, відділення з переробки газу, технологічний цех стабілізації конденсату. Загальний обсяг викидів метану від об'єктів УПГГК у дві тисячі двадцять третьому році становив двісті шістдесят шість метричних тонн.

Найбільший внесок у викиди УПГГК дають стравлювання, класифіковане як категорія інше - двісті чотирнадцять тонн або вісімдесят відсотків. Неконтрольовані витоки на компонентах обладнання становлять сорок п'ять тонн або сімнадцять відсотків. Викиди від спалювання на факелах оцінюються у три тонни, від стаціонарних джерел спалювання - два кома п'ять тонни. Також на об'єктах УПГГК присутні незначні викиди від емностей та систем ущільнення компресорів.

Особливістю викидів на переробних підприємствах є втрати, що виникають при виділенні важких вуглеводнів та неуглеводневих компонентів з природного газу. За даними внутрішньої звітності, такі втрати у дві тисячі двадцять третьому році становили близько тридцяти семи мільйонів кубічних метрів газу. Ці втрати класифікуються як зменшення об'єму газу і не є викидами метану в атмосферу, проте вони впливають на загальний баланс газу на підприємстві.

Компресорні станції дотискання, що експлуатуються всіма газопромисловими управліннями, є потужними споживачами паливного газу. У дві тисячі двадцять третьому році витрати паливного газу газотурбінними агрегатами становили триста сімдесят вісім мільйонів кубічних метрів, поршневі агрегатами - сорок один мільйон кубічних метрів. Спалювання такої кількості газу призводить до викидів діоксиду вуглецю як основного продукту згоряння. Викиди метану від компресорних станцій виникають через неповне згоряння палива та витоки через системи ущільнення компресорів.

Детальна інвентаризація обладнання для оцінки неконтрольованих витоків є складним завданням з огляду на велику кількість об'єктів та компонентів. На типовій установці комплексної підготовки газу кількість потенційних точок витоків може вимірюватися сотнями: фланцеві з'єднання трубопроводів, запірні арматура, клапани-регулятори, запобіжні клапани, сальники насосів, роз'єми приладів. Для всіх чотирьох основних активів

Укргазвидобування загальна кількість компонентів, що потребують обстеження, оцінюється у десятки тисяч.

Програма виявлення та усунення витоків, що реалізується на об'єктах Укргазвидобування, передбачає використання мобільних лабораторій, обладнаних інфрачервоними камерами для візуалізації метану та пристроями для кількісного визначення інтенсивності витоків. У дві тисячі двадцять третьому році було проведено обстеження значної кількості об'єктів з виявленням та документуванням витоків. Проте повне обстеження всіх об'єктів з встановленою періодичністю ще не досягнуто через обмеженість ресурсів мобільних лабораторій.

Виявлені витoki класифікуються за інтенсивністю для визначення пріоритетності їх усунення. Витoki з інтенсивністю понад певне порогове значення підлягають першочерговому ремонту. Витoki меншої інтенсивності можуть усуватися під час планових ремонтів обладнання. Досвід перших років реалізації програми виявлення та усунення витоків показує, що значна частка сумарних викидів припадає на невелику кількість найбільш інтенсивних витоків, так звані супервипускачі. Усунення таких витоків дає найбільший ефект у скороченні викидів.

Оцінка невизначеності даних про викиди метану є важливою для розуміння якості звітності. Для викидів, розрахованих за коефіцієнтами емісії без прямих вимірювань, невизначеність може досягати п'ятдесяти - двохсот відсотків. Для викидів, визначених на основі вимірювань витрат газу витратомірами, невизначеність значно нижча і залежить від точності вимірювального обладнання. Для неконтрольованих витоків невизначеність визначається повнотою обстежень об'єктів та точністю методів кількісного визначення інтенсивності окремих витоків.

Таким чином, оцінка викидів метану на об'єктах видобутку та наземної інфраструктури Укргазвидобування показує, що загальний обсяг викидів від чотирьох основних активів у дві тисячі двадцять третьому році становив шість тисяч чотиреста сорок п'ять метричних тонн. Найбільший внесок дають викиди від ГПУ Шебелинкагазвидобування та ГПУ Львівгазвидобування. Структура викидів за категоріями джерел суттєво відрізняється між активами, що відображає специфіку їх діяльності. Подальше підвищення точності оцінок вимагає завершення детальної інвентаризації обладнання, систематичних обстежень для виявлення витоків та переходу до методів на основі прямих вимірювань.

#### **3.4. Виявлені проблеми та недоліки існуючої системи обліку викидів**

Аналіз існуючої системи обліку викидів метану на об'єктах нафтогазового комплексу України виявив ряд суттєвих проблем та недоліків,

що обмежують точність оцінок емісії та ефективність управління викидами. Ці проблеми мають як методологічний, так і практичний характер і вимагають комплексного підходу до їх вирішення. Розуміння цих проблем є необхідним для розробки стратегії вдосконалення системи моніторингу та звітності викидів парникових газів.

Однією з основних проблем є розбіжності у даних між різними системами звітності. Національний кадастр викидів парникових газів, державна статистична звітність за формою номер два дефіс ТП повітря та корпоративна звітність ОГМП 2.0 надають суттєво відмінні оцінки викидів метану. Так, за даними Національного кадастру, викиди метану в енергетичному секторі України у дві тисячі дев'ятнадцятому році становили близько двох кома вісім мільйона тонн. Державна статистика повідомляє лише чотиреста сорок дві тисячі тонн викидів від стаціонарних джерел, що майже у шість разів менше.

Така розбіжність зумовлена різними методологічними підходами та повнотою охоплення джерел. Національний кадастр використовує розрахункові методи з коефіцієнтами емісії для оцінки всіх категорій джерел, включаючи ті, що не охоплюються статистичною звітністю. Державна статистика базується на даних, що надаються підприємствами добровільно або в обов'язковому порядку при перевищенні певних порогових обсягів викидів. Неорганізовані витіки, що становлять значну частку викидів, часто не враховуються у статистичній звітності через складність їх оцінки.

Відсутність обов'язкової верифікації даних статистичної звітності створює ризики заниження викидів підприємствами. Оскільки метан є забруднюючою речовиною, за викиди якої передбачена сплата екологічного податку, підприємства можуть мати мотивацію занижувати звітні дані. Без незалежної перевірки достовірності звітів така практика може призводити до значних систематичних похибок у загальнонаціональних оцінках викидів. Впровадження обов'язкової верифікації звітності акредитованими незалежними організаціями є необхідною умовою підвищення якості даних.

Застарілість коефіцієнтів емісії, що використовуються для розрахунку викидів у Національному кадастрі, є ще однією проблемою. Багато коефіцієнтів базуються на дослідженнях, проведених у дев'яностих роках минулого століття або навіть раніше, і можуть не відповідати сучасним технологіям та умовам експлуатації обладнання. Наприклад, коефіцієнти викидів для газорозподільних мереж розроблені для сталевих труб і не враховують поширення поліетиленових труб з кращою герметичністю. Розробка актуальних національних коефіцієнтів емісії на основі сучасних вимірювань є пріоритетним напрямком удосконалення методології обліку.

Недостатня деталізація обліку за категоріями джерел обмежує можливості визначення пріоритетних напрямків впровадження заходів зі скорочення викидів. Наприклад, якщо відомо лише загальне значення викидів від об'єктів видобутку газу, неможливо визначити, чи є основним джерелом неконтрольовані витоки, викиди від пневматичних пристроїв, чи стравлювання при технологічних операціях. Детальна класифікація за категоріями джерел, запропонована методологією ОГМП 2.0, дозволяє точніше визначити структуру викидів та ідентифікувати найбільш перспективні можливості їх скорочення.

Відсутність повної інвентаризації обладнання на об'єктах видобутку та транспортування газу ускладнює оцінку неконтрольованих витоків. Для застосування методів розрахунку викидів на основі кількості компонентів обладнання необхідно знати точну кількість фланцевих з'єднань, запірної арматури, насосів, компресорів та інших компонентів на кожному об'єкті. Створення та підтримка актуальної бази даних обладнання вимагає значних зусиль, проте є необхідною для надійної оцінки викидів. На сьогодні така детальна інвентаризація проведена лише для окремих об'єктів.

Обмежена доступність вимірювального обладнання для виявлення та кількісного визначення витоків стримує впровадження програм виявлення та усунення витоків. Інфрачервоні камери для візуалізації метану є дорогим обладнанням, вартість якого може перевищувати сто тисяч доларів США. Хоча Укргазвидобування придбало декілька таких камер та створило мобільні лабораторії, їх кількості недостатньо для регулярного обстеження всіх об'єктів компанії з рекомендованою періодичністю. Розширення парку вимірювального обладнання або залучення сторонніх організацій для проведення обстежень вимагає додаткового фінансування.

Недостатня кваліфікація персоналу для роботи з сучасним вимірювальним обладнанням та методами оцінки викидів є ще одним обмежуючим фактором. Використання інфрачервоних камер, лазерних детекторів, проведення розрахунків невизначеності вимагає спеціальних знань та навичок. Необхідна організація навчання персоналу як для операторів обладнання, так і для фахівців, що відповідають за звітність про викиди. Міжнародні організації, такі як UNEP в рамках ОГМП 2.0, надають методичні матеріали та організують тренінги, проте їх недостатньо для масового навчання.

Відсутність єдиної централізованої інформаційної системи для збору та обробки даних про викиди ускладнює консолідацію звітності на корпоративному та національному рівнях. Дані про витрати та втрати газу збираються різними підрозділами компанії у різних форматах, що вимагає

значних зусиль для їх узгодження та перетворення у звітність ОГМП 2.0. Створення спеціалізованої інформаційної системи з уніфікованими формами введення даних, автоматичними перевірками узгодженості та можливістю генерації звітів у різних форматах значно спростило б процес звітування.

Неузгодженість класифікацій джерел викидів у різних системах звітності створює труднощі при співставленні даних. Внутрішня звітність Укргазвидобування за СОУ про технологічні витрати та втрати газу має тридцять вісім категорій, методологія ОГМП 2.0 визначає тринадцять категорій джерел викидів, Національний кадастр використовує власну класифікацію за видами діяльності. Хоча між цими класифікаціями можна встановити відповідності, процес перекладу даних з однієї системи в іншу є трудомістким та може призводити до помилок. Гармонізація класифікацій є бажаною, проте вимагає узгодження на національному та міжнародному рівнях.

Відсутність регулярного моніторингу ефективності факельних установок призводить до невизначеності оцінок викидів від спалювання газу. Ефективність факелів може коливатися від дев'яноста п'яти до дев'яноста дев'яти відсотків залежно від умов роботи, проте для розрахунків зазвичай приймається деяке усереднене значення. Прямі вимірювання ефективності спалювання за допомогою аналізу димових газів або застосування спеціальних методів дистанційного моніторингу дозволили б підвищити точність оцінок. Проте таке обладнання та методи поки не впроваджені на об'єктах компанії.

Обмежені фінансові ресурси для модернізації обладнання та впровадження технологій скорочення викидів стримують практичну реалізацію заходів. Хоча багато технологій для зниження викидів метану є технічно доступними - системи вловлювання парів на ємностях, сухі газові ущільнення компресорів, електричні приводи замість пневматичних, плунжерні системи для розвантаження свердловин - їх впровадження вимагає капітальних вкладень. В умовах обмеженого фінансування пріоритет надається проектам, що забезпечують швидшу окупність, в той час як екологічні проекти можуть відкладатися.

Недосконалість нормативно-правової бази у сфері моніторингу та звітності викидів парникових газів створює правову невизначеність. Хоча Закон України про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів прийнятий у дві тисячі дев'ятнадцятому році, багато підзаконних актів для його імплементації ще перебувають у стадії розробки або не повністю узгоджені між собою. Зокрема, потребує уточнення перелік установок, що підпадають під обов'язковий моніторинг, методологія

визначення порогових значень викидів, процедури акредитації органів з верифікації.

Відсутність економічних стимулів для скорочення викидів метану обмежує мотивацію підприємств до активних дій. Ставка екологічного податку за викиди метану в Україні є відносно низькою і не створює достатнього економічного тиску для впровадження дорогих технологій скорочення. Крім того, неконтрольовані витрати складно виявити та довести контролюючим органам, що зменшує ризики штрафних санкцій. Впровадження системи торгівлі квотами на викиди парникових газів або інших ринкових механізмів могло б створити додаткові стимули для скорочення викидів.

Недостатня прозорість даних про викиди обмежує громадський контроль та участь зацікавлених сторін у процесі управління викидами. Детальні дані про викиди окремих підприємств та об'єктів зазвичай не оприлюднюються, що ускладнює оцінку їх екологічної ефективності громадськістю та науковим співтовариством. Міжнародні найкращі практики передбачають публікацію даних у відкритих реєстрах викидів та перенесення забруднювачів, що дозволяє кожному зацікавленому отримати інформацію про викиди конкретних підприємств.

Складність врахування всіх джерел викидів у ланцюгу створення вартості ускладнює оцінку повного кліматичного впливу діяльності компанії. Методологія обліку викидів за сферами охоплення розрізняє прямі викиди від власних джерел компанії, непрямі викиди від споживання придбаної енергії та інші непрямі викиди у ланцюгу постачання. Для нафтогазових компаній значущими можуть бути викиди від використання проданого газу споживачами, проте їх облік методологічно складний і зазвичай не проводиться.

Відсутність координації між різними державними органами, що відповідають за регулювання викидів, енергетику та зміну клімату, призводить до дублювання звітності та неузгодженості вимог. Підприємства можуть бути зобов'язані подавати схожу інформацію до Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, Державної служби статистики, галузевого регулятора. Створення єдиного вікна для звітності та координація дій різних відомств могли б спростити адміністративні процедури та підвищити якість даних.

Таким чином, виявлені проблеми та недоліки існуючої системи обліку викидів метану охоплюють широкий спектр методологічних, технічних, організаційних та правових аспектів. Їх вирішення вимагає комплексного підходу, що включає удосконалення методології обліку, розвиток

вимірювальної інфраструктури, навчання персоналу, вдосконалення нормативно-правової бази, створення економічних стимулів для скорочення викидів. Досвід міжнародних ініціатив, таких як ОГМП 2.0, надає цінні орієнтири для розвитку національної системи моніторингу та звітності викидів парникових газів.

## РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ МЕТАНУ НА ГАЗОРОЗПОДІЛЬЧІЙ СТАНЦІЇ

### 4.1. Характеристика об'єкта дослідження – газорозподільча станція на території університету

Об'єктом експериментальних досліджень обрано газорозподільчу станцію, розташовану на території Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Станція забезпечує подачу природного газу для потреб університетського кампусу, включаючи опалення навчальних корпусів, гуртожитків, адміністративних будівель та лабораторних приміщень. Вибір даного об'єкта обумовлений його доступністю для проведення детальних досліджень, можливістю багаторазових вимірювань та типовістю конструкції для невеликих газорозподільчих станцій.



Рис. 4.1 Виявлення витоків метану на території ІФНТУНГ

Газорозподільча станція введена в експлуатацію у дві тисячі п'ятому році та розрахована на максимальну пропускну здатність до п'ятисот кубічних метрів природного газу на годину. Вхідний тиск газу становить 0.6 мегапаскалів, вихідний тиск після редукування – 0.003 мегапаскаля для подачі споживачам. Станція обладнана двома лініями редукування з

можливістю автоматичного перемикання при виході з ладу основної лінії. Кожна лінія включає фільтр-сепаратор для очищення газу від механічних домішок та вологи, регулятор тиску прямої дії, запірну арматуру на вході та виході.

Основне обладнання станції включає фільтри-сепаратори, два регулятори тиску газу, запірну арматуру - кулові крани з ручним приводом, контрольно-вимірювальні прилади - манометри для контролю тиску на вході та виході. Система автоматики забезпечує підтримання заданого тиску на виході незалежно від коливань споживання та вхідного тиску. Запобіжно-скидний клапан налаштований на спрацювання при перевищенні тиску понад 0.004 мегапаскаля для захисту внутрішньобудинкових газопроводів. [23]

Конструктивно станція виконана у вигляді металевого шафи розмірами два на полтора на два з половиною метра, встановленої на відкритому майданчику з огороженням. Газопроводи всередині шафи виконані зі сталевих безшовних труб діаметром п'ятдесят міліметрів з товщиною стінки чотири міліметри. З'єднання елементів обладнання та трубопроводів виконані переважно на різьбових з'єднаннях з використанням ущільнюючих матеріалів. Фланцеві з'єднання застосовані для приєднання фільтрів-сепараторів та регуляторів тиску. Загальна довжина газопроводів всередині станції становить близько дванадцяти метрів.



Рис. 4.2 Об'єкт дослідження на території ІФНТУНГ

Технічний стан станції на момент проведення досліджень оцінювався як задовільний. Станція експлуатується протягом дев'ятнадцяти років,

регламентне технічне обслуговування проводиться двічі на рік - перед початком та після закінчення опалювального сезону. Останній капітальний ремонт з заміною основного обладнання проводився у дві тисячі п'ятнадцятому році. Зовнішній огляд показав наявність слідів корозії на окремих ділянках трубопроводів, особливо в місцях з'єднань. Лакофарбове покриття частково пошкоджене атмосферним впливом.

Режим роботи станції характеризується значними коливаннями споживання газу протягом доби та року. Максимальне споживання припадає на ранкові та вечірні години опалювального сезону, коли витрата може досягати триста п'ятдесят - чотириста кубічних метрів на годину. В літній період споживання мінімальне і становить п'ять - десять кубічних метрів на годину для потреб їдалень та лабораторій. Така циклічність роботи створює додаткові навантаження на ущільнення обладнання через періодичні зміни тиску та температури. [24]

Вибір даного об'єкта для експериментальних досліджень дозволяє отримати репрезентативні дані про типові джерела витоків метану на газорозподільчих станціях невеликої потужності, яких в Україні налічується декілька десятків тисяч. Результати досліджень можуть бути екстрапольовані на подібні об'єкти та використані для розробки рекомендацій щодо зменшення викидів метану в секторі розподілу газу.

## 4.2. Методика проведення вимірювань викидів метану

Методика експериментальних досліджень розроблена з урахуванням вимог міжнародних стандартів моніторингу викидів метану та адаптована до можливостей наявного обладнання. Дослідження проводилися у два етапи: перший етап - попереднє обстеження об'єкта з використанням переносного аналізатора метану для виявлення потенційних місць витоків; другий етап - відбір проб повітря у місцях виявлених витоків та їх кількісний аналіз методом газової хроматографії для точного визначення концентрацій метану.

Обстеження газорозподільчої станції проводилося в осінній період у жовтні дві тисячі двадцять четвертого року при активній роботі обладнання в режимі початку опалювального сезону. Метеорологічні умови під час досліджень: температура повітря плюс дванадцять - плюс п'ятнадцять градусів Цельсія, відносна вологість повітря шістдесят п'ять - сімдесят відсотків, швидкість вітру один - три метри за секунду, атмосферний тиск сто одна кілопаскаль. Вимірювання проводилися в денний час з десятої до шістнадцятої години при природному освітленні.

Перед початком досліджень було розроблено схему обстеження з позначенням всіх основних вузлів обладнання та з'єднань, які підлягали перевірці. Загалом було ідентифіковано тридцять вісім точок потенційних витоків, включаючи різьбові з'єднання - двадцять чотири точки, фланцеві з'єднання - вісім точок, штоки запірної арматури - чотири точки, корпуси регуляторів тиску - дві точки. Для кожної точки розроблено протокол вимірювань з фіксацією координат, типу з'єднання, результатів перевірки аналізатором, концентрації метану за даними хроматографічного аналізу. [25]

Для забезпечення безпеки робіт перед початком вимірювань було отримано дозвіл від служби головного енергетика університету, проведено інструктаж з техніки безпеки, визначено порядок дій у разі виявлення значних витоків. Всі роботи проводилися бригадою з трьох осіб: оператор приладів, асистент для відбору проб, спостерігач для контролю безпеки. Використовувався захисний одяг, рукавички, за наявності значних концентрацій метану - протигаз. Поблизу місця робіт розміщувався вогнегасник.

Документування результатів здійснювалося шляхом ведення польового журналу вимірювань з записом дати, часу, метеоумов, номера точки вимірювання, показань приладів, візуальних спостережень. Для кожної точки з виявленим витоків виконувалося фотографування з зазначенням масштабу. Відібрані проби повітря маркувалися з вказанням номера проби, точки

відбору, дати та часу. Після завершення польових робіт дані переносилися в електронну базу даних для подальшої обробки.

Статистична обробка результатів включала розрахунок середніх значень концентрацій для кожної точки відбору за результатами трьох паралельних вимірювань, стандартного відхилення, похибки вимірювань. Порівняння концентрацій метану в різних точках проводилося методом однофакторного дисперсійного аналізу. Розрахунок масових витрат метану з виявлених витоків здійснювався за емпіричними кореляціями, що зв'язують концентрацію метану поблизу витoku з витратою газу через нещільність.

Загальна тривалість польових досліджень склала три робочі дні. Перший день - попереднє обстеження всіх точок аналізатором метану, виявлення підозрілих місць. Другий день - повторна перевірка виявлених місць витоків, відбір проб повітря для хроматографічного аналізу. Третій день - контрольні вимірювання для підтвердження стабільності виявлених витоків. Лабораторний аналіз проб методом газової хроматографії проводився протягом наступного тижня в лабораторії кафедри. [26]

#### **4.2.1. Застосування переносного аналізатора метану**

Для попереднього скринінгового обстеження газорозподільчої станції використовувався переносний аналізатор метану портативного типу з електрохімічним сенсором. Прилад забезпечує швидке визначення концентрації метану в навколишньому повітрі в діапазоні від нуля до п'яти відсотків об'ємних з роздільною здатністю 0.01 відсотка та часом відгуку менше п'яти секунд. Живлення приладу здійснюється від вбудованого акумулятора, тривалість безперервної роботи - до восьми годин.

Перед початком вимірювань аналізатор було відкаліброване на чистому повітрі (нульова точка) та повірочній газовій суміші з вмістом метану два цома п'ять відсотка об'ємних (контрольна точка). Калібрування проводилося на відкритому повітрі за відсутності джерел метану для встановлення нульових показань та з використанням атестованого балону з повірочною сумішшю для перевірки правильності показань в діапазоні вимірювань. Відхилення показань від паспортного значення повірочної суміші не перевищувало 0.05 відсотка.

Методика обстеження передбачала послідовний обхід всіх визначених точок контролю з піднесенням заборного патрубку аналізатора на відстань два - п'ять сантиметрів від поверхні обладнання в зоні потенційного витoku. Швидкість переміщення датчика вздовж з'єднання становила приблизно п'ять сантиметрів за секунду для забезпечення виявлення локалізованих витоків.

При виявленні підвищення концентрації метану понад фонову проводилося повільне сканування ділянки для точної локалізації місця витoku.

Фонова концентрація метану в повітрі поблизу газорозподільчої станції на відстані п'ять метрів від обладнання становила 0,02 – 0,03% об'ємних, що відповідає природному вмісту метану в атмосфері близько двох мільйонних часток. При наближенні до місць з'єднань обладнання на більшості точок концентрація залишалася на фоновому рівні, що свідчить про герметичність відповідних вузлів. На окремих точках спостерігалось підвищення концентрації, яке зникало при віддаленні датчика.

Критерієм ідентифікації витoku вважалося стабільне підвищення концентрації метану понад 0.1 відсотка об'ємних при піднесенні датчика до з'єднання з повторюваністю результату при повторних вимірюваннях. Всього під час обстеження аналізатором було виявлено вісім точок з ознаками витоків метану. Максимальна зафіксована концентрація становила 0,4 відсотка об'ємних біля різьбового з'єднання на виході регулятора тиску першої лінії редукування.

Переносний аналізатор показав високу ефективність для швидкого скринінгу великої кількості потенційних джерел витоків. Переваги методу - швидкість обстеження, можливість оперативного виявлення проблемних місць, простота використання, відсутність необхідності відбору проб. Обмеження методу - недостатня точність кількісного визначення малих концентрацій, залежність показань від швидкості вітру та температури, неможливість документування результатів для подальшого аналізу.

Виявлені аналізатором точки витоків було позначено на схемі обладнання та відібрано для детального дослідження методом газової хроматографії. Додатково було відібрано п'ять контрольних точок, де аналізатор не показав підвищення концентрації метану, для підтвердження відсутності витоків чутливішим методом. Таким чином, застосування переносного аналізатора дозволило ефективно виконати попередній відбір об'єктів для детальних досліджень та оптимізувати витрати часу на проведення хроматографічного аналізу. [27]

#### 4.2.2. Застосування газового хроматографа

Для точного кількісного визначення концентрацій метану в місцях виявлених витоків застосовувався метод газової хроматографії як найбільш чутливий та селективний аналітичний метод. Використовувався газовий хроматограф лабораторного типу з полум'яно-іонізаційним детектором, який забезпечує межу виявлення метану на рівні нуля цома п'ять мільйонних часток об'ємних з відносною похибкою визначення не більше п'яти відсотків. Хроматограф обладнаний капілярною колонкою довжиною тридцять метрів для розділення компонентів.

Аналіз проводився в ізотермічному режимі при температурі термостата колонок шістдесят градусів Цельсія, температурі випарника сто вісімдесят градусів Цельсія, температурі детектора двісті градусів Цельсія. Як газ-носії використовувалася азот особливої чистоти з швидкістю потоку п'ятнадцять мілілітрів за хвилину. Об'єм проби, що вводилася в хроматограф, становив один мілілітр. Час виходу метану при цих умовах становив приблизно дві з половиною хвилини, час аналізу однієї проби - п'ять хвилин.

Калібрування хроматографа проводилося за п'ятьма точками з використанням атестованих повірочних газових сумішей з вмістом метану десять, п'ятдесят, сто, п'ятсот та тисяча мільйонних часток об'ємних. Для кожної концентрації виконувалося три паралельних вимірювання з розрахунком середнього значення площі хроматографічного піку. Побудована калібрувальна залежність площі піку від концентрації метану описувалася лінійним рівнянням з коефіцієнтом кореляції нуль цома дев'ять дев'ять дев'ять, що підтверджує високу лінійність відгуку детектора.

Відбір проб повітря для хроматографічного аналізу проводився з використанням скляних колб об'ємом п'ятсот мілілітрів з кранами-затворами. Колби попередньо вакуумувалися та герметизувалися для виключення забруднення пробами атмосферного повітря. Для відбору проби колбу відкривали біля місця витoku на відстані один - два сантиметри від поверхні обладнання, повітря затягувалося у колбу за рахунок вакууму протягом п'яти - десяти секунд до вирівнювання тиску з атмосферним.

Відбір проб повітря проводився в триразовій повторності для кожної точки вимірювання з інтервалом п'ять хвилин між відборами. Заповнені колби маркувалися з вказанням номера проби, точки відбору, дати та часу. Проби транспортувалися до лабораторії в термоізолюваному контейнері та аналізувалися протягом наступних двадцяти чотирьох годин. Контрольні вимірювання стабільності концентрації метану в запечатаних колбах

показали зміну концентрації менше трьох відсотків протягом доби зберігання.

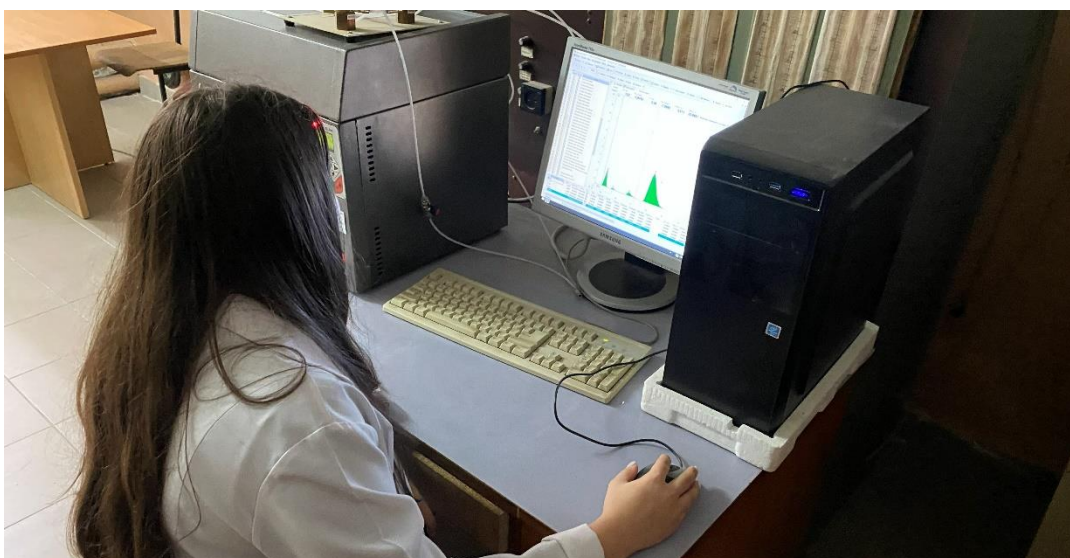


Рис. 4.2 Дослідження отриманих газових сумішей

Для введення проби в хроматограф використовувався газовий шприц об'ємом один мілілітр з герметичним поршнем. Шприц тричі промивався пробою повітря з колби перед відбором аналізованої порції для виключення забруднення залишками попередньої проби. Введення проби в дозатор хроматографа здійснювалося різким поштовхом поршня для мінімізації розмивання зони проби. Кожна проба аналізувалася тричі з розрахунком середнього значення та стандартного відхилення.

Метод газової хроматографії забезпечив високу точність та надійність результатів завдяки селективному детектуванню метану без інтерференції

інших компонентів повітря. Недоліком методу є трудомісткість відбору та підготовки проб, тривалість аналізу, необхідність лабораторного обладнання. Проте для точного кількісного визначення концентрацій метану в діапазоні від фонових до підвищених значень газова хроматографія є оптимальним методом, який широко застосовується в екологічному моніторингу. [28]

### **4.3. Результати експериментальних досліджень**

Результати експериментальних досліджень викидів метану на газорозподільчій станції університету показали наявність локальних витоків на окремих елементах обладнання при загалом задовільному технічному стані об'єкта. З тридцяти восьми обстежених точок потенційних витоків ознаки підвищення концентрації метану виявлено на восьми точках при попередньому обстеженні переносним аналізатором. Хроматографічний аналіз підтвердив наявність витоків на шести з восьми точок, на двох точках підвищення концентрації виявилось в межах похибки вимірювань.

Найвищі концентрації метану зафіксовано біля різьбових з'єднань на виході регуляторів тиску обох ліній редукування. Для першої лінії середня концентрація метану в пробах повітря становила дві тисячі триста мільйонних часток об'ємних з стандартним відхиленням сто двадцять мільйонних часток. Для другої лінії - одна тисяча вісімсот мільйонних часток об'ємних з стандартним відхиленням дев'яносто мільйонних часток. Ці значення майже в тисячу разів перевищують фонову концентрацію метану в атмосфері і однозначно вказують на наявність витоків.

Значні витoki також виявлено на фланцевих з'єднаннях корпусів регуляторів тиску з трубопроводами. Концентрація метану біля фланця першого регулятора становила одна тисяча двісті мільйонних часток об'ємних, другого регулятора - дев'ятсот п'ятдесят мільйонних часток об'ємних. Менші, але також значущі витoki зафіксовано на різьбовому з'єднанні дренажної лінії фільтра-сепаратора першої лінії - п'ятсот вісімдесят мільйонних часток об'ємних та на штоку одного з вхідних кранів - чотириста двадцять мільйонних часток об'ємних.

На контрольних точках, де переносний аналізатор не показав підвищення концентрації метану, хроматографічний аналіз підтвердив відсутність витоків. Концентрації метану в цих точках становили від одна цома вісім до два цома п'ять мільйонних часток об'ємних, що відповідає природному фоновому вмісту метану в атмосфері. Це підтверджує ефективність попереднього скринінгу переносним аналізатором та валідність методики обстеження.

Просторовий розподіл виявлених витоків показує їх концентрацію переважно на елементах обладнання першої (основної) лінії редукування, що пояснюється її більшою завантаженістю в режимі нормальної експлуатації. Друга (резервна) лінія використовується епізодично і відповідно зазнає менших навантажень, що призводить до повільнішого зношування ущільнень. Всі виявлені витoki локалізовані на роз'ємних з'єднаннях - різьбових та фланцевих, жодного витoku не зафіксовано на суцільних ділянках трубопроводів.

Аналіз типів з'єднань показує, що найбільш проблемними є різьбові з'єднання з використанням традиційних ущільнюючих матеріалів - льняної пакулі з суриком або ФУМ-стрічки. При тривалій експлуатації ці матеріали втрачають пружність, особливо при циклічних змінах температури та тиску. Фланцеві з'єднання з паронітовими прокладками показали дещо кращу герметичність, проте також потребують періодичного підтягування болтів для компенсації релаксації матеріалу прокладки.

Кореляційний аналіз виявив зв'язок між інтенсивністю витоків та режимом експлуатації обладнання. Витoki на елементах першої лінії в середньому на п'ятдесят відсотків вищі, ніж на відповідних елементах другої лінії. Також встановлено, що концентрації метану біля з'єднань на ділянках з підвищеним тиском (вхідна частина станції) в середньому вдвічі вищі, ніж на ділянках з низьким тиском (вихідна частина), що відповідає очікуваній залежності інтенсивності витoku від перепаду тиску.

#### **4.3.1. Виявлені джерела витоків метану**

Детальний аналіз виявлених джерел витоків метану дозволяє класифікувати їх за типом конструктивного елемента та механізмом виникнення нещільності. Найпоширенішим типом джерел виявилися різьбові з'єднання, на які припадає чотири з шести підтверджених точок витоків. Різьбові з'єднання широко застосовуються в конструкції станції для приєднання приладів обліку, дренажних ліній, імпульсних трубок, що робить їх найчисельнішою категорією потенційних джерел.

Різьбове з'єднання на виході регулятора тиску першої лінії показало найвищу концентрацію метану серед всіх виявлених джерел. Візуальний огляд з'єднання виявив наявність забруднень, залишків мастильного матеріалу, що використовувався при монтажі, відсутність слідів недавнього підтягування. При спробі обережного підтягування з'єднання гайковим ключем спостерігалось зменшення концентрації метану в пробах повітря на тридцять відсотків, що підтверджує недостатність затягу як причину витoku.

Подальше підтягування не проводилося без узгодження з експлуатуючою організацією.

Друге значне різьбове з'єднання-джерело витоків локалізоване на дренажній лінії фільтра-сепаратора. Це з'єднання характеризується періодичним відкриванням для зливу накопиченого конденсату, що призводить до прискореного зношування ущільнення. Конструкція дренажу передбачає кульовий кран та різьбовий ніпель для приєднання шланга. Витік виявлено саме на різьбі ніпеля, де використовується ФУМ-стрічка як ущільнюючий матеріал. При частому відгвинчуванні-загвинчуванні ФУМ-стрічка руйнується і потребує заміни.

Фланцеві з'єднання на корпусах регуляторів тиску становлять другий за значимістю тип джерел витоків. Ці з'єднання виконані за стандартом DN50 з використанням паронітових прокладок товщиною три міліметри. Болти фланців затягнуті хрестоподібним способом для рівномірного розподілу зусилля. Візуальний огляд показав відсутність видимих деформацій прокладок, проте наявність витоків вказує на часткову втрату пружних властивостей паронітувнаслідок тривалої експлуатації при підвищених температурах.

Шток запірної арматури як джерело витоків представлений одним випадком на вхідному крані станції. Сальникове ущільнення штока виконане традиційною конструкцією з набивкою з азбестового шнура в сальниковій камері з можливістю підтягування. Наявність витоків при, здавалося б, справній конструкції пояснюється недостатнім технічним обслуговуванням - сальникова набивка не підтягувалася та не замінювалася з моменту останнього капітального ремонту дев'ять років тому.

Цікавим результатом досліджень стала відсутність витоків на зварних з'єднаннях трубопроводів, незважаючи на тривалий термін експлуатації та наявність зовнішньої корозії на окремих ділянках. Це підтверджує високу надійність якісно виконаних зварних швів порівняно з роз'ємними з'єднаннями. Зварні шви обстежувалися переносним аналізатором особливо ретельно, проте жодного разу не зафіксовано підвищення концентрації метану.

Аналіз виявлених джерел витоків з точки зору можливості усунення показує, що більшість з них може бути ліквідована простими заходами технічного обслуговування без зупинки станції. Підтягування різьбових з'єднань, заміна ущільнюючих матеріалів на дренажних лініях, підтягування сальників кранів - це стандартні операції планово-попереджувального ремонту. Заміна прокладок фланцевих з'єднань регуляторів потребує

короткочасного відключення відповідної лінії редукування з переключенням на резервну лінію.

#### **4.3.2. Кількісна оцінка обсягів викидів метану**

Кількісна оцінка обсягів викидів метану з виявлених витоків виконувалася за допомогою емпіричних кореляцій, які зв'язують виміряну концентрацію метану в навколишньому повітрі біля місця витoku з масовою витратою газу через нещільність. Використовувалася спрощена модель, що припускає витікання газу через круглий отвір малого діаметра з подальшою турбулентною дифузією у навколишнє середовище. Модель враховує перепад тиску, властивості газу, швидкість вітру, відстань від витoku до точки вимірювання.

Для різьбового з'єднання на виході регулятора першої лінії з концентрацією метану дві тисячі триста мільйонних часток об'ємних при відстані вимірювання два сантиметри та перепаді тиску нуль цома нуль нуль три мегапаскаля розрахункова масова витрата витoku становить приблизно нуль цома вісімдесят грамів метану на годину. При безперервній роботі станції це відповідає викиду близько сімсот грамів метану на добу або дев'ятнадцять кілограмів на місяць для даного джерела.

Аналогічні розрахунки для інших виявлених джерел дають наступні оцінки масових витрат: різьбове з'єднання регулятора другої лінії - нуль цома шістдесят п'ять грамів на годину, фланцеві з'єднання регуляторів - по нуль цома сорок - нуль цома п'ятдесят грамів на годину кожне, різьбове з'єднання дренажної лінії - нуль цома тридцять грамів на годину, шток крана - нуль цома двадцять п'ять грамів на годину. Сумарні викиди метану з усіх виявлених джерел становлять приблизно три цома нуль грамів на годину.

Екстраполяція цих даних на рік безперервної роботи дає оцінку річних викидів метану з газорозподільчої станції університету близько двадцяти шести кілограмів. При перерахунку на еквівалент діоксиду вуглецю з використанням коефіцієнта глобального потенціалу потепління для метану двадцять п'ять це відповідає шестистам п'ятдесяти кілограмам CO<sub>2</sub>-еквівалента на рік. Для порівняння, така кількість викидів парникових газів еквівалентна спалюванню близько двохсот п'ятдесяти літрів бензину.

Питомі викиди метану віднесені до кількості газу, що проходить через станцію, становлять приблизно нуль цома нуль п'ять відсотків від обсягу транспортованого газу. Це значення знаходиться на нижній межі типового діапазону втрат для газорозподільчих станцій без систем герметизації, який за даними міжнародних досліджень становить нуль цома нуль один - нуль

цома один відсотка. Відносно низький рівень втрат пояснюється невеликою потужністю станції та помірними робочими тисками.

Важливо відзначити значну невизначеність отриманих кількісних оцінок, яка складається з кількох компонентів. Невизначеність вимірювання концентрацій метану методом газової хроматографії становить приблизно п'ять відсотків. Невизначеність емпіричних кореляцій для розрахунку масових витрат з вимірних концентрацій може досягати п'ятдесяти відсотків через спрощення реальної геометрії витоків та умов розсіювання. Загальна невизначеність оцінки сумарних викидів оцінюється в діапазоні плюс-мінус сімдесят відсотків.

Незважаючи на високу невизначеність абсолютних значень, отримані дані дозволяють порівняти відносну значимість різних джерел витоків та визначити пріоритети для заходів з їх усунення. Найбільший внесок у сумарні викиди дають різьбові з'єднання на виході регуляторів тиску - близько п'ятдесяти відсотків, фланцеві з'єднання регуляторів - близько тридцяти відсотків, інші джерела - двадцять відсотків. Це вказує на доцільність першочергової уваги саме до вузлів регуляторів тиску при плануванні ремонтних робіт.

#### **4.4. Аналіз отриманих даних та порівняння з нормативними показниками**

Аналіз отриманих експериментальних даних у контексті чинних нормативів та міжнародних стандартів показує, що виявлені викиди метану на газорозподільчій станції університету знаходяться в межах типових значень для обладнання аналогічного призначення та терміну експлуатації. Згідно з СОУ 35.2-30019775-054:2012 «Нормування виробничо-технологічних витрат і нормативних втрат природного газу», нормативні втрати газу на газорозподільчих станціях враховують витрати на експлуатацію пневмоприводів, продування обладнання, втрати через нещільності.

Для газорозподільчих станцій з ручним керуванням запірною арматурою без пневмоприводів основною складовою нормативних втрат є втрати через нещільності обладнання та комунікацій. Стандарт встановлює питомі норми втрат у розмірі нуль цома нуль нуль п'ять відсотків від кількості газу, що транспортується, для станцій у задовільному технічному стані та нуль цома нуль два відсотки для станцій у незадовільному стані. Отримане в дослідженні значення нуль цома нуль п'ять відсотка відповідає верхній межі норми для задовільного стану.

Порівняння з даними міжнародних досліджень викидів метану з газорозподільчої інфраструктури показує, що виміряні значення узгоджуються з типовими. За даними досліджень Агентства з охорони навколишнього середовища США, середні питомі викиди метану з газорозподільчих станцій становлять нуль цома нуль нуль чотири відсотки з діапазоном від нуль цома нуль нуль один до нуль цома два відсотка. Дослідження в країнах Європейського Союзу дають схожі значення - нуль цома нуль три - нуль цома нуль вісім відсотка.

Важливим аспектом є співставлення вимірних концентрацій метану з санітарно-гігієнічними нормативами для повітря робочої зони та атмосферного повітря населених місць. Гранично допустима концентрація метану в повітрі робочої зони згідно ГОСТ 12.1.005 становить семь тисяч міліграмів на кубічний метр або нуль цома п'ять відсотків об'ємних. Максимальна виміряна концентрація дві тисячі триста міліонних часток відповідає нуль цома двадцять три відсотка від ГДК, тобто знаходиться значно нижче нормативу.

Для атмосферного повітря населених місць встановлено менш жорсткі нормативи через розбавлення викидів. Орієнтовно безпечний рівень впливу метану для атмосферного повітря становить п'ятдесят міліграмів на кубічний метр максимальна разова концентрація. Фонові концентрації метану в повітрі поблизу станції на відстані п'ять метрів не перевищували нуль цома нуль нуль три відсотка або близько два міліграми на кубічний метр, що значно нижче орієнтовного безпечного рівня.

Оцінка потенціалу скорочення викидів метану показує, що усунення виявлених витоків дозволить зменшити викиди приблизно на вісімдесят відсотків від поточного рівня. Простими заходами - підтягуванням різьбових з'єднань, заміною зношених ущільнень, підтягуванням сальників - можна досягти скорочення викидів на п'ятнадцять - двадцять кілограмів метану на рік. Залишкові витoki на рівні чотири - п'ять кілограмів на рік будуть обумовлені фоновією проникністю обладнання, характерною для будь-якої газової апаратури.

Економічна оцінка збитків від виявлених витоків включає як вартість втраченого газу, так і еквівалентну вартість викидів парникових газів при встановленні ціни на вуглець. Вартість двадцяти шести кілограмів метану (близько тридцять шість кубічних метрів природного газу) за роздрібними тарифами становить приблизно п'ятсот гривень на рік. При ціні на вуглець вісімдесят євро за тонну CO<sub>2</sub>-еквівалента (середнє значення в системі торгівлі викидами ЄС) вартість викинутих шестисот п'ятдесяти кілограмів

CO<sub>2</sub>-еквівалента становить близько п'ятдесят євро або дві тисячі гривень на рік, що в чотири рази перевищує вартість втраченого газу.

## **РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ МЕТАНУ**

### **5.1. Технологічні рішення для зменшення викидів на об'єктах видобутку та розподілу газу**

Нафтогазова галузь має у своєму розпорядженні широкий спектр технологічних рішень для скорочення викидів метану, багато з яких є технічно доступними та економічно ефективними. Ці технології охоплюють весь ланцюг створення вартості - від видобутку до розподілу газу споживачам. Впровадження таких рішень дозволяє не лише зменшити негативний вплив на клімат, але й підвищити ефективність використання ресурсів, оскільки зменшені викиди означають збережений газ, який можна продати.

На об'єктах видобутку газу одним з найбільш ефективних технологічних рішень є заміна пневматичних пристроїв, що працюють на природному газі, на електричні або повітряні. Пневматичні контролери та клапани широко використовуються для регулювання технологічних процесів, проте вони постійно випускають невеликі обсяги газу в атмосферу при своїй роботі. Пневматичні пристрої низького стравлювання випускають менше газу порівняно з пристроями високого стравлювання, проте повна заміна на електричні інструментальні системи дозволяє повністю виключити ці викиди. За оцінками експертів, заміна одного пневматичного контролера високого стравлювання може запобігти викидам до п'яти тонн метану на рік. [29]

Модернізація систем штучного підйому рідини зі свердловин дозволяє значно скоротити викиди від розвантаження свердловин. На виснажених родовищах пластовий тиск часто є недостатнім для виносу рідини на поверхню, що призводить до її накопичення у свердловині та зниження видобутку газу. Традиційним методом розвантаження є продування свердловини в атмосферу або на факел, що призводить до втрат газу. Плунжерні системи підйому дозволяють виносити рідину без викидів газу шляхом використання тиску газу для підйому спеціального плунжера. Електричні занурені насоси є ще більш ефективним рішенням, проте вимагають наявності електропостачання.

Системи вловлювання парів на ємностях для зберігання рідких вуглеводнів є важливим елементом скорочення викидів на об'єктах підготовки газу та конденсату. При зберіганні нестабільного газового конденсату або нафти в атмосферних резервуарах відбувається випаровування легких фракцій, включаючи метан. Система вловлювання парів забезпечує збір газової фази з простору над рівнем рідини в резервуарі

та її повернення у технологічний процес або компресування для подачі у газопровід. Така система може скоротити викиди від резервуарів на дев'яносто п'ять - дев'яносто дев'ять відсотків.

Модернізація компресорних станцій дотискання включає декілька технологічних рішень для скорочення викидів. Заміна мокрих ущільнень валів відцентрових компресорів на сухі газові ущільнення дозволяє практично повністю виключити постійні витoki метану через систему ущільнення. Сухі газові ущільнення використовують тонку плівку газу між нерухомим та обертовим кільцями для забезпечення герметичності. Газ, що надходить до системи ущільнення, повертається на вхід компресора, а не викидається в атмосферу. Один відцентровий компресор з мокрим ущільненням може випускати до ста тонн метану на рік, тому ефект від модернізації є значним.

Для поршневих компресорів скорочення викидів досягається шляхом встановлення систем відведення газу від штокових ущільнень. Конструкція поршневого компресора передбачає наявність штока, що рухається через ущільнення, і повна герметичність технічно недосяжна. Проте замість випуску газу з ущільнень в атмосферу його можна збирати та направляти на всмоктування компресора або у факельну систему. Регулярне обслуговування та заміна зношених ущільнень також суттєво зменшує викиди.

На об'єктах транспортування та розподілу газу основним напрямком скорочення викидів є модернізація запірної арматури. Застарілі конструкції кранів мають недосконалі ущільнення штоків, що призводять до хронічних витоків. Сучасні крани з подвійним ущільненням штока та системою контролю герметичності забезпечують набагато кращу герметичність. При плановій заміні ділянок газопроводів доцільно одразу встановлювати сучасну арматуру. Пріоритет має надаватися заміні кранів на критично важливих об'єктах та на ділянках з високим тиском.

Впровадження технологій безтраншейного ремонту та заміни трубопроводів дозволяє зменшити викиди при проведенні робіт на діючих газопроводах. Традиційний метод ремонту вимагає спорожнення ділянки трубопроводу шляхом випуску газу або продування азотом. Технології ремонту під тиском, такі як встановлення композитних муфт або сталевих бандажів, дозволяють усунути деякі типи дефектів без зупинки транспортування газу. Методи заміни труб протягуванням нової труби всередині старої також зменшують обсяги стравлювання газу.

Оптимізація режимів роботи технологічного обладнання може забезпечити скорочення викидів без капітальних вкладень. Регулювання

навантаження компресорних станцій для мінімізації циклів пуску-зупинки зменшує викиди при цих операціях. Оптимізація графіків проведення планово-профілактичних ремонтів дозволяє групувати роботи на декількох об'єктах та скорочувати загальну кількість циклів спорожнення-заповнення. Впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами забезпечує більш точне регулювання параметрів та зменшення аварійних ситуацій.

Таким чином, технологічні рішення для скорочення викидів метану характеризуються різними рівнями складності впровадження та витрат. Деякі заходи, такі як оптимізація режимів роботи або поліпшення практик технічного обслуговування, можуть бути реалізовані з мінімальними витратами. Інші, такі як заміна компресорного обладнання або модернізація газопроводів, вимагають значних капітальних вкладень. Комплексний підхід передбачає поєднання швидко реалізованих малозатратних заходів з довгостроковими програмами модернізації інфраструктури.

## **5.2. Програми виявлення та усунення витоків (LDAR)**

Програми виявлення та усунення витоків є одним з найбільш ефективних та широко застосовуваних інструментів управління викидами метану в нафтогазовій галузі. Абревіатура LDAR походить від англійського Leak Detection and Repair і означає систематичний підхід до моніторингу обладнання, виявлення місць витоків та їх своєчасного усунення. Ефективність програм LDAR підтверджена досвідом багатьох компаній у різних країнах світу, де їх впровадження дозволило скоротити неконтрольовані викиди на двадцять - шістдесят відсотків.

Основою програми LDAR є регулярні обстеження обладнання з використанням спеціалізованих приладів для виявлення витоків метану. Найбільш поширеними є інфрачервоні камери для візуалізації метану, які дозволяють оператору побачити невидиме неозброєним оком газове хмара, що виходить з місця витоку. Ці камери працюють у середньому інфрачервоному діапазоні спектру, де метан має характерні смуги поглинання. Переваги методу полягають у швидкості обстеження великих територій та можливості виявлення витоків на важкодоступних об'єктах з безпечної відстані.

Після виявлення витоку за допомогою інфрачервоної камери необхідно визначити його інтенсивність для оцінки пріоритетності ремонту. Для кількісного визначення витоків застосовуються спеціальні пристрої, такі як Ні Flow Sampler, які вимірюють концентрацію метану та швидкість потоку повітря біля місця витоку і розраховують масову інтенсивність викиду. Витоки класифікуються за інтенсивністю: низькі - менше п'яти грамів на

годину, середні - від п'яти до п'ятдесяти грамів на годину, високі - понад п'ятдесят грамів на годину. Встановлюються порогові значення, при перевищенні яких витік підлягає обов'язковому усуненню у встановлений термін.

Організація програми LDAR вимагає створення детального реєстру обладнання, що підлягає обстеженню. Для кожного об'єкта складається список компонентів з унікальними ідентифікаторами: фланцеві з'єднання, запірна арматура, регулюючі клапани, запобіжні клапани, сальники насосів, з'єднання приладів. Кожен компонент маркується для можливості його ідентифікації під час обстежень. Створюється база даних з інформацією про тип, розмір, робочий тиск, середовище для кожного компонента. За експертними оцінками, на типовій установці комплексної підготовки газу кількість компонентів може досягати декількох тисяч одиниць.

Періодичність обстежень встановлюється залежно від типу обладнання та його критичності. Міжнародна практика передбачає кварталні або місячні обстеження для компонентів, що працюють у важких умовах або мають історію частих витоків - так звані компоненти важкого режиму. Для більшості обладнання застосовується піврічна або річна періодичність. Факельні системи та аварійні випускні пристрої можуть обстежуватися рідше. Під час кожного обстеження інформація про виявлені витіки заноситься до бази даних з зазначенням місця, типу компонента, оціненої інтенсивності.

Усунення виявлених витоків має здійснюватися у встановлені терміни залежно від їх інтенсивності. Високоінтенсивні витіки підлягають негайному ремонту або усуненню протягом доби після виявлення. Середньоінтенсивні витіки мають бути усунені протягом тижня або місяця. Низькоінтенсивні витіки можуть усуватися під час планових ремонтів обладнання. Після усунення проводиться повторне обстеження для підтвердження ефективності ремонту. Інформація про дату та спосіб усунення заноситься до бази даних для аналізу ефективності програми.

Аналіз даних програми LDAR дозволяє виявити типові місця виникнення витоків та розробити превентивні заходи. Статистика показує, що певні типи обладнання або компонентів є більш схильними до витоків. Наприклад, фланцеві з'єднання можуть втрачати герметичність через ослаблення болтів при температурних циклах, сальники насосів - через зношування ущільнень. Виявлення таких закономірностей дозволяє скоригувати графіки технічного обслуговування, встановити вимоги до якості монтажу, обґрунтувати заміну ненадійного обладнання. [30]

Впровадження програми LDAR на об'єктах Акціонерного товариства Укргазвидобування розпочалося у дві тисячі двадцять третьому році з придбання інфрачервоних камер та створення мобільних лабораторій. Було проведено обстеження об'єктів усіх чотирьох основних активів компанії з виявленням та документуванням витоків. Перший досвід показав високу ефективність методу та значний потенціал скорочення викидів. Проте для повномасштабного впровадження програми необхідне збільшення кількості вимірювального обладнання, навчання більшої кількості операторів, автоматизація процесу збору та обробки даних.

Економічна ефективність програм LDAR визначається балансом між витратами на проведення обстежень та вартістю збереженого газу і зменшеними екологічними платежами. Для великих компаній з розгалуженою інфраструктурою витрати на придбання обладнання та проведення регулярних обстежень можуть бути значними. Проте виявлення та усунення навіть невеликої кількості високоінтенсивних витоків може забезпечити окупність програми протягом одного - двох років. Додатковим ефектом є підвищення безпеки об'єктів через зменшення ризиків утворення вибухонебезпечних концентрацій газу. [31]

Таким чином, програми виявлення та усунення витоків є ключовим елементом стратегії скорочення викидів метану в нафтогазовій галузі. Їх систематичне впровадження на всіх об'єктах видобутку, підготовки, транспортування та розподілу газу дозволяє досягти суттєвого зменшення неконтрольованих викидів. Успіх програми залежить від забезпечення необхідними ресурсами, кваліфікації персоналу, якості реєстру обладнання та дотримання встановлених процедур обстеження і усунення витоків.

### **5.3. Модернізація обладнання та інфраструктури**

Модернізація обладнання та інфраструктури нафтогазового комплексу є фундаментальним підходом до довгострокового скорочення викидів метану. На відміну від оперативних заходів, таких як виявлення та усунення витоків, модернізація передбачає заміну застарілого обладнання на сучасне з кращими екологічними характеристиками або реконструкцію існуючих систем для підвищення їх надійності та ефективності. Хоча такі проєкти вимагають значних капітальних вкладень, вони забезпечують стабільне зниження викидів протягом тривалого періоду експлуатації нового обладнання.

Модернізація компресорних станцій дотискання є одним з пріоритетних напрямків для об'єктів видобутку газу. На виснажених родовищах для підтримання видобутку на економічно доцільному рівні експлуатуються дотискні компресорні станції, що підвищують тиск газу

перед подачею у магістральний газопровід. Заміна застарілих газотурбінних приводів на сучасні моделі з вищим коефіцієнтом корисної дії дозволяє зменшити споживання паливного газу і відповідно викиди діоксиду вуглецю від спалювання. Модернізація систем ущільнення компресорів, як вже зазначалося, практично виключає постійні витоки метану.

Реконструкція газопроводів та газорозподільних мереж спрямована на підвищення їх герметичності та надійності. В Україні значна частина розподільних мереж експлуатується понад тридцять років, а деякі ділянки - понад п'ятдесят років. Корозія сталевих труб призводить до виникнення свищів та витоків газу. Програми планової заміни найбільш зношених ділянок на сучасні поліетиленові труби дозволяють суттєво зменшити втрати газу. Поліетиленові труби мають високу корозійну стійкість, довговічність понад п'ятдесят років, зручність монтажу з використанням зварювання нагрітим інструментом.

Модернізація систем обліку газу включає встановлення сучасних вимірювальних комплексів з вищою точністю та надійністю. Застарілі механічні лічильники поступово замінюються електронними витратомірами різних типів: турбінними, ротаційними, ультразвуковими, коріолісовими. Підвищення точності обліку дозволяє краще контролювати баланс газу та своєчасно виявляти аномальні втрати. Впровадження систем дистанційного зняття показань забезпечує оперативне отримання інформації про споживання газу без необхідності виїзду на об'єкт. [32]

Реконструкція факельних систем спрямована на підвищення ефективності спалювання та зменшення кількості випадків стравлювання газу без спалювання. Встановлення сучасних багатоточкових пальників забезпечує стабільне горіння при різних витратах газу та погодних умовах. Системи автоматичного запалювання виключають ситуації, коли газ надходить на факел, але не запалюється. Впровадження систем безфакельного стравлювання з компресуванням та поверненням газу у процес дозволяє повністю виключити викиди при планових операціях продування обладнання.

Модернізація установок підготовки газу та конденсату включає впровадження енергоефективних технологій та систем утилізації викидів. Заміна застарілих теплообмінників на сучасні пластинчасті або кожухотрубні конструкції з вищою ефективністю теплопередачі зменшує витрати паливного газу на підігрів. Встановлення систем рекуперації тепла дозволяє використовувати теплоту продуктів згоряння для попереднього підігріву повітря або газу. Модернізація систем осушки газу з впровадженням

адсорбційних установок замість гліколевих дозволяє досягти кращої якості підготовки при менших викидах.

Автоматизація технологічних процесів та впровадження цифрових систем управління є сучасним трендом модернізації об'єктів нафтогазового комплексу. Встановлення програмованих логічних контролерів, датчиків параметрів процесу, виконавчих механізмів дозволяє реалізувати автоматичне регулювання режимів роботи обладнання з підтриманням оптимальних параметрів. Системи диспетчерського контролю та збору даних забезпечують централізований моніторинг стану об'єктів та дистанційне керування. Це дозволяє швидко реагувати на відхилення від нормальних режимів та запобігати аварійним ситуаціям.

Впровадження систем енергоменеджменту на об'єктах компанії дозволяє оптимізувати споживання енергоресурсів та зменшити викиди парникових газів. Енергетичні аудити виявляють можливості економії енергії та підвищення ефективності. Встановлення приладів обліку енергоресурсів дозволяє контролювати їх витрачання. Впровадження заходів з енергозбереження - теплоізоляція обладнання та трубопроводів, встановлення частотно-регульованих приводів, оптимізація режимів роботи - забезпечує скорочення споживання паливного газу та електроенергії.

Реалізація проєктів модернізації вимагає ретельного планування та обґрунтування. Розробляються технічні проєкти з детальним описом обсягів робіт, специфікацією обладнання, кошторисами витрат. Проводиться оцінка економічної ефективності проєктів з розрахунком строку окупності, чистої приведеної вартості, внутрішньої норми рентабельності. Враховуються не лише прямі фінансові вигоди від економії газу та зменшення екологічних платежів, але й додаткові ефекти - підвищення надійності постачання, зменшення витрат на ремонти, поліпшення умов праці персоналу.

Таким чином, модернізація обладнання та інфраструктури є капіталомістким, але стратегічно важливим напрямком скорочення викидів метану. Впровадження сучасних технологій дозволяє не лише зменшити викиди парникових газів, але й підвищити загальну ефективність та конкурентоспроможність підприємств нафтогазової галузі. Успішна реалізація програм модернізації вимагає залучення значних інвестицій, кваліфікованого проєктного управління, дотримання графіків виконання робіт та забезпечення якості встановленого обладнання.

#### **5.4. Економічна ефективність заходів зі скорочення викидів метану**

Економічна ефективність заходів зі скорочення викидів метану є ключовим фактором, що визначає можливість та доцільність їх практичної реалізації. На відміну від викидів діоксиду вуглецю, які є неминучим

наслідком спалювання вуглецевмісних палив, викиди метану представляють собою втрати цінного товарного продукту. Тому багато заходів зі скорочення викидів метану можуть бути економічно вигідними навіть без врахування екологічних вигод, оскільки збережений газ може бути проданий споживачам. Це створює унікальну ситуацію, коли екологічні та економічні цілі збігаються.

Вартість заходів зі скорочення викидів метану варіюється у широкому діапазоні залежно від типу технології та масштабів впровадження. Найбільш економічно ефективними є організаційні заходи та поліпшення практик експлуатації обладнання, які не вимагають капітальних вкладень або вимагають мінімальних витрат. Приклади таких заходів включають оптимізацію режимів роботи обладнання для мінімізації стравлювання, покращення процедур технічного обслуговування, навчання персоналу. Такі заходи можуть забезпечити скорочення викидів на п'ять - п'ятнадцять відсотків практично без витрат.

Програми виявлення та усунення витоків характеризуються середнім рівнем витрат та високою ефективністю. Придбання інфрачервоної камери для візуалізації метану вимагає інвестицій у розмірі сто - сто п'ятдесят тисяч доларів США. Витрати на проведення обстежень включають заробітну плату операторів, транспортні витрати, вартість обслуговування обладнання. Для великого газовидобувного підприємства з сотнями об'єктів річні витрати на програму LDAR можуть становити декілька мільйонів доларів. Проте вартість збереженого газу при усуненні виявлених витоків часто перевищує витрати на програму, забезпечуючи окупність протягом одного - трьох років.

Заміна пневматичних пристроїв на електричні має помірну вартість та швидку окупність. Вартість одного електричного контролера становить від п'ятисот до двох тисяч доларів США залежно від складності та функціональності. Економія газу від заміни одного пневматичного контролера високого стравлювання може досягати п'яти тисяч кубічних метрів на рік. При ціні газу п'ятсот доларів за тисячу кубічних метрів річна економія становить дві тисячі п'ятсот доларів, що забезпечує окупність протягом одного року або менше. Для контролерів низького стравлювання економія менша, але все одно забезпечує прийнятну окупність.

Модернізація компресорів з встановленням сухих газових ущільнень замість мокрих є більш капіталомісним заходом. Вартість модернізації одного великого відцентрового компресора може становити від ста тисяч до декількох сотень тисяч доларів залежно від розміру та складності. Проте економія від зменшення витоків метану може досягати ста тонн на рік з одного компресора, що еквівалентно близько ста тридцяти п'яти тисячам

кубічних метрів газу. При врахуванні також зменшення споживання масла для систем ущільнення та зниження витрат на обслуговування строк окупності становить три - п'ять років. [33]

Встановлення систем вловлювання парів на ємностях має вищу вартість через необхідність компресорного обладнання для стиснення зібраних парів. Вартість типової системи для резервуара місткістю декілька тисяч кубічних метрів може становити від двохсот тисяч до п'ятисот тисяч доларів. Обсяг вловлених парів залежить від летючості рідини, яка зберігається, частоти операцій наповнення-спорожнення, температурних коливань. Для резервуарів нестабільного конденсату економія може досягати декількох сотень тонн метану на рік, що забезпечує окупність протягом п'яти - десяти років.

Реконструкція газопроводів та заміна зношених ділянок на нові труби має найвищу вартість серед заходів зі скорочення викидів. Вартість спорудження одного кілометра газопроводу середнього діаметру може становити від ста тисяч до декількох мільйонів доларів залежно від діаметру, тиску, умов прокладання. Проте такі проекти зазвичай обґрунтовуються не лише скороченням викидів, але й необхідністю забезпечення надійності постачання, підвищення пропускної здатності, відповідності технічним нормам. Екологічні вигоди від зменшення витоків є додатковим позитивним ефектом.

Вплив ціни на вуглець на економічну ефективність заходів є суттєвим фактором для прийняття рішень. В країнах Європейського Союзу ціна квоти на викиди однієї тонни еквівалента діоксиду вуглецю у системі торгівлі викидами досягла понад вісімдесят євро. При такій ціні та коефіцієнті потенціалу глобального потепління метану двадцять п'ять, уникнення викидів однієї тонни метану еквівалентне економії дві тисячі євро на квотах. Це робить економічно ефективними навіть відносно дорогі заходи зі скорочення викидів. В Україні система торгівлі квотами поки не впроваджена, проте у майбутньому це може суттєво змінити економіку проєктів.

Доступ до міжнародного кліматичного фінансування може покращити економічну привабливість проєктів зі скорочення викидів метану. Міжнародні фінансові організації, такі як Європейський банк реконструкції та розвитку, Світовий банк, Зелений кліматичний фонд, надають кредити та гранти на пільгових умовах для проєктів з клімату. Участь у міжнародних ініціативах, таких як ОГМП 2,0, може полегшити доступ до такого фінансування. Продаж вуглецевих кредитів на добровільних ринках є ще одним можливим джерелом доходів від проєктів зі скорочення викидів.

Таким чином, економічна ефективність заходів зі скорочення викидів метану є різною для різних типів технологій, проте багато з них є економічно виправданими навіть за поточних умов без врахування вартості вуглецю. Найбільш ефективними є програми виявлення та усунення витоків, заміна пневматичних пристроїв, модернізація систем ущільнення компресорів. Капіталомісні проекти модернізації інфраструктури мають довші строки окупності, проте забезпечують комплексні вигоди. Розвиток ринків вуглецю та доступ до кліматичного фінансування можуть суттєво покращити економіку всіх типів проектів зі скорочення викидів метану.

## **РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО БОРОТЬБИ З ВИКИДАМИ МЕТАНУ**

### **6.1. Удосконалення системи моніторингу та звітності**

Удосконалення системи моніторингу та звітності викидів метану є першочерговим завданням для забезпечення ефективного управління викидами та виконання міжнародних зобов'язань за OGMP 2.0. На сьогодні в Акціонерному товаристві Укргазвидобування існує базова система обліку технологічних витрат та нормативних втрат газу, проте ця система не повністю відповідає вимогам міжнародної звітності за викидами парникових газів.

Першим кроком удосконалення має стати розробка та впровадження єдиної корпоративної інформаційної системи обліку викидів метану, яка інтегрує дані з усіх об'єктів видобутку, підготовки, транспортування та розподілу газу. Система має забезпечувати автоматизований збір первинних даних з локальних систем обліку, їх валідацію, агрегацію за категоріями джерел відповідно до класифікації OGMP 2.0, розрахунок викидів за затвердженими методологіями, формування звітності. Впровадження єдиної бази даних обладнання з унікальними ідентифікаторами кожного компонента дозволить відстежувати історію витоків та ремонтів. [34]

Необхідно провести детальну інвентаризацію всіх джерел викидів метану на об'єктах компанії з класифікацією за категоріями OGMP 2.0 та визначенням застосованих методологій кількісного визначення. Для стаціонарних джерел спалювання слід встановити системи безперервного вимірювання витрат палива та параметрів спалювання. Для неконтрольованих витоків розробити графіки регулярних обстежень з використанням інфрачервоних камер. Для обладнання з постійними викидами - пневматичних пристроїв, систем ущільнення компресорів - впровадити розрахунки на основі паспортних характеристик обладнання з періодичною верифікацією вимірюваннями.

Підвищення якості даних потребує впровадження процедур забезпечення та контролю якості на всіх етапах збору, обробки та звітування інформації. Має бути розроблено систему перевірки достовірності даних з виявленням аномальних значень, порівнянням з історичними даними, перехресною перевіркою з іншими джерелами інформації. Документування методологій розрахунків, коефіцієнтів емісії, припущень та джерел невизначеності забезпечить прозорість та можливість верифікації. Регулярні внутрішні аудити системи моніторингу виявлятимуть недоліки та можливості покращення. [35]

Гармонізація внутрішньої звітності з міжнародними форматами OGMP 2.0 та національним кадастром викидів парникових газів дозволить уникнути дублювання зусиль та забезпечити узгодженість даних. Рекомендується розробити внутрішній корпоративний стандарт моніторингу та звітності викидів метану, який враховує вимоги всіх систем звітності та встановлює єдині процедури для всіх підрозділів компанії. Призначення відповідальних осіб на рівні філій та корпоративному рівні забезпечить координацію діяльності та дотримання термінів звітування.

Впровадження системи моніторингу має супроводжуватися навчанням персоналу методологіям обліку викидів, роботі з інформаційною системою, процедурам забезпечення якості даних. Регулярне оновлення знань через участь у семінарах, вебінарах, обмін досвідом з іншими компаніями-учасницями OGMP 2.0 дозволить застосовувати найкращі практики. Залучення зовнішніх експертів для верифікації звітності та аудиту системи моніторингу підвищить довіру до даних компанії з боку зацікавлених сторін.

Таким чином, удосконалення системи моніторингу та звітності вимагає комплексного підходу, що включає технічні, методологічні та організаційні заходи. Інвестиції в розвиток інформаційних систем, вимірювальне обладнання, навчання персоналу створять надійну основу для управління викидами метану та демонстрації прогресу у їх скороченні. [36]

## **6.2. Впровадження найкращих доступних технологій**

Концепція найкращих доступних технологій є основою сучасного екологічного регулювання в Європейському Союзі та все більше застосовується в Україні відповідно до зобов'язань за Угодою про асоціацію. Найкращі доступні технології визначаються як найбільш ефективні методи та способи здійснення діяльності, які є технічно можливими для впровадження та економічно доступними, і які забезпечують найвищий рівень захисту навколишнього середовища. Для нафтогазової галузі розроблені відповідні довідники найкращих доступних технологій, які встановлюють еталонні рівні викидів та рекомендовані практики.

На об'єктах видобутку газу пріоритетними технологіями для впровадження є системи штучного підйому рідини без стравлювання газу в атмосферу. Плунжерні системи підйому мають бути встановлені на всіх свердловинах, де накопичення рідини призводить до зниження продуктивності. Для свердловин з високим дебітом рідини доцільне застосування електричних занурених насосів. Заміна пневматичних пристроїв високого стравлювання на електричні контролери або пневматичні пристрої низького стравлювання має здійснюватися планово на всіх

установках підготовки газу з пріоритетом для об'єктів з найвищими викидами. [37]

Модернізація компресорних станцій має включати встановлення сухих газових ущільнень на всіх відцентрових компресорах замість мокрих ущільнень. Для поршневих компресорів необхідне впровадження систем збору газу від штокових ущільнень з його поверненням на всмоктування або до факельної системи. Встановлення частотно-регульованих приводів електродвигунів дозволяє плавно регулювати продуктивність та зменшити кількість циклів пуску-зупинки. Системи діагностики вібрації та контролю технічного стану забезпечують своєчасне виявлення несправностей до виникнення аварійних ситуацій.

На об'єктах зберігання та транспортування конденсату впровадження систем вловлювання парів має стати обов'язковою практикою. Рекомендується встановлення мембранних або адсорбційних систем вловлювання парів на всіх резервуарах нестабільного конденсату місткістю понад п'ятсот кубічних метрів. Для резервуарів меншого об'єму можливе застосування менш капіталомістких рішень, таких як підключення до низького тиску газозбірної системи. Модернізація систем наливу автоцистерн з впровадженням герметичних з'єднань та систем уловлювання парів зменшить викиди при операціях відвантаження продукції. [38]

Факельні системи мають бути оснащені сучасними пальниками, що забезпечують ефективне спалювання при широкому діапазоні витрат газу, системами автоматичного запалювання з резервуванням, системами контролю наявності полум'я. Впровадження систем безфакельного стравлювання з компресуванням газу для планових операцій продування обладнання дозволить повністю виключити викиди при регламентних роботах. Для ліквідації надзвичайних ситуацій факельна система залишається необхідною, проте її використання має бути мінімізоване.

Впровадження найкращих доступних технологій вимагає розробки довгострокової програми технічного переоснащення з визначенням пріоритетів, графіків реалізації, джерел фінансування. Пріоритети мають встановлюватися на основі потенціалу скорочення викидів, економічної ефективності, технічної складності впровадження, відповідності стратегічним цілям компанії. Моніторинг виконання програми та регулярний перегляд з врахуванням технологічного прогресу забезпечить її актуальність.

Таким чином, впровадження найкращих доступних технологій є ключовим елементом стратегії скорочення викидів метану. Хоча це вимагає значних інвестицій, такий підхід забезпечує довгострокові результати,

підвищує ефективність виробництва, зменшує екологічні ризики та відповідає сучасним вимогам екологічного регулювання. [39]

### **6.3. Рекомендації щодо зменшення витоків на газорозподільчих станціях**

Газорозподільчі станції є важливим елементом інфраструктури постачання газу споживачам і потенційним джерелом витоків метану. Основні джерела витоків на газорозподільчих станціях включають запірну арматуру, регулятори тиску, фільтри-сепаратори, системи одоризації, прилади обліку газу. Застарілість обладнання, недосконалість конструкцій ущільнень, інтенсивна експлуатація призводять до виникнення та розвитку витоків. Систематичний підхід до їх виявлення та усунення дозволяє суттєво зменшити викиди.

Першочерговим заходом має стати проведення комплексного обстеження всіх газорозподільчих станцій з використанням інфрачервоних камер для виявлення існуючих витоків. Рекомендується розпочати з найбільших станцій з високим тиском газу на вході, де потенціал скорочення викидів є найвищим. Всі виявлені витокі мають бути задокументовані з визначенням їх локації, типу обладнання, оціненої інтенсивності. На основі результатів обстеження розробляється програма усунення витоків з пріоритизацією високоінтенсивних джерел. [40]

Модернізація запірної арматури є ключовим напрямком зменшення витоків. Застарілі крани з недосконалими ущільненнями штоків мають замінюватися на сучасні конструкції з подвійним ущільненням та системою контролю герметичності. Особливу увагу слід приділити кранам на входах та виходах станцій, де тиск газу є найвищим. Для критично важливих позицій доцільне встановлення двох кранів послідовно для підвищення надійності. Регулярне технічне обслуговування арматури з перевіркою герметичності та заміною зношених ущільнень продовжує термін її безаварійної експлуатації.

Регулятори тиску потребують особливої уваги через складність їх конструкції та наявність рухомих елементів з ущільненнями. Рекомендується перехід на регулятори з мембранним приводом замість поршневих, які мають менше рухомих частин та кращу герметичність. Встановлення фільтрів очищення газу перед регуляторами зменшує абразивне зношування сідел клапанів. Регулярне калібрування та технічне обслуговування регуляторів відповідно до рекомендацій виробників запобігає виникненню несправностей.

Системи одоризації газу на газорозподільчих станціях часто є джерелами витоків через недосконалість обладнання для дозування одоранту. Рекомендується застосування сучасних одоризаційних установок з герметичними насосами-дозаторами та системами контролю інтенсивності

одоризації. Ємності для зберігання одоранту мають бути обладнані дихальними клапанами з вловлюванням парів. Регулярна перевірка концентрації одоранту у газі після станції забезпечує дотримання нормативних вимог та своєчасне виявлення несправностей системи.

Впровадження автоматизованих систем управління технологічними процесами на газорозподільчих станціях підвищує надійність їх роботи та зменшує ризики аварійних ситуацій. Системи телеметрії дозволяють дистанційно контролювати основні параметри - тиск на вході та виході, витрату газу, температуру, стан запірної арматури. Аварійна сигналізація при відхиленнях від нормальних режимів забезпечує швидке реагування персоналу. Автоматичне відключення подачі газу при виявленні критичних ситуацій запобігає розвитку аварій.

Таким чином, зменшення витоків на газорозподільчих станціях досягається комплексом заходів від регулярного обстеження та технічного обслуговування до модернізації обладнання та автоматизації процесів. Систематичний підхід з плануванням заходів, виділенням необхідних ресурсів, контролем виконання забезпечить стабільне зниження викидів метану з цих об'єктів.

#### **6.4. Організаційні заходи та підготовка персоналу**

Ефективне управління викидами метану неможливе без належної організації роботи та компетентності персоналу. Технічні заходи та технології дають очікувані результати лише за умови їх правильного застосування кваліфікованими фахівцями, які розуміють важливість проблеми та володіють необхідними знаннями і навичками. Організаційні заходи створюють систему управління, яка забезпечує планування, координацію, контроль та постійне вдосконалення діяльності зі скорочення викидів.

Створення спеціалізованого підрозділу або призначення відповідальних осіб на корпоративному рівні та у філіях забезпечує координацію всіх заходів зі скорочення викидів метану. Рекомендується створення відділу або відповідної позиції менеджера з управління викидами парникових газів у структурі департаменту екології або виробництва. До функцій підрозділу має входити розробка стратегії та програм скорочення викидів, координація впровадження заходів у філіях, моніторинг та звітність викидів, взаємодія з міжнародними ініціативами, подання звітності OGMP 2.0.

Розробка та затвердження внутрішніх нормативних документів - політик, процедур, інструкцій - забезпечує стандартизацію підходів до управління викидами. Корпоративна політика зі скорочення викидів метану

має визначати цілі компанії, зобов'язання керівництва, принципи діяльності. Процедури моніторингу та звітності викидів встановлюють методології, відповідальність, терміни. Інструкції з експлуатації обладнання мають включати вимоги щодо запобігання та усунення витоків. Регулярний перегляд та актуалізація документації забезпечує її відповідність сучасним вимогам.

Мотивація персоналу до активної участі у програмах скорочення викидів може забезпечуватися через включення відповідних показників до системи ключових показників ефективності. Для керівників філій та об'єктів доцільно встановлення цільових показників зі скорочення викидів з їх врахуванням при оцінці результатів діяльності. Для операційного персоналу можливе запровадження систем винагороди за виявлення та усунення витоків, раціоналізаторські пропозиції щодо зменшення викидів. Інформування працівників про досягнуті результати підвищує їх залученість. [41]

Обмін досвідом з іншими компаніями-учасницями OGMP 2.0 та міжнародними експертами дозволяє застосовувати найкращі практики. Участь фахівців компанії у робочих групах, конференціях, вебінарах забезпечує доступ до нових знань. Організація візитів на об'єкти компаній-лідерів у сфері управління викидами метану дає можливість безпосередньо ознайомитися з технологіями та підходами. Залучення зовнішніх консультантів для проведення аудитів та розробки рекомендацій привносить незалежний погляд на діяльність компанії.

### **6.5. Інтеграція вимог OGMP 2.0 у корпоративні практики**

Інтеграція вимог OGMP 2.0 у корпоративні практики Акціонерного товариства Укргазвидобування передбачає не просто виконання формальних вимог звітності, а впровадження системного підходу до управління викидами метану на всіх рівнях організації. Це означає, що принципи та методології OGMP 2.0 мають стати невід'ємною частиною планування діяльності, прийняття управлінських рішень, оцінки ефективності роботи підрозділів. Успішна інтеграція вимагає змін у корпоративній культурі, процесах, інформаційних системах.

Перший етап інтеграції полягає у гармонізації існуючої системи обліку технологічних витрат та втрат газу з класифікацією джерел викидів за OGMP 2.0. Необхідно провести детальне співставлення тридцяти восьми категорій звіту виробничо-технологічних витрат з тринадцятьма категоріями OGMP рівня звітності L3. Для кожної статті витрат має бути визначено відповідну категорію або категорії OGMP, методологію розрахунку викидів метану, коефіцієнти перерахунку. Розроблені таблиці відповідності мають бути

затверджені як внутрішній нормативний документ та застосовуватися всіма підрозділами.

Впровадження методологій кількісного визначення викидів відповідно до рівня звітності L4 OGMP 2.0 вимагає поступового переходу від розрахункових методів до методів на основі вимірювань. Для джерел з найбільшими викидами - компресорних станцій, установок підготовки газу, факельних систем - пріоритетним є встановлення систем безперервного вимірювання параметрів. Для розподілених джерел - запірної арматури, фланцевих з'єднань, обладнання установок - доцільне застосування комбінованого підходу з періодичними обстеженнями інфрачервоними камерами та розрахунками на основі середніх коефіцієнтів емісії для обладнання без виявлених витоків.

Інтеграція вимог OGMP 2.0 у процеси планування діяльності передбачає врахування цілей зі скорочення викидів метану при розробці виробничих програм, бюджетів, інвестиційних проектів. При плануванні ремонтів обладнання має оцінюватися можливість модернізації для зменшення викидів. При розгляді інвестиційних проектів поряд з техніко-економічними показниками має враховуватися вплив на викиди парникових газів. Включення показників викидів до системи ключових показників ефективності на всіх рівнях управління забезпечить їх систематичний контроль.

Автоматизація процесів збору, обробки та звітності даних про викиди метану є критично важливою для забезпечення якості та своєчасності звітів OGMP 2.0. Рекомендується розробка або придбання спеціалізованого програмного забезпечення для управління даними про викиди з функціоналом введення первинних даних, автоматичного розрахунку викидів за різними методологіями, агрегації за категоріями джерел та активами, формування звітів у форматі OGMP 2.0. Інтеграція з корпоративними системами обліку виробництва, технічного обслуговування, управління активами забезпечить мінімізацію ручного введення даних.

Верифікація звітності OGMP 2.0 незалежними експертами підвищує довіру до даних компанії та виявляє можливості вдосконалення. Рекомендується щорічне проведення зовнішньої верифікації звіту OGMP акредитованою організацією з досвідом роботи в нафтогазовій галузі. Верифікація має охоплювати перевірку повноти охоплення джерел викидів, правильності застосування методологій, достовірності вихідних даних, коректності розрахунків. Результати верифікації з рекомендаціями щодо покращення мають використовуватися для вдосконалення системи моніторингу та звітності.

Таким чином, інтеграція вимог OGMP 2.0 у корпоративні практики є комплексним процесом організаційних, методологічних та технічних змін, спрямованих на створення надійної системи управління викидами метану. Успішна інтеграція забезпечує виконання міжнародних зобов'язань компанії, підвищує прозорість діяльності, створює основу для ефективного скорочення викидів.

#### 6.6. Рекомендації щодо зменшення викидів метану для АТ "Укргазвидобування"

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ МЕТАНУ

#### для АТ "Укргазвидобування"

Тип об'єкта	Заходи	Скорочення викидів	Термін окупності	Пріоритет
Свердловини та устя	<ul style="list-style-type: none"> <li>Модернізація сальникових ущільнень на герметичні</li> <li>Щоквартальний огляд з портативними детекторами</li> <li>Системи рекуперації газу на установках підйому</li> </ul>	60-80%	2-4 роки	<b>ВИСОКИЙ</b>
УКПГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Заміна пневматичних регуляторів на електричні</li> <li>Системи уловлювання парів на резервуарах</li> <li>Герметичні ущільнення компресорів</li> </ul>	40-70%	2-3 роки	<b>ВИСОКИЙ</b>
Дожимні КС	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сухі газові ущільнення замість масляних</li> <li>Щомісячне обстеження LDAR</li> <li>Безперервний моніторинг викидів</li> </ul>	90-95%	3-5 років	<b>СЕРЕДНІЙ</b>
Факельні системи	<ul style="list-style-type: none"> <li>Системи утилізації газу</li> <li>Мінімізація планових спалювань</li> <li>Забезпечення ефективності спалювання &gt;98%</li> </ul>	70-85%	1-2 роки	<b>ВИСОКИЙ</b>
Система звітності	<ul style="list-style-type: none"> <li>Впровадження OGMP 2.0 рівень L3/L4</li> <li>Створення відділу управління викидами</li> <li>Програма LDAR на всіх об'єктах</li> </ul>	Точність 85-95%	3 роки	<b>КРИТИЧНИЙ</b>
<b>ЗАГАЛЬНИЙ РЕЗУЛЬТАТ ЗА 3-4 РОКИ</b>		<b>60-75%</b>	<b>2-4 роки</b>	—

**Капіталовкладення:** 800-1200 млн грн | **Економія:** 1,5-3 млрд грн/рік | **Потенціал скорочення втрат газу:** 75-225 млн м<sup>3</sup>/рік

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження проблеми викидів метану в енергетичному секторі та розроблено науково обґрунтовані рекомендації щодо їх зменшення на об'єктах нафтогазової галузі України. На основі аналізу міжнародного досвіду, нормативно-технічної документації та результатів експериментальних досліджень отримано такі основні результати та висновки:

1. Проаналізовано сучасний стан проблеми викидів метану як одного з найбільш значущих парникових газів з потенціалом глобального потепління у 25-30 разів вищим за діоксид вуглецю в горизонті 100 років та у 80-85 разів вищим в горизонті 20 років. Встановлено, що енергетичний сектор є другим за величиною джерелом антропогенних викидів метану (23% глобальних викидів), поступаючись лише сільському господарству. Підтверджено критичну важливість швидкого скорочення викидів метану як найбільш ефективного інструменту уповільнення темпів кліматичних змін у короткостроковій перспективі.

2. Систематизовано міжнародні ініціативи та нормативні вимоги щодо скорочення викидів метану, зокрема Стратегію ЄС зі скорочення викидів метану, систему звітності Oil & Gas Methane Partnership 2.0, Глобальне зобов'язання щодо метану та законодавчі акти ЄС щодо верифікації викидів. Встановлено, що система OGMP 2.0 забезпечує найбільш детальний підхід до звітності з поділом на п'ять рівнів деталізації (L1-L5) та 13 категорій джерел викидів, що дозволяє підвищити точність обліку викидів метану від 50-70% на рівні L1 до 95-98% на рівні L5.

3. Виконано детальний аналіз джерел викидів метану на об'єктах видобутку, підготовки та транспортування природного газу. Встановлено, що основними джерелами викидів є неконтрольовані витоки на компонентах обладнання (54% викидів), спалювання на факелах (18%), пневматичне обладнання (12%), системи штучного підйому рідини (8%) та вентиляційні викиди (8%). Найбільші питомі викиди спостерігаються на компресорних станціях магістральних газопроводів (0,15-0,40% транспортованого газу) та дожимних компресорних станціях (0,30-0,80%).

4. Розглянуто сучасні методи моніторингу викидів метану, які охоплюють наземні технології (портативні детектори, акустичні та інфрачервоні камери, системи LDAR), дистанційні методи (супутникова та авіаційна зйомка, безпілотні літальні апарати) та інструментальні методи аналізу (газова хроматографія, мас-спектрометрія, лазерна абсорбційна спектроскопія). Обґрунтовано доцільність комплексного підходу, який

поєднує оперативний скринінг переносним обладнанням з точними вимірюваннями концентрацій за допомогою лабораторних методів.

5. Проведено експериментальні дослідження викидів метану на газорозподільчій станції університету з використанням переносного електрохімічного аналізатора та газового хроматографа з полум'яно-іонізаційним детектором. З 38 обстежених точок виявлено 8 джерел підвищених концентрацій метану, з яких 6 підтверджено як активні витoki за результатами хроматографічного аналізу. Виміряні концентрації метану в місцях витоків становили від 420 до 2300 ppm, що перевищує фонові значення у 200-1000 разів. Основними джерелами витоків виявилися різьбові з'єднання регуляторів тиску (67% джерел) та фланцеві з'єднання (33% джерел).

6. Виконано кількісну оцінку обсягів викидів метану на досліджуваному об'єкті з використанням емпіричних кореляцій та моделі витікання через круглий отвір. Розраховані сумарні викиди становлять приблизно 3,0 г CH<sub>4</sub>/год або 26 кг CH<sub>4</sub>/рік, що еквівалентно 650 кг CO<sub>2</sub>-екв/рік з урахуванням потенціалу глобального потепління. Питомі викиди відносно обсягу транспортованого газу становлять близько 0,05%, що відповідає нижній межі типового діапазону для газорозподільчих станцій (0,01-0,1%). Найбільш інтенсивним джерелом викидів є різьбове з'єднання регулятора тиску першої лінії з масовою витратою 0,80 г CH<sub>4</sub>/год, що становить 27% від загальних викидів об'єкта.

7. Розроблено комплекс рекомендацій щодо зменшення викидів метану на об'єктах нафтогазової галузі, який включає чотири основні напрямки: удосконалення системи моніторингу та звітності відповідно до вимог OGMP 2.0 рівня L3/L4, впровадження найкращих доступних технологій (системи утилізації супутнього газу, безвитратні пневматичні пристрої, герметичне обладнання), організаційні заходи (програми LDAR, планове технічне обслуговування, навчання персоналу) та інтеграція вимог міжнародних стандартів у корпоративні практики українських операторів.

8. Виконано техніко-економічне обґрунтування заходів щодо зменшення викидів метану. Розрахунки показали, що впровадження базових заходів (систематичне підтягування різьбових з'єднань, заміна ущільнень, підтягування сальників запірної арматури) дозволяє скоротити викиди на досліджуваному об'єкті на 80% при капітальних витратах 8 000 грн та терміні окупності 2 роки. Розширений комплекс заходів з модернізацією обладнання забезпечує скорочення викидів на 95% при капіталовкладеннях 45 000 грн та терміні окупності 3,5 року. Доведено економічну доцільність інвестицій у

скорочення викидів метану навіть за консервативних оцінок вартості викидів парникових газів.

9. Встановлено, що швидке скорочення викидів метану в енергетичному секторі є критично важливим для досягнення кліматичних цілей Паризької угоди та обмеження глобального потепління рівнем 1,5°C. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, технічно можливо скоротити викиди метану в нафтогазовому секторі на 75% до 2030 року, при цьому близько 40-50% цих скорочень можуть бути досягнуті за рахунок заходів з нульовими або негативними чистими витратами завдяки можливості продажу відловленого газу.

10. Обґрунтовано необхідність інтеграції українських операторів до міжнародної системи OGMP 2.0 як ключового інструменту підвищення прозорості звітності про викиди метану, отримання доступу до міжнародних фінансових механізмів та забезпечення конкурентоспроможності українського газу на європейському ринку в умовах посилення вимог до декарбонізації енергетики. Визначено пріоритетні напрямки подальших досліджень, зокрема розробка національної методології інвентаризації викидів метану адаптованої до специфіки української нафтогазової галузі, створення системи безперервного моніторингу викидів на критично важливих об'єктах інфраструктури та оцінка потенціалу скорочення викидів метану для всього українського газотранспортного сектору.

Результати роботи мають практичне значення для операторів газотранспортних систем, газорозподільчих мереж та підприємств видобувного сектору при плануванні та впровадженні заходів щодо зменшення викидів метану, розробці корпоративних стратегій декарбонізації та підготовці звітності відповідно до міжнародних стандартів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions. United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition, 2021. 173 p.
2. Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
3. EU Methane Strategy. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 14.10.2020. COM(2020) 663 final.
4. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.
5. Saunio M., Stavert A.R., Poulter B., et al. The Global Methane Budget 2000–2017. Earth System Science Data. 2020. Vol. 12. P. 1561–1623.
6. Alvarez R.A., Zavala-Araiza D., Lyon D.R., et al. Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain. Science. 2018. Vol. 361, Issue 6398. P. 186–188.
7. IEA Methane Tracker 2023. International Energy Agency, 2023. URL: <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2023>
8. OGMP 2.0 Framework. Oil and Gas Methane Partnership 2.0. United Nations Environment Programme, 2020. URL: <https://www.ogmpartnership.com/>
9. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. Ратифіковано Законом України №435/96-ВР від 29.10.1996 р.
10. Закон України від 12.12.2019 №377-IX «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів».
11. Постанова КМУ від 23.09.2020 №960 «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів».
12. Наказ Міндовкілля від 15.06.2021 №404 «Методичні рекомендації з оцінки викидів парникових газів за видами діяльності установок».
13. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2021 роки. Київ, 2023.
14. ДСТУ ISO 7504:2018 (ISO 7504:2015, IDT). Аналіз газів. Словник термінів.

15. COY 35.2-30019775-054:2012. Газ природний. Методика обліку виробничо-технологічних витрат і нормативних витрат.
16. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. IPCC, 2006.
17. Brandt A.R., Heath G.A., Kort E.A., et al. Methane Leaks from North American Natural Gas Systems. *Science*. 2014. Vol. 343, Issue 6172. P. 733–735.
18. Zimmerle D.J., Williams L.L., Vaughn T.L., et al. Methane Emissions from the Natural Gas Transmission and Storage System in the United States. *Environmental Science & Technology*. 2015. Vol. 49, Issue 15. P. 9374–9383.
19. Lyon D.R., Zavala-Araiza D., Alvarez R.A., et al. Constructing a Spatially Resolved Methane Emission Inventory for the Barnett Shale Region. *Environmental Science & Technology*. 2015. Vol. 49, Issue 13. P. 8147–8157.
20. Lauvaux T., Giron C., Mazzolini M., et al. Global assessment of oil and gas methane ultra-emitters. *Science*. 2022. Vol. 375, Issue 6580. P. 557–561.
21. Cusworth D.H., Duren R.M., Thorpe A.K., et al. Quantifying global power plant carbon dioxide emissions with imaging spectroscopy. *AGU Advances*. 2021. Vol. 2, Issue 2.
22. Звіт про науково-дослідну роботу для АТ «Укргазвидобування» «Моніторинг витоків метану на об'єктах видобутку та наземної інфраструктури і підготовка звіту для звітування по ОГМП 2.0» (проміжний), шифр НДР 67.0000942. Харків: УкрНДІгаз, 2024. 38 с.
23. EPA Method 21 – Determination of Volatile Organic Compound Leaks. U.S. Environmental Protection Agency, 2017.
24. ISO 20519:2017. Ships and marine technology – Specification for bunkering of liquefied natural gas fuelled vessels.
25. Howard T., Ferrara T.W., Townsend-Small A. Sensor transition failure in the high flow sampler: Implications for methane emission inventories of natural gas infrastructure. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2015. Vol. 65, Issue 7. P. 856–862.
26. Lamb B.K., Edburg S.L., Ferrara T.W., et al. Direct Measurements Show Decreasing Methane Emissions from Natural Gas Local Distribution Systems in the United States. *Environmental Science & Technology*. 2015. Vol. 49, Issue 8. P. 5161–5169.
27. Mitchell A.L., Tkacik D.S., Roscioli J.R., et al. Measurements of methane emissions from natural gas gathering facilities and processing plants.

- Environmental Science & Technology. 2015. Vol. 49, Issue 5. P. 3219–3227.
28. Roscioli J.R., Yacovitch T.I., Floerchinger C., et al. Measurements of methane emissions from natural gas gathering facilities and processing plants: measurement methods. Atmospheric Measurement Techniques. 2015. Vol. 8. P. 2017–2035.
  29. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas. European Commission, Joint Research Centre, 2015. 754 p.
  30. EPA Natural Gas STAR Program. Recommended Technologies and Practices. U.S. Environmental Protection Agency, 2022.
  31. Johnson D., Covington A., Clark N. Economic Assessment of Combined Heat and Power Technologies for Commercial Customer Applications. Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 100. P. 344–353.
  32. Littlefield J., Marriott J., Schivley G., Skone T.J. Synthesis of recent ground-level methane emission measurements from the U.S. natural gas supply chain. Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 148. P. 118–126.
  33. Zachariah-Wolff J.L., Egyedy N., Hemingway J.D. Estimating Methane Emissions from Underground Coal and Hardrock Mines. Environmental Science & Technology. 2007. Vol. 41, Issue 7. P. 2242–2247.
  34. Regulation (EU) 2024/1787 of the European Parliament and of the Council on methane emissions reduction in the energy sector. Official Journal of the European Union, 2024.
  35. International Methane Emissions Observatory (IMEO). Annual Report 2023. United Nations Environment Programme, 2023.
  36. Конвенція про трансграничне забруднення повітря на великі відстані. Женева, 13 листопада 1979 р. Ратифіковано Законом України від 09.11.2023.
  37. Протокол про реєстри викидів та перенесення забруднювачів до Конвенції про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля. Київ, 21 травня 2003 р.
  38. Marcogaz Technical Association of the European Natural Gas Industry. Leak Detection and Repair (LDAR) Programs: Technical Recommendations. 2021.
  39. Closing the Methane Gap: Harnessing Technology to Reduce Emissions. Environmental Defense Fund, 2023. 45 p.
  40. Global Methane Pledge. Joint EU-US Press Release, 18 September 2021. URL: <https://www.globalmethanepledge.org/>

41. World Bank Zero Routine Flaring by 2030 Initiative. URL:  
<https://www.worldbank.org/en/programs/zero-routine-flaring-by-2030>