

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЦИВІЛЬНОЇ ТА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ  
ІМЕНІ ГЕРОЯ УКРПІНИ ЧУБА ОЛЕКСАНДРА СЕРГІЙОВИЧА

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Батир ХАЛМУРАДОВ  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 263 «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»

**Тема:** «Розробка заходів з захисту населення у разі розгерметизації газопроводу»

**Виконавець:** здобувач групи ЦБ-413 Лань Михайло Михайлович

**Керівник:** канд.технічних наук, доцент Синило Катерина Вікторівна

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_

Козлітін О.О.

**КИЇВ 2024**



## 6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Ознайомлення з темою дипломної роботи та попередній огляд літератури	20.04.2024 – 25.04.2024	
2	Визначення мети, об'єкта, предмета дослідження	26.04.2024 – 30.04.2024	
3	Пошук літературних джерел	01.05.2024 – 20.05.2024	
4	Аналіз статистичних даних	20.05.2024- 25.05.2024	
5	Підготовка розділу 1 дипломної роботи	20.05.2024- 25.05.2024	
6	Підготовка розділу 1 дипломної роботи	20.05.2024- 28.05.2024	
7	Підготовка розділу 1 дипломної роботи	20.05.2024- 31.05.2024	
8	Оформлення висновків до роботи	28.05.2024- 30.05.2024	
9	Оформлення пояснювальної записки	28.05.2024- 30.05.2024	
10	Підготовка презентації	28.05.2024- 30.05.2024	
11	Попередній захист дипломної роботи	03.06.2024	
12	Захист дипломної роботи	10.06.2024	

7. Дата видачі завдання: «20» травня 2024 р.

Керівник кваліфікаційної роботи:

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Катерина СИНІЛО

Завдання прийняв до виконання:

\_\_\_\_\_ (підпис випускника)

Михайло ЛАНЬ

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Розробка заходів з захисту населення у разі розгерметизації газопроводу»: 48 с., 12 рис., 1 табл., 25 літературних джерел.

Ключові слова: ГАЗОТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЯ, ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ, ОБ'ЄКТИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.

Об'єкт дослідження - аварійність газопроводів, заходи запобігання аваріям та заходи захисту населення у разі розгерметизації газопроводу.

Мета роботи - проаналізувати статистичні дані щодо частоти та причин аварій, відмов та розгерметизації газопроводів в Україні, Європі та США; розробити заходи запобігання аваріям та захисту населення у разі розгерметизації газопроводу.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел, порівняння, статистичний аналіз даних, узагальнення.

Розглянуто загальну характеристику газотранспортної системи України. Проаналізовано причини та ризики аварій і відмов на газопроводах України, Європи і США. Виконана оцінка та аналіз наслідків аварійної розгерметизації магістрального газопроводу «Уренгой – Ужгород» поблизу с. Ковшевата Київської області. Визначено заходи захисту населення в разі аварій на газопроводі.

Матеріали дипломної роботи можна використовувати для оцінювання наслідків у разі розгерметизації газопроводу та визначення заходів захисту населення при виникненні аварійних ситуацій на об'єктах ГТС.

## **ЗМІСТ**

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ</b>	<b>10</b>
1.1. Структура ГТС України	10
1.2. Нормативно-правова база щодо ГТС України	13
1.3. Забезпечення безпеки ГТС України	16
1.4. Ризики, пов'язані з ГТС України та шляхи їх зменшення	
1.5. Ризики для населення в разі розгерметизації газопроводу	20
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АВАРІЙ ТА ВІДМОВ НА ГАЗОПРОВОДАХ УКРАЇНИ ТА СВІТУ</b>	<b>22</b>
2.1. Аналіз аварій та відмов на магістральних газопроводах в Україні	22
2.2. Аналіз аварій та відмов на газопроводах США	24
2.3. Статистика екстрених ситуацій на газопроводах у Європі	26
<b>РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА НАСЛІДКІВ У РАЗІ РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ</b>	<b>35</b>
<b>РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ У РАЗІ АВАРІЇ ГАЗОПРОВОДУ</b>	<b>35</b>
4.1. Діагностування технічного стану об'єктів магістральних газопроводів	36
4.2. Заходи з попередження аварій на газопроводах в Україні	37
4.3. Заходи з захисту населення у разі розгерметизації газопроводу	41
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>42</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>45</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

ГТС – газотранспортна система;

ENTSOГ - Європейська мережа операторів газотранспортних систем;

УМГ - Управління магістральних газопроводів;

EGIG - European Gas pipeline Incident data Group, Європейська група даних про аварії на газопроводі;

ПСГ - підземне сховище газу;

PHMSA - Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку суспільства невід'ємним показником розвитку держави є її відношення до забезпечення безпеки громадян, суспільства, держави та екологічних проблем. Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки розроблено відповідно до статті 16 Конституції України [1], якою визначено, що забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, збереження генофонду Українського народу є обов'язком держави.

Викликом сучасного етапу утвердження державності України стала техногенно-екологічна ситуація в країні. Вона об'єктивно примушує сконцентрувати увагу в державній політиці на проблемі безпеки об'єктів індустріально-промислового сектору, на нейтралізації і відверненні загроз, обумовлених екологічною і техногенною обстановкою в країні. Особливо актуальною проблема безпеки стала під час війни, розпочатої в 2014 році, і гостро актуальною – після повномасштабного вторгнення 24 лютого 2022 року.

Починаючи із шістдесятих років в Україні, виходячи із загальносоюзного розподілу праці, велось інтенсивне будівництво багатьох техногенно-небезпечних об'єктів - потужних теплоелектростанцій, нафто-газо- та продуктопроводів, хімічних та нафтохімічних виробництв, великих гідротехнічних споруд, нарешті - атомних електростанцій.

Всі ці об'єкти мають обмежений ресурс функціонування - 30-50 років. Незабаром прийде час, а по багатьох об'єктах він вже прийшов, коли треба приймати рішення:

- чи мають об'єкти залишковий ресурс для безпечної їх експлуатації?
- що можливо і необхідно зробити для його подовження чи відновлення?
- які об'єкти необхідно взагалі виводити з експлуатації?

Єдиним продуктивним шляхом відвернення техногенно-екологічних загроз

є перехід від схеми реагування на події (аварії та катастрофи) до створення системи упереджуючого контролю безпеки, переорієнтація науково-технічного потенціалу на створення об'єктів нової техніки з гарантованим рівнем безпеки, запровадження програмованого режиму управління безпекою і нормативно-правового регулювання техногенного середовища.

Концепція національної безпеки України серед пріоритетних національних інтересів виділяє забезпечення екологічної безпеки та технологічно безпечних умов життєдіяльності суспільства.

Зважаючи на масштабність успадкованих екологічних проблем, екологічна безпека нині розглядається як одна із складових національної безпеки. Пріоритетними є вдосконалення державної системи управління екологічною безпекою, нормативно-правова діяльність у цій сфері, постійний моніторинг об'єктів підвищеної небезпеки.

Напружена екологічна ситуація в Україні спричинила необхідність вирішення проблеми розвитку ефективного екологічного контролю в індустрії використання природного газу. Це стало вкрай необхідним для забезпечення еколого-енергетичної безпеки нашої держави. Актуальним і важливим стало вивчення особливостей негативного впливу газотранспортної мережі на довкілля. Висвітленню цих особливостей присвячена робота.

Для забезпечення еколого-енергетичної безпеки України в умовах глобалізації світової економіки вкрай необхідним є розвиток екологічного контролю в індустрії використання природного газу. Перш за все – це запровадження системи екологічного моніторингу в галузі видобування і використання природного газу і, по–друге, організація постійного екологічного аудиту на об'єктах видобування, транспорту і використання газу.

Газотранспортна система України є другою за розмірами в Європі після Росії. Свідченням авторитету України в світі, як газової держави, є транзитні магістральні газопроводи, які сприяють надходженню та подачі природного газу до таких країн, як Країни Середньої Азії, Республіка Молдова, Польща, Угорщина, Румунія, Болгарія, Туреччина, Македонія, Греція, Австрія, Німеччина,



Словенія, Італія, Франція та ін. Але, не зважаючи на успішний розвиток міжнародних зв'язків, газотранспортна система України за своїм технічним станом не є високо надійною.

Внаслідок експлуатації більше 25 років значної частини газопроводів України зростає ризик аварійно-небезпечних дефектів, таких як ерозія та можливість вибуху на газопроводах. Як наслідок, надходження до атмосферного повітря, ґрунту та водою складових природного газу. Накопичення цих речовин в атмосфері є причиною порушення газового балансу, що значною мірою може зумовити глобальну зміну клімату. Особливо небезпечними є сірчисті сполуки й окиси азоту, що спричиняють кислотні дощі, які здатні випадати на відстані багатьох сотень і тисяч кілометрів від джерела первісного викиду речовин. Під впливом кислотних дощів відбувається закислення озер і ґрунтів, змінюється їх хімічний склад. Враховуючи важливу стратегічну роль системи газопроводів України, особливу увагу викликає надійність та ефективність їх роботи.

Вплив газотранспортної системи на навколишнє природне середовище в різних природно-територіальних комплексах (геосистемах) неоднаковий й проявляється з різним ступенем інтенсивності. У системі взаємодії лінійних споруджень із геологічним середовищем виділяються три етапи: пошукові роботи, будівництво й експлуатація. На кожному з них міра вторгнення й характер впливу різні. Максимум впливу на довкілля припадає на будівництво й експлуатацію.

До найбільш перспективних шляхів безпечної експлуатації газопровідної мережі належать: врахування результатів ландшафтних досліджень, геодинамічних умов та комплексний захист газопроводів від корозії.

Геодинамічні дослідження дають можливість виявляти нестійкі ділянки, природа яких пов'язана із сейсмічністю, новітніми та сучасними тектонічними рухами, що призводять до активізації процесів переформування рельєфу, формування мережі тріщин та розривів у верхній частині земної кори, підняття та опускання окремих її блоків.

Здійснення комплексного захисту газопроводів від корозії сприятиме

підвищенню екологічної безпеки через зменшення випадків витікання газу з місць пошкоджень трубопровідної мережі.

Крім освітлених вище регіональних проблем газового комплексу України можна виділити цілий ряд проблем локального масштабу, пов'язаних з діяльністю окремих об'єктів газотранспортної системи, таких як компресорні станції, газові сховища, окремі ланки газопроводу тощо.

Мета роботи: проаналізувати статистичні дані щодо частоти та причин аварій, відмов та розгерметизації газопроводів в Україні, Європі та США; розробити заходи запобігання аваріям та захисту населення у разі розгерметизації газопроводу.

Об'єкт дослідження: аварійність газопроводів, заходи запобігання аваріям та заходи захисту населення у разі розгерметизації газопроводу.

# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Українська газотранспортна система (ГТС) – це розгалужена мережа об'єктів, які забезпечують зберігання та транспортування газу від місць газовидобутку до споживачів. Почалося спорудження системи для транспортування та зберігання газу у 1924 році після введення в експлуатацію Дашавського газового родовища та будівництва газопроводу Дашава-Київ. Сьогодні вона є другою за потужністю в Європі [2].

ГТС України здатна забезпечити стабільний транзит блакитного палива через територію країни до Центральної та Західної Європи. Газотранспортна система є частиною загальноєвропейської газової мережі, яка з'єднана з операторами Угорщини, Польщі, Румунії, Словаччини, Молдови.

### 1.1. Структура ГТС України

ГТС України є однією з найбільших газотранспортних систем в Європі та світі (Рис 1.1). Основні її функції - це:

- Забезпечити природним газом споживачів в Україні.
- Забезпечити транзит природного газу до європейських споживачів через територію України [2].

Основні показники ГТС України на довоєнний час становили:

- Довжина газопроводів:
  - Всього понад 38,50 тис. км.
  - магістральних газопроводів: 22,2 тис. км.
  - газопроводів-відводів: 14,8 тис. км.
- Пропускна здатність ГТС:
  - на вході: 290 км<sup>3</sup>/рік.
  - на виході: 178,5 км<sup>3</sup>/рік.

- до країн Європи: 142,5 км<sup>3</sup>/рік.
- до Молдови: 3,5 км<sup>3</sup>/рік.
- Кількість компресорних станцій: 73 шт.
- Кількість газоперекачувальних агрегатів: 705 шт.
- Потужність компресорних станцій: 5496 МВт.
- Кількість підземних сховищ газу (ПСГ): 13 шт.
- Загальна активна місткість ПСГ: 31 км<sup>3</sup>.
- Кількість газорозподільних станцій: 1437 шт.



Рис. 1.1. Газотранспортна система України

Газотранспортна система також включає під'їзні шляхи, захисні споруди та інші компоненти. Не зважаючи на складні обставини в Україні, пов'язані з широкомасштабним вторгненням російської федерації на територію нашої країни та введеним воєнним станом, робота ГТС постійно моніториться, оцінюється, модернізується та оптимізується [2].

## 1.2. Нормативно-правова база щодо ГТС України

Регламентом функціонування газотранспортної системи України та документом, що визначає правові, технічні, організаційні та економічні засади функціонування газотранспортної системи України, є Кодекс газотранспортної системи [3], затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, № 2439 від 30.09.2015 року (з подальшими змінами).

Газотранспортна система України відноситься до об'єктів критичної інфраструктури загальнодержавного значення, тобто до I категорії критичності. Організаційні засади створення та функціонування національної системи захисту елементів ГТС визначаються законом України «Про критичну інфраструктуру» [4]. Зокрема, до критичної енергетичної інфраструктури належать об'єкти, які надають такі послуги [5]:

Газова промисловість

- видобуток газу
- переробка та очищення газу
- передача (транзит) газу
- розподіл газу
- експлуатація газотранспортної системи
- зберігання природного газу
- забезпечення роботи систем зрідження природного газу

Об'єкти видобування, зберігання, переробки і транспортування природного, зрідженого газу, магістральні газопроводи відносяться до об'єктів, що можуть спричинити виникнення надзвичайної ситуації техногенного і природного характеру та вплинути на стан захисту населення і територій [5].

Правові, економічні, соціальні та організаційні основи діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки, регулюються законом України «Про об'єкти підвищеної небезпеки», який спрямований на захист життя і здоров'я людей та довкілля від шкідливого впливу аварій на цих об'єктах шляхом

запобігання їх виникненню, обмеження (локалізації) розвитку і ліквідації наслідків [6].

### **1.3. Забезпечення безпеки ГТС України**

Враховуючи те, що об'єкти ГТС відносяться до критичної енергетичної структури та до переліку об'єктів, що можуть спричинити виникнення надзвичайної ситуації техногенного і природного характеру та вплинути на стан захисту населення і територій, забезпечення безпеки ГТС України є надзвичайно важливим завданням. Для цього вживаються різноманітні заходи. Ось деякі з них:

- Моніторинг та контроль: Постійний моніторинг стану газопроводів та обладнання для виявлення та запобігання будь-яких несправностей.
- Технічне обслуговування та ремонт: Регулярне технічне обслуговування та ремонт газопроводів та обладнання для забезпечення їх надійності.
- Модернізація системи: Оновлення та модернізація обладнання для підвищення ефективності та безпеки ГТС.
- Навчання персоналу: Підготовка та навчання персоналу, який обслуговує ГТС, для забезпечення правильної експлуатації системи.
- Розвиток ринку відновлювальних газів: Сприяння розвитку ринку біометану та водню, що може зменшити залежність від традиційних джерел газу [2].
- Зниження внутрішньо-технологічного споживання газу: Ефективне використання ресурсів, зокрема скорочення використання природного газу для внутрішньо-технологічних потреб [2].

Ці заходи допомагають забезпечити стабільну та безпечну роботу ГТС України, яка є важливою для енергетичної безпеки країни та європейських партнерів. Враховуючи геополітичну ситуацію, безпека ГТС має особливе значення, і вживаються всі необхідні заходи для її захисту.

#### **1.4. Ризики, пов'язані з ГТС України та шляхи їх зменшення**

Поза тими заходами, які були згадані раніше, існують інші ризики, пов'язані з ГТС України. Серед них:

1. Геополітичні ризики: Україна знаходиться в складній геополітичній ситуації, і це може вплинути на безпеку ГТС. Конфлікти, санкції, політичні напруження та інші фактори можуть створити загрозу для нормальної експлуатації системи.

2. Технічні ризики: Старість обладнання, можливість виникнення аварій, витоки газу, корозія трубопроводів та інші технічні проблеми можуть призвести до небезпеки для ГТС.

3. Екологічні ризики: Витоки газу можуть забруднювати навколишнє середовище та створювати небезпеку для здоров'я людей.

4. Економічні ризики: Зміни в газовому ринку, залежність від імпорту газу, фінансові проблеми та інші фактори можуть вплинути на стабільність ГТС.

5. Кібербезпека: Зростаюча кількість кібератак може загрожувати безпеці ГТС. Необхідно вживати заходів для захисту від хакерів та інших кіберзагроз.

6. Соціальні ризики: Включають в себе проблеми зі співпрацею між різними структурами, відсутність довіри до системи, конфлікти між регіонами та інші соціальні аспекти.

Загальна безпека ГТС вимагає постійного вдосконалення, моніторингу та співпраці між різними структурами для забезпечення надійності та стійкості системи.

Для зменшення технічних ризиків, пов'язаних з ГТС, вживаються різні заходи. Ось деякі з них:

1. Регулярне технічне обслуговування та ремонт: Газопроводи та обладнання регулярно перевіряються та обслуговуються для забезпечення їх надійності та безпеки. Це включає перевірку на корозію, витоки газу, стан ущільнень та інші технічні аспекти.

2. Моніторинг та контроль: Постійний моніторинг стану газопроводів та обладнання допомагає виявляти можливі несправності та вчасно реагувати на них. Сучасні технології дозволяють відстежувати параметри, такі як тиск, температура та інші.

3. Модернізація системи: Оновлення обладнання та впровадження нових технологій допомагає покращити безпеку ГТС. Це може включати заміну застарілого обладнання, впровадження автоматизації та інші заходи.

4. Навчання персоналу: Персонал, який обслуговує ГТС, повинен мати відповідні знання та навички. Навчання з технічних аспектів та безпеки є важливим елементом.

5. Запобігання аваріям: Розробка планів запобігання аваріям та вчасна реакція на можливі загрози допомагають знизити ризик аварій.

6. Екологічні стандарти: Дотримання екологічних стандартів є важливим для забезпечення безпеки ГТС та навколишнього середовища.

Загальною метою є забезпечення надійності та безпеки ГТС, що є важливим для енергетичної безпеки України та країн Європи.

Для попередження корозії газопроводів в Україні вживаються комплексні заходи, які включають як пасивний, так і активний захист. Ось деякі з них:

#### 1. Пасивний захист:

➤ Протикорозійні покриття: Газопроводи покриваються спеціальними матеріалами, які запобігають контакту металу з корозійно-активними речовинами в ґрунті.

➤ Катодний захист: Використання електродів для створення електричного поля, яке запобігає корозії металу.

#### 2. Активний захист:

➤ Електрохімічний захист: Застосування електрохімічних методів для контролю корозійних процесів.

➤ Моніторинг та контроль: Систематичний моніторинг стану газопроводів для виявлення ознак корозії та вживання відповідних заходів.

#### 3. Технологічні заходи:



➤ Очищення газу: Видалення з газу кородуючих речовин, що можуть спричиняти внутрішню корозію труб.

➤ Регулювання складу газу: Підтримання оптимального складу газу для зниження корозійної активності.

#### 4. Інженерні заходи:

➤ Оптимізація конструкції: Проектування та будівництво газопроводів з урахуванням корозійних ризиків.

➤ Захист від блукаючих струмів: Застосування заходів для нейтралізації впливу блукаючих струмів, які можуть виникати внаслідок електрифікованих транспортних систем.

### **1.5. Ризики для населення в разі розгерметизації газопроводу**

Загальні ризики для населення у разі розгерметизації газопроводу можуть бути значимі. Серед них:

1. Вибухи та пожежі: Розгерметизація газопроводу може призвести до вибухів та масштабних пожеж. Витік газу може спричинити небезпеку для життя та майна.

2. Забруднення довкілля: Витік нафтопродуктів або інших газів може забруднити навколишнє середовище, включаючи ґрунт, водойми та атмосферу.

3. Загроза здоров'ю: Газ може бути отруйним, і витік може призвести до отруєння населення.

4. Економічні втрати: Розгерметизація може призвести до зупинки газопостачання, евакуації та ремонтних робіт, що може мати економічні наслідки.

5. Соціальні наслідки: Великі аварії можуть вплинути на життя та благополуччя населення, створюючи соціальні напруження.

Забезпечення безпеки газопроводів та вжиття заходів для запобігання розгерметизації є важливим завданням для забезпечення безпеки населення та довкілля [2].

## **РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АВАРІЙ ТА ВІДМОВ НА ГАЗОПРОВОДАХ УКРАЇНИ ТА СВІТУ**

На жаль статистика про аварії на магістральних газопроводах в Україні закрита. Немає можливості надати найсвіжішої статистики та даних про аварії на газорозподільних системах в Україні. Тому за відсутності можливостей провести власний аналіз, використовуємо дані з наукових та відомчих журналів, а також відкриті дані з інтернету.

### **2.1. Аналіз аварій та відмов на магістральних газопроводах в Україні**

Управління магістральних газопроводів (УМГ) «Львівтрансгаз» є важливим вузлом газотранспортної системи України, який забезпечує стабільне постачання газу як на експорт, так і внутрішнім споживачам України. Львівтрансгаз експлуатує понад 6,3 тис. км газопроводів, 12 компресорних станцій загальною потужністю 854 МВт, чотири підземних сховища газу, 213 газорозподільних станцій. Газотранспортна мережа Управління забезпечує постачання газу споживачам Львівської, Тернопільської, Волинської, Рівненської і частково Житомирської, Хмельницької та Івано-Франківської областей, на території яких проживає понад 7 млн населення, виконує важливу функцію транзитної системи України з транспортування газу на експорт з Росії до 10 країн Центральної й Західної Європи [7].

На рис. 2.1 наведено розподіл аварій та відмов різних масштабів на магістральних газопроводах УМГ «Львівтрансгаз» з 1973 по 2012 рік за причинами їх виникнення [7].

Загалом з 1973 року зафіксовано 117 відмов або аварій, при цьому переважна більшість 70,9% сталася через людський фактор: 36 (30,7%) випадків викликані браком зварювання, 31 (26,5%) – механічним втручанням, ще 16 (13,7%), і лише 26 випадків (або 22,2%) пов'язані з корозією, яку можна було очікувати як головний чинник аварій та відмов.

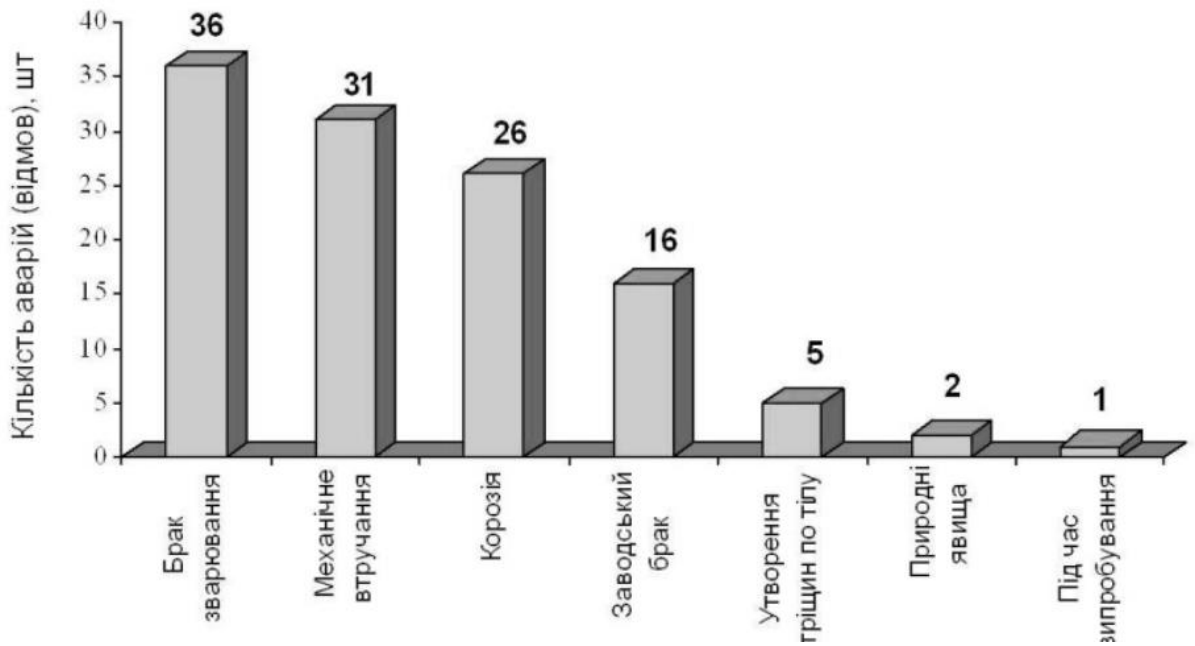


Рис. 2.1. Розподіл аварій та відмов на магістральних газопроводах УМГ «Львівтрансгаз» з 1973 по 2012 рік за причинами їх виникнення

Така ситуація притаманна не тільки для України. З іншої сторони, виключити людський фактор значно легше ніж корозію, тріщиноутворення або зсув ґрунтів, а з цього випливає, що при належній організації можна значно скоротити кількість аварій та відмов на трубопроводах в Україні. В цілому, найбільше відмов та аварій сталося через брак зварювання, механічні втручання та корозію – близько 80% [2].

Часовий розподіл аварій та відмов (за виключенням механічних втручань, природних явищ або випробувань) представлений на рис. 2.2.

Звертає на себе увагу значне зменшення кількості аварій в останній період з 2000-2012 рр. Цьому є пояснення: у 1998 році на магістральних газопроводах УМГ «Львівтрансгаз» започатковано проведення внутрішньотрубної діагностики (ВТД) з використанням інтелектуальних поршнів німецької фірми «Розен», що дозволяє виявити дефекти як на тілі трубопроводу так і у зварних з'єднаннях [ 7 ]. Після введення такого моніторингу на магістральних газопроводах, не зафіксовано жодного випадку розриву [7 ].

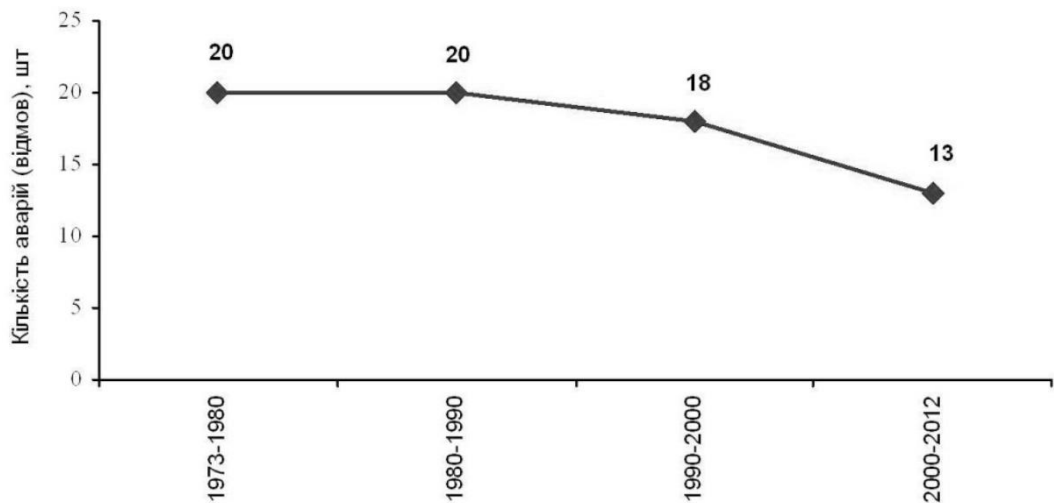


Рис. 2.2. Часовий розподіл аварій на газопроводах УМГ «Львівтрансгаз»

Таким чином, визначився другий захід по попередженню аварій на магістральних газопроводах - регулярна інспекція та обслуговування газопроводів, в тому числі внутрішньотрубна діагностика.

Щодо механічного втручання, перш за все мається на увазі, навмисне пошкодження газопроводу. Є данні на 2015 р.

Кількість відмов на магістральних газопроводах України у 2015 році зменшилась на 21%, загалом 27 аварій. Причиною переважної більшості відмов у 2015 році стало навмисне пошкодження трубопроводів. Зафіксовано 17 навмисного пошкодження трубопроводів із 27 випадків або 63%. Такі випадки здебільшого були зафіксовані у прифронтових районах Донецької та Луганської областей [8].

Розглянемо декілька прикладів аварій на газопроводах ГТС України.

1. 12 квітня 2010 року у місті Калуш Івано-Франківської області відбулася розгерметизація газопроводу. В результаті чого припинено газопостачання до 227 житлових будинків у яких проживало 16 тис. 830 людей. У Калуші відключили газ одному із стратегічних підприємств – Калуській теплоелектроцентралі, яка забезпечує теплом практично все місто. Калуш фактично опинився за крок від техногенної катастрофи. Було практично

зупинено роботу великих промислових підприємств міста, а це в основному хімічне виробництво [9].

Це загрожувало викидами в атмосферу отруйних та вибухонебезпечних речовин. Таким чином, аварії на газопроводах можуть нести безпосередньо загрозу значній кількості людей.

2. 10 січня 2016 року поблизу Романівки Городоцького району Львівської області виникла розгерметизація підземного магістрального газопроводу, наслідок чого близько 3 тисяч абонентів залишилися без газопостачання [10].

3. У ніч з 14 на 15 вересня 2020 року о 00.20 поблизу селища міського типу Чабани Києво-Святошинського району відбулася розгерметизація магістрального газопроводу високого тиску діаметром 1020 мм (Рис. 2.3) [11].



Рис. 2.3. Наслідки аварії на ГТС в Чабанах

Оператор ГТС назвав причиною розгерметизації газопроводу під Києвом брак під час будівництва. Аварія сталася через погану якість зварного з'єднання [12].

4. 9 січня 2021 року о 15:50 у полі поблизу села Калайдинці, Лубенського району, Полтавської області внаслідок розгерметизації магістрального газопроводу Уренгой-Помари-Ужгород стався вибух із наступним факельним горінням (рис. 2.4). [13]



Рис. 2.4. Аварія газопроводу в селі Калайдинці

Таким чином, найпоширенішими причинами аварій на українських газопроводах є:

- Старіння газотранспортної мережі: Багато газопроводів були побудовані декілька десятиліть тому і тепер потребують ремонту або заміни.
- Недосконалість державного контролю: Недостатній нагляд та контроль за станом газопроводів можуть призводити до збільшення кількості аварій.
- Корозія: Корозія металу трубопроводу, особливо стрес-корозійне розтріскування, є значною проблемою, яка вимагає уваги та відповідних заходів.
- Брак зварювання: Незадовільне виконання зварювальних робіт може призвести до утворення дефектів у зварних з'єднаннях, що з часом можуть призвести до аварій.
- Механічні втручання: Це можуть бути як навмисні пошкодження, так і випадкові, наприклад, під час земляних робіт.

Для попередження аварій на магістральних газопроводах приймаються різні заходи. Ось деякі з них:

1. Регулярна інспекція та обстеження: Газотранспортні компанії регулярно перевіряють стан газопроводів, виявляють можливі дефекти, корозію та інші проблеми. Інспекції можуть включати використання дронів, спеціальних камер, а також візуальний огляд.

2. Моніторинг тиску та температури: Системи моніторингу постійно відслідковують параметри газопроводів. Відхилення від норми можуть вказувати на можливі проблеми.

3. Автоматичні системи виявлення витоків: Датчики встановлені на газопроводах для виявлення витоків газу. Якщо система виявляє витік, автоматично включаються заходи безпеки.

4. Регулярне обслуговування та ремонт: Газопроводи регулярно обслуговуються та ремонтуються. Заміна старих ділянок, ремонт дефектів та зварювання є частиною цього процесу.

5. Навчання персоналу та свідомість громадськості: Персонал, який працює з газопроводами, повинен бути навчений правилам безпеки. Також важливо підвищувати свідомість громадськості щодо безпеки газотранспорту.

Ці заходи сприяють попередженню аварій та забезпечують безпеку магістральних газопроводів.

1. Співпраця з іншими країнами: Обмін досвідом та співпраця з іншими країнами може сприяти вдосконаленню стандартів безпеки та попередженню аварій.

Не зайвим буде порівняти причини аварій та відмов в Україні та США і Європі.

## **2.2. Аналіз аварій та відмов на газопроводах США**

Згідно з урядовою та галузевою статистикою в США, найпоширенішою причиною аварій на трубопроводах є неналежне або несанкціоноване копання поблизу трубопроводу. Інші причини аварій трубопроводу включають механічну несправність, помилку людини та корозію. Крім того, дані Управління з безпеки

трубопроводів і небезпечних матеріалів показують [14], що інциденти з транспортуванням газу розбиті у відсотках таким чином (рис. 2.5):

- 7,3% через корозію
- 26,8% через пошкодження при проведенні земляних робіт
- 17,1% через неправильну роботу
- 19,5% через поломку матеріалу/зварювання/обладнання
- 14,6% через пошкодження іншими зовнішніми силами
- 14,6% через усі інші причини.

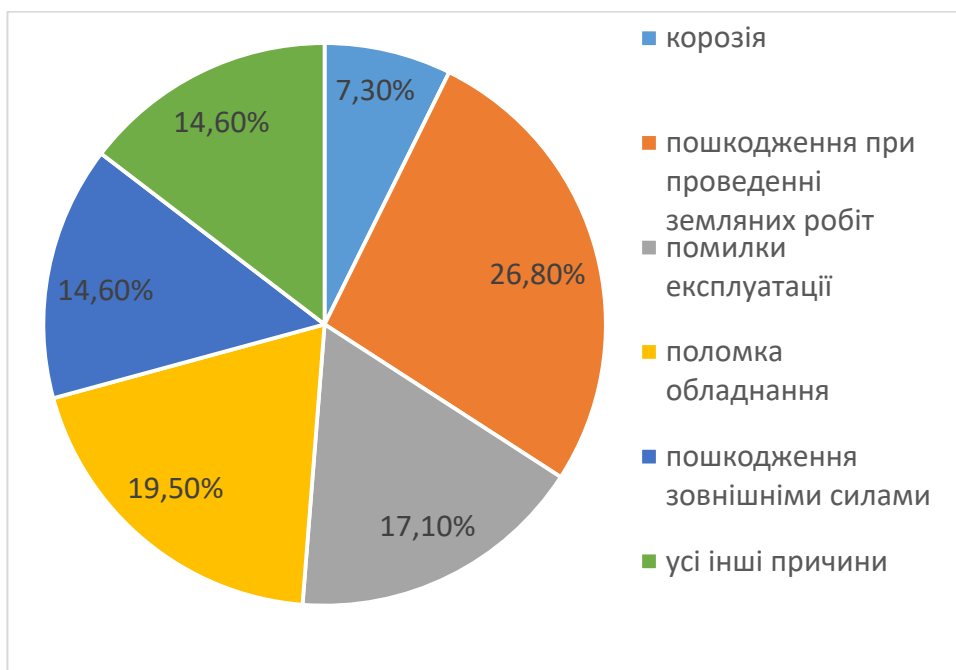
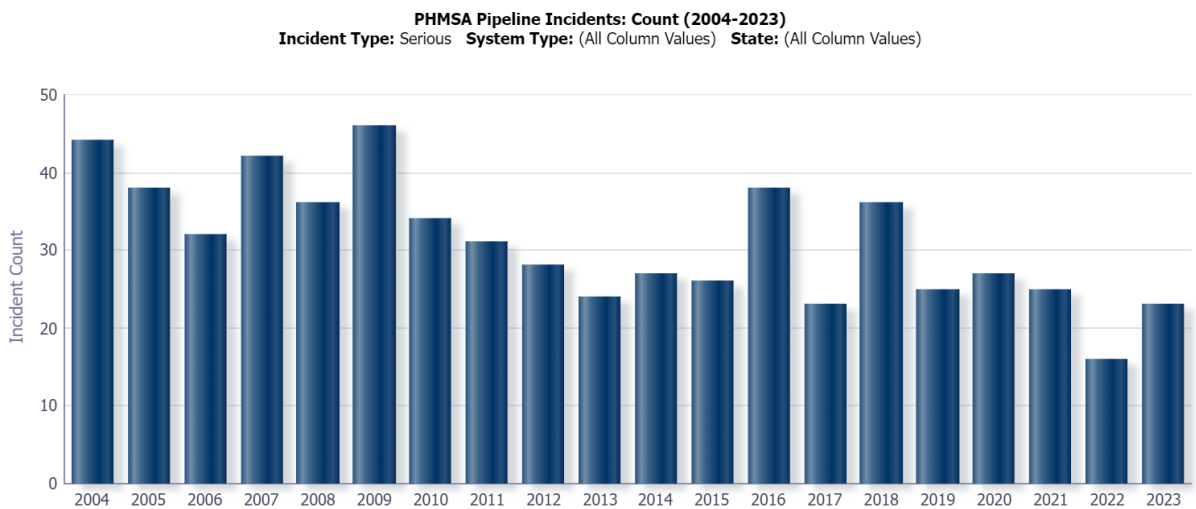


Рис. 2.5. Розподіл причин аварій на газопроводах США за 2008-2015 роки

В цих даних варто звернути увагу на малий процент пошкоджень за рахунок корозії – це може свідчити про використання дуже якісних матеріалів. В той же час бачимо, що частка пошкоджень пов’язаних з людським фактором так само багато, як і в Україні.

Наведемо американську статистику серйозних інцидентів за період з 2004 по 2023 роках за даними PHMSA (рис. 2.6) [15]: 621 інцидент, 254 загиблих та 1024 поранених.





**Рис. 2.6. Частота серйозних інцидентів на газопроводах США за 2004-2023 роки**

На гістограмі частотного розподілу серйозних інцидентів на трубопроводах в США ми бачим тенденцію до зменшення кількості випадків до рівня 20+ на рік, якщо, до прикладу, взяти п’ятирічне ковзне середнє. Цікаво, що ми можемо побачити аналогічну тенденцію і в Європі, там це значення трохи менше 20. Така подібність може свідчити про те, що попри усі заходи по попередженню інцидентів на газопроводах, може залишитись деякий рівень аварій, що неминучі.

Але історія знає й інші випадки, коли в одній анаговнетной країні вибухнув газопровід в той час, коли повз нього проходив залізничний потяг. Результат – 800 загиблих по офіційній інформації.

### **2.3. Статистика екстрених ситуацій на газопроводах у Європі**

За даними Європейської мережі операторів газотранспортних систем (ENTSOG), в середньому на рік фіксується кілька десятків аварійних ситуацій на європейських газопроводах. Точна кількість може варіюватися, оскільки не всі інциденти отримують широку огласку.

Основними причинами аварій є старіння інфраструктури, корозія, технічні

несправності, зсуви ґрунтів, природні явища (погодні умови, землетруси тощо). Людський фактор (помилки персоналу, пошкодження при проведенні робіт) також часто призводить до інцидентів.

За географічним розподілом аварійні ситуації трапляються в різних країнах Європи, однак найбільша кількість інцидентів зафіксована у Західній Європі, де газотранспортна інфраструктура найбільш розвинена.

Наслідки аварій варіюються від локальних витоків до масштабних пошкоджень, пожеж та вибухів. Для ліквідації наслідків залучаються аварійно-рятувальні служби, оператори ГТС, профільні державні органи. Проводяться розслідування причин та вживаються заходи для запобігання подібних інцидентів у майбутньому.

Деякі аварійні ситуації призводили до тимчасових перебоїв у постачанні газу споживачам. Проте загалом європейська газотранспортна система демонструє високу стійкість до аварій та здатність забезпечувати безперебійні поставки. Отже, хоча статистика по аваріям на європейських газопроводах не є публічно доступною, можна стверджувати, що подібні інциденти трапляються регулярно і потребують належної уваги з боку операторів ГТС та профільних органів влади.

У 1982 році шість європейських операторів газотранспортних систем виступили з ініціативою збору даних про ненавмисних викидів газу в їх системи транспортних трубопроводів. Ця співпраця була офіційно оформлена шляхом створення EGIG (European Gas pipeline Incident data Group - Європейська група даних про аварії на газопроводі). Мета ініціативи EGIG полягала в тому, щоб забезпечити широку основу для використання статистичних даних, що дало б більш реалістичну картину частоти та ймовірності інцидентів, ніж це було б можливо з індивідуальними даними кожної компанії, що розглядалися окремо. Збір даних, пов'язаних з безпекою, став більш важливим у результаті зростаючого інтересу, який виявляють місцеві, національні та міжнародні органи влади, відповідальні за безпечну транспортування газу.

В даний час EGIG є співробітництвом сімнадцяти операторів

газотранспортних систем у Європі та має обширну базу даних про аварії на трубопроводах, що зібрана з 1970 року (Рис. 2.7). Компанії-учасники на сьогодні це:



Рис. 2.7. Учасники EGIG

За інформацією EGIG розподіл аварій [16] на період 1970-2019 років зображено на рис. 2.8. На цій гістограмі видно, що 1995 рік можна вважати за точку переходу до середнього значення <20 інцидентів за рік. Можна також виділити період 1988-1994 з середнім значенням біля 30 випадків на рік.

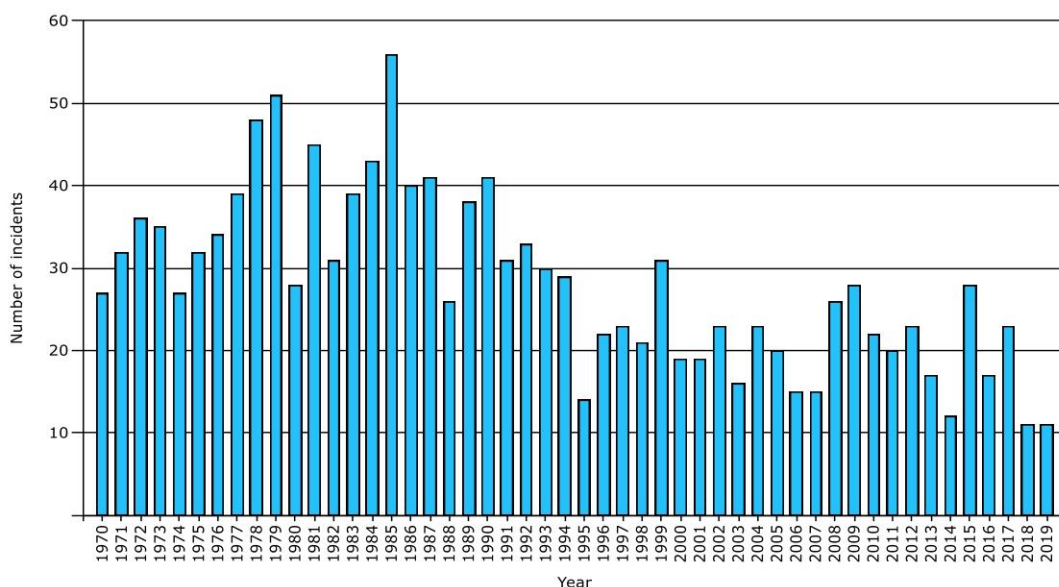


Рис. 2.8. Розподіл інцидентів на газопроводах Європи

В 11-му звіті EGIG порівняно [16] первинну частоту відмов за різні періоди, а саме загальний період (1970-2019), періоди, що відповідають попереднім звітам EGIG та періоди останніх 40, 30, 20, 10 і 5 років. Первинні частоти відмов за ці періоди наведені в Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Частоти інцидентів на газопроводах Європи

Період	Інтервал	Абсолютна кількість інцидентів	Аварійність на 1000 км·рік
1970 - 2007	38 років	1173	0,372
1970 - 2010	41 рік	1249	0,351
1970 - 2013	44 роки	1309	0,329
1970 - 2019	47 роів	1366	0,310
1970 - 2019	50 років	1411	9,292
1980 - 2019	40 років	1050	0,241
1990 - 2019	30 років	663	0,183
2000 - 2019	20 років	388	0,147
2010 - 2019	10 років	184	0,129
2015 - 2019	5 роців	90	0,126

Головний висновок, який можна зробити з цієї таблиці - частота інцидентів за останні п'ять років дорівнювала 0,126 на 1000 км·рік, що демонструє значне покращення безпеки газопроводів Європи. У порівнянні з кількістю аварій за період 1980-2019 років кількість інцидентів на газопроводах зменшилась в 2.3

рази.

В вище наведених цифр можна і треба зробити наступний висновок принципово важливий для Української ГТС - обмін досвідом та співпраця з іншими країнами, зокрема з учасниками ініціативи EGIG, буде сприяти вдосконаленню стандартів безпеки та попередженню аварій на ГТС України.

На рис. 2.9 наведена статистика з 11-го Звіту EGIG [16] щодо розподілу інцидентів на ГТС Європи за причинами за останні 10 років.



Рис 2.9. Розподіл аварій на газопроводах Європи за причинами

### РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА НАСЛІДКІВ У РАЗІ РОЗГЕРМЕТИЗАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

Оцінка ризиків є складним і багатоетапним процесом, який включає в себе збір та аналіз даних, моделювання наслідків аварії, оцінку впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей, а також розробку рекомендацій щодо заходів з мінімізації ризиків. Важливим етапом при оцінці ризиків є визначення зон впливу аварії, які залежать від типу та масштабів аварії, розташування об'єкта та інших факторів.

Оцінювання наслідків у разі розгерметизації магістрального газопроводу було виконано за методикою [17, 18], яка спрямована на визначення радіусу зони розповсюдження вибухонебезпечної суміші.

1. Відстань, на яку розповсюджується хмара вибухонебезпечної суміші за напрямком вітру визначається за емпіричною формулою

$$L = 25 \cdot \sqrt{\frac{M}{W}}, \quad (3.1)$$

де  $M$  – масова секундна витрата газу, кг/с; 25 – коефіцієнт пропорційності, що має розмірність  $\text{м}^{3/2}/\text{кг}^{1/2}$ ;  $W$  – швидкість вітру, м/с.

2. При цьому радіус зони детонації, м,  $r_0$ , внаслідок емісії газу через аварійну розгерметизацію газопроводу, може бути визначена за формулою

$$r_0 = 12,5 \cdot \sqrt{\frac{M}{W}}. \quad (3.2)$$

3. Масова секундна витрата газу  $M$ , кг/с, із газопроводу для критичного режиму виходу, коли основні його параметри (витрата і швидкість виходу) залежать тільки від параметрів розгерметизованого газопроводу, розраховують по співвідношенню:

$$M = \psi F \mu \sqrt{\frac{P_{\text{ст}}}{V_{\text{ст}}}}. \quad (3.3)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт, що враховує витрату газу від стану потоку (для звукової

швидкості виходу  $\Psi = 0,7$ );

$F$  – площа отвору виток, яка приймається рівною максимально можливому значенню – площі перетину трубопроводу,  $\text{м}^2$ ;

$\mu$  – коефіцієнт витрат, що враховує форму отвору ( $\mu = 0,7—0,9$ ), у розрахунках береться ( $\mu = 0,8$ ;  $P_g$  – тиск газу в газопроводі, Па;

$V_g$  – питомий об'єм газу,  $\text{м}^3/\text{кг}$ , що транспортується, за параметрів у газопроводі визначається за такою формулою:

$$V_g = R_0 \frac{T}{P_g}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (3.4)$$

де  $T$  – температура газу, що транспортується, К;

$R_0$  – питома газова стала, Дж/(кг·К), що визначається за складовими  $q_k$  і молярними масами компонентів суміші зі співвідношення:

$$R_0 = 8314 \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_k}{m_k} \right)_i, \quad (3.5)$$

де 8314 – універсальна газова стала, Дж/(кмоль·К);  $m_k$  – молярна маса компонентів, кг/кмоль;  $n$  – кількість компонентів газу.

При прогнозування можливих наслідків аварій на газопроводі зону детонації слід орієнтувати з урахуванням напрямку вітру, а також, що межа зони детонації розповсюджується від трубопроводу у напрямку вітру на відстань  $2r_0$ .

Зона можливого розповсюдження вибухонебезпечної суміші на топографічній карті зображають у виді кола, півкола або сектора в залежності від швидкості вітру, а саме:

- У випадку швидкості вітру до 0,5 м/с (умови штилю) зона детонації має вигляд кола радіусом  $r_0$ ;
- У випадку швидкості вітру до 0,6 -1 м/с зона детонації має вигляд півкола радіусом  $2r_0$ ;
- У випадку швидкості вітру більше 1 м/с кут сектора приймається зона детонації набуває вигляду сектора радіусом  $2r_0$ ;

- У випадку швидкості вітру до 1,1 -2 м/с кут сектора приймається 90°, а за швидкості вітру понад 2 м/с - 45°.

На основі розглянутої методики [17, 18] була виконана оцінка та аналіз наслідків аварійної розгерметизації магістрального газопроводу «Уренгой – Ужгород» поблизу с.Ковшевата Київської області, рис.3.1.

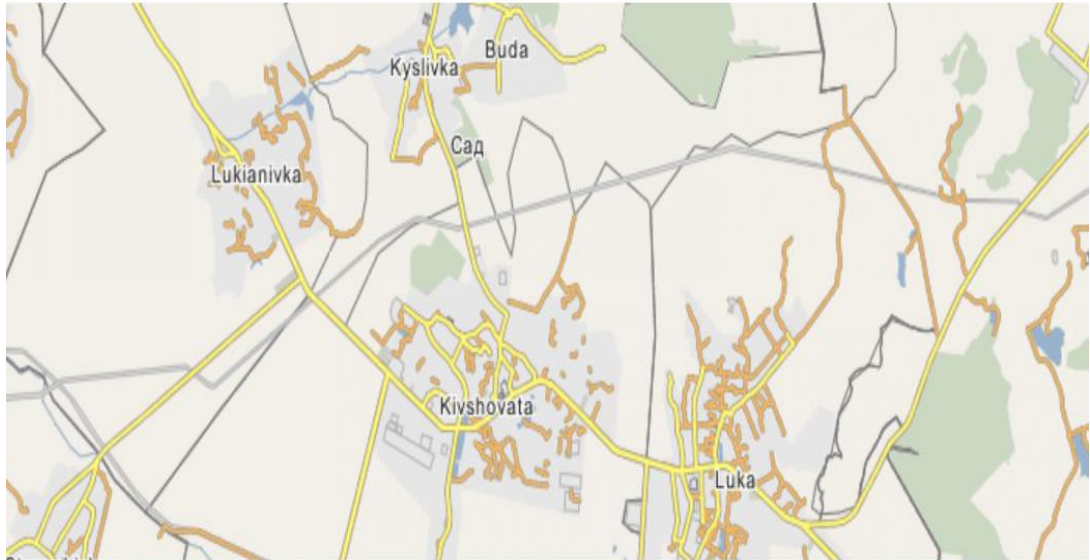


Рис. 3.1 – Фрагмент траси магістрального газопроводу «Уренгой — Помары — Ужгород» в Київській області

Для розрахунку склад природного газу прийнято у такому співвідношенні: метан ( $\text{CH}_4$ ) – 90 %; етан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) – 4 %; пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) – 2 %; Н-бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) – 2%; ізопентан ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) – 2 %.

Основні параметри газопроводу: робочий тиск,  $P = 2,4$  МПа, внутрішній діаметр труби магістрального трубопроводу  $d = 0,630$  м, температура природного газу  $t_g = 35^\circ\text{C}$ .

Метеорологічні умови: температура атмосферного повітря – 25 °С, швидкість вітру – 0,5 м/с, напрямок вітру – північно-західний (330°).

1. Оцінка питомої газової сталої на базі даних часткового вмісту газу  $q_i$  і молярних мас  $m_i$  компонентів газової суміші за співвідношення:

$$R_0 = 8314 \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_k}{m_k} \right)_i = 8314 \cdot \left( \frac{0,9}{16} + \frac{0,04}{30} + \frac{0,02}{44} + \frac{0,02}{58} + \frac{0,02}{72} \right) = 486 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$



2. Обчислення питомого об'єму транспортованого газу за співвідношенням:

$$V_g = R_0 \cdot \frac{T}{P_g} = \frac{486 \cdot (273 + 25)}{2,4 \cdot 10^6} = 0,063 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

3. Оцінка масової секундної витрати газу  $M$  із газопроводу для критичних умов витоку:

$$M = \psi \cdot F \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{P_g}{V_g}} = 0,7 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 0,8 \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 10^6}{0,063}} = 678,32 \text{ кг/с.}$$

4. Обчислення радіусу зони детонаційної концентрації  $r_0$  внаслідок витоку газу у випадку аварійної розгерметизації газопроводу:

$$r_0 = 12,5 \cdot \sqrt{\frac{M}{W}} = 12,5 \cdot \sqrt{\frac{678,32}{0,5}} = 460,40 \text{ м}$$

$$L = 25 \cdot \sqrt{\frac{M}{W}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{678,32}{0,5}} = 920,80 \text{ м}$$

Отже, на базі отриманих результатів розрахунку було встановлено, що хмара вибухонебезпечної суміші розповсюджується на відстань – 920,80 м, а радіус зони детонаційної концентрації газів сягнув – 460,4 м. Також прогноз розповсюдження хмари газової суміші враховував зазначені несприятливі метеорологічні умови (низька швидкість вітру – 0,5 м/с та північно-західний вітер, який дме в напрямку населеного пункту Ковшевата, Київської області).

За умов слабого вітру – 0,5 м/с, зона детонації має вигляд кола радіусом  $2r_0$  (920,8 м). У випадку несприятливого північно-західного напрямку вітру, хмара вибухонебезпечної суміші сягає населеного пункту Ковшевата й створює підвищений рівень пожежної небезпеки. Детонаційна буферна зона нанесена на топографічну карту, рис. 3.3.

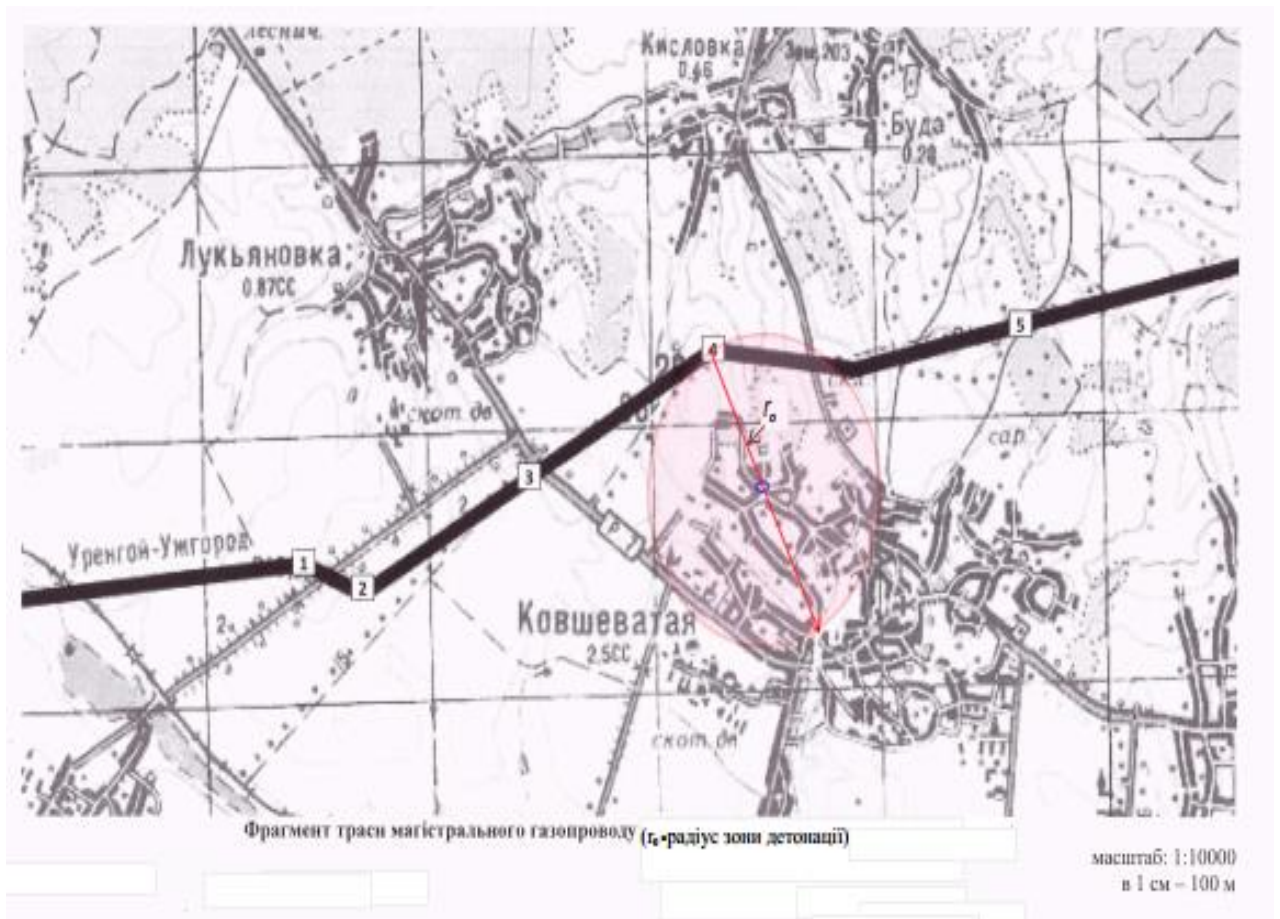


Рис.3.2. Детонаційна буферна зона внаслідок розгерметизації магістрального газопроводу «Уренгой – Ужгород» поблизу с.Ковшевата Київської області

На базі результатів виконаної оцінки були розроблені заходи із захисту населення населеного пункту Ковшеватая та інших вразливих житлових територій Київської області.

## РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ У РАЗІ АВАРІЇ ГАЗОПРОВОДУ

Діяльність суб'єктів господарювання, пов'язаних з експлуатацією, ремонтом та реконструкцією об'єктів магістральних газопроводів або науково-дослідними, проектно-конструкторськими, будівельно-монтажними, пусконаладжувальними та діагностичними роботами на цих об'єктах, регулюється Правилами безпечної експлуатації магістральних газопроводів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 27 січня 2010 року N 11 [19]. Саме від працівників ГТС перш за все залежить безпека населення, що проживає на територіях проходження магістральних газопроводів. Умови забезпечення охорони об'єктів магістральних трубопроводів від пошкоджень і руйнувань внаслідок несанкціонованого доступу, охорони довкілля, а також безпечної життєдіяльності населення на прилеглих до магістральних трубопроводів територіях визначаються Правилами охорони магістральних трубопроводів, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 року №1747 [20].

З 2021 року Оператор ГТС України впровадив цифрову систему управління технологічною інформацією для контролю стану магістральних газопроводів ГТС України на базі інформаційно-аналітичної системи по управлінню технічним станом та цілісністю об'єктів трубопровідно-транспортних мереж **ІТТ-PIMS** (Pipeline Integrity Management Systems). Розробником системи є компанія IT-Transit, що спеціалізується у наданні інформаційних та інжинірингових послуг підприємствам нафтогазової галузі [21]. Інформаційно-аналітична система складається з 52-ох модулів та трьох підсистем [22].

Основні аспекти цієї системи включають:

- **Паспортизацію та оцінку:** Система дозволяє побудувати єдину систему паспортизації, оцінки, прогнозування і контролю безпечної експлуатації основного і допоміжного обладнання ГТС.

- **Інформаційно-аналітичний інструмент:** Програмний продукт ІТТ-РІМС дозволяє комплексно оцінювати технічний стан та безпеку функціонування магістральних газопроводів, визначати технічний стан інфраструктури, проводити оцінку ризиків та розробляти плани профілактики та зменшення ризиків.

Партнером ОГТСУ в цьому проєкті виступає «Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона» НАН України.

Базовими заходами з попередження аварій та небезпечних випадків на газопроводах та захисту населення є:

- 1) Постійний моніторинг стану магістральних газопроводів
- 2) Заходи з попередження аварій на газопроводах
- 3) Заходи з захисту населення у разі аварії газопроводу

Розглянемо, що мають передбачати ці заходи.

#### **4.1. Діагностування технічного стану об'єктів магістральних газопроводів**

Діагностування технічного стану магістральних газопроводів є важливим завданням для забезпечення безпеки та надійності їх експлуатації. Основні завдання технічного діагностування включають:

##### **Контроль технічного стану:**

- Регулярне обстеження газопроводів для виявлення можливих пошкоджень, корозії, тріщин та інших дефектів.
- Вимірювання параметрів, таких як тиск, температура, глибина закладки, щільність ґрунту тощо.

##### **Пошук причин відмови (несправності):**

- Визначення причин, які можуть призвести до аварій або витoku газу.
- Аналіз даних з датчиків, візуальних оглядів та інших джерел.

##### **Прогнозування технічного стану:**

- Використання моделей та алгоритмів для передбачення майбутнього стану газопроводів.

- Оцінка залишкового ресурсу та ризиків.

Ці заходи допоможуть покращити ефективність діагностування та забезпечити безпеку газопроводів.

Для вдосконалення діагностування стану газопроводів доцільно вжити такі заходи:

#### **Впровадження новітніх технологій діагностики:**

- Впровадження систем моніторингу, які дозволяють в реальному часі відслідковувати параметри газопроводів (тиск, температура, вібрація тощо).

- Застосування більш досконалих внутрішньотрубних діагностичних снарядів.

- Використання сучасних методів неруйнівного контролю, зокрема магнітного, ультразвукового, акустичного тощо.

- Застосування роботизованих систем для діагностики важкодоступних ділянок.

#### **Розвиток автоматизованих систем моніторингу:**

- Впровадження інтелектуальних систем безперервного моніторингу стану газопроводів.

- Інтеграція даних з різних джерел (сенсори, діагностичні пристрої, ГІС тощо).

- Використання прогностичних алгоритмів для раннього виявлення дефектів.

#### **Удосконалення нормативно-технічної бази:**

- Регулярний перегляд та оновлення стандартів і правил діагностування.

- Розроблення галузевих методик з урахуванням кращих світових практик.

- Підвищення вимог до якості проведення діагностичних робіт.

- **Розвиток науково-дослідної діяльності:**

- Проведення прикладних досліджень у сфері неруйнівного контролю та технічної діагностики.

- Впровадження результатів наукових розробок у виробничу практику.

- Підготовка висококваліфікованих фахівців з діагностики.

#### **Забезпечення достатнього фінансування:**

- Виділення необхідних коштів на регулярну діагностику газопроводів.
- Здійснення інвестицій у придбання сучасного діагностичного обладнання.
- Забезпечення матеріально-технічної бази для проведення діагностичних робіт.

Комплексне впровадження цих заходів дозволить підвищити ефективність та точність діагностування стану газопровідної системи, а отже, забезпечить її надійну та безпечну експлуатацію.

У 2023 році фахівці ГТС України, спільно з компанією ROSEN Europe B.V., з метою своєчасного виявлення дефектів та пошкоджень на газопроводах та оцінки технічного стану та безпеки експлуатації ГТС провели внутрішньотрубну діагностику (ВТД) 2453,59 кілометрів лінійної частини магістральних газопроводів [23]. Під час обстеження газопроводів було записано понад 836 Гб інформації, зібраної інтелектуальними поршнями ROSEN .

У 2024 році ОГТСУ планує обстежити близько 1,3 тисячі кілометрів лінійної частини магістральних газопроводів.

Отже, компанія "Оператор ГТС України" приділяє значну увагу моніторингу технічного стану газотранспортної системи, що дозволяє своєчасно виявляти проблемні ділянки та вживати необхідні заходи для підтримання безпечної експлуатації газопроводів.

- Контроль дотримання правил експлуатації газопроводів
- Технічне обслуговування
- Технічна діагностика стану
- Організація робіт з ліквідації аварійних ситуацій
- Планування реконструкції газопроводів та ремонтно-відновлювальних робіт

## 4.2. Заходи з попередження аварій на газопроводах в Україні

Для попередження аварій та небезпечних випадків на газопроводах першочерговими заходами є:

2. Регулярна інспекція та обслуговування. Регулярна перевірка газопроводів на наявність пошкоджень, корозії та інших проблем може допомогти виявити потенційні ризики та уникнути аварій.

3. Автоматичні системи виявлення витоків. Датчики встановлені на газопроводах для виявлення витоків газу. Якщо система виявляє витік, автоматично включаються заходи безпеки.

4. Моніторинг тиску та температури. Встановлення систем моніторингу тиску та температури на газопроводах дозволяє операторам вчасно виявляти аномалії та реагувати на них.

5. Оновлення технічного обладнання. Заміна застарілого обладнання на нове, більш надійне та безпечне, безумовно значно зменшує ризик аварій.

6. Навчання персоналу. Підготовка операторів та технічного персоналу до ефективної реакції на надзвичайні ситуації є важливим аспектом безпеки газотранспорту.

7. Співпраця з іншими країнами. Обмін досвідом та співпраця з іншими країнами може сприяти вдосконаленню стандартів безпеки та попередженню аварій. В розділі 2 ми мали можливість наочно пересвідчитись наскільки міжнародне співробітництво може бути ефективним для зменшення кількості аварій та небезпечних випадків на газопроводах.

Окрім вищезгаданих заходів, можуть бути вжиті такі додаткові дії:

1. Підвищення кваліфікації персоналу: Регулярне навчання та сертифікація працівників, які обслуговують газопроводи, для підвищення їх компетентності у виявленні та реагуванні на потенційні ризики.

2. Використання сучасних технологій: Застосування передових технологій для моніторингу стану газопроводів, включаючи дрони, сенсори та системи дистанційного контролю.

3. Запровадження інтегрованих систем безпеки: Впровадження комплексних систем безпеки, які включають автоматизоване управління, контроль та відповідь на аварійні ситуації.

4. Підвищення рівня кібербезпеки. Зміцнення захисту від кібератак, які можуть вплинути на системи управління та моніторингу газопроводів.

5. Покращення інфраструктури: Оновлення та модернізація інфраструктури газопроводів для забезпечення їх стійкості до зовнішніх впливів.

6. Розробка планів евакуації: Створення чітких планів евакуації для населення, яке проживає поблизу газопроводів, на випадок аварій.

7. Проведення навчальних тренувань: Організація регулярних тренувань з евакуації та реагування на аварії для місцевих громад.

8. Залучення громадськості: Інформування та залучення громадськості до процесів моніторингу та підтримки безпеки газопроводів.

9. Запровадження стандартів та нормативів: Дотримання міжнародних та національних стандартів безпеки при проектуванні, будівництві та експлуатації газопроводів.

10. Співпраця з екстреними службами: Розробка механізмів ефективної взаємодії між операторами ГТС, екстреними службами та місцевою владою для швидкого реагування на аварії.

### **4.3. Заходи з захисту населення у разі розгерметизації газопроводу**

Ключовими принципами захисту населення при аваріях на газопроводах є своєчасне оповіщення, швидка та скоординована евакуація, надання медичної допомоги, злагоджена робота аварійних служб та інформаційна підтримка населення.

Першочерговими заходами є:

- Виведення людей з небезпечної зони та евакуація на безпечні місця.



➤ Виклик екстрених служб (ДСНС, пожежна охорона, рятувальна служба, медична допомога) для негайного реагування та допомоги постраждалим.

➤ Закриття доступу до зони аварії для запобігання подальшим травмам та небезпеці.

➤ Повідомлення місцевого населення про небезпеку та надання інструкцій щодо подальших дій та заходів безпеки.

У разі розгерметизації газопроводу для захисту населення вживаються наступні заходи:

**1. Планування дій при аварійних ситуаціях:** Розробка детальних планів дій для реагування на аварії, включаючи евакуацію населення, надання першої допомоги та інформування громадськості.

**2. Системи раннього попередження:** Встановлення систем, які можуть швидко сповіщати населення про аварію, наприклад, через сирени, СМС-повідомлення або інші засоби масової інформації.

**3. Навчання населення:** Проведення регулярних тренувань та інформаційних кампаній, щоб люди знали, як діяти у випадку розгерметизації газопроводу.

**4. Обладнання для евакуації:** Забезпечення наявності необхідного обладнання для евакуації, включаючи транспортні засоби, медичне обладнання та засоби індивідуального захисту.

**5. Контрольні опресовування:** Проведення контрольних опресовувань газопроводів для виявлення можливих витоків [24].

**6. Технічне обслуговування та ремонт:** Здійснення регулярного технічного обслуговування та ремонту газопроводів для запобігання їх розгерметизації.

**7. Взаємодія з екстреними службами:** Створення ефективної системи взаємодії між операторами ГТС, екстреними службами, місцевою владою та іншими організаціями.

Для розробки ефективних заходів з захисту населення у разі

розгерметизації газопроводу необхідно врахувати такі моменти:

**Оповіщення населення:**

- Створення системи оперативного оповіщення про аварію, використовуючи різні канали (сирени, ЗМІ, мобільні додатки тощо).

- Розробка інструкції з дій для населення, які будуть зрозумілими та доступними.

- **Евакуація населення:**

- Визначення безпечні зони для евакуації, розрахуйте можливі маршрути та підготуйте необхідну інфраструктуру.

- Забезпечення транспортування та тимчасове розміщення евакуйованих жителів.

- **Надання медичної допомоги:**

- Розвертання пунктів надання першої медичної допомоги в безпечних зонах.

- Підготовка медичного персоналу та необхідних медикаментів.

- **Протипожежні заходи:**

- Готовність пожежних служб та необхідного обладнання.

- Визначення можливих джерел займання та шляхів поширення вогню.

- **Співпраця та координація:**

- Налагодження ефективної взаємодію між всіма службами, задіяними в реагуванні на аварію.

- Регулярні тренування та навчання персоналу.

Ці заходи допомагають мінімізувати ризики для населення та забезпечити швидке та ефективне реагування на аварійні ситуації, пов'язані з газопроводами. Важливо, щоб всі зазначені заходи були чітко скоординовані та ефективно реалізовані для мінімізації наслідків надзвичайної ситуації.

Розроблена Пам'ятка для населення «Аварії на мережах газопостачання» [25].

Згідно Пам'ятки при пошкодженні газової мережі необхідно терміново вжити заходів, що запобігають вибуху, пожежі і отруєнню людей:

- негайне припинення будь-яких робіт;
- знеструмлення електромереж в районі аварії;
- виявлення місце витoku газу;
- відключення пошкодженої ділянки;
- поставити попереджувальні знаки;
- відведення людей в безпечне місце;
- організацію допомоги потерпілим.

## ВИСНОВКИ

ГТС України є однією з найпотужніших газотранспортних систем в Європі. Вона складається з мережі магістральних газопроводів протяжністю більше 38,5 тисяч кілометрів, що перетинають територію України. Об'єкти ГТС відносяться до об'єктів критичної енергетичної інфраструктури та до переліку об'єктів, що можуть спричинити виникнення надзвичайної ситуації техногенного і природного характеру. Також потрібно врахувати, що газотранспортна система України вирізняється високим рівнем зношеності, що призводять до зниження ефективності та надійності функціонування газотранспортної системи, а також спричиняє підвищення ризику аварій та ушкодження населення внаслідок розгерметизації магістральних газопроводів. Крім того, зазначена проблема є актуальною для України, оскільки досі триває війна з Росією і магістральні газопроводи є вразливими об'єктами критичної інфраструктури. Бомбардування, ракетні удари, вибухи та інші військові дії можуть спричинити аварійні ситуації та розгерметизацію газопроводів, що супроводжується викидом вибухонебезпечної суміші та підвищенням рівня пожежної небезпеки для населення і навколишнього природного середовища.

Загальні ризики для населення у разі розгерметизації газопроводу можуть бути значимі. Серед них:

6. Вибухи та пожежі: Розгерметизація газопроводу може призвести до вибухів та масштабних пожеж. Витік газу може спричинити небезпеку для життя та матеріальних цінностей.

7. Забруднення довкілля: Витік нафтопродуктів або інших газів може забруднити навколишнє середовище, включаючи ґрунт, водойми, підземні води та атмосферу.

8. Загроза здоров'ю: Газ може бути отруйним, і витік може призвести до отруєння населення. Пожежі також можуть призвести до шкоди здоров'я людей.

9. Економічні втрати: Розгерметизація може призвести до зупинки газопостачання, евакуації та ремонтних робіт, що може мати економічні наслідки.

10. Соціальні наслідки: Великі аварії можуть вплинути на життя та благополуччя населення, створюючи соціальні напруження.

Забезпечення безпеки газопроводів та вжиття заходів для запобігання розгерметизації є важливим завданням для забезпечення безпеки населення та довкілля.

Найпоширенішими причинами аварій на українських газопроводах є:

- Старіння газотранспортної мережі: Багато газопроводів були побудовані декілька десятиліть тому і тепер потребують ремонту або заміни.

- Недосконалість державного контролю: Недостатній нагляд та контроль за станом газопроводів можуть призводити до збільшення кількості аварій.

- Корозія: Корозія металу трубопроводу, особливо стрес-корозійне розтріскування, є значною проблемою, яка вимагає уваги та відповідних заходів.

- Брак зварювання: Незадовільне виконання зварювальних робіт може призвести до утворення дефектів у зварних з'єднаннях, що з часом можуть призвести до аварій.

- Механічні втручання: Це можуть бути як навмисні пошкодження, так і випадкові, наприклад, під час земляних робіт.

При експлуатації газопроводів необхідно використовувати досвід європейських країн та США, де застосовуються новітні технології моніторингу параметрів магістральних газопроводів, виявлення та ліквідації розгерметизації труб.

Оцінка ризиків є складним і багатоетапним процесом, який включає в себе збір та аналіз даних, моделювання наслідків аварії, оцінку впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей, а також розробку рекомендацій щодо заходів з мінімізації ризиків. Важливим етапом при оцінці ризиків є визначення зон впливу аварії, які залежать від типу та масштабів аварії, розташування об'єкта та інших факторів. Для прикладу була виконана оцінка та аналіз наслідків аварійної розгерметизації магістрального газопроводу «Уренгой – Ужгород» поблизу

с.Ковшевата Київської області. Було встановлено, що хмара вибухонебезпечної суміші розповсюджується на відстань – 920,80 м, а радіус зони детонаційної концентрації газів сягнув – 460,4 м. Також прогноз розповсюдження хмари газової суміші враховував зазначені несприятливі метеорологічні умови (низька швидкість вітру – 0,5 м/с та північно-західний вітер, який дме в напрямку населеного пункту Ковшевата, Київської області).

За умов слабкого вітру – 0,5 м/с, зона детонації має вигляд кола радіусом  $2r_0$  (920,8 м). У випадку несприятливого північно-західного напрямку вітру, хмара вибухонебезпечної суміші сягає населеного пункту Ковшевата й створює підвищений рівень пожежної безпеки. Детонаційна буферна зона нанесена на топографічну карту.

Ключовими принципами захисту населення при аваріях на газопроводах є своєчасне оповіщення, швидка та скоординована евакуація, надання медичної допомоги, злагоджена робота аварійних служб та інформаційна підтримка населення.

Першочерговими заходами є:

- Виведення людей з небезпечної зони та евакуація на безпечні місця.
- Виклик екстрених служб (ДСНС, пожежна охорона, рятувальна служба, медична допомога) для негайного реагування та допомоги постраждалим.
- Закриття доступу до зони аварії для запобігання подальшим травмам та небезпеці.
- Повідомлення місцевого населення про небезпеку та надання інструкцій щодо подальших дій та заходів безпеки.

У разі розгерметизації газопроводу для захисту населення вживаються наступні заходи:

- Планування дій при аварійних ситуаціях: Розробка детальних планів дій для реагування на аварії, включаючи евакуацію населення, надання першої допомоги та інформування громадськості.

- Системи раннього попередження: Встановлення систем, які можуть швидко сповіщати населення про аварію, наприклад, через сирени, СМС-повідомлення або інші засоби масової інформації.
- Навчання населення: Проведення регулярних тренувань та інформаційних кампаній, щоб люди знали, як діяти у випадку розгерметизації газопроводу.
- Обладнання для евакуації: Забезпечення наявності необхідного обладнання для евакуації, включаючи транспортні засоби, медичне обладнання та засоби індивідуального захисту.
- Контрольні опресовування: Проведення контрольних опресовувань газопроводів для виявлення можливих витоків.
- Технічне обслуговування та ремонт: Здійснення регулярного технічного обслуговування та ремонту газопроводів для запобігання їх розгерметизації.
- Взаємодія з екстреними службами: Створення ефективної системи взаємодії між операторами ГТС, екстреними службами, місцевою владою та іншими організаціями.

## СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конституція України.
2. Газотранспортна система України: надійність та безпека. [Електронний ресурс] <https://utg.ua/uk/press/publications>
3. Кодекс газотранспортної системи. [Електронний ресурс] <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-zatverdzhennya-kodeksu-gazotransportnoi-sistemi>
4. Закон України «Про критичну інфраструктуру» // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2023, № 5.
5. Порядок віднесення об'єктів до об'єктів критичної енергетичної інфраструктури затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 09.10.2020 № 1109. [Електронний ресурс] <https://www.kmu.gov.ua/nras/155861368>
6. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 15.
7. Нові розробки та технології видобування, транспортування і зберігання газу. [Електронний ресурс] <https://utg.ua/img/menu/media/ТТ/2012/ТТ-77-5-09-2012.pdf>
8. Число відмов на магістральних газопроводах України в 2015 році зменшилося на 21 %. [Електронний ресурс] <https://www.rbc.ua/rus/news/kolichestvo-otkazov-magistralnyh-gazoprovodah-1465996032.html>
9. Калуш на грані техногенної катастрофи. [Електронний ресурс] <https://podrobnosti.ua/556957-kalush-na-grani-tehnogennoj-katastrofy.html>
10. Аварія на газопроводі у Львівській області. [Електронний ресурс] <https://www.rbc.ua/rus/news/lvovskoy-oblasti-proizoshla-avariya-gazoprovode-1473399194.html>
11. В ДСНС назвали причину аварії під Києвом. [Електронний ресурс] [https://sensor.net/ru/photo\\_news/3219299/v\\_gschs\\_nazvali\\_prichinu\\_aviarii\\_pod\\_kievom\\_proizoshla\\_razgermetizatsiya\\_magistralnogo\\_gazoprovoda\\_vysokogo](https://sensor.net/ru/photo_news/3219299/v_gschs_nazvali_prichinu_aviarii_pod_kievom_proizoshla_razgermetizatsiya_magistralnogo_gazoprovoda_vysokogo)
12. Оператор ГТС назвав причиною разгерметизації газопроводу под Києвом брак при будівництві. [Електронний ресурс]



<https://kievvlast.com.ua/news/operator-gts-ukrainy-nazval-prichinoj-razgermetizatsii-magistralnogo-gazoprovoda-pod-kievom-brak-pri-stroitelstve>

13. Вибух газопроводу в Полтавській області. [Електронний ресурс] <https://delo.ua/economyandpoliticsinukraine/vzryv-gazoprovoda-v-poltavskoj-oblasti-spasatel-377130/>

14. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), [www.phmsa.dot.gov](http://www.phmsa.dot.gov)

15. Reports of Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [Електронний ресурс] <https://portal.phmsa.dot.gov/phmsapub/faces/>

16. EGIG Reports and Publications [Електронний ресурс] <https://www.egig.eu/reports>

17. Губський А.І. Цивільна оборона: Підручник для вищих учбових закладів. – К.: Міністерство освіти, 1995. – 216 с.

18. Стеблюк М.І. Цивільна оборона: Підручник. – К.: Знання, 2006. – 487 с. ISBN 966-346-156-X

19. Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів <https://regulation.gov.ua/documents/id56556>

20. Правилами охорони магістральних трубопроводів, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 року №1747 [<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1747-2002-%D0%BF#Text>]

21. Розробка просторової, паспортно-технічної та ремонтно-діагностичної бази даних по об'єктах лінійної частини магістральних газопроводів ТОВ «Оператор ГТС України» <https://it-transit.com/uk/rozrobka-prostorovoyi-pasportno-tehnicnoyi-ta-remontno-diagnostichnoyi-bazi-danih-po-ob-yektam-linijnoyi-chastini-magistralnih-gazoprovodiv-tov-operator-gts-ukrayini.html/>

22. Оператор ГТС України впроваджує цифрову систему управління цілісністю магістральних газопроводів <https://tsoua.com/news/ogtsu-vprovadzhuє-cyfrovu-systemu-upravlinnya-tsilisnistu-magistralnyh-gazoprovodiv/>

23. ОГТСУ обстежив понад 2450 км магістральних газопроводів у 2023 році <https://tsoua.com/news/ogtsu-obstezhyv-ponad-2450-km-magistralnyh-gazoprovodiv-u-2023-roczy/>

24. Безпечне проведення газонебезпечних робіт: роз'яснення від Держпраці <https://oppb.com.ua/news/bezpechne-provedennya-gazonebezpechnyh-robit-rozysnennya-vid-derzhpra>

25. Пам'ятка для населення «Аварії на мережах газопостачання» (<https://nmc.dsns.gov.ua/upload/5/2/9/0/pamyatki-pamiatka-avariyi-na-merezakh-gazopostacannia.pdf>).