

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра нафтогазової інженерії і технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему: «Технологічне обладнання мобільних автомобільних
газонаповнювальних компресорних станцій для заправки транспорту
безпосередньо на промислі»

Виконав: студент групи НІТ 2022-2

Едуард ДОВГАЛЬ

Керівник: Катерина ПАЛЄЄВА

Рецензент: Володимир КОТУХ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Інститут _____ Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури _____


Кафедра _____ Нафтогазової інженерії та технології _____

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____

Спеціальність _____ 185 – Нафтогазова інженерія та технології _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. завідувача кафедри
нафтогазової інженерії
та технологій

 Роман ТКАЧЕНКО
«17» червня 2026 р.

Завдання

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента _____ Довгала Едуарда Вікторовича _____

1. Тема роботи Технологічне обладнання мобільних автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій для заправки транспорту безпосередньо на промислі

затверджена наказом по університету від «22» травня 2026 р. № 440-03

2. Термін подання студентом закінченої роботи 17.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: технологічна схема мобільної АГНКС, технічні характеристики компресорного обладнання, вимоги нормативних документів щодо заправки транспортних засобів природним газом, довідкові дані про властивості природного газу та методики технологічних розрахунків.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Аналіз предметної області та технічного завдання;

2 Технологічна частина;




3 Економічне обґрунтування проєкту;

4 Охорона праці.

5. Графічний матеріал (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

титульний лист; актуальність, мета та завдання роботи; структура роботи мобільної АГНКС на промислі; аналіз мобільних АГНКС; технологічна схема мобільної агнкс; результати технологічних розрахунків; система автоматизації; економічна ефективність; охорона праці; висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічна частина	ст. викл. Палєєва К.М.		
Охорона праці	доц. Абракітов В. Е.		

7. Дата видачі завдання «25» травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	25.05.2026	
2	АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	25-31.05.2026	
3	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	01-07.06.2026	
4	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	08.06.2026	
5	Виконання розділу з охорони праці	09-11.06.2026	
6	Оформлення пояснювальної записки	12-13.06.2026	
7	Оформлення графічного матеріалу	14-15.06.2026	
8	Рецензування кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2026	
9	Здача закінченої кваліфікаційної роботи в ЕК	17.06.2026	

Керівник




 (підпис)

(Катерина ПАЛЄЄВА)

(прізвище та ініціали)

Студент-бакалавр



 (підпис)

(Едуард ДОВГАЛЬ)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 67 стор., 12 рис., 18 табл., 24 джерела.

Метою роботи є аналіз технологічного обладнання мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції та обґрунтування її застосування для заправки транспортних засобів безпосередньо в умовах газового промислу.

У роботі виконано аналіз умов експлуатації мобільних АГНКС та розглянуто сучасні технічні рішення, що застосовуються для заправки транспорту компримованим природним газом. Обґрунтовано вибір технологічної схеми мобільної АГНКС, проведено вибір основного технологічного обладнання та виконано розрахунок основних параметрів компресорної установки.

У результаті розрахунків встановлено, що для забезпечення продуктивності 500 Нм³/год при підвищенні тиску природного газу від 0,5 до 25 МПа доцільно використовувати чотириступеневий поршневий компресор потужністю 110 кВт. Розроблено структурну схему автоматизації та систему аварійного захисту мобільної АГНКС.

В економічній частині виконано укрупнений розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат. Визначено, що орієнтовний термін окупності проєкту становить близько одного року.

У розділі охорони праці проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів та запропоновано комплекс заходів щодо забезпечення безпечної експлуатації мобільної АГНКС.

АГНКС, КОМПРИМОВАНИЙ ПРИРОДНИЙ ГАЗ, КОМПРЕСОРНА УСТАНОВКА, МОБІЛЬНА ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНА СТАНЦІЯ, КОМПРИМУВАННЯ ГАЗУ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ГАЗОВИЙ ПРОМИСЕЛ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	9
1.1 Характеристика промислових умов	9
1.2 Огляд типів АГНКС	11
1.3 Аналіз існуючих мобільних компресорних станцій.....	13
1.4 Технологічна схема заправки транспорту на промислі	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1 Обґрунтування вибору технологічної схеми мобільної АГНКС	19
2.2 Вибір та опис основного технологічного обладнання	21
2.3 Розрахунок основних параметрів мобільної АГНКС	26
2.4 Система автоматизації та контролю.....	32
2.5 Заходи забезпечення безпеки експлуатації мобільної АГНКС	35
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	39
3.1 Визначення капітальних витрат.....	39
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	40
3.3 Розрахунок економічного ефекту.....	41
3.4 Визначення простого терміну окупності проєкту	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1 Завдання з охорони праці	44
4.2 Аналіз умов праці на мобільній АГНКС	45
4.3 Організація безпечних та нешкідливих умов праці.....	48
4.4 Заходи щодо поліпшення умов праці і підвищення безпеки.....	54
4.5 Пожежна безпека мобільної АГНКС	56
4.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- CNG (Compressed Natural Gas) – компримований природний газ;
ESD (Emergency Shutdown System) – система аварійного відключення;
PLC (Programmable Logic Controller) – програмований логічний контролер;
АГНКС – автомобільна газонаповнювальна компресорна станція;
ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
МПа – мегапаскаль;
Нм³ – нормальний кубічний метр;
ПЛАС – план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій;
ПЛК – програмований логічний контролер.

ВСТУП

Природний газ залишається одним із найважливіших енергетичних ресурсів, який широко використовується як у промисловості, так і на транспорті. Водночас на багатьох газових родовищах виникає проблема ефективного використання видобутого газу через відсутність розвиненої інфраструктури для його транспортування та підготовки. Особливо це стосується невеликих і віддалених промислів, де будівництво газопроводів або стаціонарних автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) є економічно недоцільним [1].

Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є застосування мобільних автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій. Такі установки дозволяють здійснювати відбір природного газу безпосередньо на промислі, його очищення, компримування до необхідного тиску та подальше використання як моторного палива для транспортних засобів. Завдяки мобільності та автономності роботи вони можуть швидко переміщуватися між об'єктами та використовуватися в умовах відсутності стаціонарної інфраструктури.

Використання компримованого природного газу (Compressed Natural Gas, CNG) як моторного палива має низку переваг. Насамперед це зменшення витрат на паливо порівняно з традиційними нафтопродуктами. Крім того, природний газ характеризується нижчим рівнем викидів шкідливих речовин і парникових газів, що відповідає сучасним вимогам щодо підвищення екологічності транспортного сектору [2].

Для умов газових промислів мобільні АГНКС дають можливість організувати заправку технологічного транспорту безпосередньо на місці видобутку газу. Це дозволяє скоротити витрати на доставку пального, підвищити ефективність використання місцевих енергетичних ресурсів та зменшити втрати газу під час його транспортування.

Ефективність роботи мобільної АГНКС значною мірою залежить від правильного вибору технологічної схеми, компресорного обладнання, систем

підготовки газу та засобів автоматизованого керування. Тому аналіз конструкції таких станцій і обґрунтування параметрів їх основного обладнання є актуальним інженерним завданням.

Метою бакалаврської роботи є аналіз технологічного обладнання мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції та обґрунтування її застосування для заправки транспортних засобів безпосередньо в умовах газового промислу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих конструкцій мобільних АГНКС;
- дослідити технологічний процес підготовки та компримування природного газу;
- обґрунтувати вибір основного технологічного обладнання станції;
- виконати розрахунок основних параметрів мобільної АГНКС;
- розробити принципову технологічну схему установки;
- розглянути питання охорони праці та промислової безпеки під час експлуатації обладнання.

Об'єкт дослідження – мобільні автомобільні газонаповнювальні компресорні станції для заправки транспортних засобів компримованим природним газом.

Предмет дослідження – технологічне обладнання та процеси очищення, компримування і подачі природного газу у складі мобільної АГНКС.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні технічних рішень щодо використання мобільної АГНКС для заправки транспорту в умовах газового промислу та визначенні основних параметрів її технологічного обладнання.

Під час виконання роботи використовувалися сучасні цифрові інструменти підтримки досліджень, зокрема ChatGPT (OpenAI), для пошуку та узагальнення науково-технічної інформації, перевірки стилістичного оформлення тексту та формування окремих ідей щодо структури роботи. Усі технічні рішення, розрахунки, висновки та остаточне оформлення матеріалів виконані автором самостійно.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика промислових умов

Мобільні автомобільні газонаповнювальні компресорні станції призначені для роботи в умовах газових промислів, де відсутня або недостатньо розвинена інфраструктура для транспортування та використання природного газу. Найчастіше такі установки застосовуються на невеликих і віддалених родовищах, а також на об'єктах, де будівництво стаціонарної АГНКС або підключення до магістрального газопроводу є економічно недоцільним.

Особливістю експлуатації мобільної АГНКС є робота безпосередньо поблизу свердловин або газозбірних пунктів. У таких умовах параметри газового потоку можуть змінюватися залежно від режиму роботи свердловин, ступеня виснаження покладу та особливостей системи збору продукції. Тому технологічне обладнання станції повинно забезпечувати стабільну роботу за змінних значень тиску та витрати природного газу.

На більшості газових промислів тиск у лініях збору газу знаходиться в межах від 0,1 до 5,0 МПа залежно від стадії розробки родовища та прийнятої технологічної схеми збору продукції [3]. Для забезпечення заправки транспортних засобів компримованим природним газом необхідно підвищити тиск газу до 20–25 МПа, що вимагає застосування багатоступеневих компресорних установок [1].

Важливою особливістю промислових умов є якість природного газу. Разом із газом у систему можуть надходити механічні домішки, краплинна волога та важкі вуглеводні. Під час компримування такі компоненти здатні викликати підвищений знос компресорного обладнання, утворення конденсату в трубопроводах і порушення роботи запірної арматури. З цієї причини перед подачею на компресор газ повинен проходити стадію очищення та, за необхідності, осушення [4].

Крім технологічних факторів, на роботу мобільної АГНКС впливають умови навколишнього середовища. Установа повинна забезпечувати надійну роботу при сезонних коливаннях температури, впливі атмосферних опадів, запиленості повітря та вібраційних навантаженнях, які виникають під час транспортування. Це висуває додаткові вимоги до конструкції компресорного обладнання, трубопровідної обв'язки та систем автоматизації.

З урахуванням зазначених особливостей мобільна АГНКС повинна мати достатній рівень автономності, надійності та безпеки, забезпечуючи повний цикл підготовки природного газу, його компримування та заправки транспортних засобів безпосередньо на місці видобутку.

На рисунку 1.1 наведено загальну схему використання мобільної АГНКС в умовах газового промислу.



Рисунок 1.1 – Структура роботи мобільної АГНКС на промислі

1.2 Огляд типів АГНКС

Автомобільні газонаповнювальні компресорні станції (АГНКС) призначені для компримування природного газу та заправки ним транспортних засобів. Залежно від конструктивного виконання, способу розміщення обладнання та умов експлуатації АГНКС поділяються на стаціонарні, напівмобільні та мобільні [1].

Стаціонарні АГНКС є найбільш поширеним типом газозаправних станцій. Вони споруджуються як окремі виробничі об'єкти та включають компресорне обладнання, систему підготовки газу, ресиверний парк, паливороздавальні колонки та допоміжні інженерні системи. Такі станції характеризуються високою продуктивністю та здатні забезпечувати заправку значної кількості транспортних засобів протягом доби. Водночас їх будівництво потребує значних капітальних витрат, а експлуатація можлива лише за наявності підключення до газотранспортної мережі.

Напівмобільні АГНКС займають проміжне положення між стаціонарними та мобільними установками. Основне обладнання таких станцій розміщується в контейнерах або на спеціальних платформах, що дозволяє транспортувати їх до нового місця експлуатації. Однак для введення в роботу зазвичай необхідно виконувати монтажні роботи, підключення інженерних комунікацій та підготовку майданчика. Тому їх мобільність є обмеженою.

Мобільні АГНКС являють собою автономні технологічні комплекси, змонтовані на автомобільному шасі або причепі. До складу таких станцій входять вузол відбору газу, система очищення, компресорний агрегат, ресивери високого тиску, паливороздавальне обладнання та система автоматизованого керування. Основною перевагою мобільних установок є можливість швидкого переміщення між об'єктами та роботи безпосередньо на місці видобутку природного газу [5].

Приклад виконання мобільної автомобільної АГНКС наведено на

рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Мобільна автомобільна АГНКС на шасі вантажного автомобіля

Як видно з рисунка 1.2, усе технологічне обладнання розміщується на єдиній транспортній платформі. Така компоновка дозволяє мінімізувати час підготовки станції до роботи та забезпечує її високу мобільність. Завдяки цьому мобільні АГНКС можуть використовуватися на віддалених промислах, будівельних майданчиках та інших об'єктах, де відсутня стаціонарна інфраструктура газопостачання.

Порівняно зі стаціонарними станціями мобільні АГНКС мають меншу продуктивність, що обумовлено обмеженнями за масою та габаритами обладнання. Проте їх використання дозволяє уникнути значних витрат на будівництво інфраструктури та забезпечує ефективне використання природного газу на віддалених промислах.

Основні характеристики різних типів АГНКС наведено в таблиці 1.1.

Аналіз різних типів АГНКС показує, що для умов віддалених газових промислів найбільш доцільним є використання мобільних станцій. Вони забезпечують автономність роботи, швидке введення в експлуатацію та можливість використання природного газу безпосередньо на місці його видобутку. Саме тому в даній роботі подальший розгляд зосереджено на мобільній автомобільній газонаповнювальній компресорній станції.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика різних типів АГНКС

Параметр	Стаціонарна	Напівмобільна	Мобільна
Продуктивність	Висока	Середня	Низька–середня
Мобільність	Відсутня	Обмежена	Висока
Час розгортання	Тривалий	Середній	Мінімальний
Капітальні витрати	Високі	Середні	Нижчі
Необхідність інфраструктури	Висока	Часткова	Мінімальна
Робота на промислі	Обмежена	Можлива	Найбільш доцільна

1.3 Аналіз існуючих мобільних компресорних станцій

Останніми роками мобільні автомобільні газонаповнювальні компресорні станції набули широкого поширення як засіб забезпечення транспортних засобів компримованим природним газом у районах із недостатньо розвиненою газозаправною інфраструктурою. Особливо актуальним їх використання є на віддалених газових промислах, будівельних майданчиках, кар'єрах та інших виробничих об'єктах, де будівництво стаціонарної АГНКС є економічно недоцільним [1].

Сучасні мобільні АГНКС являють собою автономні технологічні комплекси, змонтовані на автомобільному шасі або причепі. Незалежно від виробника більшість таких станцій мають схожу структуру та включають систему підготовки природного газу, компресорний агрегат, систему охолодження, ресивери високого тиску, паливороздавальне обладнання та систему автоматизованого керування [5].

Аналіз технічних рішень, що застосовуються в сучасних мобільних АГНКС, показує, що для компримування природного газу переважно використовуються багатоступеневі поршневі компресори. Такий вибір

обумовлений необхідністю підвищення тиску газу від значень, характерних для промислових газопроводів, до тиску заправки транспортних засобів, який зазвичай становить 20–25 МПа. Поршневі компресори забезпечують високу надійність роботи, можливість досягнення значних ступенів стискання та порівняно просте технічне обслуговування [4].

Важливим елементом мобільних станцій є система підготовки газу. Перед подачею на компресор природний газ проходить очищення від механічних домішок і краплинної вологи, що дозволяє зменшити зношування обладнання та підвищити надійність його роботи. У разі необхідності додатково застосовуються установки осушення газу, які забезпечують відповідність якості палива вимогам чинних стандартів.

Після компримування газ надходить до ресиверів високого тиску, де створюється запас стисненого газу для подальшої заправки транспортних засобів. Для скорочення часу заправки та підвищення ефективності використання накопиченого газу в сучасних АГНКС часто застосовують каскадну систему ресиверів, яка передбачає їх поділ на групи різного рівня тиску.

Значна увага приділяється автоматизації роботи станції. Сучасні мобільні АГНКС обладнуються програмованими логічними контролерами, системами контролю тиску та температури, датчиками витoku газу, а також засобами аварійного відключення обладнання. Це дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію станції та мінімізувати вплив людського фактора на технологічний процес.

Для узагальнення результатів аналізу основні характеристики сучасних мобільних АГНКС наведено в таблиці 1.2.

Одним із поширених рішень для мобільних АГНКС є розміщення технологічного обладнання безпосередньо на автомобільному шасі. Така конструкція забезпечує високу мобільність станції, можливість швидкого переміщення між виробничими об'єктами та мінімізацію підготовчих робіт під час введення в експлуатацію. Приклад компоновки обладнання мобільної АГНКС у кузові автомобіля наведено на рисунку 1.3.

Таблиця 1.2 – Типові характеристики сучасних мобільних АГНКС

Параметр	Типове значення
Продуктивність	200–1500 Нм ³ /год
Кінцевий тиск компримування	20–25 МПа
Тип компресора	Поршневий багатоступеневий
Кількість ступенів компримування	3–4
Тип охолодження	Повітряне або водяне
Тип накопичення газу	Каскадний ресиверний парк
Система керування	PLC-контролер



Рисунок 1.3 – Приклад компоновання обладнання мобільної АГНКС у контейнерному виконанні

Як видно з рисунка 1.3, у кузові автомобіля розміщені основні технологічні вузли станції: вузол відбору газу, фільтр-сепаратор,

чотириступеневий компресор із міжступневим охолодженням, ресивери високого тиску, заправна колонка та шафа керування. Таке компонування забезпечує компактне розташування обладнання та дозволяє здійснювати заправку транспортних засобів безпосередньо на території газового промислу.

Розміщення обладнання на автомобільному шасі зменшує витрати на будівництво стаціонарної інфраструктури та підвищує оперативність забезпечення транспортних засобів компримованим природним газом.

Проведений аналіз показує, що сучасні мобільні АГНКС базуються на використанні багатоступневих поршневих компресорів, систем очищення та осушення газу, ресиверів високого тиску і автоматизованих систем керування. Такі технічні рішення забезпечують можливість ефективною та безпечною заправки транспортних засобів компримованим природним газом безпосередньо на місці його видобутку. Саме зазначені принципи покладено в основу технологічної схеми мобільної АГНКС, що розглядається в даній роботі.

1.4 Технологічна схема заправки транспорту на промислі

Для забезпечення транспортних засобів компримованим природним газом безпосередньо на території газового промислу використовується мобільна автомобільна газонаповнювальна компресорна станція, яка здійснює відбір, підготовку, компримування та подачу газу до заправного обладнання. Використання такої схеми дозволяє організувати автономне забезпечення транспортного парку паливом без будівництва стаціонарної газозаправної інфраструктури [1].

Узагальнену технологічну схему мобільної АГНКС наведено на рис. 1.4.

Як видно з рисунка 1.4, природний газ із промислової лінії надходить до фільтра-сепаратора, де здійснюється його очищення від механічних домішок і краплинної рідини. Підготовка газу на цьому етапі необхідна для захисту компресорного обладнання від передчасного зношування та забезпечення надійної роботи станції.

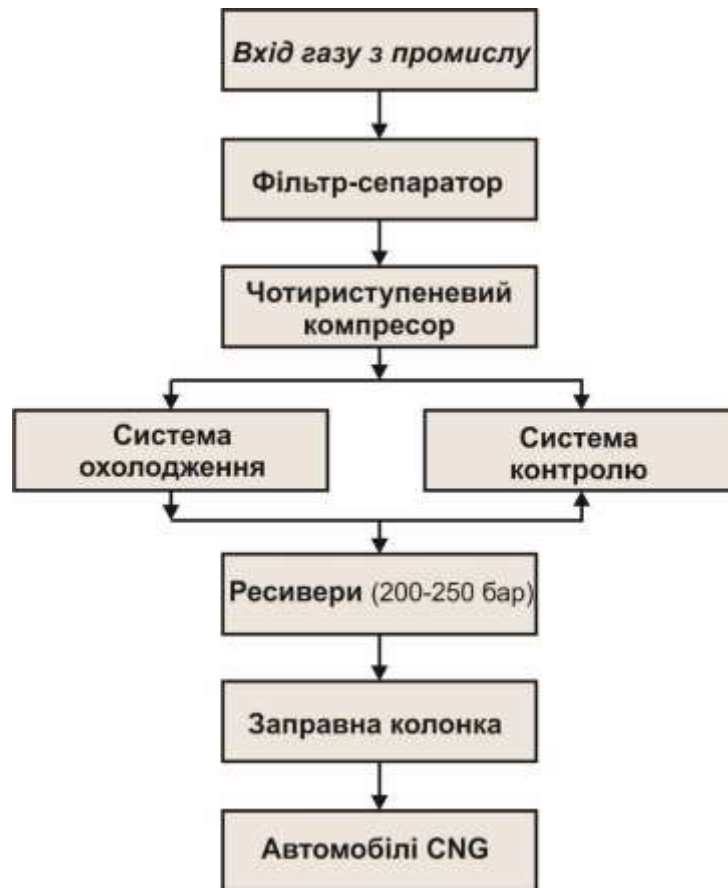


Рисунок 1.4 – Узагальнена технологічна схема мобільної АГНКС для заправки транспорту на промислі

Після очищення газ подається до багатоступеневого компресора, в якому його тиск підвищується до значень, необхідних для заправки транспортних засобів. Використання чотириступеневої схеми компримування дозволяє зменшити температуру газу після кожного ступеня стискання та підвищити енергоефективність процесу [4].

У процесі компримування температура газу зростає, тому після виходу з компресора він направляється до системи охолодження. Зниження температури сприяє підвищенню безпеки експлуатації обладнання та забезпечує стабільні умови накопичення газу в ресиверах.

Стиснений та охолоджений газ надходить до ресиверів високого тиску, де формується необхідний запас палива для подальшої заправки транспортних засобів. Як правило, робочий тиск у ресиверах знаходиться в межах 20–25 МПа, що відповідає вимогам до заправки автомобілів компримованим

природним газом [1].

Керування технологічним процесом здійснюється системою контролю та автоматизації, яка забезпечує моніторинг основних параметрів роботи станції, зокрема тиску, температури та стану обладнання. У разі виникнення аварійних ситуацій система автоматично виконує зупинку компресора та відключення окремих вузлів станції.

Із ресиверів природний газ подається до заправної колонки, через яку здійснюється заправка транспортних засобів. Завдяки попередньому накопиченню газу в ресиверах забезпечується скорочення часу заправки та зменшується навантаження на компресорне обладнання.

Таким чином, технологічна схема мобільної АГНКС забезпечує повний цикл підготовки та компримування природного газу безпосередньо на місці його видобутку. Це дозволяє ефективно використовувати природний газ як моторне паливо та забезпечувати автономну роботу транспортних засобів у промислових умовах. Розглянута схема є основою для подальшого вибору та розрахунку технологічного обладнання мобільної АГНКС.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування вибору технологічної схеми мобільної АГНКС

На основі аналізу сучасних мобільних автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій, виконаного в першому розділі, для подальшого проектування прийнято технологічну схему, що забезпечує підготовку природного газу, його компримування до тиску заправки та накопичення в ресиверах високого тиску.

Основними критеріями вибору технологічної схеми є:

- можливість роботи безпосередньо на території газового промислу;
- забезпечення необхідного тиску заправки транспортних засобів;
- мінімізація масогабаритних характеристик обладнання;
- надійність та безпечність експлуатації;
- можливість автоматизованого керування технологічним процесом.

Деталізовану технологічну схему мобільної АГНКС із чотириступеневим компримуванням природного газу наведено на рисунку 2.1.

До складу станції входять такі основні вузли:

- вузол відбору природного газу;
- фільтр-сепаратор;
- компресорна установка;
- система охолодження газу;
- ресивери високого тиску;
- заправна колонка;
- система автоматизації та аварійного захисту.

Природний газ відбирається з промислової лінії та надходить до фільтра-сепаратора, де очищується від механічних домішок і краплинної рідини. Після цього газ подається на вхід компресорної установки.

Для забезпечення необхідного тиску заправки прийнято використання чотириступеневого поршневого компресора. Така схема дозволяє забезпечити

стискання газу до тиску 25 МПа при збереженні прийнятних температурних режимів роботи обладнання [1].



Рисунок 2.1 – Принципова технологічна схема мобільної АГНКС

Після кожного ступеня стискання передбачається охолодження газу, що дозволяє зменшити енергоспоживання компресора та підвищити надійність роботи системи. Охолоджений газ надходить до ресиверів високого тиску, де створюється запас палива для подальшої заправки транспортних засобів.

Заправка автомобілів здійснюється через паливороздавальну колонку, обладнану запірною арматурою, засобами контролю тиску та пристроями аварійного відключення.

Для забезпечення безпечної експлуатації всі основні технологічні параметри контролюються системою автоматизації. Передбачено контроль

тиску, температури та аварійне відключення обладнання при виході параметрів за допустимі межі.

Прийнята технологічна схема відповідає вимогам мобільності, безпеки та ефективності використання природного газу в умовах газового промислу і є основою для подальшого вибору та розрахунку технологічного обладнання.

2.2 Вибір та опис основного технологічного обладнання

Вибір технологічного обладнання мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції здійснювався з урахуванням вимог до продуктивності, мобільності, безпечності експлуатації та забезпечення необхідного тиску заправки транспортних засобів. Прийняте обладнання повинно забезпечувати повний цикл підготовки природного газу, його компримування, накопичення та подачу до заправної колонки.

Відповідно до технологічної схеми, наведеної на рисунку 2.1, до складу мобільної АГНКС входять фільтр-сепаратор, компресорна установка, система охолодження газу, ресивери високого тиску, заправна колонка та система автоматизації.

2.2.1 Фільтр-сепаратор

Першим елементом технологічної схеми є фільтр-сепаратор, призначений для очищення природного газу від механічних домішок та краплинної рідини. Наявність твердих частинок і вологи може призвести до прискореного зношування компресорного обладнання, зниження ефективності роботи системи та виникнення аварійних ситуацій. Тому застосування фільтра-сепаратора є обов'язковою умовою експлуатації мобільної АГНКС [4].

Для проєктованої станції прийнято вертикальний фільтр-сепаратор циклонного типу, який характеризується компактністю, високою ефективністю очищення та простотою обслуговування.

2.2.2 Компресорна установка

Основним технологічним обладнанням мобільної АГНКС є компресорна установка. Саме вона забезпечує підвищення тиску природного газу від параметрів промислової мережі до рівня, необхідного для заправки транспортних засобів.

На основі аналізу сучасних мобільних АГНКС та вимог до кінцевого тиску заправки прийнято використання чотириступеневого поршневого компресора [4]. Такий тип компресора забезпечує високий ступінь стискання, надійну роботу в широкому діапазоні навантажень та можливість досягнення кінцевого тиску до 25 МПа.

Основні переваги поршневого компресора:

- можливість отримання високих тисків;
- висока енергоефективність;
- надійність конструкції;
- придатність для роботи в польових умовах;
- відносно просте технічне обслуговування.

2.2.3 Система охолодження

У процесі компримування температура природного газу значно підвищується. Для забезпечення нормальних умов роботи компресора та зменшення енергетичних втрат після кожного ступеня стискання передбачається охолодження газу.

Для мобільної АГНКС доцільним є використання повітряної системи охолодження. Вона не потребує додаткових систем водопідготовки, має простішу конструкцію та добре пристосована до роботи в умовах промислу.

2.2.4 Ресивери високого тиску

Для накопичення запасу стисненого природного газу в складі станції передбачено використання ресиверів високого тиску. Ресивери забезпечують стабільну роботу заправної системи та дозволяють скоротити тривалість

заправки транспортних засобів.

Відповідно до вимог до CNG-станцій робочий тиск ресиверів становить до 25 МПа [1]. Для підвищення ефективності роботи передбачається використання каскадної схеми накопичення газу, що включає декілька груп ресиверів із різним рівнем тиску. Схему каскадного накопичення газу доцільно подати на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Схема каскадного накопичення газу

Як видно з рисунка 2.2, ресивери поділені на три групи з різними рівнями тиску. Така схема дозволяє ефективніше використовувати запас стисненого газу та скоротити тривалість заправки транспортних засобів.

Для скорочення часу заправки транспортних засобів та підвищення ефективності використання запасу стисненого природного газу в мобільній АГНКС передбачено застосування каскадної системи накопичення газу. Схему подачі газу через групи ресиверів різного рівня тиску наведено на рисунку 2.3.

Як видно з рисунка 2.3, після компримування природний газ через зворотний клапан надходить до маніфольда, який забезпечує розподіл потоку між ресиверами низького (LOW), середнього (MED) та високого (HIGH) тиску. Така схема дозволяє ефективніше використовувати запас газу та забезпечувати стабільний тиск під час заправки транспортних засобів.



Рисунок 2.3 – Схема каскадної системи накопичення та подачі природного газу

2.2.5 Заправна колонка

Заправна колонка призначена для подачі стисненого природного газу до балонів транспортного засобу. До її складу входять заправний рукав високого тиску, запірні арматури, манометричні прилади та система аварійного відключення.

Конструкція колонки повинна забезпечувати безпечно та швидко виконання заправних операцій відповідно до вимог [1].

2.2.6 Система автоматизації та контролю

Для контролю параметрів роботи станції передбачається використання програмованого логічного контролера (PLC), який забезпечує моніторинг тиску, температури, стану компресора та систем безпеки.

До складу системи автоматизації входять:

- датчики тиску;

- датчики температури;
- газоаналізатори;
- аварійні вимикачі;
- панель оператора.

Застосування автоматизованої системи керування дозволяє підвищити надійність експлуатації мобільної АГНКС та забезпечити своєчасне реагування на відхилення технологічних параметрів.

До складу мобільної АГНКС входить комплекс обладнання, призначений для виконання операцій очищення, компримування, накопичення та подачі природного газу. Основне технологічне обладнання станції наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основне технологічне обладнання мобільної АГНКС

Найменування обладнання	Призначення
Фільтр-сепаратор	Очищення газу від механічних домішок і вологи
Компресорна установка	Підвищення тиску природного газу
Система охолодження	Зниження температури газу після стискання
Ресивери високого тиску	Накопичення запасу стисненого газу
Заправна колонка	Заправка транспортних засобів
PLC-контролер	Автоматизація та контроль роботи станції

Дані таблиці 2.1 свідчать, що кожен елемент технологічної схеми виконує окрему функцію, а їх спільна робота забезпечує повний цикл підготовки та заправки природного газу.

Таким чином, обране технологічне обладнання забезпечує виконання всіх необхідних операцій із підготовки, компримування, накопичення та заправки природного газу. Прийняті технічні рішення відповідають сучасним

вимогам до мобільних АГНКС та створюють основу для подальшого розрахунку основних параметрів станції.

2.3 Розрахунок основних параметрів мобільної АГНКС

Для забезпечення ефективної роботи мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції необхідно визначити основні параметри технологічного обладнання. До них належать ступінь компримування природного газу, тиски після окремих ступенів стискання, продуктивність та потужність компресорної установки, а також необхідний об'єм ресиверного парку.

Для проєктованої мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції приймаються такі параметри, наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні параметри

Параметр	Позначення	Значення
Вхідний тиск газу	P_1	0,5 МПа
Кінцевий тиск газу	P_2	25 МПа
Продуктивність компресора	Q	500 Нм ³ /год
Кількість ступенів компримування	z	4
Температура газу на вході	T_1	20 °С
Густина природного газу	ρ	0,72 кг/м ³
Час роботи станції	t	8 год/добу

Обґрунтування прийнятих параметрів:

1. Вхідний тиск природного газу прийнято рівним 0,5 МПа. Таке значення є характерним для промислових газозбірних мереж невеликих та середніх родовищ після первинної підготовки газу та відповідає типовим умовам експлуатації мобільних АГНКС на промислах [3].

2. Кінцевий тиск компримування прийнято рівним 25 МПа відповідно до

вимог до заправки транспортних засобів компримованим природним газом [1]. Даний тиск забезпечує ефективне заповнення автомобільних балонів та є стандартним для більшості сучасних CNG-станцій.

3. Продуктивність компресорної установки прийнято на рівні 500 Нм³/год. Таке значення знаходиться в середині діапазону продуктивностей мобільних АГНКС (200–1500 Нм³/год) та є достатнім для забезпечення транспортних потреб газового промислу середньої потужності [5].

4. Для забезпечення необхідного ступеня стискання обрано чотириступеневий поршневий компресор. Використання чотирьох ступенів дозволяє підтримувати оптимальні температурні режими роботи та зменшувати навантаження на компресорне обладнання [4].

5. Температура газу на вході прийнята рівною 20 °С, що відповідає середнім умовам експлуатації обладнання в теплий період року. Для визначення масової витрати використано середню густину природного газу 0,72 кг/м³.

6. Тривалість роботи станції прийнята 8 годин на добу. Такий режим є характерним для мобільних АГНКС, які забезпечують паливом виробничий транспорт промислу та не працюють у режимі цілодобового комерційного обслуговування.

Прийняті параметри відповідають умовам експлуатації мобільних станцій на газових промислах та забезпечують можливість заправки транспортних засобів компримованим природним газом.

2.3.1 Розрахунок загального ступеня компримування

Загальний ступінь стискання визначається за формулою

$$\varepsilon = \frac{P_1}{P_2}, \quad (2.1)$$

де P_1 – початковий тиск газу, МПа;

P_2 – кінцевий тиск газу, МПа.

Підставляючи вихідні дані, отримуємо

$$\varepsilon = \frac{25}{0,5} = 50/$$

Отже, для досягнення необхідного тиску заправки природний газ повинен бути стиснений у 50 разів. Отримане значення підтверджує необхідність використання багатоступеневого компресора, оскільки одноступеневе стискання при такому співвідношенні тисків є технічно недоцільним.

2.3.2 Розрахунок ступеня стискання одного ступеня

Для рівномірного розподілу навантаження між ступенями компресора використовується однаковий ступінь стискання кожного ступеня:

$$\varepsilon_{cm} = \sqrt[z]{\varepsilon}, \quad (2.2)$$

де z – кількість ступенів компримування.

Тоді

$$\varepsilon_{cm} = \sqrt[4]{50} = 2,66.$$

Отримане значення рекомендованим режимам роботи поршневих компресорів [4]. Це дозволяє підтримувати допустимі температури газу після кожного ступеня та підвищує ресурс обладнання.

2.3.3 Розрахунок тиску після кожного ступеня компримування

Тиск після кожного ступеня визначається за формулою

$$P_i = P_{i-1} * \varepsilon_{cm}. \quad (2.3)$$

Результати розрахунку наведено в таблиці 2.3 та на рисунку 2.4.

Таблиця 2.3 – Розподіл тиску за ступенями компримування

Ступінь	Тиск, МПа
Вхід	0,50
I	1,33
II	3,54
III	9,42
IV	25,00

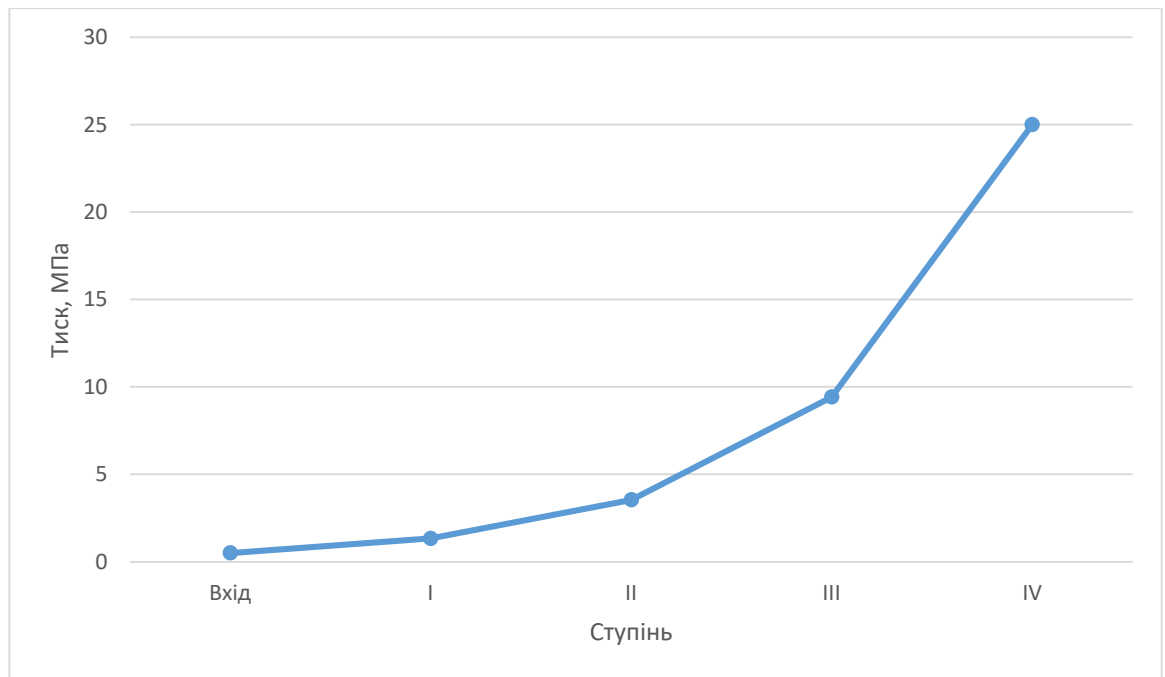


Рисунок 2.4 – Графік розподілу тиску за ступенями компримування

Як видно з таблиці 2.2, зростання тиску відбувається рівномірно на кожному ступені компресора. Такий розподіл навантаження забезпечує стабільну роботу компресорної установки та знижує теплові напруження елементів компресора.

2.3.4 Розрахунок масової витрати природного газу

Масова витрата визначається за формулою

$$G = \rho \cdot Q, \quad (2.4)$$

де G – масова витрата газу, кг/год;

ρ – густина природного газу, кг/м³;

Q – продуктивність компресора, Нм³/год.

Отримуємо:

$$G = 0,72 \cdot 500 = 360 \text{ кг/год.}$$

Таким чином, через компресорну установку проходить близько 360 кг природного газу за годину. Отримане значення використовується для визначення навантаження на компресор та вибору допоміжного обладнання.

2.3.5 Розрахунок потужності компресорної установки

Для визначення потужності компресора використовується рівняння політропного стискання газу [4]:

$$N_t = \frac{n}{n-1} \cdot G \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (2.5)$$

де N_t – теоретична потужність компресора, кВт;

n – показник політропи;

G – масова витрата газу, кг/с;

R – газова стала природного газу, Дж/(кг·К);

T_1 – температура газу на вході, К;

P_1 – початковий тиск газу, МПа;

P_2 – кінцевий тиск газу, МПа.

Для природного газу приймаємо:

$n=1,25$;

$R=518$ Дж/(кгК);

$T_1=293$ К;

Масова витрата газу становить

$$Q = \frac{360}{3600} = 0,1 \text{ кг/с.}$$

Підставляємо вихідні дані у формулу (2.5):

$$N_t = \frac{1,25}{1,25 - 1} \cdot 0,1 \cdot 518R \cdot 293 \cdot \left[\left(\frac{25}{0,5} \right)^{\frac{1,25-1}{1,25}} - 1 \right] \approx 90 \text{ кВт.}$$

З урахуванням механічних втрат і втрат у приводі приймаємо загальний коефіцієнт корисної дії компресорної установки $\eta = 0,85$.

Тоді необхідна потужність приводу становитиме

$$N = \frac{N_t}{\eta} = 0,1; \quad (2.6)$$

$$N = \frac{90}{0,85} = 105,9 \approx 106 \text{ кВт.}$$

Для подальшого проектування приймається компресорний агрегат номінальною потужністю $N = 110$ кВт. Отримана потужність відповідає характеристикам сучасних мобільних компресорних установок середньої продуктивності. Наявний резерв потужності забезпечує стабільну роботу обладнання за змінних режимів експлуатації та можливих коливань параметрів природного газу.

Основні результати розрахунку компресорної установки наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні розрахункові параметри компресорної установки

Параметр	Значення
Продуктивність	500 Нм ³ /год
Вхідний тиск	0,5 МПа
Кінцевий тиск	25 МПа
Загальний ступінь стискання	50
Кількість ступенів	4
Масова витрата	360 кг/год
Теоретична потужність	90 кВт
Потужність приводу	106 кВт
Прийнята потужність	110 кВт

Як видно з таблиці 2.4, прийнята компресорна установка забезпечує необхідні параметри компримування природного газу та відповідає вимогам до мобільних АГНКС середньої продуктивності. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вибору конкретної моделі компресора та привідного двигуна.

2.4 Система автоматизації та контролю

Безпечна та ефективна експлуатація мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції значною мірою залежить від роботи системи автоматизації та контролю. Основним призначенням системи є безперервний моніторинг технологічних параметрів, керування роботою обладнання та забезпечення аварійного захисту станції.

Автоматизація технологічного процесу дозволяє підтримувати задані режими роботи компресорної установки, контролювати параметри природного газу та своєчасно реагувати на відхилення від нормальних умов експлуатації. Особливого значення це набуває для мобільних АГНКС, які працюють у віддалених промислових умовах та повинні забезпечувати

високий рівень надійності й безпеки [1].

Структурну схему системи автоматизації мобільної АГНКС наведено на рисунку 2.5.

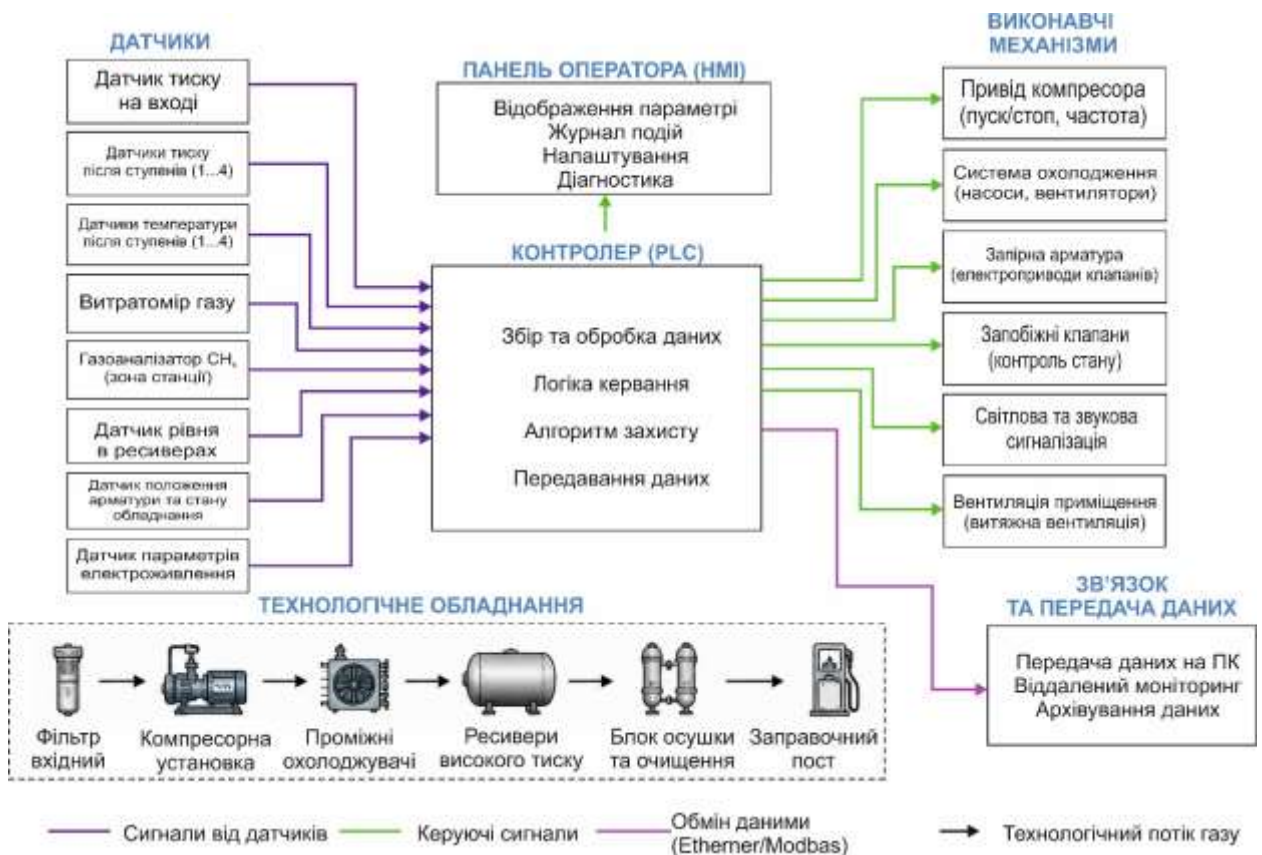


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи автоматизації мобільної АГНКС

Як видно з рисунка 2.5, центральним елементом системи автоматизації є програмований логічний контролер (PLC), який здійснює збір інформації від первинних датчиків, обробку отриманих даних та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів.

Для контролю роботи мобільної АГНКС передбачається встановлення датчиків тиску на вході та виході компресора, а також після кожного ступеня стискування. Це дозволяє контролювати правильність роботи компресорної установки та своєчасно виявляти відхилення технологічних параметрів від розрахункових значень.

Контроль температури здійснюється за допомогою термоперетворювачів опору або термопар, встановлених після кожного ступеня компримування та після системи охолодження. Отримані дані

використовуються для запобігання перегріву обладнання та забезпечення допустимих режимів роботи компресора [4].

Для забезпечення вибухопожежної безпеки в складі системи автоматизації передбачено використання газоаналізаторів, які контролюють концентрацію природного газу в зоні розміщення обладнання. При перевищенні допустимого рівня загазованості система автоматично формує сигнал тривоги та виконує аварійне відключення компресорної установки.

Основні контрольовані параметри мобільної АГНКС наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Контрольовані параметри мобільної АГНКС

Параметр	Засіб контролю	Призначення
Тиск газу	Датчик тиску	Контроль режиму компримування
Температура газу	Термопара	Контроль перегріву
Витрата газу	Витратомір	Облік продуктивності
Концентрація газу	Газоаналізатор	Контроль загазованості
Стан компресора	Датчики стану	Контроль роботи обладнання

Дані таблиці 2.5 свідчать, що система автоматизації забезпечує контроль усіх основних параметрів технологічного процесу. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та підвищувати надійність експлуатації обладнання.

Для підвищення рівня безпеки в системі автоматизації реалізуються такі функції аварійного захисту:

- аварійна зупинка компресора при перевищенні допустимого тиску;
- аварійна зупинка при перевищенні температури газу;
- відключення обладнання при спрацюванні газоаналізатора;
- контроль справності датчиків і виконавчих механізмів;

– світлова та звукова сигналізація аварійних режимів.

В таблиці 2.6 наведено аварійні сигнали системи автоматизації.

Таблиця 2.6 – Аварійні сигнали системи автоматизації

Подія	Дія системи
Перевищення тиску	Зупинка компресора
Перегрів газу	Відключення ступеня
Витік газу	Аварійна зупинка
Втрата живлення	Безпечне відключення

Таким чином, система автоматизації забезпечує підтримання заданих режимів роботи мобільної АГНКС, контроль основних технологічних параметрів та захист обладнання від аварійних ситуацій. Використання сучасних засобів автоматизації дозволяє підвищити надійність експлуатації станції та мінімізувати вплив людського фактора на технологічний процес.

2.5 Заходи забезпечення безпеки експлуатації мобільної АГНКС

Експлуатація мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції пов'язана з роботою обладнання під високим тиском, використанням вибухонебезпечного природного газу та наявністю електротехнічних систем керування. У зв'язку з цим під час проектування станції необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної роботи персоналу та надійної експлуатації обладнання [1].

Основними небезпечними факторами під час експлуатації мобільної АГНКС є:

- підвищений тиск природного газу в компресорі та ресиверах;
- можливість витоку природного газу через нещільності трубопроводів і арматури;

- ризик виникнення пожежі або вибуху при утворенні газоповітряної суміші;
- підвищена температура окремих елементів компресорної установки;
- небезпека ураження електричним струмом.

Для зниження ризику аварійних ситуацій у складі мобільної АГНКС передбачено використання систем контролю тиску та температури. Контроль параметрів здійснюється за допомогою датчиків, сигнали від яких надходять до PLC-контролера. При виході параметрів за допустимі межі система автоматично формує попереджувальні повідомлення або виконує аварійну зупинку обладнання.

Одним із головних елементів безпеки є застосування запобіжних клапанів, установлених на компресорі та ресиверах високого тиску. Запобіжні клапани забезпечують автоматичне скидання надлишкового тиску та запобігають руйнуванню обладнання в разі виникнення аварійного режиму [4].

Для виявлення витоків природного газу передбачено встановлення газоаналізаторів метану в зоні розташування компресорної установки та ресиверного парку. При перевищенні допустимої концентрації газу система автоматизації виконує аварійне відключення обладнання та подає сигнал тривоги.

Алгоритм аварійного відключення мобільної АГНКС при спрацюванні газоаналізатора наведено на рисунку 2.6.

Як видно з рисунка 2.6, після спрацювання датчика метану сигнал надходить до PLC-контролера, який формує команди на аварійну зупинку компресорної установки, закриття запірної арматури та активацію світлової і звукової сигналізації. Після цього виконується ізоляція технологічної системи, що дозволяє запобігти подальшому поширенню газу та розвитку аварійної ситуації.

Важливим елементом безпеки є система аварійного відключення (Emergency Shutdown System, ESD), яка забезпечує швидке припинення

роботи компресора та перекриття подачі природного газу при виникненні нештатних ситуацій. До причин спрацювання ESD належать перевищення тиску, перегрів обладнання, витік газу або відмова системи автоматизації.



Рисунок 2.6 – Алгоритм аварійного відключення мобільної АГНКС при спрацюванні газоаналізатора

Для запобігання накопиченню вибухонебезпечних концентрацій природного газу передбачається використання системи природної та примусової вентиляції. Вентиляційне обладнання забезпечує необхідний повітрообмін у зоні розташування технологічного обладнання та сприяє швидкому видаленню можливих витоків газу.

Електрообладнання мобільної АГНКС повинно відповідати вимогам вибухозахищеного виконання та мати необхідний ступінь захисту від впливу навколишнього середовища. Крім того, передбачається система захисного заземлення та блискавкозахисту відповідно до чинних нормативних вимог.

Для узагальнення основних заходів безпеки їх наведено в таблиці 2.7.

Дані таблиці 2.7 свідчать, що безпечна експлуатація мобільної АГНКС забезпечується комплексним використанням технічних засобів контролю, автоматизації та аварійного захисту. Поєднання зазначених заходів дозволяє

мінімізувати ризик виникнення аварійних ситуацій і забезпечити надійну роботу станції в умовах газового промислу.

Таблиця 2.7 – Основні засоби забезпечення безпеки мобільної АГНКС

Засіб безпеки	Призначення
Запобіжні клапани	Захист від перевищення тиску
Газоаналізатори	Виявлення витоків природного газу
PLC та система ESD	Аварійне відключення обладнання
Світлова та звукова сигналізація	Оповіщення персоналу
Система вентиляції	Видалення газоповітряних сумішей
Заземлення та блискавкозахист	Захист електрообладнання

Таким чином, передбачені заходи безпеки відповідають особливостям експлуатації мобільних АГНКС та забезпечують захист персоналу, обладнання і навколишнього середовища від можливих негативних наслідків аварійних ситуацій.

3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

3.1 Визначення капітальних витрат

Економічне обґрунтування проєкту виконано укрупненим методом на основі визначення капітальних вкладень, експлуатаційних витрат та простого терміну окупності без урахування інфляційних процесів і дисконтування грошових потоків.

Для впровадження мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції необхідно визначити обсяг капітальних вкладень, пов'язаних із придбанням та монтажем основного технологічного обладнання.

До складу капітальних витрат входять витрати на придбання компресорної установки, системи очищення газу, ресиверного парку, заправної колонки, засобів автоматизації, а також витрати на монтаж та введення обладнання в експлуатацію.

Структуру капітальних витрат наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати на створення мобільної АГНКС

Найменування	Вартість, тис. грн
Компресорна установка	3200
Фільтр-сепаратор	180
Система охолодження	350
Ресивери високого тиску	850
Заправна колонка	420
PLC та засоби автоматизації	300
Монтажні роботи	500
Пусконаладжувальні роботи	200
Разом	6000

Таким чином, загальний обсяг капітальних вкладень для створення мобільної АГНКС становить 6,0 млн грн.

Отримане значення буде використано для подальшого визначення економічної ефективності проекту та розрахунку терміну його окупності.

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

До складу експлуатаційних витрат мобільної АГНКС входять витрати на електроенергію, технічне обслуговування обладнання, оплату праці персоналу та інші поточні витрати.

Річне споживання електроенергії компресорної установки визначається за формулою

$$W = N \cdot t, \quad (3.1)$$

де W – річне споживання електроенергії, кВт·год;

N – встановлена потужність компресора; $N = 110$ кВт;

t – річний фонд роботи обладнання; $t = 2920$ год/рік.

Тоді

$$W = 110 \cdot 2920 = 321200 \text{ кВт/год.}$$

Отже, річне споживання електроенергії компресорною установкою становить 321 200 кВт·год. Отримане значення використовується для визначення витрат на електроенергію та загальних експлуатаційних витрат станції.

При тарифі на електроенергію 8 грн/кВт·год річні витрати становитимуть

$$C_{ел} = W \cdot C_m, \quad (3.2)$$

де $C_{ел}$ – річні витрати на електроенергію, грн;

W – річне споживання електроенергії, кВт·год;

C_T – тариф на електроенергію, грн/(кВт·год).

Після підстановки значень отримуємо

$$C_{el} = 321200 \cdot 8 = 2569600 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні витрати на електроенергію становлять 2,57 млн грн. Аналіз результатів показує, що саме витрати на електроенергію формують найбільшу частку експлуатаційних витрат мобільної АГНКС, що є характерним для компресорних станцій.

Результати розрахунку експлуатаційних витрат наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Річні експлуатаційні витрати

Стаття витрат	Вартість, тис. грн
Електроенергія	2569,6
Технічне обслуговування	300
Заробітна плата	480
Інші витрати	150
Разом	3499,6

Як видно з таблиці 3.2, найбільшу частку експлуатаційних витрат становлять витрати на електроенергію, що характерно для компресорних установок.

3.3 Розрахунок економічного ефекту

Річний обсяг реалізації компримованого природного газу становить 1,46 млн Нм³. При середній маржі 4 грн на 1 Нм³ природного газу річний економічний ефект визначається за формулою

$$E = Q_{рик} \cdot m, \quad (3.3)$$

де $m=4$ грн/Нм³ – прибуток від реалізації одиниці газу.

$$E = 1460000 \cdot 4 = 5840000 \text{ грн.}$$

Отриманий результат свідчить про економічну доцільність використання мобільної АГНКС для забезпечення транспортних потреб газового промислу.

3.4 Визначення простого терміну окупності проєкту

Термін окупності визначається за формулою

$$T = \frac{K}{E}, \quad (3.4)$$

де K – капітальні витрати;

E – річний економічний ефект.

Підставляємо значення:

$$T = \frac{6000000}{5840000} = 1,03 \text{ року.}$$

Слід зазначити, що розрахунок виконано для попередньої оцінки економічної ефективності проєкту. У розрахунку не враховувалися інфляційні процеси, зміна тарифів на електроенергію та дисконтування грошових потоків.

Таким чином, розрахунковий простий термін окупності проєкту становить близько одного року. Отримане значення свідчить про високу економічну ефективність використання мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції в умовах газового промислу.

В таблиці 3.3 наведено основні техніко-економічні показники проєкту.

Таблиця 3.3 – Основні техніко-економічні показники проєкту

Показник	Значення
Капітальні вкладення	6,0 млн грн
Потужність компресора	110 кВт
Продуктивність	500 Нм ³ /год
Річний обсяг газу	1,46 млн Нм ³
Річний економічний ефект	5,84 млн грн
Термін окупності	1,03 року

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Завдання з охорони праці

Охорона праці є невід'ємною складовою процесу проектування, будівництва та експлуатації об'єктів нафтогазової галузі. Особливого значення питання безпеки набувають під час експлуатації мобільних автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС), оскільки їх робота пов'язана з використанням природного газу під високим тиском, наявністю вибухопожежонебезпечних середовищ, застосуванням електрообладнання та експлуатацією компресорних установок [6].

Відповідно до [6], роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні та нешкідливі умови праці, запобігати виробничому травматизму та професійним захворюванням, а також впроваджувати сучасні технічні засоби захисту працівників. Крім того, вимоги щодо безпечної експлуатації обладнання під тиском, газонебезпечних об'єктів та електроустановок регламентуються відповідними нормативно-правовими актами України [7, 8].

Об'єктом дослідження в даному дипломному проєкті є мобільна автомобільна газонаповнювальна компресорна станція, призначена для заправки транспортних засобів компримованим природним газом безпосередньо в умовах газового промислу. Під час її експлуатації персонал може зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких підвищений тиск газу, шум і вібрація компресорного обладнання, підвищена температура окремих елементів установки, небезпека ураження електричним струмом, а також ризик виникнення пожежі чи вибуху внаслідок витoku природного газу.

Основними завданнями охорони праці для проєктованої мобільної АГНКС є:

- виявлення та аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для експлуатації компресорної станції;

- забезпечення безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу під час роботи з технологічним обладнанням;
- запобігання виникненню аварійних ситуацій, пов'язаних із витоками природного газу та перевищенням допустимого тиску в системі;
- забезпечення відповідності технологічного обладнання вимогам чинних нормативних документів з охорони праці та промислової безпеки;
- впровадження засобів колективного та індивідуального захисту працівників;
- забезпечення належного рівня пожежної та електробезпеки;
- розроблення заходів щодо захисту персоналу та обладнання в умовах надзвичайних ситуацій.

Для досягнення зазначених завдань у даному розділі буде виконано аналіз умов праці на мобільній АГНКС, розглянуто вимоги до безпечної експлуатації технологічного обладнання, запропоновано комплекс заходів щодо зниження впливу небезпечних виробничих факторів, а також проаналізовано питання пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Основною метою розділу є розроблення комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечних та нешкідливих умов праці під час експлуатації мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції відповідно до вимог чинного законодавства України у сфері охорони праці та промислової безпеки [6, 9].

4.2 Аналіз умов праці на мобільній АГНКС

Мобільна автомобільна газонаповнювальна компресорна станція призначена для компримування природного газу та заправки ним транспортних засобів безпосередньо на території газового промислу. До складу станції входять компресорна установка, система очищення та охолодження газу, ресивери високого тиску, заправна колонка, трубопровідна

обв'язка та система автоматизації. Особливості технологічного процесу обумовлюють наявність низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, вплив яких може призвести до травмування персоналу, виникнення професійних захворювань або аварійних ситуацій.

Відповідно до чинного законодавства України у сфері охорони праці, небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на фізичні, хімічні, психофізіологічні та фактори пожежо- і вибухонебезпеки [6].

У процесі експлуатації мобільної АГНКС найбільш суттєвими є фізичні фактори виробничого середовища.

Одним із найбільш небезпечних факторів є підвищений тиск природного газу в технологічному обладнанні. У проєктованій станції робочий тиск після компримування досягає 25 МПа. Руйнування трубопроводів, арматури або ресиверів високого тиску може призвести до травмування персоналу уламками конструкцій та впливу струменя газу високого тиску. Джерелом даного фактора є компресорна установка, ресиверний парк і трубопроводи високого тиску.

Іншим небезпечним фактором є підвищений рівень шуму, що виникає під час роботи компресора, електродвигуна та системи охолодження. Залежно від типу компресорної установки рівень шуму може перевищувати допустимі значення для постійного перебування персоналу [10]. Тривалий вплив шуму може спричинити погіршення слуху, підвищену втому та зниження працездатності працівників.

У процесі компримування природного газу відбувається його нагрівання, внаслідок чого температура окремих вузлів компресора, трубопроводів та теплообмінного обладнання може досягати значних значень. Контакт працівників із нагрітими поверхнями може стати причиною термічних опіків.

До фізичних факторів також належить вібрація, яка виникає внаслідок роботи компресорного обладнання. Джерелом вібрації є рухомі частини компресора та привідного двигуна. Тривалий вплив вібрації негативно

впливає на стан здоров'я працівників та може спричиняти передчасний знос обладнання.

Під час експлуатації станції існує небезпека ураження електричним струмом через наявність електродвигунів, шаф керування, контрольно-вимірювальних приладів та силових кабельних ліній. Особливої уваги потребує забезпечення електробезпеки в умовах можливого утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей [11].

До хімічних небезпечних факторів належить природний газ, основним компонентом якого є метан. За нормальних умов метан є нетоксичним, однак його витік у виробниче середовище може призвести до зниження концентрації кисню в повітрі робочої зони та створення вибухонебезпечної атмосфери. Особливу небезпеку становить накопичення газу в замкнених або недостатньо вентильованих просторах.

Значну небезпеку для персоналу становлять пожежо- та вибухонебезпечні фактори. Природний газ утворює з повітрям вибухонебезпечні суміші, які можуть займатися від відкритого полум'я, електричної іскри, статичної електрики або нагрітих поверхонь. Найбільш небезпечними з цієї точки зору є компресорний блок, запірні арматури, фланцеві з'єднання та заправна колонка [8].

Крім виробничих факторів, слід враховувати вплив метеорологічних умов, оскільки мобільна АГНКС експлуатується на відкритих виробничих майданчиках. У зимовий період персонал може зазнавати впливу низьких температур, сильного вітру та опадів, а в літній період – підвищеної температури повітря та сонячного випромінювання.

Для узагальнення результатів аналізу основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори наведено в таблиці 4.1.

Як видно з таблиці 4.1, найбільшу небезпеку під час експлуатації мобільної АГНКС становлять високий тиск природного газу, можливість утворення вибухонебезпечних концентрацій метану та наявність електротехнічного обладнання. Саме ці фактори повинні бути враховані під

час розроблення технічних і організаційних заходів з охорони праці.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори мобільної АГНКС

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Підвищений тиск	Компресор, ресивери, трубопроводи	Травмування персоналу, руйнування обладнання
Шум	Компресорна установка	Погіршення слуху, підвищена втомлюваність
Вібрація	Компресор, привідний двигун	Негативний вплив на здоров'я працівників
Підвищена температура поверхонь	Компресор, теплообмінники	Термічні опіки
Електричний струм	Електрообладнання	Електротравми
Витік природного газу	Арматура, трубопроводи	Загазованість, вибух
Пожежа та вибух	Газоповітряна суміш	Травмування персоналу, матеріальні збитки
Несприятливі погодні умови	Відкритий майданчик	Погіршення умов праці

Таким чином, проведений аналіз умов праці дозволив визначити основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції. Результати аналізу є основою для розроблення заходів щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці, які розглядаються в наступних підрозділах.

4.3 Організація безпечних та нешкідливих умов праці

Організація безпечних та нешкідливих умов праці під час експлуатації мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції

передбачає комплекс організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на персонал. Враховуючи особливості технологічного процесу, основна увага повинна приділятися забезпеченню безпечної роботи обладнання високого тиску, запобіганню витокам природного газу, захисту від шуму, вібрації та електричного струму, а також створенню належних санітарно-гігієнічних умов праці [6].

Роботи з обслуговування мобільної АГНКС повинні виконуватися персоналом, який пройшов спеціальне навчання, перевірку знань з охорони праці та має допуск до виконання робіт підвищеної небезпеки [12]. До самостійної роботи допускаються працівники, які пройшли вступний та первинний інструктажі, медичний огляд і навчання з безпечних методів експлуатації газового обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації компресорної установки необхідно здійснювати постійний контроль тиску та температури природного газу на всіх основних ділянках технологічної схеми. Контроль параметрів виконується за допомогою датчиків тиску, температури та програмованого логічного контролера, що входять до складу системи автоматизації станції. При перевищенні допустимих значень система повинна автоматично формувати сигнал тривоги та виконувати аварійне відключення обладнання [1].

Особливу увагу необхідно приділяти герметичності трубопроводів, фланцевих з'єднань та запірної арматури. Перед введенням обладнання в експлуатацію, а також після проведення ремонтних робіт повинні виконуватися випробування на міцність і герметичність відповідно до вимог нормативних документів [8].

Для своєчасного виявлення витоків природного газу в зоні розміщення компресорного обладнання та ресиверів встановлюються стаціонарні газоаналізатори метану. При досягненні порогової концентрації газу система автоматизації повинна забезпечувати зупинку компресора, закриття аварійних відсічних клапанів та ввімкнення світлової і звукової сигналізації.

З метою забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища передбачається використання природної та примусової вентиляції. Вентиляційна система повинна забезпечувати видалення можливих витоків природного газу та підтримання концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони на рівні, що не перевищує гранично допустимих значень [10].

Під час роботи компресорної установки персонал піддається впливу шуму та вібрації. Для зниження рівня шуму рекомендується встановлення шумозахисних кожухів на компресорному обладнанні, використання віброізолюючих опор та застосування засобів індивідуального захисту органів слуху. Рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати допустимі значення, встановлені санітарними нормами [10].

Для захисту працівників від ураження електричним струмом усі металеві неструмовідні частини обладнання повинні бути приєднані до системи захисного заземлення. Електрообладнання мобільної АГНКС повинно відповідати вимогам вибухозахищеного виконання та мати необхідний ступінь захисту від впливу навколишнього середовища [11].

Робочі місця персоналу повинні бути забезпечені необхідними засобами індивідуального захисту. До них належать спеціальний одяг, захисне взуття, каски, захисні окуляри, рукавиці, а також засоби захисту органів слуху та фільтрувальні засоби захисту органів дихання у випадках проведення газонебезпечних робіт.

Основні засоби захисту працівників наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Засоби захисту працівників мобільної АГНКС

Небезпечний фактор	Засіб захисту
Підвищений тиск	Запобіжні клапани, система автоматичного захисту
Витік природного газу	Газоаналізатори, аварійна сигналізація
Шум	Навушники або протишумні вкладиші
Вібрація	Віброізоляція обладнання
Електричний струм	Захисне заземлення, автоматичні вимикачі
Підвищена температура	Теплоізоляція обладнання
Механічні травми	Каска, спецодяг, захисне взуття

Дані таблиці 4.2 свідчать, що забезпечення безпечних умов праці на мобільній АГНКС можливе лише за умови комплексного використання технічних засобів захисту та організаційних заходів.

Важливим елементом організації безпечної праці є належне освітлення робочих зон. Освітленість майданчиків обслуговування обладнання, проходів та місць виконання ремонтних робіт повинна відповідати вимогам чинних будівельних норм [14]. У темний час доби повинне передбачатися використання зовнішнього штучного освітлення вибухозахищеного виконання.

4.3.1 Розрахунок необхідного повітрообміну компресорного відсіку

Під час експлуатації мобільної АГНКС існує ймовірність виникнення незначних витоків природного газу через ущільнення компресора, фланцеві з'єднання, запірну арматуру та контрольно-вимірювальні прилади. Для запобігання накопиченню вибухонебезпечних концентрацій природного газу необхідно забезпечити ефективну вентиляцію компресорного відсіку [15].

Відповідно до вимог нормативних документів для приміщень категорії А за вибухопожежною небезпекою рекомендується передбачати аварійну та робочу вентиляцію з кратністю повітрообміну не менше восьми разів за годину [16, 17].

Прийmemo розміри компресорного відсіку мобільної АГНКС:

- довжина приміщення $L=6$ м;
- ширина приміщення $B=2,5$ м;
- висота приміщення $H=2,5$ м.

Об'єм приміщення визначається за формулою

$$V=L \cdot B \cdot H, \quad (4.1)$$

де V – об'єм приміщення, м^3 ;

L – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

H – висота приміщення, м.

Підставляючи значення, отримуємо

$$V=6 \cdot 2,5 \cdot 2,5=37,5 \text{ м}^3.$$

Отже, об'єм компресорного відсіку становить $37,5 \text{ м}^3$. Даний показник використовується для визначення необхідної продуктивності вентиляційної системи.

Необхідна витрата повітря визначається за формулою

$$Q=n \cdot V, \quad (4.2)$$

де Q – необхідна продуктивність вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$;

n – кратність повітрообміну;

V – об'єм приміщення, м^3 .

Для категорії приміщення А приймаємо $n=8 \text{ год}^{-1}$.

Тоді

$$Q=8 \cdot 37,5=300 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отже, для забезпечення нормативного повітрообміну необхідно встановити вентиляційну систему продуктивністю не менше $300 \text{ м}^3/\text{год}$.

З урахуванням можливих витоків природного газу, забруднення вентиляційних каналів та необхідності створення запасу продуктивності доцільно прийняти коефіцієнт запасу $k=1,2$.

Тоді розрахункова продуктивність вентиляційної системи становитиме

$$Q_{\text{розр}}=Q \cdot k, \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{розр}}=300 \cdot 1,2=360 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для компресорного відсіку мобільної АГНКС рекомендується застосувати припливно-витяжну вентиляцію продуктивністю не менше 360 м³/год. Отримане значення забезпечує необхідний рівень повітрообміну та дозволяє запобігти накопиченню вибухонебезпечних концентрацій природного газу в робочій зоні. Використання примусової вентиляції є одним із найважливіших технічних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці персоналу та зниження ризику виникнення аварійних ситуацій.

Схему організації повітрообміну в компресорному відсіку наведено на рисунку 4.1. Як видно з рисунка, свіже повітря подається в нижню частину відсіку, а видалення газоповітряної суміші здійснюється через витяжну систему, що забезпечує ефективне видалення можливих витоків природного газу та підтримання безпечних умов праці [ДБН В.2.5-67:2013].



Рисунок 4.1 – Схема вентиляції компресорного відсіку мобільної АГНКС

4.4 Заходи щодо поліпшення умов праці і підвищення безпеки

На підставі аналізу умов праці на мобільній автомобільній газонаповнювальній компресорній станції, виконаного в підрозділі 4.2, встановлено, що найбільшу небезпеку для персоналу становлять підвищений тиск природного газу, можливість утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, шум і вібрація компресорного обладнання, підвищена температура окремих елементів технологічної системи, а також небезпека ураження електричним струмом. Для мінімізації впливу зазначених факторів необхідно реалізувати комплекс організаційних та технічних заходів відповідно до вимог чинних нормативних документів [6, 12].

Першочерговим заходом є забезпечення надійної герметичності технологічного обладнання та трубопроводів. Для цього необхідно застосовувати сертифіковану запірну арматуру, виконувати періодичний контроль герметичності фланцевих з'єднань, а також проводити планові огляди та випробування обладнання високого тиску. Своєчасне виявлення та усунення нещільностей дозволяє значно знизити ризик витоків природного газу та виникнення аварійних ситуацій [8].

Для підвищення рівня вибухобезпеки необхідно забезпечити безперервний контроль концентрації метану в зоні розташування компресорного обладнання. З цією метою в складі мобільної АГНКС передбачаються стаціонарні газоаналізатори, інтегровані в систему автоматизації. При досягненні порогових значень концентрації газу система повинна автоматично виконувати аварійну зупинку компресора, перекриття подачі газу та включення світлової і звукової сигналізації [1].

Одним із важливих заходів щодо покращення умов праці є застосування ефективної вентиляції компресорного відсіку. Як було встановлено в підрозділі 4.3.1, для забезпечення нормативного повітрообміну необхідно використовувати припливно-витяжну вентиляцію продуктивністю не менше 360 м³/год. Використання вентиляційної системи дозволяє запобігти

накопиченню вибухонебезпечних концентрацій природного газу та підтримувати нормативні параметри повітряного середовища [15].

Для зниження негативного впливу шуму та вібрації доцільно передбачити встановлення компресорного обладнання на вібропоглинаючих опорах, використання гнучких вставок у трубопроводах та застосування шумопоглинальних кожухів. Крім того, працівники повинні бути забезпечені індивідуальними засобами захисту органів слуху у випадках, коли рівень шуму перевищує допустимі значення [13].

Важливим напрямом підвищення безпеки є вдосконалення системи автоматизації та аварійного захисту. Рекомендується передбачити резервування найбільш відповідальних датчиків тиску та температури, а також реалізувати функцію автоматичної діагностики працездатності обладнання. Це дозволить своєчасно виявляти відмови окремих елементів системи та запобігати розвитку аварійних режимів роботи.

Для захисту працівників від ураження електричним струмом необхідно забезпечити виконання комплексу заходів електробезпеки, зокрема захисне заземлення металевих конструкцій та електрообладнання, використання автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення, а також проведення періодичних вимірювань опору заземлювальних пристроїв [18].

Особливу увагу необхідно приділяти підготовці персоналу. Працівники повинні проходити навчання та перевірку знань з охорони праці, пожежної безпеки та правил експлуатації газового обладнання. Крім того, доцільно проводити регулярні тренування щодо дій у разі витоку газу, пожежі або аварійної зупинки технологічного обладнання. Для узагальнення запропонованих заходів їх перелік наведено в таблиці 4.3.

Як видно з таблиці 4.3, кожний запропонований захід спрямований на усунення або зниження впливу конкретного небезпечного чи шкідливого виробничого фактора, виявленого під час аналізу умов праці. Комплексне впровадження зазначених рішень дозволяє суттєво підвищити рівень виробничої безпеки та надійності роботи мобільної АГНКС.

Таблиця 4.3 – Заходи щодо поліпшення умов праці та підвищення безпеки на мобільній АГНКС

Виявлений небезпечний фактор	Запропонований захід
Витік природного газу	Газоаналізатори та система аварійного відключення
Підвищений тиск	Запобіжні клапани та контроль параметрів
Загазованість приміщення	Припливно-витяжна вентиляція
Шум	Шумозахисні кожухи та засоби індивідуального захисту
Вібрація	Вібропоглинаючі опори
Ураження електричним струмом	Захисне заземлення та автоматичний захист
Відмова обладнання	Автоматичний контроль і діагностика
Недостатня підготовка персоналу	Навчання та періодичні інструктажі

Реалізація запропонованих організаційних та технічних заходів забезпечує створення безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу, знижує ризик виникнення аварійних ситуацій та сприяє підвищенню ефективності експлуатації мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції.

4.5 Пожежна безпека мобільної АГНКС

Мобільна автомобільна газонаповнювальна компресорна станція належить до об'єктів підвищеної пожежної та вибухової безпеки, оскільки в процесі її роботи здійснюється компримування, зберігання та заправка транспортних засобів природним газом під високим тиском. Основним горючим середовищем є природний газ, основним компонентом якого є метан. У разі витоку газу та його змішування з повітрям можуть утворюватися вибухонебезпечні газоповітряні суміші, здатні займатися від відкритого полум'я, електричної іскри, статичного заряду або нагрітих поверхонь обладнання [16].

Відповідно до вимог пожежної безпеки, під час проєктування та експлуатації мобільної АГНКС необхідно реалізувати комплекс заходів, спрямованих на попередження виникнення пожежі, своєчасне виявлення загоряння та обмеження можливих наслідків аварійних ситуацій [17].

Основними небезпечними факторами пожежі на мобільній АГНКС є:

- відкрите полум'я та високотемпературні продукти горіння;
- підвищена температура навколишнього середовища;
- токсичні продукти горіння;
- вибухове розширення газоповітряної суміші;
- руйнування технологічного обладнання під впливом високої температури.

Для запобігання виникненню пожежі необхідно забезпечити герметичність усіх елементів газової системи, своєчасно проводити технічне обслуговування обладнання та здійснювати контроль стану трубопроводів, арматури й компресорної установки. Особливу увагу необхідно приділяти місцям можливих витоків природного газу, зокрема фланцевим з'єднанням, ущільненням компресора та заправним рукавам.

Одним із найважливіших елементів системи пожежної безпеки є система контролю загазованості. Для цього на мобільній АГНКС встановлюються газоаналізатори метану, які забезпечують безперервний контроль концентрації природного газу в зоні розташування технологічного обладнання. При перевищенні допустимої концентрації система автоматично формує сигнал тривоги та виконує аварійне відключення обладнання [1].

З метою виключення джерел займання електрообладнання компресорної станції повинно виконуватися у вибухозахищеному виконанні відповідно до вимог чинних нормативних документів. Усі металеві конструкції та елементи обладнання повинні бути приєднані до системи захисного заземлення для відведення статичних електричних зарядів [18].

Для локалізації можливих загорянь мобільна АГНКС повинна бути забезпечена первинними засобами пожежогасіння. Згідно з вимогами

пожежної безпеки доцільно використовувати порошкові та вуглекислотні вогнегасники, які можуть застосовуватися для гасіння електрообладнання та горючих газів.

Рекомендований склад первинних засобів пожежогасіння наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Первинні засоби пожежогасіння мобільної АГНКС

Засіб пожежогасіння	Кількість	Призначення
Вогнегасник порошковий ВП-9	2 шт.	Гасіння пожеж класів А, В, С
Вогнегасник вуглекислотний ВВК-5	2 шт.	Гасіння електрообладнання
Ящик з піском	1 шт.	Локалізація невеликих осередків займання
Пожежний щит	1 шт.	Розміщення пожежного інвентарю

Основні заходи забезпечення пожежної безпеки мобільної АГНКС наведено на рисунку 4.2.

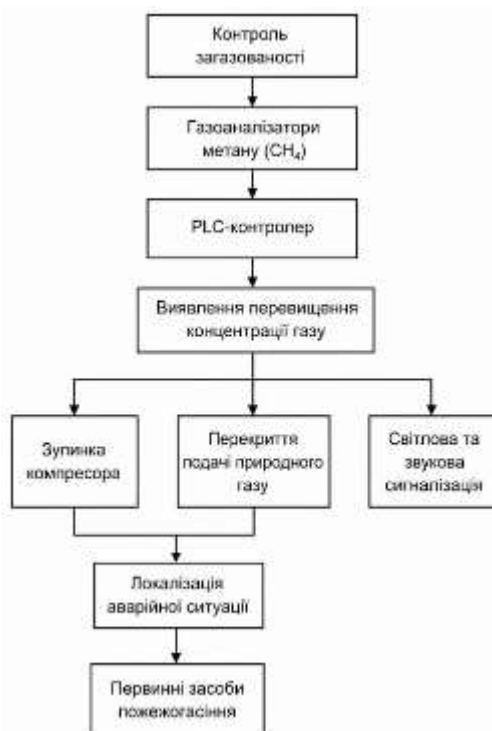


Рисунок 4.2 – Система забезпечення пожежної безпеки мобільної АГНКС

Як видно з рисунка 4.2, основою системи пожежної безпеки є своєчасне виявлення витоку природного газу та автоматичне відключення технологічного обладнання. Такий підхід дозволяє запобігти утворенню вибухонебезпечного середовища та мінімізувати ризик виникнення пожежі.

Важливим елементом пожежного захисту є організація шляхів евакуації персоналу. Майданчик мобільної АГНКС повинен забезпечувати вільний доступ до технологічного обладнання та можливість швидкого залишення небезпечної зони у разі виникнення аварійної ситуації. Місця розташування засобів пожежогасіння, аварійних вимикачів та шляхів евакуації повинні бути позначені відповідними знаками безпеки [19].

Для узагальнення результатів аналізу пожежної безпеки основні профілактичні заходи наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні заходи пожежної безпеки мобільної АГНКС

Захід	Призначення
Контроль герметичності обладнання	Запобігання витокам газу
Газоаналізатори метану	Виявлення загазованості
Вибухозахищене електрообладнання	Усунення джерел займання
Захисне заземлення	Відведення статичної електрики
Система аварійного відключення	Локалізація аварійної ситуації
Первинні засоби пожежогасіння	Ліквідація осередків займання
Навчання персоналу	Підвищення готовності до дій у разі пожежі

Дані таблиці 4.5 свідчать, що забезпечення пожежної безпеки мобільної АГНКС досягається шляхом поєднання організаційних заходів, технічних засобів контролю та сучасних систем автоматичного захисту.

Таким чином, реалізація передбачених проектом заходів дозволяє значно знизити ризик виникнення пожежі та вибуху під час експлуатації мобільної автомобільної газонаповнювальної компресорної станції.

Запропоновані рішення відповідають вимогам нормативних документів у сфері пожежної безпеки та забезпечують належний рівень захисту персоналу, обладнання і навколишнього середовища [16, 17].

4.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.6.1 Основні положення безпеки в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях є важливою складовою експлуатації об'єктів нафтогазової галузі, до яких належить мобільна автомобільна газонаповнювальна компресорна станція. Основною метою заходів цивільного захисту є запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, зменшення масштабів можливих наслідків аварій та забезпечення захисту персоналу і матеріальних цінностей [20].

Нормативно-правову основу забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях становлять Конституція України [21], Кодекс цивільного захисту України [20], Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [22], ДСТУ 3891-99 «Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять» [23], ДК 019:2010 «Класифікатор надзвичайних ситуацій» [24], а також інші нормативно-правові акти у сфері цивільного захисту.

Відповідно до [23] надзвичайна ситуація визначається як порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території чи об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом або іншою небезпечною подією, що призвела або може призвести до загибелі людей, значних матеріальних збитків чи негативного впливу на довкілля.

Безпека в надзвичайних ситуаціях являє собою стан захищеності населення, територій та об'єктів господарювання від наслідків аварій, катастроф, стихійних лих та інших небезпечних подій.

Джерелом надзвичайної ситуації може бути технічна несправність обладнання, вибух, пожежа, природне явище або інша подія, яка створює загрозу життю та здоров'ю людей.

Уражальним чинником надзвичайної ситуації є фізичний, хімічний або біологічний фактор, дія якого може призвести до травмування людей, руйнування обладнання чи забруднення навколишнього середовища.

Відповідно до ДК 019:2010 надзвичайні ситуації поділяються на:

- техногенного характеру;
- природного характеру;
- соціального характеру;
- воєнного характеру [24].

За масштабами наслідків надзвичайні ситуації класифікуються на державний, регіональний, місцевий та об'єктовий рівні відповідно до Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями.

Для мобільної АГНКС найбільшу небезпеку становлять надзвичайні ситуації техногенного характеру, пов'язані з аваріями на технологічному обладнанні, пожежами, вибухами та витокami природного газу.

Таким чином, забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях для мобільної АГНКС базується на комплексі організаційних та технічних заходів, спрямованих на попередження аварійних ситуацій та мінімізацію їх можливих наслідків.

4.6.2 Аналіз стану забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях на мобільній АГНКС

Мобільна автомобільна газонаповнювальна компресорна станція належить до потенційно небезпечних виробничих об'єктів через наявність природного газу під високим тиском та використання компресорного обладнання. Тому під час її експлуатації особлива увага повинна приділятися питанням готовності до дій у надзвичайних ситуаціях.

Безпечна експлуатація станції забезпечується наявністю експлуатаційної документації, технологічних регламентів, інструкцій з охорони праці, пожежної безпеки та аварійного реагування. У зазначених документах визначаються дії персоналу при виникненні нештатних ситуацій,

порядок зупинки обладнання та евакуації працівників.

Для контролю стану технологічного обладнання на мобільній АГНКС передбачено використання систем автоматизації та аварійного захисту. До складу системи входять датчики тиску, температури та газоаналізатори метану, які забезпечують безперервний моніторинг стану обладнання і навколишнього середовища.

Важливим елементом забезпечення безпеки є система аварійного відключення (ESD), яка забезпечує автоматичну зупинку компресора та перекриття подачі природного газу у випадку перевищення допустимих параметрів роботи або спрацювання газоаналізаторів.

Персонал станції повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту, засобами зв'язку та первинними засобами пожежогасіння. Крім того, працівники повинні проходити регулярне навчання та тренування щодо дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Відповідно до [24] найбільш імовірними надзвичайними ситуаціями для мобільної АГНКС є наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Найбільш імовірні надзвичайні ситуації на мобільній АГНКС

Код ДК 019:2010 [24]	Надзвичайна ситуація
10211	Пожежа або вибух на технологічному обладнанні
10331	Аварія на системах газопостачання
10760	Аварія в електричних мережах
10620	Руйнування виробничої споруди або обладнання
20331	Сильний вітер, шквал
20322	Надзвичайно висока температура повітря
30610	Нещасний випадок під час виконання трудових обов'язків

Дані таблиці 4.6 свідчать, що найбільшу небезпеку для мобільної

АГНКС становлять аварії техногенного характеру, пов'язані з витокami природного газу, пожежами та вибухами. Саме тому особлива увага повинна приділятися технічному стану обладнання, функціонуванню систем автоматизації та підготовці персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях.

Для підвищення рівня готовності до надзвичайних ситуацій доцільно передбачити:

- регулярні перевірки працездатності систем аварійного захисту;
- проведення навчань та протиаварійних тренувань персоналу;
- створення резерву засобів пожежогасіння;
- забезпечення постійної готовності засобів зв'язку та оповіщення;
- контроль технічного стану обладнання високого тиску.

Таким чином, передбачені організаційні та технічні заходи забезпечують належний рівень готовності мобільної АГНКС до можливих надзвичайних ситуацій та дозволяють мінімізувати ризик виникнення тяжких наслідків для персоналу, обладнання та навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розглянуто питання застосування мобільних автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій для заправки транспортних засобів безпосередньо в умовах газового промислу.

У результаті виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз промислових умов експлуатації мобільних АГНКС та встановлено, що їх використання є доцільним на віддалених газових промислах, де відсутня стаціонарна газозаправна інфраструктура.

2. Виконано огляд основних типів АГНКС та встановлено, що мобільні станції забезпечують найвищий рівень автономності, мобільності та оперативності введення в експлуатацію порівняно зі стаціонарними й напівмобільними аналогами.

3. Проаналізовано конструктивні рішення сучасних мобільних компресорних станцій та визначено основні елементи їх технологічного обладнання: систему очищення газу, компресорну установку, систему охолодження, ресивери високого тиску, заправну колонку та систему автоматизації.

4. Обґрунтовано вибір технологічної схеми мобільної АГНКС із чотириступеневим компримуванням природного газу до тиску 25 МПа.

5. Виконано вибір основного технологічного обладнання та встановлено доцільність використання поршневого багатоступеневого компресора, каскадної системи накопичення газу та автоматизованої системи керування на базі PLC-контролера.

6. Проведено розрахунок основних параметрів мобільної АГНКС. Визначено загальний ступінь стискання газу, який становить 50, масову витрату природного газу 360 кг/год та необхідну потужність компресорної установки 106 кВт. Для подальшого проєктування прийнято компресорний агрегат потужністю 110 кВт.

7. Розроблено структурну схему системи автоматизації, яка забезпечує контроль тиску, температури, витрати газу, концентрації метану та реалізацію функцій аварійного захисту обладнання.

8. Запропоновано комплекс технічних заходів щодо підвищення безпеки експлуатації мобільної АГНКС, який включає використання газоаналізаторів, систем аварійного відключення, запобіжних клапанів, вентиляції та засобів електрозахисту.

9. Виконано укрупнене економічне обґрунтування проєкту. Встановлено, що при капітальних вкладеннях 6 млн грн річний економічний ефект становить 5,84 млн грн, а простий термін окупності проєкту складає близько 1 року.

Отримані результати підтверджують технічну можливість та економічну доцільність використання мобільних автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій для заправки транспортних засобів безпосередньо на газових промислах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ISO 16923:2016. Natural Gas Fuelling Stations – CNG Stations for Fuelling Vehicles. Geneva : International Organization for Standardization, 2016. 88 p.
2. European Environment Agency. Transport and Environment Report 2023. Copenhagen : European Environment Agency, 2023. 168 p.
3. ДСТУ EN 16723-2:2017. Природний газ і біометан для використання на транспорті та біометан для закачування в мережу природного газу. Частина 2. Технічні вимоги до автомобільного палива. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 35 с.
4. API Standard 618. Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services. 5th ed. Washington : American Petroleum Institute, 2013. 274 p.
5. Bauer Compressors. CNG Compressors and Systems : Technical Catalogue. Munich : BAUER KOMPRESSOREN GmbH, 2023. 52 p.
6. Закон України «Про охорону праці» : Закон України від 14.10.1992 р. №2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 20.06.2026).
7. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. Київ : Держпраці України, 2018. 84 с.
8. Правила безпеки систем газопостачання. Київ : Міненерговугілля України, 2015. 196 с.
9. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. №5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 10.06.2026).
10. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. 29 с.
11. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : Мінпраці України, 1998. 145 с.
12. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Київ :

Держнаглядохоронпраці України, 2005. 32 с.

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999. 34 с.

14. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

15. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 141 с.

16. Правила пожежної безпеки в Україні. Київ : МВС України, 2014. 141 с.

17. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017. 41 с.

18. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Мінпраці України, 2001. 117 с.

19. ДСТУ ISO 7010:2019. Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 142 с.

20. Кодекс цивільного захисту України : Кодекс України від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17> (дата звернення: 20.06.2026).

21. Конституція України : Закон України від 28.06.1996 р. №254к/96-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 10.06.2026).

22. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» : Закон України від 18.01.2001 р. №2245-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 10.06.2026).

23. ДСТУ 3891-99. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Терміни та визначення основних понять. Київ : Держстандарт України, 1999. 18 с.

24. ДК 019:2010. Класифікатор надзвичайних ситуацій. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 19 с.